

УДК 629.7: 621.3

Т.Ю. ИВАНОВА, С.В. ГУБИН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***РАЗВИТИЕ ГИПОТЕЗЫ ФРАКТАЛЬНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДА
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО АККУМУЛЯТОРА**

Проанализирована необходимость численного моделирования химических и физических процессов проходящих в веществе активной массы электродов электрохимических аккумуляторов в рамках общей задачи диагностики, контроля и прогнозирования основных параметров электропитания систем гарантированного энергоснабжения космических ракетных комплексов (СГЭС КРК). Проанализирована структура поверхности электрода аккумулятора. В качестве математического средства описания структуры поверхности предложена фрактальная геометрия, и в соответствии с выбранным математическим аппаратом, методология получения и обработки экспериментальных данных.

система гарантированного энергоснабжения, космический ракетный комплекс, электрохимический аккумулятор, поверхность электрода, активная масса, фрактальная геометрия, размерность, коэффициент формы, энтропия

Введение

Необходимые нормы качества энергоснабжения, предъявляемые к электропитанию оборудования КРК, решаются за счет введения источников бесперебойного электропитания (ИБП) во внутренней системе энергоснабжения. Применение современных ИБП, включающих электрохимические накопители энергии определило проблему анализа сети с ИБП и более глубокого контроля и диагностики накопителей энергии, как базовых элементов энергоснабжения. В связи с этим проблема качественного оперативного контроля и диагностирования состояния аккумуляторов, прогнозирования их параметров в любой момент времени на основе известных текущих технических характеристик по данным оперативной диагностики напрямую пересекается и может быть интегрирована в задачу моделирования энергосети КРК [1 – 4].

1. Анализ работоспособности электрохимических накопителей энергии

Аккумуляторная батарея стареет и изнашивается непрерывно за все время своего существования, начиная с момента изготовления и заканчивая ее утили-

зацией. Аккумуляторы состоят из двух электродов (положительного и отрицательного), электролита и корпуса. Непосредственно после изготовления активная масса имеет специальным образом сформированную, прочную, высокопористую и с большой площадью рабочую поверхность, микрофотография которой представлена на рис. 1.

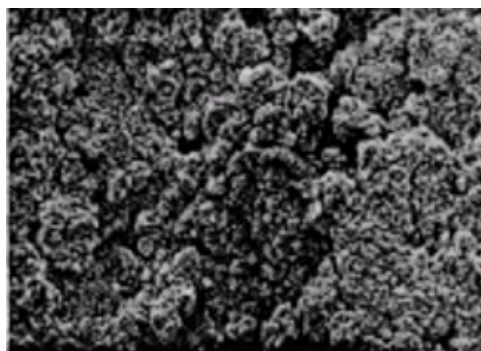


Рис. 1. Поверхность активной массы нового положительного электрода при увеличении 500 раз

Накопление энергии в аккумуляторе происходит при протекании химической реакции окисления-восстановления вещества электродов. Таким образом, в процессе циклирования аккумулятора вещество электродов постоянно переходит из одного состояния в другое, что ведет за собой постепенное изменение структуры активной массы электродов,

что проявляется в уменьшении пористости активной массы, укрупнению кристаллов вещества активной массы и т.д.

На рис. 2 хорошо видны результаты циклирования аккумуляторной батареи, когда она в течение 9 месяцев работала в дежурном режиме с подзарядом малыми токами в помещении при температуре воздуха +20 °С. Если сравнить поверхность нового электрода (рис. 1) и то, что имеем после шести месяцев эксплуатации, то видим существенное изменение структуры поверхности (в сторону ухудшения) и заметные укрупнение кристаллов активной массы электрода ЭХА. Разумеется, значительная потеря ёмкости этой аккумуляторной батареи, уже гарантирована.



Рис. 2. Поверхность активной массы положительного электрода при увеличении 500 раз спустя 9 месяцев эксплуатации в дежурном режиме

Таким образом, мы видим, что в процессе эксплуатации активная масса электродов, в особенности положительного, подвержены воздействию целого ряда механизмов износа практически во всех режимах работы аккумулятора. Основными механизмами износа являются разрыхление и оплывание активных масс электродов, электрохимическая коррозия, а также эффект памяти.

Эффект памяти – потеря емкости аккумулятора в процессе его эксплуатации. Она проявляется в тенденции аккумулятора приспособляться к рабочему циклу, по которому батарея работала определенный период времени. Другими словами, если заря-

жать аккумулятор несколько раз, не разрядив его перед этим полностью, он как бы «запоминает» свое состояние и в следующий раз просто не сможет разрядиться полностью, следовательно, емкость его уменьшается. По мере увеличения числа зарядно-разрядных циклов эффект памяти проявляется все отчетливее. При таких условиях эксплуатации внутри аккумулятора происходит увеличение кристаллов на пластине, которые и уменьшают поверхность электрода. При мелких кристаллических образованиях внутреннего рабочего вещества площадь поверхности кристаллов максимальна, следовательно, максимально и количество энергии, запасаемой аккумулятором. При укрупнении кристаллических образований в процессе эксплуатации — площадь поверхности электрода уменьшается и, как следствие, уменьшается реальная емкость.

На рис. 3 наглядно продемонстрировано действие эффекта памяти.

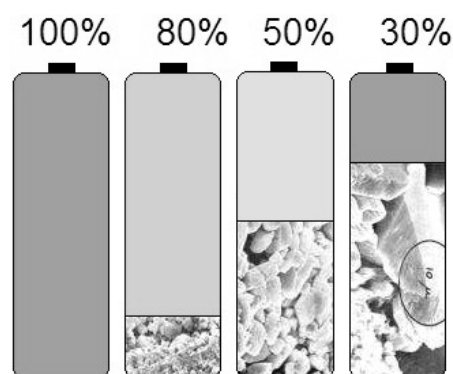


Рис. 3. Эффект памяти

Все вышеперечисленные процессы явственно проявляются на поверхности электродов аккумулятора, поэтому, анализируя состояние поверхности электрода, представляется возможным определить степень деградации аккумулятора и прогнозировать его текущую емкость.

2. Формулирование проблемы

Целью работы является изучение структуры пористой поверхности электрода электрохимического аккумулятора для создания адекватной математи-

ческой модели этой поверхности. Выбор и описание обобщенных характеристик для дальнейшего количественного анализа происходящих качественных изменений поверхности активной массы электрода.

3. Решение проблемы

Поверхность электрода электрохимического аккумулятора представляет собой пористую неоднородную структуру с изломанной геометрией (рис. 4). Вообще пористые материалы представляют своеобразный класс неупорядоченных сред, особенности которых затрудняют применение традиционных методов описания структуры. Для исследования таких поверхностей оказалось эффективным привлечение аппарата фрактальной геометрии, позволяющего адекватно описать параметры строения и связать их с физико-механическими характеристиками [5 – 8].

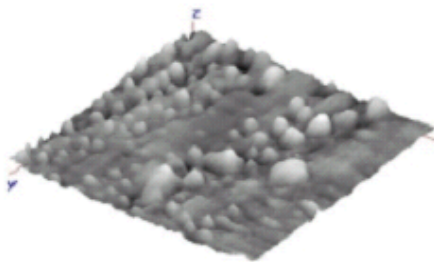


Рис. 4. Пример структуры с изломанной геометрией

Фракталами называются геометрические объекты (линии, поверхности, пространственные тела), имеющие сильно изрезанную форму и обладающие свойством самоподобия. Фракталы с большой точностью описывают многие физические явления и образования реального мира: горы, облака, микро-рельефы поверхностей.

4. Практическая реализация

Одним из самых распространенных и перспективных направлений использования теории фракталов является анализ изображений при решении задач классификации и распознавания. Для анализа состояния поверхности электрода предлагается про-

водить фрактальный анализ изображения этой поверхности, полученный при микроскопических исследованиях.

Анализ изображения заключается в изучении отдельных характеристик, составных частей, фрагментов или отдельных объектов в поле изображения. В нашем случае под анализом изображения будем понимать измерительный аспект обработки видеоданных. Следовательно, анализ изображения будет заключаться в определении различных количественных данных изображения, т.е. его параметров.

Основной характеристикой фрактального изображения является его размерность, определяющая сложность фрактала. Существует несколько принципиально разных методов определения размерности геометрического объекта. Это топологическая размерность и фрактальная размерность (размерность Минковского) или, что практически то же самое, размерность Хаусдорфа.

В нашем случае интерес представляет фрактальная размерность. Чтобы определить фрактальную размерность пространства D , разобьем все n -мерное пространство на малые кубики с длиной ребра ϵ и объемом ϵ^n . Пусть $N(\epsilon)$ – минимальное число кубиков, которые в совокупности полностью покрывают фрактальное множество, тогда по определению фрактальную размерность можно определить по формуле

$$D = - \lim_{\epsilon \rightarrow \infty} \frac{\ln N(\epsilon)}{\ln \epsilon}. \quad (1)$$

Для полутоновых изображений имеет смысл определить две фрактальные размерности – для $n = 2$ и для $n = 3$.

Другой характеристикой фрактального изображения служит коэффициент формы, вычисляемый как отношение квадрата длины периметра изображения к общей площади:

$$K_f = L^2 / S. \quad (2)$$

Этот параметр очень чувствителен и определяет изрезанность границы изображения.

Следующим параметром служит энтропия фрактального изображения.

В термодинамике энтропия есть мера беспорядка в системе. Клод Шеннон обобщил понятие энтропии на абстрактные задачи теории передачи и обработки информации.

Энтропия стала мерой количества информации, необходимой для определения системы в некотором положении. Полутоновое изображение может быть представлена как функция яркости $f(x)$ от расстояния до начала изображения в заданной системе координат.

Поскольку $f(x)$ для фрактальных изображений имеет вероятностный характер, для расчета энтропии можно воспользоваться следующей формулой:

$$E = - \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i \ln p_i . \quad (3)$$

Для неравновесных функций, имеющих большой разброс $f(x)$, значение E имеет положительные значения, а для гладких равновесных – отрицательные.

Заключение

Предполагается, что количественные изменения параметра фрактальной размерности D служат основанием говорить о существенных качественных изменениях в свойствах материалов, т.е. фрактальная размерность характеризует изменение внутренней структуры материала активной массы электрода ЭХА.

Отслеживая изменение D с течением времени возможно говорить об увеличении либо уменьшении величины зерна активной массы электрода электрохимического аккумулятора, и в конечном итоге, об изменении такого макропараметра, как текущая емкость аккумулятора.

Проведя исследование такой корреляции, становится возможным прогнозировать одну из главных электрических характеристик аккумуляторных батарей в составе СГЭС КРК в любой момент времени на основе данных о фрактальной размерности поверхности электродов, полученной акустическими методами контроля.

Литература

1. Korotkov K., Korotkin D. On concentration dependence of gas discharge around drops of non-organic electrolytes // J.Applied Physics. – May 2001. – С. 85-89.
2. Коротков А.Г., Крылов Б.А. Параметрический анализ полутоновых изображений // Научно-технический вестник СПбГИТМО (ТУ). – 2002. – № 6. – С. 37-41.
3. Коротков К.Г. Основы ГРВ биоэлектрографии. – С.-Пб: СПбГИТМО (ТУ), 2001. – 360 с.
4. Мосолов А.Б., Динариев О.Ю. Анализ поверхности электрода электрохимического аккумулятора // ЖТФ. – 1988. – Т. 58, Вып. 2. – С. 233-238.
5. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of nature. – San Francisco, Freeman, 1982. – 340 p.
6. Божокин С.В., Паршин Д.А. Фракталы и мультифракталы. – С.-Пб.: СПбГУ, 2000. – 134 с.
7. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах: Основы теории. – М.: Постмаркет, 2000. – 352с.
8. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 260 с.

Поступила в редакцию 27.05.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.В. Бастеев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.