

**НАБОРНЫЕ СУПЕРКОНДЕНСАТОРЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ*****К.К. Деньщиков**

Объединенный институт высоких температур РАН
стр. 2 д. 13, ул. Ижорская, Москва, 125412, Россия
тел. +7 (903) 722-99-43, e-mail: kdenshchikov@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.07-09.097-105

Заключение совета рецензентов: 31.01.19 Заключение совета экспертов: 06.02.19 Принято к публикации: 15.02.19



В статье рассмотрены вопросы исследования и разработки электрохимических накопителей энергии наборных суперконденсаторов нового поколения с повышенными энергетическими характеристиками. На базе проведенных теоретических и экспериментальных исследований в ОИВТ РАН в течение последних десяти лет были разработаны опытные образцы наборных суперконденсаторов, главные особенности которых заключаются в использовании нетоксичного органического электролита на основе ионной жидкости и новой технологии изготовления электродов суперконденсатора на основе двусторонней композитной углеродной ленты.

По новой технологии изготовлены: суперконденсатор 41СК, состоящий из 40 двухсторонних и двух одно-сторонних электродов с номинальным 90,2 В и максимальным 102,5 В напряжением; суперконденсатор 2x50СК, состоящий из двух параллельно соединенных пакетов по 50 элементарных суперконденсаторов (в каждом пакете 49 двухсторонних и два односторонних электрода) с номинальным 110 В и максимальным 125 В напряжением. Экспериментальные исследования опытных образцов показали, что вольтамперограммы имеют типичную прямоугольную форму с четко выраженной двойной областью, что свидетельствует о равномерном распределении заряда и отсутствии вклада псевдоемкостных процессов в исследуемом интервале напряжений; заряд/разрядные зависимости имеют выраженную пилообразную форму, что свидетельствует о равномерных зарядке и разрядке двойного электрического слоя.

Сравнение характеристик серийных образцов наборных суперконденсаторов с водным электролитом и макетных образцов наборных суперконденсаторов с органическим электролитом на основе ионной жидкости $1\text{Me}_3\text{BuImBF}_4$ показало, что удельная энергия новых наборных суперконденсаторов более чем в 10 раз выше по сравнению с наборными суперконденсаторами с водным электролитом; удельная мощность новых наборных суперконденсаторов в 2–3 раза выше, чем у наборных суперконденсатора с водным электролитом.

Ключевые слова: двойной электрический слой; суперконденсатор; композитная углеродная лента; электрохимические измерения; удельные энергетические характеристики.

NEW TYPE OF STACKED SUPERCAPACITORS**K.K. Denshchikov**

Joint Institute for High Temperatures, RAS
13/2 Izorskaya St., Moscow, 125412, Russia
tel.: +7 903 722 99 43, e-mail: kdenshchikov@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.07-09.097-105

*Деньщиков К.К. Наборные суперконденсаторы нового поколения // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2019;07-09:97-105.



The article deals with the research and development of electrochemical energy accumulators of stacked supercapacitors of a new generation with enhanced energy characteristics.

On the basis of the theoretical and experimental research carried out at the Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences over the past ten years, prototypes of stacked supercapacitors have been developed with main features the use of non-toxic organic electrolyte based on ionic liquid, and a new technology for manufacturing electrodes of a supercapacitor based on double-sided composite carbon ribbon.

According to the technology we have manufactured supercapacitor 41SK consisting of 40 double-sided and two-sided electrodes with a nominal 90.2V and maximum 102.5V voltage, and supercapacitor 2x50SK consisting of two parallel-connected packages of 50 elementary supercapacitors (each package has 49 bilateral and two one-way electrodes) with a nominal 110V and maximum 125V voltage.

Experimental studies of prototypes show that voltammograms have a typical rectangular shape with a clearly defined double-layer region which indicates a uniform charge distribution and the absence of the contribution of pseudo-capacitive processes in the voltage range under study; charge/discharge dependences have a pronounced sawtooth shape which indicates a uniform charging and discharging of the electrical double layer.

A comparison of the characteristics of serial samples of stacked supercapacitors with an aqueous electrolyte and prototypes of stacked supercapacitors with an organic electrolyte based on $1\text{Me}_3\text{BuImBF}_4$ ionic liquid shows that specific energy of new type stacked supercapacitors is more than 10 times higher than that of supercapacitors of existing type with aqueous electrolyte; specific power of the stacked supercapacitors of new type is 2-3 times higher than that of the with an aqueous electrolyte.

Keywords: electric double-layer; supercapacitor; composite carbon ribbon; electrochemical tests; specific energy characteristics.



Константин
Константинович
Деньщиков
Konstantin Denshchikov

Сведение об авторе: д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник Объединенного института высоких температур РАН.

Награды: три медали Всесоюзной выставки СССР: Золотая медаль (1983 г., 1985 г.), Серебряная медаль (1984 г.); Серебряная медаль IV Международной выставки инноваций IWIS 2010, Варшава, Польша; Бронзовая медаль Международной выставки IENA 2010, Нюрнберг, Германия; Золотая медаль Международной выставки IENA 2012, Нюрнберг, Германия; Специальный приз Республики Македония, 2012, Нюрнберг, Германия.

Образование: Московский авиационный технологический институт (1961 г.).

Область научных интересов: теоретические и экспериментальные исследования электрохимических суперконденсаторов, систем накопления энергии; энерго- и ресурсосберегающие технологии.

Публикации: 250.
h-index (РИНЦ) 4 ; (WoS) 3; (Scopus) 3.

Information about the author: D.Sc. in Engineering, Professor, Chief Researcher at Joint Institute for High Temperatures, RAS.

Awards: Three medals of All-Union USSR Exhibition – Gold Medals (1983, 1985), Silver Medal (1984); Silver Medal of IV International Warsaw Invention Show IWIS, 2010, Warsaw, Poland; Bronze Medals of International Fachmesse, IENA 2010, Nurnberg, Germany; Gold Medals, International Fachmesse, IENA 2012, Nurnberg, Germany; Special Price of Republic of Macedonia, 2012, Nurnberg, Germany.

Education: Moscow Institute of Aviation Technology, 1961.

Researches interests: theoretical and experimental studies of electrochemical supercapacitors; energy storage systems, energy-saving technologies.

Publications: 250.

1. Введение

Развитие мировой экономики и повышение уровня жизни базируются на стремительном увеличении потребления энергии. Сопоставление этих зависимостей во времени показывает, что на единицу прироста внутреннего валового продукта и показателя уровня жизни приходится все больше потребляемой энергии, что в условиях конечности запасов энергоресурсов ставит перед мировой экономикой нетривиальные задачи поиска новых источников энергии и разработки новых энергосберегающих технологий.

Обеспечить прирост энергоресурсов можно за счёт утилизации потребленной энергии. Это весьма значительный потенциал, который в общем виде составляет значение, равное $[(1 - \text{КПД}) \cdot (\text{потребленная энергия})]$.

В настоящее время не существует надежных и экономически обоснованных методов утилизации тепловой энергии, поэтому продукция металлургических и иных энергоемких производств, охлаждаемые технические устройства способствуют глобальному потеплению.

Однако для утилизации кинетической энергии движущихся технических устройств в режиме торможения существует уникальное инженерное решение в

виде суперконденсатора – накопителя аномального количества энергии, позволяющего в течение нескольких десятых долей секунд подхватить тормозную энергию движущегося объекта с массой от мопеда до большегрузного железнодорожного состава [1–4].

Таким образом, суперконденсатор является единственным техническим устройством, позволяющим рекуперировать энергию торможения, что позволяет утилизировать до 25 % потребленной энергии.

В ОИВТ РАН ведутся разработки наборных суперконденсаторов нового поколения с учётом мно-

гочисленных и плодотворных применений суперконденсаторов в различных областях техники.

Впервые в мировой практике разработано и исследовано новое поколение наборных суперконденсаторов с органическим электролитом на основе ионной жидкости и с двусторонними электродами, в которых активный слой нанесен на обе стороны металлического токосъемника.

Разработана конструкторская документация и изготовлены опытные образцы суперконденсаторов нового поколения.

Список обозначений	
<i>Буквы латинского алфавита</i>	
<i>I</i>	Сила тока, А
<i>U</i>	Напряжение, В
<i>C</i>	Емкость, Ф
<i>t</i>	Время, с
<i>Аббревиатуры</i>	
2x50СК	Суперконденсатор, состоящий из двух параллельно соединенных суперконденсаторов по 50 ячеек
41СК	Суперконденсатор, состоящий из 41 ячейки
ОИВТ РАН	Объединенный институт высоких температур Российской академии наук
СК	Суперконденсатор
ЦВА	Циклическая вольтамперограмма

2. Суперконденсаторы нового поколения ОИВТ РАН (теория и эксперимент)

Принцип построения наборных суперконденсаторов состоит в смешанном соединении в едином герметичном корпусе элементарных суперконденсаторов для достижения заданных значений рабочего напряжения, электрической емкости (запасенной энергии) и мощности [5–7]. Реальная конструкция элементарного суперконденсатора состоит из двух последовательно соединенных суперконденсаторов, реализованных с помощью двух токосъемников, активной массы на подложке, сепаратора и водного электролита.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований в ОИВТ РАН в течение последних десяти лет были разработаны и изготовлены опытные образцы наборных суперконденсаторов, основными особенностями которых являются использование нетоксичного органического электролита на основе ионной жидкости [8–10] и новая технология изготовления электродов суперконденсатора на основе двусторонней композитной углеродной ленты [11].

Ионные жидкости – органические соли, жидкие при комнатной или близкой к ней температуре. По совокупности эксплуатационных характеристик: низкая температура замерзания, широкий интервал рабочих напряжений, гидрофобность, химическая и гидролитическая устойчивость, – ионная жидкость 1-метил-3-бутилимидазолий тетрафторборат ($1Me_3BuImBF_4$) наилучшим образом подходит в качестве электролита для суперконденсаторов нового поколения [12–15]. Использование этой жидкости дает возможность в несколько раз увеличить запасенную энергию суперкон-

денсатора за счет существенного повышения напряжения разложения электролита.

Традиционная технология изготовления электродов наборных суперконденсаторов предусматривает нанесение активного слоя на подложку из материала, аналогичного материалу сепаратора, что увеличивает количество сепараторов в три раза.

Предлагаемая технология изготовления наборных суперконденсаторов (далее суперконденсаторов) основана на использовании новых электродов, изготавливаемых путем нанесения активного слоя на обе стороны металлического токосъемника [16, 17]. Это приводит к следующим позитивным результатам:

- снижается количество сепараторов в три раза;
- уменьшается контактное сопротивление перехода «активный слой – токосъемник»;
- снижаются требования к сжимающему усилию;
- появляется реальная возможность автоматизации технологии изготовления электродов.

Были проведены всесторонние экспериментальные исследования лабораторных ячеек суперконденсаторов, собранных из электродов на основе композитной углеродной ленты из активированного угля Norit 30, алюминиевой фольги и оригинальных пластификатора и электропроводящего клея, а также органического электролита на основе ионной жидкости $1Me_3BuImBF_4$ [18, 19].

В процессе экспериментальных исследований были получены следующие электрохимические характеристики модели суперконденсатора нового поколения:

- циклические вольтамперограммы (рис. 1) в интервалах напряжений до 5,0 В при скорости наложения импульса 0,005 В/с;
- заряд/разрядные характеристики при токе заряда/разряда 50 мА (рис. 2).



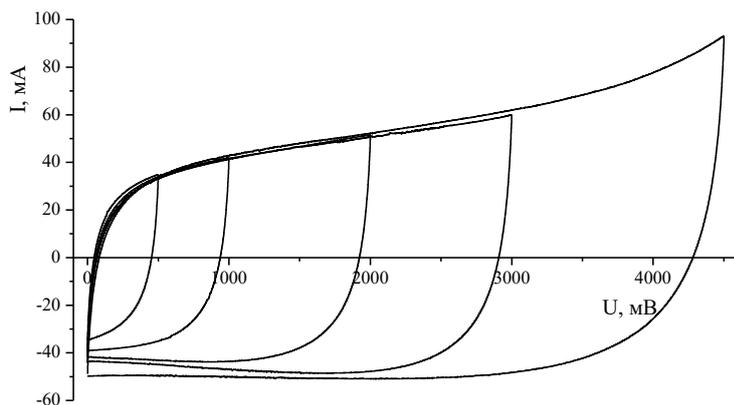


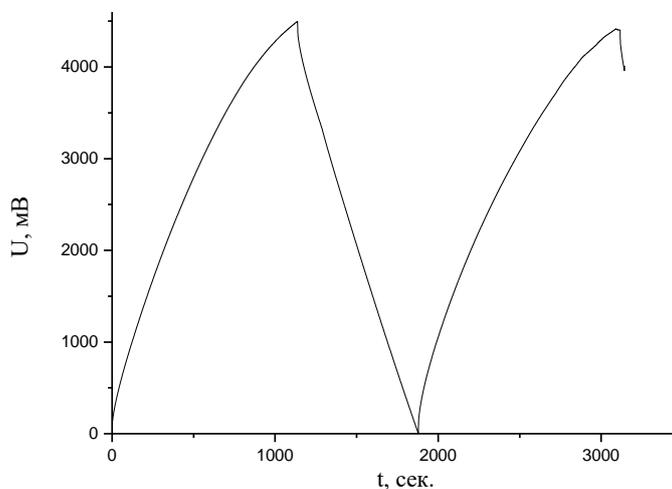
Рис. 1 – ЦВА ячейки суперконденсатора, записанные при 5 мВ/с в различных интервалах

Fig. 1 – VAC of supercapacitor element received with different intervals at 5mV/s



Рис. 2 – Заряд/разрядные кривые ячейки суперконденсатора, записанные при 50 мА

Fig. 2 – Charge-discharge curve for supercapacitor element received at 50



Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

International Publishing House for scientific periodicals "Space"

Полученные результаты определили возможность изготовления опытных образцов наборных суперконденсаторов нового поколения.

3. Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований была разработана технология и изготовлены два опытных образца суперконденсаторов: 41СК и 2х50СК (рис. 3).

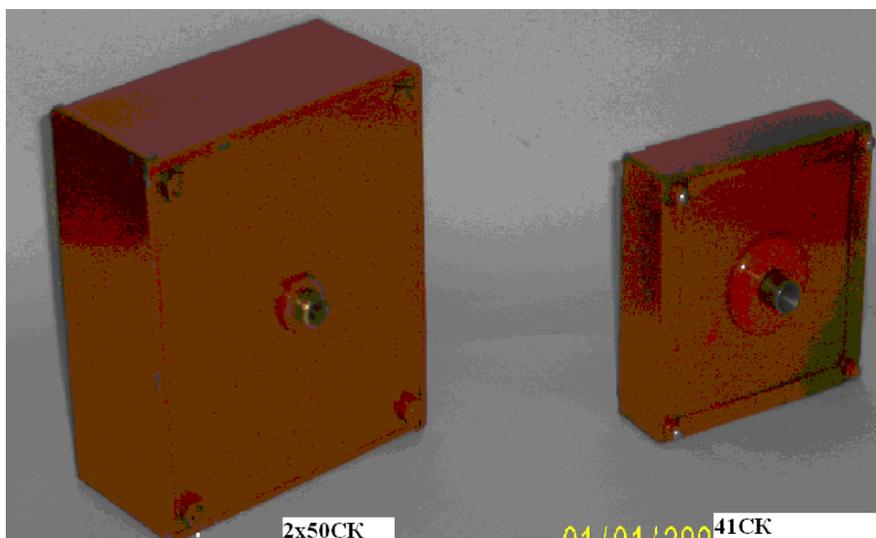


Рис. 3– Общий вид новых суперконденсаторов
Fig. 3 – General form of new supercapacitors

Суперконденсатор 41СК состоит из 40 двухсторонних и двух односторонних электродов (всего 41 секция) с номинальным (90,2 В) и максимальным (102,5 В) напряжением. Были исследованы следующие характеристики этого суперконденсатора:

- циклические вольт-фарадограммы (рис. 4);
- заряд-разрядные кривые суперконденсатора (разряд при 100 мА, 250 мА, разряд на сопротивление 2,67 Ом) (рис. 5).

Рис. 4 – Циклические вольт-фарадограммы, записанные на 41СК
Fig. 4 – Cyclic Volt-Farad characteristic for 41СК

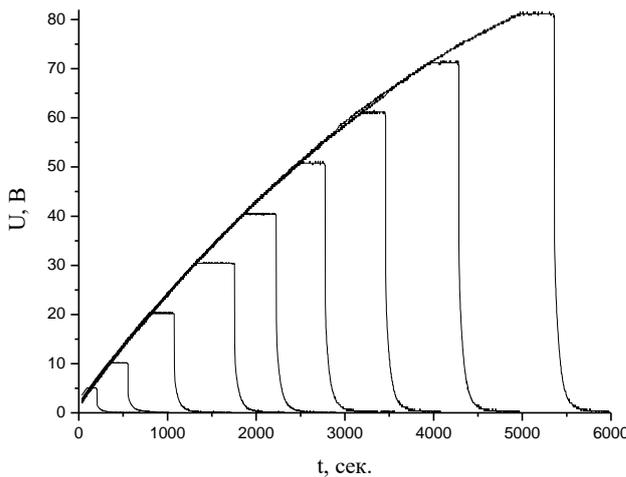
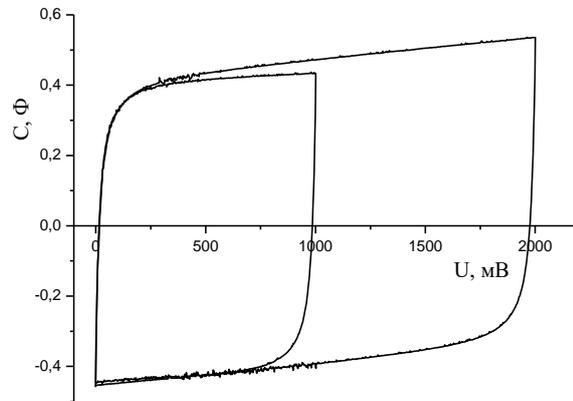


Рис. 5 – Заряд/разрядные кривые суперконденсатора с номинальным напряжением 90 В (41СК) при токе заряда 100 мА, сопротивление при разряде 2,67 Ом.
Fig. 5 – Charge/discharge characteristics for supercapacitor with nominal voltage 90V (41СК) at charging current of 100mA, resistance during discharge is 2,67Ohm

Суперконденсатор 2x50СК состоит из двух параллельно соединенных пакетов по 50 элементарных суперконденсаторов (в каждом пакете 49 двухсторонних и два односторонних электрода – всего 50 секций) с номинальным (110 В) и максимальным (125 В) напряжением. Были исследованы следующие характеристики этого суперконденсатора:

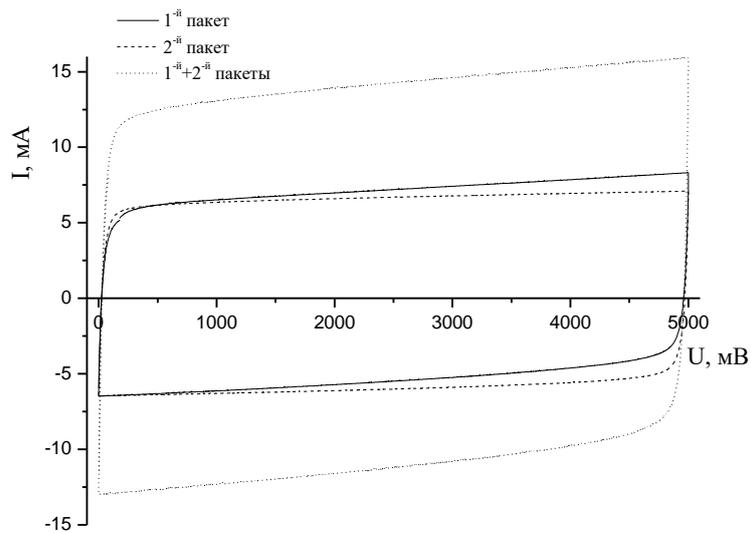
- циклические вольт-фарадограммы (рис. 6);
- заряд/разрядные кривые суперконденсатора (разряд при 100 мА, сопротивление 2,67 Ом) (рис. 7).

На рис. 4 и 6 видно, что вольтамперограммы имеют типичную прямоугольную форму с четко выраженной двойнослойной областью, что свидетельствует о равномерном распределении заряда и отсутствии вклада псевдоемкостных процессов в

исследуемом интервале напряжений. Значение токов на ЦВА для макета, состоящего из двух параллельно соединенных пакетов 1 и 2, в каждом из которых по 50 элементарных ячеек суперконденсаторов, в два раза выше по сравнению с отдельными пакетами 1 и 2. Это свидетельствует о правильной сборке макета суперконденсатора и проработывании каждой элементарной ячейки. Удельная емкость макета суперконденсатора, отнесенная к массе общего пакета с электролитом (без учета веса конструкции), составила 73,4 Ф/г, что коррелирует с данными, полученными в модельных условиях на ячейке суперконденсатора с электродами Al/NO₂. Общее сопротивление суперконденсатора составило 1,03 Ом (при 1 кГц).



Рис. 6 – Циклические вольт-фарадограммы, записанные на 2x50СК, скорость развертки 10 мВ/с
Fig. 6 – Cyclic volt-farad characteristics recorded on 2x50СК, sweep speed is 10 mV / s



На рис. 7. представлены заряд/разрядные зависимости, записанные при токе заряда/разряда 100 мА, для одиночного пакета СК и для всего макета суперконденсатора. Зависимости имеют типичную пилообразную форму, что тоже свидетельствует о равномерных зарядке и разрядке двойного электрического слоя. На графике также видно, что емкость одиночного пакета в два раза меньше емкости всего

макета суперконденсатора. После непродолжительной выдержки напряжения на макете до 5 В, при разряде омическое падение напряжения становится незначительным по сравнению с исходной заряд/разрядной зависимостью. Это может свидетельствовать о «довершении» распределения зарядов в порах и о полном формировании двойного электрического слоя.

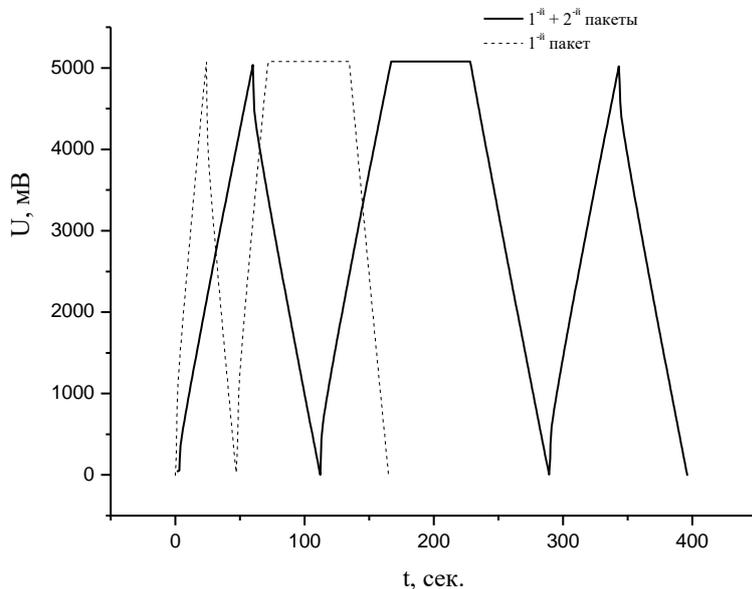


Рис. 7 – Заряд/разрядные кривые суперконденсатора 2x50СК, разряд при 100 мА, сопротивление 2,67 Ом, ток заряда/разряда 100 мА
Fig. 7 – Charge/discharge curves of supercapacitor is 2x50СК, discharge at 100 mA, resistance is 2.67 Ohm, charge/discharge current is 100 mA

На основании результатов эксперимента были получены основные энергетические характеристики новых суперконденсаторов, представленные в

табл. 1, в которой удельные характеристики рассчитаны по отношению к весу активной массы суперконденсатора.

Таблица 1

Энергетические характеристики новых суперконденсаторов

Table 1

Energy characteristics of new supercapacitors

Тип суперконденсатора		41СК	2x50СК
Площадь электрода	см ²	56,3	99,7
Количество секций	шт	41	2 X 50
Напряжение на секцию max/nom	В	2,5/2,2	2,5/2,2
Вес активной массы	кг	0,150	0,361
Напряжение СК max/nom	В	102,5/90,2	125/110
Емкость	Ф	0,4	1,4
	Ф/г	66,6	74,3
Внутреннее сопротивление	Ом	1,5	1,03
Энергия max/nom	кДж	2,1/1,6	10,9/8,5
	Вт·ч	0,6/0,45	3,0/2,4
Мощность max/nom	кВт	1,8/1,4	3,8/2,9
Удельная энергия max/nom	кДж/кг	14,0/10,7	30,2/23,5
	Вт·ч/кг	4,0/3,0	10,5/8,0
Удельная мощность max/nom	кВт/кг	12,0/9,3	10,5/8,0

Сравнительные удельные характеристики новых суперконденсаторов и традиционных с водным электролитом (КОН) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Удельные характеристики новых и традиционных суперконденсаторов

Table 2

Specific characteristics of new and traditional supercapacitors

Тип суперконденсатора		КОН	41СК	2x50СК
Удельная энергия max/nom	кДж/кг	2,8/1,29	14,0/10,7	30,2/23,5
	Вт·ч/кг	0,78/0,36	4,0/3,0	10,5/8,0
Удельная мощность max/nom	кВт/кг	6,2/2,9	12,0/9,3	10,5/8,0

Сравнение характеристик серийных образцов наборных суперконденсаторов с водным электролитом и макетных образцов наборных суперконденсаторов с органическим электролитом на основе ионной жидкости 1Me₃BuImBF₄ показало, что удельная запасенная энергия суперконденсаторов нового поколения более чем в 10 раз выше аналогичных параметров традиционных наборных суперконденсаторов с электролитом на основе водного раствора гидроксида калия.

Следует отметить, что опытные образцы наборного суперконденсатора ОИВТ РАН 2017 г. (см. табл. 1) [20] имеют значения удельных энергетических характеристик, на 30 % превышающих аналогичные характеристики опытного образца наборного суперконденсатора с ионной жидкостью ОИВТ РАН 2010 г. [8].

4. Заключение

Новое поколение наборных суперконденсаторов содержит органический электролит на основе ионной жидкости и двусторонние электроды, в которых активный слой нанесен на обе стороны металлического токосъемника.

Удельная энергия новых наборных суперконденсаторов в 4–7 раз и удельная мощность в 2–4 раза выше, чем у наборных суперконденсаторов с водным электролитом.

Список литературы

- [1] Von Helmholt, H. Studien uber elektrische Grenzshichten / H. Von Helmholt // Ann. der Physik und Chemie. – 1879. – Bd VII. – No. 7.
- [2] Иванов, А.М. Молекулярные накопители электрической энергии на основе двойного электри-



ческого слоя / А.М. Иванов, А.Ф. Герасимов // Электричество. – 1991. – № 8. – С. 16–19.

[3] Conway, B.E. *Electrochemical Supercapacitors. Scientific Fundamentals and Technological Applications* / B.E. Conway. – N.Y. Kluwer Academic Plenum Publ., 1999; p. 698.

[4] Kotz, R. Principles and applications of electrochemical capacitors / R. Kotz, M. Carlen // *Electrochimica Acta*. – 2000. – Vol. 45. – P. 2483–2498.

[5] Lewandowski, A. Practical and theoretical limits for electrochemical double-layer capacitor / A. Lewandowski, M. Galinski // *Journal of Power Sources*. – 2007. – Vol. 173. – P. 822–828.

[6] Вольфович, Ю.М. Электрохимические конденсаторы / Ю.М. Вольфович, Т.М. Сердюк // *Электрохимическая энергетика*. – 2001. – Т. 1. – № 4. – С. 14–28.

[7] Burke, A. Cell balancing considerations for long series strings of ultracapacitors in vehicles application / A. Burke, M. Miller // *Proceedings of the Advanced Capacitor World Summit*. – San Diego, CA, USA, 2005.

[8] Denshchikov, K.K. 1-Methyl-3-butylimidazolium tetrafluoroborate with activated carbon for electrochemical double layer supercapacitors / K.K. Denshchikov [et al.] // *Electrochimica Acta*. – 2010. – Vol. 55. – P. 7506–7510.

[9] Frackowiak, E.J. Supercapacitors based on carbon materials and ionic liquids / E.J. Frackowiak // *Braz. chem. Soc.* – 2006. – Vol. 17. – No. 6. – P. 1074.

[10] Деньщиков, К.К. Применение ионных жидкостей в качестве электролита электрохимического двойнослойного суперконденсатора / К.К. Деньщиков, М.Ю. Измайлова, В.Т. Новиков // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEЕ)*. – 2009. – № 11. – С. 109–113.

[11] Деньщиков, К.К. Композитная углеродная лента для электродов суперконденсаторов / К.К. Деньщиков [и др.] // *Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEЕ)*. – 2015. – № 21. – С. 1–9.

[12] Выгодский, Я.С. Ионные жидкости – новые перспективные среды для органического синтеза и синтеза полимеров / Я.С. Выгодский [и др.] // *Высокомолекулярные соединения, Серия С*. – 2001. – Т. 43. – № 12. – С. 2350–2368.

[13] Игнатъев, Н.В. Новые перспективные ионные жидкости. / Н.В. Игнатъев, У. Вельц-Бирман, Х. Вильнер // *Российский химический журнал*. – 2004. – Т. XLVIII. – № 6. – С. 36–39.

[14] Welton, T. Room-temperature ionic liquids. Solvents for synthesis and catalysis / T. Welton // *Chemical Reviews*. – 1999. – Vol. 99. – No. 8. – P. 2071–2083.

[15] Galinski M., Lewandowski A., Stepniak I. Ionic liquids as electrolytes / M. Galinski, A. Lewandowski, I. Stepniak // *Electrochimica Acta*. – 2006. – Vol. 51. – P. 5567–5580.

[16] Деньщиков, К.К. Суперконденсаторы: принципы построения, техника и применения / К.К. Деньщиков, А.З. Жук, М.Ю. Измайлова // *ОИВТ*

РАН, Итоги и перспективы: Сборник статей, посвященных 50-летию ОИВТ РАН. – Издательство ОИВТ РАН, 2010. – С. 569–595.

[17] Вольфович, Ю.М. Силовой электрохимический суперконденсатор / Ю.М. Вольфович [и др.] // *Электрохимическая энергетика*. – 2008. – Т. 8 – С. 106.

[18] Frackowiak, E. Carbon materials for the electrochemical storage of energy in capacitors / E. Frackowiak, F. Béguin // *Carbon*. – 2001. – Vol. 39. – No. 6. – P. 937–950.

[19] Сапурина, И.Ю. Композиционный полимеруглеродный электродный материал с высокой электрохимической емкостью / И.Ю. Сапурина, М.Е. Компан, М.А. Шишов // *Электрохимия*. – 2015. – Т. 51. – № 6. – С. 1–11.

[20] Деньщиков, К.К. Суперконденсаторы: современное состояние / К.К. Деньщиков // *Международная специализированная выставка «Электрические сети России 2017», Круглый стол «Электрохимические системы накопления и хранения электроэнергии», Москва, 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://expoelectroseti.ru/ofitsialnyjsajt/programma-2017/> – (Дата обращения: 08.12.2017).*

References

[1] Von Helmholtz H. Studien uber elektrische Grenzschichten. *Ann. der Physik und Chemie*, 1879;Bd VII(7).

[2] Ivanov A.M., Gerasimov A.F. Molecular storage of electrical energy based on electric double layer (Molekulyarnye nakopiteli elektricheskoi energii na osnove dvojnogo elektricheskogo sloya). *Elektrichestvo*, 1991;(8):16–19 (in Russ.).

[3] Conway B.E. *Electrochemical Supercapacitors. Scientific Fundamentals and Technological Applications*. N.Y. Kluwer Academic Plenum Publ., 1999; p. 698.

[4] Kotz R., Carlen M. Principles and applications of electrochemical capacitors. *Electrochimica Acta*, 2000;45:2483–2498.

[5] Lewandowski A., Galinski M. Practical and theoretical limits for electrochemical double-layer capacitor. *Journal of Power Sources*, 2007;173:822–828.

[6] Volfkovich Y.M., Serdyuk T.M. Electrochemical capacitors (Elektrokhimicheskiye kondensatory). *Electrochemical power engineering*, 2001;1(4):14–28 (in Russ.).

[7] Burke A., Miller M. Cell balancing considerations for long series strings of ultracapacitors in vehicles application. *Proceedings of the Advanced Capacitor World Summit*. San Diego, CA, USA, 2005.

[8] Denshchikov K.K. 1-Methyl-3-butylimidazolium tetrafluoroborate with activated carbon for electrochemical double layer supercapacitors. *Electrochimica Acta*, 2010;55:7506–7510.

[9] Frackowiak E.J. Supercapacitors based on carbon materials and ionic liquids. *Braz. chem. Soc.*, 2006;17(6):1074.



[10] Denshchikov K.K., Izmailova M.Yu., Novikov V.T. The use of ionic liquids as an electrolyte of an electrochemical dual-layer supercapacitor (Primenenie ionnykh zhidkостей v kachestve elektrolita elektrokhimicheskogo dvoinosloinogo superkondensatora). *International Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2009;11:109–113 (in Russ.).

[11] Denshchikov K.K., Zhuk A.Z., Chaika M.Yu., Shubzda B. Composite carbon tape for electrodes of supercapacitors, (Kompozitnaya uglerodnaya lenta dlya elektrodov superkondensatorov). *International Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2015;21:1–9 (in Russ.).

[12] Vygodsky Ya.S., Lozinskaya E.I., Shaplov A.S. Ionic liquids are promising new media for organic synthesis and polymer synthesis (Ionnye zhidkosti novye perspektivnye sredy dlya organicheskogo sinteza i sinteza polimerov). *High-molecular compounds, Series C*, 2001;43(12):2350–2368 (in Russ.).

[13] Ignatiev N.V., Velts-Birman U., Vilner X. New promising ionic liquids. (Novye perspektivnye ionnye zhidkosti). *Russian chemical journal*, 2004;XLVIII(6):36–39 (in Russ.).

[14] Welton T. Room-temperature ionic liquids. Solvents for synthesis and catalysis. *Chemical Reviews*, 1999;99(8):2071–2083.

[15] Galinski M., Lewandowski A., Stepniak I. Ionic liquids as electrolytes. *Electrochimica Acta*, 2006;51:5567–5580.

[16] Denshchikov K.K., Zhuk A.Z., Izmaylova M.Yu. Supercapacitors: principles of construction, technology and applications (Superkondensatory: printsipy postroeniya, tekhnika i primeneniya) JIHT RAS, Results and Prospects – Collection of articles devoted to the 50th anniversary. JIHT RAS, JIHT RAS Publishers, 2010; pp. 569–595 (in Russ.).

[17] Wolfkovich Yu.M., Richagvj A.Yu. Power electrochemical supercapacitor (Silovoi elektrokhimicheskii superkondensator). *Electrochemical Energy*, 2008;8:106.

[18] Frackowiak E., Béguin F. Carbon materials for the electrochemical storage of energy in capacitors. *Carbon*, 2001;39(6):937–950.

[19] Sapurina I.Yu., Kompan M.E., Shishov M.A. Composite polymer – carbon electrode material with high electrochemical capacity (Kompozitsionnyi polimer–uglerodnyi elektrodnyi material s vysokoi elektrokhimicheskoi emkost'yu). *Electrochemistry*, 2015;51(6):1–11 (in Russ.).

[20] Denshchikov K.K. Supercapacitors: state-of-the-art (Superkondensatory: sovremennoe sostoyanie). International Specialized Exhibition “Electric Networks of Russia 2017”, Round table “Electrochemical Systems of Accumulation and Storage of Electricity”, Moscow. Available on: <http://expoelectroseti.ru/ofitsialnyj-sajt/programma-2017/> (12.08.2017) (in Russ.).

Транслитерация по BSI



**Международная научно-практическая конференция
«Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы»**

3-4 октября 2019 года
Воронеж

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в работе Международной научно-практической конференции «Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы», 3-4 октября 2019 года.

Направления работы конференции:

1. Глобальные климатические тенденции, модели, прогнозы.
2. Региональные особенности современных климатических изменений.
3. Региональные гидрологические проявления современных климатических изменений.
4. Закономерности трансформации почвенных, биотических компонентов ландшафтов в условиях современных климатических изменений.
5. Эффекты климатических изменений в региональных системах природопользования.
6. Особенности глобальных и региональных климатических изменений в городах.
7. Социально-экономические и эколого-медицинские эффекты региональных изменений климата.

Место проведения: г. Воронеж, ул. Хользунова, 40, Воронежский государственный университет, учебный корпус №5, факультет географии, геоэкологии и туризма.

Дальнейшая информация будет представлена в Информационном письме № 2 по мере поступления заявок и формирования программы конференции, а также на сайте www.geogr.vsu.ru во вкладке «Конференции факультета».

<http://www.kon-ferenc.ru/>

