

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА КОМПЕНСАЦИИ РАЗБАЛАНСА ЕМКОСТЕЙ АККУМУЛЯТОРОВ В СОСТАВЕ ХИМИЧЕСКОЙ БАТАРЕИ

В большинстве автономных систем электроснабжения для согласования графиков энергоприхода и энергопотребления используются буферные накопители энергии. Для СЭС космических аппаратов в качестве буферных накопителей энергии наибольшее распространение получили накопители на основе химических батарей (БХ), чаще всего герметичных никель-кадмиевых или никель-водородных аккумуляторов. При этом в процессе эксплуатации БХ в силу различных причин происходит постепенная деградация емкости БХ, что в конечном счете может привести к прекращению работоспособности СЭС КА. Таким образом, обеспечение достаточного ресурса БХ является одним из важнейших факторов обеспечения заданного ресурса всего космического аппарата.

На сегодня известно множество причин и механизмов деградации емкости составляющих БХ аккумуляторов [1, 2]. Основные из них это - необратимое окисление элементов внутренней конструкции БХ, образование интерметаллидов, разбаланс электродов по зарядженности, - пассивация электродов, накопление избыточного давления, реструктуризация положительного электрода, образование металлических мостиков на сепараторе и утечка по ним заряда и др. Часть из этих процессов является обратимыми, а часть необратима. При этом все эти процессы относятся к составляющим БХ аккумуляторам. Одним из основных факторов деградации емкостных характеристик БХ служит накопление разбаланса характеристик аккумуляторов [3,4]. Под разбалансом характеристик аккумуляторов понимают следующий процесс: при многократном циклировании БХ происходит постепенный разбег значений текущих емкостей (состояний зарядженности) составляющих БХ аккумуляторов, который происходит в силу их неидентичности (разный КПД, технологическая неоднородность, градиент температур в батарейном модуле). Накопление разбаланса аккумуляторов приводит к снижению полной разрядной емкости химической батареи. В основе ухудшения емкостных характеристик БХ лежит следующий механизм: заряд батареи ограничен наиболее заряженным аккумулятором, а разряд наиболее разряженным, таким образом разница в текущих емкостях между наиболее заряженным

наиболее разряженным аккумулятором в БХ и будет определять дефицит емкости батареи.

Имеется ряд предложений и изобретений для решения проблемы нивелирования характеристик аккумуляторов [5]. Так, например, предлагаются устройства, в которых наиболее заряженные аккумуляторы разряжаются при заряде всей БХ на дополнительные, включенные параллельно, резисторы (что увеличивает ток разряда аккумуляторов), либо же шунтируются резисторами при заряде. Недостатком такого способа регулирования является снижение КПД цикла для батареи в целом за счет диссипативных потерь на шунтирующих резисторах. Также предлагаются устройства которые обеспечивают получение наиболее разряженными аккумуляторами дополнительной емкости либо от внешнего источника, либо от самой БХ. В качестве такого источника может быть использован дополнительный вспомогательный аккумулятор, который при заряде подключается к наиболее заряженным аккумуляторам, а при разряде к наиболее разряженным [6]. Реализация такого способа нивелирования затрудняется необходимостью обеспечения коммутации силовых цепей, а также нечеткостью самих критериев заряженности и разряженности аккумуляторов [7]. Имеется ввиду, что зарядное и разрядное напряжение аккумуляторов не связаны однозначной функцией с их заряженностью или разряженностью, а зависит также от температуры, тока, степени деградации, режима эксплуатации и пр. Использование же датчика давления для запуска механизма нивелирования также имеет целый ряд недостатков.

На этом фоне достаточно привлекательным выглядит параметрический способ нивелирования заряженностей аккумуляторов [8]. Суть способа состоит в том, что при разряде емкость наиболее разряженных аккумуляторов восполняется от внешнего источника, в качестве которого служит трансформатор с числом вторичных обмоток, равным количеству аккумуляторов в БХ. В цепь каждой вторичной обмотки кроме соответствующего аккумулятора включены также вентильное и выпрямительное устройства. При падении напряжения на любом из аккумуляторов БХ ниже некоего минимального значения в цепи начинает протекать ток компенсации, уменьшающий значение разрядного тока для данного аккумулятора. Трансформатор, через преобразователь напряжения запитывается либо от самой БХ, либо от другого внешнего источника.

Для оценки целесообразности применения УНА (устройства нивелирования аккумуляторов), выбора оптимального схемного решения УНА и оптимизации его параметров выполнен численный анализ конструкции УНА. Для решения задачи синтеза математической модели химических аккумуляторов был предложен и апробирован метод формализации заряд-разрядных характеристик аккумуляторов на основе адаптивного алго-

ритма измерения параметров схемы замещения. В процессе работы над математическими моделями были предложены новые подходы и уравнения для описания динамики процесса разбаланса в аккумуляторной батарее, состоящей из никель-кадмиевых герметичных аккумуляторов, описывающие этот процесс качественно более достоверно, чем подходы, изложенные, например, в работе [3].

Рассматривалось 3 варианта реализации УНА:

- питание от источника постоянного напряжения и ограничение выходной мощности посредством широтно-импульсная модуляции (схема 1, оптимизационный параметр - ЭДС трансформатора);
- питание от источника постоянного напряжения и ограничение выходной мощности посредством уменьшения ЭДС трансформатора (схема 2, оптимизационный параметр - начальный ЭДС трансформатора),
- питание непосредственно от химической батареи БХ и ограничение выходной мощности посредством широтно-импульсная модуляции (схема 3, оптимизационный параметр - начальный коэффициент трансформации).

Результаты математического моделирования (см. рисунок 1) как детерминированного, так и стохастического позволяют утверждать, что лучшие показатели нивелирования достигаются при использовании схемы УНА с ограничением потребляемой мощности за счет снижения напряжения питания первичных силовых цепей, при этом величина ЭДС выходных контуров должна составлять $1.85 \div 1.90$ В.

Для экспериментальной оценки эффективности применения УНА (устройства нивелирования аккумуляторов) и исследования выходных статических и динамических характеристик УНА, был разработан и изготовлен макет УНА, а также собрана соответствующая конфигурация комплексного стенда систем электроснабжения КА. Управление экспериментом и измерения осуществлялось посредством информационно-управляющей системы на основе модулей системы PCLab фирмы Advantech. В результате получено подтверждение принципиальной работоспособности метода параметрического нивелирования характеристик аккумуляторов и оптимизированы некоторые параметры технических устройств для параметрического нивелирования. Экспериментально подтверждено, что использование УНА позволяет существенно уменьшить скорость потери емкости БХ вследствие накопления разбаланса из-за разброса значений токов утечек в составляющих батарею аккумуляторах. При эксплуатации БХ на среднем уровне заряженности со значительным начальным разбалансом применение УНА позволяет добиться примерно той же скорости восстановления емкостных характеристик БХ, которая достигается при эксплуа-

тации БХ на высоком уровне заряженности, другими словами возможна эффективная работа БХ на режимах значительно более благоприятных для обеспечения ресурса и надежности БХ (см. рисунок 2).

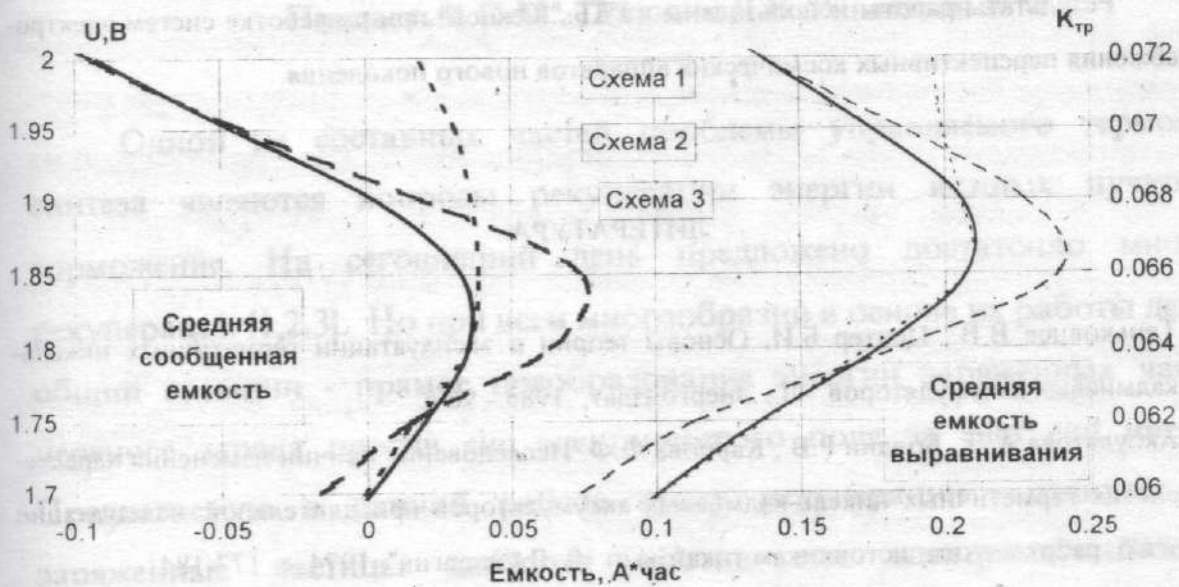


Рисунок 1.



Рисунок 2

Для оценки эффективности макета УНА в процессе эксперимента наряду с измеряемыми параметрами оценивалась величина емкости выравнивания, оцениваемой как разность емкостей сообщенных за цикл недозаряженному и нормально заряженному аккумулятору. Численное значение емкости выравнивания наиболее адекватным образом характеризует скорость выравнивания (нивелирования) характеристик аккумулятора. Численное значение емкости выравнивания достигало 0.6 А*ч , что соответствует $\approx 1.25\%$ от величины фактической емкости БХ и $\approx 5\%$ от величины разрядной емкости БХ.

Таким образом, как экспериментальные данные, так и результаты расчета подтверждают целесообразность применения УНА, в качестве средства обеспечения работоспособности никель-кадмиевой БХ космического применения (см. рисунок 2).

Результаты работы использованы в ГКБ "Южное" при разработке систем электропитания перспективных космических аппаратов нового поколения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теньковцев В.В., Ценгер Б.И. Основы теории и эксплуатации герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов. -Л.: Энергоиздат, 1985. - 96 с.
2. Акбулатова А.Д., Болдин Р.В., Карпова Ф.Ф. Исследование причин изменения характеристик герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов при длительной эксплуатации // "Сб. работ по хим. источникам тока", вып. 10, Л. "Энергия", 1974, с. 177-184.
3. Жирнова Н.Б., Золотов А.И., Леонова М.В. Анализ разбега емкостных характеристик последовательно соединенных в батарею аккумуляторов на автономных объектах // Тр МЭИ, 1987, № 143.
4. Полупроводниковые системы электроснабжения космических летательных аппаратов / Веденеев Г.М., Галтеев Ф.Ф., Еременко В.Г., Токарев А.Б. - М.: МЭИ, 1986. - 76 с.
5. Белов Д.Г., Жирнова Н.Б., Перекопский И.Т., Токарев А.Б. Анализ методов и устройств восстановления характеристик аккумуляторных батарей при их эксплуатации в системах электропитания. // Электротехника, 1990, №11 с.56-58.
6. А.С. № 7485888 СССР. Способ эксплуатации аккумуляторной батареи / Д.Г.Белов, С.В.Медведников, И.Т.Перекопский // Открытия. Изобретения. 1980, № 126.
7. Романов В.В., Хашев Ю.М. Химические источники тока. - М.: Советское радио, 1978. - 258с.
8. А.С. № 1607045 СССР. Способ контроля n-элементной АБ / В.В.Михальчук, А.Б.Токарев // Открытия. Изобретения. 1990, № 12.