

К ВОПРОСУ О НЕОБСЛУЖИВАЕМЫХ МИНИАТЮРНЫХ ИСТОЧНИКАХ ТОКА НА ОСНОВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ

В.В. Просянюк¹, Б.Ю. Паршиков², Н.В. Прудников¹, И.С. Суворов¹

¹ФГБУН «Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии при Президиуме Российской академии наук», ул. Профсоюзная, д. 65, стр. 6, г. Москва, 141313, Российская Федерация, 117342

E-mail: mzairan@mzairan.ru

²ЗАО «Московский научно-исследовательский телевизионный институт», г. Москва, ул. Гольяновская, д. 7А, стр. 1, г. Москва, Российская Федерация, 105094

E-mail: only25@rambler.ru

Анализ материалов отечественной и зарубежной научно-технической и патентной литературы показывает, что на протяжении последнего десятилетия к качественным показателям миниатюрных необслуживаемых источников питания, предназначенных для задействования и питания приборов и устройств различного назначения в экстремальных условиях выдвигаются повышенные требования. По этой причине в РФ и за рубежом активно ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

В нашей стране все шире находит практическое применение новый класс миниатюрных необслуживаемых источников тока, представляющих собой батареи высокотемпературных гальванических элементов (ВГЭ), электроды которых выполнены из энергетических конденсированных систем (ЭКС), что обеспечивает возможность их применения в экстремальных условиях, термодинамическую устойчивость электрохимических систем, практически неограниченную сохраняемость без технического обслуживания (подтвержденный гарантийный срок при $\pm 60^\circ\text{C}$ не менее 30 лет).

Ключевые слова: необслуживаемые миниатюрные источники тока, энергетические конденсированные системы, экстремальные условия

TOWARDS UNATTENDED MINIATURE POWER SOURCES BASED ON ENERGY CONDENSED SYSTEMS FOR EXTREME CONDITIONS

V.V. Prosyanyk¹, B.Yu. Parshikov², N.V. Prudnikov¹, I.S. Suvorov¹

¹Federal State Budgetary Institution of Science Interdepartmental Center for Analytical Research in the Field of Physics, Chemistry and Biology under the Presidium of the Russian Academy of Sciences, Profsoyuznaya st. 65, Bild. 6, Moscow, Russian Federation, 117342

E-mail: mzairan@mzairan.ru

²Moscow Research Television Institute, Closed Joint-Stock Company, Moscow, Russian Federation, 105094

E-mail: only25@rambler.ru

The analysis of domestic and foreign scientific, technical, and patent literature shows that over the past decade, there have been increased requirements for the quality indicators of miniature unattended power sources designed for the operation and powering of various devices and equipment under extreme conditions. For this reason, both in Russia and abroad, active research and development work is being conducted. In our country, a new class of unattended miniature power sources is increasingly being applied in practice. These sources consist of high-temperature galvanic cells (HTGCs) batteries, with the electrodes made from energy-condensed systems (ECS).

This design ensures their applicability in extreme conditions, thermodynamic stability of electrochemical systems, and virtually unlimited unattended durability (with a confirmed warranty period of at least 30 years at $\pm 60\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Keywords: unattended miniature current sources, energy condensed systems, extreme conditions

Для цитирования:

Просянюк В.В., Паршиков Б.Ю., Прудников Н.В., Суворов И.С. К вопросу о необслуживаемых миниатюрных источниках тока на основе энергетических конденсированных систем для экстремальных условий. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2025. Т. LXIX. № 1. С. 51–54. DOI: 10.6060/rcj.2025691.10.

For citation:

Prosyanyk V.V., Parshikov B.Yu., Prudnikov N.V., Suvorov I.S. Towards unattended miniature power sources based on energy condensed systems for extreme conditions. *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 1. P. 51–54. DOI: 10.6060/rcj.2025691.10.

ВВЕДЕНИЕ

Рост интеллектуального потенциала аппаратуры объектов различного назначения и усложнение решаемых ими задач обуславливают необходимость и актуальность совершенствования резервных источников электрической энергии. Анализ материалов отечественной и зарубежной патентной и научно-технической литературы показывает, что в нашей стране и за рубежом сохраняется устойчивый интерес к улучшению характеристик миниатюрных необслуживаемых изделий автономной электроэнергетики, предназначенных для действия и питания приборов и устройств в экстремальных условиях. По этой причине в РФ и за рубежом активно ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы [1, 2].

ОСОБЕННОСТИ ИСТОЧНИКОВ ТОКА НА ОСНОВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ

В нашей стране все шире находит практическое применение новый класс миниатюрных необслуживаемых источников тока, представляющих собой батареи высокотемпературных гальванических элементов (ВГЭ), электроды которых выполнены из энергетических конденсированных систем (ЭКС), что обеспечивает возможность их применения в экстремальных условиях, термодинамическую устойчивость электрохимических систем, практически неограниченную сохраняемость без технического обслуживания (подтвержденный гарантийный срок при $\pm 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ не менее 30 лет). Технические решения, на основе которых производятся проектирование, разработка и серийное изготовление названных устройств, допускают применение в экстремальных условиях, а также целенаправленное совершенствование применительно к

задачам широкого круга потребителей. Их зарубежные аналоги не выявлены.

Технический облик источников тока определяет, прежде всего, напряжение разомкнутой цепи ВГЭ, которые обычно соединены между собой последовательно металлическими фольговыми пластинами (токоотводами) адекватной формы. Их энергоемкость может быть увеличена применением активных электродных материалов. Кроме того, реальным направлением улучшения характеристик является снижение химических потерь, связанных с процессами пассивации электродов при протекании высокотемпературных электрохимических реакций между электродами ВГЭ (продуктами высокотемпературных реакций с избытком металла в аноде и избытком окислителя в катоде). Успешное решение этих задач равноценно разработке композиций с более высокими энергомассовыми характеристиками.

Степень соответствия технических характеристик источников тока, предназначенных для функционирования в экстремальных условиях современным требованиям во многом определяется качеством компонентов ЭКС. Одним из путей решения этой проблемы является их модифицирование механическими, химическими, плазмохимическими, механохимическими и другими способами. В результате этого в поверхностных слоях происходят процессы, приводящие к структурному изменению обрабатываемого материала на глубину от нанометров до долей миллиметра. Применение таких материалов дает возможность решения целого ряда научных и прикладных задач народнохозяйственного и оборонного назначения, существенного улучшения технологических, эксплуатационных и специальных характеристик изделий, не требует создания производства новых компонентов. По этой причине исследование, разработка и опти-

мизация упомянутых технологий является одной из интенсивно развивающихся областей науки о материалах. Основное количество публикаций и полученных охранных документов по этой тематике приходится на Россию, Украину, Белоруссию и США. Применение модифицированных компонентов источников тока расширяет компонентную базу, улучшает технические характеристики источников тока на основе ЭКС, увеличивает их стабильность, что свидетельствует об актуальности целенаправленного изменения структуры и свойств компонентов.

Например, электролит для источников тока из смеси галогенидов металлов в эвтектическом соотношении имеет минимальную температуру плавления, а благодаря этому обеспечивает им быстрый выход на режим и максимальную длительность работы. Вместе с тем, формование электродных элементов ВГЭ по технологии вакуумного осаждения водной взвеси компонентов не позволяет в полной мере реализовать достоинства эвтектик, т.к. необходимые для этой цели фториды металлов существенно различаются по плотности, размерам и форме частиц, растворимости в воде и т.д. По этой причине в каждом элементарном объеме водной взвеси и в сформованных изделиях соотношение частиц является случайным, что снижает стабильность характеристик ВГЭ и их батарей. Кроме того, фториды металлов содержат летучие примеси, снижающие точность эвтектического соотношения солей в композиции. Этим обусловлена необходимость получения нового компонента – порошкообразной фторидной эвтектики (ПЭФ). Анализ патентной и научно-технической литературы, а также проведенные исследования позволили установить, что оптимальным способом получения тонкодисперсной ПЭФ является изотермическое термостабирование (прокаливание на воздухе) продуктов с последующим фракционированием. При этом удаляются адсорбированные летучие примеси, происходит исправление дефектов кристаллических решеток и т.д. [3, 4].

В экстремальных условиях легкоплавкий электролит может вытекать из ВГЭ. Для исключения этого явления вводят тугоплавкие загустители, увеличивающие вязкость высокотемпературных расплавов. Этим требованиям соответствует тонкодисперсный диоксид циркония, имеющий температуру плавления 2700 °С. Рентгенограмма электролитного материала с этим загустителем расплава приведена на рис. 1.

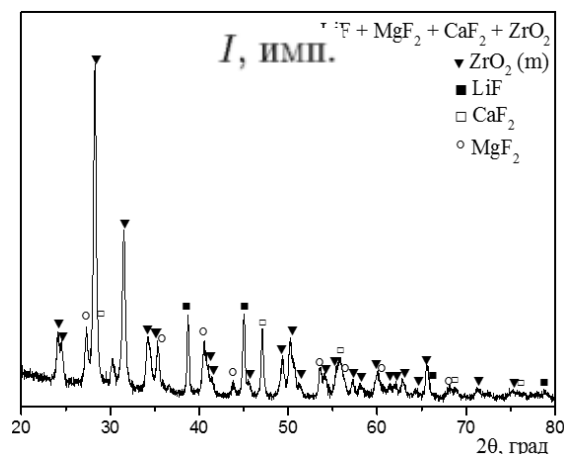


Рис. 1. Рентгенограмма электролитного материала

Теоретический и практический интерес представляют тугоплавкие соединения, обладающие свойствами твердых высокотемпературных электролитов, которые инертны по отношению к расплавленным солям. Например, диоксид циркония, стабилизированный оксидами кальция или магния, является диэлектриком в диапазоне температур от минус 60 до 200 °С, а при температуре выше 500...600 °С становится проводником. К подобным соединениям относятся другие твердые растворы замещения, дефицит заряда в которых компенсируется образованием дефектов противоположного знака (например, кислородными вакансиями). Наиболее высокая проводимость при 1000 °С у диоксида циркония, стабилизированного оксидом скандия. Тонкодисперсные порошки полиалюминатов одновалентных металлов находят применение в качестве загустителей расплавов благодаря удачному сочетанию химических, керамических и электролитических характеристик, возможности широкого варьирования их свойств. Для этих соединений характерна высокая униполярная проводимость по однозарядным катионам, обусловленная примесным разупорядочением кристаллических решеток. Они представляют теоретический и практический интерес для применения в источниках тока на основе ЭКС [5, 6].

Полнота прямого преобразования химической энергии электродных композиций в электрическую характеризует экономичность электрохимических систем, электродных и электролитных материалов и т.д., оказывает влияние на себестоимость изделий, является резервом повышения их тактико-технических характеристик. Этот показатель во многом зависит от времени поддержания рабочего диапазона температур, рецептуры компо-

зиций, конструктивных особенностей и условий эксплуатации источников тока, температуры плавления электролита. Большое значение имеет соотношение электродных и электролитных масс. Избыток любого из активных компонентов является балластом. Конструкции батарей ВГЭ обеспечивают условия для наиболее эффективного протекания токообразующих реакций, передачу энергии потребителю с минимальными потерями, равномерность работы всех ячеек, механическую прочность при транспортировке, эксплуатации в экстремальных условиях и т.д.

В замкнутом объеме и при избыточном атмосферном давлении повышенная температура в зоне реакций снижает время работы батарей ВГЭ, т.к. увеличивается скорость неэлектрохимического окисления тонкодисперсного анодного материала воздухом, что ускоряет анодную пассивацию и уменьшает количество активного компонента. В инертной среде возможны только электрохимические процессы, поэтому длительность генерирования электрического тока при прочих равных условиях определяется только временем достижения температуры кристаллизации электролита. Вместе с тем, высокотемпературные процессы на воздухе сопровождаются значительным выделением тепла, что замедляет остывание электролитного расплава и оказывает положительное влияние на длительность генерирования электрического тока [7].

Представляют теоретический и практический интерес новые технические решения, позволяющие минимизировать возможность неэлектрохимического окисления анодного материала в батареях ВГЭ, такие как замена анодных элементов из ЭКС фольговыми дисками из активных тугоплавких металлов с максимально высокими электродными потенциалами, допускающих хранение изделий при температуре от минус 60 до 85 °С в течение ≥ 30 лет.

Важной особенностью батарей ВГЭ является то, что управляющие и информационно-энергетические системы на их основе могут содержать электронные, электромеханические и другие устройства. Результаты исследования высокотемпературных процессов, протекающих в миниатюрных изделиях в экстремальных условиях, обеспечили возможность создания достаточно широкого спектра необслуживаемых источников питания, отличающихся назначением, способами задействования, временами активации и работы, габаритными размерами, формой и т.д., рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид современных батарей ВГЭ

ВЫВОД

Необслуживаемые миниатюрные батареи ВГЭ находят применение в качестве универсальных источников питания при ликвидации последствий катастроф, стихийных бедствий и экстремальных условиях. Датчиками на их основе комплектуют пожарно-охранные средства на объектах, предрасположенных к самовозгоранию в качестве самосрабатывающих энергонезависимых сигнально-пусковых приборов, обеспечивающих включение или отключение различного рода исполнительных устройств, подтверждена возможность применения их для оперативной зарядки суперконденсаторов с емкостью порядка 10 Ф/см³ при температуре окружающей среды ± 60 °С за 2–3 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. Afanasyev A.S., Boldyrev M.A., Khalyutin S.P. Elektropitanie, 2018, N 1. P. 40–49.
2. Bagotskii V.S., Skundin A.M., Volkovich Yu.M. Electrochemical power sources: batteries, fuel cells, and supercapacitors. New Jersey: John Wiley & Sons, 2015. – 375 p.
3. Prosjanjuk V.V., Suvorov I.S., Prudnikov N.V., Gilbert S. V., Zyuzina D. S. Ros. Khim. Zh. 2020. V. 64. N 3. P. 82–87. DOI: 10.6060/rcj.2020643.10.
4. Prosjanjuk V.V., Suvorov I.S., Prudnikov N.V. Ros. Khim. Zh. 2021. V. 65. N 3. P. 67–71. DOI: 10.6060/rcj/2021653.9.
5. Demidenco L.M., Polonsky U.A. Fireproof materials electrical conductivity. Moscow: Metallurgy. 1985. 120 p.
6. Pshenichnyi R.N., Pogorenko U.M., Omelchuk A.A. Physical chemistry and electrochem. of molten and solid electrolytes. V. 1. Ekaterinburg: Pub. Ural university. 2013. 422 p.
7. Barinov V.Yu., Prosyanyk V.V., Prudnikov N.V. Suvorov I.S., Akopdzhanan T.G. Ros. Khim. Zh. 2024. V. 68. N 1. P. 30–33. DOI: 10.6060/RCJ.2024681.6.

Поступила в редакцию (Received) 08.02.2024

Принята к опубликованию (Accepted) 18.04.2024