

УДК 544

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ
ЭЛЕКТРОЛИТОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ЛИТИЙ-
ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ
STUDY OF THE USE OF POLYMER ELECTROLYTES TO OPTIMIZE
THE OPERATION OF LITHIUM-ION BATTERIES AT LOW
TEMPERATURES**

Ларионов Д. Н., студент гр. ПЭм -1 -24, I курс

Научный руководитель: Давлетбаев Р.С., д-р.х.н., доцент, зав.каф. МВТМ
Казанский государственный энергетический университет
г. Казань

Аннотация: Статья исследует возможности использования полимерных электролитов для улучшения производительности литий-ионных батарей в условиях низких температур. Анализируется влияние свойств полимерных электролитов на ионную проводимость и электрохимическую активность аккумуляторов. Результаты исследования демонстрируют потенциал полимерных электролитов для создания высокоэффективных литий-ионных аккумуляторов в условиях близких к арктическим.

Ключевые слова: литий-ионные аккумуляторы, полимерные электролиты, низкая температура, проводимость, вязкость.

Abstract: The article explores the possibilities of using polymer electrolytes to improve the performance of lithium-ion batteries at low temperatures. The influence of polymer electrolyte properties on ion conductivity and electrochemical activity of batteries is analyzed. The results of the study demonstrate the potential of polymer electrolytes to create high-performance lithium-ion batteries in conditions close to the Arctic.

Keywords: lithium-ion batteries, polymer electrolytes, low temperature, conductivity, viscosity.

Введение

Литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) – ключевой элемент многих современных технологий. Растущий спрос требует расширения их температурного диапазона, особенно в сторону низких температур [1].

Существующие ЛИА с жидкими электролитами резко теряют производительность и ёмкость при отрицательных температурах, ограничивая применение в экстремальных условиях. Причина – низкая ионная проводимость и высокая вязкость электролита [1]. Полимерные электролиты рассматриваются как перспективная альтернатива для улучшения низкотемпературной работы ЛИА. Цель статьи – анализ их

потенциала для повышения эффективности и безопасности ЛИА при низких температурах [2].

Схема работы ЛИА

Литий-ионный аккумулятор функционирует на основе обратимого интеркаляционно-деинтеркаляционного процесса ионов лития между электродами посредством жидкого электролита. При стандартной температуре (298 К) зарядка сопровождается деинтеркаляцией ионов лития из катодного материала, их миграцией через электролит с высокой ионной проводимостью и последующей интеркаляцией в анодный материал. Одновременно происходит направленный поток электронов во внешней цепи, генерируя электрический ток. Разрядка протекает в обратном направлении. Эффективность процесса определяется ионной проводимостью электролита, кинетикой электрохимических реакций на электродах и электронными свойствами, а также структурой электродных материалов.

Проблемы литий-ионных аккумуляторов при низких температурах

Ключевым фактором, определяющим снижение эффективности ЛИА при низких температурах, является значительное ухудшение ионной проводимости жидкого электролита. Вязкость электролита резко возрастает с понижением температуры, что затрудняет миграцию ионов лития между электродами. Это приводит к увеличению внутреннего сопротивления батареи и, как следствие, к снижению скорости электродных реакций. Исследования показывают, что ионная проводимость электролитов на основе этиленкарбоната (EC) и диэтилкарбоната (DEC) снижается экспоненциально при температурах ниже 0°C [1]. Аналогичные тенденции наблюдаются и для других типов электролитов. Кроме того, низкие температуры могут приводить к образованию твердых фаз в электролите, что дополнительно снижает его проводимость [2].

На аноде при низких температурах увеличивается вероятность образования дендритов — дендритных отложений лития, которые могут прорасти через сепаратор, вызывая короткое замыкание и, в худшем случае, воспламенение батареи [3]. Это связано с неравномерным распределением тока на поверхности анода при замедленной диффузии ионов лития и образовании токовых "горячих точек".

Снижение температуры приводит к существенному уменьшению как емкости, так и мощности ЛИА. Характер зависимости емкости от температуры приближен к экспоненциальному. Например, емкость литий-ионного аккумулятора может снизиться на 30-50% при снижении температуры от 25°C до -40°C [4].

Также низкие температуры могут влиять на свойства сепаратора, снижая его эффективность в предотвращении короткого замыкания. Поэтому работа ЛИА в условиях низких температур требует дополнительных мер безопасности, таких как система мониторинга температуры и система защиты от перегрузки.

Обзор современных исследований и разработок

Последние достижения в области разработки полимерных электролитов направлены на преодоление этих ограничений. Анализ научных публикаций (например, [5], [6]) демонстрирует значительный прогресс в повышении ионной проводимости, электрохимической стабильности и механической прочности. Например, работа [7] показала, что использование полимерных матриц с высокой диэлектрической проницаемостью, таких как [ПЭО- $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}$], приводит к значительному улучшению ионной подвижности при температурах ниже 0°C . Также наблюдается тенденция к использованию сополимеров с различными функциональными группами для оптимизации взаимодействия с ионами лития и повышения электрохимической стабильности [8]. Модификация полимерной матрицы путем введения пластификаторов позволяет снизить температуру стеклования полимера и, следовательно, улучшить ионную проводимость при низких температурах [2].

Инновационные подходы к улучшению свойств полимерных электролитов активно разрабатываются. Включение наночастиц металлов TiO_2 [9] в полимерную матрицу способствует повышению ионной проводимости за счет увеличения площади поверхности контакта и создания дополнительных путей для миграции ионов. Кроме того, наночастицы могут улучшать механическую прочность и термостабильность полимерного электролита[9].

В заключение, современные исследования демонстрируют устойчивый прогресс в разработке высокоэффективных полимерных электролитов для работы при низких температурах. Комбинирование различных стратегий, таких как модификация полимерной матрицы, использование наночастиц и разработка композитных материалов, открывает новые возможности для создания ЛИА с улучшенными характеристиками в широком температурном диапазоне. Однако, дальнейшие исследования необходимы для достижения коммерчески жизнеспособных параметров ионной проводимости, циклической стабильности и стоимости полимерных электролитов.

Список литературы

1. Кулова Т. Л., Скундин А. М. Проблемы низкотемпературных литий-ионных аккумуляторов //Электрохимическая энергетика. – 2017. – Т. 17. – №. 2. – С. 61-88.
2. Баскакова Ю. В., Ярмоленко О. В., Ефимов О. Н. Полимерные гель-электролиты для литиевых источников тока //Успехи химии. – 2012. – Т. 81. – №. 4. – С. 367-380.
3. Yamaki, J.-I., Tobishima, S.-I., Hayashi, K., Saito, K., Nemoto, Y., and Ara-kawa, M., A consideration of the morphology of electrochemically deposited lithium in an organic electrolyte, J. Power Sources, 1998, vol. 74, p. 219. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(98\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(98)00067-6)
4. Кулова Т. Л., Скундин А. М. Влияние температуры на характеристики литий-ионных и натрий-ионных аккумуляторов //Электрохимия. – 2021. – Т. 57. – №. 7. – С. 402-407.
5. A. M. Stephan. Eur. Polym. J., 42, 21 (2006)
6. И.А. Кедринский, В.Е. Дмитриенко, И.И.,Грудянов В кн. Литиевые источники тока. Энергоатомиздат, Москва, 1992
7. M. Kucharski, T. Lukaszewicz, P. Mrozc. Opto-Electron. Rev., 12 (2), 175 (2004)
8. A.D. Pasquier, P.C. Warren, D. Culver. Solid State Ionics, 135, 249 (2000)
9. Ярмоленко О. В. Нанокompозитные сетчатые полимерные гель-электролиты. Влияние наночастиц TiO₂ и Li₂TiO₃ на структуру и свойства //Электрохимия. – 2015. – Т. 51. – №. 5. – С. 479-479.