

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (МАИ)

Выпускная квалификационная работа
магистра
на тему:

**«Экспериментальные
исследования емкостных
накопителей»**

Студент: Батышкин А.Ю.
Научный руководитель: Бердник В.И.

Москва
2016

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ



ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ

- Накопители для элементов питания электронных устройств (мобильных телефонов, переносных компьютеров и т.д.);
- Фильтры электропитания мощных радиосистем;
- Гибридный электротранспорт;
- Накопители в импульсных системах (фотовспышки, дефибриллятор);
- Накопительные элементы в системах автономного и резервного электропитания;
- Резонансные системы для электродвигателей, повышающие их КПД;
- Пусковые устройства с крутым фронтом.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Целью данной работы является экспериментальное исследование, разработка и анализ сверхъёмких конденсаторных структур, а также сравнение полученных удельных характеристик экспериментальных образцов с существующими аналогами.

Для достижения цели необходимо решение следующих задач:

- 1) проанализировать среды, в которых могут работать СЭЯ;
- 2) выбрать оборудование и определиться с методикой для измерения зарядно-разрядных характеристик;
- 3) исследовать свойства электродных материалов;
- 4) определиться с выбором электролита и технологией пропитки электродных материалов;
- 5) рассмотрев все свойства, необходимо получить результаты исследования экспериментальных образцов накопителей энергии.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТОВ ОСНОВНЫХ УДЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНДЕНСАТОРА

$$C = \frac{q}{\phi}$$

$$P = \frac{U^2}{4R_S}$$

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$$

$$E = \frac{1}{2} CU^2$$

C - емкость [Ф],

q - заряд [Кл],

ϕ - потенциал [В],

ϵ_0 - диэлектрическая постоянная,

ϵ - диэлектрическая проницаемость вещества между обкладками,

S - площадь обкладок конденсатора,

d - расстояние между обкладками [м],

U - рабочее напряжение [В],

R_S - внутреннее сопротивление или эквивалентное последовательное сопротивление (ЭПС, ESR) конденсатора [Ом].

ЭЛЕКТРОДНЫЙ МАТЕРИАЛ

Привлекательность углеродных материалов в качестве электродов обусловлена уникальным сочетанием химических и физических свойств углерода, а именно:

- высокой проводимостью;
- развитой удельной поверхностью;
- коррозионной стойкостью;
- термической устойчивостью;
- контролируемой пористой структурой;
- эксплуатационными характеристиками и возможностью использования в составе композиционных материалов;
- относительно низкой стоимостью.

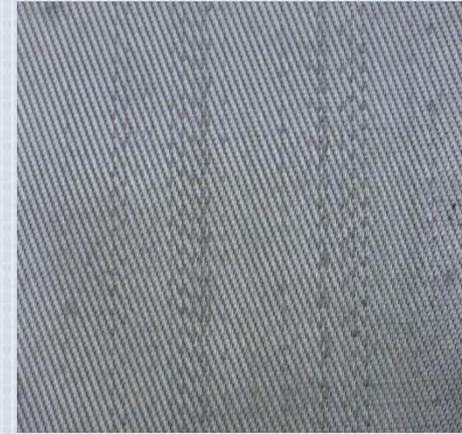
ЭЛЕКТРОДНЫЙ МАТЕРИАЛ



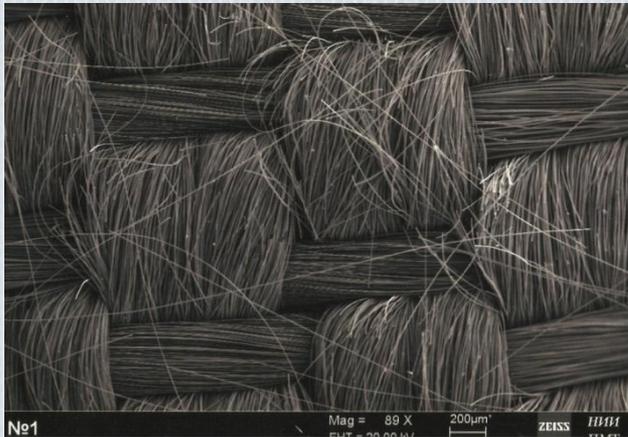
а)



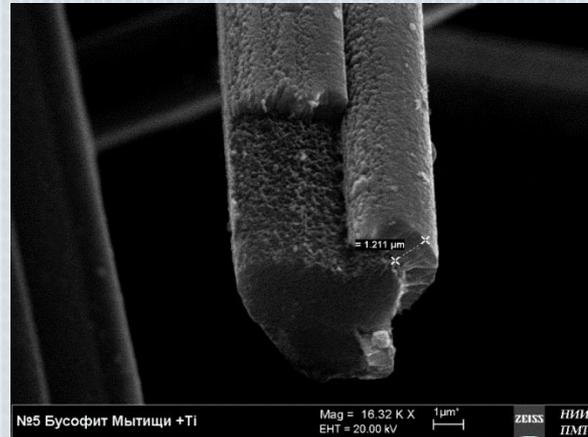
б)



в)



г)



д)

Фотографии бусофита:

- а), б) исходный материал без покрытия
- в) с нанесенным слоем Ti;
- г) с нанесенным слоем Ti, увеличение в 50 раз;
- д) с нанесенным слоем Ti, увеличение в 16000 раз.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МАГНЕТРОННОГО ИСТОЧНИКА

Магнетронная распылительная система



Установка вакуумной металлизации бусофита



Устройство перемотки рулонного материала

ЭЛЕКТРОЛИТ

В качестве электролита был выбран сульфат лития Li_2SO_4 , с молярной концентрацией 1,2 моль/л.

Размеры молекул пропитывающей жидкости должны быть изначально меньше минимальных размеров пор исследуемого материала. Для углеродных микропористых образцов наиболее подходящей, с этой точки зрения, жидкость является электролит на основе лития.



МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ УДЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ

Интерфейс оператора виртуального прибора

Процесс X

PC tC tK

Готов
Работа
Прерыв

Прерывание

Время, ч
процесс 0.00
шага 0.00

Шаги
0

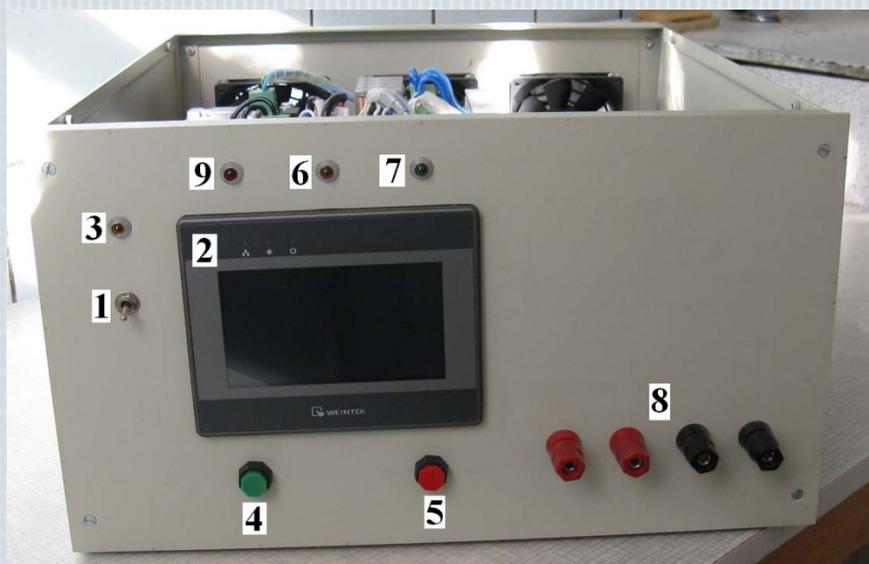
Температура радиаторов, °C
23.7

Конденсатор

I, A 0.00
U, В 0.00
T, °C
C, ф 0.0
Ro, Ом 0.000
Rд, Ом 0.0

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ УДЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ

Блок контрольно-измерительного стенда

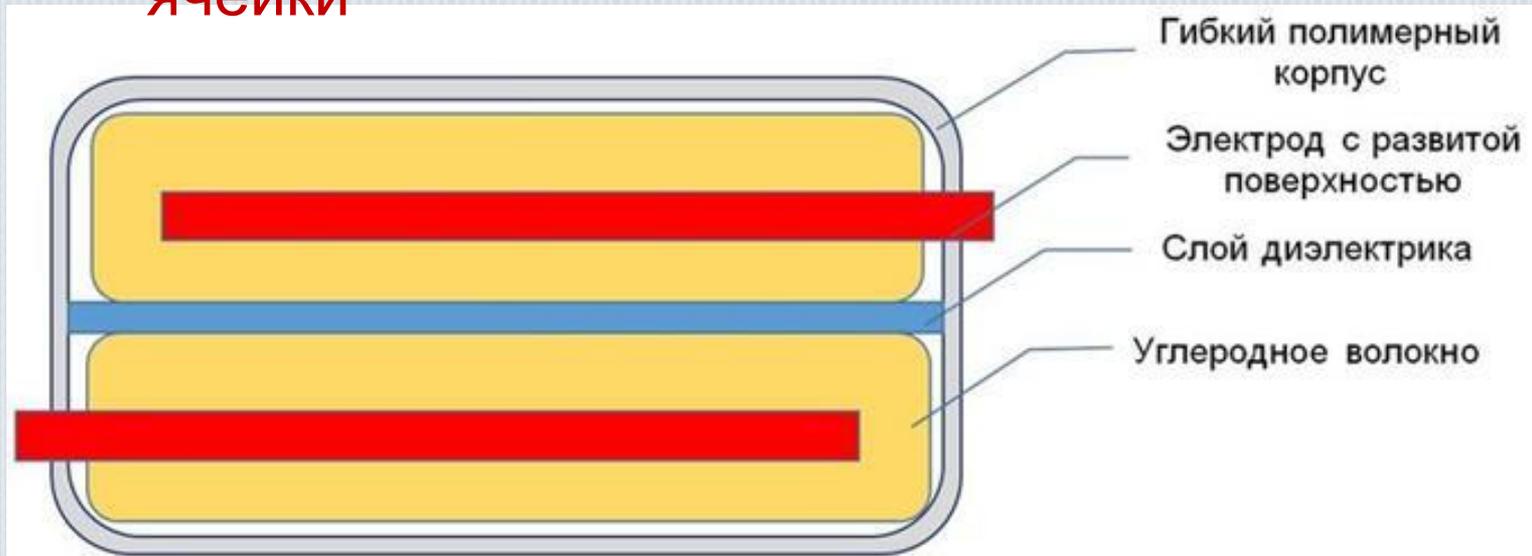


На лицевой панели блока располагаются:

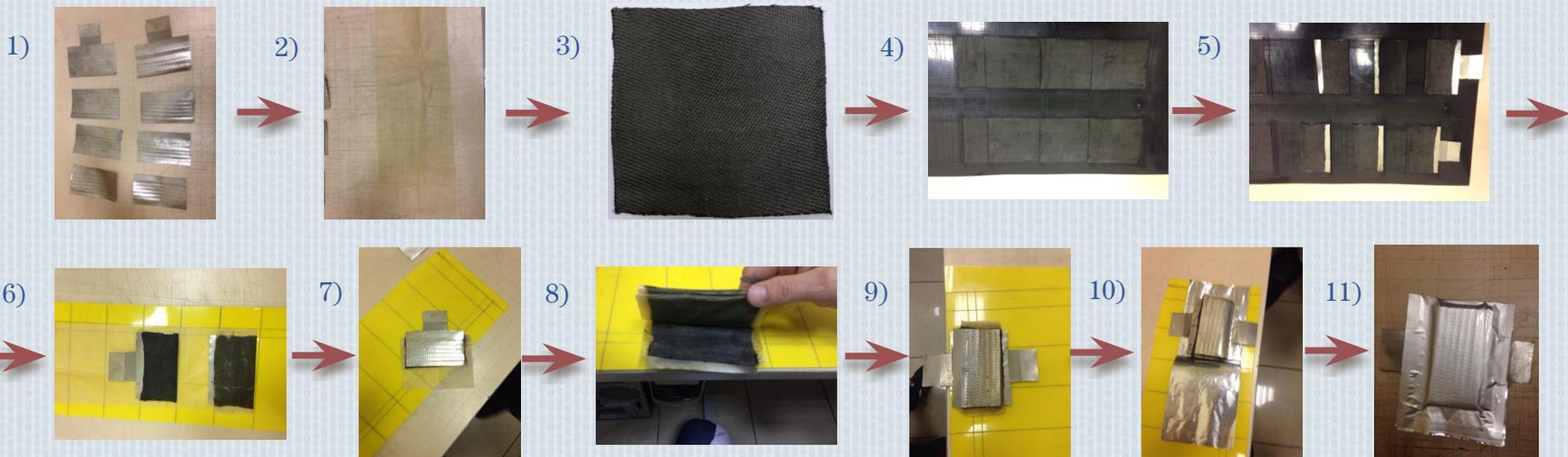
- выключатель питания (1),
- панель оператора (2),
- лампа для индикации питания (3),
- кнопка "Старт" (4),
- кнопка "Стоп" (5),
- лампа "Сбой в работе" (9),
- лампа "Прерывание работы" (6),
- лампа "Работа" (7),
- клеммы подключения тестируемого конденсатора (8).

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ КОНДЕНСАТОРНОЙ ЯЧЕЙКИ

Макет сверхъёмкой конденсаторной ячейки



ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ КОНДЕНСАТОРНОЙ ЯЧЕЙКИ



12)

- 1) Титановый электрод
- 2) Сепаратор (калька с плотностью 42 г/м²)
- 3) Чистый бусофит
- 4) Бусофит с пленкой титана
- 5) Бусофит с пленкой титана, пропитанный электролитом и с титановым контактом
- 6) Бусофит с пленкой титана, титановым контактом и сепаратором
- 7) Симметричная сборка ячейки
- 8) Структура сборки конденсаторной ячейки без корпуса
- 9) Сборка конденсаторной ячейки без корпуса
- 10) Сборка корпуса ячейки
- 11) Герметичная вакуумированная ячейка
- 12) Опытные образцы СИИТ

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ

№ обр.	U ₁ , В	R _н , Ом	ESR, Ом	C, Ф	U ₂ , В
174	2,6	0,25	0,158	901	2,55
175	2,6	0,25	0,137	951	2,6
176	2,6	0,25	0,127	885	2,64
177	2,6	0,25	0,14	897	2,65
182	3	0,25	0,09	812	2,6
183	2,8	0,25	0,1	903	2,5
184	2,7	0,25	0,069	722	2,5
185	2,9	0,25	0,069	577	2,5
192	2,8	0,25	0,19	829/836	2,63
193	2,8	0,25	0,257	670/771	2,61
196	2,8	0,25	0,203	1020/1192	2,67
198	2,8	0,5	0,307	739	2,76
200	2,7	0,5	0,173	602	2,65
201	2,7	0,5	0,195	701/797	2,67
203 ПАН 42 г/м2	2,8	0,5	0,106	818/882	2,68
203 ПАН 42 г/м2	2,7	0,5	0,126	759/875	2,63
204 ПАН 27г/м2	2,8	0,5	0,107	935/1060	2,63

U₁, В – напряжение, выставленное на стенде;

U₂, В – напряжение, до которого заряжается ячейка;

R_н, Ом – сопротивление нагрузки, на которое разряжается

измеряемая конденсаторная ячейка;

C, Ф – измеренная емкость конденсаторной ячейки

СТОИМОСТЬ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПОДГОТОВКИ ОСВОЕНИЯ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Этапы реализации проекта

Сроки	Наименование этапа
2014-2015 гг.	ОКР
2016 г.	Проект и начало строительства
2017 г.	Окончание строительства, завоз и монтаж оборудования
2018 г.	Запуск производства. Выход на рынок.

Потребность в инвестиционных ресурсах и источники их образования, в млн. руб.

Наименование источника инвестиций	2016	2017	2018	Всего:
Бюджетные средства, млн. руб.	75	545	230,0	850
Собственные средства, млн. руб.	100	700	300	1100
Общая сумма инвестиционных затрат, млн. руб.	175	1245	530	1950

Капитальные затраты по статьям расходов, источникам финансирования и годам реализации проекта, млн. руб.

Годы	Статьи расходов						Всего:	
	СМР		оборудование		Прочие			
	бюджет	внебюджет	бюджет	внебюджет	бюджет	внебюджет	бюджет	внебюджет
2016	20	33	30	30	12	20	62	83
2017	120	250	308	280	25	48	453	578
2018	5	10	5	10	5	5	15	25
ВСЕГО:	145	293	343	320	42	73	530	686
ИТОГО:							1 216	

Текущие (операционные) затраты по статьям расходов, источникам финансирования и годам реализации проекта, млн. руб.

Наименование статьи расходов	2016	2017	2018	ВСЕГО:
Сырье и материалы	0	5	120	125
Энергоресурсы	0	9	20	29
Зарплата	30	200	350	580
ИТОГО:	30	214	490	734

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- ✓ Анализ современного состояния в области накопителей энергии показал, что суперконденсаторы являются перспективным направлением развития в области накопителей энергии.
- ✓ Было показано, что энергоемкость в конденсаторах растет по квадратичному закону от приложенного напряжения, следовательно, привлекательным направлением являются конденсаторные структуры с диэлектрическим слоем. Поэтому, суперпористый материал в виде волокна является перспективным в связи с тем, что на нем в отличие от порошкообразных материалов, можно создать конденсаторные структуры с диэлектрическим слоем. Это обеспечивает рост рабочего напряжения до 10 В и более. Кроме того, рулонные технологии производства являются более технологичными и менее затратными.
- ✓ В качестве электродного материала был выбран бусофит, так как он имеет ряд преимуществ: высокоразвитую удельную поверхность, хорошую электропроводность и технологичность. Так же он имеет пористую структуру, которая хорошо смачивается электролитом.
- ✓ Разработаны уникальная технология измерения зарядно-разрядных характеристик СЭЯ на основе углеродных материалов (бусофита) и автоматизированный стенд для измерения параметров электролитической ячейки, тренировки и тестирования СИИТ.
- ✓ Проведенные исследования показывают, что измеренная емкость ячеек находится в диапазоне $C=600-1200$ Ф, а рабочее напряжение ячеек составляет $U_p=2,5-3,0$ В. Также было установлено, что тренировка ячеек на заряд-разряд уменьшает ток утечки.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ