# ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

**VI Белорусско-Германский энергетический форум**

*Д.ф.-м.н., проф. Добрего К.В.*

г. Минск
8 октября 2018 г.

# ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

- Общие тенденции рынка накопителей энергии
- «Граничные условия» развития накопителей в Беларуси
- Общая информация о типах электрохимических накопителей
- Использование АКБ в энергетике
- Критерии экономической эффективности АКБ
- Методы увеличения жизненного цикла
- Некоторые технические средства совершенствования АКБ

# ТЕНДЕНЦИИ РЫНКА НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

- Benchmark Mineral Intelligence (BMI) прогноз: 2017-2027 мировой спрос на АКБ вырастит в 7 раз
- IHS Markit прогноз 2106: емкость сетевых накопителей энергии в мире к 2025 г. ~ 21 ГВт.ч
- Energy Storage Summit 2017, опрос экспертов: к 2022 г. построят ESS - до 60% электростанций
- В 2017 году мощность новых объектов хранения в аккумуляторных батареях для общих энергосетей и коммунального сектора - 1,2 ГВт
- Штат Калифорния (США) законодательно к 2020 г., - операторы сети строят ESS на 1,3 ГВт.

Рис. Рост рынка ESS аналитика сайта Минэнерго РФ

# ТЕНДЕНЦИИ РЫНКА НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

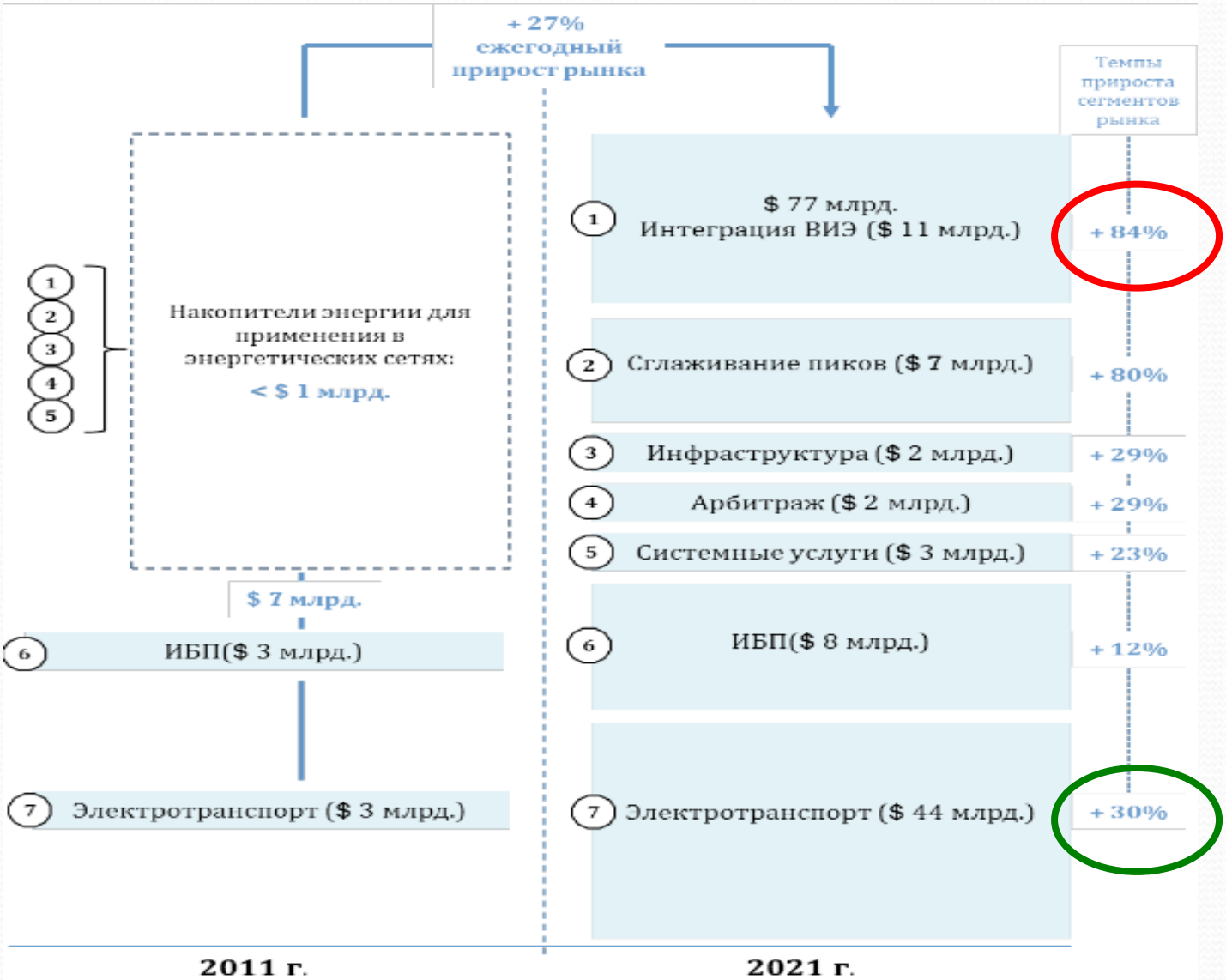



**Рис. Прирост рынка по секторам использования накопителей (эл. ресурс Минэнерго РФ)**

# ТЕНДЕНЦИИ РЫНКА НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

- **<u>Bloomberg New Energy Finance</u> прогноз:**

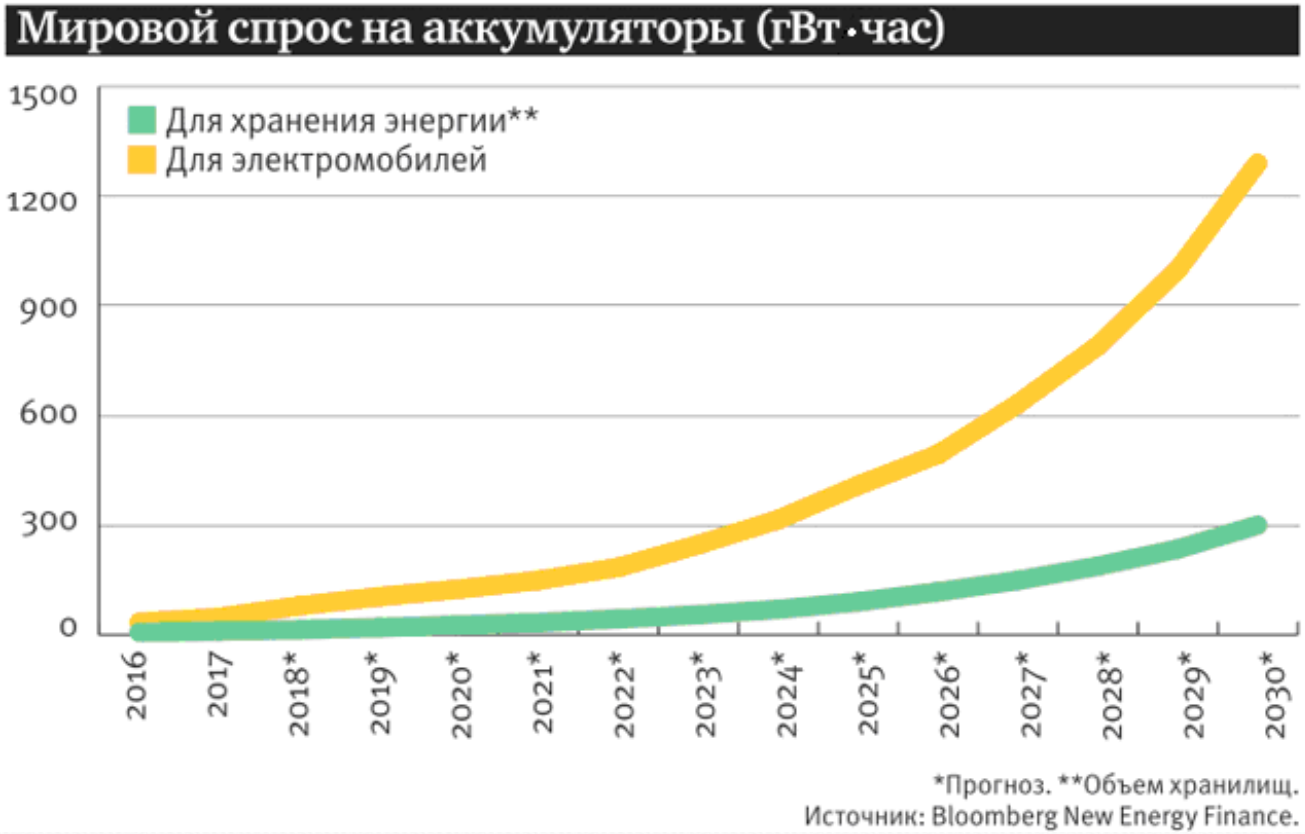



**Рис. Прогноз Bloomberg New Energy Finance**

# ТЕНДЕНЦИИ РЫНКА НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

**Т.о.**
**- Наибольший рост рынка обеспечивает использование АКБ в энергетике ( 23 - 84 %)**
**- В энергетике – интеграция ВИЭ (до 84 % в год)**
**- Среди ВИЭ лидер рынка – солнечная энергетика**

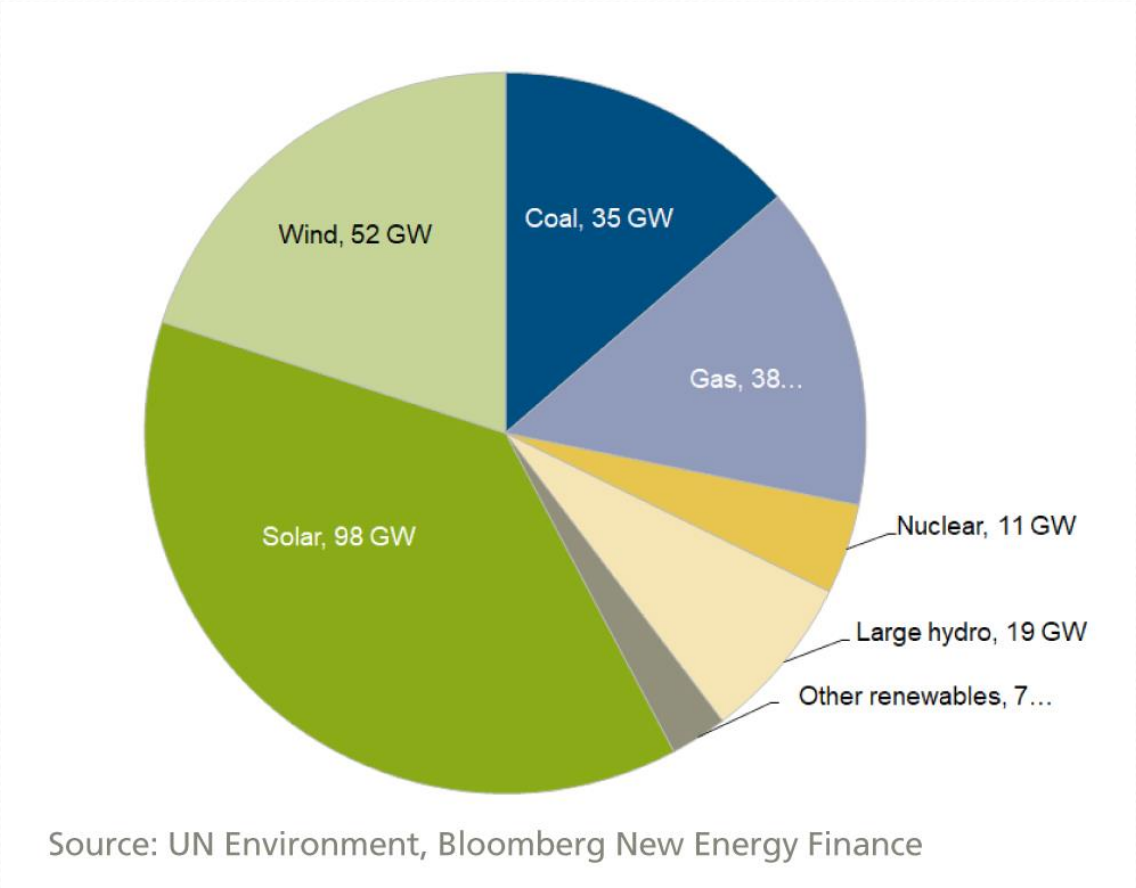



**Рис. Ввод новых мощностей генерации в мире по источникам энергии, 2017**

# «ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ» ДЛЯ РАЗВИТИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В РБ

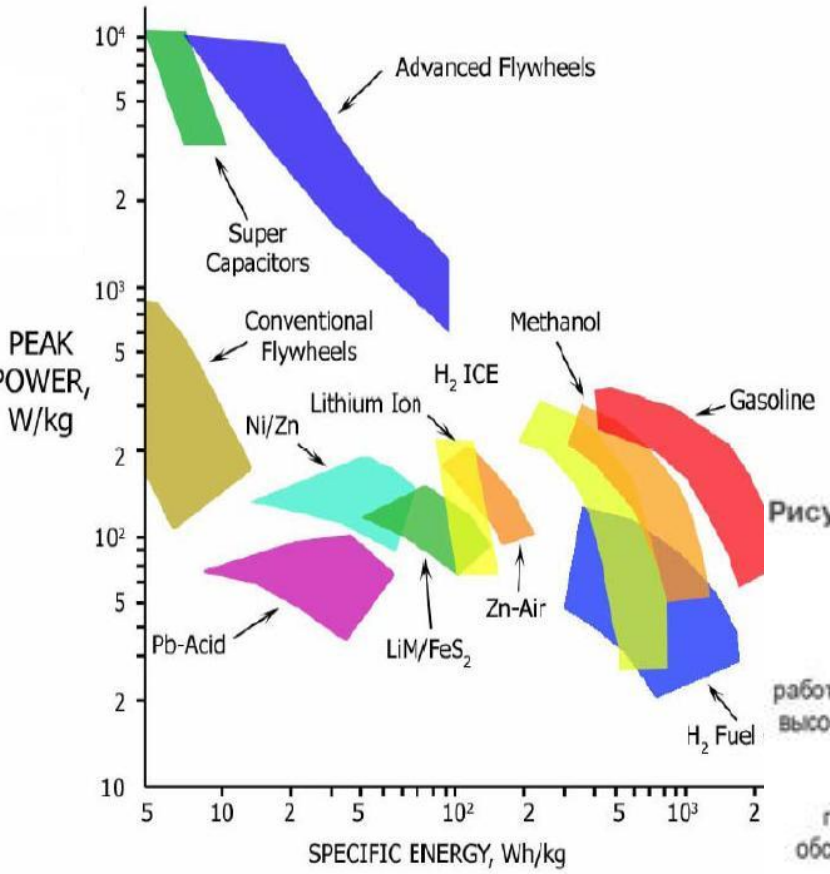
2015-18
- Российская компания «Экомоторс» создает первый российский накопитель электроэнергии для дома и бизнеса 7,7 кВт*ч - аналога Tesla Powerwall.
- Появление новых игроков на Российском рынке (ООО Estorsys,Lioteh и др.)

2016-18
- Развитие в Беларуси производства свинцово-кислотных аккумуляторов.
- Производство полного цикла «1АК», «Амкодор- радиан»…
- Суперконденсаторы в «Великом камне»…

2019-2020
- Ввод в эксплуатацию Белорусской АЭС.
- ПСМ №169 «Комплексный план развития электроэнергетической сферы до 2025 с учетом ввода Белорусской АЭС».
- Ожидаемый «Закон об электроэнергетике»

- Развитие в Беларуси парка ВИЭ.
- Указ Президента Республики Беларусь №209 от 18.05.2015 «Об использовании возобновляемых источников энергии».
- Дополнения к указу и ПСМ находятся на рассмотрении, 2018

# ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ТИПАХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ



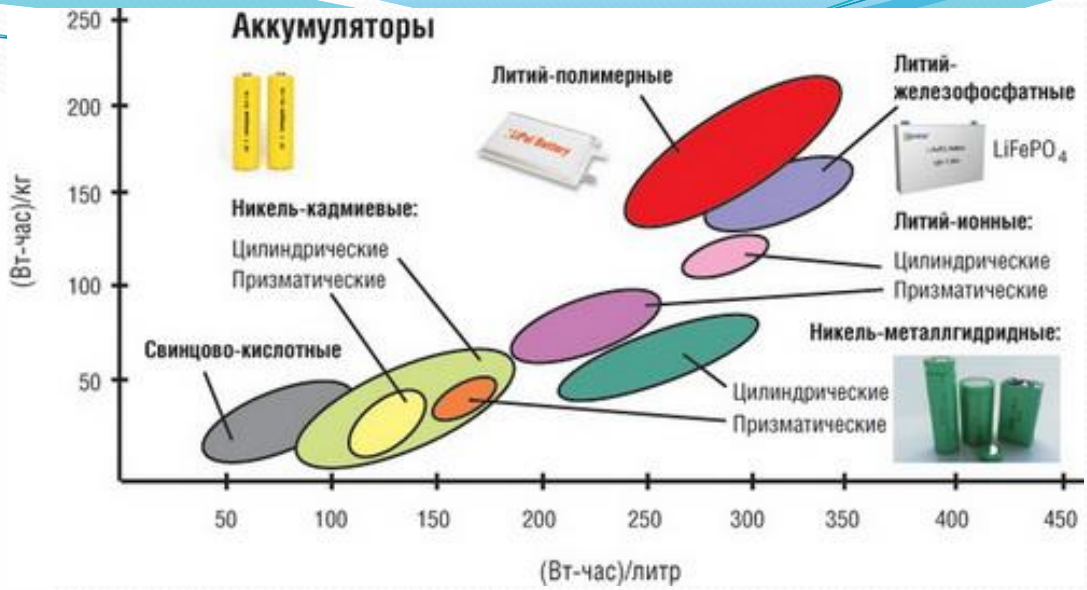
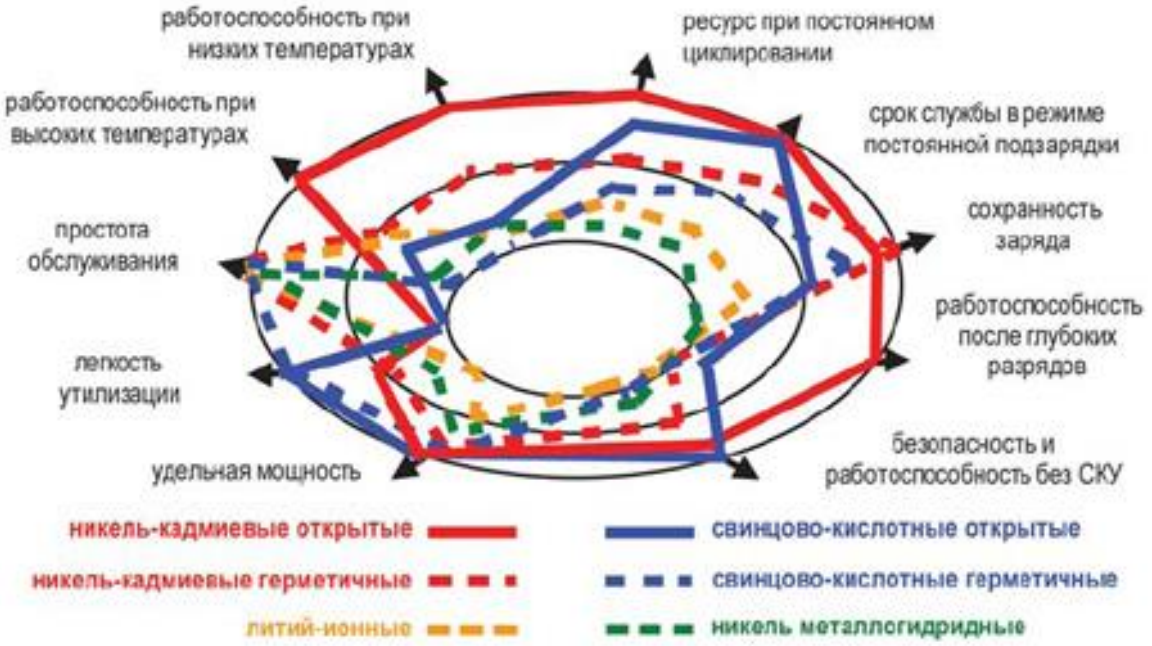




**Рисунок 2.** Сравнение показателей АКБ различных электрохимических систем и исполнений



# КРИТЕРИИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АКБ

Характристики распрстраненных видов аккумуляторов

| Наименование показателя | NiCd | NiMh | Lead Acid | Li-ion | Li-ion, Лиотех | Li-ion polymer |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Удельная энергия, Вт*ч/кг | 20-60 | 60-120 | 10-20 | 70 - 185 | **110** | 100-140 |
| Количество циклов (DOD 80%) | 1000 | 300-500 | 200-300 | 800-3000 | **>3000** | 500-1000 |
| Время быстрого заряда, час | 4-8 | 2-4 | 8-16 | 0,5 - 4 | **1/3** | 2-4 |
| Саморазряд, % в мес. при 20°C | 15% | 30% | 25% | 3% -10% | **3%** | 10% |
| Номинальное напряжение, В | 1,25 | 1,25 | 2,0 | 2,3 -3,7 | **3,2** | 3,6 |
| Ток зарядки пиковый | 20C | 5C | 5C | >2C | **3C** | 2C |
| Ток зарядки рабочий | 1C | 0,5C | 0,2C | <1C | **0,5C** | <1C |
| Температурный диапазон, °C | -20 + 60 | -20 + 60 | -20 +40 | -20 +60 | **-40 +50** | 0 + 60 |
| Стоимость единицы емкости, $/кВт.ч (для массовых типов по ru.Aliexpress.com, liotech.ru) | 750 | 250 | 70 | 260 | 300 | 600 |
| Стоимость единицы емкости, с учетом количества циклов $/кВт.ч (DOD=100%) | 0.75 | 0.5 | 0.23 | 0.09 | 0.1 | 0.6 |

# ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ESS

LCOS – *Levelized Cost of Storage (нормированная стоимость хранения энергии)*

$$LCOS = Capital + \frac{\sum \frac{(O\&M_t + E_{aux})}{(1+r)^t}}{\sum \frac{E_0}{(1+r)^t}}$$

Capital – суммарные капвложения, руб; (отн. к «отпущенной» энергии за норм. время *t*)
O&M – затраты на содержание, эксплуатацию и техническое обслуживание за время *t*, руб;
Eaux – стоимость запасенной электроэнергии (полученной из сети) за время *t*, руб;
r - ставка дисконтирования, о.е.;
E0 – количество электроэнергии, которую выдала ESS за время *t*, МВт·ч.
Обозначения - в соответствии со стандартами МЭК [3].

Недостатки:
- погрешность, связанная, с определением величины E0 (на этапе проектирования невозможно достоверно оценить количество энергии, которая будет накоплена и отдана системой), а также с нормированием периодов накопления и выдачи энергии
- Не ясно где амортизация основного капитала
- Изначально методика разработана для стоимости генерации ЭЭ на электростанциях

http://estorsys.ru/
LCOS=32.5 руб/кВт.ч

прогноз Министерством энергетики РФ.на 2018 год «Концепцией развития рынка систем хранения электроэнергии в Российской Федерации», LCOS = 36 руб/кВт.ч (¬ 0.58 $/кВт.ч)

# ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ESS

## Простейшая оценка – стоимость пропуска энергии через ESS

$$TPP = \frac{capital + O\&M_{lifetime}}{E_{lifetime}}$$ или $$TPP = \frac{capital}{E_{lifetime}}$$

Capital – суммарные капиталовложения, руб;

$O\&M_{lifetime}$ – затраты на содержание, эксплуатацию и техническое обслуживание за время жизни, руб;

$E_{lifetime}$ – количество электроэнергии, пропущенной через ESS за время эксплуатации, кВт·ч. (зависит от режима эксплуатации, длины «жизненного цикла»)

<u>Недостатки</u>:

- Требует уточнения режимов работы (DOD, режимов циклирования)
- Не учитывает временных изменений стоимости, инфляции и т.д.

<u>Преимущества:</u>

- Быстрые и адекватные оценки эффективности ESS,
- Легко сравнимы с тарифом на электроэнергию, с размахом тарифа

Например, если размах тарифа 2- 20 цента/кВт.ч, то TPP<18 цента/кВт.ч, - условие эффективности

# Эффективность ESS и стоимость единицы установленной мощности и емкости

(согласно данным ресурса http://www.energystorageexchange.org/projects)

| Расположение | Год ввода | Тип накопителя | Установленная мощность, МВт | Емкость, МВт·ч | Стоимость, $ млн | Удельная стоим. за 1 кВт мощности, $/кВт | Удельная стоим. за 1 кВт·ч емкости, $/кВт·ч |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Notrees Battery Storage Project – Duke Energy / **Голдсмит, Техас, США** | 2013 | литий-ионные | 36 | 24 | 43,6 | 1211 | 1817 |
| Imperial Irrigation District BESS – GE / **Эль-Сентро, Калифорния, США** | 2016 | литиевые | 30 | 20 | 68,0 | 2267 | 3400 |
| Golden Valley Electric Association (GVEA) Battery Energy Storage System (BESS) / **Фэрбенкс, Аляска, США** | 2003 | никель-кадмиевые | 27 | 6,75 | 35,0 | 1296 | 5185 |
| Anchorage Area Battery Energy Storage System / **Анкоридж, Аляска, США** | 2016 | литий-ионные | 25 | 14,17 | 30,2 | 1208 | 2131 |
| Puerto Rico Electric Power Authority (PREPA) Battery System / **Сан-Хуан, Пуэрто-Рико, США** | 1994 | свинцовые | 20 | 14 | 20,3 | 1015 | 1450 |
| PREPA BESS 2 / **Сан-Хуан, Пуэрто-Рико, США** | 2004 | свинцовые | 20 | 13,33 | 11,5 | 575 | 863 |
| Jake Energy Storage Center: RES Americas / **Джолиет, Иллинойс, США** | 2015 | литий-металл-фосфатные | 19,8 | 7,92 | 20,0 | 1010 | 2525 |
| Elwood Energy Storage Center: RES Americas / **Зап. Чикаго, Иллинойс, США** | 2015 | литий-металл-фосфатные | 19,8 | 7,92 | 20,0 | 1010 | 2525 |
| GigaCapacitor Rosh Pinna Test Project (IL) / **Рош-Пинна, Галиль, Израиль** | 2014 | электрохимический конденсатор | 15 | 150 | ~30,05 | 2003 | 200 |
| GigaCapacitor Hyperadad Test Project (IL) / **Хайдарабад, Андхра-Прадеш, Индия** | 2014 | электрохимический конденсатор | 15 | 150 | ~30,05 | 2003 | 200 |
| GigaCapacitor Putrajaya Test Project (IL) / **Путраджайя, Вилайя Персекутуань, Малайзия** | 2014 | электрохимический конденсатор | 15 | 150 | ~30,05 | 2003 | 200 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GigaCapacitor Rosh Pinna Test Project (IL) / **Рош-Пинна, Галиль, Израиль** | 2014 | электрохимический конденсатор | 15 | 150 | ~30,05 | 2003 | 200 |
| GigaCapacitor Hyperadad Test Project (IL) / **Хайдарабад, Андхра-Прадеш, Индия** | 2014 | электрохимический конденсатор | 15 | 150 | ~30,05 | 2003 | 200 |
| GigaCapacitor Putrajaya Test Project (IL) / **Путраджайя, Вилайя Персекутуань, Малайзия** | 2014 | электрохимический конденсатор | 15 | 150 | ~30,05 | 2003 | 200 |
| Feldheim Regional Regulating Power Station (RRKW) / **Фельдхайм, Бранденбург, Германия** | 2015 | литий-ионные | 10 | 10,8 | 14,3 | 1430 | 1324 |
| Tehachapi Wind Energy Storage Project – Southern California Edison / **Техачапи, Калифорния, США** | 2014 | литий-ионные | 8 | 32 | 49,9 | 6245 | 1561 |
| Zhangbei National Wind and Solar Energy Storage and Transmission Demonstration Project (I) / **Чжанбэй, Хэбэй, Китай** | 2011 | литий-металл-фосфатный | 6 | 36 | 23,6 | 3926 | 654 |
| KIUC Anahola Solar Array and Battery / **Анахола, Гавайи, США** | 2015 | литий-ионные | 6 | 5 | 7,0 | 1167 | 1400 |
| DeGrussa Copper Mine - Juwi AG / **Микатарра, Западная Австралия, Австралия** | 2016 | литий-ионные | 6 | 2 | 30,0 | 5000 | 15 000 |
| Zhangbei National Wind and Solar Energy Storage and Transmission Demonstration Project (II) / **Чжанбэй, Хэбэй, Китай** | 2011 | литий-металл-фосфатные | 4 | 4 | 13,4 | 3310 | 3310 |
| Green Omni Terminal Demonstration Project / **Лос-Анджелес, Калифорния, США** | 2017 | элекрохимические | 2,6 | 2,6 | 26,6 | 10 231 | 10 231 |

- Стоимость единицы уст. мощности – неадекватна ESS
- нет срока эксплуатации, стоимости обслуживания, режимы работы и т.д.

Обращает внимание 20 кратный разброс по стоимости мощности и больший – по энергии

# Направления совершенствования АКБ

I. Разработка инновационных электрохимических систем

II. Удлинение жизненного цикла существующих АКБ:

- Улучшение пористой структуры NAM и PAM;
- Улучшение проводимости электродов;
- Улучшение механической прочности;
- Компенсация различных неоднородностей.

Для Беларуси основное направление ! При ТРР¬ 15 Cents/ кВт.ч – технология становится коммерчески востребованной при размахе тарифа (2 - 20 Cents/ кВт.ч ) (при наличии гос. инвестиций, например, замена электрокотлов, допустима более высокая ТРР)

II. Создание линейки инновационны приборов диагностики электродной массы, электролита, АКБ в целом и

III. Отработка наилучших систем сборки, компоновки и управления мультипликативными системами

**Сравнение типов батарей**

| Тип | Начало разработ-ки (год) | Выход на рынок (год) | Жизнен-ный цикл (зарядов/ разрядов) | Плотность энергии (Вт/час на 1 кг) |
|---|---|---|---|---|
| Свинцово-кислотная (Pb-Acid) | 1859 | 1881 | 400 | 45 |
| Никель-кадмиевая (NI-Cd) | 1899 | 1950 | 1000 | 60 |
| Никель-металл-гидридная (NI-MH) | 1970-е | 1990 | 500 | 100 |
| Литий-ионная (LI-Ion) | 1970-е | 1991 | 1000 | 200 |
| Литий-серная (LI-S) | 2008 | – | 50–150 | 400 |
| Литий-металлическая | 2012 | – | 500 | 450 |
| Твердотельная | 1950-е | – | 1200 | 1000 |
| Литий-воздушная (LI-O2) | 2006 | – | н/д | 1000–1700 |
| Ванадиевая проточная | 1986 | Начало 2010-х | ∞ | 20 |

Источник: данные СМ

# «Горячая» тема - новые типы электродов и электролитов

## Сравнение типов батарей

| Тип | Начало разработки (год) | Выход на рынок (год) | Жизненный цикл (зарядов/разрядов) | Плотность энергии (Вт/час на 1 кг) |
|---|---|---|---|---|
| Свинцово-кислотная (Pb-Acid) | 1859 | 1881 | 400 | 45 |
| Никель-кадмиевая (Ni-Cd) | 1899 | 1950 | 1000 | 60 |
| Никель-металл-гидридная (Ni-MH) | 1970-е | 1990 | 500 | 100 |
| Литий-ионная (Li-Ion) | 1970-е | 1991 | 1000 | 200 |
| Литий-серная (Li-S) | 2008 | – | 50–150 | 400 |
| Литий-металлическая | 2012 | – | 500 | 450 |
| Твердотельная | 1950-е | – | 1200 | 1000 |
| Литий-воздушная (Li-O2) | 2006 | – | н/д | 1000–1700 |
| Ванадиевая проточная | 1986 | Начало 2010-х | ∞ | 20 |

Источник: данные СМИ.

- Батареи с жидкими электродами (Д.Садовэй, MIT)
-- Алюминий- воздушные и т.д.

# НИОКР в области ESS в Беларуси …

**БНТУ** - ГПНИ «Энергетические системы, процессы и технологии», на 2016 - 2020 гг«Обоснование технико-экономической эффективности использования свинцовых аккумуляторов со структурно-модифицированными электродами для накопительных блоков»

**Инст. Проблем материаловедения НАН Беларуси:**
конструкция и материалы для суперконденсаторов, электролиты и электродные материалы

**ООО «Передовые исследования и технологии» :**
материалы для электрохимии, углеродные наноматериалы

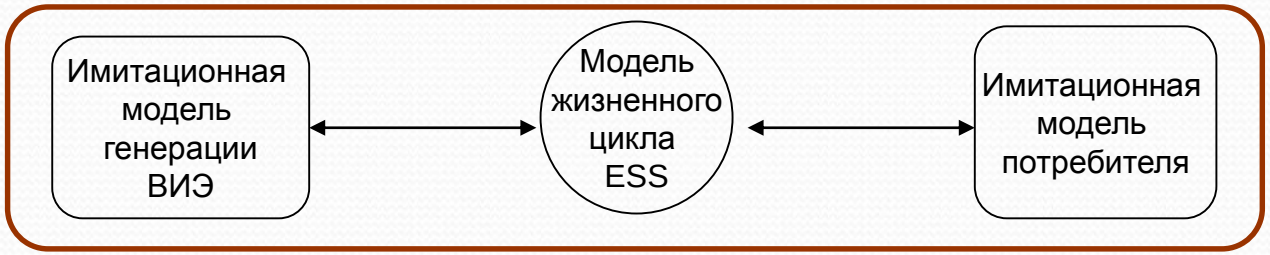
**БГТУ** - каф. «Химия, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники»

# Моделирование жизненного цикла АКБ и экономическая эффективность накопителя.

Как оценить экономическую эффективность ESS ***в реальной системе*** «генератор- накопитель-потребитель»?

I. Анализ статистики для заданной системы за большие промежутки времени

II. Имитационное моделирование системы




У-ре Ланжевена.
Введена разномасштабная вариабельность погоды.

детальная имитация

<u>Недостаток:</u>

I. Не высокая точность модели жизненного цикла АКБ (требует объемной настройки для каждого нового типа АКБ) → (относительные показатели)

# Эффективность ESS для «реальной» системы «генератор- накопитель – потребитель»

## Ветрогенератор - ESS 100 х АКБ (65 А.час 12 В) - 30-кв дом

Что моделируем?

I. Время работы до заданного уровня деградации емкости (C=0.8*C0).

II. Время простоя TSS в разряженном состоянии

III. Время простоя TSS в заряженном состоянии

В зависимости от параметров системы, емкости ESS, избытка/недостатка генерации

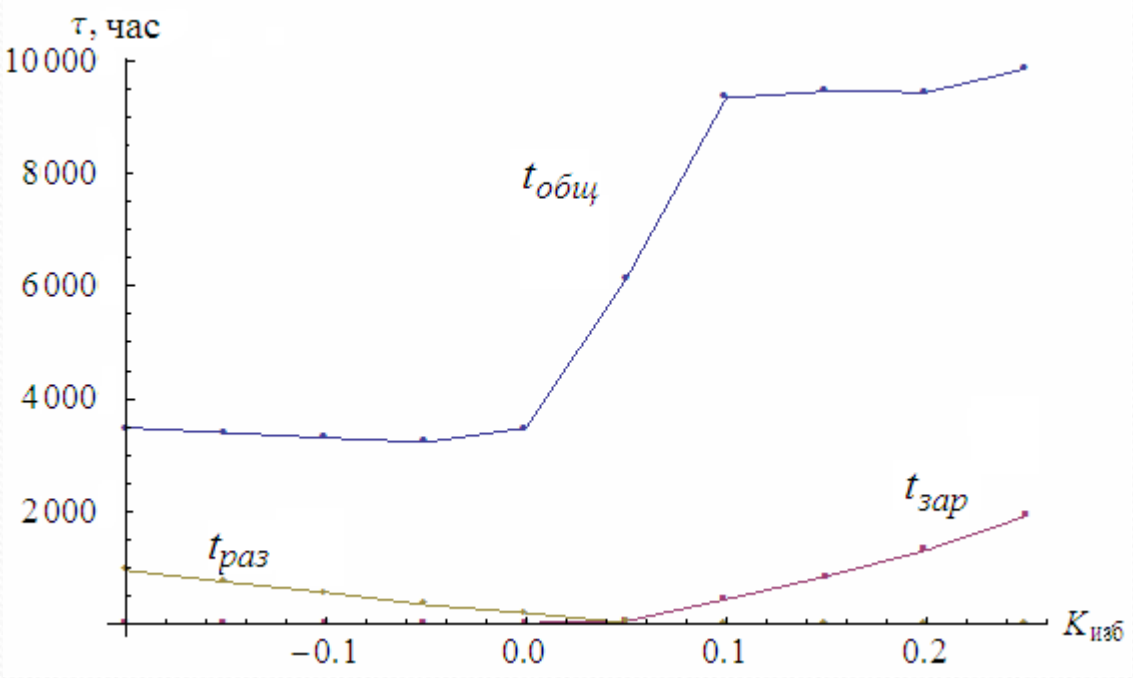



Рис.Общее время работы - $t_{общ}$ (минут), время простоя в заряженном- $t_{зар}$ и разряженном - $t_{раз}$ состоянии ESS. $K_{изб}$ = общая генерация/общее потребление

# Эффективность ESS для «реальной» системы «генератор- накопитель – потребитель»

## Ветрогенератор - ESS 100 х АКБ (65 А.час 12 В) - 30-кв дом

### статистика случайных реализаций генерации и потребления (месяц)

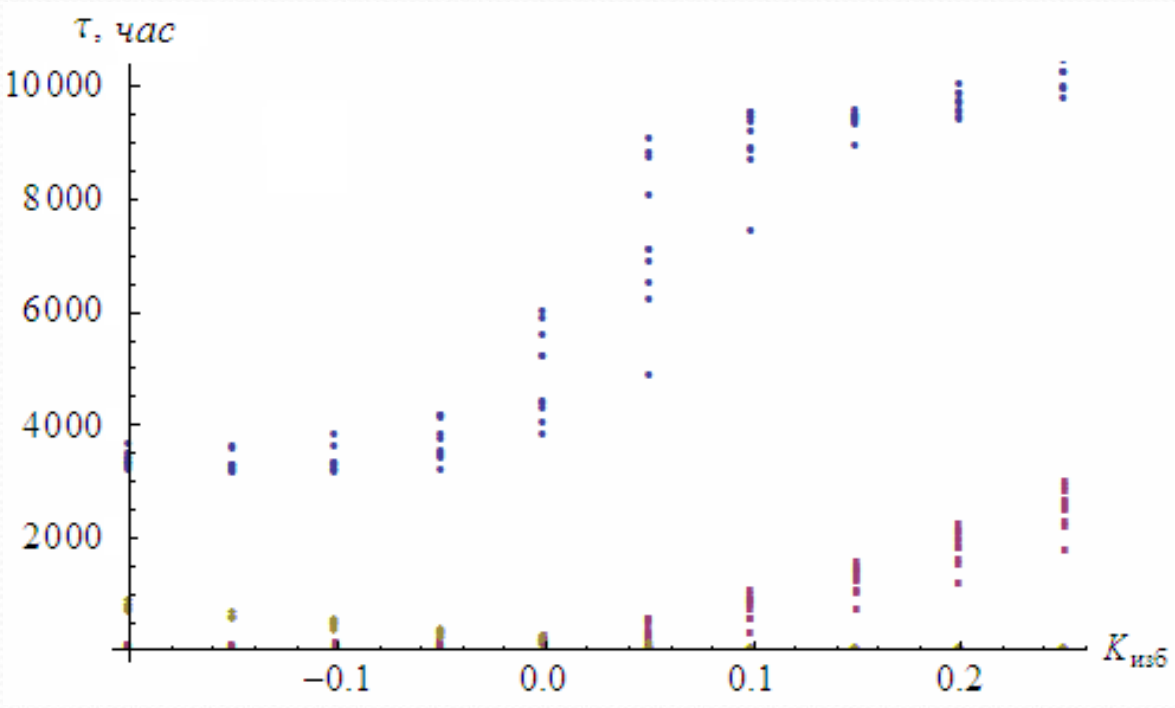
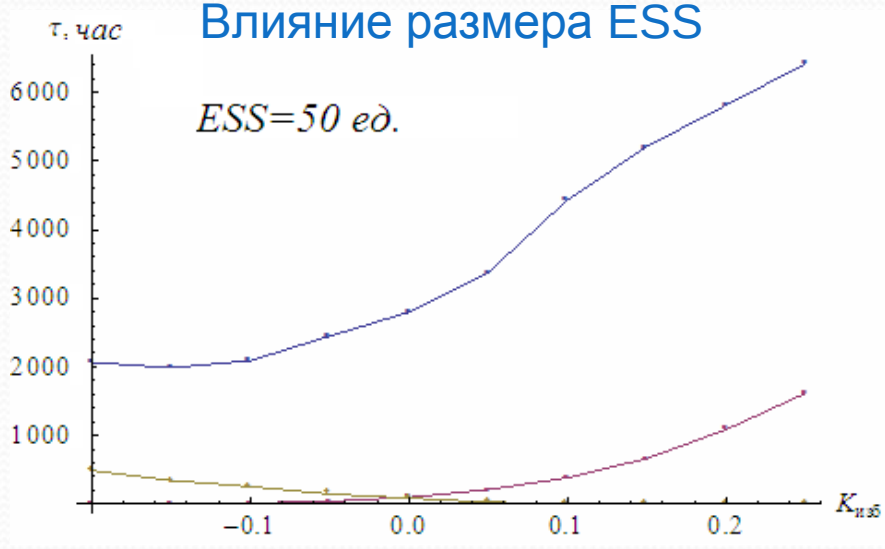


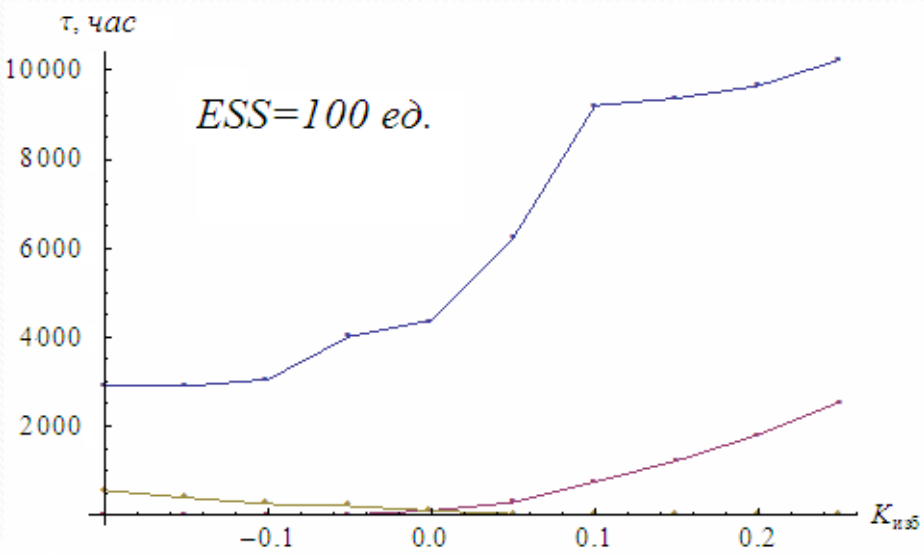

Рис.Общее время работы - $t_{общ}$ (минут), время простоя в заряженном- $t_{зар}$ и разряженном - $t_{раз}$ состоянии ESS. $K_{изб}$ = средняя генерация/среднее потребление

# Эффективность ESS для «реальной» системы «генератор- накопитель – потребитель»

## Ветрогенератор - ESS 100 х АКБ (65 А.час 12 В) - 30-кв дом

Влияние размера ESS



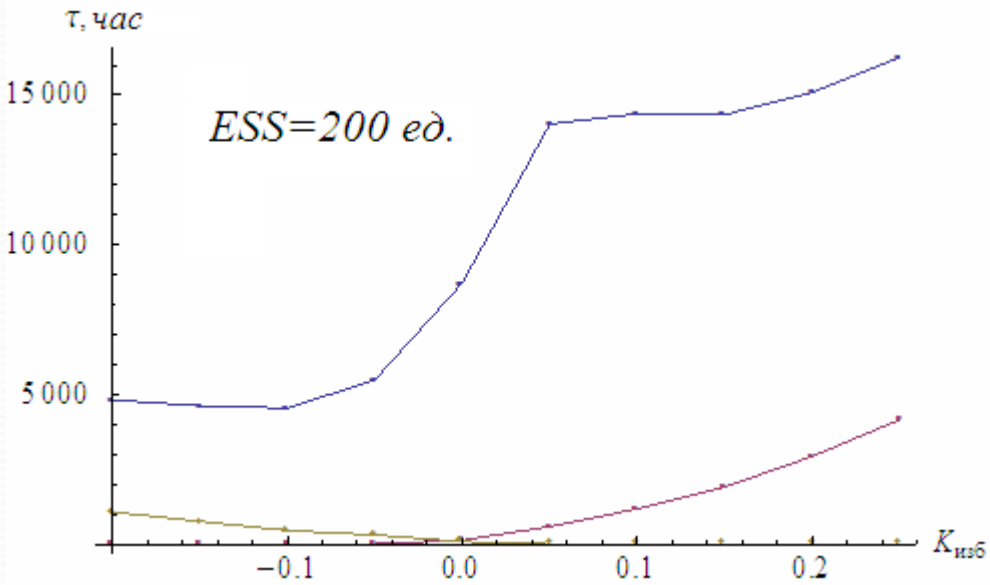
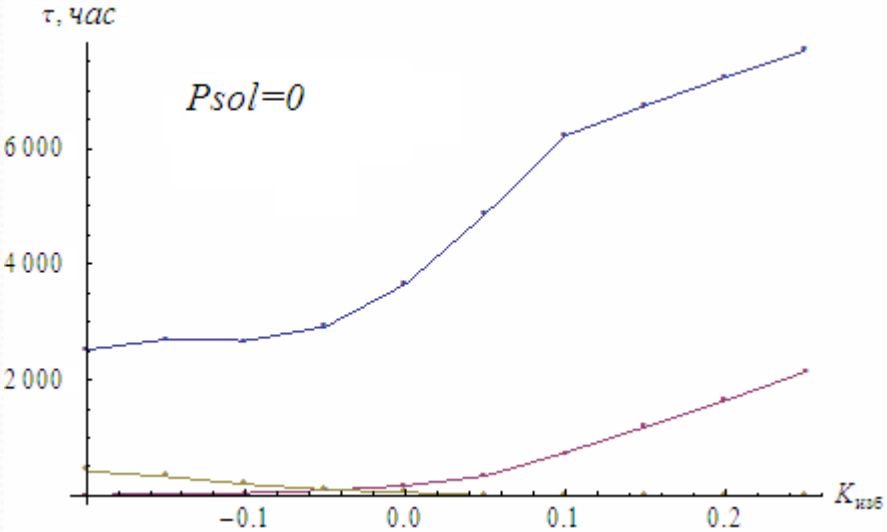



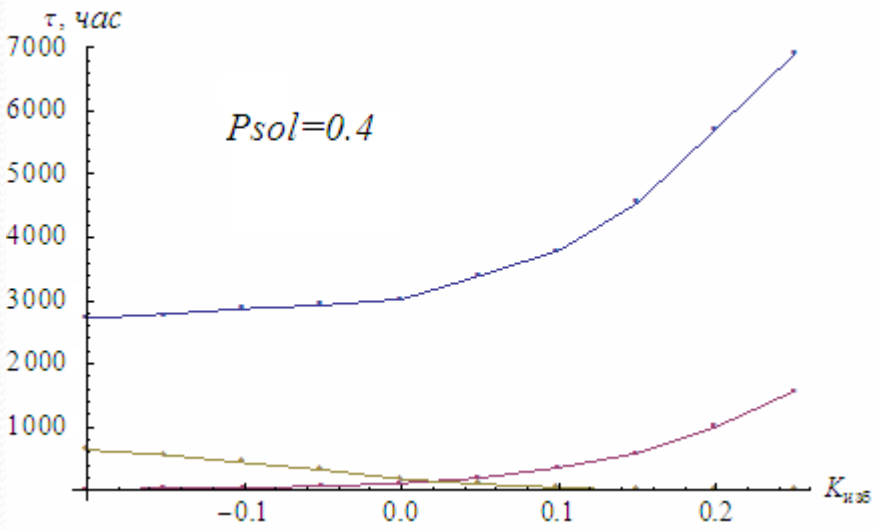

Рис.Общее время работы $t_{общ}$ (час), время простоя $t_{зар}$ и $t_{раз.}$ .

ESS = 50 ед., 100 ед. и 200 ед.

# Эффективность ESS для «реальной» системы «генератор- накопитель – потребитель»

Влияние доли солнечной генерации, июль



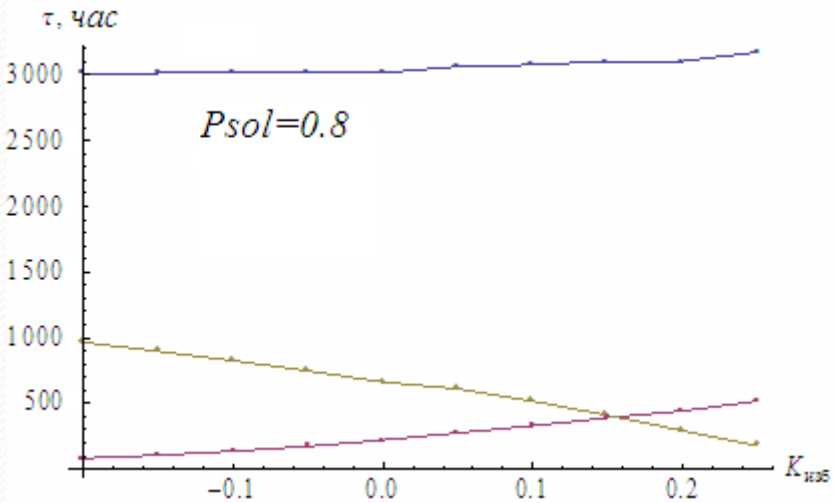
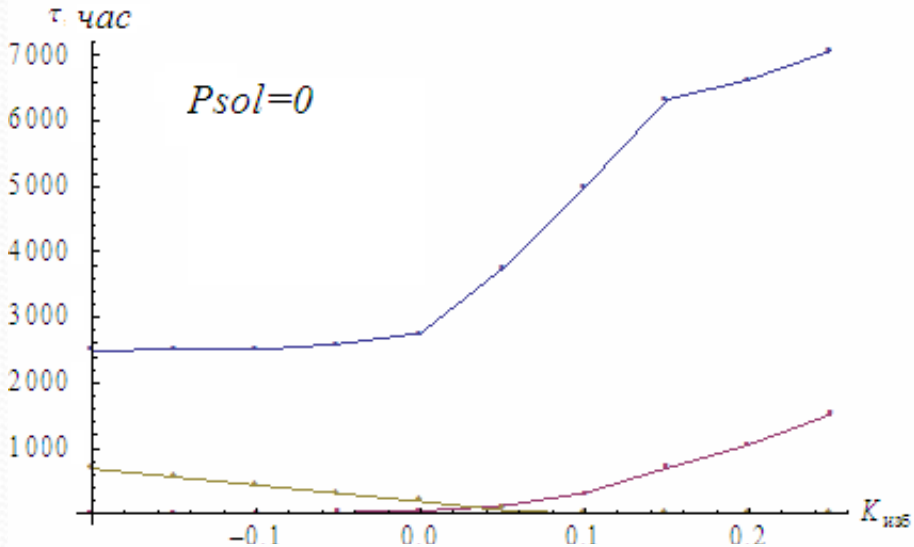
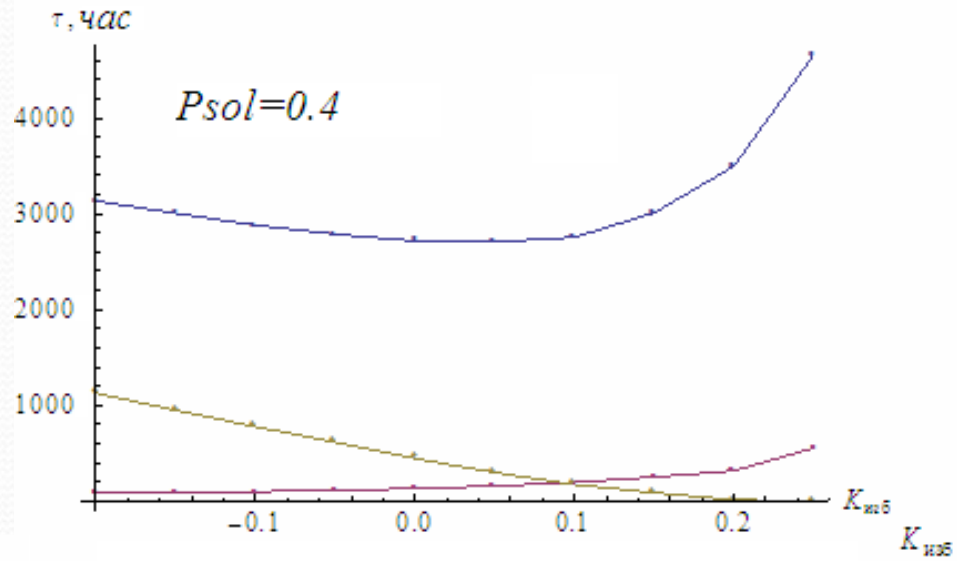




Рис.Общее время работы $t_{общ}$ (час), время простоя $t_{зар}$ и $t_{раз.}$ .
Доля солнечной генерации в системе с ветрогенератором *Psol*

# Эффективность ESS для «реальной» системы «генератор- накопитель – потребитель»

## Влияние доли солнечной генерации, декабрь



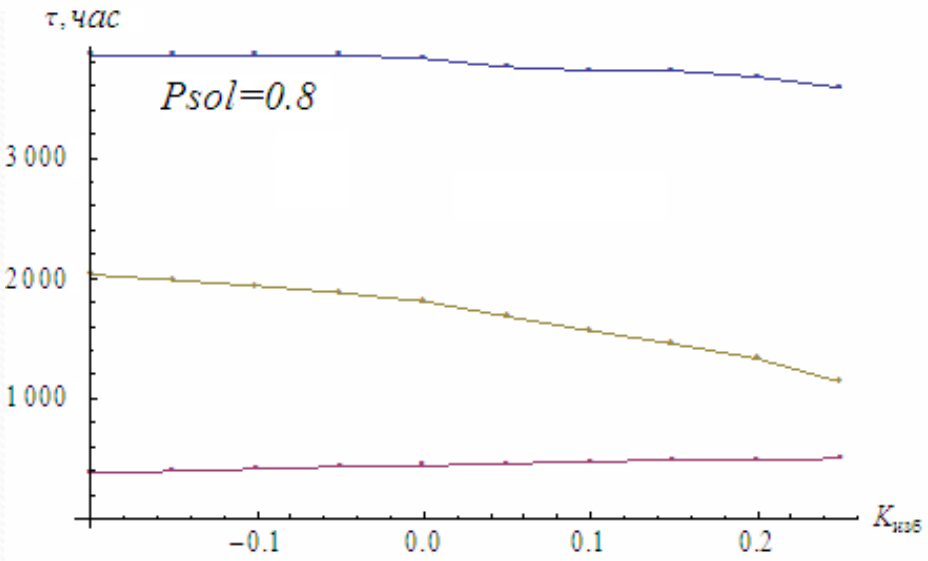




Рис.Общее время работы $t_{общ}$ (час), время простоя $t_{зар}$ и $t_{раз.}$ .
Доля солнечной генерации в системе с ветрогенератором *Psol*

# Технические средства усовершенствования АКБ

## I. Оперативная кондуктометрия электролитов и электродов

Методы измерения электропроводности электролитов вызывают вопросы, в том числе, и среди профессиональных исследователей.

Как правило это высокочастотная контактная и неконтактная кондуктометрия с введением эквивалентной схемы замещения + изм. резонансной частоты + расчет электропроводности.

Трудности:
- поляризационные эффекты,
- нелинейная ионная проводимости,
- нестационарные эффекты и т.п.

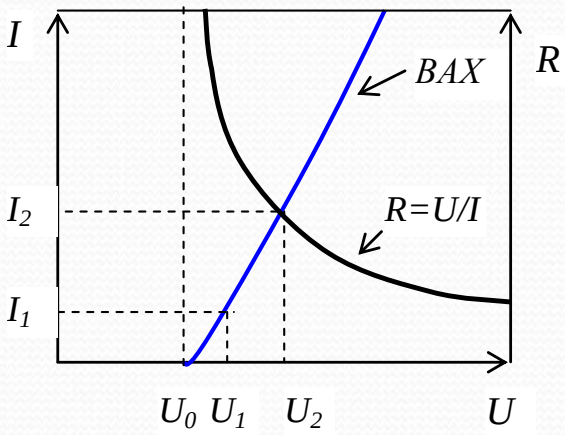



Рис.Влияние поляризационных эффектов на ВАХ и измеряемое сопотивление

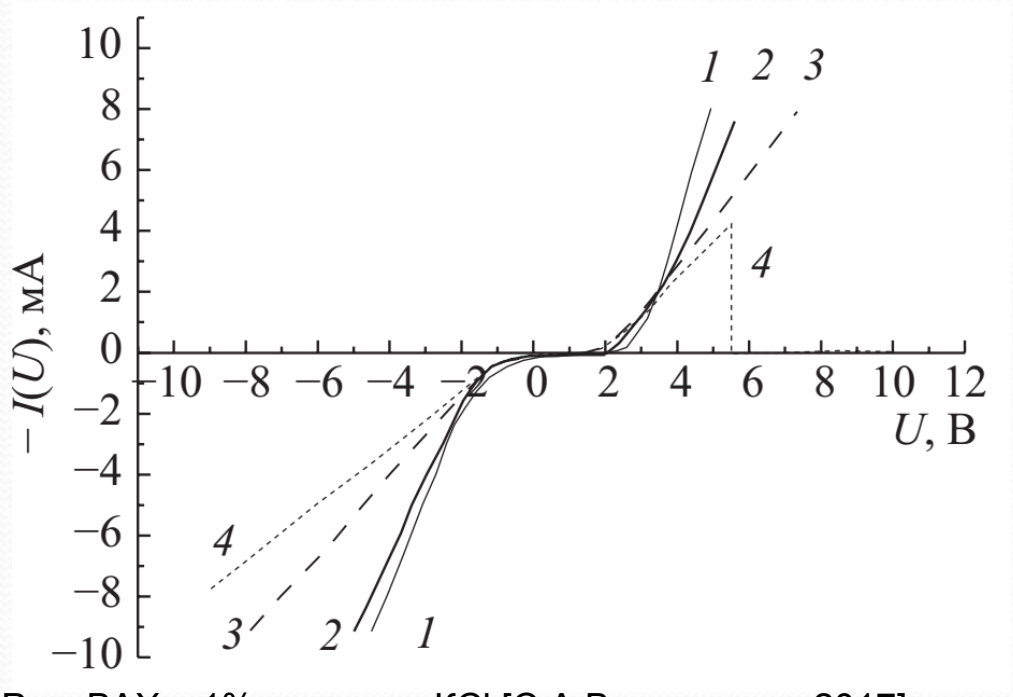



Рис. ВАХ в 1% растворе KCl [С.А.Варзин и др. 2017].
Статический режим измерения:
*1* — начальная регистрация; *2* — измерение через 7 мин;
*3* — через 12 мин; 4 -18 мин

# Технические средства усовершенствования АКБ

## I. Оперативная кондуктометрия электролитов и электродов

Измеритель проводимости реализует:

1. автоматическое измерение сопротивления при разных напряжения х на ячейке (по сути ВАХ)
2. математическую обработку измерений (аппроксимация ВАХ), определение порогового напряжения
3. определение R путем экстраполяцией эффективного R в область порогового напряжения

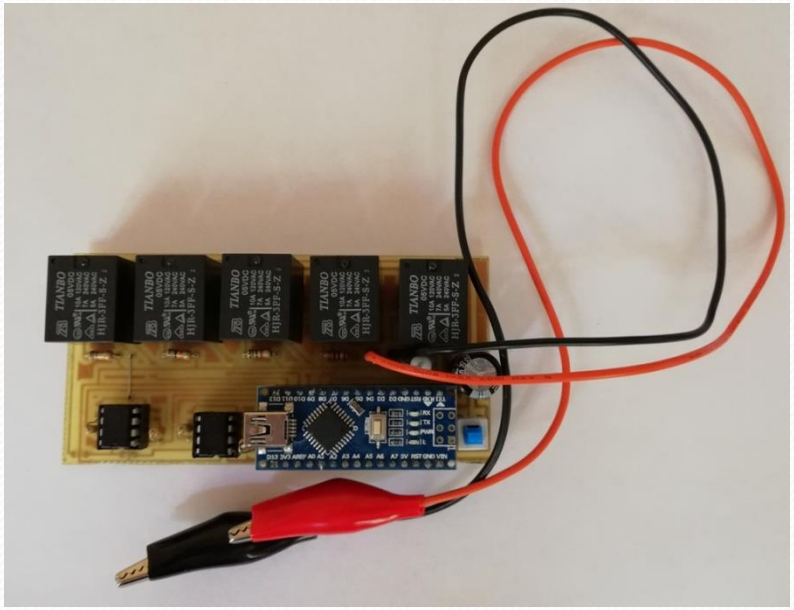


Рис. Техническая реализация измерителя проводимости электролитов, БНТУ

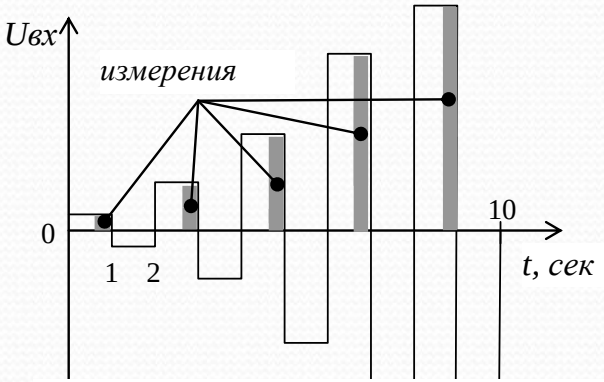



Рис. Временная схема измерений

# Технические средства усовершенствования АКБ

## I. Оперативная кондуктометрия электролитов и электродов

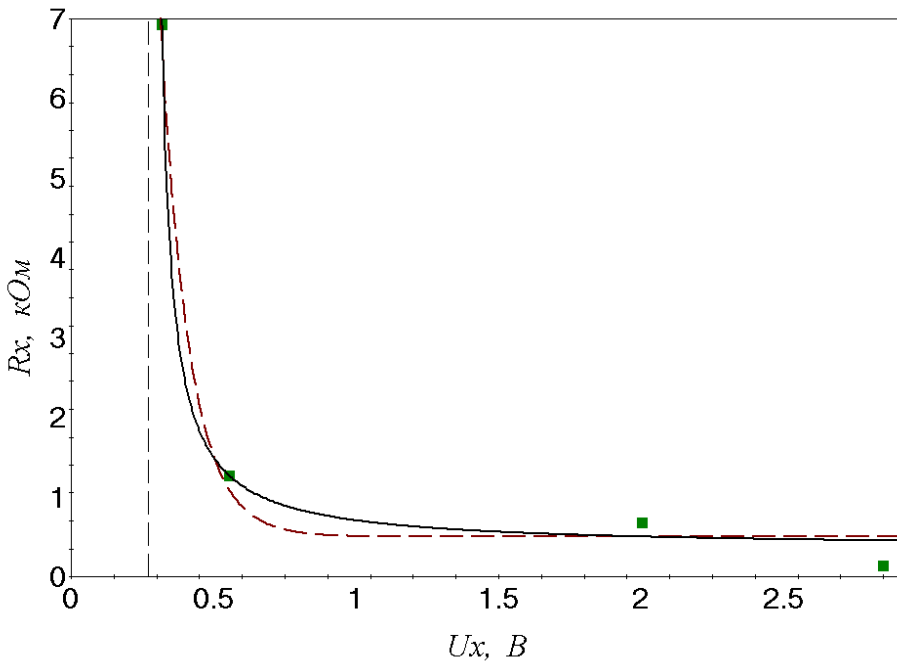



Рис.Сопротивление 5 % NaCl в воде.
– Паде[1/1], ----- экспоненциальная аппроксимация

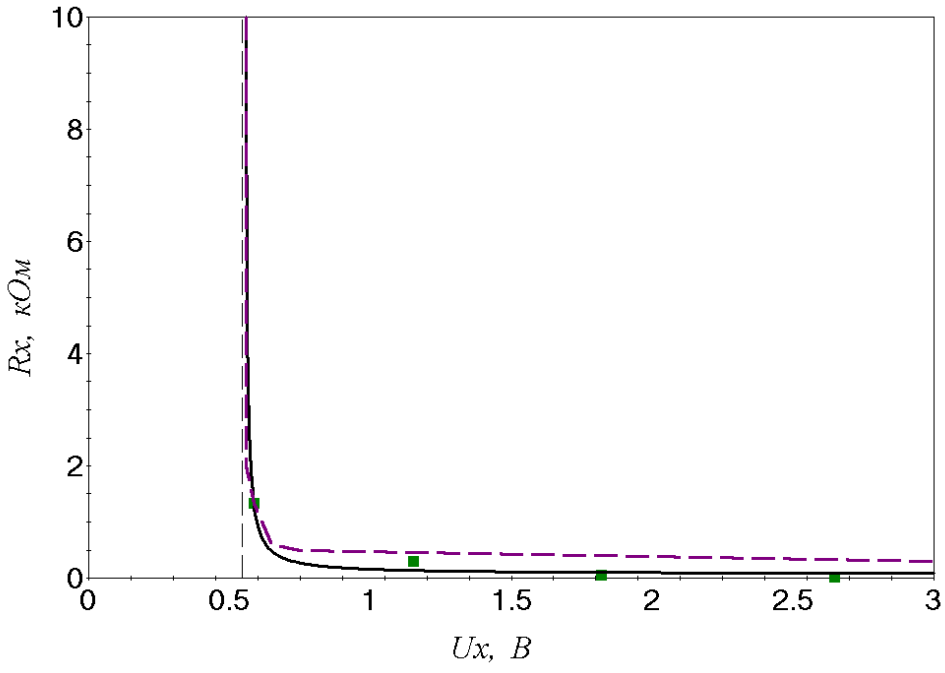
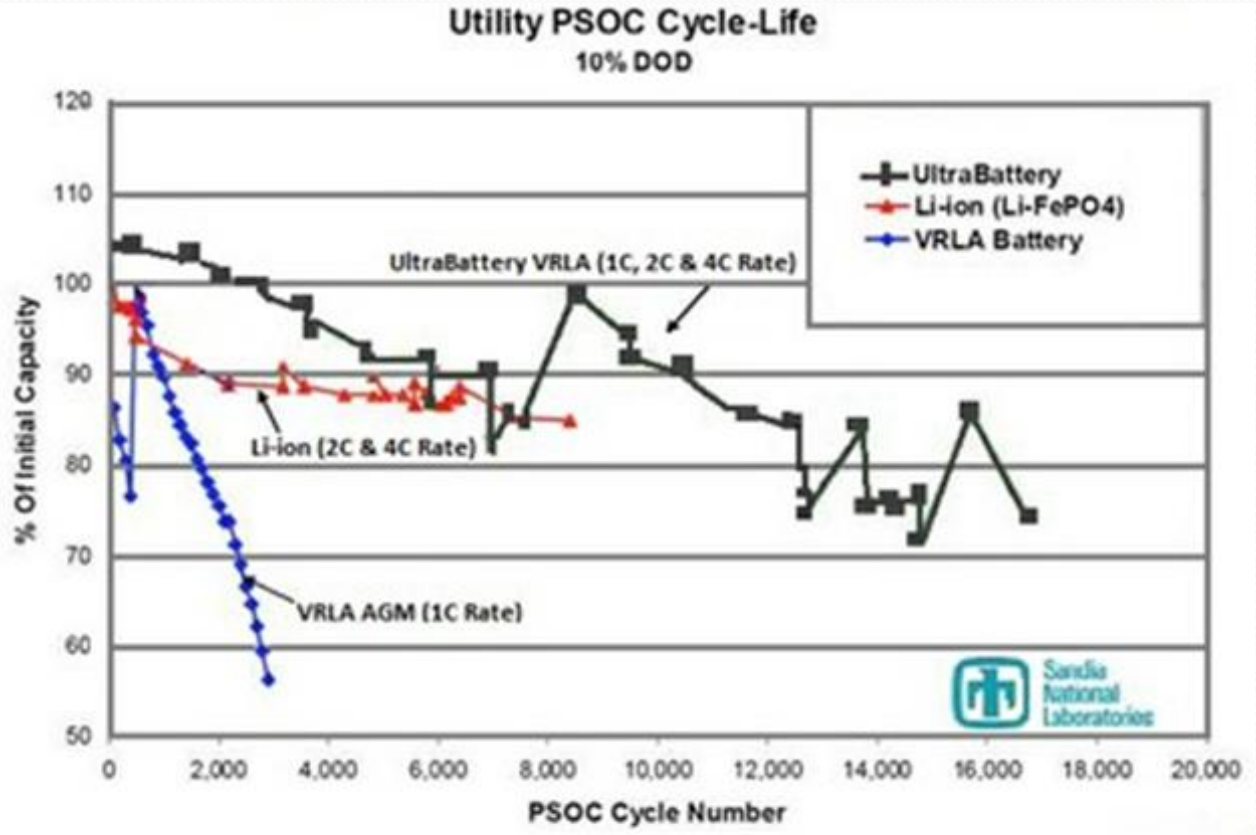



Рис.Сопротивление 5% $H_2SO_4$ в воде.
– Паде[1/1], ----- экспоненциальная аппроксимация

# Углерод в свинцово-кислотной технологии. Ссылки

- ✓ **1996-97 Nakamura, Shiomi** et al. at – дополнительное введение сажи в отрицательный электрод замедляет его сульфатацию (HRPSoC cycling), увеличивает число микроциклов до ~ 5000
- ✓ **2000-01 Hollenkamp** et al. (Advanced Lead-Acid Battery Consortium) – дополнительное введение графита и сажи увеличивает проводимость электрода.
- ✓ **2002 Newnham** et al. - удельная поверхность NAM важный параметр для поддержания потенциала ниже потенциала генерации водорода. Не все формы углерода увеличивающие удельную поверхность увеличивают циклы (HRPSoC cycling).
- ✓ **2002 Lam** et al. –указал на формы углерода (по происхождению) которые содержат микровключения снижающие напряжение образования H2, снижающие эффективность зарядки.
- ✓ **2006 Calabek** et al. -добавки углерода в NAM уменьшает радиус пор и замедляет рост кристаллов PbSO4 кристаллов, но не препятствует росту малых растворимых кристаллитов, и т.о. способствует эффективности процесса зарядки.
- ✓ **2006 Moseley** полагает, что углерод работает как электро-осмотический насос стимулирующий диффузию в объема NAM при высоких интенсивностях заряда и разряда.
- ✓ **2006-07 Lam** et al.- «ультра- батарея» обычная PbO2 положительная пластина, отрицательная пластина – составная, - стандартный пористый свинец+углеродный электрод (без смешения). Изучал влияние изолированного углерода на эффективность заряда и уменьшение сульфатации.
- ✓ **2010-12 Pavlov** et al.-углеродные добавки уменьшают поры NAM. Частицы углерода абсорбируются «структурно» - сначала на гранях кристаллитов Pb, а затем - на плоскостях. Некоторые формы образуют низкоомный контакт улучшающий электрохимические свойства.
- ✓ **2013-15 Pavlov** et al. – идентификация механизмов по которым некоторые формы углерода в отрицательном электроде VRLA батареи поддерживают высокие показатели работы в полузаряженном состоянии и при этом препятствуют массивной сульфатации.

# СВИНЦОВО-УГЛЕРОДНАЯ БАТАРЕЯ UltraBattery® СРАВНИТЕЛЬНОЕ ЦИКЛИРОВАНИЕ




Характеристики циклирования свинцово-углеродной UltraBattery® , типичной Литий-ионной, типичной VRLA батареи.
Режим работы с солнечной панелью.
(Источник: Sandia National Laboratories, 2011)

# Технические средства усовершенствования АКБ

Гидроаккустическая мельница для получения дисперсных материалов для активной массы электродов БНТУ и Ин-тут энергетики НАН Беларуси

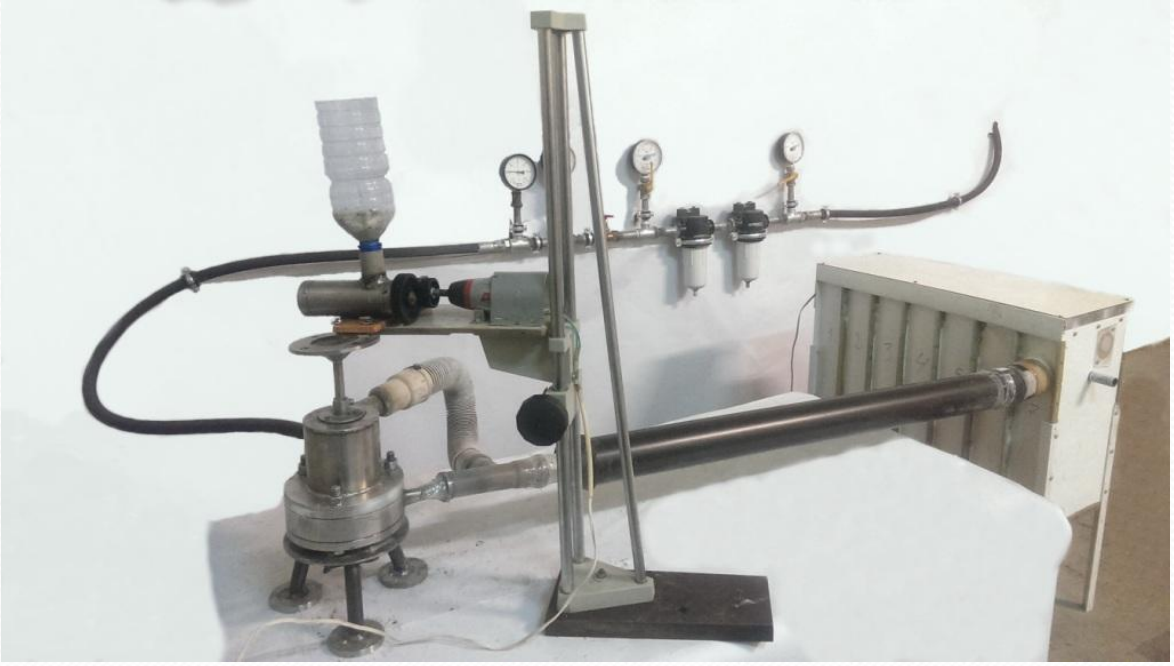


Рис. 1 – диспергатор, 2 – шнековый питатель, 3 – подача сжитого воздуха, 4 – фильтр- сепаратор

# Технические средства усовершенствования АКБ

Гидроаккустическая мельница для получения дисперсных материалов для активной массы электродов БНТУ и Ин-тут энергетики НАН Беларуси

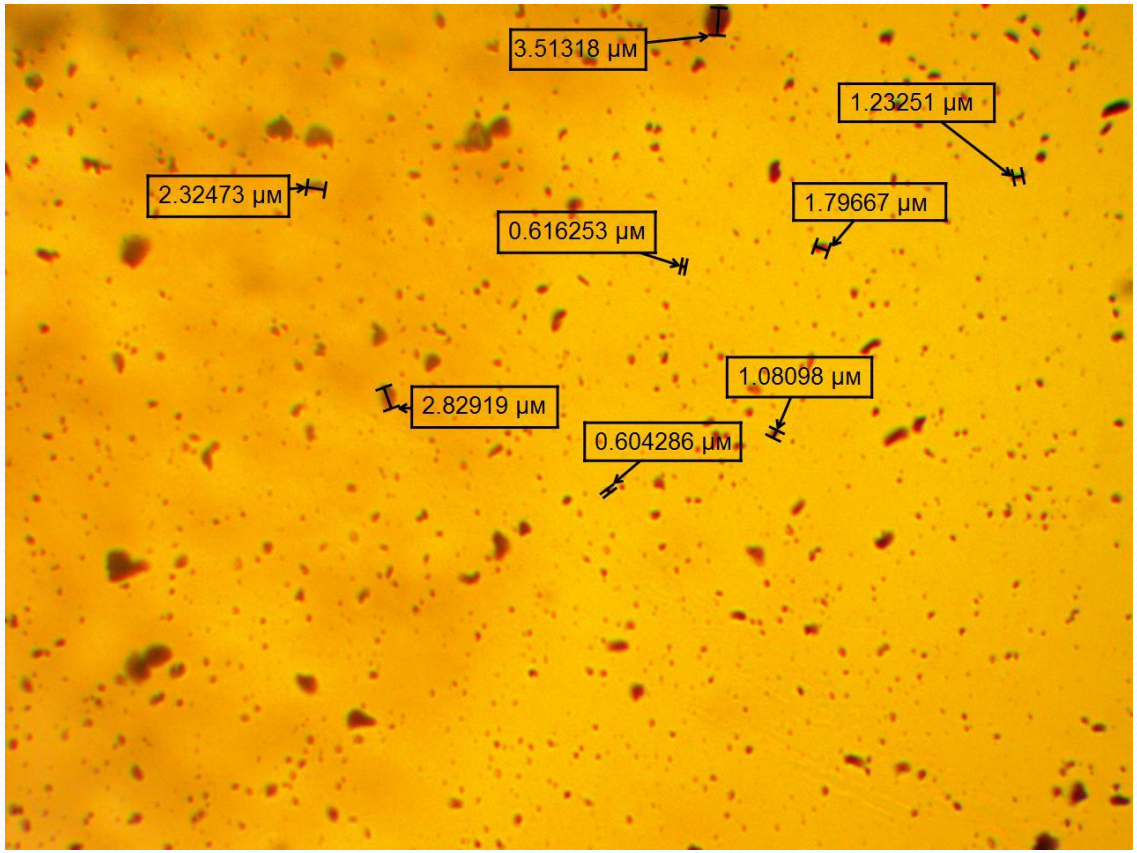
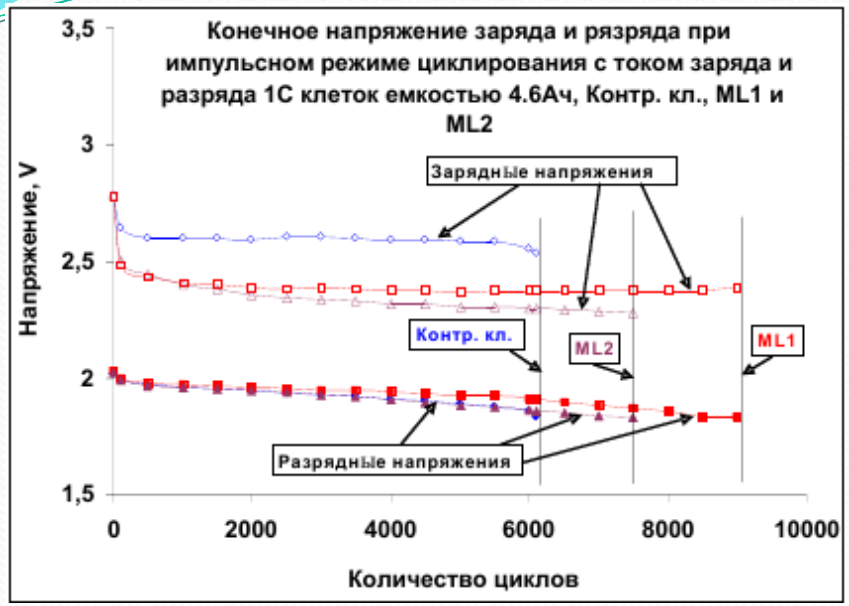
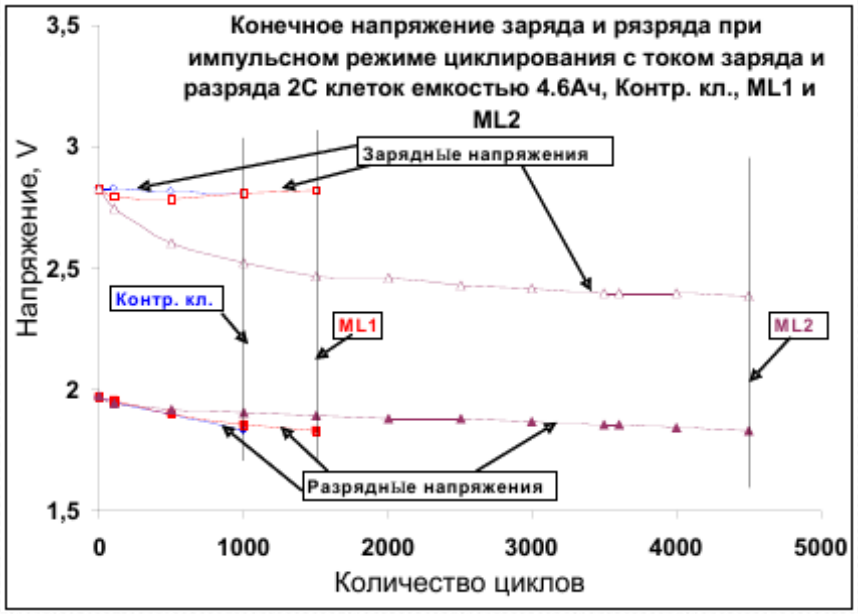



Рис. Микрофотография дисперсного материала на основе антрацита

# Что в области НИОКР ?




Конечные напряжения заряда и разряда при импульсном режиме циклирования контрольной и тестовых ячеек ML1 и ML2

- заряд 60 сек. с током 1С и 2С;
- отдых 10 сек
- разряд 60 сек. с током 1С и 2С
- отдых 10 сек

# Метод и оборудование получения ГРАФЕНОВОГО МАТЕРИАЛА для электрохимии

ADVANCED RESEARCH AND TECHNOLOGIES Ltd, Belarus

## Метод (низкотемпературное расщепление графита)

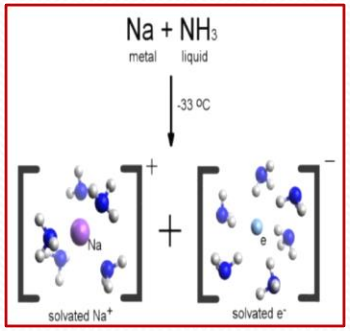
I. Растворение натрия в жидком аммиаке

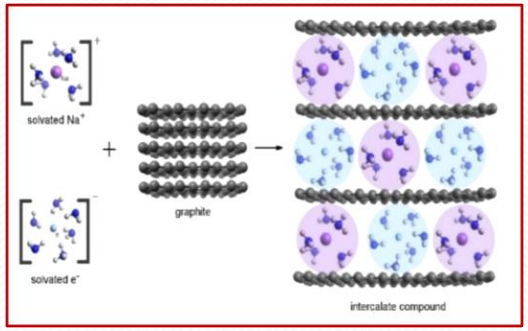
II. Обработка графитовых зерен раствором натрия

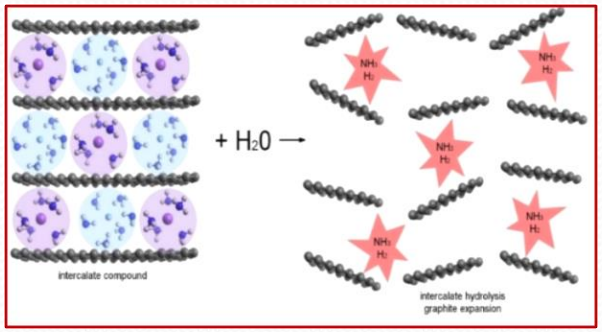
(быстрая интеркаляция - несколько минут )

III. Очистка графенового материала от интеркалята

**(пар, перекись водорода, кислородное окисление при быстром нагреве). Газовые продукты разрывают графеновые слои, объем матерала увеличивается в 100-300 раз.**



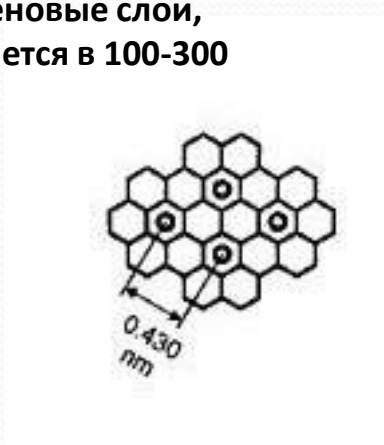




**Рис. Графеновый материал, с компонентами интеркалята ( Na, Li, …)**

# Тестирование углерод-свинцовых ячеек

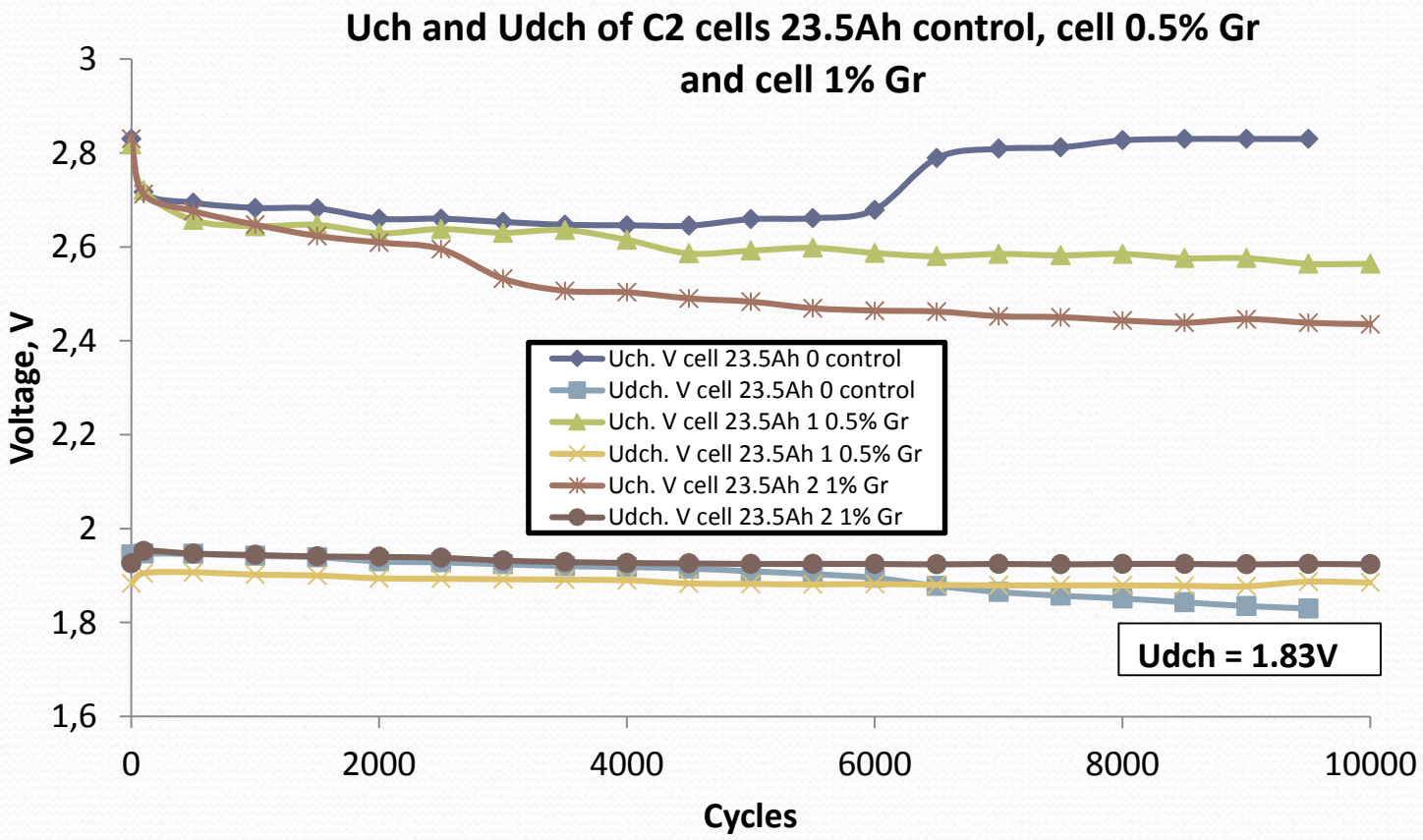
ADVANCED RESEARCH AND TECHNOLOGIES Ltd, Belarus

Отдел свинцово- кислотных батарей Институт электрохимии и энергетических систем , Болгарской академии наук.(д-р. Д.Павлов, проф. В.Найденов)

Технологии новых материалов:

размер пор: 2.8 µm → до 0.7 µm --- (уменьшение сульфатных кристаллитов)

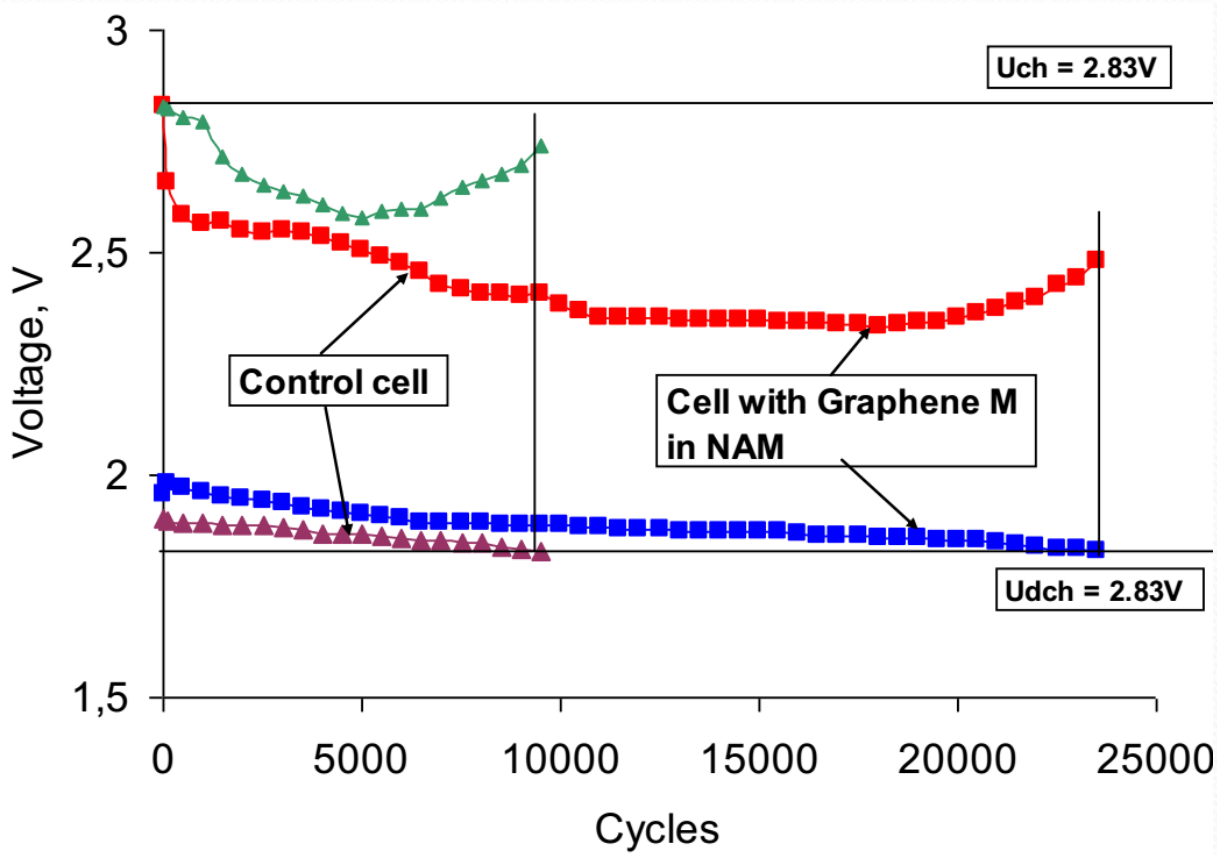
удельная поверхность: 0.5 m2 / g → 8-10 m2 / g --- (рост площади двойного слоя)



# Тестирование углерод-свинцовых ячеек

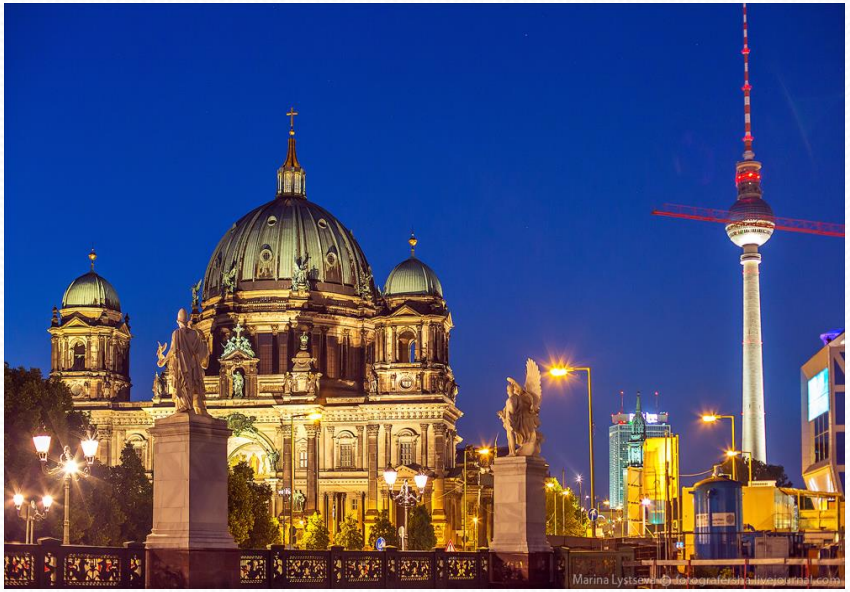
**ADVANCED RESEARCH AND TECHNOLOGIES Ltd, Belarus**

Отдел свинцово- кислотных батарей Институт электрохимии и энергетических систем , Болгарской академии наук.(д-р. Д.Павлов, проф. В.Найденов)




Импульсное циклирование тестовой и контрольной ячейки при токе 2С.

# Благодарю за внимание!



**VI Белорусско-Германский энергетический форум**

# Выводы

1. Главным и практически единственным критерием эффективности СНЭ является стоимость «пропущенной» электроэнергии и ее попадание в рамки тарифного «размаха».

2. Основным направлением развития свинцово- кислотных АКБ для использования в СНЭ - удлинение времени жизни. При количестве рабочих циклов ¬ 3000 (DOD=50%) для свинцово- кислотных АКБ они получают заметное преимущество относительно других технологий (не требующих высокой массовой плотности энергии)

3. Имеющиеся данные показывают, что технически имеется потенциал удлинения срока службы свинцовых АКБ до 3000 -5000 и более (DOD - 50 %). Однако принципиальным является сохранения невысокой стоимости АКБ.