

ОБЩАЯ МЕТОДИКА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДВОЙНОСЛОЙНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

© 2016 А.М. Погорелов, М.Н. Пиганов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 16.12.2016

В статье рассмотрены методы контроля качества двойнослойных конденсаторов. Представлены способы диагностирования электрохимических конденсаторов. Рассмотренные методы и способы объединены в общую методику диагностического контроля электрохимических конденсаторов.

Ключевые слова: методика, контроль качества, электрохимические конденсаторы, диагностический контроль, электрофизические методы, электрохимические методы.

ВВЕДЕНИЕ

Электрохимические конденсаторы занимают промежуточную позицию между аккумуляторами и традиционными диэлектрическими конденсаторами. Все чаще понятие электрохимических конденсаторов заменяют синонимами «суперконденсаторы» [1]. На сегодняшний день аккумуляторы могут запасать довольно высокую электрическую энергию, но диэлектрические конденсаторы обладают способностью отдавать высокую мощность в течение времени порядка миллисекунд. Поэтому устройства, обладающие одновременно преимущественными свойствами аккумуляторов и традиционных конденсаторов, уверенно закрепляются на рынке электроники и энергетики.

Контроль качества изготовления «суперконденсаторов», а также диагностика готовых устройств является важной задачей при формировании надежного электрорадиоизделия. Электрохимическим и физико-химическим методам контроля электрохимических конденсаторов на стадии технологии электрорадиоизделия отводится особое внимание, так как исходные качественные материалы закладывают потенциал надежности будущего устройства. Тем не менее важны и ресурсные испытания готовых электрорадиоизделий и диагностирование качества сборки. Все эти методы контроля качества и диагностирования электрорадиоизделий составляют необходимую часть их жизни, называемую методикой диагностического контроля электрорадиоизделий.

Погорелов Алексей Михайлович, аспирант кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств. E-mail: kipres@ssau.ru

Пиганов Михаил Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств. E-mail: kipres@ssau.ru

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ НА СТАДИИ ТЕХНОЛОГИИ ДВОЙНОСЛОЙНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

В основе принципа работы электрохимического двойнослойного электрохимического конденсатора лежит теория двойного электрического слоя Гельмгольца, как обкладок плоского конденсатора. Двойной электрический слой формируется зарядами противоположных знаков на границе раздела двух фаз электрод/электролит. Взаимодействие двух фаз имеет существенную особенность: различие характера проводимости фазы электрода и фазы электролита. Они обладают соответственно электронной и ионной проводимостью, а также различно агрегатное состояние фаз (электрод – твердое тело и электролит – жидкость).

Элементарный двойнослойный конденсатор имеет конструкцию, представленную на рис. 1. Он состоит из двух пористых поляризуемых электродов, сепаратора, электролита и двух токовых коллекторов: «+» и «-» [2]. Электрод и сепаратор находятся в среде электролита.

Диагностический контроль на стадии производства двойнослойных электрохимических конденсаторов включает в себя электрохимические и физико-химические методы неразрушающего контроля.

Электрохимические методы контроля состоят из мероприятий контроля коррозионной стойкости токовых коллекторов [3], хроноамперометрические и хронопотенциометрические измерения [2] и метод циклической вольтамперометрии [4].

Хроноамперометрический метод используется для оценки предельной мощности двойнослойного конденсатора.

Хронопотенциометрический (гальваностатический) метод используется для оценки устойчивости работы электродов (циклируемости), измерения емкости и внутреннего сопротивления.

В рамках метода циклической вольтамперометрии становится возможным исследовать

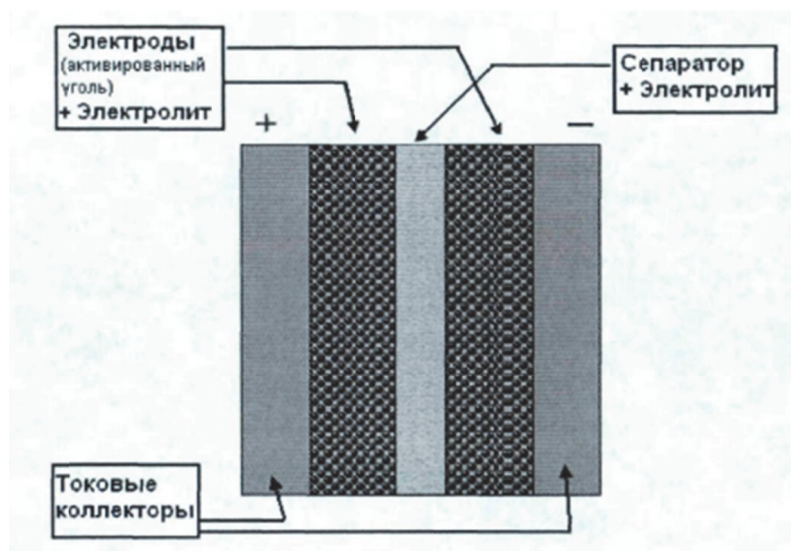


Рис. 1. Конструкция элементарного двойнослойного электрохимического конденсатора

механизм быстрых реакций, судить об обратимости процесса, разделять стационарные и нестационарные процессы путем изменения скорости наложения потенциала. В результате, при помощи данного метода осуществляется измерение емкости и энергии электрохимических конденсаторов.

Электрофизические методы включают в себя кондуктометрию, контроль вязкости электролита [5], методику определения воды [2], а также просвечивающую электронную микроскопию.

На этапе электрофизических методов осуществляется контроль величины электропроводности электролита (кондуктометрия), определяющей сопротивление будущего устройства и его мощность. Контроль электролита на содержание воды является не менее важным мероприятием диагностирования, так как в «суперконденсаторах» сложно получить высокое напряжение, при котором вода начинает разлагаться, что приведет к потере положительных свойств будущего устройства.

Структурные и морфологические параметры электродов могут исследоваться с помощью просвечивающей электронной микроскопии. Данный метод контроля пористой структуры электродов требует наличия квалифицированного персонала, а также качественного оборудования.

Диагностический контроль на стадии изготовления электрохимических конденсаторов имеет важнейшее место в цепи их производства. Контроль качества исходных материалов электродов, электролитов и токовых коллекторов, а также систем электрод-электролит, электролит-токовый коллектор и электрод-электролит-токовый коллектор, позволит заложить потенциальную надежность в «суперконденсаторах» и продлить срок их службы.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ДВОЙНОСЛОЙНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Основной этап диагностического контроля «суперконденсаторов» состоит в осуществлении ресурсных испытаний, необходимых для определения срока службы или скорости деградации функциональных параметров будущих устройств. Условия ресурсных испытаний должны быть адекватны условиям эксплуатации, а также опираться на технические условия.

Мероприятия ресурсных испытаний сопровождаются снятием циклических вольтамперограмм зависимости удельной емкости электрохимического конденсатора от напряжения на разных стадиях эксплуатации «суперконденсатора»: 1-й цикл заряд/разряд, 3000-й цикл заряд/разряд, 5000-й цикл заряд/разряд. Одновременно фиксируется изменение значения удельной емкости и внутреннего сопротивления с увеличением циклов эксплуатации.

После этого осуществляется анализ полученных циклограмм и зависимостей и формируется заключение о ресурсных испытаниях.

Не менее важными мероприятиями диагностического контроля в эксплуатации являются исследование влияния температуры на характеристики «суперконденсатора» и контроль его энерго-мощностных характеристик [2].

Влияние температуры на работу суперконденсатора исследуется в рамках рабочего диапазона температур «суперконденсатора». Фиксируются зарядно-разрядные характеристики электрохимического конденсатора при комнатной температуре, при повышенной температуре (60...70 °С) и температуре ниже нуля градусов по Цельсию (-15 °С). Также строятся циклические вольтамперограммы, по форме которых делается заключение

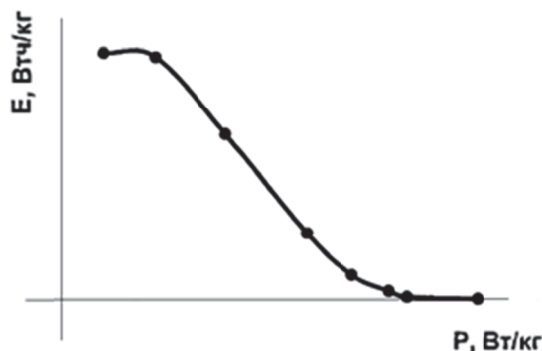


Рис. 2. Диаграмма Рагоне электрохимического конденсатора

об адекватности реагирования «суперконденсатора» на температуру окружающей среды.

Контроль энерго-мощностных характеристик сопровождается построением диаграммы Рагоне (рис. 2), формируемой на основании снятия гальваностатических кривых заряда-разряда двойнослойного электрохимического конденсатора при разных токовых нагрузках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение методов общей методики диагностического контроля двойнослойных электрохимических конденсаторов (ДЭХК) на основе наноструктурированных материалов (рис. 3) в сферу их производства позволяет решать следующие технико-экономические задачи: контроль

качества исходных материалов; корректировку режимов технологического процесса; увеличение процента выхода годных изделий; сокращение длительных испытаний; повышение производительности труда.

Разработка способов диагностики не противоречит задаче создания изделия, не требующего обслуживания в эксплуатации. Устремления производителей электрохимических конденсаторов, как правило, направлены на создание более надежного «суперконденсатора». Безусловно, и потребители заинтересованы в получении высоконадежного устройства за разумные дополнительные затраты при его создании, чтобы на протяжении назначенного срока службы не заниматься «сопутствующими» проблемами диагностического контроля.

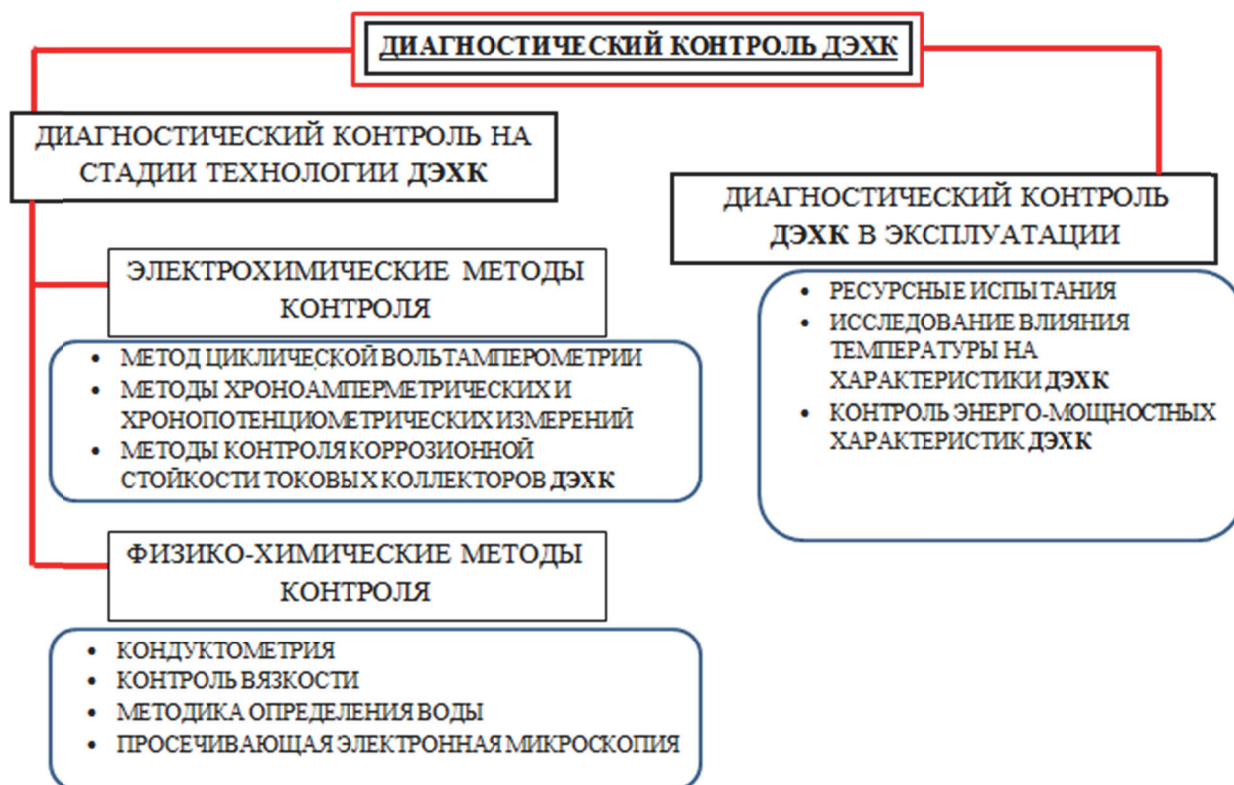


Рис. 3. Общая методика диагностического контроля двойнослойных электрохимических конденсаторов (ДЭХК) на основе наноструктурированных материалов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Погорелов А.М., Пиганов М.Н.* Перспективы развития технологии электрохимических конденсаторов на основе наноструктурированных материалов // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество» // Пенза: ПГУ, 2016. Т. 2. С. 123-125.
2. *Измайлова М.Ю.* Разработка суперконденсаторов с использованием ионной жидкости 1-метил-3-бутилимидазолийтетрафторбората // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2010. 15 с.
3. *Кочергин В.П.* Защита металлов от коррозии в ионных расплавах и растворах электролитов. Екатеринбург: Изд-во УГУ. 1991. 309 с.
4. *Дамаскин Б.Б., Петрий О.А.* Основы теоретической электрохимии // М.: Высшая школа. 1978. 239 с.
5. *Петрухин О.М.* Практикум по физико-химическим методам анализа. М.: Химия. 1987. 245 с.

COMMON METHODOLOGY FOR DIAGNOSTIC MONITORING OF DOUBLE-LAYER ELECTROCHEMICAL CAPACITORS

© 2016 A.M. Pogorelov, M.N. Piganov

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The article deals with the quality control of double-layer capacitors. Presented methods of diagnosing electrochemical capacitors. The above methods and techniques are combined into a common methodology for the diagnostic monitoring of electrochemical capacitors.

Keywords: methodology, quality control, electrochemical capacitors, diagnostic monitoring, electro-physical methods, electrochemical methods.