



Российская Академия Наук



*Объединенный Институт
Высоких Температур РАН*

**СУПЕРКОНДЕНСАТОРЫ:
ТЕОРИЯ, ТЕХНИКА,
ПРИМЕНЕНИЯ**

Доктор техн. наук Денъщиков К.К.

СОДЕРЖАНИЕ

Теория суперконденсаторов

- Основные положения теории

- Предельные характеристики суперконденсаторов

- Направление развития теории

Активная масса суперконденсатора

- Высокодисперсные углеродные материалы

- Электролиты

- Новый электролит – ионная жидкость

- Исследования электролитов и активной массы

- Оптимизация компонентов активной массы

- Направления дальнейших исследований

Техника суперконденсаторов

- Устройство наборных суперконденсаторов

- Новые суперконденсаторы ОИВТ РАН

- Направления дальнейших разработок

Применения суперконденсаторов

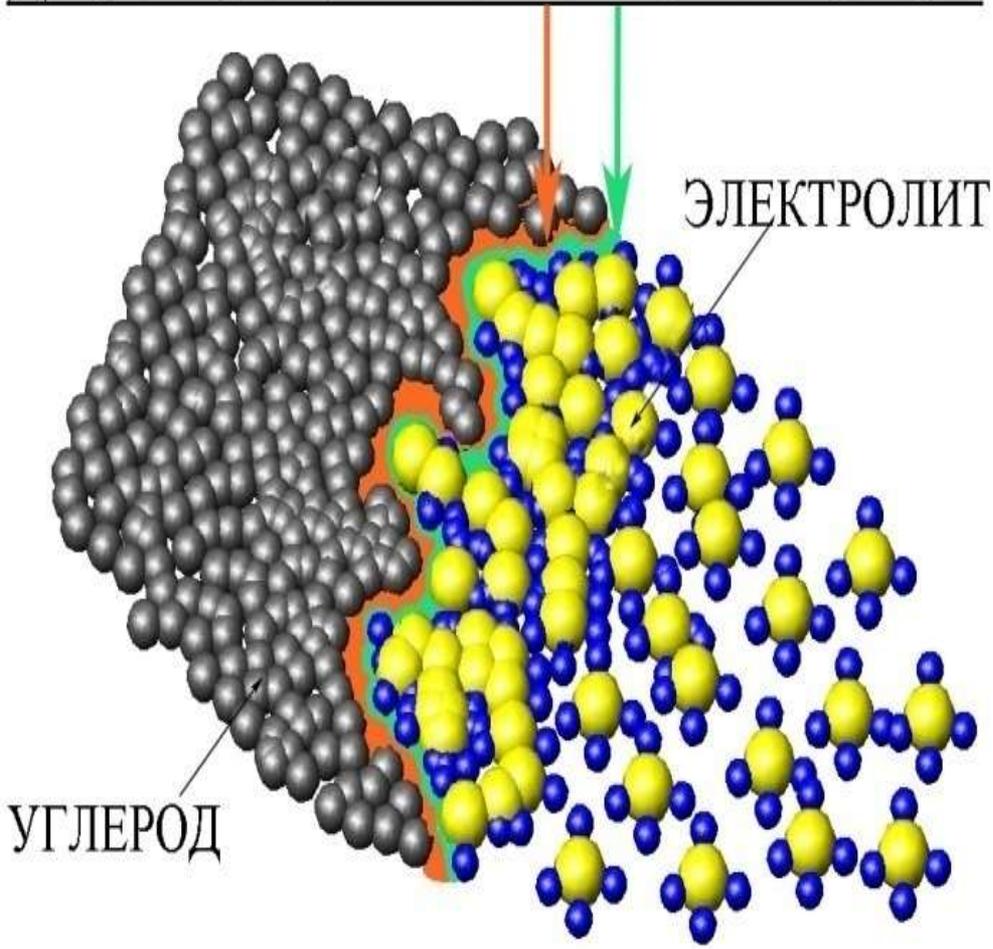
- Гибридные мобильные автотранспортные системы

- Гибридные мобильные железнодорожные системы

- Гибридные стационарные системы

ДВОЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СЛОЙ

ДВОЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СЛОЙ



Двойной электрический слой – области локализации электрических зарядов на межфазной границе материалов с разным типом проводимости

Причины образования:

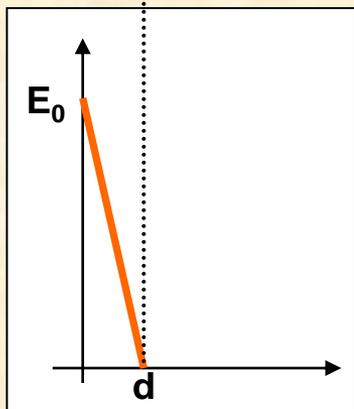
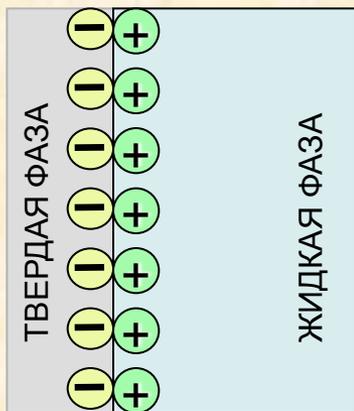
- нескомпенсированное электростатическое взаимодействие на межфазной границе;
- межмолекулярное взаимодействие в жидкой фазе;
- избыток поверхностной энергии

Механизмы образования:

- специфическая и неспецифическая адсорбция;
- ионный межфазный обмен;
- ориентирование полярных молекул в поверхностном слое

ТЕОРИИ ДВОЙНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ

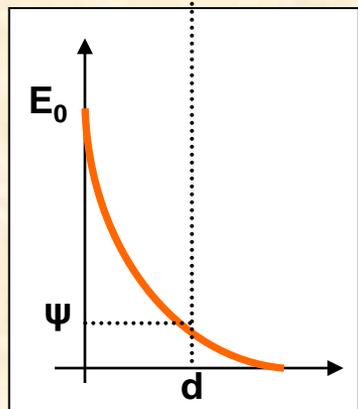
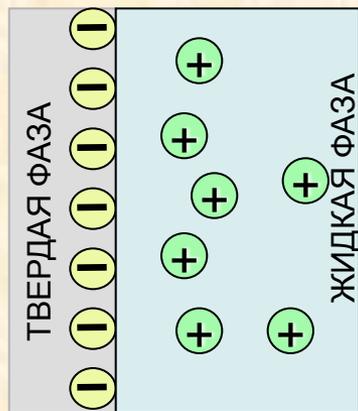
Г. Гельмгольц



$$C = \varepsilon \varepsilon_0 / d$$

$$d = \varepsilon \varepsilon_0 / qE$$

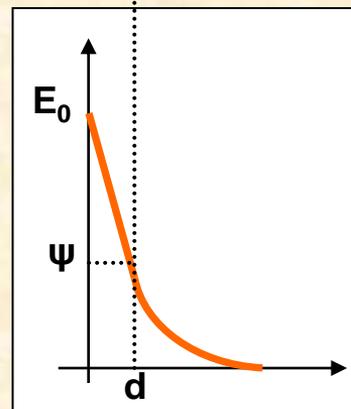
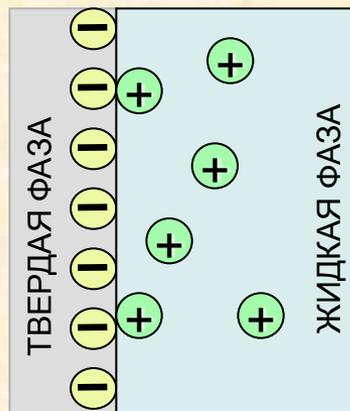
Л. Гуи – Д. Чепмен



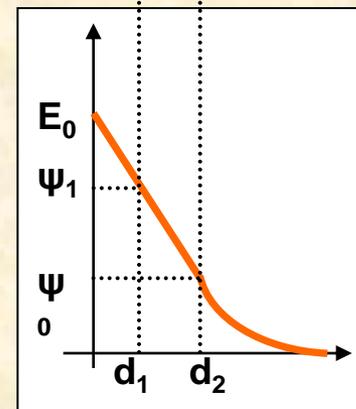
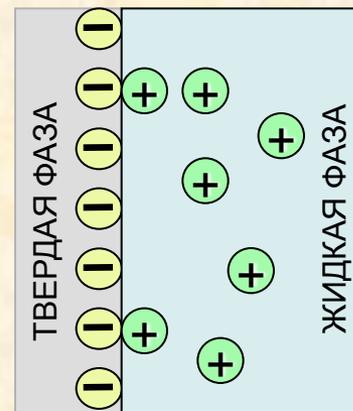
$$C = \sqrt{2\varepsilon\varepsilon_0 RTC_0} \frac{2RT}{F} \left(e^{\frac{FE_0}{2RT}} + e^{-\frac{FE_0}{2RT}} \right)$$

$$d = \sqrt{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0 RT}{C_0 F^2}}$$

О. Штерн



Д. Грэм

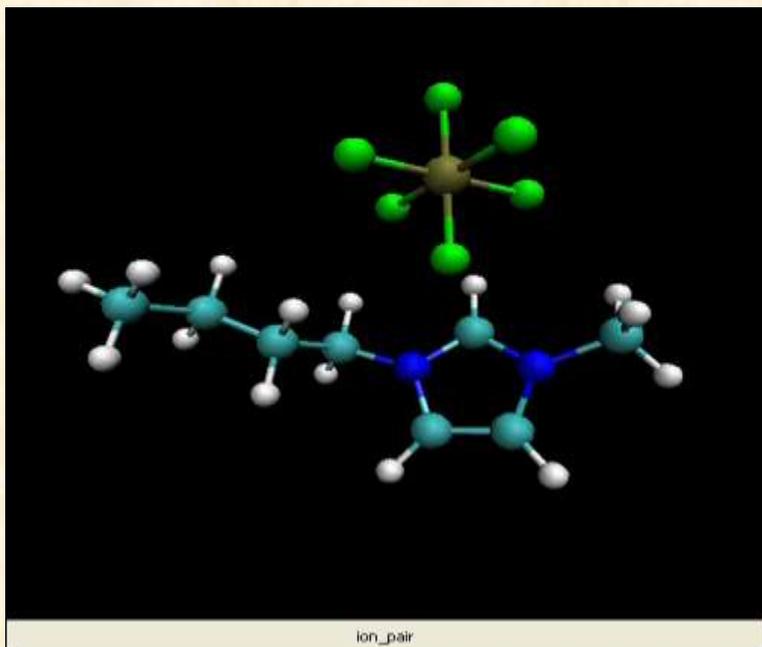


$$\frac{dE_0}{dq} = \frac{d(E_0 - \psi_0)}{dq} + \frac{d\psi_0}{dq}$$

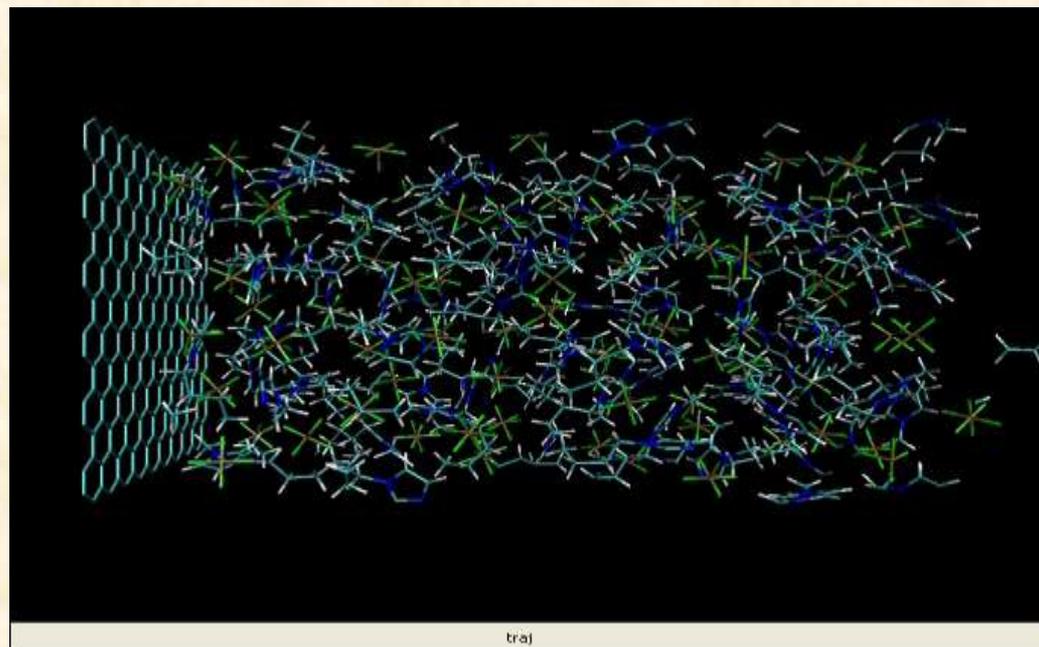
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВОЙНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ

Квантомеханическая модель
BMIMPF₆



Визуализация траектории расчета



С. Кисленко, И. Самойлов, ОИВТ РАН 2008
Г. Норман, В. Стегайлов, А. Ланкин, ОИВТ РАН 2009

НАКОПЛЕНИЕ АНОМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ЭНЕРГИИ НА УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУРАХ

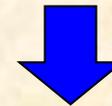
**ДВОЙНОЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СЛОЙ**



РАССТОЯНИЕ

2 – 10 А

**ПОРИСТЫЙ
МАТЕРИАЛ + ЖИДКОСТЬ**



ПЛОЩАДЬ ОБКЛАДОК

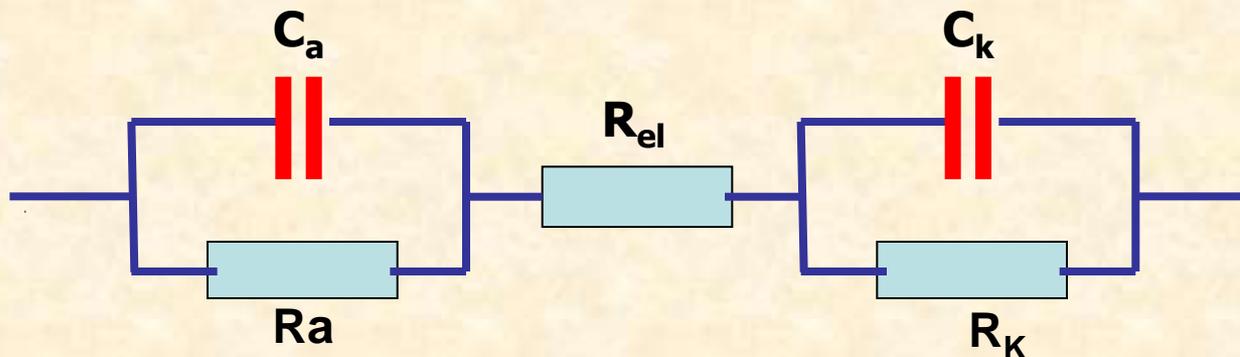
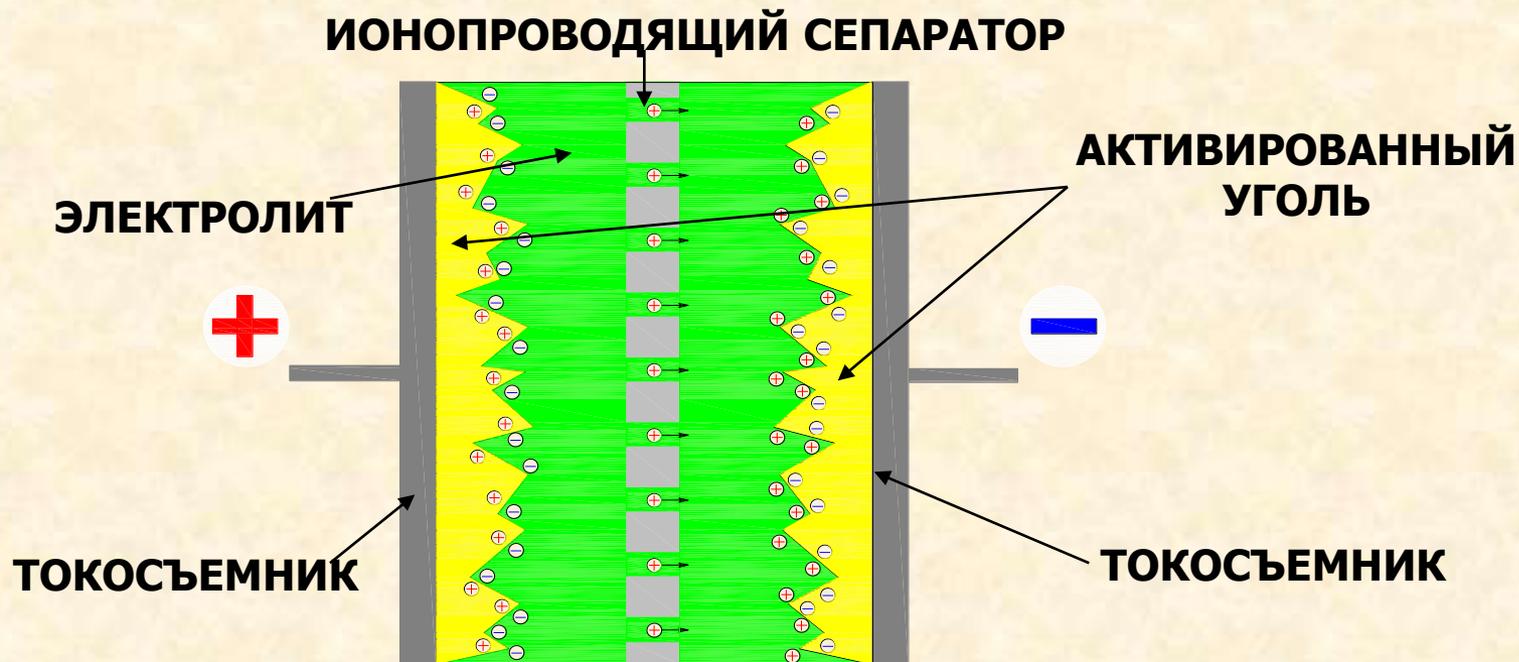
2500 кв.м/г

УДЕЛЬНАЯ ЕМКОСТЬ

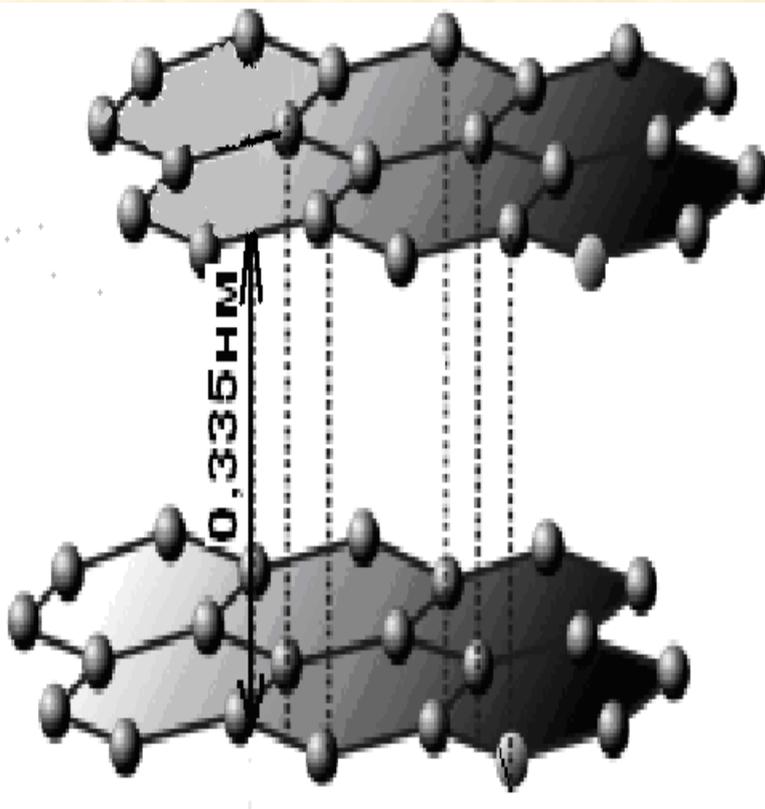
$$C_{[F]} = \varepsilon 8,86 * 10^{-12} [F / m] \frac{S[m^2]}{d[m]}$$

250 F/g

СУПЕРКОНДЕНСАТОР С ДВОЙНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЛОЕМ



ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДА



Размер графеновой плоскости 1 cm x 1 cm

Расстояние между плоскостями 0,335 nm

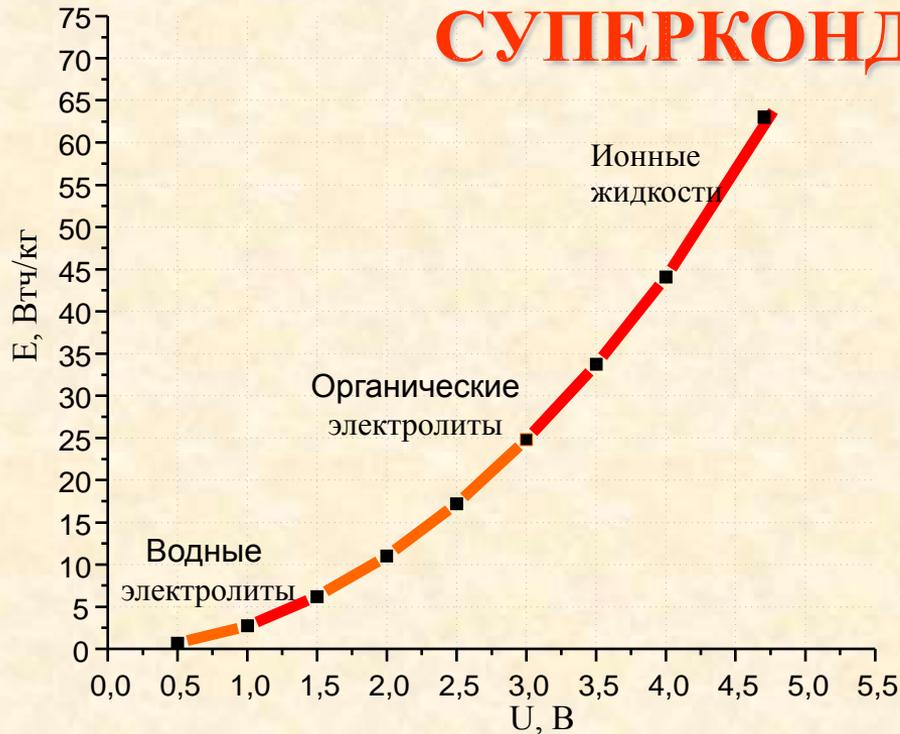
Плотность материала графена $\rho=2,267\text{g/cm}^3$

Объем ячейки $V=3,35\cdot 10^{-8}\text{ cm}^3$

$$m_{\text{электрода}} = \rho * V = 7,59\cdot 10^{-8}$$

$$S' = S / m = 2 / 7.59\cdot 10^{-8} = 2500\text{ m}^2/\text{g}$$

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ



Элементарный суперконденсатор
 Две графеновых плоскости 1x1cm
 Толщина электролита 10^{-7} cm
 Вес активной массы $2,52 \cdot 10^{-7}$ g

ТИП ЭЛЕКТРОЛИТА	НАПРЯЖЕНИЕ РАЗЛОЖЕНИЯ	УДЕЛЬНАЯ ЕМКОСТЬ	УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ
Водные	1,2v	29,7 [$\mu\text{F} / \text{cm}^2$]	12,3 [Wh / kg]
Органические	2,5v	17,0 [$\mu\text{F} / \text{cm}^2$]	29,3 [Wh / kg]
Ионные жидкости	3,5v	10,0 [$\mu\text{F} / \text{cm}^2$]	33,7 [Wh / kg]

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

$$P_{\text{ск}} = U^2 / 4 R_{\text{эл-лит}}$$

Элементарный суперконденсатор

Две графеновые плоскости 1x1cm

Толщина электролита 10^{-7} cm

Электропроводность электролита 0,8 S/cm

Вес активной массы $2,52 \cdot 10^{-7}$ g

$$R_{\text{эл-лит}} = 1,25 * 10^{-7} \text{ Ом}$$

$$P_{\text{ск}} = 0,3 * 10^4 \text{ kW}$$

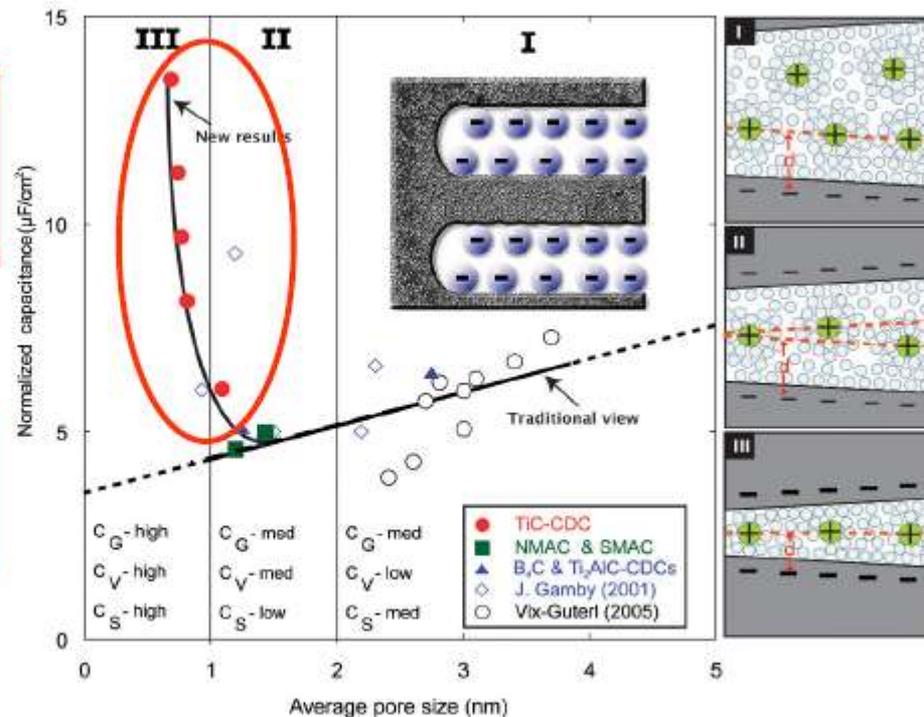
$$P'_{\text{ск}} = P_{\text{ск}} / 2 m = 0,12 * 10^{11} \text{ kW/g}$$

ТЕОРИЯ ДВОЙНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА АНОМАЛЬНОГО УВЕЛИЧЕНИЯ ЕМКОСТИ ПРИ СОГЛАСОВАНИИ РАЗМЕРОВ ПОР И ИОНОВ ЭЛЕКТРОЛИТА

Pores smaller than the solvated ion size are accessible to the ions

High capacitance in micropores; 50% increase



Hypothesis:

→ micropores accessible thanks to the distortion of the ion solvation shell

ТЕОРИЯ ДВОЙНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ

РАЗРАБОТКА ТЕОРИИ ОБЪЕМНОГО ДВОЙНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ ДЛЯ МИКРОПОР

Microporous carbons for EDLCs

1. Anomalous capacitance increase in micropores thanks to ion partial desolvation \rightarrow high-energy EDLCs (+100% $C_{vol.}$)
No power limitation
2. Recast the double layer theory in sub-nanopores



3. Extra capacitance when pore size \approx ion size:
4. Solvent recombination / chemisorption?
 \rightarrow modelling strongly needed to understand this capacitance increase

НАНОСТРУКТУРНЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

Структура пористости

Тип угля	V _{мик} , см ³ /г	V _{мез} , см ³ /г	S, м ² /г
A	0.12	0,25	190
B	0.17	0,16	310
C	0.38	0,71	1040
D	0.38	0,65	1030
E	0.33	0,51	1090

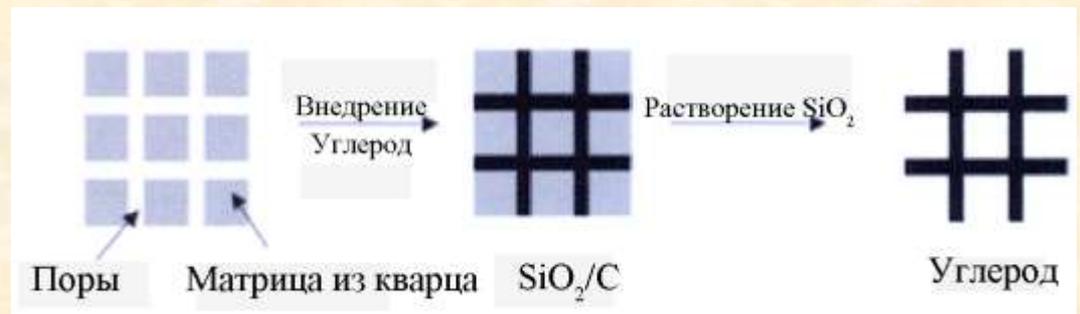
Методы модификации поверхностных групп

Окисление в жидкой фазе
Окисление в газовой фазе
Тепловая обработка в инертной среде N ₂
Обработка с помощью фуллеренов
Облучение холодной плазмой на воздухе и в аргоне

Используемые активные поры

Ультрамикро	- < 0,7 нм
Микро	- 0,7 – 2 нм
Мезо	- 2 – 10 нм
Макро	- > 10 нм

Метод шаблонной карбонизации



ЭЛЕКТРОЛИТЫ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

ВОДНЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ

Проводимость: 0,8 S/см

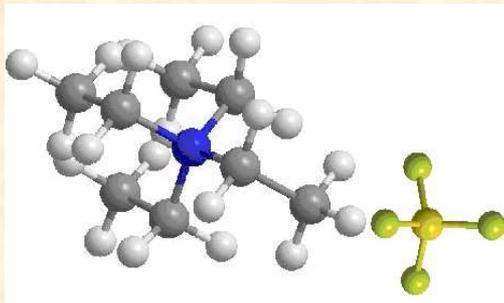
Напряжение разложения: 1,2 в

ОРГАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ

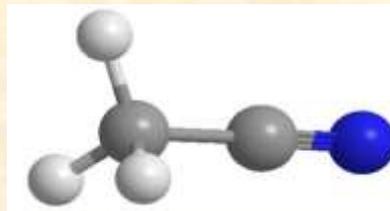
Проводимость: 0,02 S/см

Напряжение разложения: 2,5 в

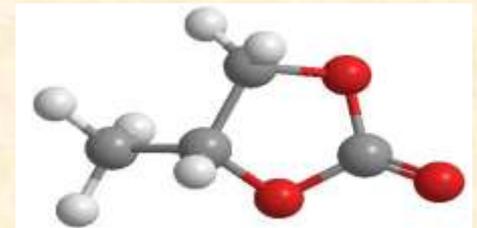
Тетраэтиламмоний
тетрафторборат



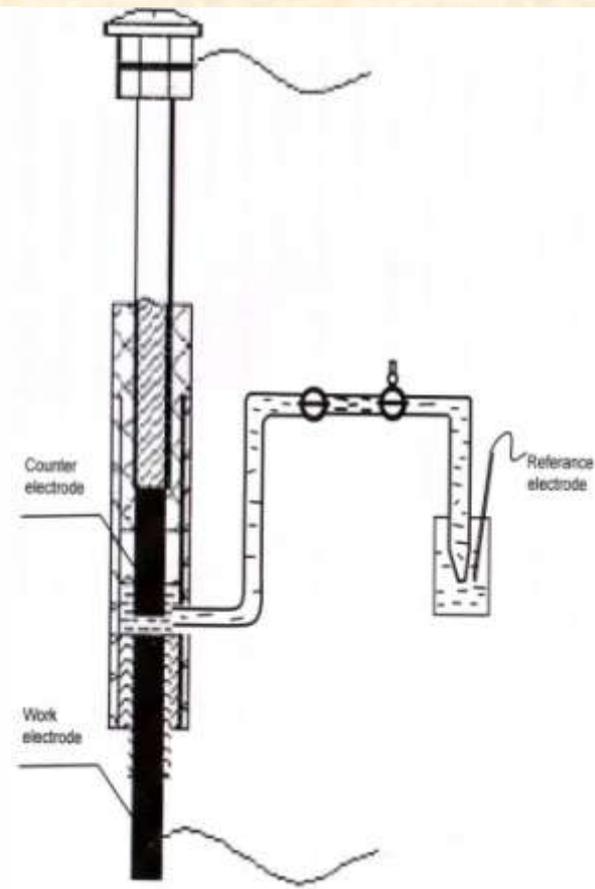
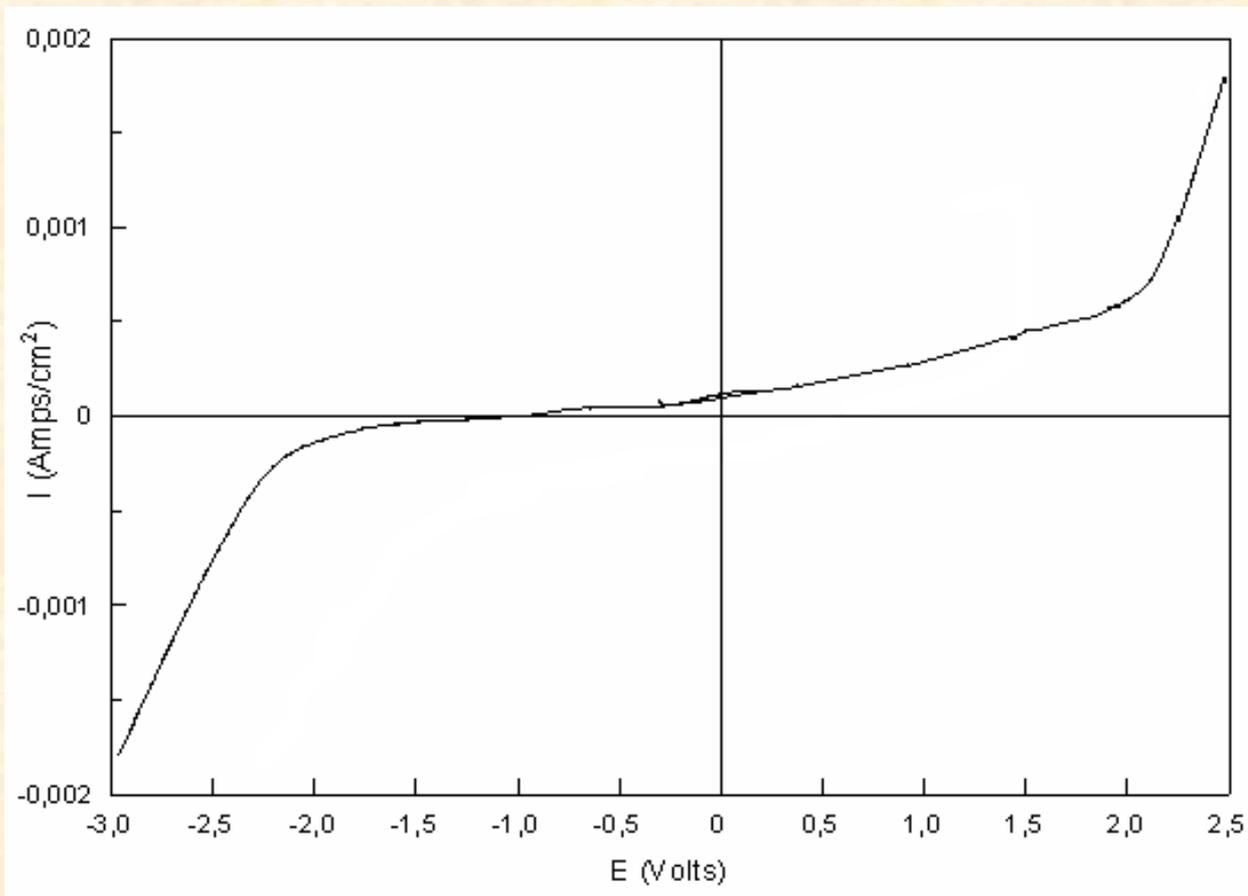
Ацетонитрил



Пропиленкарбонат

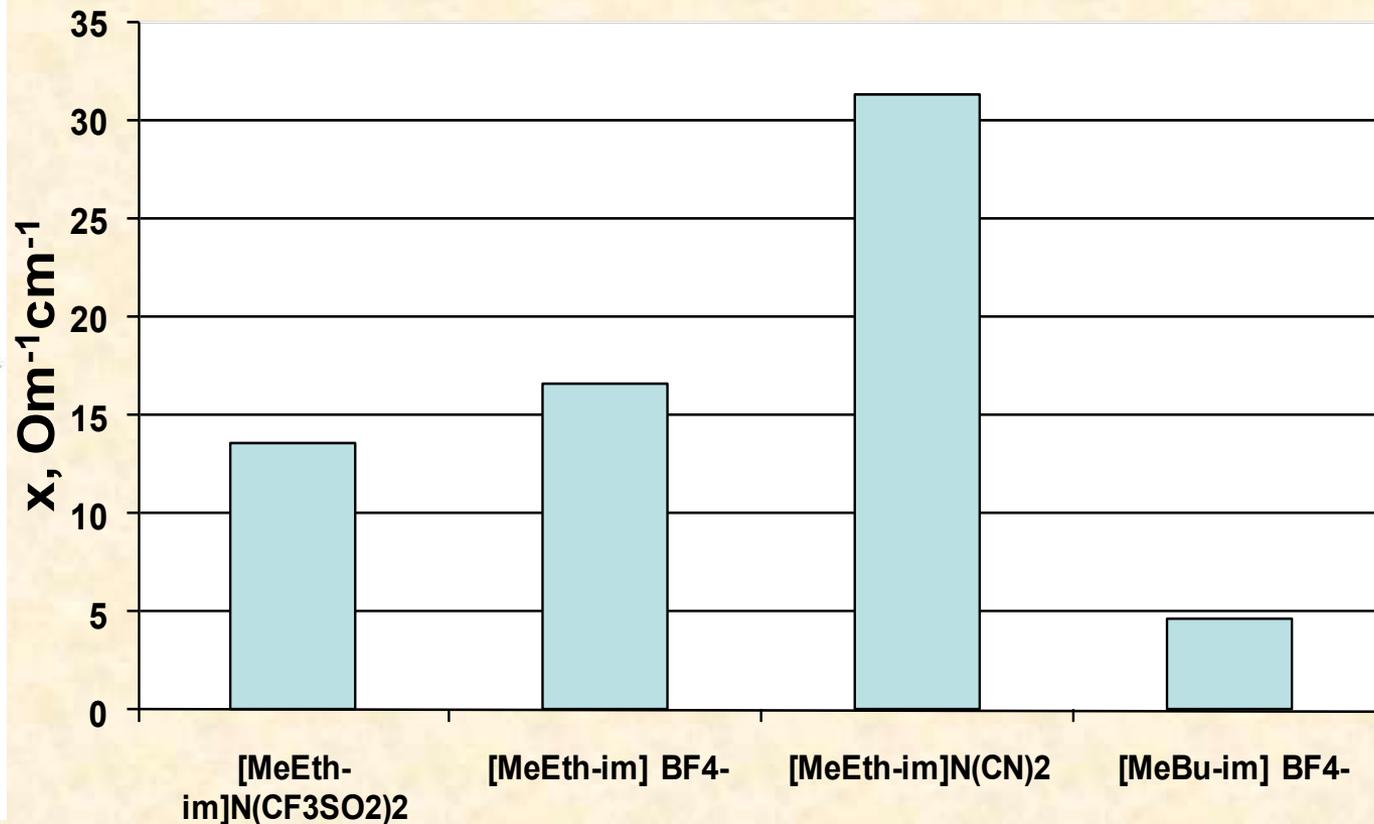
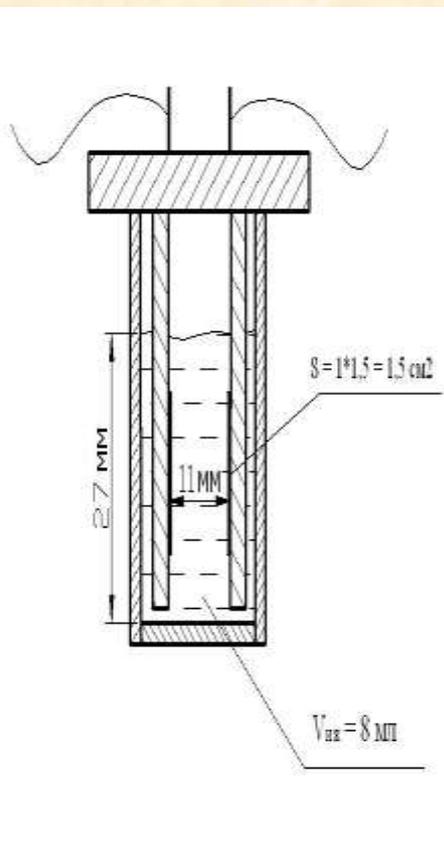


ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОКНО

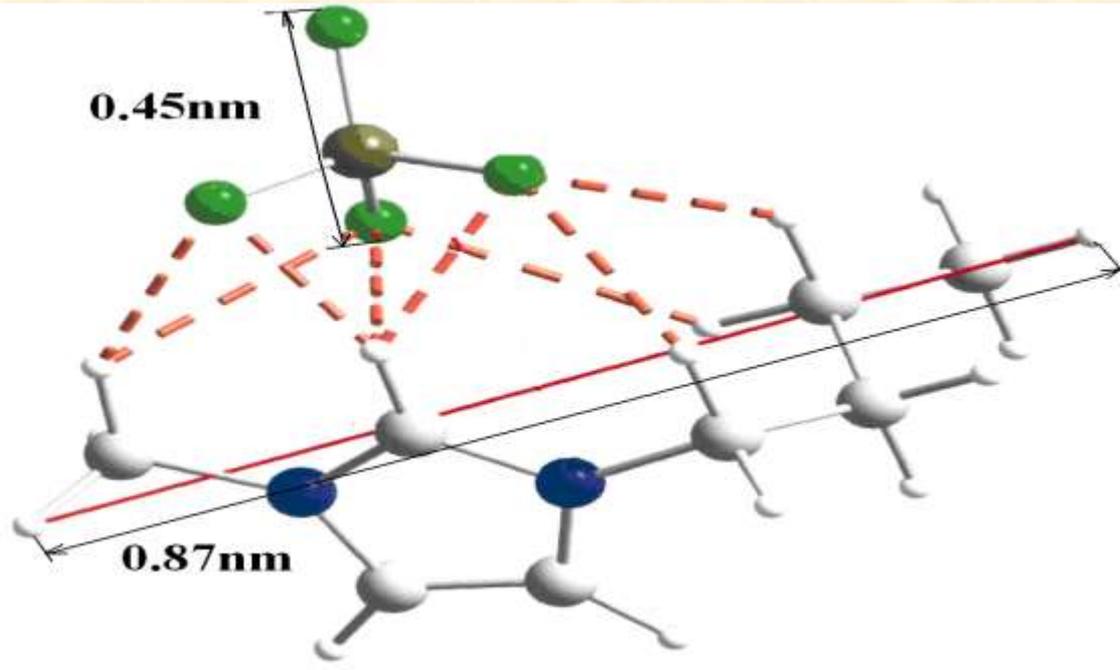


**Вольтамперные характеристики.
Электродный материал изотропный пироуглерод.**

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ИОННОЙ ЖИДКОСТИ



ИОННАЯ ЖИДКОСТЬ 1-МЕТИЛ-3-БУТИЛ ИМИДАЗОЛИЙ ТЕТРАФТОРБОРАТ



Агрегатное состояние	Вязкая жидкость
pH	5 (20°C)
$T_{пл}, °C$	-71-83
$U_{разл}, V$	4.0 – 6.1
$\chi, мСм/см$	1,73 – 3,5
$\rho, г/см^3$	1,20

 Непожароопасна
 Невзрывоопасна

 Не вызывает раздражение

 Не опасна для окружающей среды

 Нетоксична

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ КОНКРЕТНОГО ТИПА ЭЛЕКТРОЛИТА

$$S = [2 (W_{01}) / (W_{01} + 1/\rho) H] = \text{const}$$

$$H = 10,8 b^{2/3} E^{-2/3}$$

$$E_0 - E = bE_0$$

$$W = W_{01} \exp[- (A / E_{01})^2] + W_{02} \exp[- (A / E_{02})^2]$$

где **S** [см²/г] - удельная поверхность пор

W [см³/г] - общий объем пор

W₀₁, W₀₂ [см³/г] - объем микро и мезо пор

H [нм] - ширина пор

ρ [г/см] - плотность углеродного материала

E [кдж/моль] - характеристическая энергия адсорбции

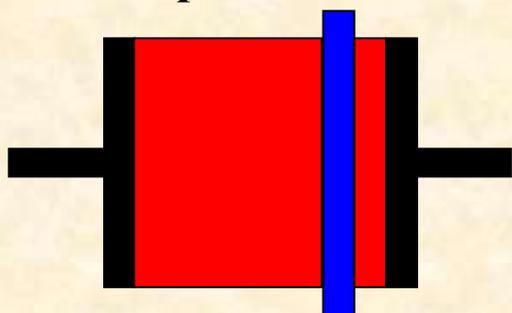
E₀₁, E₀₂ [кдж/моль] - характеристическая энергия адсорбции бензола

b - коэффициент подобия адсорбтива и бензола

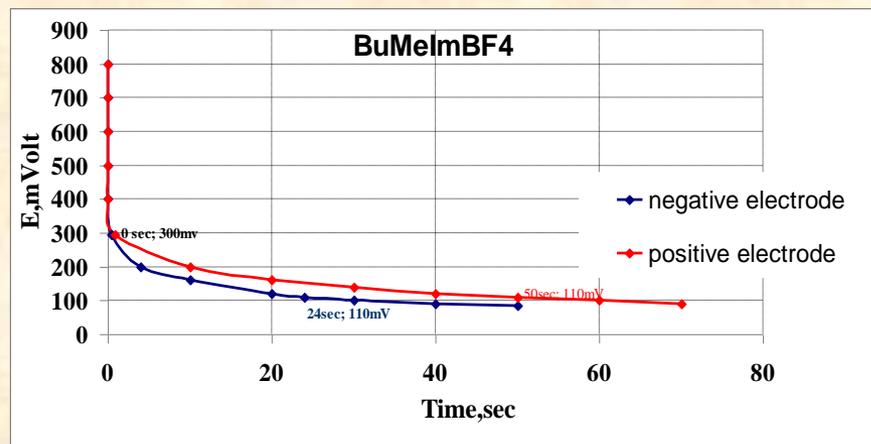
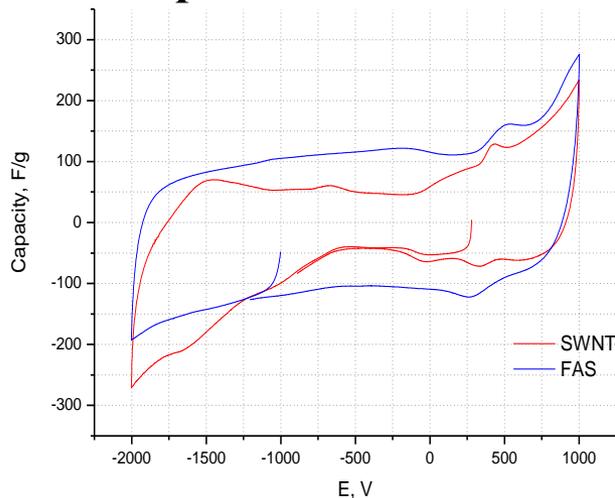
A [кдж] - дифференциальная мольная работа адсорбции

НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КАТОДНОГО И АНОДНОГО ПОТЕНЦИАЛОВ СУПЕКСОНДЕНСАТОРА.

Асимметричная ячейка

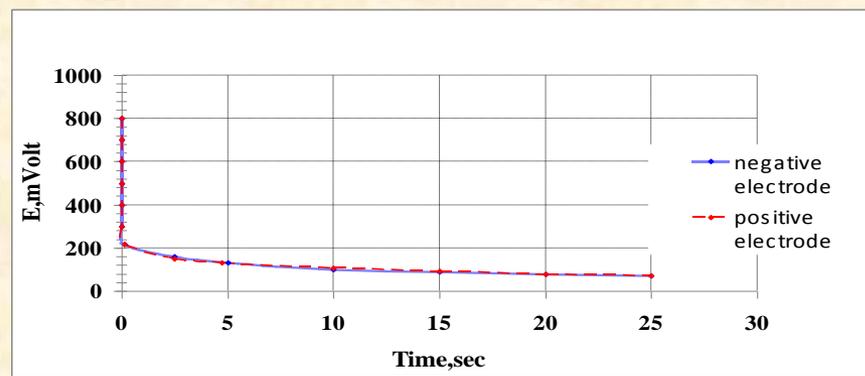


Электрохимическое окно



$$C_{dl-} = 56.62 \text{ F/g}$$

$$C_{dl+} = 117.94 \text{ F/g}$$



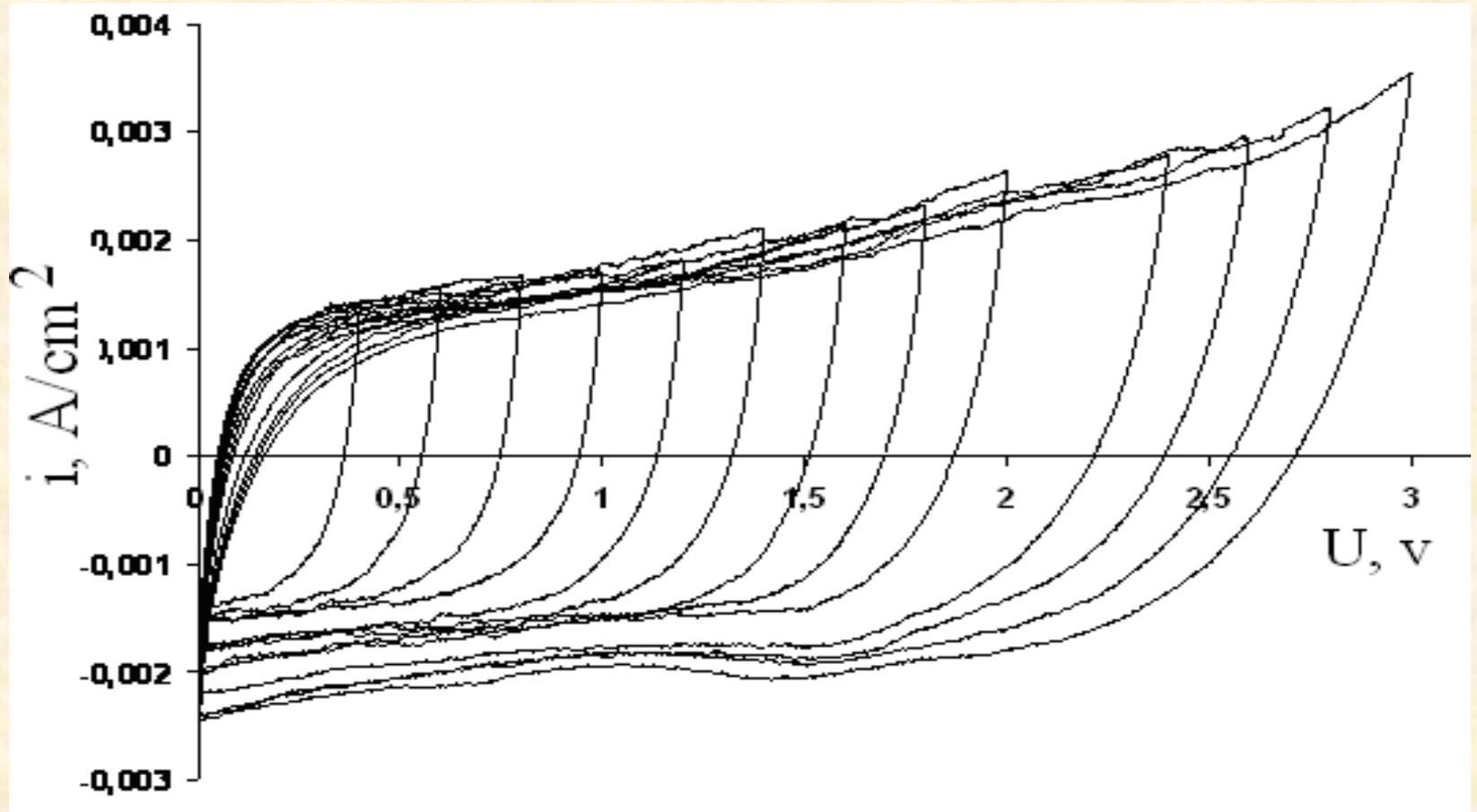
$$C_{dl-} = 83.88 \text{ F/g}$$

$$C_{dl+} = 83.88 \text{ F/g}$$

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОКНО ИОННОЙ ЖИДКОСТИ BuMeImBF₄ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕКТРОДАХ

Электрод	Анодная область [В]	Катодная область [В]	Электрохимическое окно [В]
СКТ-6	1,35	-1,25	2,58
ПФТ-310	0,6	-1,9	2,50
ФЭН	0,55	-1,92	2,47
ФАС	1,62	-1,88	3,50
ФАС _{ох}	1,62	-1,88	3,50

ЦИКЛИЧЕСКИЕ ВОЛЬТАМПЕРОГРАММЫ



Циклическая вольтамперограмма (скорость развертки 5 мВ/с).
Материал электрода – тип С Электролит BuMeImBF_4 .

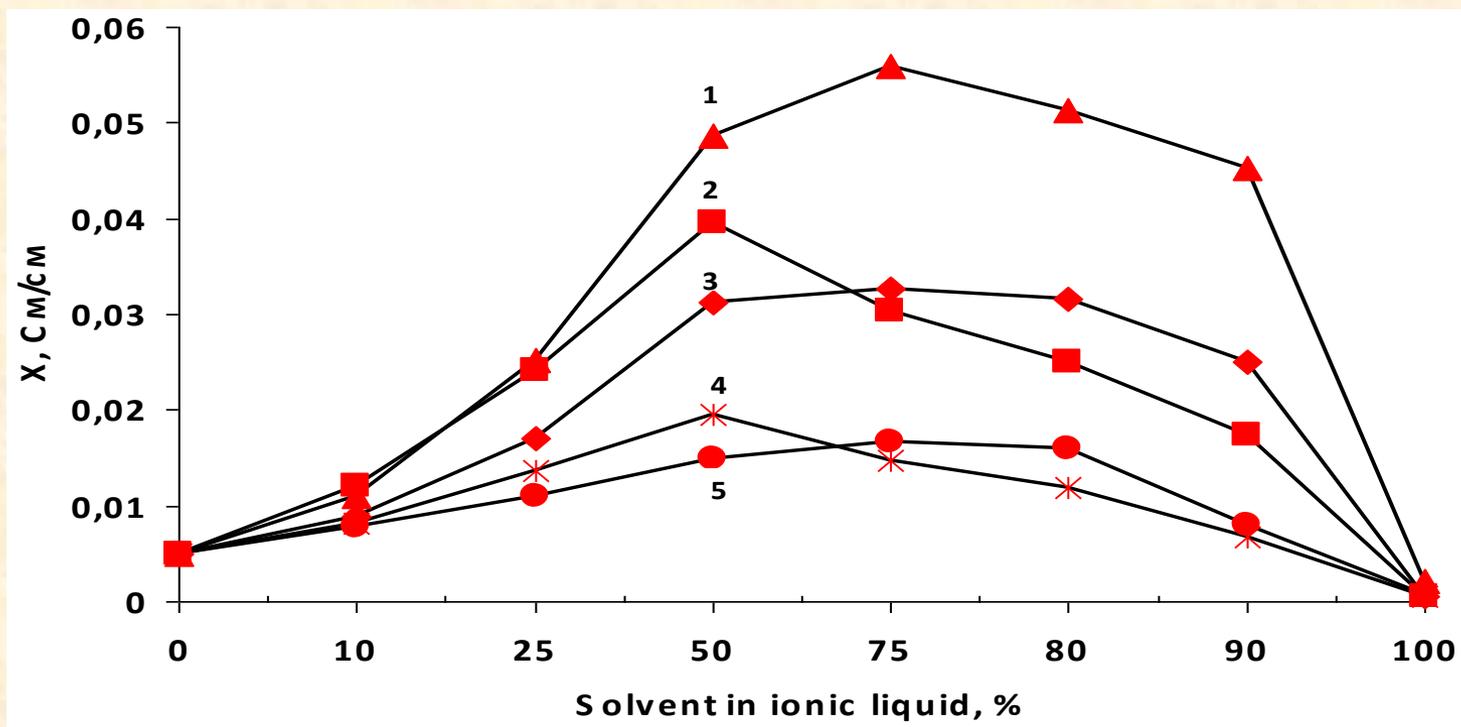
НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ ПО АКТИВНОЙ МАССЕ

Синтез и исследование характеристик новых ионных жидкостей

Разработка новых методов обработки поверхностей углеродных материалов

Разработка активной массы на основе графена

Использование макропор для накопления энергии на основе псевдоемкости



1-IL+Acetonitrile,

2-IL+Methylformat,

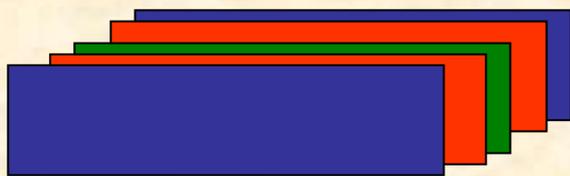
3-IL+N,N dimethylformamide,

4-IL+Dichloromethane,

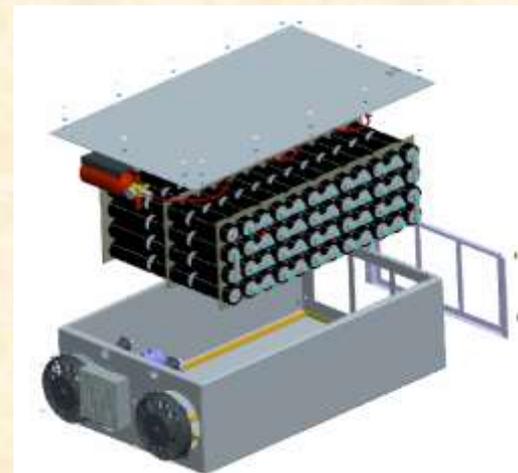
5-IL+Propylenecarbonate

КОНСТРУКЦИИ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

НАМОТОЧНАЯ КОНСТРУКЦИЯ

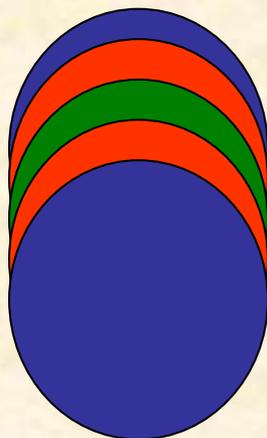


3v

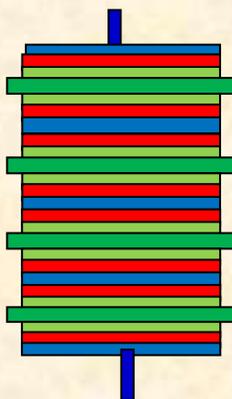


300v

НАБОРНАЯ КОНСТРУКЦИЯ



1v- 3v



Токосъемник

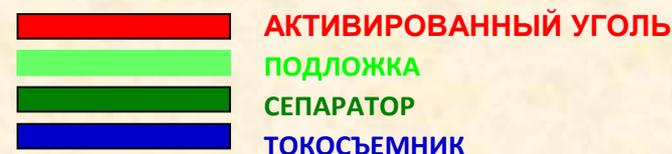
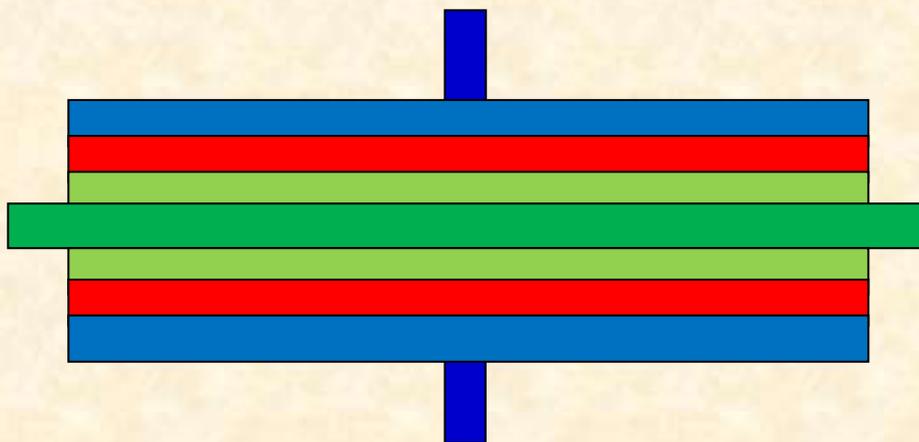
Активированный уголь

Сепаратор



300v

СХЕМА ЭЛЕМЕНТАРНОГО НАБОРНОГО СУПЕРКОНДЕНСАТОРА



ПОРИСТЫЙ МАТЕРИАЛ

- активированный уголь толщиной 0,1 - 5,0 мм, размеры частиц 1 – 30 мкм, размер пор 0,7 – 10 нм

ЭЛЕКТРОЛИТ

- 30% раствор KOH, ионная жидкость [MeBu-im] VF₄

ПОДЛОЖКА

- асбест, арамид толщиной 20 – 30 мкм

СЕПАРАТОР

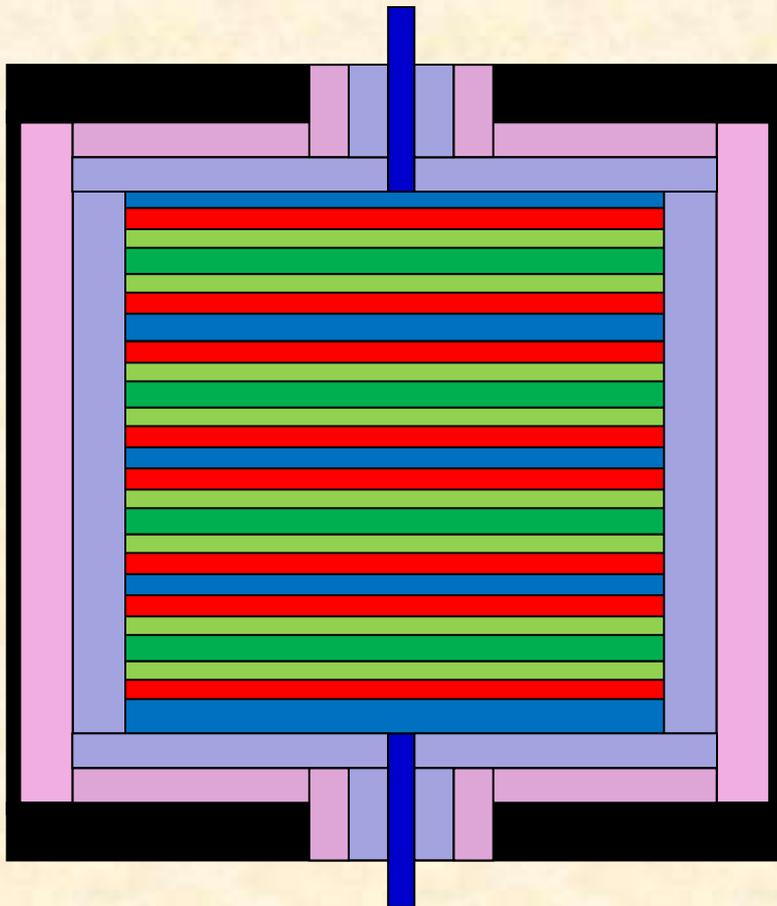
- асбест, арамид толщиной 20 – 30 мкм

ТОКОСЪЕМНИК

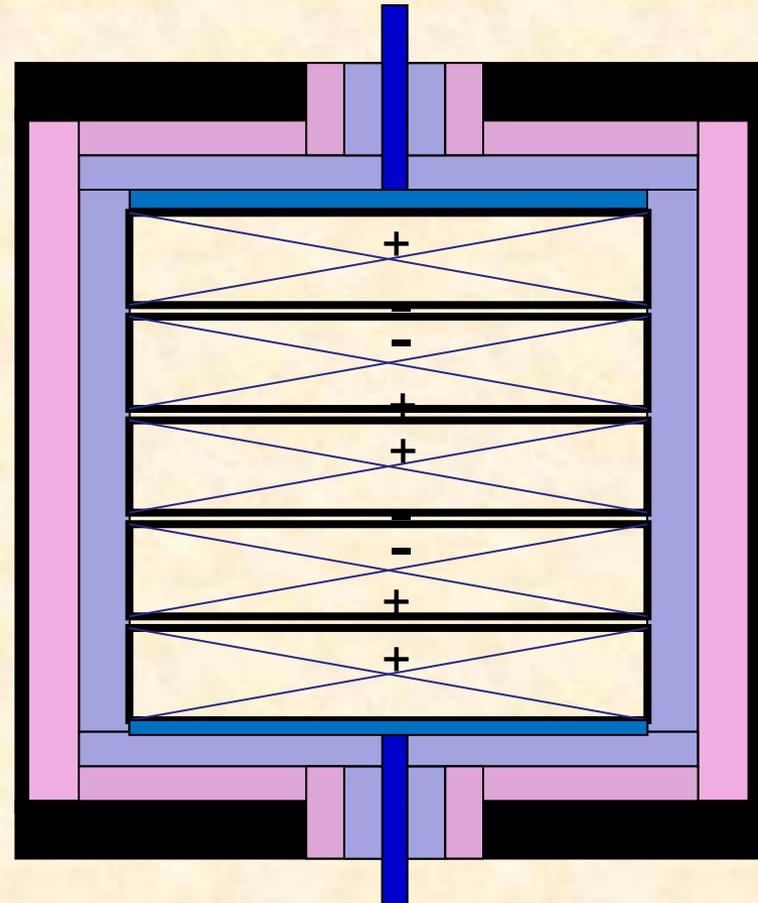
- стальная фольга толщиной 50 мкм

СХЕМА КОНСТРУКЦИИ НАБОРНОГО СУПЕРКОНДЕНСАТОРА

Обеспечение необходимого
напряжения
последовательное
соединение пакета



Обеспечение необходимой
энергии
параллельное
соединение пакетов



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ



Электрическая емкость, Ф	0,1 – 500	Температурный диапазон, °С	- 45 – +60
Напряжение заряда, В	12 – 420	Срок службы, лет	до 15
Энергия, кДж	5 – 150	Устойчивы к воздействию токов К.З.,	
Ток разряда, А	0,5 – 5000	перенапряжений и переполюсовок	
Мощность импульсного разряда, кВт	до 100	Не требуют технического обслуживания	

НОВЫЙ СУПЕРКОНДЕНСАТОР ОИВТ РАН С ИОННОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Водный электролит

Ионная жидкость



ТИП ЭЛЕКТРОЛИТА		РС	КОН
УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ МАКС/НОМ	[кДж/кг]	20,1/14,8	2,8/1,3
	[Вт*час/кг]	5,6/4,1	0,8/0,4
УДЕЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ МАКС/НОМ	[кВт/кг]	2,2/1,7	6.2/2,9

УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

УВЕЛИЧЕНИЕ

12 раз

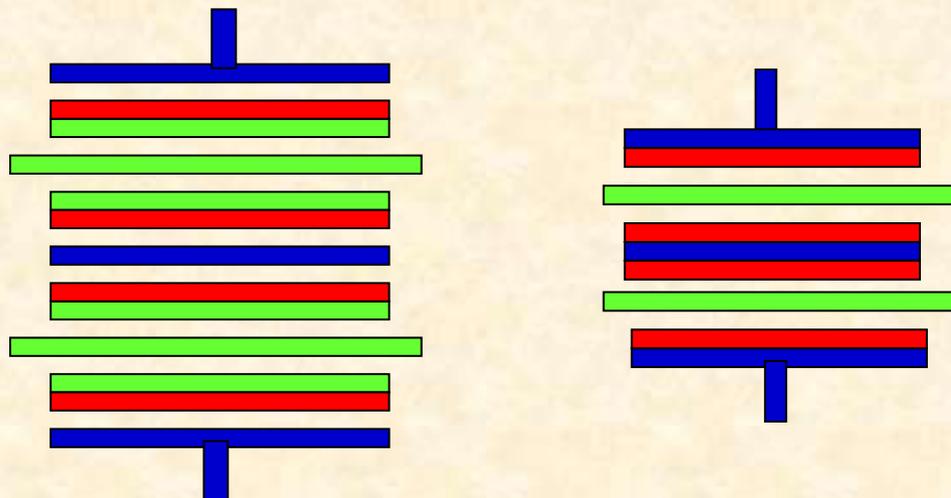
ДВУСТОРОННИЙ ЭЛЕКТРОД



ФОРМА ПРОИЗВОДСТВА

Углеродная лента:	длина	125 м
	ширина	10 – 180 мм
	толщина	150 – 2000 мкм
Токовый коллектор:	материал	– сталь алюминий никель титан
	толщина	30 – 100 мкм

НОВЫЙ СУПЕРКОНДЕНСАТОР ОИВТ РАН НА ДВУСТОРОННИХ ЭЛЕКТРОДАХ



ТИП ЭЛЕКТРОЛИТА		РС	КОН
УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ МАКС/НОМ	[кДж/кг]	14,0/10,7	2,8/1,29
	[Вт*час/кг]	4,0/3,0	0,78/0,36
УДЕЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ МАКС/НОМ	[кВт/кг]	12,0/9,3	6.2/2,9

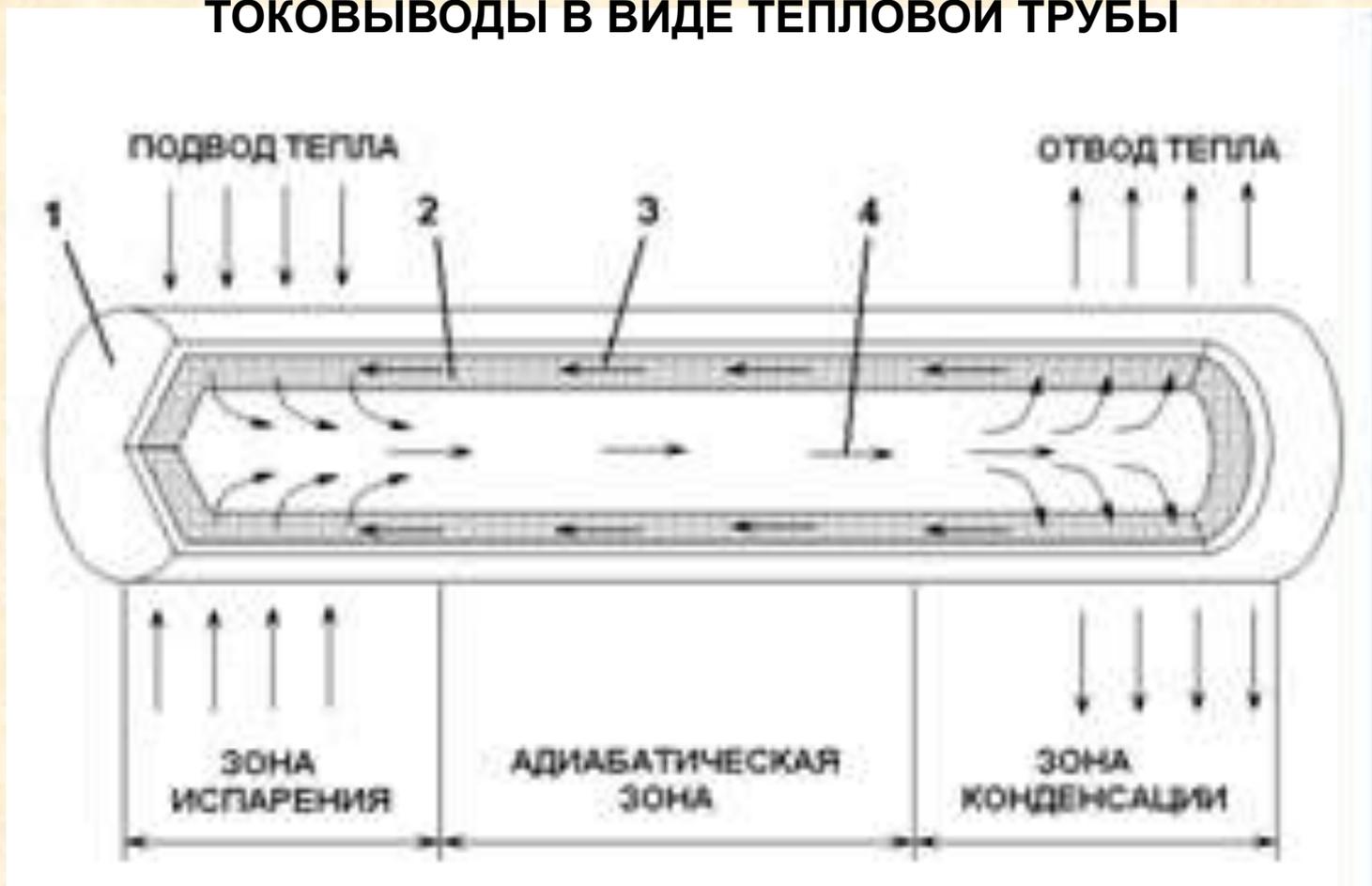
УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ
УДЕЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ



8 раз
3 раза

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СУПЕРКОНДЕНСАТОРА

ТЕПЛОТВОД ОТ ГЕРМЕТИЗИРОВАННОЙ АКТИВНОЙ МАССЫ ЧЕРЕЗ ТОКОВЫВОДЫ В ВИДЕ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ



1 - корпус ТТ;

2 - капиллярная структура;

3 - жидкий теплоноситель;

4 - пар

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СУПЕРКОНДЕНСАТОРА

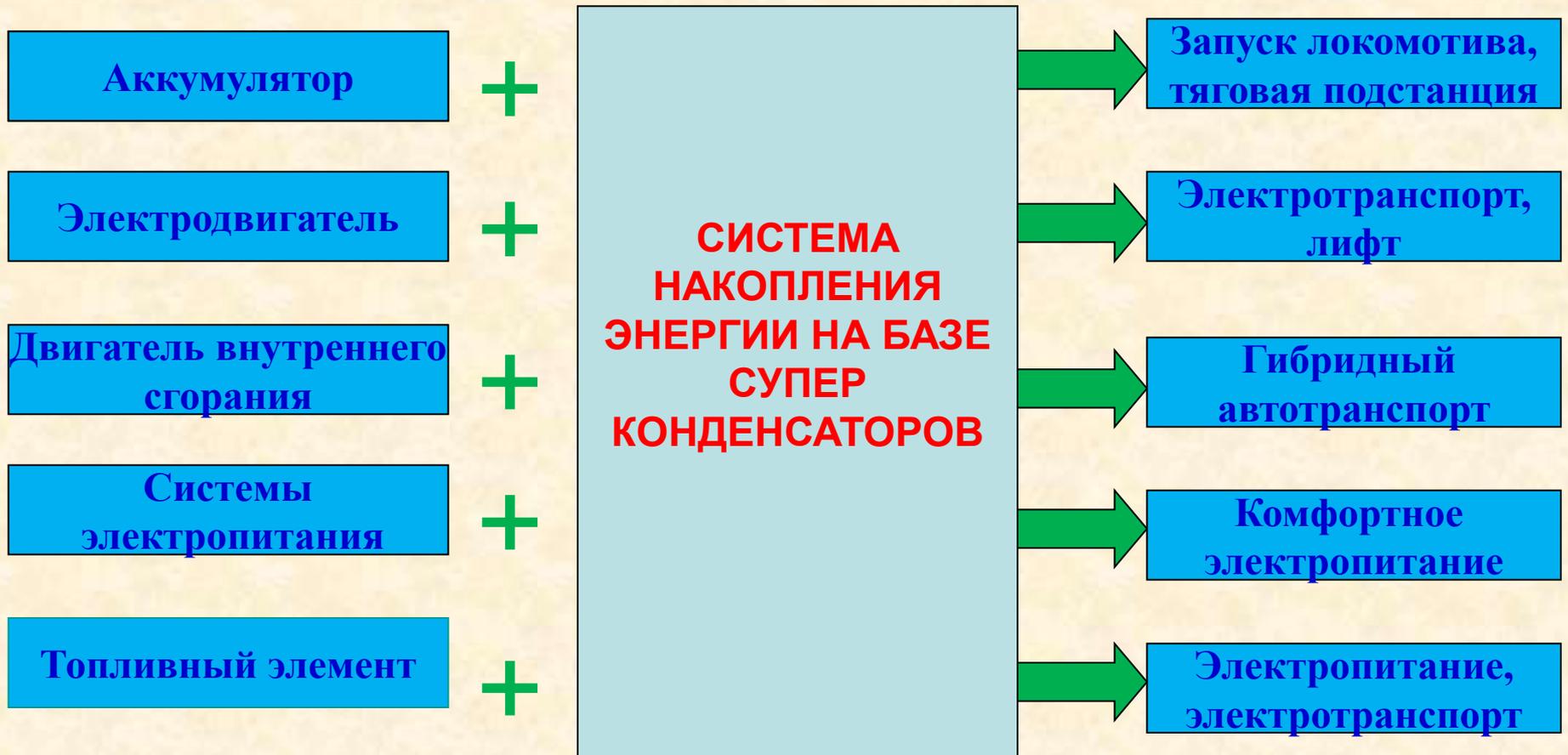
РАЗРАБОТКА ПОЛИМЕРНОГО КОРПУСА



- Активная масса
- Металл
- Полимер
- Герметик
- Изолятор
- Токовывод
- Запор

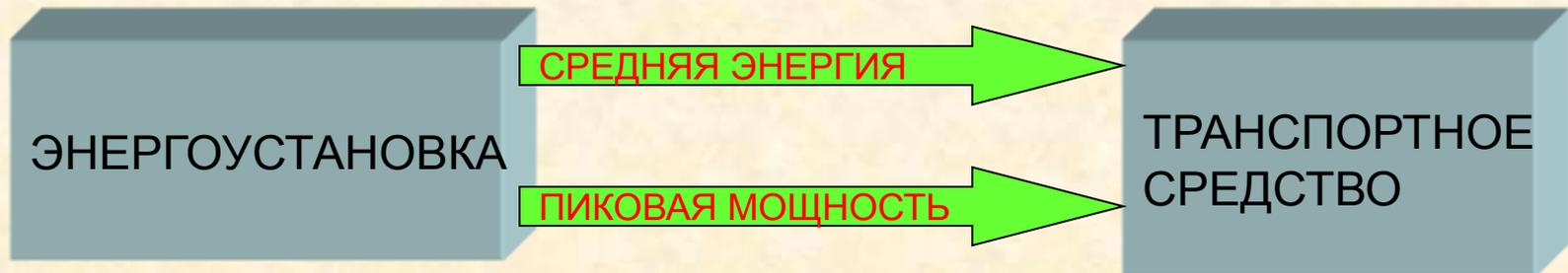


ВИДЫ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК



ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

ОБЫЧНАЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКА

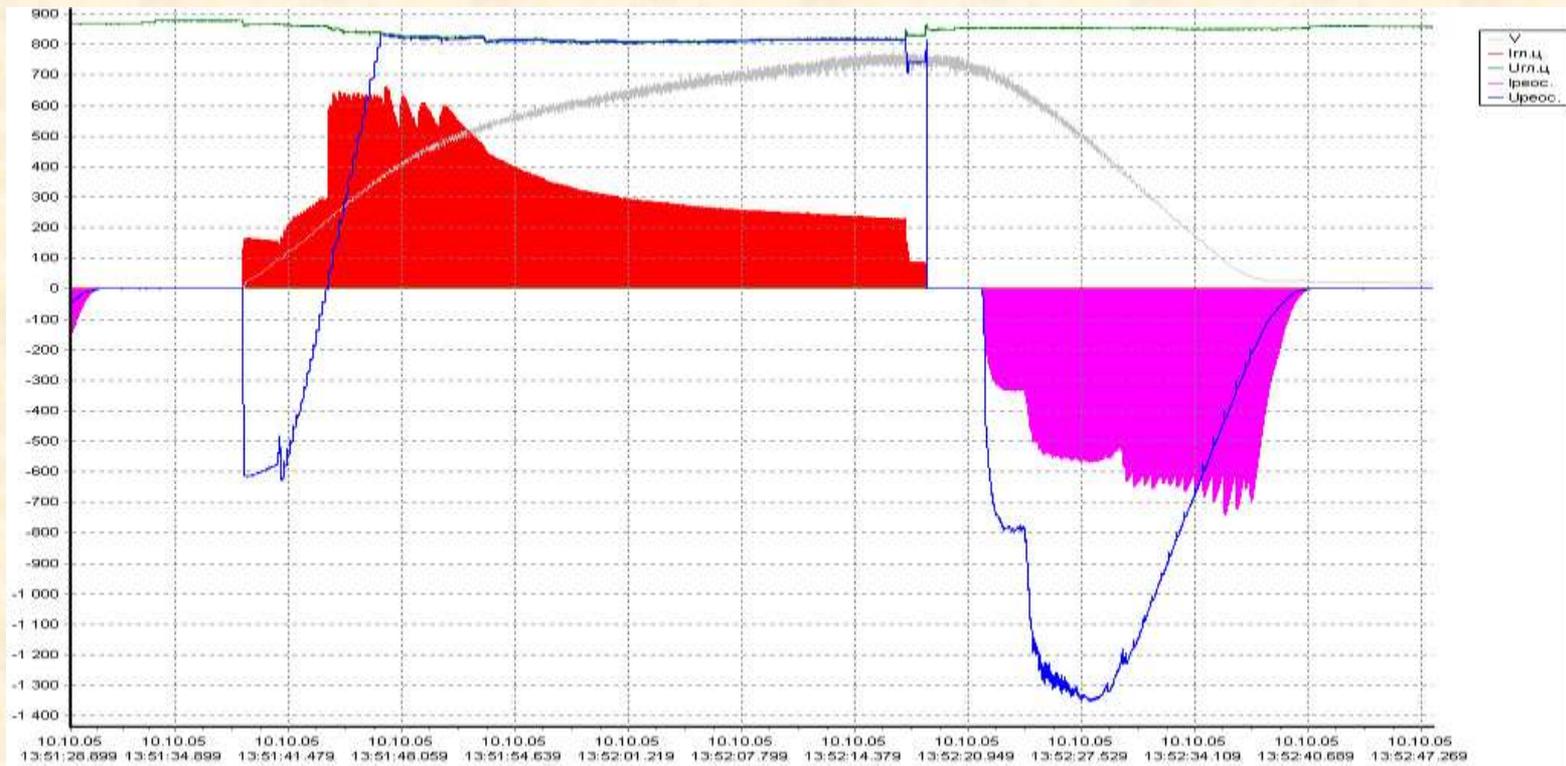


КОМБИНИРОВАННАЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКА



ОЦЕНКА ЭНЕРГИИ ТОРМОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

ГРАФИКИ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЖИМЕ УСКОРЕНИЕ - ТОРМОЖЕНИЕ



ПРИМЕНЕНИЕ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТЕ

**ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЗА СЧЕТ
РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ ТОРМОЖЕНИЯ
(НА ЕДИНИЦУ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА)**

ВИД ТРАНСПОРТА	МАССА (ТОНН)	ЭКОНОМИЯ В ГОД (МВТ-ЧАС)
МЕТРОПОЕЗД	160	360
ЭЛЕКТРОПОЕЗД	650	360
ТРАМВАЙ	42	100
ТРОЛЛЕЙБУС	18	45

ПРИМЕР ГИБРИДНОГО АВТОБУСА NASA С СУПЕРКОНДЕНСАТОРАМИ

ОБЫЧНЫЙ АВТОБУС

**МОЩНОСТЬ
ДИЗЕЛЯ
150 Квт**

**ПОТРЕБЛЕНИЕ
ТОПЛИВА
0,2 л/милю**

**УРОВЕНЬ
ЭМИССИИ
1,2**



NASA-199-20889C, 1999

ГИБРИДНЫЙ АВТОБУС

**МОЩНОСТЬ
ДИЗЕЛЯ
66 Квт**

**ПОТРЕБЛЕНИЕ
ТОПЛИВА
0,09 л/милю**

**УРОВЕНЬ
ЭМИССИИ
0,15**

ИСТОЧНИК МОЩНОСТИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ



ПУСК ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Суперконденсаторы

для пуска двигателей автомобилей

Назначение: Источник стартерного тока для бортовых систем пуска карбюраторных и дизельных двигателей внутреннего сгорания автомобилей

Эффект применения:

- Увеличение пусковой мощности
- Уменьшение тока АБ, продление срока службы АБ
- Надежный пуск при значительном снижении емкости АБ
- Улучшение качества напряжения бортовой сети

Технические характеристики

Напряжение заряда, В 12....24....12/24....24/48

Электрическая ёмкость, Ф 70..90..100..120..180..210

Диапазон рабочих температур, °С: - 35....+60.

Наработка за срок службы 100 000 км пробега ВАТ

Стойкость к внешним воздействующим факторам по ГОСТ 20.39.304-98 группы 1.3 и 1.4.1.

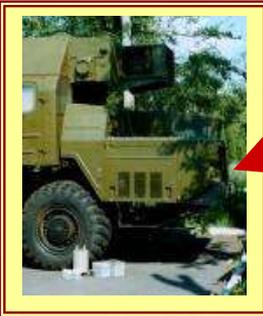
. Количество пусков за срок службы не ограничено.

Выдерживают токи короткого замыкания, пожаро-взрывобезопасны.

Корпус герметичный стальной с антикоррозийным покрытием.

Не требуют обслуживания.

Срок службы - 15 лет.



ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЖД НА ОСНОВЕ СУПЕРКОНДЕНСАТОРНЫХ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ



ТЯГОВЫЕ ПОДСТАНЦИИ

- Экономия электроэнергии 15%
- Экономия обслуживания 2- раза

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

- Экономия электроэнергии – 25%
- Снижение нагрузки на сеть – 15%
- Автономное перемещение



ГИБРИДНЫЙ ТРАНСПОРТ

- Экономия топлива – 50%
- Снижение эмиссии – 10 раз

ЗАПУСК ДВС

- Снижение мощности АБ – 2 раза
- Увеличение срока АБ – 1,5 раз
- Запуск до температур - (-40)⁰ С



ПРИМЕНЕНИЕ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОЕЗДА

МЕТРОПОЕЗД

- ВЕС – 160 Т
- РАССТОЯНИЕ – 800 М
- СКОРОСТЬ – 15 КМ/ЧАС
- ВРЕМЯ – 280 СЕК

СУПЕРКОНДЕНСАТОРЫ:

- НАПРЯЖЕНИЕ – 640 V;
- ЕМКОСТЬ – 5,6 F;
- ЭНЕРГИЯ – 1,3 МJ;
- КОЛИЧЕСТВО В БАТАРЕЕ- 14;
- ОБЩИЙ ВЕС - 530 КG.



ДЕМОНСТРАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЕТСКОГО АВТОМОБИЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО ОТ СУПЕРКОНДЕНСАТОРА



Время работы
без подзарядки
5 минут

ПРИМЕНЕНИЕ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ В СТАЦИОНАРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Крупные энергосистемы

- Покрытие пиковых нагрузок
- Повышение качества и надежности энергоснабжения
- Регулирование частоты



- Потребители электрической энергии
 - Использование разницы в дневных и ночных тарифах
 - Покрытие пиковых нагрузок

- Автономное энергоснабжение
 - Резервное электроснабжение
 - Интеграция с возобновляемыми источниками энергии



СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ГИБРИДНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

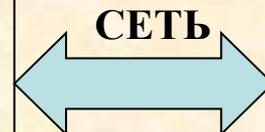
**БАТАРЕЯ
СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ**



**УСТРОЙСТВА
СОПРЯЖЕНИЯ
С СЕТЬЮ**



**БАТАРЕЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ
АККУМУЛЯТОРОВ**



ГИБРИДНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ ГНЭ 100

ОБЩИЙ ВИД



ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Номинальная активная мощность, (кВт)	100
Номинальное напряжение (3-ф, 50 Гц), кВ	0,4
Энергоемкость, (кВт×ч)	100
Номинальный выходной фазный ток (А)	152
Диапазон напряжений звена постоянного тока, (кВ)	0,43 - 0,82
Время работы с номинальной нагрузкой (часы)	1,0
Диапазон регулирования реактивной мощности (квар)	0÷100
КПД в цикле заряд-разряд не менее (%)	0,75
Вероятность безотказной работы за весь срок службы	0,99
Назначенный срок эксплуатации, не менее (лет)	10 44

БАТАРЕЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ЛИБ 100

Всего 168 аккумуляторов (60+60+48)
Электротехническая система LiFePO_4/C

Технические
характеристики



Вид без дверей

Номинальная активная мощность, (кВт)	100
Номинальное напряжение (3-ф, 50 Гц), кВ	0,4
Энергоемкость, (кВт-час)	100
Время работы с номинальной мощностью, (час)	1,0
Диапазон регулирования реактивной мощности (квар)	0÷100
КПД в цикле, не менее (%)	85
Ресурс, не менее (циклов заряд-разряд)	1500
Вероятность безотказной работы за весь срок службы	0,99
Назначенный срок эксплуатации, не менее (лет)	10 45

БАТАРЕЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

БСК 100

20 суперконденсаторов МНЭ-0,93/360Б

Напряжение 360 В Емкость 0,93 Ф

Масса 38 кг

Технические
характеристики



Вид без дверей

Номинальное статическое напряжение заряда, (кВ)	0,72
Напряжение при разряде, (кВ)	0,4
Диапазон напряжений при разряде, (кВ)	0,36-0,72
Номинальная динамическая активная мощность при разряде, (кВт)	100
Время работы в динамическом режиме с номинальной мощностью, в диапазоне, (сек)	5 ÷ 10
Ресурс, не менее. циклов	150000
КПД в цикле, не менее (%)	85
Вероятность безотказной работы за срок службы	0,99
Назначенный срок эксплуатации, не менее, лет	10 46

УСТРОЙСТВО СОПРЯЖЕНИЯ С СЕТЬЮ УСС 100

УСС-100 БСК

УСС-100 ЛИБ

Технические характеристики

Номинальная активная мощность, (кВт)	100
Номинальное напряжение звена постоянного тока (кВ)	0,43 - 0,82
Номинальное напряжение (3-ф, 50 Гц), (кВ)	0,4
Коэффициент гармоник тока сети не более (%)	7
Время работы с перегрузкой по току сети не менее (сек)	1,5 10
Скорость обмена по CAN (кбит/с)	250
Назначенный срок эксплуатации, не менее (лет)	10

Вид без дверей

СТЕНД ИСПЫТАНИЙ ГИБРИДНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

БЛОК ГЕНЕРАЦИИ

ГАЗОТУРБИННАЯ
УСТАНОВКА
1250 кВт

ТРАНСФОРМАТОР
6,3 / 0,4 кВ

ГИБРИДНЫЙ
НАКОПИТЕЛЬ
ЭНЕРГИИ

СИСТЕМА
УПРАВЛЕНИЯ
ИСПЫТАНИЯМИ

ПОТРЕБИТЕЛИ

33 кВт

66 кВт

99 кВт

32 кВт

32 кВт

БЛОК ТЕСТОВЫХ НАГРУЗОК

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ГНЭ

1. Проведенные испытания показали, что при периодическом изменении нагрузки с периодом 1, 2, 5, 10, 100 сек в диапазоне от 0 до 100 кВт обеспечивается стабилизация перетоков активной и реактивной мощности из сети с помощью гибридного накопителя: при этом возмущающие воздействия нагрузки высокочастотного спектра (с периодом 1-10 сек) компенсируются с помощью суперконденсаторов, а возмущающие воздействия нагрузки низкочастотного спектра (с периодом более 10 сек) компенсируются с помощью аккумуляторных батарей.

2. Использование ГНЭ на базе литий-ионных аккумуляторов и суперконденсаторов позволяет не только эффективно компенсировать кратковременные и продолжительные возмущения, но и существенно поднять ресурс и надежность аккумуляторных батарей, оптимизируя режим их работы.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Сформулировано понятие объемного двойного электрического слоя, образующегося на границе высокодисперсного пористого материала при согласовании размеров пор и ионов электролита

Разработаны основные понятия теории оптимизации пористой структуры высокодисперсного пористого материала по критерию максимизации поверхности двойного электрического слоя при контакте с конкретным типом электролита.

Изучен механизм электрохимических реакций на межфазной границе электрод/электролит.

Впервые в мировой практике обосновано и экспериментально подтверждено использование нетоксичного органического электролита на основе чистой ионной жидкости для использования в наборных суперконденсаторах.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Сформировано научное направление и координируются систематические фундаментальные и прикладные исследования по:

- разработке теоретических и экспериментальных методов исследований накопления энергии в двойном электрическом слое;
- модернизации существующих технологий и создании нового поколения суперконденсаторов с повышенными энергетическими характеристиками;
- реализации энергосберегающих технологий на базе суперконденсаторных систем накопления энергии.

Основные участники работы

Институты РАН	ВУЗы	Компании	Зарубежные фирмы
ОИВТ	МГУ	ОАО «ВНИИЖТ»	Institut Electrotechniki (Poland)
ИНЭОС	МИИТ	НПО «НЕОРГАНИКА»	INRETS (France)
ИФХТ	МВТУ	НПО «ТЕХНОКОР»	TOMA GmbH (Germany)
ИВС	РХТУ	НПО «СПТ»	ENEA (Italy)
ИБХФ		НПО «ССК»	NESSCAP (Korea)
		НПО «РИКОН»	UNOB (Czech Republik)

ОСНОВНЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработан и изготовлен опытный образец наборного суперконденсатора с нетоксичным электролитом на основе ионной жидкости, удельная запасенная энергия которого в 12 раз выше, чем у существующих наборных суперконденсаторов.

Разработан и изготовлен опытный образец наборного суперконденсатора с двухсторонними электродами, удельная запасенная энергия которого в 8 раз, а удельная мощность в 2 раза выше, чем у существующих наборных суперконденсаторов.

Разработаны и внедрены мобильные суперконденсаторные системы накопления энергии для пуска автомобильных / железнодорожных дизелей и систем рекуперации тормозной энергии транспортных средств.

Разработаны и изготовлены стационарные суперконденсаторные системы накопления энергии для интеллектуальных электроэнергетических сетей и тяговых подстанций РЖД