

## **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНДЕНСАТОРОВ НА ВОДНОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ С ВЫСОКИМ РАБОЧИМ НАПРЯЖЕНИЕМ**

В.В. Слепцов, А.О. Дителева, Д.Ю. Кукушкин, Р.А. Цырков, С.Б. Савилкин, Е.О. Дителева

### **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

КОНДЕНСАТОР, ВОДНЫЙ ЭЛЕКТРОЛИТ, НАНОЧАСТИЦЫ, ПОВЫШЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ,  
НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ, УГЛЕРОДНАЯ МАТРИЦА

## **DEVELOPMENT OF DESIGN AND MANUFACTURING TECHNOLOGY OF AQUEOUS ELECTROLYTE CAPACITORS WITH HIGH OPERATING VOLTAGE**

V.V. Sleptsov, A.O. Diteleva, D.Y. Kukushkin, R.A. Tsyrykov, S.B. Savilkin, E.O. Diteleva

### **KEYWORDS**

CAPACITOR, AQUEOUS ELECTROLYTE, NANOPARTICLES, VOLTAGE INCREASE, ENERGY  
STORAGE, CARBON MATRIX

Суперконденсаторы обычно используются везде, где требуется быстрый заряд энергии. Самый распространенный тип суперконденсаторов – суперконденсаторы с двойным электрическим слоем (ДЭС). Но их плотность энергии в 10 раз меньше, чем у аккумуляторов. Также наличие у таких суперконденсаторов саморазряда и внутреннего сопротивления являются недостатками для их применений. Альтернативным вариантом является литий-ионный аккумулятор (Li-ion). Он предлагает более высокую плотность энергии с уменьшенным саморазрядом, но имеет плохую стабильность циклов заряда/разряда и страдает от проблем, связанных с безопасностью. По оценкам Panasonic существующие ЛИБ в ближайшие года смогут увеличить свою эффективность не больше чем на 20% (сейчас 250 Вт\*ч/кг). Увеличение энергетической емкости ЛИБ заключалось в изменении объема кобальта, алюминия, марганца и никеля в катодах.

Решить данные проблемы можно разработав конденсатор, сочетающий в себе все лучшие характеристики конденсаторов с ДЭС и литий-ионных аккумуляторов, т.е. разработав гибридный конденсатор, представляющий собой комбинацию этих двух технологий. В результате получается устройство с лучшей плотностью энергии, чем у суперконденсаторов с ДЭС, но без характеристики саморазряда, более высокой долговечностью (большее число циклов заряда-разряда) и безопасностью, в отличии от литий-ионных аккумуляторов. Основными параметрами к перспективным накопителям энергии выделяют рост энергоемкости и безопасности. Для этого необходимо применять различные электроды с существенно бóльшей теоретической емкостью, увеличивать предел напряжения и переходить к безопасным электролитам.

Еще одним фактором уменьшения эффективности ЛИБ является технология изготовления. Существующие толсто пленочные технологии реализуют лишь 10-15% от теоретически возможной энергоемкости для однократных ХИТ и в 2-3 раза меньше для многоразовых ХИТ. Перспективно использовать тонкопленочную технологию изготовления накопителей энергии, что позволяет на порядки снизить внутреннее сопротивление ячеек, что приведет к снижению тепловыделения в процессе работы

ячейки и соответственно к увеличению удельной энергоёмкости и безопасности эксплуатации, которые являются наиболее важными требованиями к ячейкам.

В ближайшее время наибольшим потенциалом развития обладают 3-е поколение аккумуляторов, к которым относятся NMC-материалы (Li, Ni, Mg, C) с высоким содержанием Li и Ni, которые используются в качестве катода. Анод представляет из себя углерод в виде высокопористой матрицы, в которой находятся наночастицы материалов Si, Ge, Sn, P, Sb. Эластичная матрица на основе графена с наночастицами Si (анод) имеет удельную энергоёмкость анода ~2000 мАч/г, что в два раза больше ёмкости графена (1000 мАч/г) и также возрастает её стабильность при росте числа циклов. Основным недостатком является относительно низкий электрический потенциал (не более 1В) [1-6].

Второй важной задачей при разработке новых перспективных накопителей энергии является увеличение предела напряжения. Эта возможность появляется тоже только при создании конструкции конденсатора по тонкоплёночным технологиям. Третьей важной задачей является повышение безопасности накопителя. Электротермическая безопасность устройств на основе водных электролитов выше в сравнении с накопителями с органическими электролитами, что очень важно при их производстве и эксплуатации. Способом увеличения плотности энергии устройства с водным электролитом является преодолеть «окно» электрохимической стабильности воды.

Целью данной работы являлось разработать перспективный безопасного конденсатор с водным электролитом, его конструкцию и технологию, изготовить лабораторный образец и измерить его основные характеристики. В качестве электродного материала использовалась токопроводящая матрица с высокой удельной поверхностью с тонким слоем диэлектрика, заполненная наночастицами металла. В качестве электролита использовался водный 10%-ый раствор NaCl. Изготовленные ячейки на водном электролите смогли выдержать напряжение 2.6 В и ток 0.15 А без видимых процессов разложения электролита. Максимальная ёмкость образцов составила 148 Ф при напряжении 2.6 В и токе 0.15 А. Удельная энергоёмкость изготовленного конденсатора составила 5.5 Вт\*ч/кг при весе образца 25 г.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер темы FSFF-2023-0008.

## **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

Слепцов Владимир Владимирович – доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0002-1171-336X), заведующий кафедрой РТН, Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: 08fraktal@inbox.ru

Дителева Анна Олеговна – (ORCID: 0000-0002-0819-6517), Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: anna.diteleva@mail.ru

Кукушкин Дмитрий Юрьевич – кандидат технических наук, (ORCID: 0000-0002-6968-1495), Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: Skyline34@nxt.ru

Цырклов Роман Александрович – Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: roma1992@yandex.ru

Савилкин Сергей Борисович — кандидат физико-математических наук, Московский авиационный институт, г. Москва e-mail: savilkin@mail.ru

Дителева Елизавета Олеговна — Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: elizavetaditeleva@mail.ru