

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],

$\phi$  - потенциал [В],

$\epsilon_0$  - диэлектрическая постоянная,

$\epsilon$  - 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.



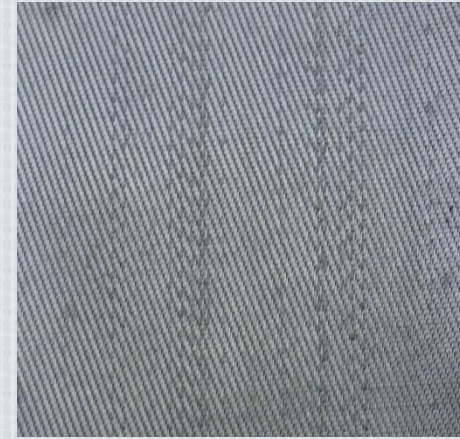
# ЭЛЕКТРОДНЫЙ МАТЕРИАЛ



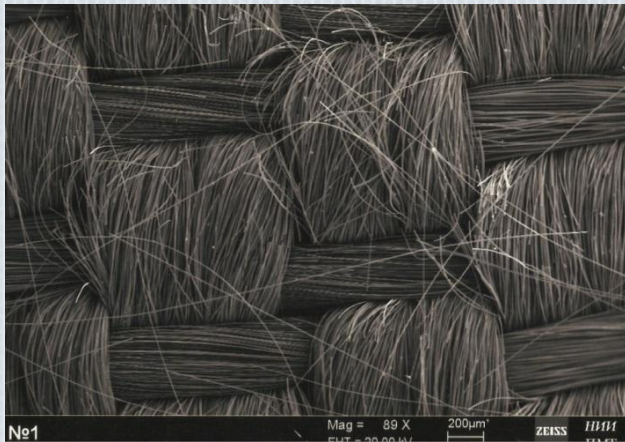
а)



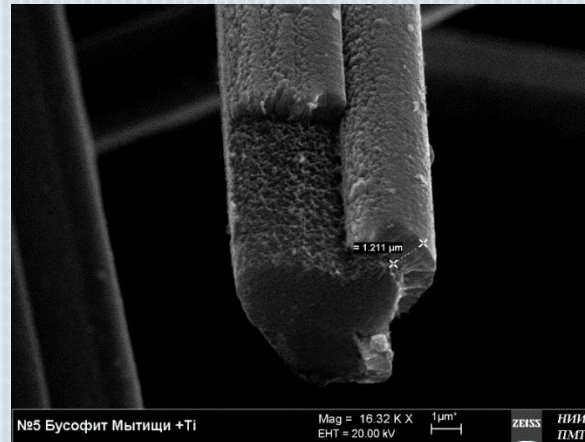
б)



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.

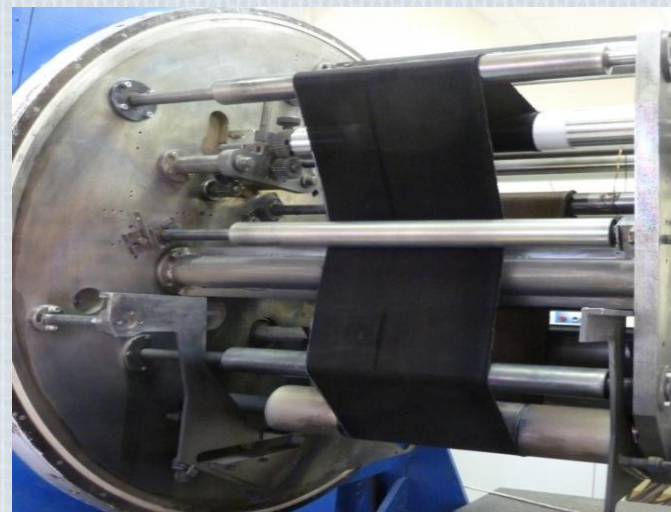
# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МАГНЕТРОННОГО ИСТОЧНИКА

---

## Магнетронная распылительная система



Установка вакуумной металлизации бусофита



Устройство перемотки рулонного материала



# ЭЛЕКТРОЛИТ

---

В качестве электролита был выбран сульфат лития  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ , 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

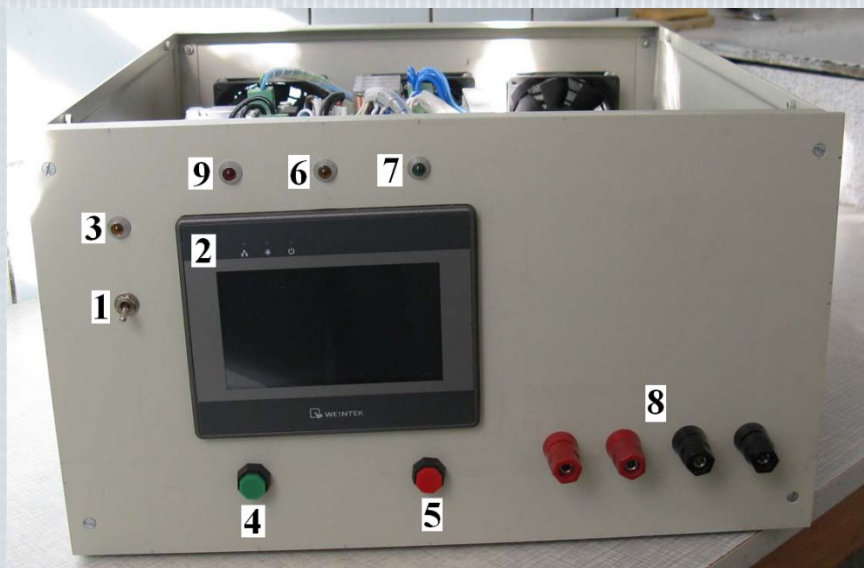
## Интерфейс оператора виртуального прибора

The interface is titled "Процесс" and features a close button "X" in the top right corner. It is divided into several functional areas:

- Control Buttons:** Three buttons labeled "РС", "tC", and "tK" are located in the top left. Below them are three stacked buttons: "Готов" (green), "Работа" (yellow), and "Прерыв" (yellow). A large cyan button labeled "Прерывание" is positioned at the bottom left.
- Process Parameters (Green background):**
  - Время, ч: процесс 0.00, шаг 0.00
  - Шаги: 0
- Temperature (Yellow background):**
  - Температура радиаторов, °C: 23.7
- Capacitor Parameters (Dark Teal background):**
  - Конденсатор: I, A (0.00), U, В (0.00), T, °C (empty), C, ф (0.0), R<sub>0</sub>, Ом (0.000), R<sub>д</sub>, Ом (0.0)

# МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ УДЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ

## Блок контрольно-измерительного стенда

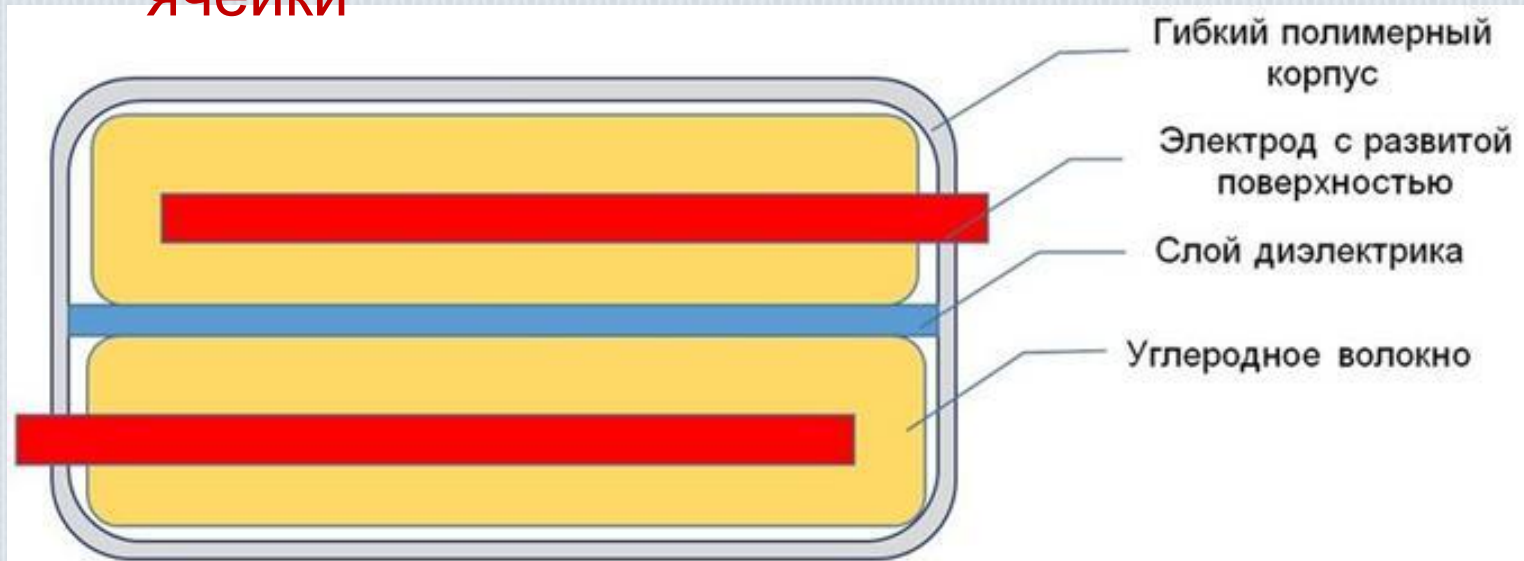


### На лицевой панели блока располагаются:

- 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).

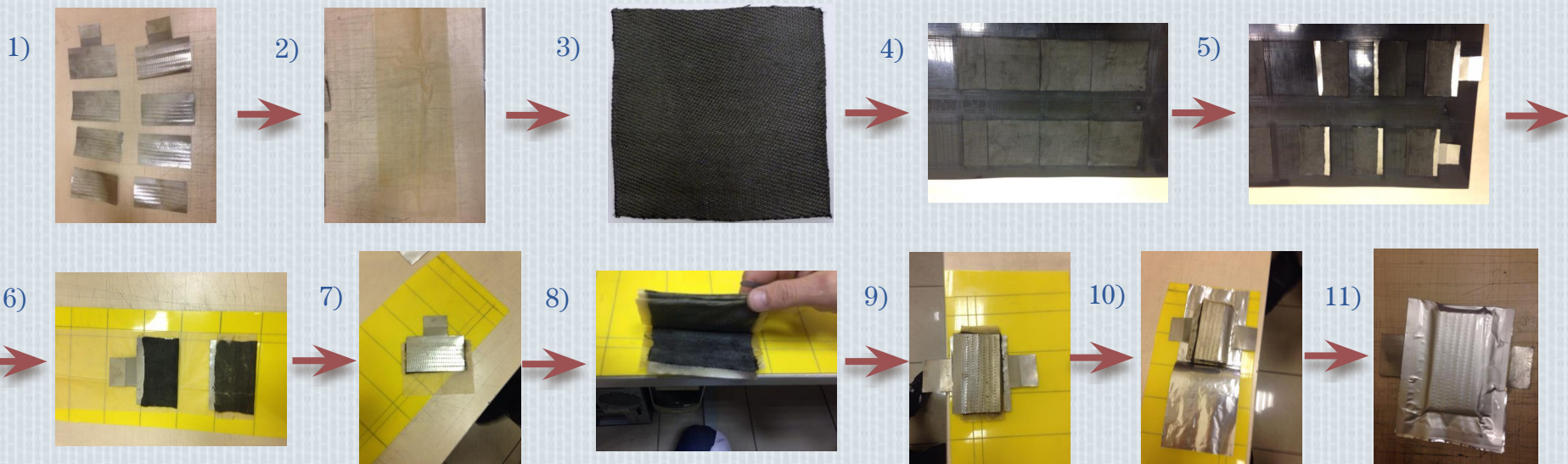
# ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ КОНДЕНСАТОРНОЙ ЯЧЕЙКИ

## Макет сверхъёмкой конденсаторной ячейки





# ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ КОНДЕНСАТОРНОЙ ЯЧЕЙКИ



12)

- 1) Титановый электрод
- 2) Сепаратор (калька с плотностью 42 г/м<sup>2</sup>)
- 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 <sub>1</sub> , В	R <sub>н</sub> , Ом	ESR, Ом	C, Ф	U <sub>2</sub> , 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

U<sub>1</sub>, В – напряжение, выставленное на стенде;

U<sub>2</sub>, В – напряжение, до которого заряжается ячейка;

R<sub>н</sub>, 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
<b>ИТОГО:</b>							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
<b>ИТОГО:</b>	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**