

УДК 541.136.5

АНАЛИЗ И ВИЗУАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ТЕПЛОВОГО РАЗГОНА НИКЕЛЬ-КАДМИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ НКБН-25-УЗ

Д.Н. Галушкин, Н.Н. Галушкина

*Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса,
Шахты, Ростовская область, Россия*

Поступила в редакцию 01.12.05 г.

На основании анализа энергетического баланса теплового разгона показано, что тепловой разгон происходит не за счет внешнего источника тока, а за счет мощной внутренней самоускоряющейся экзотермической реакции. Причем данная реакция происходит в совершенно случайных местах электрода, начинаясь от точки и распространяясь по радиусу подобно процессу горения.

Having analyzed the energy balance of the thermal runaway it was shown that the thermal runaway is not due to an external source of current but due to powerful internal self-accelerating exothermal reaction. And this reaction takes place in quite accidental spots of the electrode starting from a point and spreading radially like in the process of burning.

ВВЕДЕНИЕ

Явление теплового разгона встречается в никель-кадмиевых батареях, стоящих в буферном режиме в современных самолетах, природа данного явления до сих пор недостаточно изучена. Особенно высока вероятность появления теплового разгона в батареях с длительным сроком эксплуатации. В случае теплового разгона батарея может разогреться, закоротить систему электропитания, что, в свою очередь, может привести к выходу из строя различных блоков самолета. В связи с этим тепловой разгон в авиации всегда приводит к аварийным ситуациям различной степени сложности.

Данное явление обсуждалось в работах [1–6]. Однако до сих пор далеко не ясны причины и источники такого мощного выделения энергии в результате теплового разгона, которое вызывает резкое повышение температуры внутри аккумулятора до высоких значений, что, в свою очередь, приводит к прогоранию сепаратора между пластинами, вскипанию и испарению электролита, оплавлению корпуса аккумулятора и т.д.

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ПРИ ТЕПЛОВОМ РАЗГОНЕ

Согласно классическому объяснению механизма теплового разгона он наступает в результате длительного перезаряда, который может привести к разогреву аккумулятора и, как следствие, к снижению его внутреннего сопротивления и увеличению тока перезаряда, что, в свою очередь, увеличивает разогрев и т.д. [1].

Таким образом, данный механизм предполагает, что вся энергия, выделяемая в результате теплового разгона, поставляется от зарядного устройства.

Однако можно показать, что энергии, получаемой аккумулятором от зарядного устройства во время теплового разгона, недостаточно даже для испарения всего электролита. Следовательно, тепловой разгон должен сопровождаться внутренним процессом, дополняющим данную недостачу.

Действительно, энергия, получаемая аккумулятором от зарядного устройства за время теплового разгона, может быть рассчитана по уравнению:

$$Q_z = \int_{t_1}^{t_2} U(t) \cdot I(t) dt, \quad (1)$$

где Q_z – энергия, получаемая аккумулятором от зарядного устройства за время теплового разгона; $U(t)$ – изменение напряжения на клеммах аккумулятора во время теплового разгона; $I(t)$ – изменение тока заряда за время теплового разгона; t_1 и t_2 – время начала и конца теплового разгона соответственно.

Для расчета значения Q_z воспользуемся экспериментальными данными из работы [6]. Рис. 1 иллюстрирует, что за время теплового разгона (2.1 мин) ток заряда, практически, линейно возрос от 0.1 до 330 А, а напряжение на клеммах аккумулятора упало от 1.68 до 0.5 В. Для удобства возьмем за ноль отсчета времени начало теплового разгона, тогда для изменения тока в процессе теплового разгона получим уравнение

$$I(t) = 2.62 \cdot t, \quad (2)$$

а для изменения напряжения на клеммах аккумулятора уравнение

$$U(t) = 1.68 - 0.0093 \cdot t. \quad (3)$$

Подставим соотношения (2)–(3) в формулу (1) и получим

$$Q_z = 18.7 \text{ кДж}. \quad (4)$$

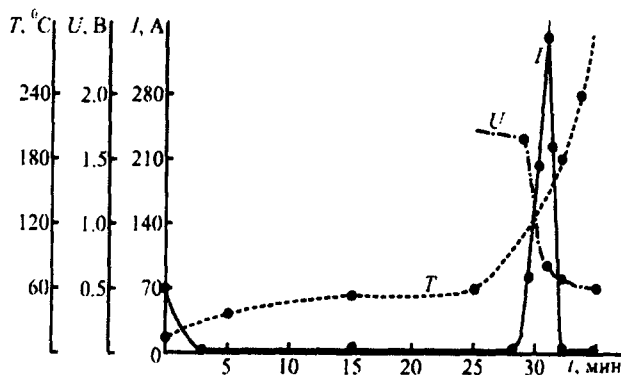


Рис. 1. Изменения параметров аккумулятора НКБН-25-УЗ (серийный номер 06301) во время теплового разгона: I — ток заряда аккумулятора; U — напряжение на клеммах аккумулятора; T — температура положительной клеммы аккумулятора

С другой стороны, оценим энергию, выделившуюся в результате теплового разгона, по внешним тепловым эффектам. В среднем в аккумуляторе НКБН-25-УЗ находится 60 мл электролита, который при тепловом разгоне полностью испаряется. Для этого необходима энергия:

$$Q_i = r \cdot m = 135.6 \text{ кДж}. \quad (5)$$

Кроме этого необходима еще энергия для нагревания электролита от 30°C (рабочая температура аккумулятора при заряде) до 100°C:

$$Q_n = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1) = 17.6 \text{ кДж}. \quad (6)$$

Образовавшийся в результате теплового разгона пар выходил из аккумулятора при температуре, по крайней мере, не ниже 350°C. Для его разогрева необходима энергия:

$$Q_p = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1) = 27.3 \text{ кДж}. \quad (7)$$

В рассматриваемом эксперименте нагрелся также и сам пластмассовый корпус аккумулятора вместе с электродами до температуры не менее 100°C, так как он очень быстро и довольно сильно оплавился по бокам. При массе аккумулятора около 1 кг для этого должно быть затрачено не менее 25 кДж тепла.

Таким образом, общая сумма тепла

$$Q = Q_i + Q_n + Q_p + Q_b, \quad (8)$$

выделившегося в результате теплового разгона (рис.1), должна быть не менее 200 кДж, что на порядок превосходит ту энергию, которую аккумулятор получает от зарядного устройства (4).

В частной беседе в лаборатории «Нестационарного электролиза» (ЮРГТУ (НПИ) г. Новочеркасск) высказывалось предположение, что в результате теплового разгона источником выделения тепла является электрохимическая энергия, накопленная при заряде аккумулятора. Используемый в эксперименте аккумулятор имел срок эксплуатации 7 лет и при стандартном заряде отдавал 14–15 А·ч, то есть в лучшем случае обладал энергией 65 кДж, что явно

недостаточно. В момент же выхода на тепловой разгон данный аккумулятор обладал емкостью не более 3 А·ч, что легко посчитать, проинтегрировав кривую изменения тока заряда до теплового разгона на рис.1, и, следовательно, он обладал электрохимической энергией не более 13 кДж, что опять-таки на порядок ниже требуемых значений.

Кроме того, данное предположение было проверено и экспериментально. Быстрое высвобождение накопленной электрохимической энергии возможно только через процесс типа короткого замыкания электродов аккумулятора.

Экспериментами по внутреннему замыканию пластин аккумуляторов марки НКБН-25-УЗ со сроком эксплуатации 6–7 лет установлено, что температура электролита и электродов при их внутреннем замыкании повышается до 70–80°C, с незначительным парообразованием. Это соответствует выделению не более 15–25 кДж тепла, что на порядок меньше энергии, выделяемой при тепловом разгоне.

Таким образом, результаты расчета энергетического баланса теплового разгона однозначно свидетельствуют о том, что тепловой разгон сопровождается мощной экзотермической реакцией с большим выделением тепла.

ВИЗУАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ТЕПЛОВОГО РАЗГОНА

На рис. 2 представлены электроды аккумуляторов марки НКБН-25-УЗ, подвергшихся процессу теплового разгона. Визуальный осмотр аккумуляторов показал:

1) в результате теплового разгона сепаратор прогорает только в определенных местах, а не на всем электроде, следовательно, тепловой разгон является локальным явлением;

2) места прогорания сепаратора имеют форму правильных кругов разного радиуса, то есть тепловой разгон начинается из точки, а потом, подобно процессу горения, равномерно распространяется по радиусу от точки;

3) круги прогорания сепаратора не распространялись на весь электрод, причем все они имеют разный случайный диаметр; таким образом, в ходе теплового разгона существуют некоторые процессы, препятствующие его распространению и способствующие затуханию;

4) круги прогорания сепаратора расположены на различных электродах совершенно в случайных местах, следовательно, процесс начала теплового разгона имеет случайный характер.

Таким образом, анализ энергетического баланса при тепловом разгоне однозначно показывает, что тепловой разгон происходит не за счет внешнего источника тока, а за счет внутренних процессов в самом аккумуляторе, то есть за счет мощной внут-

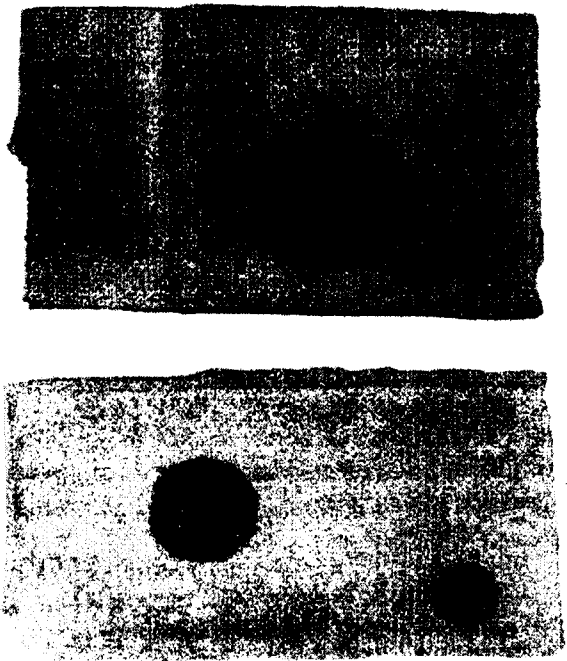


Рис.2. Электроды аккумулятора НКБН-25-УЗ после теплового разгона

ренной самоускоряющейся экзотермической реакции. Причем данная реакция происходит в совершенно случайных местах электрода, начинаясь от точки и распространяясь по радиусу подобно процессу горения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теньковцев В.В., Центнер Б.И. Основы теории эксплуатации герметичных НК аккумуляторов. Л.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Теньковцев В.В., Леви М.Ж.-Н. Герметичные НК аккумуляторы общего назначения. М.: Информстандартэлектро, 1968.
3. Теньковцев В.В., Борисов Б.А., Ткачева Л.Ш. // Сб. работ по ХИТ. Л.: Энергия, 1989. С. 59–70.
4. Совершенствование теории и разработка путей дальнейшего улучшения существующих и создание новых электрохимических источников тока различного назначения: Отчет по НИР (заключ.) / Новочеркас. политехн. ин-т; Руководитель работы Ю.Д. Кудрявцев. 09-026.01.86, № ГР 01830080773; Инв. № 02860088631. Новочеркасск, 1986. 205 с.
5. Исследование возможности применения переменного тока для интенсификации процесса формирования и заряда НК аккумуляторов: Отчет по НИР промежуточ. / Новочеркас. политехн. ин-т; Руководитель работы Ю.Д. Кудрявцев. 02.01.85; № ГР 01830080773. Инв. № 02850059258. Новочеркасск, 1985. 77 с.
6. Галушкина Н.Н., Галушкин Н.Е., Галушкин Д.Н. // Электрохимическая энергетика. 2005. Т.5, №1. С.40.