

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Государственный университет «Дубна»

---

Инженерно-физический институт  
Факультет естественных и инженерных наук

## **Инновации в альтернативной энергетике: производство и накопление**

II Всероссийская конференция с международным  
участием

Сборник тезисов докладов

(г. Дубна, 18–19 ноября 2024 г.)

Под общей редакцией кандидата химических наук  
А. Н. Воропая



Дубна  
2024

УДК 620.92

ББК 65.305.142-551я431

И 66-5

И 66-5        **«Инновации в альтернативной энергетике: производство и накопление»**: II Всероссийская конференция с международным участием : сборник тезисов докладов (г. Дубна, 18–19 ноября 2024 г.) / под общей редакцией А. Н. Воропая. – Дубна : Гос. ун-та «Дубна», 2024. – 95, [1] с.

ISBN 978-5-89847-719-6

Конференция призвана объединить исследователей из России и других стран в области альтернативной энергетики и накоплении энергии, помочь построить новые научные связи и помочь создать дополнительные центры компетенции в этой области. Целью конференции являлось развитие научного потенциала Дубны, как региона с развитой промышленностью и мирового центра исследований в области ядерной физики, за счет привлечения новых партнеров и коллег в наше научное сообщество. Также конференция преследует цели объединения исследователей и промышленности для продвижения различных инновационных разработок

Сборник адресован научным сотрудникам, преподавателям, студентам, сотрудникам предприятий специализирующимся в данной области, а также всем интересующимся затронутыми на конференции темами.

УДК 620.92

ББК 65.305.142-551я431

ISBN 978-5-89847-719-6

© Государственный университет «Дубна», 2024

## **Программный комитет**

Председатель: **Р.Г. Назмитдинов** д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник ОИЯИ, Россия;

Секретарь: **А.Н. Воропай** к.х.н., доцент Государственного университета “Дубна”, Россия;

**С.А. Пономаренко**, д.х.н., член-корр. РАН, директор Института синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, Россия

**А.Б. Лоскутов** д.т.н., профессор Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. Россия

**П.П. Гладышев**, д.х.н., профессор Государственного университета “Дубна”, Россия;

**В.А. Кривченко**, к.ф.-м.н., заведующий лабораторией прототипирования накопителей электроэнергии опытного конструкторского бюро электрохимической техники Государственного университета “Дубна”, Россия;

**С.В. Моржухина**, к.х.н., заведующая кафедрой Государственного университета “Дубна”, Россия;

**И.Б. Немченко**, д.т.н., и.о. проректора по научной работе и инновациям Государственного университета “Дубна”, Россия;

**Е.Г. Осадчий**, д.х.н., профессор Государственного университета “Дубна”, Россия;

**В.Ф. Мущанов** д.т.н., проректор Донбасской Национальной Академии строительства и архитектуры, Россия;

**Ш.К. Амерханова** д.х.н., профессор Евразийского Национального Университета им. Л.Н.Гумилева, Республика Казахстан;

**А.В. Третьяков** к.т.н., доцент Государственного университета “Дубна”, Россия

**М.А. Миронов**, начальник отдела разработки новых продуктов АО НПК “Дедал”, Россия

**Rabab Mahmoud El-Sherif**, Prof. Dr., декан факультета последипломного образования по нанотехнологиям Каирского университета, Египет.

## **Введение**

В сборнике конференции представлены краткие тезисы докладов, которые были доложены на конференции. Представленные на данной конференции доклады были посвящены различным областям науки в области альтернативной энергетики и накоплении энергии. Часть докладов посвящены не только альтернативной генерации, включая и экзотические способы получения энергии, такие, как хемозлектронный конвертер, но и современным проблемам в области накопления энергии, без которого развитие направления альтернативной энергетики не представляется возможным. В области накопления энергии было представлено два больших направления – это электрохимическое накопление энергии и тепловое накопление энергии. Оба этих направления представлены широким спектром докладов от литий-ионных батарей до суперконденсаторов и от фазопереходных материалов до сжигания водорода.

# Методы расчета физико-химических свойств фазопереходных материалов при нагреве и охлаждении

Тестов Д.С., Моржухина С.В., Моржухин А.М.

*Государственный университет «Дубна»*

*e-mail: dima13-1994@yandex.ru*

Метод температурной истории за 25 лет с момента его создания в 1999 году [1] развивается бурными темпами. Авторы ряда работ [2-6] при совершенствовании метода разработали несколько математических моделей обработки экспериментальных кривых охлаждения и нагрева. Данным методом возможно оценить такие физико-химические свойства, как энтальпию фазового перехода, теплостойкость, коэффициент теплопередачи в твердой и жидкой фазах, теплопроводность, переохлаждение, температуру фазового перехода. Все методы обладают рядом преимуществ и недостатков, к которым относятся: простота математического аппарата, количество учитываемых вводных параметров, сложность в определении промежуточных графических констант, являющихся частью математической модели расчета физико-химических параметров.

Наиболее распространены в литературе такие методы, как метод Инпинга (метод Y), метод Инпинга в модификации Хонга (метод YH), метод Санднеса и Рекстада (метод SR), метод временной задержки (метод K), и метод термической задержки (метод M). В данной работе приведена сравнительная характеристика данных методов и показано, что наиболее точным является метод M.

Работа выполнена в рамках государственного задания федерального государственного бюджетного учреждения «Российская академия наук» по проектам научных тем по научным исследованиям (№ FEEM-2024-0008), Регистрационный номер 102312200005-0-1.4.3.

## Литература

1. Yinping Z., Yi J. A simple method, the-history method, of determining the heat of fusion, specific heat and thermal conductivity of phase-change materials // Measurement Science and Technology. 1999. V. 10. №. 3. P. 201-205.
2. Hong H., Kim S. K., Kim Y. S. Accuracy improvement of T-history method for measuring heat of fusion of various materials // International Journal of Refrigeration. 2004. V. 27. №. 4. P. 360-366.

3.Sandnes B., Rekstad J. Supercooling salt hydrates: Stored enthalpy as a function of temperature // Solar energy. 2006. V. 80. №. 5. P. 616-625.

4.Marín J. M. et al. Determination of enthalpy–temperature curves of phase change materials with the temperature-history method: improvement to temperature dependent properties // Measurement science and technology. – 2003. V. 14. №. 2. P. 184.

5.Kravvaritis E. D., Antonopoulos K. A., Tzivanidis C. Improvements to the measurement of the thermal properties of phase change materials // Measurement Science and Technology. 2010. V. 21. №. 4. P. 045103.

6.Kravvaritis E. D., Antonopoulos K. A., Tzivanidis C. Experimental determination of the effective thermal capacity function and other thermal properties for various phase change materials using the thermal delay method // Applied Energy. 2011. V. 88. №. 12. P. 4459-4469.

# **Программная среда для обработки экспериментальных кривых охлаждения и расчета физико-химических параметров фазопереходных материалов**

**Тестов Д.С., Моржухина С.В., Моржухин А.М.**

*Государственный университет «Дубна»*

*e-mail: dima13-1994@yandex.ru*

Основной задачей метода «Температурная история» является определение различных теплофизических параметров вещества при измерении температурного поведения в процессах нагрева и охлаждения. По этой причине данный метод требует экспрессности, точности и воспроизводимости, в связи с чем метод ТИ ориентирован одновременно на температурное измерение большой навески вещества до 30 г и на обработку получаемых кривых охлаждения в виде зависимостей температуры от времени  $T(\tau)$ . Реализация этих ключевых задач метода требует создания измерительного прибора и программного обеспечения, которые комплексно фиксируют основные и задаваемые параметры для расчета теплофизических параметров. На отечественном рынке не имеется полноценных аппаратно-программных аналогов, ориентированных на обработку собственных и импортных экспериментальных данных по температурному поведению веществ. Ближайшим из них являются аппаратно-программные комплексы (АПК) в виртуальных химических лабораториях. Однако, одновременное измерение эталона и исследуемого образца зачастую не предусмотрено конструкцией таких АПК, а обработка полученных данных технически не заложена в программу.

В таблицу сведены метрологические характеристики теплофизических свойств исследованных материалов, включая дисперсию воспроизводимости и повторяемость в разных условиях эксперимента по итогам 4-х параллельных опытов по определению  $T_{кр}$  в многократной повторности. Все расчетные параметры оценивались по правилам определения косвенных погрешностей.

Таблица. Основные метрологические характеристики АПК ТИ

Наименование	Характеристика	
Тип эталона	Вода, 0-100 °С	Глицерин, 0-125 °С
Тип пробирки	Пластик, 50 мл, Определенный диапазон теплоемкости 20-70 °С	Иной тип пробирки Самостоятельный ввод значений теплоемкости
Определяемые параметры		
Температура кристаллизации, $T_{кр}$	Погрешность $\pm 0.5$ °С от -80 до 70 °С, $\pm 1$ °С от 70 до 125 °С, шаг определения 0.01 °С	
Переохлаждение, $\Delta T$		
Коэффициент теплопередачи в твердой и жидкой фазах, $h$	До 5%, шаг определения 0.01 °С	
Энтальпия кристаллизации, $\Delta H_{кр}$		
Теплоемкость в твердой и жидкой фазах, $c_p$		
Дисперсия воспроизводимости	1.7	
Повторяемость	1.3	

Работа выполнена в рамках государственного задания федерального государственного бюджетного учреждения «Российская академия наук» по проектам научных тем по научным исследованиям (№ FEEM-2024-0008), Регистрационный номер 102312200005-0-1.4.3.

#### Литература

1. РИД ПО № 2023684340 от 14.11.2023. Моделирование и расчет термодимических характеристик по кривым охлаждения «Temperature», Правообладатель: Тестов. Д.С., Авторы: Тестов. Д.С., Моржухина С.В., Моржухин А.М., Моржухин М.С.



## **Использование экстремальной системы управления для увеличения выработки электроэнергии ветрогенератором**

**Третьяков А.В.**

*Государственный университет «Дубна»*

*e-mail: treav@mail.ru*

Экстремальными называют системы, которые в процессе работы автоматически отыскивают такие управляющие воздействия на входе управляемого объекта, при которых обеспечивается непрерывное поддержание показателя качества системы вблизи его экстремального значения. Системы экстремального управления сложнее обычных САУ и их целесообразно применять, если управляемый объект имеет достаточно ясно выраженный экстремум показателя качества, который существенно зависит от управляющих воздействий и внешних условий.

Аэродинамические системы ветрогенераторов также имеют экстремум своих характеристик. Например характеристика коэффициента подъемной силы в функции от угла атаки имеет явно выраженный экстремум в диапазоне углов атаки от 5 до 15 градусов. Этот экстремум существует только при определенных значениях числа Рейнольдса (рис. 1).

Данный факт впервые был замечен специалистами Балтийского университета имени Канта и отражен в их патенте на изобретение [1]. Созданная специалистами университета Дубна математическая модель пока не позволяет наблюдать этот экстремум. Так как в основу построения модели заложены классические алгоритмы методики построения моментных характеристик ветроколеса авторов Яковлева и Затучной [2], базирующиеся на импульсной теории и теории элементарных струй. В соответствии с которыми определение сил и моментов основывается на законах сохранения массы, количества движения и энергии. Таким образом получается оценить аэродинамический КПД и скорость потока. Теория элементарных струй позволила объединить результаты импульсной теории идеального ветроколеса и теории крыла. В ней силы, действующие на ветроколесо, определяются с двух сторон. С одной стороны, путем изучения течения в среде на базе импульсной теории. С другой - из соотношений для профиля каждой лопасти. Выражения для сил со-

держат неизвестные индуктивные скорости. Приравнивание соотношений для сил, полученных обоими методами, позволяет получить замкнутую систему уравнений относительно индуктивных скоростей. Описание математической модели, построенной на основе данных теорий приведено в [3].

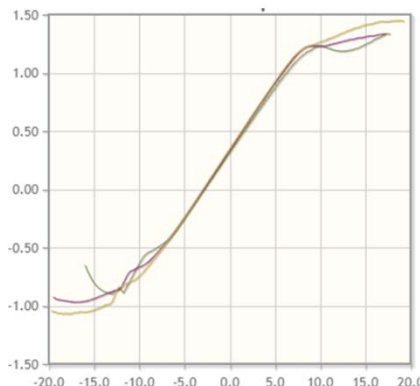


Рис 1. Зависимость  $C_y = f(\alpha)$  при различных значениях числа Рейнольдса ( $Re = 200000 \div 1000000$ ) профиля NASA 63

Однако, для выявления факта наличия экстремума необходима детализация математической модели. Детализацию возможно осуществить путем уточнения алгоритма аппроксимации аэродинамических характеристик ветроколеса в интересующем диапазоне углов заклинения лопастей. В случае подтверждения факта наличия экстремума и соответственно возможности применения экстремальной системы управления возможно увеличить выработку электроэнергии, если настроить систему на работу при оптимальных значениях углов заклинения.

В ходе выполнения приоритетного НИР Университета Дубна «Динамическое проектирование систем автоматического управления ветроэнергетической установкой» были получены величины выработок электроэнергии для ряда применяющихся в авиации аэродинамических профилей [4]. Полученные величины выработок могут быть уточнены в сторону их увеличения. Однако, эту работу целесообразно провести не по общедоступным графиками поляр и характеристик  $C_y = f(\alpha)$  [5], а путем использования результатов соб-

ственных расчетов. Таким образом следующим этапом нашего исследования будет задача построения собственной аэродинамической схемы лопасти в программе Ansis Fluent и построение графика обтекания с получением соответствующих аэродинамических характеристик.

### Литература

1. Патент на изобретение № RU 27 50 080 С1 от 22.06.2021. Система управления ветрогенератором / С.Н. Чижма, А.И. Захаров, С.В. Молчанов.

2. Аэродинамический расчет ветротурбин пропеллерного типа / А. И. Яковлев, М. А. Затучная. — Учеб. пособие по курсовому проектированию. — Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т». 2001 — 78 С.

3. Третьяков А.В. Моделирование системы автоматического управления горизонтально-осевой ветроэнергетической установки / А.В. Третьяков // Вестник компьютерных и информационных технологий, М.: 2023, №11 – с.16-25.

4. Методика статистической оценки эксплуатационных параметров ветрогенератора / К.К. Кружков, А.В. Третьяков // Эффективные инженерные решения в энергомашиностроении: XIII конгр. мол. учён., СПб: Университет ИТМО, 2024. URL: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/12054>. Дата обращения 14.09.2024.

5. Электронный ресурс Airfoil Tools / URL: [www.airfoiltools.com](http://www.airfoiltools.com). Дата обращения 14.09.2024.

## **Террикон как склад тепловой энергии**

**Шажко Я.В., Ожегова Л.Д., Вишняк Ю.Ю.**

<sup>1</sup> ФГБНУ «Институт физики горных процессов», Донецк, ДНР, РФ

*e-mail: syarilo@mail.ru*

В процессе подготовки и отработки угольного месторождения и добычи в нем полезного ископаемого подземным способом выполняются работы по прохождению пластовых подготовительных и подготавливающих выработок. В результате чего на дневную поверхность выдается большое количество пустой горной породы с включениями угольного вещества, из отвалов которой образуются терриконы.

Угольный террикон является сам месторождением полезного ископаемого т.к. содержание органического углерода в нем составляет более 30% от общей массы. [1]

В процессе формирования отвала порода выдается на поверхность и по транспортным коммуникациям попадает к месту отвалообразования. Куски породы при выгрузке из транспортного устройства (вагонетка, конвейер и т.д.) движутся по наклонным плоскостям, которые образованы другими кусками породы. Сталкиваясь друг с другом, мелкие и средние по размеру куски породы, как правило, останавливаются на отвальных склонах, потеряв кинетическую энергию и разместившись в отвальных выступах или углублениях. Крупные куски породы, обладая большей кинетической энергией, скатываются к основанию углепородного отвала и формируют основу для размещения более мелких кусков породы. [2]

Итогом данного процесса получается слоистый массив с разным содержанием угольного вещества. При этом, т.к. уголь более легкий, чем вмещающая порода, его среднее количество в верхних слоях террикона больше чем в нижних.

Известно, что процесс самовозгорания связан с воздействием воды и тионовых бактерии на угольное вещество, содержащее минерал пирит. Под воздействием бактерий пирит начинает распадаться на два компонента: серную кислоту и двухвалентное железо. Эти элементы служат для бактерий питательным раствором. Однако не вся сера превращается в кислоту, частично она остается в виде

коллоидного раствора бурого цвета. Постепенно сера начинает закипать, потому что бактерии, кроме участия в окислении, еще и повышают температуру.

При повышении температуры до 120°C сера уже кипит и выделяется пар. Чем выше температура, тем больше пара. При достижении серой температуры в 240-260 °С, ее пары воспламеняются, а на смену биохимическому процессу приходит химический. Все новые и новые вещества, преобразуясь одно в другое, включаются в горение, температура достигает 800 °С. Сами бактерии при такой температуре, естественно, погибают, но свое дело они сделали: сработали, как стартер в машине, запустили процесс горения. [3]

Чтобы остановить данный процесс достаточно избавиться от одной из составляющих - тионовых бактерий или влаги. Для чего необходимо изолировать слои угольного вещества с помощью отсыпки глиной или/и известью либо различными тканево-полимерными изоляторами. Что в свою очередь обеспечит прекращение эффекта естественной тяги в отвалах, обеспечивающей поступление кислорода к очагу горения.

Впоследствии данные изолированные слои можно использовать как источники энергии в установках для подземной газификации угля либо тепловых котлах с различными схемами теплоуловителя. Внедрение же данных технологий позволит значительно снизить экологическую нагрузку от горящих терриконов в угледобывающих регионах.

### Литература

1. Акулова В.В., Прокопьев Е.С., Алексеева О.Л. Пирогенез углеродных отложений терриконов Кузнецкого бассейна // Уголь. 2022. № S12. С. 60-66.
2. Борисенко Э.В., Гузев О.А., Корвякова Н.П., Подрухин А.А., Оценка геодинамических позиций и генетических структур самонагревающихся углеродных отвалов применительно к извлечению теплоты отвальных масс // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – Новосибирск, Т.10, 2023 – С.10-15.
3. Зборщик М.П., Осокин В.В. Природа самовозгорания и тушения отвальных пород угольного месторождения / Уголь Украины, март-апрель. 2015. – С. 76-78.

## **Разработка и исследование физической модели адаптивной системы балансировки аккумуляторных батарей**

**Алешин Д.А., Шалухо А.В.**

*ФГБОУ ВО Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексева, Россия*

*e-mail: shaluho@nntu.ru*

Одна из приоритетных задач энергетики и промышленности России заключается в формировании и развитии отрасли накопителей электроэнергии. Накопители электроэнергии представляют собой комплексные системы, которые кроме самих аккумуляторных ячеек включают в состав зарядное и разрядное устройства, систему управления. Важным компонентом, связанным с системой управления, является система контроля и защиты аккумуляторной батареи (Battery Management System – BMS), которая осуществляет контроль процесса заряда/разряда, температуры, мониторинг состояния гальванических элементов [1]. Выравнивание заряда ячеек необходимо для обеспечения высоких показателей эффективности, безопасности, длительного срока службы аккумуляторных батарей в процессе их эксплуатации.

На базе научно-исследовательской лаборатории Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева в рамках создания экспериментального образца накопителя электроэнергии, предназначенного для питания импульсной нагрузки, разработана и исследована физическая модель адаптивной системы балансировки заряда (рис. 1).

Для управления процессом выравнивания заряда разработаны алгоритмы, основанные на вычислении эталонной величины напряжения элемента. Основные достоинства предложенной системы балансировки заряда заключаются в повышении точности балансировки и сокращении времени ввода в работу аккумуляторных батарей.

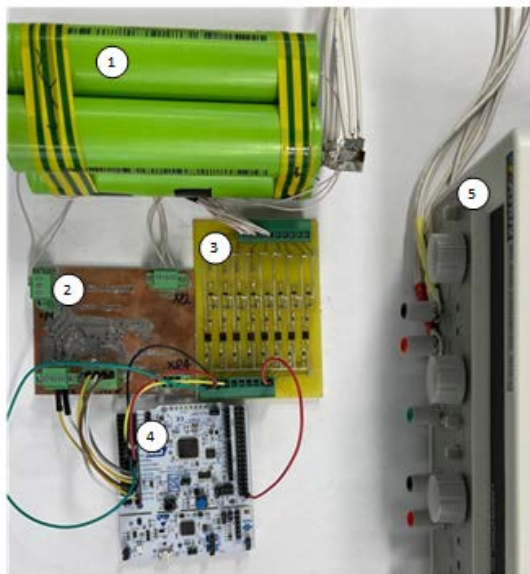


Рис.1. – Фото физической модели адаптивной системы балансировки заряда: 1 – аккумуляторная батарея; 2 – плата измерения напряжения; 3 – плата балансировочных резисторов; 4 – микропроцессорная система управления; 5 – зарядное устройство

### Литература

1. Алешин, Д. А. Разработка испытательного стенда и исследование характеристик серийно выпускаемых аккумуляторных батарей / Д. А. Алешин, А. В. Шалухо, М. К. Ешаев, Н. М. Петухов // Интеллектуальная электротехника. – 2023. – № 4(24). – С. 31-42.

**Получение и исследование электрохимических свойств суперконденсаторов с использованием электродов на основе углеродной ткани, модифицированной проводящим полимером**

**Стаханова С.В.<sup>1</sup>, Кречетов И.С.<sup>2</sup>, Шафигуллина К.Э.<sup>2</sup>, Лепкова Т.Л.<sup>2</sup>, Берестов В.В.<sup>2</sup>, Статник Е.С.<sup>2</sup>, Зырянова З.Е.<sup>1</sup>, Новикова Е.А.<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup> *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», Россия*

<sup>2</sup> *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Россия*

*e-mail: k.e.shafigullina@gmail.com*

В данной работе были исследованы композитные материалы, изготовленные на основе пористой углеродного волокна, модифицированного раствором анилина методом химической окислительной полимеризации. При помощи метода растровой электронной микроскопии было выявлено, что образование полианилина произошло преимущественно в порах углеродного волокна вблизи выхода на его поверхность. Анализ результатов, полученных методом гальваностатического цикла заряд-разряд, показал, что при повышении концентрации анилина в растворе соляной кислоты в процессе полимеризации удельная ёмкость композитов увеличивалась до значения концентрации анилина 0,250 М (значение максимальной ёмкости составило 4,54 Ф/см<sup>2</sup>), после которого происходило снижение. При этом данный композит сохранил более 90 % первоначальной ёмкости после 2000 циклов зарядки и разрядки.

При исследовании циклических вольтамперограмм композитных материалов с использованием метода Тразатти было выявлено, что псевдоёмкость вносит меньший вклад в общую ёмкость композитного электродного материала по сравнению с ёмкостью двойного электрического слоя, что показано на рис. 1.



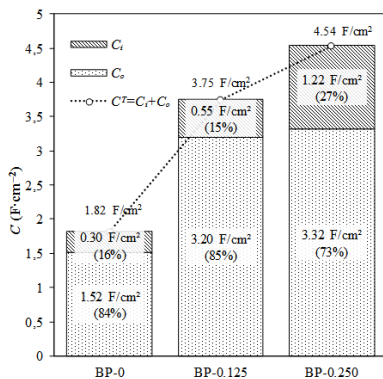


Рис.1. - Результаты анализа циклических вольтамперограмм по методу Тразатти для композитов Углеродная Ткань-Полианилин (BP)

В случае композита, созданного с помощью модификации углеродного волокна при полимеризации из раствора с концентрацией анилина 0,250 М, доли псевдоемкости и емкости двойного электрического слоя составляют 17 % и 83 % соответственно, что объясняется особенностями механизма накопления заряда в электропроводящих полимерах, включая участие делокализованных электронов зоны проводимости.

### Литература

1. Conway, B. E. Electrochemical supercapacitors: scientific fundamentals and technological applications/ B. E. Conway. – 1st ed. – New York : Springer New York, 1999. – 688. – ISBN 0-306-45736-9.

## **Ванадиевые проточные аккумуляторы. Интеграция в электрические сети**

**Пугач М.А.**

*Сколковский институт науки и технологий, Россия*

*e-mail: m.pugach@skoltech.ru*

Интенсивное развитие электроэнергетики требует разработки и внедрения новых технологических решений, обладающих высокой энергоэффективностью. При этом близкая к предельной экологическая нагрузка требует разработку новых технологий, которые характеризуются меньшими выбросами вредных веществ в окружающую среду, и тем самым, оказывающих менее негативное влияние на экосистему. Более того, исчерпаемый характер ископаемых энергоносителей является мощным драйвером для развития альтернативных способов производства электричества с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Все эти факторы требуют формирования нового технологического уклада в энергетике, где накопители энергии являются одной из ключевых технологий для создания электросетей будущего поколения. Среди различных технологий накопления энергии электрохимические накопители проточного типа (проточные аккумуляторы (ПА)) рассматриваются как перспективное решение для создания стационарных накопителей больших масштабов. На сегодняшний день проводятся интенсивные исследования в области ПА, направленные как на поиск новых технологических решений, так и на развитие существующих конфигураций. За последние несколько десятилетий было предложено несколько типов ПА, которые используют различные окислительно-восстановительные пары. Большинство из них находятся в стадии разработки, в то время как ванадиевые проточные аккумуляторы (ВПА) являются наиболее проработанной технологией, которая уже используется для различных задач в электросетях, начиная от сотен кВт до десятков МВт номинальной мощности. Более того, ВПА может стать ключевой технологией для будущего развития энергетики нашей страны, поскольку Россия является одним из мировых лидеров в области добычи и производства ванадия.

В докладе будет объяснен основной принцип работы ВПА систем, проведен анализ их преимуществ и недостатков и обозначены области применения данной технологии.

## Температурный диапазон эксплуатации суперконденсаторов с электролитами на основе пропиленкарбоната

Пунтусова Л.А.<sup>1</sup>, Садовин Д.А.<sup>2</sup>, Свириденкова Н.В.<sup>2</sup>,  
Стаханова С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «Авиационная электроника и коммуникационные системы», Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

*e-mail: lyusya0912@gmail.com*

Суперконденсаторы (СК) относят к перспективным накопителям электрической энергии, т.к. они обладают рядом преимуществ, такими как высокая плотность мощности, быстрое время зарядки-разрядки, низкое входное сопротивление, длительный срок службы и т.д. [1]. Большинство серийно выпускаемых СК с электролитами на основе ацетонитрила имеют рекомендуемый диапазон рабочих температур от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до плюс  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  [2]. Нижний и верхний пределы температурного диапазона ограничены температурами кристаллизации и кипения растворителей, используемых в СК. Пропиленкарбонат (РС) благодаря широкому температурному интервалу существования жидкой фазы (от  $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $242\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) является перспективным растворителем для электролитов СК. Однако температурный диапазон функционирования СК будет определяться стабильностью соли-ионогена в заданном диапазоне температур и рабочих напряжений.

Исследованы физические свойства электролитов на основе РС с солями четвертичных аммониевых оснований, таких как тетраэтиламмония тетрафторборат (TEATFB), триэтилметиламмония тетрафторборат (TEMATFB), N,N-диметилпирролидиния тетрафторборат (DMPTFB), спиро-(1,1')-бипирролидиния тетрафторборат (SBPTFB), такие как вязкость, электропроводность и температура плавления.

Определены диапазоны электрохимической стабильности СК для системы: активированный уголь/ электролит, на основе РС с каждой из исследуемых солей. Электрохимическую стабильность СК определяли методами циклической вольтамперометрии и гальваностатического заряда-разряда в диапазоне температур от минус  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до плюс  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  и в диапазоне напряжений от 2,5 до 4,0 В.

Показано, что наиболее электрохимически стабильным при температурах до 85 °С является электролит на основе РС с солью DMP TFB. При повышении температуры от 25 до 85 °С электрохимическое окно сужается с 3,6 до 3,0 В.

С понижением температуры ниже 20 °С удельная электропроводность электролита РС/DMP TFB резко снижается за счет увеличения его вязкости. Удельная ёмкость лабораторных ячеек СК снижается на 18-20 % при 0 °С с увеличением внутреннего сопротивления на 50 %. При снижении температуры до минус 40 °С ёмкость снижается более чем на 80 % с увеличением сопротивления в 5 раз. Для расширения нижней границы температурного интервала эксплуатации электролитов на основе пропиленкарбоната и соли DMP TFB предложено использовать соразтворители, например, диметилкарбонат (DMC). При его введении в состав электролита электропроводность электролита увеличивается, а энергия активации электропроводности и вязкость снижаются, что должно привести к увеличению электрохимических характеристик при пониженных температурах.

#### Литература

1.Sahin, M. A Comprehensive Review on Supercapacitor Applications and Developments/ M. E. Sahin, F. Blaabjerg, A. Sangwongwanich // *Energies* – 2022, – Vol. 15, № 674.

2.Galimzyanov R.R., Electrolyte mixture based on acetonitrile and ethyl acetate for a wide temperature range performance of the supercapacitors. / R.R. Galimzyanov, I.S. Krechetov, A.T. Kalashnik, M.V. Astakhov, A.V. Lisitsin, S.V. Stakhanova, A.Y. Rychagov, T.R. Galimzyanov, F.S. Tabarov // *Journal of Power Sources*. – 2021. – Vol. 495. № C. 229442.

## Применение гель-полимерных электролитов при прототипировании литий-ионных аккумуляторов произвольного форм-фактора

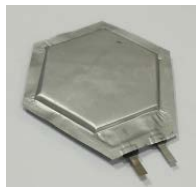
Рудных А.А., Меркулов А.В., Напольский Ф.С.,  
Кривченко В.А.

*Государственный университет «Дубна»*

*e-mail: annapopova@dubna-lab.ru*

В настоящее время литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) классифицируются по форм-фактору на два основных типа: цилиндрические и призматические. Последние могут быть выполнены в мягком или жёстком корпусе.

Выбор форм-фактора аккумуляторов зависит от технологии формирования электродных блоков и особенностей используемых сепараторов, представляющих собой тонкие пористые полимерные ленты (полипропиленовые, полиэтиленовые и др.). При этом механическая прочность сепаратора должна быть достаточной для того, чтобы выдерживать натяжения при скручивании или укладке электродов.



В данной работе предлагается новая концепция создания ЛИА, основанная на электроформовании нановолокон полимерных материалов непосредственно на электроды произвольной геометрической формы. Полученные полимерные нетканые мембраны после смачивания жидким электролитом образуют гель-полимерную электролитную систему. Этот подход позволяет преодолеть ограничения на форм-фактор ЛИА и даёт возможность создавать накопители энергии уникальной геометрической формы, соответствующей максимально заполненному полезному объёму внутри

корпуса устройства (фотографии прототипов ЛИА произвольной формы с гель-полимерным электролитом, полученным методом электроформования приведены на рисунке).

## Стабильность электролитов для проточных редокс-батарей из индивидуальных изомеров и смесей сульфопроизводных антрахинона

**Рыбакова А. Л., Чикин Д.В., Пичугов Р.Д., Антипов А.Е.**

*Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Москва, Россия*

*e-mail: rybakova.a.l@mustr.ru*

Среди широкого спектра органических материалов, используемых в качестве электролитов для проточных редокс-батарей, выделяется перспективный электролит – антрахинон-2,7-дисульфокислота (2,7-AQDS). Этот компонент обладает отличной растворимостью в воде и выдающимися электрохимическими свойствами. Однако высокая стоимость чистой 2,7-AQDS ограничивает её коммерческое применение. Более экономически целесообразным является получение 2,7-AQDS в смеси с другими электроактивными сульфопроизводными антрахинона. Согласно литературным данным, ССА (смесь сульфопроизводных антрахинона), синтезированная в результате реакции сульфирования антрахинона с олеумом, содержит преимущественно 2,7-AQDS, 2,6-AQDS и AQS, а также небольшое количество других производных сульфоантрахинонов [1-3]. На первой стадии сульфирования образуется молекула AQS путём нуклеофильного замещения. При избытке олеума далее осуществляется замещение в положениях 6 и 7, что приводит к образованию 2,6-AQDS и 2,7-AQDS.

В этом исследовании было проведена серия синтезов ССА при различных условиях, таких как температура, продолжительность и соотношение реагентов. Состав полученных смесей определяли с помощью ЯМР, кулонометрии и кислотно-основного титрования. Затем основные свойства ССА изучали в сравнении с индивидуальными изомерами антрахинон сульфокислот: 2-AQS, 2,6-AQDS и 2,7-AQDS. С помощью циклической вольтамперометрии и циклических заряд-разрядных испытаний органических электролитов в мембранно-электродном блоке были исследованы ключевые характеристики (окислительно-восстановительный потенциал, коэффициенты диффузии, коэффициенты переноса скорости) и стабильность органических электролитов, соответственно.

Результаты циклического заряд-разрядных испытаний продемонстрировали значительную деградацию AQS по сравнению с 2,6-AQDS или 2,7-AQDS. В кислой среде СА разлагаются в основном путём нуклеофильного замещения и, что наиболее важно, реакции диспропорционирования, приводящей к образованию неэлектроактивных антронов [4]. По-видимому, AQS, молекулы которого имеют более плоскую структуру из-за наличия только одной сульфо-группы, более чувствителен к данным реакциям. ССА наследуют эту особенность: ССА, содержащие AQS, показывают аналогичную скорость падения емкости, в то время как ССА, состоящая в равных пропорциях из изомеров 2,6- и 2,7-AQDS, обеспечивает такую же стабильность, что и дисульфопроизводные, с падением емкости не более 0.01 % за цикл. Таким образом, для лучшей эффективности батарей следует исключать AQS из состава ССА.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 21-73-30029 (Ссылка на информацию о проекте: <https://rscf.ru/en/project/21-73-30029/>).*

#### Литература

1. Mazúr P., Charvát J., Mrlík J., Pociedič J., Akrman J., Kubáč L., Řeháková B., Kosek J. Evaluation of electrochemical stability of sulfonated anthraquinone-based acidic electrolyte for redox flow battery application // *Molecules*. – V. 26. - №9. – 2021.
2. Crossley M. The separation of mono- $\beta$ -, 2,6- and 2,7-sulfonic acids of anthraquinone // *Journal of the American Chemical Society*. – V. 37. - №9. – 1915. – p. 2178-2181.
3. Anello L., Berenbaum M., Peterson J., Sukornick B., Sogn A. Sulfonation of anthraquinone in sulfur dioxide solvent. - US Patent US4124606A. – 1978.
4. Kwabi D., Ji Y., Aziz M. Electrolyte Lifetime in Aqueous Organic Redox Flow Batteries: A Critical Review // *Chemical Reviews*. – V. 120. - №14. – 2020. – p. 6467-6489.

## **Анализ систем термостабилизации литий-ионных тяговых батарей электромобилей**

**Сериков Г.С., Серикова И.А.**

*Воронежский государственный технический университет, Россия*

*e-mail: sirina301212@gmail.com*

Анализ влияния температурного состояния аккумуляторной батареи (АКБ) на количество доступной в ней энергии показал, что для повышения эффективности использования тяговой АКБ электромобиля необходимо использовать термостабилизацию двойного действия. Таким образом, возникает задача в разработке системы, способной стабилизировать температуру АКБ и проводить мониторинг ее состояния с целью повышения срока ее службы и дистанции пробега от одной зарядки.

При эксплуатации тяговых батарей на электромобилях температурная стабилизация (нагрев и охлаждение) должна производиться одной системой. Это существенно снизит ее размеры и вес. В качестве основного элемента системы стабилизации двойного действия возможно применение элементов Пельтье, представляющих собой набор последовательно соединенных разнородных проводников. Эффект Пельтье – термоэлектрическое явление переноса энергии при прохождении электрического тока в месте контакта двух разнородных проводников, от одного проводника к другому. Величина перемещенной энергии и направление ее переноса зависят от вида контактирующих веществ и от направления и силы протекающего электрического тока. Таким образом, подбор контактирующих материалов и количество последовательно соединенных элементов дает возможность переноса достаточного уровня избыточной тепловой энергии от тяговых аккумуляторных батарей электромобиля. Эта тепловая энергия может быть утилизирована в окружающем пространстве или применена для вспомогательных нужд (например, подогрев салона электромобиля). Одновременно свойства элементов Пельтье позволяют применять «реверсивный» режим работы системы термостабилизации, когда изменение направления тока приводит к нагреванию активной поверхности элементов Пельтье. В этом случае тепловая энергия будет перетекать от источника тепла к аккумуляторной батарее электромобиля.



Применение регулирования с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) позволяет значительно сократить время реагирования системы температурной стабилизации за счет ввода режима мягкого пуска, когда ток на нагревателе или элементе Пельтье растет по экспоненциальному закону. Дополнительным преимуществом является увеличение срока службы элементов системы. Использование микропроцессорной системы управления позволяет использовать программируемую логику для решения различных задач и постоянно обновлять функционал управляемых устройств. Для комфортной эксплуатации электромобиля целесообразно применять возможности микроконтроллерных систем заранее рассчитывать время включения подогрева, исходя из текущей температуры тяговых батарей, температуры окружающей среды и ожидаемого времени отправки в поездку. В состав микроконтроллеров входит модуль аналого-цифрового преобразования, позволяющий сканировать температурное состояние тяговой АКБ со скоростью 10 замеров в секунду. Этого достаточно для поддержания теплового режима в допустимом диапазоне.

В результате исследований были получены следующие результаты: за счет применения предварительного подогрева было минимизировано губительное влияние отрицательных температур на емкость аккумуляторной батареи; систему температурной стабилизации целесообразно выполнять с возможностью реверса режима циркуляции термической энергии; упростить процесс определения температуры возможно за счет косвенных измерений внутреннего сопротивления нагревателя; в случае применения ШИМ срок службы нагревателей возрастает, а время разогрева сокращается при неизменной потребляемой мощности; применение микропроцессорной системы позволяет повысить функциональность и гибкость настройки блока подогрева под разные тяговые батареи.

# Определение энергетического КПД работы теплоаккумулятора с фазопереходным ТАМ

Соболь О.В.<sup>1</sup>, Фролова С.А.<sup>1</sup>, Покингелица Е.А.<sup>1</sup>, Постников В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ДНР, Россия

<sup>2</sup> Курчатовский комплекс кристаллографии и фотоники НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

e-mail: cluck@mail.ru

Согласно [1] были разработаны варианты расчетов энергоэффективности работы тепловых аккумуляторов (ТА) фазового перехода капсульного типа на примере соответствующих термограмм нагревания и охлаждения  $\text{NaCH}_3\text{COO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .

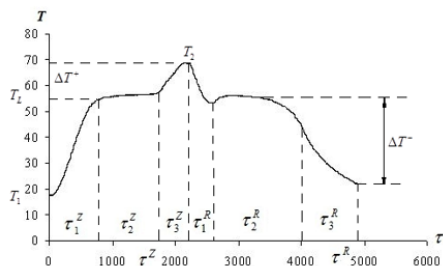


Рис.1. – Экспериментальные термограммы нагревания-охлаждения  $\text{NaCH}_3\text{COO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

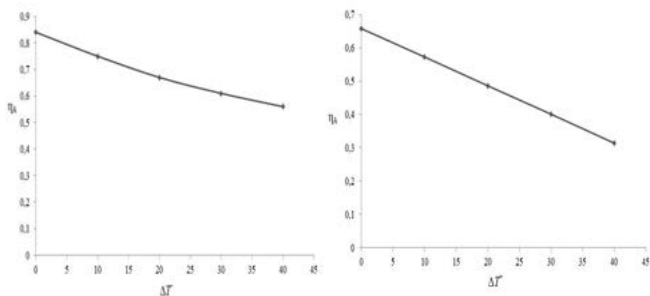


Рис.2. – Зависимости энергетического КПД от «перегрева» (а) и «переохлаждений» (б) для ТА с  $\text{NaCH}_3\text{COO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Энергоэффективность тепловых аккумуляторов (ТА) с фазопереходным теплоаккумулирующим материалом (ТАМ) определяется т.н. энергетическим КПД:

$$\eta_A = \frac{Q^R - Q_0^R}{Q^Z + Q_0^Z} \quad (1)$$

где  $Q^Z$  – теплота зарядки ТАМ;  $Q_0^Z$  – потери теплоты на оболочке капсулы при зарядке;  $Q^R$  – теплота разрядки ТАМ;  $Q_0^R$  – потери теплоты на оболочке капсулы при разрядке. Проведя ряд математических расчетов, получаем конечную формулу для определения энергетического КПД ТА с ТАМ в виде:

$$\eta_A = \frac{Q^R - k_A S_A (\Delta T^+) \tau^R}{Q^Z + k_A S_A (\Delta T^-) \tau^Z} \quad (2)$$

где  $\Delta T^+ = T_2 - T_L$  – «перегревы»,  $\Delta T^- = T_L - T_1$  – «переохлаждения»,  $k_A$  – коэффициент отдачи,  $\tau^R$  – время разрядки ТА,  $\tau^Z$  – время зарядки ТА,  $S_A$  – площадь основания капсулы.

На рисунке 2 представлены зависимости энергетического КПД от «перегревов» (а) и «переохлаждений» (б) для ТА с  $\text{NaCH}_3\text{COO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , полученные по формуле 2.

### Литература

1. Александров В.Д., Покинтелица Е.А., Соболев А.Ю., Сობоль О.В. Оценка энергоэффективности теплового аккумулятора фазового перехода на основании термограмм нагревания и охлаждения. – Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. № 2. – Донецк, ДонНУ. – 2019. – С. 56-66.

## Теплообменный аппарат в системах отопления электромобилей на основе фазопереходных теплоаккумулирующих материалов

Соболь О.В., Савенков Н.В., Усиков Д.А., Шабаль В.О.

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ДНР, Россия

*e-mail: cluck@mail.ru*

Весомая часть заряда тяговых батарей электромобилей тратится на системы, которые не связаны с движением, преимущественно это касается терморегулирующих компонентов.

Среди систем, отвечающих за терморегуляцию, выделяются: система отопления, вентиляции и кондиционирования (HVAC); система охлаждения тяговых батарей (BTMS); система охлаждения электродвигателя и инверторов. В зимнее время HVAC может отбирать до 40-50% от общей ёмкости батарей, а некоторые производители по-прежнему используют дизельные установки на своих электромобилях в качестве основного источника отопления.

Применение теплообменных аппаратов в системах отопления электромобилей на основе фазопереходных теплоаккумулирующих материалов позволит повысить энергоэффективность; увеличить запас хода; снизить затраты на эксплуатацию электромобилей; повысить уровень технологичности и т.д. Сущность разработки в том, что аккумулятор теплоты (АТ) с различными фазопереходными теплоаккумулирующими материалами (ФПТАМ), содержит теплоизолированный с внешней стороны корпус, заполненный теплоносителем (антифризом), в котором во всем объеме параллельно друг другу расположены трубки, заполненные ФПТАМ. Трубки закрываются с торцов герметично и заполняются ФПТАМ не на весь объем, с целью обеспечения возможности расширения ФПТАМ. Общее количество трубок состоит из нескольких групп, отличающихся температурами фазового перехода ФПТАМ – от максимальной  $t_{\max} \approx 80^\circ\text{C}$  до минимальной  $t_{\min} \approx 20^\circ\text{C}$ . Получаемый в итоге ступенчатый (каскадный) режим работы ТА, особенностью которого является последовательная разрядка (отдача тепла) групп трубок, позволяет длительное время поддерживать температуру теплоносителя даже при условии непостоянной работы системы отопления салона электромобиля.

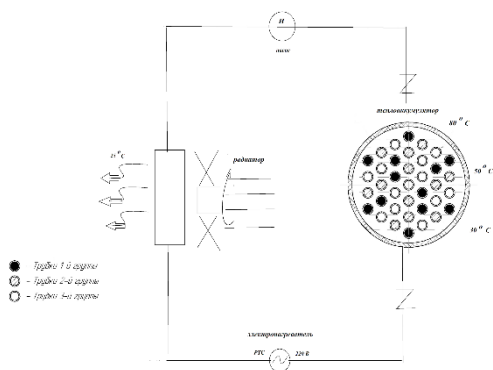


Рис.1. – Гидравлический контур системы терморегуляции.

Отвод тепла от трубок происходит за счет циркуляции теплоносителя, поступающего в корпус через входной кран и покидающего через выходной кран. Зарядка (нагрев) трубок с ФПТАМ осуществляются так же через циркулирующий теплоноситель во время зарядки тяговых аккумуляторных батарей электромобилей на зарядных станциях.

## Теплоаккумулирующие материалы на основе гексагидрата хлорида кальция

Степанюк К.И., Моржухина С. В., Моржухин А.М., Тестов Д.С.

*Государственный университет «Дубна»*

*e-mail: kirill.st\_03@mail.ru*

Использование кристаллогидратов солей в чистом виде в качестве теплоаккумулирующих материалов (ТАМ) сопряжено с некоторыми сложностями, такими как фазовая сегрегация и переохлаждение. В связи с этим возникает необходимость в добавлении компонентов, нивелирующих эти недостатки, т.е. зародышеобразователей и загущающих добавок.

Кристаллогидрат  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  является привлекательным материалом для использования в качестве накопителя тепла в качестве охлаждающего ТАМ. Так как у него легкая доступность, нетоксичность, высокая гигроскопичность, конгруэнтное плавление, маленькая коррозионная активность [1] так же его легче стабилизировать и т.д. Температура плавления  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ( $\approx 25$  °С). Использование  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  с некоторыми добавками может помочь в поддержании желаемой температуры в здании, что обеспечивает комфорт. [2,3]

Наиболее частые добавки для решения проблем с переохлаждением и более эффективной кристаллизацией к  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  используют: гексагидрат хлорида цезия, расширенный графит — expanded graphite (EG), CaO и карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ). Ранее авторы [4] синтезировали новый тип фазопереходных теплоаккумулирующих материалов. Соотношение материала составляет 80 мас.%  $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  + 15 мас.% мочевины + 5 мас.% этанола. В работе изучены и представлены ТАМ на основе гексагидрата хлорида кальция, подобрана методика синтеза и выбраны методы исследования, такие как: температурная история [5] и ДСК. По результатам измерений методом температурной истории в течение 4-х циклов нагрева/охлаждения рассчитаны физико-химические свойства:  $\Delta H$ ,  $h$ ,  $C_{p,ж}$ ,  $\tau$ ,  $T_{кр}$  и  $\Delta T$  составов по результатам для температурного диапазона работы 24-30 °С (таблица).

Таблица. Физико-химические свойства состава  
 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 1\%\text{CaO} + 2\%\text{ПВС}$

Циклы	$T_{\text{кр}}$	$\Delta T$	$h$ , Вт/м <sup>2</sup> К	$\Delta H$ , Дж/г	$C_p$ , (40 С) Дж/г*К	$T$ , мин
2	27,4	2,82	47.3	197.6	4.42	142
3	27,4	4,82	48.2	148.2	3.78	91
4	27,6	3,31	35.9	140.9	3.36	127
5	27,6	5,18	27.1	122.2	3.18	111

Работа выполнена в рамках государственного задания федерального государственного бюджетного учреждения «Российская академия наук» по проектам научных тем по научным исследованиям (№ FEEM-2024-0008), Регистрационный номер 102312200005-0-1.4.3.

### Литература

1. Guion J., Sauzade J.D., Laught M. Critical examination and experimental determination of melting enthalpies and entropies of salt hydrates // *Thermochim. Acta*. Elsevier, 1983. Vol. 67, № 2–3. P. 167–179.

2. N'Tsoukpoe K.E. et al. A review on the use of calcium chloride in applied thermal engineering // *Appl. Therm. Eng.* Elsevier Ltd, 2015. Vol. 75. P. 513–531.

3. Farid M.M. et al. A review on phase change energy storage: materials and applications // *Energy Convers. Manag.* Pergamon, 2004. Vol. 45, № 9–10. P. 1597–1615.

4. Zou T. et al. Effect of expanded graphite size on performances of modified  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  phase change material for cold energy storage // *Microporous Mesoporous Mater.* Elsevier, 2020. Vol. 305. P. 110403.

5. Zhang Y., Jiang Y. A simple method, the T -history method, of determining the heat of fusion, specific heat and thermal conductivity of phase-change materials // *Meas. Sci. Technol.* 1999. Vol. 10, № 3. P. 201–205

## **Функциональные материалы на основе технического углерода для электрических накопителей энергии**

**Суровикин Ю.В.**

*Институт катализа СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

*e-mail: suruv@mail.ru*

Разработка систем получения и накопления различных видов энергии являются одним из самых востребованных направлений деятельности человека и на сегодняшний день темпы развития электрических накопителей, имеющих наибольшее распространение, достигли максимального уровня. И связано это не только с техническим прогрессом и повышением комфорта жизни человечества, но и с активным развитием альтернативной энергетики. При этом производство материалов для электрических накопителей энергии практически сформировалось в самостоятельный сектор экономики, а многие специализированные производства уже реализуются на высоком технологическом уровне. Процессы получения ряда химических веществ с заданными свойствами, в том числе особо чистых, уже сегодня приближаются по своему уровню к нанотехнологиям, и дальнейшее совершенствование электронаккумуляторов связывают, в основном, с различными наноматериалами и, прежде всего, с углеродными.

Наиболее ярким примером повседневного применения различных наноразмерных материалов является технический углерод, который одновременно является единственным наноуглеродным материалом, имеющим многотоннажное промышленное производство (мировое производство превышает 13 млн. тонн в год). Несмотря на многолетние исследования функциональных свойств технического углерода, интерес к изучению взаимосвязи “структура – свойство” у разработчиков новых материалов по-прежнему не ослабевает и прежде всего из-за перспектив применения таких материалов не только в альтернативной энергетике, медицине и нанoeлектронике, но и в других направлениях химического материаловедения, в том числе напрямую связанных с вопросами безопасности государства.

В этой связи различные задачи термогазохимической модификации технического углерода, в том числе матричного синтеза гранулированных нанокомпозитов на его основе является наглядным



примером развития новых нанотехнологий, реализация которых позволяет конструировать функциональные материалы на всех уровнях организации структуры: от атомно-молекулярного до надмолекулярного, и осознанно формировать их эксплуатационные свойства для совмещения с любыми электролитами[1,2].

Исследования показали, что универсальные возможности матричного синтеза делают этот технологический процесс наиболее перспективным при разработке специальных углеродных материалов с оптимизированными свойствами для любых автономных электрохимических устройств различного принципа действия и конструктивного оформления: от батарей и топливных элементов до суперконденсаторов и литий-ионных аккумуляторов.

### Литература

1.Суровикин Ю.В., Шайтанов А.Г., Резанов И.В., Сырьева А.В. Термогазохимическая модификация технического углерода: структура и свойства / Технологическое горение: коллективная монография; Под общ. ред. акад. С.М. Алдошина, чл.-корр. РАН М.И. Алымова. Гл.7. М.: Изд-во РАН, 2018. С. 161-190. DOI: 10.31857/S9785907036383000007.

2.Суровикин Ю.В. Технический углерод как основа функциональных нанокompозитов с регулируемыми свойствами / Технологическое горение: коллективная монография; Под общ. ред. акад. РАН С.М. Алдошина, чл.-корр. М.И. Алымова. Гл. 8. М.: Изд-во РАН, 2018. С. 191- 216. DOI: 10.31857/S9785907036383000008.

# Применение суперконденсаторов АО «Элеконд» и модулей на их основе в альтернативной энергетике

Глухов Е.В.

АО «Элеконд», Россия

e-mail: [evgeniy.glukhov@elcudm.ru](mailto:evgeniy.glukhov@elcudm.ru)

АО «Элеконд» - ведущий российский разработчик и производитель конденсаторов, суперконденсаторов и модулей на их основе.

- Характеристики и особенности суперконденсаторов.
- Области применения суперконденсаторов.
- Функции выполняемые суперконденсаторами в аппаратуре.
- Основные преимущества суперконденсаторов.
- Серийно выпускаемая нашим предприятием продукция (Рис.

1)



Рис. 1 Серийно выпускаемая продукция АО «Элеконд».

## Сравнение характеристик углеродных материалов до и после гидрофилизации

**Кулида Д.А., Степанюк К.И., Тестов Д.С., Гашимова В.Р.<sup>1</sup>,  
Моржухина С.В.**

*Государственный университет «Дубна», Россия*

*e-mail: dimakulida20031905@gmail.com*

Углеродные материалы, такие как графит и сажа, подходят для повышения теплопроводности кристаллогидратов и выступают в роли зародышеобразователей при их кристаллизации. Необработанные графит и сажа гидрофобны, поэтому их использование в теплоаккумулирующих материалах (ТАМ) на основе кристаллогидратов затруднено [1, 2].

В ходе исследования было проведено факторное планирование эксперимента, рассчитаны оптимальные условия синтеза, получены гидрофильные графит, по методике [1,3], и сажа по методике [2].

Проведено исследование углов смачиваемости. В таблице 1 приведены результаты исследования углов смачиваемости исходных и гидрофилизированных графита и сажи.

Таблица 1. Углы смачиваемости исходных и гидрофилизированных графита и сажи

Сажа				
	Исходная		Гидрофилизованная	
	Угол смачиваемости, °	$C_p$ , Дж/(г·К), 60 °С	Угол смачиваемости, °	$C_p$ , Дж/(г·К), 60 °С
Левый	105	2.31	66	4.12
Правый	107		62	
Среднее	106		64	
Графит				
	$G$		$E_{G_{гидр}}$	
	Угол смачиваемости, °	$C_p$ , Дж/(г·К), 60 °С	Угол смачиваемости, °	$C_p$ , Дж/(г·К), 60 °С
Левый	105	-	69	-
Правый	103		67	
Среднее	104		68	

В результате гидрофилизации и оптимизации методики гидрофилизации методом факторного планирования эксперимента получены графит и сажа с углами смачиваемости 68 и 64 ° соответственно. Благодаря этому стало возможно использование данных добавок для повышения теплопроводности кристаллогидратов, и они могут выступать в роли зародышеобразователей при кристаллизации ТАМ.

Работа выполнена в рамках государственного задания федерального государственного бюджетного учреждения «Российская академия наук» по проектам научных тем по научным исследованиям (№ FEEM-2024-0008), Регистрационный номер 102312200005-0-1.4.3.

### Литература

1. Кулида Д.А., Тестов Д.С. Моржухина С.В. Создание оптимизированной методики гидрофилизации графита для использования в теплоаккумулирующих материалах.

2. Степанюк К.И., Тестов Д.С. Моржухина С.В. Создание оптимизированной методики гидрофилизации сажи для ее использования в теплоаккумулирующих материалах.

3. Патент № 2807747, 11.10.2023/21.11.2023, Способ гидрофилизации графита для улучшения смачиваемости материала в жидких средах. Авторы: Гашимова В.Р., Моржухина С.В., Тестов Д.С., Моржухин А.М.

## Методы исследования кристаллического, аморфного и стеклообразного состояния кристаллогидратов солей

Луговой Ю.Е., Моржухина С.В., Тестов Д.С., Ильина Н.О.

Государственный университет «Дубна», Россия

e-mail: rurik20020@mail.ru

Одной из главных проблем кристаллогидратов солей при использовании их в качестве энергосберегающих материалов для аккумулялирования тепловой энергии является возможность их перехода в аморфное или стеклообразное состояние. Это сказывается на ухудшении теплофизических характеристик и невозможности фазового перехода первого рода – основном процессе, используемом в фазопереходном энергосберегающем материале.

Во время работы были обобщены особенности образования кристаллического, аморфного и стеклообразного состояния кристаллогидратов солей, а также комплекс способов определения этих состояний (термические методы – температурная история [1], ДСК, спектральные методы – спектроскопия комбинационного рассеяния, ИК-спектроскопия, рентгеновская порошковая дифрактометрия и др.), причины перехода вещества в ту или иную форму, факторы, способные вызвать этот переход, способы уменьшения возможных рисков (таблица).

Для экспериментального подтверждения выбора критической скорости охлаждения была разработана программа для длительного термоциклирования в приборе *GeneExplorer*. Одно из важнейших условий для стеклования – это быстрое принудительное охлаждение. Информация о стекловании состава  $-97\%CH_3COONa \cdot 3H_2O + 3\%Na_2CO_3 \cdot 10H_2O + 2\%EG + 1\%KMЦ$  в термоциклёре получена ранее при исследовании его после 500 циклов нагрева/охлаждения при принудительном охлаждении. Было обнаружено, что ухудшились многие теплофизические параметры. Показано наличие процесса стеклования в ходе принудительного охлаждения методами ДСК и рентгенофазового анализа.

Параметры, характеризующие возможность стеклования

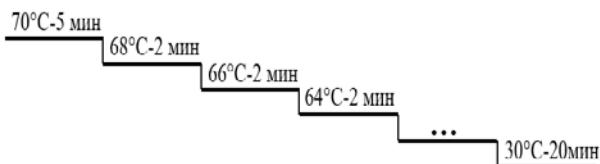
Название	Формула	Рекомендации
Вязкость	$\eta = \eta_0 \exp\left[\frac{B}{T - T_0}\right],$ где $B$ – постоянная, $T_0$ – температура идеального стеклования.	Не допускать значений вязкости от $10^{-2}$ до $10^{12}$ Па·с. Снижают вязкость – оксид натрия, цинка, магния, кальция, бария. Увеличивают вязкость – зародышеобразователи: графит, сажа, оксиды алюминия и кремния и загустители: карбоксиметилцеллюлоза, поливиниловый спирт. Переход жидкость-стекло характеризуется резким ростом вязкости расплава при охлаждении в узком температурном диапазоне.
Приведённая температура стеклования	$T_{rg} = \frac{T_g}{T_{пл}},$ где $T_g$ – температура стеклования материала, $T_{пл}$ – температура его плавления	<0.45
Приведённая температура плавления	$t_{пл} = \frac{k \cdot T_{пл}}{\Delta H},$ где $k$ – постоянная Больцмана, $\Delta H$ – теплота испарения	Чем выше приведенная температура, тем лучше.
Критическая скорость охлаждения	$R_c$	Самый важный фактор. Скорость охлаждения должна быть выбрана аналогично условиям естественного охлаждения на воздухе.
Инкогруэнтное плавление	-	Вещества с инкогруэнтным плавлением склонны к стеклованию. Для решения проблемы рекомендуется использовать эвтектическую смесь кристаллогидратов солей. Если эвтектический состав подвержен

		стеклованию, то от него следует отказаться и решать проблему инкогруэнтного плавления другим способом.
Приведенная температура переохлаждения	$\Delta T_{mr} = \frac{(T_{пл}^I - T_{пл})}{T_{пл}^I}$ , где $T_{пл}^I$ средняя температура плавления компонента А и В, то есть $T_{пл}^I = 0,5(T_{пл}^A + T_{пл}^B)$ , где $T_{пл}$ – температура плавления данного состава	Чем ниже приведенная температура переохлаждения, тем лучше.
Наличие в системе фаз со сложными кристаллическими решётками, значительная разница в атомных размерах между составляющими элементами в сплаве.	-	Необходимо подобрать вещества с минимальной разницей атомных радиусов, валентностях, электроотрицательности, потенциалами ионизации, концентрациями валентных электронов. Предполагается, что различия в атомных размерах должны быть не выше 12% среди основных составляющих элементов. Нужно подбирать компоненты в смеси по близким параметрам кристаллических решёток, либо соли или кристаллогидраты с одинаковым катионом или анионом. Например, для тригидрата ацетата натрия хорошо подходит декагидрат карбоната натрия. ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ будет иметь объём 1269,4 Å <sup>3</sup> , а $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ - 1251,94 Å <sup>3</sup> , то есть объёмы схожи, а также имеется общий катион).

Индивидуальные особенности	-	Некоторые вещества проявляют склонность к стеклованию (например, к стеклованию склонен тригидрат ацетата натрия при температуре более 80 °С, дигидрат ацетата цинка при температуре более 89 °С)
Наличие трёх и более компонентов в системе	-	Переход состава в стеклообразное состояние становится легче с увеличением количества компонентов.
Отсутствие чёткой внутренней структуры	-	Аморфные вещества не обладают кристаллической решёткой, у них существует только ближний порядок (согласованность в расположении соседних частиц) и отсутствует дальний. При инкогруэнтном плавлении кристаллогидратов солей, при отщеплении воды нарушается внутренняя структура, что способствует переходу в аморфное и стеклообразное состояние.
Расстеклование	-	Так как аморфное состояние менее устойчиво, чем кристаллическое, то возможен переход из одного состояния в другое. У некоторых аморфных веществ при нагревании происходит переход сначала в кристаллическое состояние и лишь потом в жидкое при достижении температуры плавления. Например, так себя ведёт смесь $MgCl_2 + NaCl$ – на кривой дифференциальной сканирующей калориметрии будет выделяться участок, для которого характерен температурный интервал стеклования – $\Delta T$ .

Чтобы избежать для состава (97%CH<sub>3</sub>COONa·3H<sub>2</sub>O+3%Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>·10H<sub>2</sub>O) +2%EG+1%КМЦ процесса стеклования разработана температурная программа для охлаждения, близкого к естественному, (см. рисунок) на основании кривых охлаждения, полученных при помощи метода температурной истории (ТИ) [1].





Температурная программа для термоциклера (состав -(97%CH<sub>3</sub>COONa·3H<sub>2</sub>O+3%Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>·10H<sub>2</sub>O)+2%EG+1%КМЦ)

По расчётам скорость охлаждения методом ТИ составила 2 °С/мин. После проведения 500 циклов нагрева/охлаждения по новой температурной программе, его планируется исследовать термическими (температурная история, ДСК), спектральными (ИК-спектроскопия, СКР) методами, а также рентгенофлуоресцентным анализом.

Работа выполнена в рамках государственного задания федерального государственного бюджетного учреждения «Российская академия наук» по проектам научных тем по научным исследованиям (№ Регистрационный номер 102312200005-0-1.4.3.ФЕЕМ-2024-0008).

### Литература

[1] Основы метода температурной истории: обзор подходов к оценке теплофизических свойств фазопереходных веществ : монография / Д. С. Тестов, С. В. Моржухина, А. М. Моржухин. – Дубна : Гос. ун-т «Дубна», 2024. – 83с.

[2] Макаров А.С., Манакова Е. О., Кончаков Р. А., Афонин Г. В., Хоник В.А. Стеклообразующая способность расплавов. – 2021 – 38 с.

[3] Моржухин А. М. и др. Критерии выбора и теплофизические свойства низкотемпературных теплоаккумулирующих материалов для систем хранения тепловой энергии (обзор) //Education. – 2015 – С. 92-106.

[4] Lorsch H. G., Kauffman K. W., Denton J. C. Thermal energy storage for solar heating and off-peak air conditioning //Energy conversion. – 1975. – V. 15. – №. 1-2. – P. 1-8.

[5] Dannemand M., Johansen J.B., Furbo S. Solidification behavior and thermal conductivity of bulk sodium acetate trihydrate composites with thickening agents and graphite // Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 2016. Vol. 145. P. 287–295.

## **Разработка программного обеспечения для расчета себестоимости водорода у конечного потребителя**

**Мальцев А.С., Опарин М.В., Теньков А.Н.**

*ФГБОУ «НИУ «МЭИ», Москва, Россия*

*e-mail: asmalt949@mail.ru, oparinmv@mail.ru, tenkovan@mpei.ru*

Водород играет ключевую роль в новом энергетическом переходе, который предполагает отказ от углеводородов и переход на экологически чистые источники энергии. По многочисленным прогнозам, [1-2] в ближайшие годы ожидается увеличение производства водорода и расширение его применения, а также рост числа водородных кластеров. Одним из главных путей достижения этих целей является разработка программ, направленных на внедрение водородных технологий в различных секторах экономики, а также масштабирование производства отечественного оборудования для производства.

Авторами разработано программное обеспечение, предназначенное для расчета себестоимости поставки водорода потребителю. Для работы программы, были созданы таблицы, содержащие параметры необходимые для расчета себестоимости производства, хранения и транспортировки водорода различными способами. Совокупность данных таблиц является реляционной базой данных, включающей в себя такие характеристики как стоимость электроэнергии, стоимость воды, налог на выбросы углекислого газа, капитальные и операционные затраты для производств, комплексов транспортировки и хранения водорода. Полученная структура базы данных содержит 14 таблиц, ключевой из которых является таблица «Цепочки», предназначенная для хранения информации о полноценных цепочках поставок водорода с себестоимостью конечного водорода и являющаяся родительской по отношению к таблицам способов каждого этапа.



Рис.1. - Электронные фотографии

Исследование проведено в НИУ «МЭИ» при финансовой поддержке Минобрнауки России (государственное задание № FSWF-2023-0014, соглашение № 075-03-2023-383 от 18 января 2023 г.).

#### Литература

1. ACIL ALLEN Consulting, анализ ИЦ «Энерджинет»
2. Распоряжение Правительства РФ от 12.10.2020 N 2634-р «Об утверждении плана мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года»»

## Электрические свойства контакта гидратированных нано-частиц различных размеров состава $YSZ$ в условиях гидратирования и дейтерирования

Мезенцева Ж.В.<sup>1,3</sup>, Дорошкевич А.С.<sup>1,3</sup>, Малецкий А.В.<sup>1,6</sup>,  
Оксенгендлер Б.Л.<sup>3-4</sup>, Никифорова Н.Н.<sup>3</sup>, Диденко Е.А.<sup>1,2</sup>,  
Кириллов А.К.<sup>1</sup>, Мардаре Д.<sup>5</sup>, Мита К.<sup>5</sup>, Парпиев О.Р.<sup>3</sup>,  
Сулейманов С. Х.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

<sup>2</sup>Государственный университет «Дубна», Россия

<sup>3</sup>Институт Материаловедения АН РУз, Ташкент, Республика Узбекистан

<sup>4</sup>Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия

<sup>5</sup>Факультет физики, Ясский университет имени Александру Иоанна Куза, Яссы, Румыния

<sup>6</sup>Донецк физико-технический институт им. А.А. Галкина, Донецк, Россия

*e-mail: mzv@nf.jinr.ru*

На современном этапе научно-технологического развития человечества крайне актуальной задачей является развитие нанотехнологий и практическое применение эффектов наноразмерного состояния вещества. Важным направлением исследования в аспекте современной электроники являются эффекты контактного взаимодействия химически однородных наночастиц разного размера. Эти наночастицы имеют различные электронные свойства и, как следствие, различный поверхностный потенциал, и при контакте будут формировать барьерную разность потенциала.

Целью данной работы было исследование электронных свойств контакта наночастиц в условиях гидратации и дейтерирования  $ZrO_2 - 3 \text{ mol}\% Y_2O_3$ . Контакт был образован пленками из монодисперсных нанопорошков диоксида циркония, различающихся по размеру частиц (7.5, 10, 11 и 14 нм). Электрические свойства полученного контакта исследовались с использованием методов вольт-амперометрии на постоянном токе ( $U \in [-6V - +6V]$ ) и методом электрохимического импеданса в диапазоне частот 300 кГц – 1 Гц на переменном токе. Для обеспечения электрической непрерывности проводилась гидратация и дейтерирование поверхности пленок в течение 8 часов (диапазон влажности воздуха 60 – 85%) [1]

В результате были получены уникальные результаты:

1. Впервые исследованы свойства выпрямляющего контакта гидратированных частиц одинакового химического состава ( $ZrO_2 - 3Y_2O_3$ ) и разного размера (7.5, 10, 11 и 14 нм) на планарных объектах.
2. Впервые установлены различия в характере ВАХ и электрохимического импеданса для гидратированной и дейтерированной систем.
3. Показана дисперсия электрических свойств наночастиц для влажности  $> 75\%$  в условиях дейтерирования.
4. Установлено, что дисперсия электрических свойств обусловлена с электрическими процессами в гидратной оболочке.

**Благодарности.** Исследование выполнено в рамках: Проекта сотрудничества Сербия-ОИЯИ № 50 2024 г. п. 7 и 8, Сербия; Проекты сотрудничества Сербия-ОИЯИ № 51 2024 г. п. 4 и 5; Проекты сотрудничества Беларусь-ОИЯИ № 289 / 2024 г. п.п. 16 - 18.

#### Литература

[1]. «The Electrical Properties of a Contact of Hydrated Nano-Powders of Different Sizes YSZ for Homogenic Electronics» Mezentseva Zh.V., Doroshkevich A.S., Oksengendler B.L., Kirillov A.K., Didenko E.A., Nikiforova N.N., Carmen Mita, Diana Mardare, Nicoleta Cornei, Suleimanov S.H., Parpiev O.R. труды конференции Физика 2024, 23-25 апреля 2024, Самарканд, Узбекистан

## Модификация положительного электрода на основе $V_2O_5$ для литиевых источников тока

Меркулов А.В.<sup>1,2</sup>, Рудных А.А.<sup>2,3</sup>, Кривченко В.А.<sup>2</sup>,  
Напольский Ф.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Университет  
Государственный университет «Дубна», Россия

<sup>3</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники, Зеленоград, Россия

*e-mail: avm@avmerkulov.ru*

Литиевые источники тока обладают наилучшими в настоящее время удельными характеристиками, такими как удельная энергия и удельная ёмкость. Однако, существуют серьезные проблемы, ограничивающие повсеместное применение литий-металлических систем, таких как дендритообразование [1] в перезаряжаемых литиевых системах и низкая удельная мощность в первичных источниках тока. Повышение электрохимической стабильности, ингибирование процессов дендритообразования, повышение мощностных характеристик литий-металлических систем перспективная задача, которая позволит серьезно улучшить существующие источники электроэнергии и позволит расширить применение литиевых систем.

Пентаоксид ванадия, в качестве активного материала положительного электрода известен с 80-х годов XX в., однако не нашёл широкого применения из-за научного и технологического прогресса. В настоящее время он может найти применение в литий-металлических системах, за счет своих электрохимических характеристик.

Наряду с материалом положительного электрода большую роль выполняет электролит, состав которого определяет электрохимические и физические характеристики пленки твердого межфазного электролита (ПТМЭ). ПТМЭ вместе с материалом положитель-

ного электрода должны обладать высокой электрохимической стабильностью для полноценного и безопасного функционирования источников тока.

В данной работе предлагается электрохимическая система с пентаоксидом ванадия в качестве положительного электрода с электролитом на основе растворителей пропиленэтиленкарбоната и 1,2-диметоксиэтана с использованием перспективной соли дифтор(оксалато)бората лития (LiDFOB) с органическими добавками. В работы показаны результаты прототипирования элементов питания формата 18650, исследования их электрохимических характеристик.

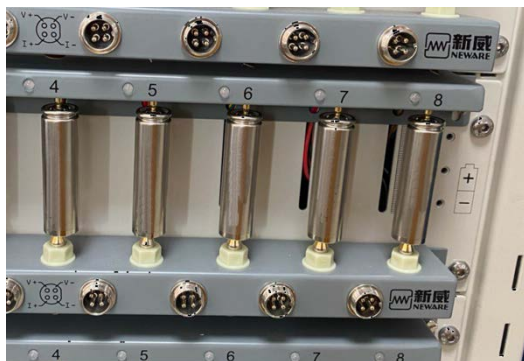


Рис.1. - Фотография элементов формата 18650 системы V2O5/ Li изготовленных на базе «Университета «Дубна»»

### Литература

1. Huang Y. et al. Mechanism and solutions of lithium dendrite growth in lithium metal batteries //Materials Chemistry Frontiers. – 2024. – Т. 8. – №. 5. – С. 1282-1299.

**Исследование практического применения  
теплоаккумулирующих фазопереходных материалов  
в системах электрического теплого пола**

**Моржухин А.М., Моржухина С. В., Тестов Д.С.,  
Степанюк К.И.**

*Государственный университет «Дубна», г. Дубна*

*e-mail: morzhukhin92@yandex.ru*

Для накопления и хранения тепловой энергии применяют теплоаккумулирующие материалы (ТАМ), которые и определяют доступность и эффективность тепловых систем. Их подразделяют на несколько групп, подходы к классификации показаны в обзорной работе [1], в зависимости от которых предлагаются отрасли их применения. В основе классификации кристаллогидратов лежит температура фазового перехода, согласно которой вещества делят на высоко-, средне- и низкотемпературные [2]. Для систем теплого пола предлагаются среднетемпературные ТАМ, имеющие фазовый переход в диапазоне от 27 до 32 °С.

При помощи факторного анализа в качестве одного из перспективных веществ для получения ТАМ на его основе выбран гексагидрат нитрата цинка  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ , который имеет высокие характеристики по 7 основным параметрам: энтальпии плавления, теплопроводности, теплоемкости, плотности, вязкости, плотности аккумулирования тепла, температуре плавления. Более того,  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  имеет конгруэнтный тип плавления [3-4].

Целью данного исследования является определение оптимального состава фазопереходного ТАМ на основе  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  для его дальнейшего использования в отопительных системах теплого пола.

Основной задачей для первых испытаний является доказательство эффективности применения фазопереходных ТАМ в качестве прослойки в системе пленочного теплого пола. Для этого проведены термические испытания панели, для фиксации времени циклов нагрева/остывания в режиме 25-35 °С.

На рисунке 1 наглядно продемонстрировано преимущество использования ТАМ в системе пленочного теплого пола. Панель включается реже, при этом почти в 3 раза дольше сохраняет тепло.



В приближении видно, что длительность работы панели увеличивается в 3 раза, при этом сохраняется быстрый нагрев. Испытания проходили в аналогичных условиях и режимах (рисунок 1).

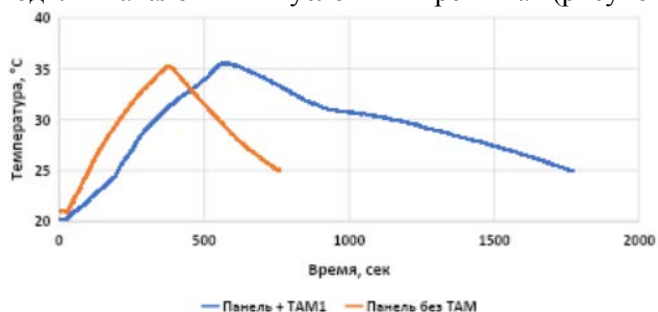


Рисунок 1. Сравнение циклов.

Работа выполнена в рамках государственного задания федерального государственного бюджетного учреждения «Российская академия наук» по проектам научных тем по научным исследованиям (№ FEEM-2024-0008), Регистрационный номер 102312200005-0-1.4.3.

#### Литература

1. Моржухин А.М., Тестов Д.С., Моржухина С.В., Корокин В.Ж. // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2019. №22-27. С. 92. DOI: 10.15518/isjaee.2019.22-27.092-106
2. Моржухин А. М., Моржухина С. В., Назмитдинов Р. Г., Мойя-Полл А. // Вестник Международного университета природы, общества и человека "Дубна". Серия: Естественные и инженерные науки. 2016. № 4(36). С. 24.
3. Morzhukhin A.M., Testov D.S., Morzhukhina S.V. // Materials Science Forum. 2020. V. 989. P. 165.
4. Kenisarin M., Mahkamov K. // Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 2016. V. 145. P. 255.

## **Перспективы применения термохимических теплоаккумулирующих технологий в Российской Федерации**

**Моржухин А.М., Моржухина С. В., Тестов Д.С.**

*Государственный университет «Дубна», г. Дубна*

*e-mail: morzhukhin92@yandex.ru*

Необходимость обеспечения нормативного теплоснабжения потребителей при расчётных температурах наружного воздуха, обязывает теплоснабжающие организации содержать мощности в объеме достаточном для обеспечения пиковых тепловых нагрузок потребителей. Периоды пикового потребления имеют краткосрочный период (1-15% от общего потребления), а большую часть времени оборудование простаивает и не используется. Также положение усугубляют ситуации, при которых построенные новые мощности, предусмотренные для обеспечения перспективных потребителей, простаивают и не используются из-за пересмотра сроков строительства новых объектов или отказа от строительства. Высокая стоимость транспортировки тепловой энергии на значительные расстояния, приводит к ограничению использования профицитной мощности источников, в преддефицитных зонах теплоснабжения. Данные обстоятельства существенно снижают эффективность функционирования систем теплоснабжения, особенно в зонах теплоснабжения с использованием когенерационного цикла производства тепловой и электрической энергии, при наличии существенных профицитных мощностей. Учитывая, что теплофизические накопители (например: вода) тепловой энергии имеют существенные ограничения по периоду хранения энергии, одним из подходов, позволяющих обеспечить эффективное накопление ресурсов, является использование аккумуляторов тепла на основе термохимического цикла.

Оценка возможности применения термохимического накопления тепловой энергии, ранее прорабатывались ПАО «Мосэнерго». Учитывая высокую значимость проведения исследований в данной области, ООО «Газпром энергохолдинг» принято решение о необходимости дальнейших разработок [1].

Необходимо осуществить поиск существующих или разработку перспективных веществ, позволяющих реализовать термохи-

мический цикл накопления, транспортировки и потребления тепловой энергии. Данная технология должна быть совместима с существующими системами теплоснабжения, теплопотребления.

Работа выполнена в рамках государственного задания федерального государственного бюджетного учреждения «Российская академия наук» по проектам научных тем по научным исследованиям (№ FEEM-2024-0008), Регистрационный номер 102312200005-0-1.4.3.

#### Литература

1. Малахо А.П, Харим А.А., Федоров М.В., Охлопков А.В., Попов Н.В., Габбасова Т.П., Битней В.Д. // Газовая промышленность. 2021. №11 (824). С. 72-84.

## Перспективы применения термохимических теплоаккумулирующих материалов для аккумулирования тепла на ТЭЦ

Моржухина С.В., Моржухин А.М., Тестов Д.С., Луговой Ю.Е.

*Государственный университет «Дубна», г. Дубна*

*e-mail: msv@uni-dubna.ru*

Термохимическое аккумулирование - это накопление и отдача энергии химических реакций. Энергию можно получать как в тепловом, так и в электрическом виде.

В основном используются три вида химических реакций [1]:

1) Синтез сложных координационных соединений и аммиаков, гидратация оксидов щёлочно-земельных металлов ( $CaO$ ,  $MgO$ ), безводных солей до образования кристаллогидратов.

2) Разложение карбонатов, сульфатов и гидроксидов щёлочно-земельных металлов, гидросульфата аммония, гидридов металлов. Количество теплоты для таких реакций 1016.55 кДж/моль.

3) Обменное разложение в точках полной конверсии во взаимных многокомпонентных системах, образованных ионными расплавами неорганических веществ (гидроксидов, солей).

Термохимическое накопление тепла позволяет осуществлять долгосрочное хранение тепловой энергии, но сопряжено с высокими материальными затратами и сложность систем хранения тепла. При этом такие дорогостоящие и сложные тепловые аккумуляторы тем не менее, перспективны для использования накопления тепла от перегретого пара, отходящего от турбин на ТЭЦ с последующей доставкой в труднодоступные для прокладки газовой коммуникаций регионы. Температуры зарядки тепловых термохимических аккумуляторов находится в диапазоне от 100 до 300 °С, что соответствует диапазона температур, перегретого пара на ТЭЦ.

Обоснована возможность использования и показаны на примере алюмокалиевых квасцов перспективы применения кристаллогидратов в качестве термохимических теплоаккумулирующих для котельных и ТЭЦ. В [2] описан термогравиметрический анализ (ТГА) чистого вещества  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  и  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  с добавлением углерода. В ходе ТГА было установлено, что удаление молекул воды из кристаллической структуры квасцов происходит,

по крайней мере, на четырех стадиях между 100 и 250°C что соответствует диапазона температур, перегретого пара на ТЭЦ. Также перспективными кристаллогидратами являются  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SrBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

Проведенный коллективом авторов эксперимент также показал перспективность применения алюмокалиевых квасцов в качестве термохимического материала для систем хранения тепла на котельных и ТЭЦ.

### Литература

1. Гасаналиев А. М., Гаматаева Б. Ю. Теплоаккумулирующие свойства расплавов // Успехи химии. doi: 10.1070–2000. – Т. 69. – №. 2. – С. 192-200.
2. Souza R. et al. Potassium alum thermal decomposition study under non-reductive and reductive conditions // J. Mater. Res. Technol. Korea Institute of Oriental Medicine, 2019. Vol. 8, № 1. P. 745–751.

## Методика исследования влияния примесей на электрохимические характеристики ячейки ванадиевой проточной батареи

Петухова Э.А.<sup>1,2</sup>, Усенко А.А.<sup>1,2</sup>, Конев Д.В.<sup>1</sup>, Цебрук И.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФИЦ ПХФ и МХ РАН, Россия

<sup>2</sup> ООО «Инэнерджи», Россия

*e-mail: ea.petukhova@yandex.ru*

В ближайшее десятилетие значительную долю рынка стационарных накопителей будут занимать вторичные электрохимические источники тока, в частности, ванадиевые проточные редокс-батареи (ВПРБ). ВПРБ обладают многими достоинствами в сравнении с перезаряжаемыми химическими источниками тока с твердым электроактивным компонентом. В число достоинств входят высокая эффективность заряда-разряда, длительный срок службы, гибкая конструкция модулей и относительно низкое воздействие на окружающую среду. Однако, доля электролита в себестоимости батареи может достигать 50%. Однако примесный состав сырья у разных производителей различен, а применяемые методы очистки ориентированы в основном на требования металлургии. Понимание природы влияния примесей, присутствующих в электролите, на характеристики ВПРБ очень важно для разработки и внедрения целевых методов очистки ванадиевого сырья от конкретных сопутствующих соединений, что существенно способствует снижению его стоимости и, следовательно, более широкой коммерциализации ВПРБ.

В литературе непосредственному экспериментальному анализу распределения внутреннего сопротивления по компонентам мембранно-электродного блока (МЭБ) ВПРБ и протекающим в них процессам внимания уделяется недостаточно. Поэтому для разделения влияния положительной и отрицательной ячейки на работу ВПРБ был предложен метод, в котором в конструкцию ячейки ВПРБ интегрируются два капилляра Луггина, которые обеспечивают ионный контакт внешнего электрода сравнения с мембраной в составе ячейки.

Для электрохимических измерений использовался гальваностат/потенциостат PS-50 (Electrochemical Instruments) под управлением ПО Smartsoft, конструкция которого позволяет использование

в измерениях нескольких потенциометрических цепей. Потенциостат снабжен шестью электродами: четыре стандартных электрода, а также 2 дополнительных, которые позволяют регистрировать сигналы сразу с двух электродов сравнения при помощи капилляров Луггина. Поэтому стало возможным разделить вклад каждой из полуячеек в работе ВПРБ, а также выделить вклад сопротивления мембраны в падение напряжения на ячейке под током.

Для электрохимических измерений была разработана специальная методика, которая включала в себя измерение электрохимического импеданса полуячеек и полной ячейки, исследование вольтамперной характеристики (ВАХ) батареи в диапазонах тока 10-2633 мА в 34 циклах заряда и разряда в степени заряжения батареи 50 %, заряд-разрядное циклирование при различных плотностях тока.

Благодаря капиллярам Луггина и возможности шестиканального подключения к потенциостату, получилось разделить вклады в полное сопротивление для компонентов ячейки ВПРБ.

Применение предложенной схемы измерений и анализа вкладов позволяет проследить влияние примесей различных элементов в электролите на характеристики ячейки ВПРБ.

Работа выполнена в соответствии с Государственным заданием (Рег. № НИОКТР 122112100037-4).

## **Технический углерод и углеродные материалы на его основе как компоненты литий-ионных аккумуляторов**

**Дроздова Е.А., Потапенко О.В., Княжева О.А., Темерев В.Л.,  
Резанов И.В., Малиновский Ю.Г., Лавренов А.В.**

*Центр новых химических технологий Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр  
«Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской  
академии наук» (Омский филиал) Россия, 644040, Омская обл, г.  
Омск, ул. Нефтезаводская, 54*

*e-mail: potap@ihcp.ru*

Литий-ионные аккумуляторы получили очень широкое распространение в современном мире. Аккумуляторы данного типа используются в качестве источников энергии как в небольших устройствах (телефонах, компьютерах и др.), так и в электротранспорте, беспилотных летательных аппаратах и подводных лодках. История развития литиевых аккумуляторов насчитывает уже более полувека, но несмотря на это совершенствование с целью повышения удельной емкости запаасаемой энергии, увеличения срока службы и обеспечения безопасности непрерывно продолжается.

При производстве современных литий-ионных аккумуляторов углеродные материалы используются в качестве базового компонента анодного материала (например, графит марок MCMB, VTR и др.), а также в качестве электропроводной добавки для катодной и анодной масс (например, Super P Li, Ketjen Black и др.).

Классическим базовым компонентом анодного материала литий-ионного аккумулятора, предложенного в 1991 г. Акира Ёсино и используемого по настоящее время, является графит. Теоретическая емкость графита составляет 372 мАч/г, а обратимая емкость составляет около 260 мАч/г и снижается в процессе эксплуатации аккумулятора. В ЦНХТ ИК СО РАН выполняются разработки по синтезу новых углеродных материалов на базе технического углерода, обеспечивающих повышение обратимой удельной емкости и повышение стабильности аккумулятора батареи.

В работе рассмотрены подходы по модифицированию промышленных марок технического углерода, обеспечивающие получение активного компонента анодных масс литий-ионных аккумуляторов.



ляторов с обратимой удельной емкостью более 250 мАч/г и обеспечивающие стабильные свойства в более чем в 100 циклах заряд-разряд.

Многие компоненты современных катодных и анодных масс не обладают требуемой проводимостью, достаточной для нормальной работы литий-ионного аккумулятора. С целью повышения проводимости в композицию вводят электропроводящие добавки, в качестве которых широкое применение нашли специализированные электропроводные марки технического углерода. В работе выполнено сопоставление электропроводных опытных образцов технического углерода ТУ1 и ТУ2 с марками технического углерода SuperP Li, Denka Black, используемых в качестве электропроводящей добавки для катодных (NMC111) и анодных (графит) масс. Показано, что тип вводимой электропроводной добавки оказывает большое влияние на количество запаасаемой энергии. Емкость литий-ионных аккумуляторов снижается в ряду: SuperP Li > ТУ1 > ТУ2 > Denka Black.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект FWUR-2024-0039).

Исследования выполнены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Национальный центр исследования катализаторов» и Омского регионального ЦКП СО РАН.

## **Comparative electrochemical and DFT studies of Cu-doped NiO for enhancing urea electrooxidation**

**Prof. Dr. Rabab M. El-Sherif**

*Faculty of Postgraduate Studies for Nanotechnology, Cairo University, P.O.  
12588, Giza, Egypt*

*e-mail: Rabab1774@yahoo.com*

In the present work, Cu-doped NiO is fabricated and synthesized using a microwave-assisted sol-gel method using different Ni and Cu precursors ratios supported on commercial graphite rod (G) and examined as an efficient electrocatalyst toward urea electrochemical oxidation (UEO). The morphology and chemical structure of the prepared electrocatalysts is confirmed by XRD, XPS, and SEM techniques. The catalytic activity of the prepared materials is measured and examined toward UEO as a function of current density and compared with different Ni-based catalysts in NaOH solution using cyclic voltammetry, chronoamperometry, and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The oxidation current density of G/Ni<sub>0.9</sub>Cu<sub>0.1</sub> reached 32 mA cm<sup>-2</sup>, and its onset potential of urea oxidation peak is shifted from 0.43 V (vs. Ag/AgCl) in NiO catalyst to 0.40 V (vs. Ag/AgCl) for G/Ni<sub>0.9</sub>Cu<sub>0.1</sub>. The charge transfer resistance for different modified surfaces at various conditions (e.g., urea concentration, electrolyte concentration, and oxidation potential) is measured using the electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The CO tolerance is studied using the DFT method to prove the stability of the electrodes and the performance efficiency due to Cu atoms doping into NiO crystal. The adsorption of CO is studied upon Cu-doped NiO and compared with pristine NiO alloy at different adsorption sites- top and hollow.

## **Study of copper II oxide nanostructures decorated with CuO nanoparticles (CuO/CuO NPs) for photovoltaic applications**

**S. Fortuné Fábregas<sup>1,2</sup>, P. L. Tuan<sup>2,3</sup>, A. S. Doroshkevich<sup>2</sup>, A. Iribarren<sup>1</sup> and L. Vaillant Roca<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Material Sciences and Technology, University of Havana (IMRE-UH), Vedado, 10 400 Plaza de La Revolucion, Havana, Cuba.*

<sup>2</sup>*Frank Laboratory of Neutron Physics (FLNP), Joint Institute for Nuclear Research (JINR), Dubna, Russia.*

<sup>3</sup>*Hanoi Irradiation Center, Vietnam Atomic Energy Institute, Hanoi, Vietnam  
e-mail: silviafortune@gmail.com*

Copper (II) oxide (CuO) is a p-type semiconductor with a narrow bandgap of 1.21 to 1.55 eV (direct), non-toxic, abundant in the Earth's crust, stable and easy to obtain by low-cost techniques. These reasons make the CuO a sustainable photovoltaic material. The main goal of this research is to develop a heterostructure based on elongated CuO nanostructures with an inverted and branched architecture. In this heterostructure, the CuO layer will be the support and the absorbing material for solar radiation. In this study we investigate the morphology, structural changes, optical properties and composition profile of the nanostructured CuO layer. The obtained CuO nanostructures were studied by scanning electron microscopy (SEM), X-rays diffraction (XRD), Raman, infrared spectroscopy and Rutherford backscattering spectrometry (RBS). In this work, we studied the influence of thermal treatment on the morphological characteristics of the CuO nanorods as well as the CuO decoration process. The results indicate that the obtained CuO/CuO nanoparticles structures have improved light absorption mostly due to thermal treatments.

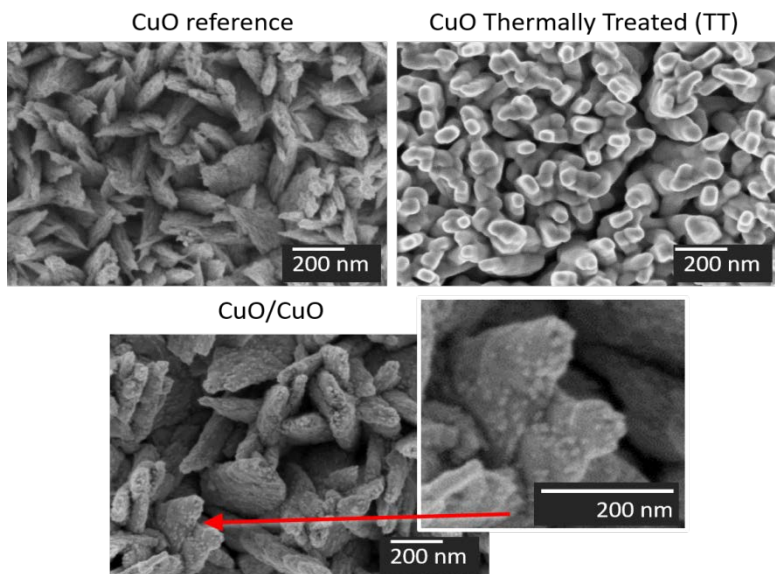


Fig.1. SEM images of CuO reference nanostructure, thermally treated and decorated with CuO nanoparticles (CuO/CuO NPs).

## Определение плотности тепловых потоков для систем лучистого отопления

Аралов Е.С.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»,  
Россия

e-mail: vgtu.aralov@yandex.ru

Определение плотности тепловых потоков, исходящих от линейных излучателей, имеет важное значение, особенно в контексте энергоэффективности, поэтому требуется создание точного метода расчета теплового потока для качественного отопления. Основные трудности в определении плотности тепловых потоков от протяженных излучателей связаны с особенностями теплообмена излучением, характеристиками самих излучателей.

При построении модели (рисунок 1) было введено несколько упрощений: принято, что излучатель имеет линейную форму, среда, в которой распространяется тепло, является однородной, и использован закон Стефана-Больцмана в качестве базового принципа. Также предполагалось, что радиационные свойства материалов остаются неизменными в рамках рабочих температур.

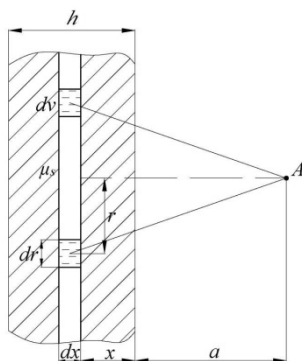


Рис.1. - К определению поля инфракрасного излучения источника в виде объемного слоя

Результирующую плотность потока в точке А определяется по формуле:

$$\phi = \frac{q_v}{4\pi} \int_0^h dx \int_0^\infty \frac{\exp(-\mu_s x / \cos Q) 2\pi r dr}{(r^2 + (a+x)^2)},$$

где  $q_v$  - тепловая мощность, МВт;  $\mu_s$  - коэффициент поглощения;  $\cos Q$  - угол расположения излучателя;  $x$ ,  $r$ ,  $a$  - геометрические данные, м.

В теоретическом плане данное исследование способствует лучшему пониманию особенностей теплового излучения от линейных объектов и их сравнению с точечными источниками, что расширяет существующие представления о теплообмене.

Практическая значимость работы проявляется в возможности использования предложенной методики для повышения эффективности обогрева для различных видов помещений.

### Литература

1. Аралов, Е. С. Оптимизация конструкции газолучистого обогревателя темного типа / Е. С. Аралов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 1(24). – С. 55-61.
2. Аралов, Е. С. CFD-анализ воздушных потоков и температур на базе газолучистого отопления в промышленных условиях / Е. С. Аралов, Б. М. Кумицкий // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2023. – Т. 50, № 4. – С. 166-174.
3. Моделирование теплового состояния помещения при использовании отопительной конструкции двухзонного темного газолучистого обогревателя / Е. С. Аралов, Б. М. Кумицкий, О. А. Куцыгина, О. Р. Дорняк // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2023. – № 3(71). – С. 42-52.
4. К методике определения плотности лучистых тепловых потоков от излучателей линейной протяженности / Е. С. Аралов, В. Н. Мелькумов, Б. М. Кумицкий, С. В. Чуйкин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 3(45). – С. 22-27.

## Получение пористых углеродных материалов из скорлупы кедрового ореха для электродов двойнослойных суперконденсаторов

Болотников А. А., Лепкова Т. Л., Кречетов И. С.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет МИСИС», Россия*

*e-mail: m1904783@edu.misis.ru*

Остаётся актуальным поиск недорогих и экологичных прекурсоров для синтеза высококачественных углеродных материалов, частный пример использования которых – электроды суперконденсаторов.

Для создания углеродного материала в качестве прекурсора была использована скорлупа кедрового ореха (СКО). Активированный уголь получали методом карбонизации с последующей физической активацией исходного сырья. Активация была проведена при 900 °С в потоке углекислого газа в течение 20, 40 и 80 минут. Согласно времени активации, образцы маркировали по следующему макету: СКО-У[время активации в минуту].

Электроды, созданные на основе данных углеродных материалов, были измерены в составе собранных лабораторных ячеек суперконденсаторов (электролит – 3 М Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) методами циклической вольтамперометрии (ЦВА) и гальваностатического заряда-разряда (ГЗР). В качестве сравнения приведены результаты измерений карбонизованного образца без активации, СКО-У0.

Образцы были измерены в широком диапазоне плотностей тока и скоростей развёртки. Для каждого электрода определялся вклад от «внешней» и «внутренней» поверхностей электродного материала согласно методу Тразатти [1]. Электрохимические характеристики синтезированных углеродных материалов, определённые по результатам ГЗР измерений, представлены на рисунке 1. Так, образец СКО-У80 демонстрирует возможность работы при удельном токе до 25 А/г. Образец СКО-У40 обладает наибольшей плотностью мощности – 2,2 Вт·ч/кг (при 250 мА/г).

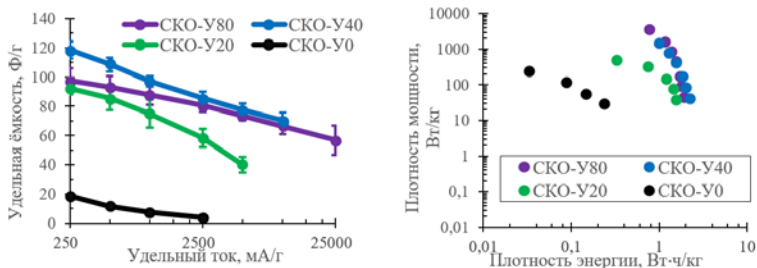


Рис.1. Электрохимические характеристики, измеренные методом ГЗР, синтезированных углеродных материалов из скорлупы кедрового ореха. а) Зависимость удельной ёмкости от плотности тока; б) Диаграмма Рагоне

Таким образом, синтезированные углеродные материалы пригодны в качестве электродов для суперконденсаторов.

Выражаю благодарность своему научному руководителю – Лепковой Татьяне Львовне.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания FSME-2023-0007

### Литература

1. Ardizzone S., Fregonara G., Trasatti S. “Inner” and “outer” active surface of RuO<sub>2</sub> electrodes // *Electrochimica Acta.* – 1990. – Т. 35. – №. 1. – С. 263-267.



## Комбинированные электроды для проточных ванадиевых батарей

**Воропай А. Н.<sup>1,2</sup>, Владимир Е.Д.<sup>1</sup>, Осетров Е.С.<sup>2</sup>, Дерябина Е.О.<sup>1</sup>,  
Зуева В.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Государственный университет «Дубна», г. Дубна, Россия

<sup>2</sup>АО «МПОТК «ТЕХНОКОМПЛЕКТ», г. Дубна, Россия

*e-mail: voropay@uni-dubna.ru*

Ванадиевые проточные батареи активно развиваются в приложении альтернативной энергетики [1], однако их энергоэффективность, до сих пор, остается на достаточно низком уровне (около 65 %). Повышение этого параметра возможно за счет модификации электродов [2]. В данной работе модификация электродов проводится за счет формирования на поверхности электрода вблизи мембраны активного слоя на основе технического углерода. Углерод перед этим функционализировался, чтобы повысить его гидрофильные свойства и увеличить количество активных центров на поверхности.

На основе диаграмм Найквиста для ячеек с классическими войлочными электродами на основе GFD 4.6 EA (FBE-0) и электродами на основе GFD 4.6 EA/CH210 установлено, что сопротивление композитных электродов значительно ниже, чем классических. Это же подтверждает и кривыми заряд-разряда. Все это приводит к повышению КПД ячейки с 63 до 71 %.

### Литература

1. Piergiorgio Alotto, Massimo Guarnieri, Federico Moro. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. Vol. 29, P. 325-335.
2. Bourke, A., Oboroceanu, D., Quill, N., Lenihan, C., Alhaji Safi, M., Miller, M.A., Savinelli, R.F., Wainright, J.S., Sasikumar, V., Rybalchenko, M. // *The Electrochemical Society*, 2023, Vol. 170, P. 030504.

## Электрические эффекты в наноструктурированных материалах на основе $\text{CuSn}(\text{S},\text{Se})_2$ при воздействии влажности и освещения

Е.А. Диденко<sup>1,2</sup>, А.С. Дорошкевич<sup>1,2,3</sup>, В.Ф. Гременок<sup>4</sup>,  
Оксенгендлер Б.Л.<sup>3,5</sup>

<sup>1</sup> Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия

<sup>2</sup> Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

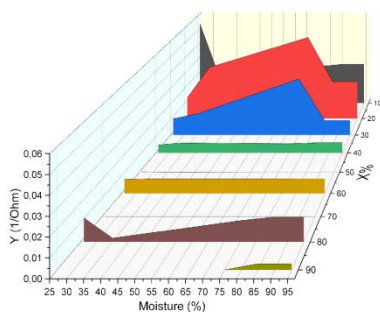
<sup>3</sup> Институт Материаловедения АН РУз, Ташкент, Узбекистан

<sup>4</sup> ГО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»,  
Минск, Республика Беларусь

<sup>5</sup> Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия

Наноструктурированные материалы на основе  $\text{CuSn}(\text{S},\text{Se})_2$  представляют интерес в контексте возобновляемой энергетики. Они являются эффективными фотоадсорберами и, кроме того, обладают высокой структурной восприимчивостью к поглощению влаги. Благодаря использованию наноструктурированных фотоадсорберов становится возможным создание гибридной системы, сочетающей в себе свойства как фотоконвертеров, так и преобразователей энергии адсорбции молекул воды в электрический вид.

Рис. 1. Зависимость электропроводности образцов  $\text{Cu}_2\text{CdGe}_{100-\text{X}}\text{Sn}_\text{X}\text{Se}_4$



от влажности.

Целью данной работы является исследование электрических свойств материалов на постоянном токе в условиях различной влаж-

ности. В качестве исследуемых объектов были использованы кристаллы состава  $\text{Cu}_2\text{CdGe}_{100-x}\text{Sn}_x\text{Se}_4$ , где  $x = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ .

Как видно (рис. 1), наблюдается тенденция снижения электропроводности системы  $\text{Cu}_2\text{CdGe}_{100-x}\text{Sn}_x\text{Se}_4$  при увеличении концентрации олова ( $x\%$ ). Максимальное значение ( $0,0546 \text{ Ом}^{-1}$ ) зафиксировано для двух образцов  $x=10$  и  $x=20$  при значениях атмосферной влажности 26% и 75%, соответственно. Установлено, что оптимальной влажностью, где наблюдается наибольшая электропроводность для большинства образцов, является 75%.

Установлено, что изученные соединения состава  $\text{Cu}_2\text{CdGe}_{100-x}\text{Sn}_x\text{Se}_4$  ( $x=10-90$ ) при относительно высоких концентрациях легирующей примеси в условиях влажности атмосферы не менее 75% обладают достаточным уровнем электропроводности и потенциально могут быть использованы в качестве функциональной среды для совмещенного хемо- и фотоконвертера для альтернативных источников энергии.

*Acknowledgments. The investigation was performed in the scope of the Serbia-JINR cooperation Projects № 50 2024 items 7 and 8, Serbia; Serbia-JINR cooperation Projects № 51 2024 items 4 and 5, Belarus; Serbia-JINR cooperation Projects № 130 2024 items 7 and 8.*

## Литература

1. Xie H. et al. Impact of Sn (S, Se) secondary phases in  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}$  (S, Se) 4 solar cells: a chemical route for their selective removal and absorber surface passivation //ACS applied materials & interfaces. – 2014. – Т. 6. – №. 15. – С. 12744-12751.

**Разработка приборов адсорбционной энергетики  
и электроники на основе  $ZrO_2$  - нанопорошковых систем  
в ОИЯИ**

**Дорошкевич А.С.<sup>1,3</sup>, Мезенцева Ж.В.<sup>1,3</sup>, Оксенгендлер Б.Л.<sup>3-4</sup>,  
Диденко Е.А.<sup>1,2</sup>, Кибардина Е.<sup>1,2</sup>, Гременок В.Ф.<sup>5</sup>, Кириллов А.К.<sup>1</sup>,  
Василенко Т.А.<sup>6</sup>, Балашою М.А.<sup>1,7</sup>, Корнеи Н.<sup>8</sup>, Мардаре Д.<sup>8</sup>,  
Мита К.<sup>8</sup>, Мирзаев М.Н.<sup>1,9</sup>, Попов Е.П.<sup>1,10,11</sup>, Йованович З.<sup>12</sup>,  
Теофилович В.<sup>13</sup>, Ристич И.<sup>13</sup>, Туан Ф.<sup>1,14</sup>, Чисеа Д.<sup>16</sup>, Аппазов Н.<sup>16</sup>,  
Парпиев О.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

<sup>2</sup>Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия

<sup>3</sup>Институт Материаловедения АН РУз, Ташкент, Республика Узбекистан

<sup>4</sup>Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия

<sup>5</sup>ГО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»,  
Минск, Республика Беларусь

<sup>6</sup>Санкт-Петербургский Горнодобывающий Университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>7</sup>Национальный институт исследований и разработок в области физики  
и ядерной техники

Хория Хулубей, Бухарест, Румыния

<sup>8</sup>Факультет физики, Ясский университет имени Александру Иоанна Куза,  
Яссы, Румыния

<sup>9</sup>Институт радиационных проблем Национальной академии наук Азербайджана, Баку, Азербайджан

<sup>10</sup>Институт физики твердого тела Болгарской академии наук, София, Болгария

<sup>11</sup>Институт ядерных исследований и ядерной энергии Болгарской академии наук, София, Болгария

<sup>12</sup>Белградский университет, ИНН Винча Физическая лаборатория, Белград, Сербия

<sup>13</sup>Технологический факультет, Нови Сад, Сербия

<sup>14</sup>Вьетнамский институт атомной энергии, Ханой, Вьетнам

<sup>15</sup>Университет «ЛУЦИАН БЛАГА» Сибиу, Румыния

<sup>16</sup>Лаборатория инженерии Кызылординского университета имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан

e-mail: doroh@jinr.ru

Нанопорошковая система на основе  $ZrO_2$  представляет интерес для практических применений ввиду свойственных ей размерных эффектов адсорбционной природы. Согласно [1], адсорбция

приводит к перезарядке поверхности, что проявляется в повышении проводимости приповерхностного слоя наночастиц и общей проводимости системы [2], появлению у нанопорошковой системы относительно высокой электрической емкости и возможности зарядового обмена с внешней средой [3]. Таким образом, простейшим электронным прибором на основе наноразмерной системы  $ZrO_2 - Y_2O_3$  может считаться наноионный конденсатор [4]. Его конструкция допускает масштабирование в наноразмерный диапазон и эксплуатацию непосредственно внутри живых организмов.

Согласно [5], величина поля между объемом и поверхностью наночастиц (поверхностный потенциал) зависит от размера частиц  $d$  в диапазоне  $-1 \leq d/2L_{eff} \leq -2.2$ , вследствие перекрытия ОПЗ от противоположных поверхностей. Последнее обстоятельство открывает перспективы создания приборов гомогенной электроники с функцией выпрямления переменного тока [6]. Такие структуры могут найти свое применение в биосовместимых электронных технологиях, а так же, в высокотемпературной электронике при замене водного электролита твердотельным аналогом. Существенным достоинством таких систем будет отсутствие в составе иновалентной примеси и, как следствие, – проблемы диффузионной неустойчивости функционального перехода.

Среди ключевых задач текущих исследований следует отметить:

- установление механизмов формирования каналов проводимости и их размерности;
- связи потоков транспорта заряда и массы;
- поиск путей каналирования адсорбционно–индуцированных носителей заряда в межэлектродном пространстве и повышения удельной плотности производимой электроэнергии адсорбционными гидроэлектрическими преобразователями;
- поиск оптимальной электропроводящей твердотельной дисперсионной среды для наноионных конденсаторов и диодов / транзисторов.

На решение задач разработки приборов электроники на основе нанопорошков направлена данная работа.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках проекта сотрудничества Сербия-ОИЯИ № 50 2024 г. п. 7 и 8, Сербия; Проекты сотрудничества Сербия-ОИЯИ № 51 2024 г. п. 4 и 5, Проекты сотрудничества Беларусь-ОИЯИ № 289 / 2024 г. п.п. 16 - 18.

## Литература

1. Ф.Ф. Волькенштейн Электронная теория катализа на полупроводниках. М.: ИФМЛ, 1960. 216 с
2. А.В. Шило, А.С. Дорошкевич, А.В. Любчик, Ю.Ю. Бачериков, М. Баласою, Т.Е. Константинова. Электрофизические свойства гидратированной пористой дисперсной системы на основе нанопорошков диоксида циркония // Прикладная нанонаука (Опубликовано онлайн 04.04.2020) <https://doi.org/10.1007/s13204-020-01471-2>.
3. А.С. Дорошкевич, Е.Б. Аскеров, А.И. Любчик, А.В. Шило, Т.Ю. Зеленяк, А.И. Логунов, В.А. Глазунова, В.В. Бурховецкий, А.Х. Исламов, А.А. Набиев, В.А. Турченко, В. Алмасан, Д. Лазар, М. Баласою, В.С. Дорошкевич, А.И. Мададзада, А.И. Бескровный, В.И. Боднарчук, Ю.Ю. Бачериков, Б.И. Оксенгендлер Прямое преобразование энергии адсорбции молекул воды в электричество на поверхности наночастиц диоксида циркония // Прикладная нанонаука. 9(8), 1603-1609 DOI 10.1007/s13204-019-00979-66.
4. Роспатент №2019135580 (070225) «Твердотельный конденсатор-ионистор с диэлектрическим слоем из нанопорошка диэлектрика» Авторы А.С. Дорошкевич, А.В. Шило, Т.Ю. Зеленяк, Т.Е. Константинова, А.В. Любчик, А.А. Татарина, Е.А. Гридина, Н.В. Дорошкевич Владелец патента: ОИЯИ. Заявка № 2019135580; приоритет изобретения 5.11.2019; Дата регистрации в Гос.реестре изобретений РФ 13.09.2020, срок действия исключительного права-2039.
5. Ю.Ю. Бачериков и П.М. Литвин, О.Б. Охрименко, А.Г. Жук, Р.В. Куричка и А.С. Дорошкевич Поверхностный потенциал мезоразмерных частиц ZnS:Mn, полученный с использованием метода СВС. // *JNanopartRes.* (2018) 20:316 <https://doi.org/10.1007/s11051-018-4413-1>.
6. А.С. Дорошкевич, А. Захарова, Б. Оксенгендлер, А.В. Любчик., А.А. Татарина, А. Кириллов, Т.А. Василенко, О. Горбань, В. Боднарчук, Н. Никифорова, Б. Захарова, М. Баласою, Д. Мардаре, К. Мита, А. Станкулеску, М. Мирзаев, А. Набиев, Э. Попов, Л.Х. Хиём, А. Донков, Т. Константинова. Выпрямляющий контакт гидратированных многомерных наночастиц YSZ для современной электроники. // *Preprints Applied Materials Today* 2022, 2022060075 (doi: 10.20944/preprints202206.0075.v1).

## Перспективные ТАМ на основе $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$

Згурский Н.А., Тестов Д.С., Моржухина С.В., Моржухин А.М.

*Государственный университет «Дубна»*

*e-mail: n\_zgurskiy@mail.ru*

В условиях глобального перехода к устойчивым источникам энергии, разработка эффективных теплоаккумулирующих материалов становится ключевой задачей. Среди различных технологий хранения тепловой энергии, фазопереходные материалы (ФПМ) представляют собой одну из наиболее перспективных областей благодаря своей способности накапливать значительные объемы энергии при переходе между фазами. Кристаллогидраты солей занимают особое место среди ФПМ из-за их доступности, безопасности и высокого скрытого тепла плавления. Их применение в системах аккумулирования тепловой энергии средней температуры открывает возможности для значительного повышения эффективности теплоснабжения в жилых, коммерческих и промышленных объектах, а также в солнечных энергетических установках [1,2].

Одним из перспективных кристаллогидратов является гексагидрат нитрата магния ( $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ), обладающий высокой скрытой теплотой плавления (~135-150 Дж/г) и температурой фазового перехода в диапазоне ~89°C, что делает его оптимальным для аккумулирования тепловой энергии в ряде промышленных и бытовых применений. Кроме того,  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  демонстрирует хорошую обратимость фазового перехода и стабильность при многократных циклах плавления и кристаллизации, что является критически важным для долговременного использования [3,4]. Однако, как и многие кристаллогидраты, данный материал подвержен некоторым ограничениям, таким как переохлаждение. Тем не менее, современные исследования показывают, что введение стабилизаторов и модифицирующих добавок могут успешно минимизировать эти недостатки.

Состав:	$C_p$ , кДж/кг·К	переохлаждение, $\Delta T$ , °С	$t_{акк}$ , с	$\Delta H_{кр}$ , кДж/г	$h$ , Вт/м <sup>2</sup> ·°С
57.3Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O + 42.7 MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O + 0.1%MgO + 2%EG	6.8	0	2491	374.2	1.386
25.42% Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O +74.58% Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O+0.1 %MgO+1 % КМЦ	9.4	0	2040	141.9	1.091

Таким образом, Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O является многообещающим веществом для использования в составе новых высокотемпературных теплоаккумулирующих материалов. Его высокие термодинамические характеристики и совместимость с другими компонентами позволяют создавать эффективные смеси на его основе для аккумуляции и последующего использования тепла в системах с возобновляемыми источниками энергии.

Работа выполнена в рамках государственного задания федерального государственного бюджетного учреждения «Российская академия наук» по проектам научных тем по научным исследованиям (№ FEEM-2024-0008), Регистрационный номер 102312200005-0-1.4.3.

#### Литература

1. А. М. Моржухин, С. В. Моржухина, Р. Г. Назмитдинов, А. Мой-Полл Теплоаккумулирующие материалы (обзор) // Вестник Международного университета природы, общества и человека "Дубна". Серия: Естественные и инженерные науки. 2016. № 4(36). С. 24-33.

2. Ольшанский А. И., Ольшанский В. И., Беляков Н. В. Основы энергосбережения: курс лекций //Витебск: УО «ВГТУ. – 2007.



3. Моржухин А.М., Тестов Д.С., Моржухина С.В., Корокин В.Ж. Критерии выбора и теплофизические свойства низкотемпературных теплоаккумулирующих материалов для систем хранения тепловой энергии (обзор) / Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 2019, №22-27. – с. 92-106. DOI: 10.15518/isjaee.2019.22-27.092-106

4. A.M. Morzhukhin, D.S. Testov, S.V. Morzhukhina//Selection principles and investigation of substances for synthesis of composite medium-temperature phase change materials for space heating and domestic hot water // Materials Science Forum ISSN: 1662-9752, 2020. Vol. 989, pp 165-171.

## **Практическое применение теплоаккумулирующих материалов в электронике**

**Ильина Н.О., Моржухина С.В., Моржухин А.М., Тестов Д.С.,  
Луговой Ю.Е.**

*Государственный университет «Дубна», г.Дубна*

*e-mail: ilina.nad@yandex.ru*

Обеспечение оптимальных тепловых режимов микроэлектронной техники является важнейшей задачей [1]. В связи с быстрым развитием производственных технологий за последнее десятилетие электронные устройства демонстрируют развивающуюся тенденцию к многофункциональности и миниатюризации, что одновременно требует большей мощности электроники. Следовательно, существует проблема предотвращения перегрева электронных устройств. В целом, технологии терморегулирования электронных устройств можно разделить на две категории: активное и пассивное охлаждение. Однако активное охлаждение становится весьма ограниченным для миниатюрных электронных устройств, поскольку обычно требует достаточного пространства и дополнительной мощности, а также имеет проблемы с высоким уровнем шума и сложностью обслуживания. По этой причине надежные методы пассивного охлаждения становятся незаменимыми и привлекательными для улучшения тепловых характеристик и срока службы микроэлектронных устройств. Для этой цели широко применяются фазопереходные материалы (ФПМ) [2]. В настоящее время набирают популярность системы охлаждения на основе фазопереходных материалов, работающие в температурном диапазоне 50-60°C. В качестве фазопереходного материала чаще всего используют жирные кислоты и сахарные спирты, но фазовые переходы таких ФПМ не попадают в температурный диапазон 50-60 °C [3].

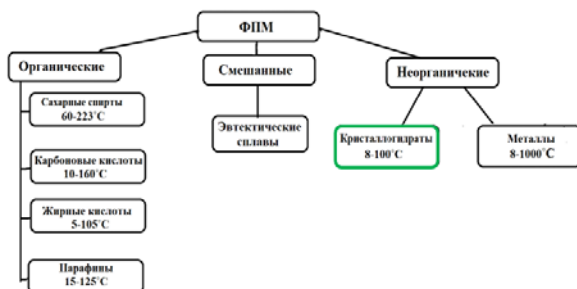


Рис. 1 – Классификация ФПМ [4].

Очень важным критерием выбора ФПМ для охлаждающей системы является плотность [5]. Трёхводный ацетат натрия имеет одну из наибольших плотностей и отлично подходит по этому параметру. Также он обладает самой большой теплотой фазового перехода в диапазоне 40 – 60 °C по сравнению с парафином и с кристаллогидратами органических солей [6]. Ацетат натрия имеет также наибольшую плотность аккумуляирования теплоты [5]. Была синтезирована смесь на основе трехводного ацетата натрия и пиррофосфата натрия с добавками – расширенный графит и карбоксиметилцеллюлоза для применения в охлаждающих системах электронной техники. Данный материал обладает перспективными значениями энтальпии >200кДж/моль и теплоемкости 2 кДж/(кг\*К). Также данный материал устойчив при 500 циклах. В ходе экспериментальной части были получены кривые нагревания ФПМ методом температурной истории [7].

Фазовый переход у данной смеси находится около 60°C, время аккумуляирования составляет более 40 минут, энтальпия плавления выше в 2 раза, чем у аналогов и теплоемкость выше почти в 3 раза, что делает данный материал перспективным для использования в системах охлаждения микроэлектронных устройств [8].

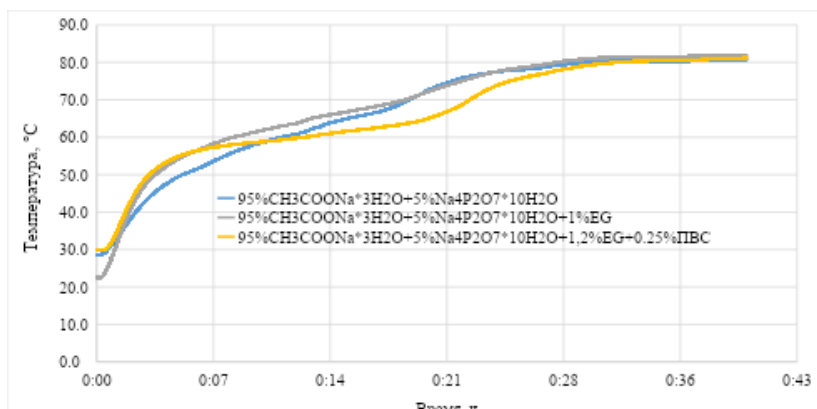


Рис. 2 – Кривые нагрева фазопереходных теплоаккумулирующих материалов на основе смеси тригидрат ацетата натрия и пирофосфата натрия.

Работа выполнена в рамках государственного задания федерального государственного бюджетного учреждения «Российская академия наук» по проектам научных тем по научным исследованиям (№ FEEM-2024-0008), Регистрационный номер 102312200005-0-1.4.3.

### Литература

1. Герасютенко В. В. Термостабилизация электронных приборов с интенсивными тепловыделениями : дис. – 2021.
2. Ren Q., Guo P., Zhu J. Thermal management of electronic devices using pin-fin based cascade microencapsulated PCM/expanded graphite composite //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2020. – Т. 149. – С. 119199.
3. Maha J., Novikov A., Nowotnick M. Thermal Peak Management Using Organic Phase Electronic Applications // Int J Heat Mass Transf. 2018. Vol. 149. P. 119199.
4. Зенин В.В. et al. Охлаждение изделий микроэлектроники // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Vol. 7. P. 127–131.
5. Deng Y, Li J, Deng Y, Nian H J.H. Supercooling suppression and thermal conductivity enhancement of Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> · 12H<sub>2</sub>O/expanded vermiculite form-stable composite phase change materials with alumina for heat storage // ACS Sustain. Chem Eng. 2020. P. 1–10.
6. Rozanna D. et al. Fatty acids as phase change materials (PCMs) for thermal energy storage: a review //International journal of green energy. – 2005. – Т. 1. – №. 4. – С. 495-513.

7. Lovelyn Theresa I., Velraj R. Thermophysical characterization and comparison of PCMs using DSC and T-History experimental setup // Mater Res Express. Institute of Physics Publishing, 2019. Vol. 6, № 12.

8. Naddaf A., Heris S. Z. Experimental study on thermal conductivity and electrical conductivity of diesel oil-based nanofluids of graphene nanoplatelets and carbon nanotubes //International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2018. – T. 95. – C. 116-122.

## **Методика статистической оценки среднегодовой выработки горизонтально-осевого ветрогенератора**

**К.К. Кружков, А.В. Третьяков**

*Государственный университет «Дубна», Россия*

*e-mail: k.k.kruzhkov@yandex.ru*

Описана методика стохастического моделирования, позволяющая рассчитывать среднегодовую выработку электроэнергии ветроэнергетической установкой (ВЭУ) в доверительном интервале, определяемом диапазоном изменения геометрических параметров агрегата. Методика позволяет определять параметры проектируемого ВЭУ.

Заказчик, приобретающий ветроустановку, ожидает от ее работы максимальной эффективности, заявленной в рекламном проспекте, которая, однако, может подтверждаться только при определенном сочетании эксплуатационных факторов. Величины среднегодовой выработки электроэнергии (СГВЭ), которые рассчитываются в программах, моделирующих работу ВЭУ, как правило при номинальных начальных условиях носят завышенный оценочный характер. Для того, чтобы получить представление о реальных значениях СГВЭ необходимо учитывать разброс их возможного изменения, возникающий из-за отклонений расчетных параметров ВЭУ от характеристик реальных установок генерирования, возникающий из-за погрешностей расчета аэродинамических, массово-инерционных, геометрических и прочих параметров. В технике такие разбросы описываются доверительными интервалами.

Целесообразно использовать именно величину СГВЭ, так как ее значение интегрально характеризует эффективность работы ВЭУ в целом. Значения СГВЭ зависят от места размещения ВЭУ (с точки зрения ветрового потенциала данной местности) и его конструкции – в частности аэродинамической эффективности лопастей ветрового колеса, которая определяется коэффициентом использования энергии ветра и значениями коэффициента аэродинамического момента.

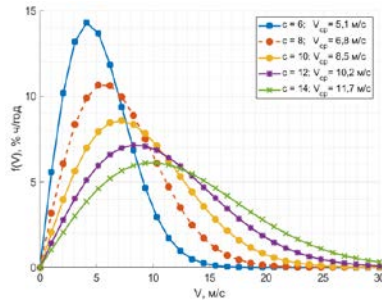


Рис. 1. Варианты распределения скоростей ветра по Вейбуллу при различных значениях коэффициента формы

В работе доверительный интервал изменения СГВЭ определен с помощью стохастического моделирования. Путем изменения значений некоторых входных параметров, в пределах их допустимых отклонений, распределенных по нормальному закону, получена выборка для параметра СГВЭ и проведена ее статистическая обработка. Для получения выборки варьировались параметры, влияющие на энергоэффективность работы ВЭУ, такие как коэффициент аэродинамического момента профиля лопасти ( $m_x$ ), коэффициент использования энергии ветра ( $\epsilon$ ) и расчетная скорость ветра ( $V_p$ ). Был произведен расчет пятиста вариантов распределения таких вариаций в программной среде Matlab. Скорость ветра – как источник энергии для агрегата, была получена путем представления анализируемой выборки распределением Вейбулла [1], рис. 1. Для управления угловой скоростью в системе ВЭУ задан закон с переменной угловой скоростью вращения, по которому угловую скорость изменяли в функции от скорости ветра, с ограничениями по максимальному и минимальному значениям [2] и коэффициентом глубины регулирования, определенным в [3].

В целях оптимизации конструкции ВЭУ в части аэродинамики ветрового колеса проведено исследование нескольких аэродинамических профилей, обладающих максимальной эффективностью [4].

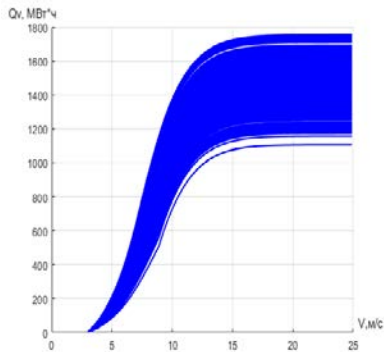


Рис. 2. Доверительный интервал среднегодовой выработки электроэнергии

В результате определены статистические характеристики параметра СГВЭ, такие как математическое ожидание ( $M$ ), дисперсия ( $D$ ) и среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ ), позволяющие оценить диапазон изменения величины СГВЭ в широко используемом в инженерных расчетах доверительном интервале, равном  $\pm 3\sigma$ . На рис. 4 показан доверительный интервал среднегодовой выработки электроэнергии для ВЭУ мощностью 500 кВт с радиусом ветроколеса 29 м, состоящего из трех лопастей аэродинамического профиля CLARK Y<sub>m</sub> 18.

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании промышленных горизонтально-осевых ВЭУ.

Исследование проведено в рамках приоритетной НИР «Динамическое проектирование систем автоматического управления ветроэнергетической установкой» Инженерно-физического института Государственного университета «Дубна».

#### Литература

- ГОСТ Р 54418.1-2012. Установки ветроэнергетические. Часть 1. Технические требования. – М.: Стандартинформ, 2016 – 88 с.
- Третьяков А.В. Моделирование системы автоматического управления горизонтально-осевой ветроэнергетической установки / А.В. Третьяков // Вестник компьютерных и информационных технологий, М.: 2023, №11 – с.16-25.



3. Способ оптимизации функционального алгоритма ветроэлектрогенератора / Е.А. Дворяшин, А.В. Третьяков // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: XXIX Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. — М.: МЭИ, 2023. — с. 1134.

4. Методика статистической оценки эксплуатационных параметров ветрогенератора / К.К. Кружков, А.В. Третьяков // Эффективные инженерные решения в энергомашиностроении: XIII конгр. мол. учён., СПб: Университет ИТМО, 2024. URL: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/12054>.

**Эффект накопления эдэктрического заряда,  
гиратированными нанопорошковыми системами  
 $ZrO_2 + 3mol Y_2O_3$ . Зависимость от размера частиц**

**А.Ж. Алтынбасова<sup>1\*</sup>, А.С. Дорошкевич<sup>2,3</sup>, Кибардина Е.А.<sup>3</sup>,  
С.С. Айнабекова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Карагандинский индустриальный университет, город Темиртау, про-  
спект Республики №30, Республика Казахстан,*

<sup>2</sup>*Объединённый институт ядерных исследований, город Дубна, ул. Жолио  
Кюри №6, РФ,*

<sup>3</sup>*Государственный университет «Дубна», город Дубна, ул. Университет-  
ская д.19, РФ,*

<sup>4</sup>*Карагандинский индустриальный университет, город Темиртау, про-  
спект Республики №30, Республика Казахстан,*

*e-mail: asaules@mail.ru, altyn\_neo@mail.ru, k1bardinae@yandex.ru, do-  
roh@jinr.ru*

В данной работе рассмотрены методологические аспекты исследования электрической емкости наночастиц на основе диоксида циркония ( $ZrO_2$ ). Разработана методика получения образцов для исследования электрических (емкостных свойств) обобщенной поверхности наночастиц на основе  $ZrO_2 + 3mol\% Y_2O_3$ ., предварительно отожженных при температурах 400 - 1000°C, включающая методику получения плотных компактатов с помощью высокого гидростатического давления порядка (500МПа), технологию нанесения электрических контактов на поверхность полученного компактата, методику регистрации и анализа разрядных кривых, расчета электрической емкости обобщенной поверхности ансамбля наночастиц. Разработана и изготовлена экспериментальная установка для исследования разрядных кривых, проведены тестовые измерения. Установлено, что максимальные значения емкости обобщенной поверхности ансамбля наночастиц состава  $ZrO_2 + 3mol\% Y_2O_3$  достигаются при нагрузке 10кОм (977мкФ/г). На основании чего, можно заключить, что при этой нагрузке система является параметрически согласованной, т.е., ее импеданс находится в области <10кОм.

#### Литература

1. Нанопорошки на основе диоксида циркония: получение, исследование, применение / Т.Е. Константинова, Н.П. Пилипенко, Г.К. Волкова,

В.А. Глазунова, И.А. Даниленко, Н.В. Токий, В.В. Токий, А.С. Дорошкевич, И.К. Носолев // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии: сборник научных работ. – 2004 – Т. 2, № 2 - С. 609-631.

2. Н.Т. Гладких, А.П. Крышталь, С.И. Богатыренко «Температура плавления наночастиц и энергия образования вакансий в них». Журнал технической физики, 2010, том 80, вып. 11, С. 111-114.

3. А.С. Дорошкевич, А.В. Шило, Г.К. Волкова, Т.Ю. Зеленьяк, В.А. Глазунова, В.В. Бурховецкий, Л.В. Лоладзе, И.И. Брюханова, С.А. Синякина, В.А. Турченко, В.И. Боднарчук, В.С. Дорошкевич, М.Л. Краус Особенности структурообразования нанопорошковых систем на основе  $ZrO_2$  в условиях высокого гидростатического давления / тез. Конф. «Химические проблемы современности» 16-18 мая, ДонНУ, г. Донецк. Украина С.181-182

## Разработка перовскитных композиционных частиц CsPbBr<sub>3</sub>/Cs<sub>4</sub>PbBr<sub>6</sub> для QLED и фотовольтаики

Степанова У.А.<sup>1</sup>, Королева Т.В.<sup>1</sup>, Мурадова А.Г.<sup>1</sup>, Измайлова Н.В.<sup>2</sup>,  
Самсонова Л.Г.<sup>2</sup>, Дегтяренко К.М.<sup>2</sup>, Тельминов Е.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», Россия

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

*e-mail: uljana\_stepanova@mail.ru*

Перовскитные нанокристаллы (НК) CsPbX<sub>3</sub> (X = Cl, Br, I) обладают уникальными свойствами, таким как яркая фотолюминесценция (ФЛ), высокий квантовый выход, перестраиваемая длина излучения, толерантность к дефектам, а также высокая подвижность носителей заряда [1], что делает их привлекательным материалом для создания перспективных оптоэлектронных устройств, в том числе светодиодов, солнечных элементов, фотодетекторов, лазерно-активных сред [2]. Наиболее изученными структурами являются перовскитные трехмерные НК CsPbBr<sub>3</sub>, обладающие зеленой ФЛ с квантовым выходом до 90%. Однако для данных структур характерно снижение интенсивности ФЛ под воздействием влаги, кислорода воздуха, температуры, а также длительного облучения светом, что затрудняет дальнейшее применение перовскитных НК. Распространенной методикой для повышения стабильности НК и защитой от воздействия условий окружающей среды является введение их в полимерные матрицы [3]. Для повышения стабильности перовскитных НК, помимо создания полимерных нанокомпозитов, предлагается ряд способов, таких как допирование ионами металлов, а также получение композиционных частиц на основе низкоразмерных перовскитных НК, например, двумерных CsPb<sub>2</sub>Br<sub>5</sub> или нольмерных Cs<sub>4</sub>PbBr<sub>6</sub>.

В данной работе получены перовскитные композиционные НК CsPbBr<sub>3</sub>/Cs<sub>4</sub>PbBr<sub>6</sub> методом горячей инъекции в два этапа синтеза. Показано, что при снижении температуры второго этапа синтеза до 80°C наблюдается формирование двухфазной системы.

Для композиционных НК CsPbBr<sub>3</sub>/Cs<sub>4</sub>PbBr<sub>6</sub> обнаружено два максимума в спектре ФЛ на длине волны около 485 и 515 нм. Данная зависимость ФЛ свойств наблюдается как в растворе НК, так и в

пленке. На основе полученных композиционных НК разработаны LED (Light Emitting Diode) ячейки, в том числе при введении частиц в полимерные матрицы полифлуорена, поливинилкарбазола и полиметилметакрилата, исследованы электрохимические и вольт-амперные характеристики, которые имеют выраженный диодный характер.

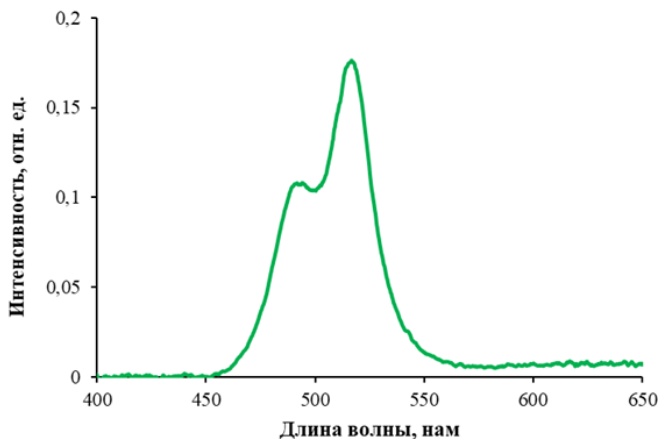


Рис.1. – Спектр ФЛ для перовскитных композиционных НК  $\text{CsPbBr}_3/\text{Cs}_4\text{PbBr}_6$

### Литература

1. G. Tong, L.K. Ono, Y. Qi. Recent Progress of All-Bromide Inorganic Perovskite Solar Cells // *Energy Technol*, 2020, vol. 8, p. 1900961.
2. C.-Y. Huang, H. Li, Y. Wu, C.-H. Lin, et al. Inorganic Halide Perovskite Quantum Dots: A Versatile Nanomaterial Platform for Electronic Applications // *Nano-Micro Letters*, 2023, vol. 15, № 16.
3. U.A. Stepanova, A.G. Muradova, H. Al-Mayyahi, et al. Preparation of Nanocomposites Based on PMMA and CdSe, CdSe/CdS Quantum Dots // *Russ. Phys. J.*, 2022, vol. 64, p. 2357 – 2363.

## **Применение ёмкостных накопителей энергии в комбинированных энергоустановках транспортных средств с бесконтактной динамической зарядкой**

**Фионов А. М.**

*ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», ул. Б. Семеновская, 38, 107023, Москва, Российская Федерация*

*e-mail: a.m.fironov@mospolytech.ru*

Современный этап развития автомобилестроения характеризуется высокой диверсификацией силовых приводов и используемых накопителей энергии.

Традиционные приводы с ДВС и топливными баками на углеводородах вытесняются гибридными и чисто электрическими комбинациями силовых приводов и накопителей. Однако, уже сейчас остро встает вопрос: а что дальше? Так, среди автопроизводителей всё чаще наблюдаются тенденции к переходу на альтернативное топливо для автотранспорта взамен традиционных углеводородов. Одним из наиболее перспективных направлений в этой области называются водородные технологии. Имеются успешные разработки в АвтоВАЗ, НАМИ, Honda и др.

Однако, продвижение водородных технологий на транспортных средствах затормозилось, и, в частности, из-за необходимости комбинировать аккумуляторные батареи в составе энергоустановок. Лишь несколько примеров: Антэл-2 и Honda FCX Clarity.

Тяговая аккумуляторная батарея (ТАБ) используется в качестве энергообменника. Она запасает рекуперативную энергию и является дополнительным источником энергии на борту автомобиля. Основными преимуществами ТАБ являются высокая удельная энергия и относительно низкая цена. Однако, практика показывает, что энергетические установки с аккумуляторными батареями имеют ряд существенных недостатков [1]: ограниченный срок службы; ограниченное число циклов заряда-разряда; резкое ухудшение характеристик при глубоком разряде; резкое ухудшение характеристик при отрицательных температурах; особые заправочные мощности и инфраструктура; сложные системы контроля.

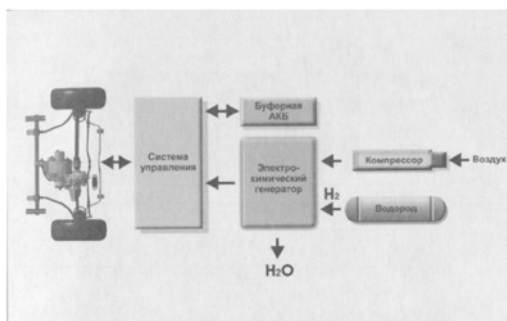


Рис. 1. Структурная схема автомобиля Антел-2

Очевидно, что накопители энергии (НЭ) с такими существенными недостатками на транспорте будущего перспективы не имеют, если еще принять во внимание, что надвигается эра беспилотных транспортных средств, а она потребует производить зарядку транспортных средств в том месте, где оно будет двигаться. Таким образом, дорожная инфраструктура должна стать источником дозарядки прямо с дороги и даже во время движения. А это означает, что потребуются особые требования к зарядке бесконтактной и повышенной мощности. Таким образом, остро встает вопрос с НЭ большой удельной мощности. Проведенный обзор и анализ показывают, что наиболее эффективным НЭ для транспорта будущего является ёмкостный, а бесконтактная передача будет решаться индуктивными устройствами передачи энергии на борт автомобилей. [2]

Ёмкостные накопители (ЕНЭ) отличаются простотой конструкции, удобством в использовании, безопасностью, экологичностью, а самое главное, высокой удельной мощностью и способностью быстро накапливать и отдавать запасённую энергию. ЕНЭ работоспособны при низких отрицательных температурах и способны выдерживать глубокие разряды, перезаряды и короткие замыкания. Срок службы, в частности, молекулярных накопителей (МНЭ) обеспечивает более 500000 циклов заряда-разряда, что значительно больше, чем у аккумуляторов. [2,3]

Таблица 1. Анализ характеристик различных накопителей энергии

Тип накопителя	Удельная энергия, Дж/см <sup>3</sup>	Максимальная мощность, Вт	Удельная мощность, Вт/м <sup>3</sup>
Емкостный	0,1 – 0,5	10 <sup>12</sup> – 10 <sup>13</sup>	10 <sup>11</sup>
Индуктивный	10 – 40	10 <sup>8</sup> – 10 <sup>9</sup>	10 <sup>9</sup>
Механический	100	10 <sup>7</sup> – 10 <sup>8</sup>	10 <sup>8</sup>
Химический	200 – 500	10 <sup>6</sup> – 10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup>

Принцип работы конденсаторов и МНЭ схожи. Однако, системы хранения энергии отличаются друг от друга. В то время как заряд накапливается на пластине конденсатора, энергетические заряды в МНЭ реализуются путем накопления на электроде и сепараторе электролита. Такая система накопления энергии позволяет МНЭ значительно увеличить удельные энергетические показатели. [3-6]

Основными параметрами МНЭ является: [2,5]

- Время заряда/разряда: от миллисекунд до секунд;
  - Рабочая температура: от -40 °С до +85 °С;
  - Рабочее напряжение одного элемента: около 1 В (для жидких электролитов) и около 2-3 В (для органических электролитов):
  - Емкость: от 1 мФ до > 10,000 Ф
  - Срок службы: от 5000 до 50 000 часов (в зависимости от температуры и напряжения);
  - Импульсная нагрузка: от 0,1 до 100 А.
- К числу недостатков МНЭ относятся: [2,6]
- Относительно малое время разряда;
  - Относительно низкое напряжение одного элемента накопителя;
  - Повышенный саморазряд.

Анализируя свойства аккумуляторов и МНЭ, можно сделать вывод о целесообразности внедрения молекулярных накопителей в комбинированные энергоустановки автотранспортных средств (АТС) с целью повышения их энергоэффективности. Параллельное включение МНЭ позволяет снизить токовую нагрузку на батарею топливных элементов, повысив тем самым её энергетические показатели. Кроме того, в этом случае улучшаются массогабаритные показатели.



На рисунке 2 представлена схема комбинированной силовой установки с ЕНЭ.

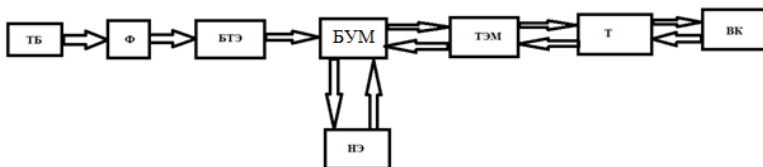


Рис. 2. Схема силовой установки автомобиля с БТЭ и КУ: ТБ – Топливный бак; Ф – Фильтр; БТЭ – Батарея топливных элементов; БУМ – блок управления мощностью, ТЭМ – Тяговая электрическая машина; Т – Трансмиссия; ВК – Ведущие колёса; НЭ – Накопитель энергии.

В топливном баке находится водород под давлением. Он проходит через систему фильтрации, а затем окисляется в БТЭ, в результате чего генерируется электроэнергия. БУМ преобразует выходные параметры БТЭ (ток, его род, напряжение) до значений, необходимых ТЭМ. Далее механическая мощность через трансмиссию передаётся на ведущие колёса. При рекуперативном торможении происходит обратный процесс: механическая энергия с ведущих колёс преобразуется ТЭМ (в данном случае в режиме генератора) в электроэнергию для заряда ЕНЭ. При разгоне ЕНЭ разряжается на нагрузку в виде ТЭМ, далее процесс аналогичен равномерному движению.

Произведём расчёт ёмкости накопителя для АТС. НЭ работает как источник энергии только в режиме разгона, когда мощность тратится на преодоление силы инерции, трения качения колёс и воздушного сопротивления.

Энергия, расходуемая на преодоление силы инерции с учётом вращающихся масс и КПД передачи энергии от НЭ к ВК (1); энергия, запасённая в ёмкости (2); величину  $C_j$  получаем из выражения (2) по формуле (3); энергия, расходуемая на преодоление силы трения качения колёс (4); величину  $C_f$  (ёмкость, необходимая для запаса энергии преодоления силы сопротивления качению) определяем из выражения (5) по формуле (6); энергия, расходуемая на преодоление силы воздушного сопротивления (7); величину  $C_v$  определяем из выражения (8) по формуле (9); ёмкость НЭ рассчитывается как сумма емкостей  $C_j + C_f + C_v$  по формуле (10).

$$W_j = \frac{m(1+\gamma)v^2}{2\eta} \quad (1)$$

$$\frac{m(1+\gamma)v^2}{2\eta} = \frac{C_j U^2}{2} \quad (2)$$

$$C_j = \frac{m(1+\gamma)v^2}{\eta U^2} \quad (3)$$

$$W_f = \int P_f dt = \int \frac{\psi m g v(t)}{\eta} dt = \frac{\psi m g s}{\eta} \quad (4)$$

$$\frac{\psi m g s}{\eta} = \frac{C_f U^2}{2} \quad (5)$$

$$C_f = \frac{2\psi m g s}{\eta U^2} \quad (6)$$

$$W_v = \int P_v dt = \int \frac{k F v^3(t)}{\eta} dt = \frac{k F s v^2}{\eta} \quad (7)$$

$$\frac{k F s v^2}{\eta} = \frac{C_v U^2}{2} \quad (8)$$

$$C_v = \frac{2k F s v^2}{\eta U^2} \quad (9)$$

$$C = \frac{m(1+\gamma)v^2 + 2\psi m g s + 2k F s v^2}{\eta U^2} \quad (10)$$

$m$  – полная масса АТС;  $\gamma$  – коэффициент учёта вращающихся масс;  $v$  – установившаяся в результате разгона скорость движения;  $\eta$  – КПД передачи энергии от НЭ к ВК;  $C_j$  – ёмкость, необходимая для запасаения энергии преодоления силы инерции;  $U$  – бортовое напряжение сети;  $P_f$  – мощность преодоления силы сопротивления качению;  $t$  – время разгона;  $\psi$  – коэффициент трения качения;  $s$  – путь разгона;  $C_f$  – ёмкость, необходимая для запасаения энергии преодоления силы сопротивления качению;  $P_v$  – мощность преодоления силы воздушного сопротивления;  $k$  – аэродинамический коэффициент;  $F$  – лобовая площадь АТС;  $C_v$  – ёмкость, необходимая для запасаения энергии преодоления силы воздушного сопротивления;

Рассчитанная ёмкость может варьироваться в значительных пределах в зависимости от принятого бортового напряжения, а также от габаритов и массы АТС.

Проведённые исследования показывают достоинства ёмкостных накопителей энергии перед литий-ионными аккумуляторами в энергоустановках АТС. Внедрение ЕНЭ позволит повысить срок службы буферной электроустановки и упростить систему контроля, в результате чего может повыситься надёжность системы в любых условиях эксплуатации.

Следующим этапом обеспечения эффективной работы всего комплекса силового привода и бортового накопителя станет разработка технологии беспроводной индуктивной зарядки ЕНЭ в движении транспортного средства, где нужно будет совместить емкостные и индуктивные параметры приемо-передающих устройств в цепочке: дорога-автомобиль-накопитель. Автомобиль обретет при этом совсем другие эксплуатационные свойства.

### Литература

1. Иванов Сергей Александрович. Исследование использования суперконденсаторов в комбинированных энергоустановках транспортных средств: диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01.- Москва, 2003.- 142 с.: ил. РГБ ОД, 61 03-5/3275-8, с 179

2. Поляков Н.А., Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Система электростартерного пуска транспортных средств с применением комбинированного источника электрической энергии, Москва, 2005, с 169

3. Лавриков А.А., Малеев Р.А., Зуев С.М., Шматков Ю.М. Математическое моделирование адаптера для выравнивания напряжений аккумуляторной батареи. М.: МГТУ «МАМИ», № 3(41), 2019, т. 1, с 57-66

4. M. Reimerink. Carbons Making Large DLCs Economically Feasible. ACWS 2003.

5. R.A. Maleev, S.M. Zuev, A.M. Fironov, N.A. Volchkov, A.A. Skvortsov. The starting processes of a car engine using capacitive energy storages. *Periodico Tche Quimica*, 2019, vol.16, №33, p. 877-888. Index Scopus.

6. Р.А. Малеев, С.М. Зуев, А.А. Скворцов, А.А. Лавриков. Системы электростартерного пуска с высоковольтными источниками тока. Проблемы машиностроения и автоматизации. 2020. № 1. С. 66-71.

## Содержание

Программный комитет .....	3
Введение .....	4
<i>Тестов Д.С., Моржухина С.В., Моржухин А.М.</i> Методы расчета физико-химических свойств фазопереходных материалов при нагреве и охлаждении .....	5
<i>Тестов Д.С., Моржухина С.В., Моржухин А.М.</i> Программная среда для обработки экспериментальных кривых охлаждения и расчета физико-химических параметров фазопереходных материалов.....	7
<i>Третьяков А.В.</i> Использование экстремальной системы управления для увеличения выработки электроэнергии ветрогенератором.....	9
<i>Шажко Я.В., Ожегова Л.Д., Вишняк Ю.Ю.</i> Террикон как склад тепловой энергии .....	12
<i>Алешин Д.А., Шалухо А.В.</i> Разработка и исследование физической модели адаптивной системы балансировки аккумуляторных батарей .....	14
<i>Стаханова С.В., Кречетов И.С., Шафигуллина К.Э., Лепкова Т.Л., Берестов В.В., Статник Е.С., Зырянова З.Е., Новикова Е.А.</i> Получение и исследование электрохимических свойств суперконденсаторов с использованием электродов на основе углеродной ткани, модифицированной проводящим полимером .....	16
<i>Пугач М.А.</i> Ванадиевые проточные аккумуляторы. Интеграция в электрические сети .....	18
<i>Пунтусова Л.А., Садовин Д.А., Свириденкова Н.В., Стаханова С.В.</i> Температурный диапазон эксплуатации суперконденсаторов с электролитами на основе пропиленкарбоната.....	19
<i>Рудных А.А., Меркулов А.В., Напольский Ф.С., Кривченко В.А.</i> Применение гель-полимерных электролитов при прототипировании литий-ионных аккумуляторов произвольного форм-фактора.....	21
<i>Рыбакова А. Л., Чикин Д.В., Пичугов Р.Д., Антипов А.Е.</i> Стабильность электролитов для проточных редокс-батарей из индивидуальных изомеров и смесей сульфопроизводных антрахинона.....	22
<i>Сериков Г.С., Серикова И.А.</i> Анализ систем термостабилизации литий-ионных тяговых батарей электромобилей .....	24

<i>Соболь О.В., Фролова С.А., Покинтелица Е.А., Постников В.А.</i> Определение энергетического КПД работы теплоаккумулятора с фазопереходным ТАМ .....	26
<i>Соболь О.В., Савенков Н.В., Усиков Д.А., Шабаль В.О.</i> Теплообменный аппарат в системах отопления электромобилей на основе фазопереходных теплоаккумулирующих материалов.....	28
<i>Степанюк К.И., Моржухина С. В., Моржухин А.М., Тестов Д.С.</i> Теплоаккумулирующие материалы на основе гексагидрата хлорида кальция .....	30
<i>Суровикин Ю.В.</i> Функциональные материалы на основе технического углерода для электрических накопителей энергии .....	32
<i>Глухов Е.В.</i> Применение суперконденсаторов АО «Электронд» и модулей на их основе в альтернативной энергетике .....	34
<i>Кулида Д.А., Степанюк К.И., Тестов Д.С., Гашимова В.Р., Моржухина С.В.</i> Сравнение характеристик углеродных материалов до и после гидрофилизации .....	35
<i>Луговой Ю.Е., Моржухина С.В., Тестов Д.С., Ильина Н.О.</i> Методы исследования кристаллического, аморфного и стеклообразного состояния кристаллогидратов солей .....	37
<i>Мальцев А.С., Опарин М.В., Теньков А.Н.</i> Разработка программного обеспечения для расчета себестоимости водорода у конечного потребителя.....	42
<i>Мезенцева Ж.В., Дорошкевич А.С., Малецкий А.В., Оксенгендлер Б.Л., Никифорова Н.Н., Диденко Е.А., Кириллов А.К., Мардаре Д., Мита К., Партиец О.Р., Сулейманов С. Х.</i> Электрические свойства контакта гидратированных нано-частиц различных размеров состава YSZ в условиях гидратирования и дейтерирования .....	44
<i>Меркулов А.В., Рудных А.А., Кривченко В.А., Напольский Ф.С.</i> Модификация положительного электрода на основе $V_2O_5$ для литиевых источников тока .....	46
<i>Моржухин А.М., Моржухина С. В., Тестов Д.С., Степанюк К.И.</i> Исследование практического применения теплоаккумулирующих фазопереходных материалов в системах электрического теплого пола.....	48
<i>Моржухин А.М., Моржухина С. В., Тестов Д.С.</i> Перспективы применения термохимических теплоаккумулирующих технологий в Российской Федерации.....	50
<i>Моржухина С.В., Моржухин А.М., Тестов Д.С., Луговой Ю.Е.</i> Перспективы применения термохимических	

теплоаккумулирующих материалов для аккумуляции тепла на ТЭЦ.....	52
<i>Петухова Э.А., Усенко А.А., Конев Д.В., Цебрук И.С.</i> Методика исследования влияния примесей на электрохимические характеристики ячейки ванадиевой проточной батареи .....	54
<i>Дроздова Е.А., Потапенко О.В., Княжева О.А., Темерев В.Л., Резанов И.В., Малиновский Ю.Г., Лавренов А.В.</i> Технический углерод и углеродные материалы на его основе как компоненты литий-ионных аккумуляторов .....	56
<i>Prof. Dr. Rabab M. El-Sherif</i> Comparative electrochemical and DFT studies of Cu-doped NiO for enhancing urea electrooxidation .....	58
<i>Fortuné Fábregas S., Tuan P. L., Doroshkevich A. S., Iribarren A., Vaillant Roca L.</i> Study of copper II oxide nanostructures decorated with CuO nanoparticles (CuO/CuO NPs) for photovoltaic applications.....	59
<i>Аралов Е.С.</i> Определение плотности тепловых потоков для систем лучистого отопления.....	61
<i>Болотников А. А., Лепкова Т. Л., Кречетов И. С.</i> Получение пористых углеродных материалов из скорлупы кедрового ореха для электродов двойнослойных суперконденсаторов .....	63
<i>Воропай А. Н., Владимир Е.Д., Осетров Е.С., Дерябина Е.О., Зуева В.В.</i> Комбинированные электроды для проточных ванадиевых батарей.....	65
<i>Диденко Е.А., Дорошкевич А.С., Гременок В.Ф., Оксенгендлер Б.Л.</i> Электрические эффекты в наноструктурированных материалах на основе CuSn(S,Se) <sub>2</sub> при воздействии влажности и освещения .....	66
<i>Дорошкевич А.С., Мезенцева Ж.В., Оксенгендлер Б.Л., Диденко Е.А., Кибардина Е., Гременок В.Ф., Кириллов А.К., Василенко Т.А., Балашою М.А., Корней Н., Мардаре Д., Мита К., Мирзаев М.Н., Попов Е.П., Йованович З., Теофилович В., Ристич И., Туан Ф., Чисеа Д., Анпазов Н., Парпиев О.</i> Разработка приборов адсорбционной энергетики и электроники на основе ZgO <sub>2</sub> - нанопорошковых систем в ОИЯИ.....	68
<i>Згурский Н.А., Тестов Д.С., Моржухина С.В., Моржухин А.М.</i> Перспективные ТАМ на основе Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O.....	71
<i>Ильина Н.О., Моржухина С.В., Моржухин А.М., Тестов Д.С., Луговой Ю.Е.</i> Практическое применение теплоаккумулирующих материалов в электронике.....	74

<i>Кружков К.К., Третьяков А.В.</i> Методика статистической оценки среднегодовой выработки горизонтально-осевого ветрогенератора.....	78
<i>Алтынбасова А.Ж., Дорошкевич А.С., Кибардина Е.А., Айнабекова С.С.</i> Эффект накопления электрического заряда, гиратированными нанопорошковыми системами $ZrO_2 + 3mol Y_2O_3$ . Зависимость от размера частиц .....	82
<i>Степанова У.А., Королева Т.В., Мурадова А.Г., Измайлова Н.В., Самсонова Л.Г., Дегтяренко К.М., Тельминов Е.Н.</i> Разработка перовскитных композиционных частиц $CsPbBr_3/Cs_4PbBr_6$ для QLED и фотовольтаики.....	84
<i>Фионов А. М.</i> Применение ёмкостных накопителей энергии в комбинированных энергоустановках транспортных средств с бесконтактной динамической зарядкой.....	86

*Научное издание*

**Инновации в альтернативной энергетике:  
производство и накопление**  
II Всероссийская конференция с международным участием

Сборник тезисов докладов  
(г. Дубна, 18–19 ноября 2024 г.)  
Под общей редакцией А. Н. Воропая

Издается в авторской редакции

Подписано в печать 05.11.2024. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 5,58.  
Тираж 55 экз. Заказ № 25.

ФГБОУ ВО «Университет «Дубна»  
141980, г. Дубна Московской обл., ул. Университетская, 19