**Распределение по временам релаксации (DRT) – новый метод анализа спектра импеданса литий-ионных аккумуляторных систем**

***Семерухин Д.Ю., Кубарьков А.В., Семенихин О.А., Сергеев В.Г., Антипов Е.В.***

*Студент, 5 курс специалитета*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,*

*химический факультет, Москва, Россия*

*E-mail: fawn.ru@mail.ru*

Distribution of Relaxation Times (DRT) — это относительно новый метод анализа электрохимического импедансного спектра (ЭИС), представляющий труднохарактеризуемый импедансный спектр в виде набора из некоторого числа пиков. Каждый пик описывает параметры определенного компонента электрохимической системы, положение пика зависит от времени релаксации, которым обладает данный компонент системы, а высота пика определяется его поляризационным сопротивлением.

Метод DRT основан на подборе к реальному спектру импеданса наиболее точно моделирующей его эквивалентной схемы, состоящей из бесконечной последовательности элементов Фойгта (RC-элементов). Для нахождения наиболее точной схемы в настоящее время чаще всего используется метод регуляризации Тихонова, который позволят сделать из плохо обусловленной задачи хорошо обусловленную, путем введения специального коэффициента регуляризации. Такой подход хоть полностью и не решает проблему подбора точной эквивалентной схемы для ЭИС, но делает решение намного менее зависимым от ошибки эксперимента [1].

Главное достоинство метода DRT состоит в том, что он не нуждается во введении какой-либо дополнительной априорной информации (за исключением коэффициента регуляризации). Также нет необходимости в предварительном определении количества компонентов, составляющих спектр импеданса. Данный метод обладает высокой эффективностью, вследствие чего может определять большое количество компонентов, составляющих электрохимическую систему, даже тех, вклад которых в спектр импеданса незначителен [2]. Таким образом, данный метод дает исследователям возможность более глубокого и детального исследования системы, что позволит повысить общее понимание процессов, происходящих внутри литий-ионных аккумуляторных систем.

В данной работе мы проверили корректность метода преобразования DRT, а также применили его к анализу ЭИС реальных систем литий-ионных полуячеек с катодами на основе ферофосфата лития, углеродных нанотрубок и различных полимерных связующих. Валидацию проводили путем изменения параметров системы таких как состав электрода, условия сборки электрохимической ячейки и степень заряда/разряда катода.

В результате работы нам удалось показать корректность преобразования методом DRT, а также сопоставить пики получаемого распределения с процессами, происходящими в электрохимической ячейке. Также, проведенный анализ позволил предложить ряд подходов к управлению сопротивлением отдельных поляризационных процессов в ячейке.

*Работа сделана при поддержке Российского научного фонда, проект 17-73-30006-П.*

**Литература**

1. Ciucci F., Chen C. Analysis of electrochemical impedance spectroscopy data using the distribution of relaxation times: A Bayesian and hierarchical Bayesian approach, 2015. Vol. 167. P. 439–454.

2. Klotz D. et al. The Distribution of Relaxation Times as Beneficial Tool for Equivalent Circuit Modeling of Fuel Cells and Batteries // ECS Trans, 2012. Vol. 41, № 28. P. 25–33.