

Анализ основных показателей современных суперконденсаторов и литий-ионных аккумуляторов для задач создания высокомоощных источников тока

В.В. Жданов, Ю.М. Коштял, В.П. Кузнецов

E-mail: v_zhdanov@list.ru

194021 г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая 26



Области применения высокоомощных накопителей энергии

- Сетевая и возобновляемая энергетика
- Источники бесперебойного питания
- Гибридный и электрический транспорт
- Спецтехника

Характерное время импульсов тока разряда и заряда в различных устройствах может меняться от 10^{-3} до нескольких десятков секунд или минут, время заряда от нескольких секунд до нескольких часов.

Рациональный выбор накопителя энергии для решения конкретной задачи позволяет оптимизировать технические, массогабаритные и стоимостные характеристики изделий .



Важнейшие параметры для выбора высокоомощного накопителя электрической энергии

- Циклограмма нагрузки
- Удельная энергия по массе и объему
- Удельная мощность (скорость заряда или разряда)
- Ресурс в циклах заряд-разряд и в годах
- Температурный диапазон эксплуатации при заряде и разряде
- Саморазряд
- Масштабируемость
- Экономические показатели (капитальные и эксплуатационные)
- Безопасность
- Экологические требования при эксплуатации и утилизации

Модульный принцип построения накопителей энергии большой емкости и мощности



Батарейный модуль 48 В



Батарейная стойка 5-50 кВт



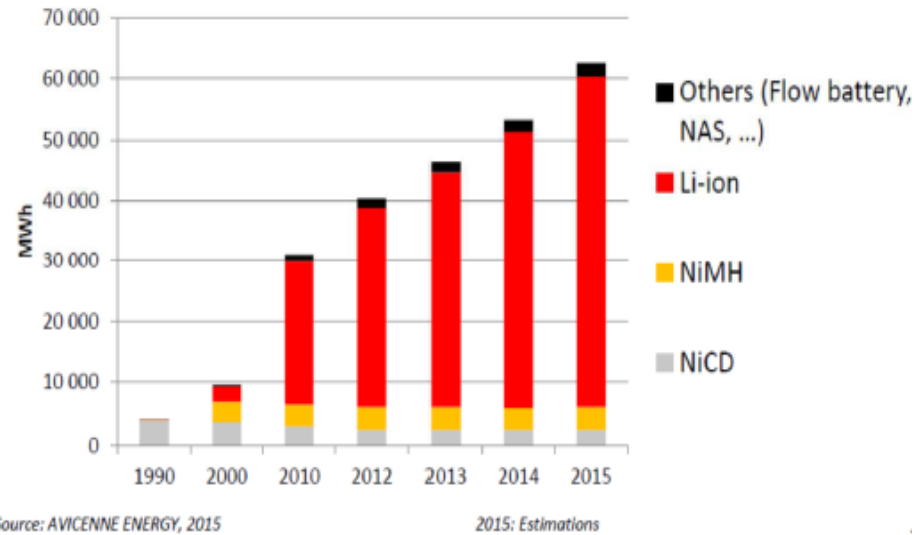
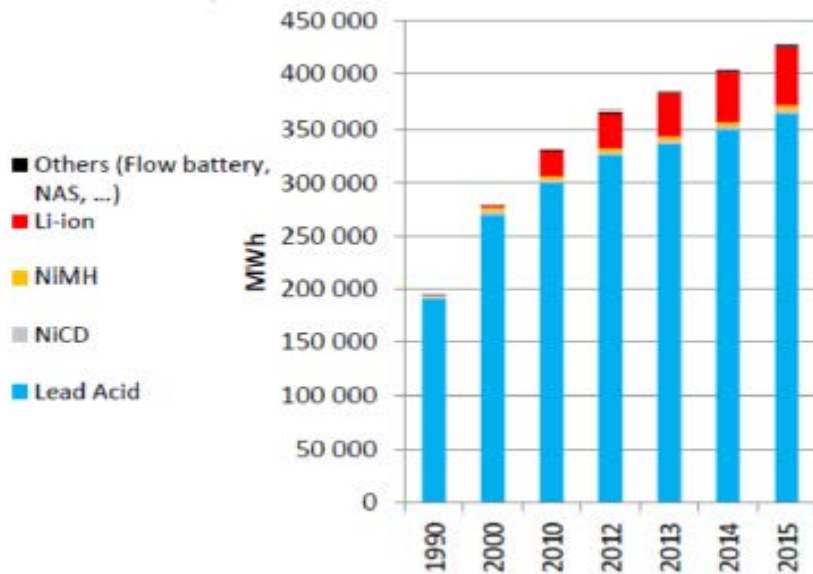
0,1-10 МВт:
Хранение
и передача энергии
Выравнивание
нагрузки,
сглаживание
максимумов
потребления.



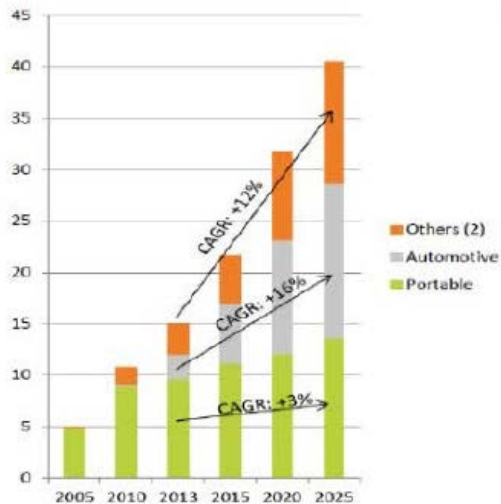
10-50 МВт:
Применение
в энергетических сетях,
выравнивание частоты и
т.д.

Источник: SAFT

Объем и динамика мирового рынка аккумуляторов и суперконденсаторов

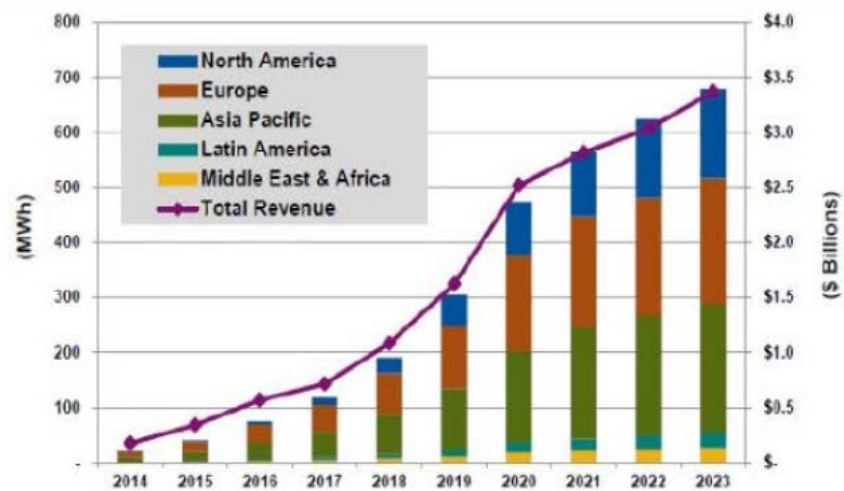


Li-ion Pack market¹ (B\$)



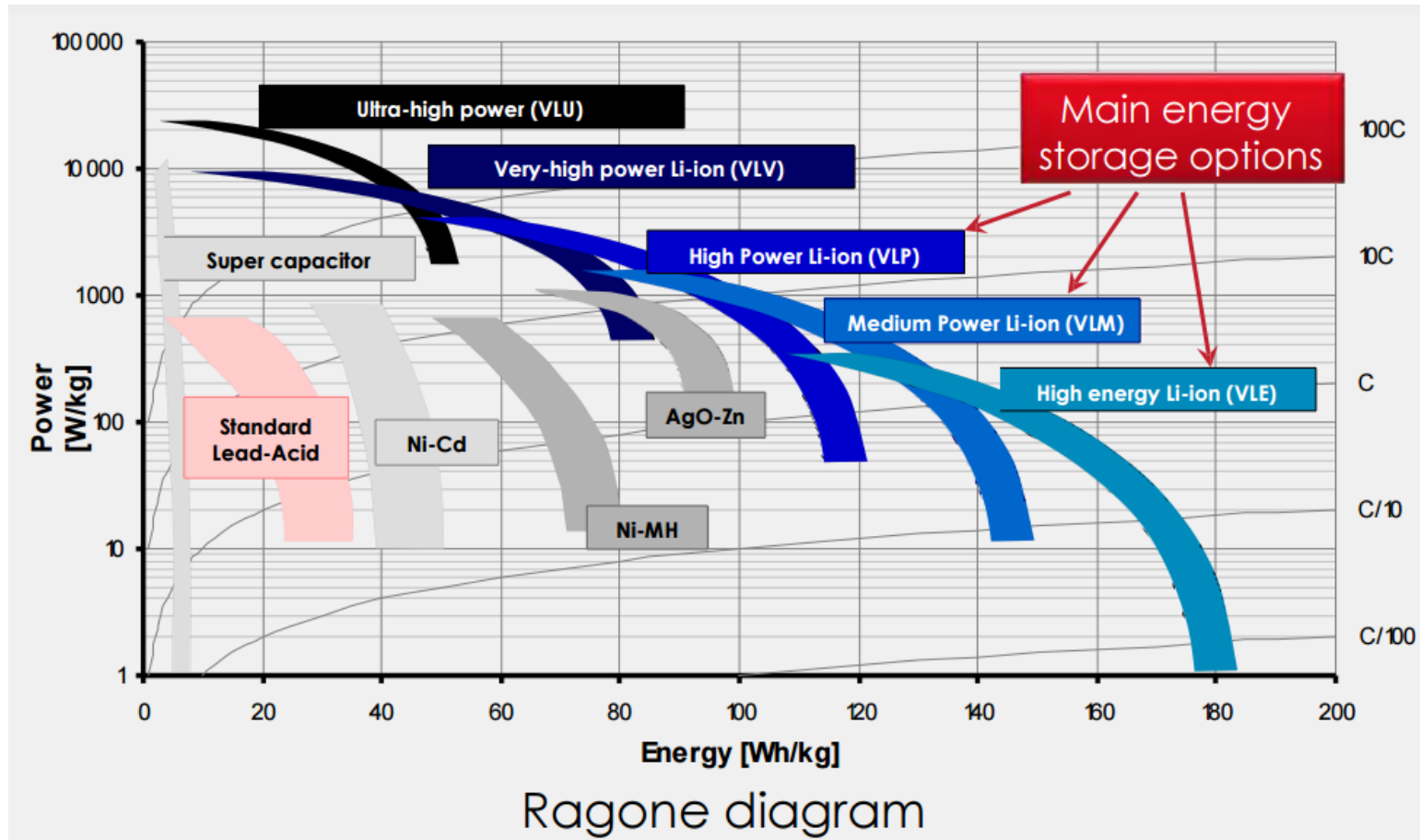
Source: Avicenne Energy Analysis, 2013

t 5.2 Ultracapacitor Energy Capacity and Revenue by Region, World Markets: 2014-2023



(Source: Navigant Research)

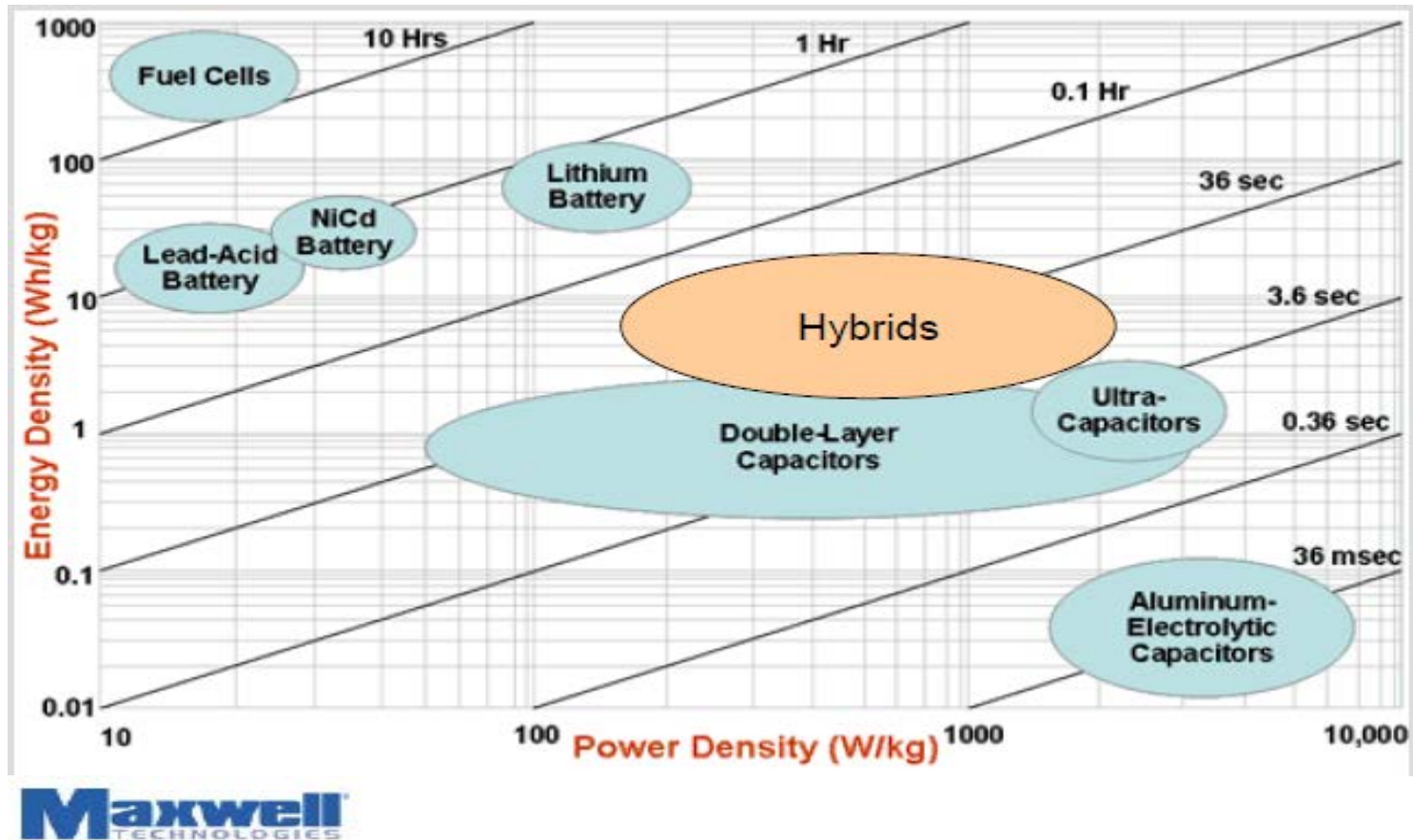
Удельная энергоемкость и мощность аккумуляторов в сравнении с суперконденсаторами



SAFT

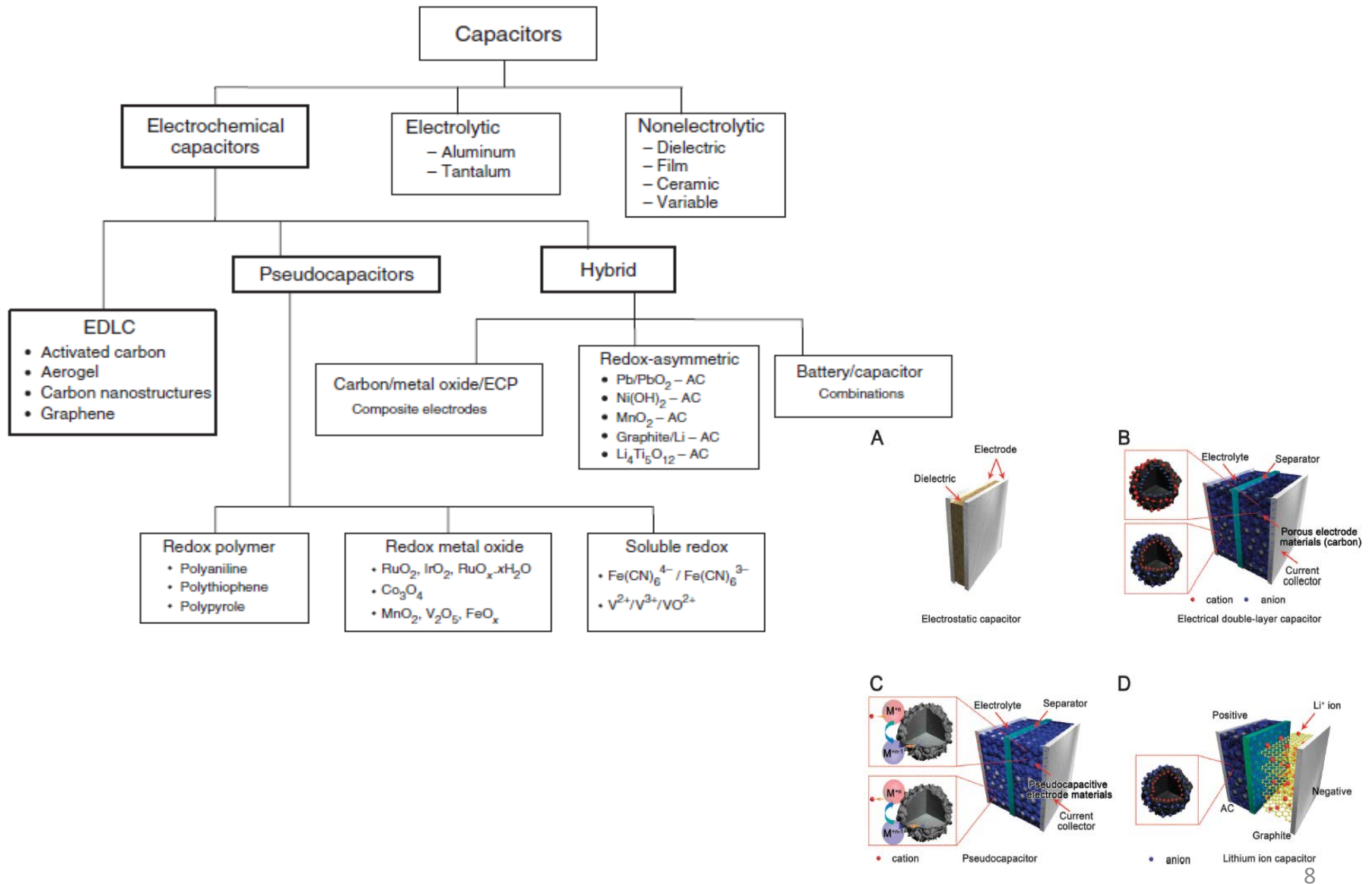
http://www.primax-e.com/beta/brochure/Batt_Lithium_SEM_Primax2016.pdf

Удельная энергоемкость и мощность суперконденсаторов в сравнении с аккумуляторами



http://www.mondragon.edu/en/phs/research/research-teams/electrical-energy/news-folder/workshop/Mondragon%202012_06_22_Gallay.pdf

Классификация основных типов конденсаторов



Сравнение основных характеристик конденсаторов, суперконденсаторов и аккумуляторов

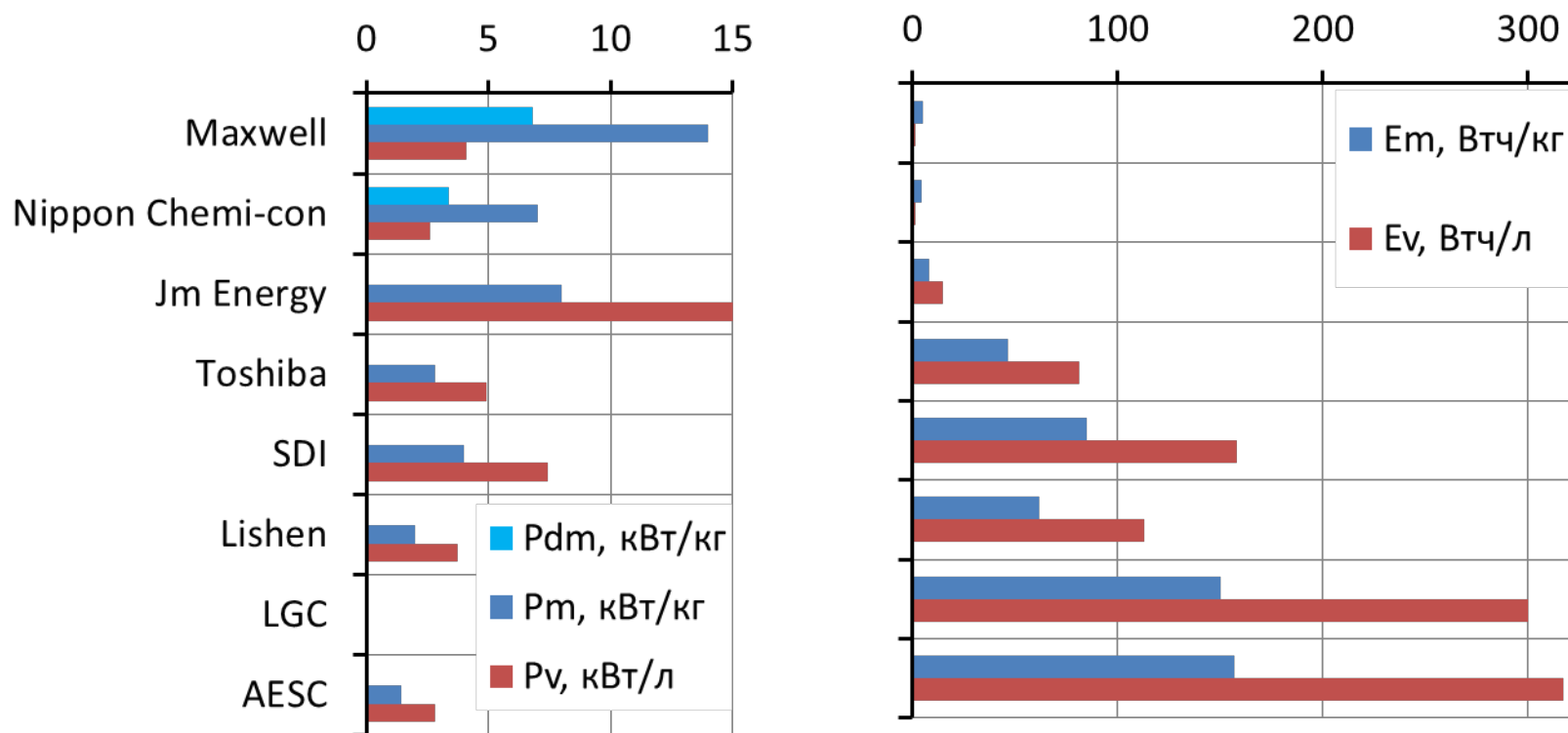
Характеристики	Конденсатор	Суперконденсатор	Аккумулятор
Примеры	Al, Ta оксид,	Актив. С в H ₂ SO ₄ , TEABF ₄ /ACN, PC	Pb-Ac, Ni-Cd, Ni-MH, Li-ion
Способ накопления	Электростатический	Электростатический	Электрохимический
E (Втч/кг)	<0,1	1 - 10	20 - 200
P (Вт/кг)	>>10 000	500 – 10 000	200 – 5 000
Время полного разряда (τр)	10⁻⁶ – 10⁻³ с	1 – 60 с	5 мин – 5 час
Время полного заряда (τз)	10⁻⁶ – 10⁻³ с	1 – 60 с	10 мин – 10 час
Эффективность разряда	1,0	0,85 – 0,99	0,7 – 0,95
Количество полных циклов, n	>> 10 ⁶ (>> 10 лет)	>10 ⁶ (> 10 лет)	10 ³ – 5x10 ³ (> 5 лет для НР – применений)
Номинальное напряжение V	Высокое	2,7 – 2,3 В	Li-ion 3,7-3,2 В номинальное
Сохранность заряда	Низкая	Низкая	Высокая
Кривая разряда V/τ	Линейная	Линейная	Плоская
Температурный диапазон t	–60 до 125°C	–40 до 65°C	–40 до 60°C разряд 0 до 45°C заряд
Стоимость кВтч	> \$1 000 000	>\$10 000	\$250–\$1,000

Характеристики серийных суперконденсаторов и высокомоощных литий-ионных аккумуляторов

		Суперконденсаторы		ЛИСК	Литий-ионные аккумуляторы				
		ACN	PC		LCO/LTO	NCM/ NG	LFP/Gr	NCM,LMO /Gr	LMO, NCA/Gr
Производитель		Maxwell	Nippon Chemi-con	JM Energy	Toshiba	SDI	Lishen	LGC	AESC
Модель		BCAP1500 P270 K04	DXE 1400F	Ultimo	HEV (Scib)	HEV	HEV	PHEV	BEV
Корпус		Ц	Ц	П	П	П	П	Л	Л
Напряжение, В		0÷2,7	0÷2,5	2,2÷3,8	1,5÷2,7	2,8÷4,2	2,0÷3,6	2,8÷4,2	2,8÷4,2
Ёмкость, Ач		0,55	0,51	0,75	2,9	5,9	7,5	15	32,5
Объём, л		0,96	0,753	0,212	0,085	0,127	0,211	0,19	0,39
Масса, кг		0,28	0,28	0,36	0,15	0,236	0,39	0,38	0,787
Удельная энергия	Втч/л	1,56	1,72	15	81,4	158	113	300	317
	Втч/кг	5,3	4,6	8	46,4	85	62	150	157
Удельная мощность	кВт/л	4,1	2,6	15	4,9	7,4	3,7	–	2,8
	кВт/кг	14	7	8	2,8	4	2	–	1,4
Максимальный пост. ток, А		140	–	–	–	–	188	150	–
Ресурс, циклы		10 ⁶	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁴	10 ³	3·10 ³	10 ³	10 ³
Заряд	°С	-40÷65	-40÷75	-20÷75	-20÷55	–	-10÷55	–	–
Разряд	°С	-40÷65	-40÷75	-20÷75	-30÷55	-40÷60	-30÷55	-30÷60	-30÷60
Сопротивление, мОм (-40°С)		0,47 (1,5)	0,8 (6)	0,7	–	–	–	–	–

Мощность для ЛИА – 50% заряда, разряд в течение 10 секунд при температуре 25°С (НРРС)

Удельная мощность и энергия суперконденсаторов и высокомоощных литий-ионных аккумуляторов



Мощность суперконденсаторов

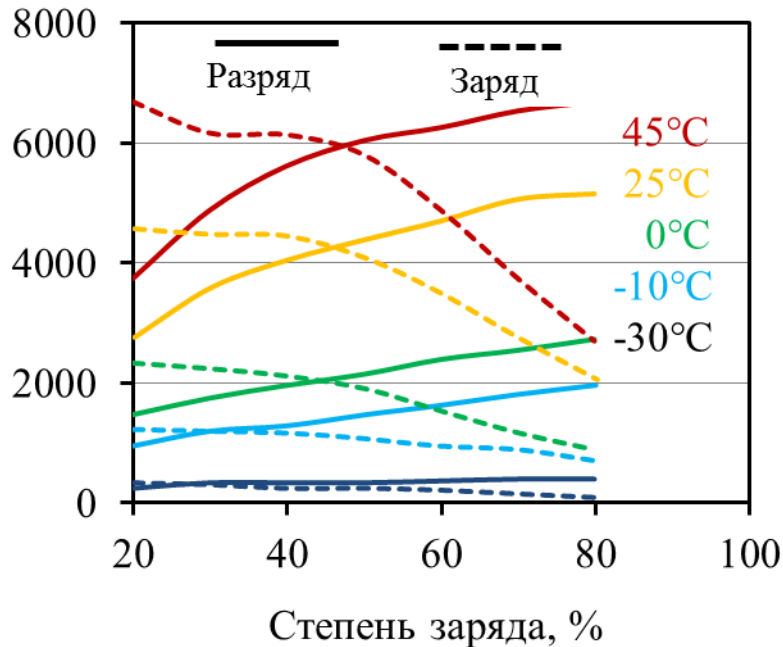
$$P_{dm} = \frac{0,12 \cdot V^2}{ESR_{DC} \cdot mass} \quad IEC 62391-2$$

$$P_m = \frac{V^2}{4 \cdot ESR_{DC} \cdot mass} \quad P_v = \frac{V^2}{4 \cdot ESR_{DC} \cdot volume}$$

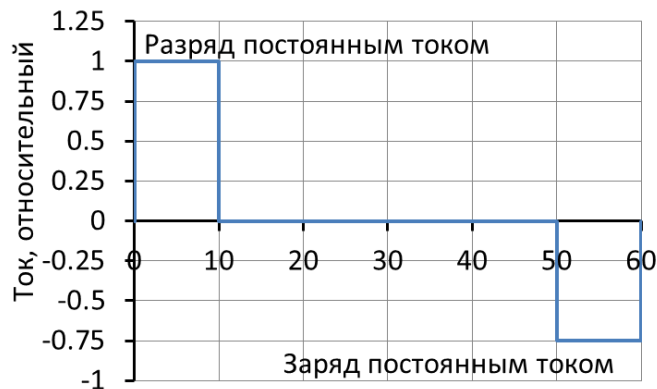
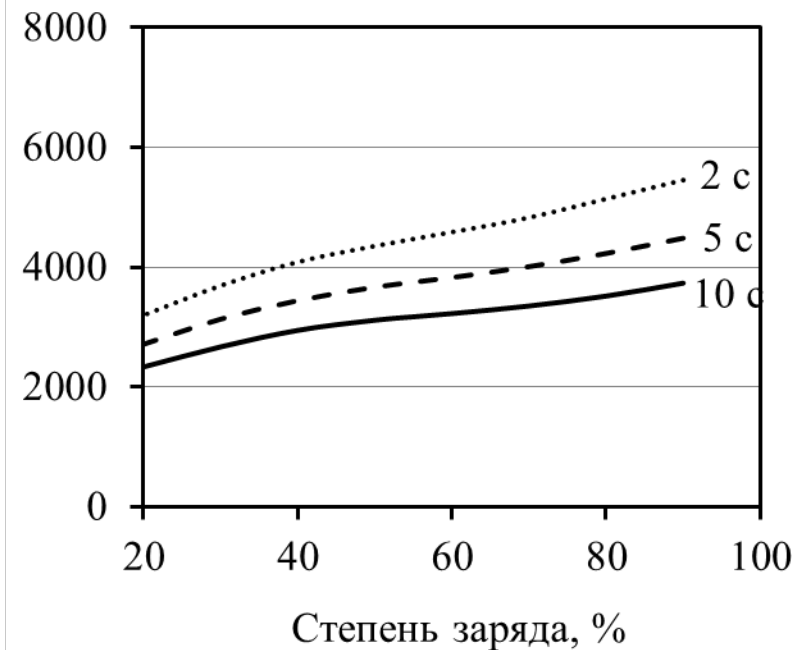
У СК, в противоположность ЛИА, удельные объёмные энергия и мощность существенно ниже массовых

Влияние температуры и времени импульса на мощность ЛИА для гибридного (HEV) транспорта

Р, Вт/кг SDI 5 Ач, HPPC, 10 секунд



Р, Вт/кг Lishen 7.5 Ач, HPPC, 25°C



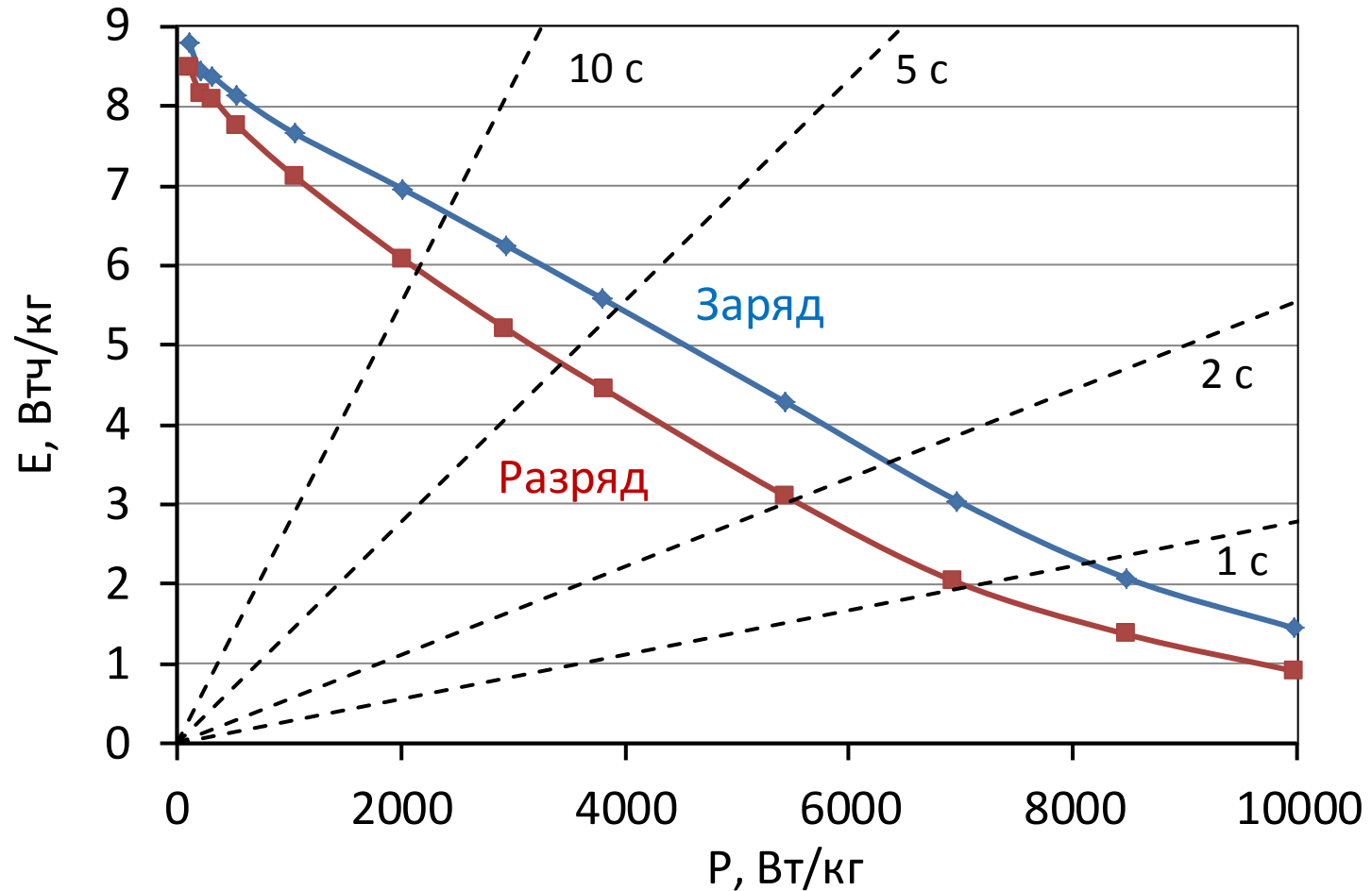
HPPC Hybrid Pulse Power Characterisation

FreedomCAR Battery Test Manual

For Power-Assist Hybrid Electric Vehicles

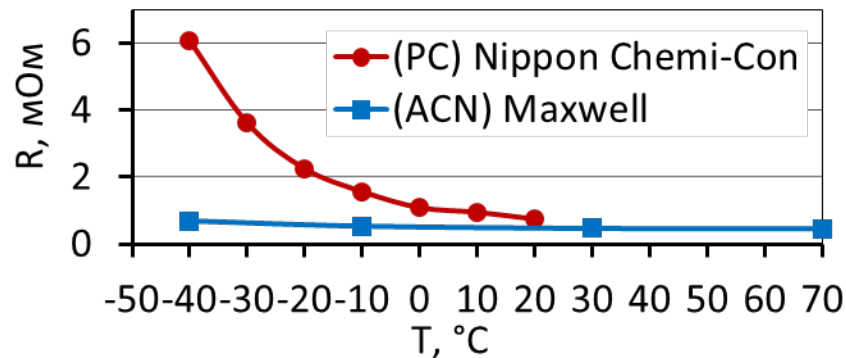
https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/battery/freedomcar_manual_04_15_03.pdf

Удельная энергия и мощность суперконденсатора в зависимости от тока заряда и разряда



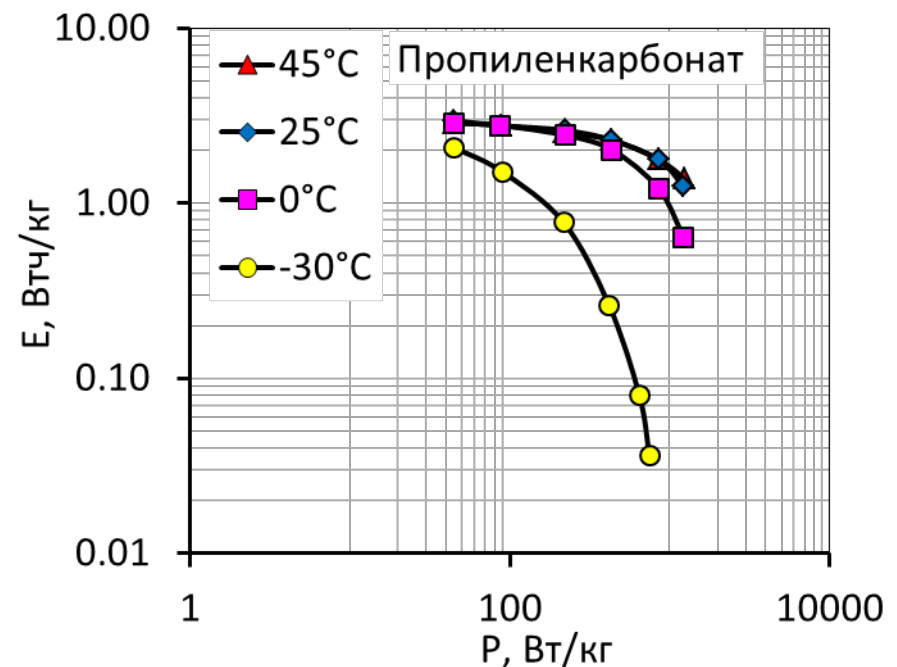
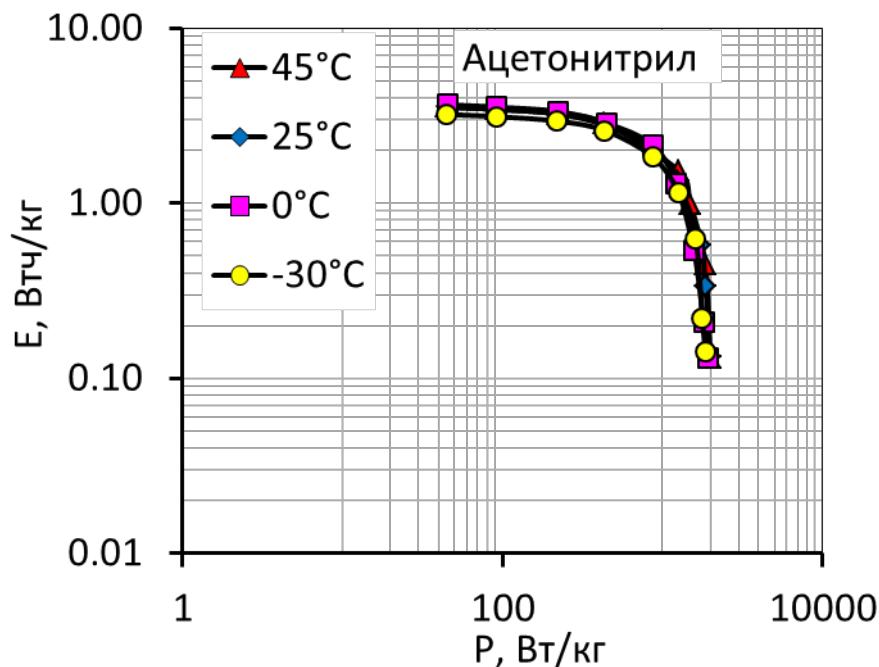
M. Arulepp, J. Leis. High power and energy density ultracapacitors in space environment. OÜ Skeleton Technologies
<https://escies.org/download/webDocumentFile?id=60967>

Влияние температуры на внутреннее сопротивление и мощность суперконденсаторов с электролитами на основе ACN и PC



Nippon Chemi-Con, DLCAP™
DXE series

Product Guide Maxwell
Technologies®
BOOSTCAP® Ultracapacitors



Выводы

- Каждый тип накопителя электрической энергии (конденсаторы, суперконденсаторы или аккумуляторы) имеют свою сферу применения которая определяется циклограммой нагрузки, их техническими и эксплуатационными характеристиками.
- В высокомошных приложениях, при увеличении длительности импульсов тока от микросекунд до секунд или минут, конденсаторы заменяют на суперконденсаторы, а суперконденсаторы, в свою очередь, на высокомошные литий-ионные аккумуляторы.
- Рациональный выбор накопителя энергии для решения конкретной задачи позволяет оптимизировать технические, массогабаритные и стоимостные характеристики изделий .