

МОНИТОРИНГ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

В.Ю. Казаров

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ
Российская Федерация, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Аннотация. Литий-ионные аккумуляторы являются ключевыми элементами современных систем хранения энергии, однако их внутреннее состояние остаётся слабо контролируемым в процессе эксплуатации. В работе рассматривается применение волоконно-оптических датчиков для встроенного мониторинга физико-химических параметров аккумуляторов в режиме реального времени. Представлены принципы построения квазираспределенных сенсорных систем на основе адресных волоконных брэгговских структур, позволяющих измерять деформации, температуру, показатель преломления электролита и концентрацию ионов. Разработанный подход способствует созданию интеллектуальных аккумуляторов с повышенной надёжностью и безопасностью.

Ключевые слова: волоконно-оптические датчики; адресные волоконно-брэгговские структуры; волоконные брэгговские решетки; литий-ионные аккумуляторы.

Введение

Современные технологии аккумуляторов требуют глубокого понимания внутренних процессов для обеспечения их безопасности, эффективности и долговечности. Традиционные методы мониторинга не позволяют в реальном времени отслеживать ключевые параметры внутри аккумулятора, такие как деградация электролита, рост SEI-слоя, фазовые переходы в материалах электродов. Волоконно-оптические датчики предлагают уникальную возможность для встроенного, распределённого и высокочувствительного контроля этих параметров без вмешательства в работу системы.

Материалы и методы

В основе предлагаемого подхода лежит использование адресных волоконных брэгговских решёток (ВБР), а также других типов волоконно-оптических сенсоров, таких как наклонные решётки, сенсоры на основе поверхностного плазмонного резонанса и затухающие волны. Эти датчики позволяют измерять:

- механические деформации,
- температуру,
- показатель преломления электролита,
- концентрацию ионов лития,
- окислительно-восстановительные процессы.

Система мониторинга строится на принципах квазираспределённых измерений с использованием цифровой обработки сигналов и интеграции с системами управления аккумуляторными комплексами.

Результаты исследования

Разработана концепция встроенного волоконно-оптического мониторинга литий-ионных аккумуляторов, позволяющая в реальном времени отслеживать ключевые параметры их работы. На рисунке 1 представлена схема применения волоконно-оптических датчиков для контроля внутреннего состояния аккумулятора.

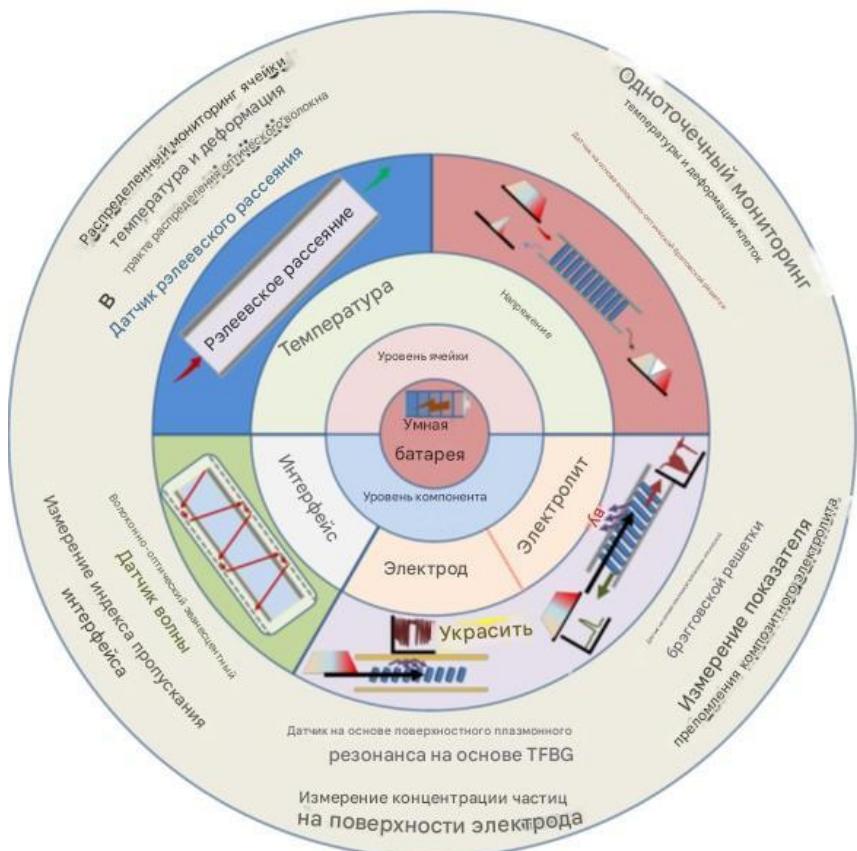


Рис. 1. Технологии ВОД для мониторинга аккумуляторных батарей

Система обеспечивает высокую пространственную разрешающую способность, возможность работы в широком температурном диапазоне и совместимость с промышленными системами хранения энергии.

Заключение

Разработаны принципы построения волоконно-оптических сенсорных систем для мониторинга литий-ионных аккумуляторов. Показано, что использование адресных ВБР и других оптических сенсоров позволяет осуществлять встроенный контроль ключевых физико-химических параметров в режиме реального времени. Это способствует созданию интеллектуальных аккумуляторов с повышенной безопасностью, надёжностью и эффективностью, что особенно важно для систем промышленного и транспортного хранения энергии.

Благодарность

Автор выражает благодарность за научное руководство профессору кафедры РФМТ КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ Морозову Олегу Геннадьевичу.

Список литературы

1. Морозов, О.Г. Модуляционные методы измерений в оптических биосенсорах рефрактометрического типа на основе волоконных решеток Брэгга с фазовым сдвигом / О.Г. Морозов, О.А. Степущенко, И.Р. Садыков // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2010. – № 3 (10). – С. 3-13.

MONITORING OF LITHIUM-ION BATTERIES USING FIBER-OPTIC SENSORS

V.Yu. Kazarov

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI
10, K. Marx St., Kazan, 420111, Russian Federation

Abstract. Lithium-ion batteries are key components of modern energy storage systems; however, their internal state remains poorly monitored during operation. This paper explores the use of fiber-optic sensors for embedded real-time monitoring of the physicochemical parameters of batteries. The principles of building quasi-distributed sensor systems based on addressed fiber Bragg grating structures are presented, enabling the measurement of strain, temperature, electrolyte refractive index, and ion concentration. The developed approach contributes to the creation of intelligent batteries with enhanced reliability and safety.

Keywords: fiber-optic sensors; addressable fiber-Bragg structures; fiber-Bragg gratings; lithium-ion batteries.

Статья представлена в редакцию 22 декабря 2025 г.