

4. Постановление Коллегии администрации Кемеровской области от 1 октября 2013г. № 413. Об утверждении государственной программы Кемеровской области «Развитие субъектов малого и среднего предпринимательства Кемеровской области – Кузбасса на 2014-2024 годы». URL: <http://docs.cntd.ru/document/412806304> (дата обращения 10.03.2021).

УДК 621.319.44

ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

THERMAL CONTROL OF LEAD ACID BATTERIES

Е. А. Гонтовой, Д. Г. Лобов, Д. П. Чупин

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

E. A. Gontovoi, D. G. Lobov, D. P. Chupin

Omsk State Technical University, Omsk, Russia

Аннотация. Свинцово-кислотные аккумуляторные батареи остаются актуальными и занимают значительную долю рынка электрохимических источников питания. В целях упрощения диагностики систем, включающих значительное количество аккумуляторных батарей, эффективным является использование тепловизионного контроля с применением эталонных тепловых карт, построенных по результатам экспериментальных исследований батарей, не находившихся в эксплуатации. В работе предложена реализованная на практике расчетная методика построения эталонной тепловой карты поверхности аккумуляторной батареи, исключающая проведение трудоёмких экспериментальных исследований.

Ключевые слова: свинцово-кислотная аккумуляторная батарея, диагностика, тепловой баланс, дефекты, тепловизионный контроль, аккумулятор, техническое состояние.

DOI: 10.25206/2310-4597-2021-1-4-8

I. ВВЕДЕНИЕ

Свинцово кислотный аккумулятор по-прежнему остаётся самым массовым типом устройств, среди всех известных электрохимических источников тока. За более чем вековую историю применения свинцово-кислотные аккумуляторы неоднократно подвергались модернизации с целью улучшения энергетических параметров и увеличения срока службы. Несмотря на достигнутые успехи при эксплуатации свинцовых источников тока ещё остаётся ещё ряд нерешённых проблем. Например, при работе в буферном режиме аккумуляторные батареи (АБ) могут долгое время находиться в резерве, чтобы в момент отключения основного источника электроэнергии обеспечить функционирование электрических устройств. Если система резервного питания строится для локального единичного потребителя, например такого, как частный дом, то количество АБ обычно не превышает одного десятка. Этого вполне достаточно для питания бытовых электроприборов в течении примерно 6 часов, пока происходит ремонт генератора или питающей подстанции. Эксплуатация малого количества АБ не представляет проблем: можно оперативно контролировать их температуру, внутреннее сопротивление, зарядно-разрядные токи и напряжения, уровень электролита, периодически производить тест на остаточную емкость и оперативно заменять вышедшие из строя элементы. Намного сложнее, когда в эксплуатации одновременно находится значительное количество АБ (несколько сотен или даже несколько тысяч). Своевременная проверка каждой из них требует значительного количества человеко-часов, а проведение необходимых зарядно-разрядных тестовых циклов ещё и большого количества электроэнергии.

Одним из путей решения этой проблемы является применение поэлементного тепловизионного контроля АБ [1]. В теории использование тепловизора для контроля состояния АБ позволяет получить полную и объективную информацию о тепловых процессах, происходящих в АБ [2], в частности:

- дефекты открытых и внутренних контактных соединений;
- наличие короткозамкнутых элементов;

- зашламливание отдельных элементов, вызывающее короткие замыкания между пластинами разной полярности;
- наличие путей утечки тока, вызванных неправильной эксплуатацией АБ и приводящих к неконтролируемому саморазряду АБ.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В 2018 году Нираджем Хера (Neeraj Khera) с соавторами из Индийского Университета Дружбы, Нойда, штат Уттар-Прадеш (Amity University, Noida, Uttar Pradesh, India) была опубликована работа «Система диагностики свинцово-кислотных аккумуляторов с регулирующим клапаном (VRLA) на основе инфракрасного тепловизора методом нечеткой кластеризации» (Valve regulated lead acid battery diagnostic system based on infrared thermal imaging and fuzzy algorithm) [3].

В данной работе авторами предлагается для упрощения контроля большого количества свинцово-кислотных АБ, находящихся в непрерывной работе в системах бесперебойного питания, использовать информацию, получаемую с помощью тепловизоров, после предварительной обработки ее специальным алгоритмом. Алгоритм реализован средствами программного обеспечения LabVIEW.

В процессе проведения контроля тепловизором фиксируются тепловые карты АБ в различных моментах разрядного цикла. Обработка изображений позволяет выявить и классифицировать различные неисправности исследуемых АБ. При обнаружении неисправности специалистам отправляется сигнал тревоги. Средствами удаленного контроля сигнал ошибки может быть передан как локальным специалистам, так и удаленным.

Особенностью данного метода является то, что алгоритм проверки осуществляет сравнение текущей тепловой карты работающей батареи с некоторой эталонной тепловой картой. При этом для формирования эталонной тепловой карты используются статистические данные, полученные в результате тестирования нескольких однотипных с контролируемой аккумуляторных батарей, которые ещё не находились в эксплуатации. Недостатком такого метода является то, что для его реализации, во-первых, требуются новые АБ (которые не всегда могут иметься в наличии в реальных производственных условиях), а во-вторых, при эксплуатации разнотипных АБ необходимо провести значительный объём исследований с целью формирования большого количества различных эталонных тепловых карт.

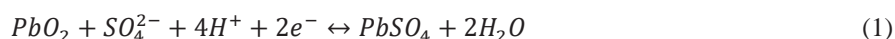
В настоящей работе для получения эталонных тепловых карт предлагается использовать теоретический тепловой расчет свинцово-кислотных АБ, что позволит полностью исключить затраты на проведение экспериментальных исследований новых АБ.

III. ТЕОРИЯ

Величина нагрева АБ в процессе разряда может быть определена путём решения уравнения теплового баланса. В качестве объекта исследования была выбрана АБ типа 6СТ-105ЭМ. При этом в расчете была использована ее упрощенная модель, имеющая следующие характеристики: габаритные размеры - 0,175x0,353x0,19 [м], полная масса батареи $M = 35$ [кг], масса свинцовых пластин $m_{пл} = 25$ [кг], масса электролита $m_{эл} = 7$ [кг], плотность 30% раствора серной кислоты $\rho_{эл} = 1.3$ [г/см³], масса корпуса батареи из полипропилена $m_{к} = 3$ [кг]. Разрядный ток АБ был принят равным $I = 30$ [А], время разряда $t = 30$ минут.

Очевидно, что в процессе разряда КПД АБ составляет менее 100%, поскольку часть энергии тратится на потери на внутреннем сопротивлении батареи, а часть — на протекание электрохимической реакции материала пластин с электролитом. Сама реакция известна и выглядит следующим образом (слева направо — при разряде, справа налево — при заряде):

реакция на катоде



реакция на аноде



Зная эти реакции можно воспользоваться законом Гесса:

$$\Delta H = \sum \Delta H_{прод} - \sum \Delta H_{исх} \quad (3)$$

где ΔH , кДж/моль, это энтальпия образования.

После объединения уравнений 1, 2 и 3 получаем

$$\Delta H = (\Delta H(PbSO_4) + \Delta H(6H_3O) + \Delta H(3SO_4^{2-}) + \Delta H(Pb)) - (\Delta H(2PbSO_4) + \Delta H(2H_3O) + \Delta H(SO_4^{2-}) + \Delta H(6H_2O)). \quad (4)$$

Энтальпии данных молекул являются табличными значениями.

ТАБЛИЦА 1
СТАНДАРТНЫЕ ЭНТАЛЬПИИ ОБРАЗОВАНИЯ

Вещество и сост.	ΔH , кДж/моль	Вещество и сост.	ΔH , кДж/моль
Pb (кр.)	0	PbO ₂ (кр.)	-276.6
SO ₄ (р-р H ₂ O)	-911	H ₂ O (ж.)	-278
PbSO ₄ (кр.)	-920.48	H ₂ O (ж.)	-285.83

Тогда общая энтальпия равна:

$$\begin{aligned} \Delta H &= (-920.48 - 6 * 278 - 3 * 911 + 0) - \\ &- (-2 * 920.48 - 2 * 278 - 911 - 6 * 285.83) = \\ &= 298.5, \text{ кДж/моль.} \end{aligned} \quad (5)$$

Чтобы узнать количество энергии, выделяющееся за одну реакцию, делим ΔH на число Авогадро.

$$Q_{ед} = \frac{\Delta H}{N_A} = \frac{3.852 * 10^3}{6.02 * 10^{23}} = 4.957 * 10^{-22}, \text{ кДж.} \quad (6)$$

Из уравнений 1 и 2 видно, что за одну реакцию появляется 2 свободных электрона. Разрядный ток и время его действия установлены, значит и известно общее количество химических реакций:

$$N_{реак} = \frac{I * t}{2 * |e_0|}. \quad (7)$$

где t это время разряда в секундах $t=30*60=1800$, с, а e_0 – величина заряда электрона по модулю.

$$N_{реак} = \frac{30 * 1800}{2 * |-1.6 * 10^{-19}|} = 1.685 * 10^{23} \quad (8)$$

Общее количество энергии, выделенное за время прохождения всех химических реакций:

$$Q_{хим} = Q_{ед} * N_{реак} = 4.957 * 10^{-22} * 1.685 * 10^{23} = 83.54 \text{ кДж.} \quad (9)$$

Чтобы найти величину нагрева АБ от такого количества энергии, необходимо составить уравнение теплового равновесия.

Вся поступающая тепловая энергия идет на нагрев внутренних элементов аккумулятора и на рассеивание части энергии стенками корпуса в окружающую среду. Считается, что батарея нагревается постепенно и одинаково во всех точках. Тогда:

$$\begin{aligned} Q_{хим} &= C_{пл} * m_{п} * (T - T_{ср}) + C_{эл} * m_{эл} * (T - T_{ср}) + \\ &+ C_{к} * m_{к} * (T - T_{ср}) + F * \alpha_{возд} * t * (T - T_{ср}) \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь C – теплоемкость, табличная величина для данных материалов, m – масса, зависит от размера АБ, а $(T - T_{ср})$ – разница температур между нагретой АБ и окружающей средой, F – площадь боковых стенок АБ, контактирующих и с электролитом, и с воздухом, α – коэффициент теплоотдачи стенок в окружающую среду, $\alpha=5$.

$$F = 2 * 0.19 * (0.175 + 0.353) = 0.201 \text{ м}^2. \quad (11)$$

ТАБЛИЦА 2
ЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОЕМКОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Материал	C, кДж/кг*К
Свинец	0.13
Электролит	3.3
Полипропилен	1.925

Из уравнения 10 можно найти на сколько повысится температура АБ.

$$(T - T_{cp}) = \frac{Q_{хим}}{C_{пл} * m_{п} + C_{эл} * m_{эл} + C_{к} * m_{к} + F * \alpha_{возд} * t} = \frac{83.54}{0.13 * 25 + 3.3 * 7 + 1.925 * 3 + 0.201 * 5 * 1800} = 2.462 \text{ К} \quad (12)$$

$(T - T_{cp}) = 2.462 \text{ [K]}$, а значит АБ за пол часа должна приблизительно нагреться на 2.462 Кельвина.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В эксперименте участвовали две АБ, которые разряжались током 30 А в течение получаса. Тепловизором регистрировались их тепловые карты в начале и в конце нагрева. В качестве активной нагрузки для АБ использовался активатор электрохимических источников питания АЕАС-12V производства ООО «Фирма «Алекто-Электроникс» (Россия). На рис. 1 и 2 представлены нагрев АБ №1 и №2 при разряде во время проведения эксперимента.

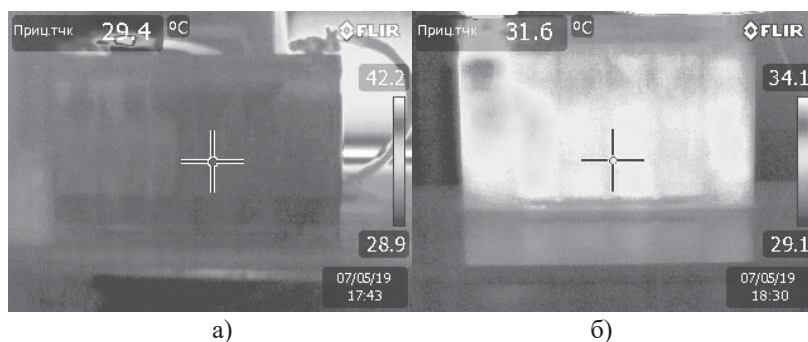


Рис. 1. Нагрев АБ №1, а) начало нагрева, б) конец нагрева

Во время работы выяснилось, что АБ 2 имеет дефекты, поэтому в целях обеспечения безопасности при проведении эксперимента её разряд был прекращен до истечения 30 минут.

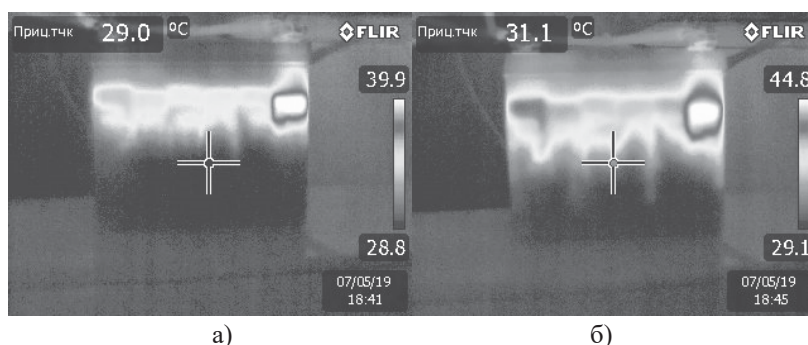


Рис. 2. Нагрев АБ №2, а) начало нагрева, б) конец нагрева

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из разницы рис. 1а и 1б видно, что, нагрев АБ №1 произошел чуть менее чем на 2.5 градуса, что с высокой точностью соответствует представленному выше расчетному значению.

У АБ №2 наблюдается ярко выраженное короткое замыкание (КЗ) в шестом элементе. Температура в данной области превышает температуру всей АБ на 15 градусов.

Такую тепловизионную диагностику аккумуляторных батарей следует выполнять во время работы АБ (штатного разряда) или во время контрольных зарядно-разрядных циклов, когда ток аккумуляторной батареи достаточно большой, что способствует выявлению дефектов в их начальной стадии. Например, в процессе эксперимента отчетливо видно, как в начале разряда у АБ №1 первый элемент в области соединения пластин с клеммой нагревается сильнее, чем другие элементы. Это может свидетельствовать о начавшемся разрушении данного участка электрода и увеличении его сопротивления. К концу нагрева температура выравнивается, и мы можем наблюдать уровень электролита. У данной АБ он одинаковый во всех элементах.

В то же время, высокая температурная чувствительность современных тепловизоров позволяет выявлять дефекты АБ и при сравнительно небольших токах во время их постоянного подзаряда, при этом обследование следует выполнять особенно аккуратно и внимательно, сводя к минимуму мешающие факторы т.к. градиенты температурных аномалий, вызванные дефектами АБ, могут составлять десятки доли градуса.

При обследованиях следует обращать внимание на разницу температур отдельных аккумуляторов в батарее. При работе АБ в режиме разряда, температура элемента с коротким замыканием между пластинами, на начальной его стадии, будет выше, чем у исправных элементов.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был проведен теоретический расчет уравнения теплового баланса свинцово-кислотной аккумуляторной батареи. Теоретические данные были проверены и подтверждены экспериментально. Исследование показало, что использование тепловизора для контроля состояния аккумуляторных батарей позволяет получить полную и объективную информацию о тепловых процессах, происходящих в аккумуляторе, в частности о наличии КЗ внутри отдельных элементов, неисправности паяных и сварных соединений токоведущих частей, о равномерности токовой отдачи элементов, температуре электролита, зашламлении и т.п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов А. Н. Оценка исправности свинцово-кислотной аккумуляторной батареи тепловым методом // Инновационные технологии реновации в машиностроении: сб. трудов междунар. науч.-технич. конф., посвящ. 150-летию факультета «Машиностроительные технологии» и кафедры «Технологии обработки материалов» МГТУ им. Н. Э. Баумана / под общ. ред. В. Ю. Лавриненко. 2019. Московский государственный областной университет, 2019. С. 307–310.
2. Воронов А. Н. Классификация неисправностей свинцово-кислотной аккумуляторной батареи // Труды Госнिति. 2013. Т. 112, № 1. С. 178–180.
3. Neeraj Khera, Shakeb A. Khan, Obaidur Rahman. Valve regulated lead acid battery diagnostic system based on infrared thermal imaging and fuzzy algorithm // International Journal of System Assurance Engineering and Management. 2020. Vol. 11. P. 614–624.

УДК 546.26+547.326+543.2+544.723.212

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО СОРБЕНТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ОЛИГОМЕРОМ ГЛИКОЛЕВОЙ КИСЛОТЫ

OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF OBTAINING A CARBON SORBENT MODIFIED WITH A GLYCOLIC ACID OLIGOMER

М. С. Делягина¹, А. П. Володькин², Л. Г. Пьянова¹

¹Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Институт катализа СО РАН, г. Омск, Россия

²Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

M. S. Delyagina¹, A. P. Volod'kin², L. G. P'yanova¹

¹Center for New Chemical Technologies IC SB RAS, Institute of Catalysis SB RAS, Omsk, Russia

²Omsk State Technical University, Omsk, Russia

Аннотация. Проведен синтез углеродного сорбента, модифицированного олигомером гликолевой кислоты, с использованием вакуумного ротационного испарителя. Выбраны оптимальные условия процесса модифицирования углеродного сорбента: продолжительность синтеза, температура поликонденсации, расход модификатора. Изучены физико-химические свойства исследуемых углеродных сорбентов, в том числе антиоксидантные.