

А.А. Алёшкин¹, Ю.И. Бубнов¹, А.В. Голубев², Н.В. Николаев², Э.Н. Шаров¹
(¹ООО "АК Бустер", ²НИЦ "Охрана" МВД России; e-mail: aleshkin@buster-spp.ru)

ПРОБЛЕМЫ РЕЗЕРВНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СИСТЕМ ВНЕВЕДОМСТВЕННОЙ ОХРАНЫ

Анализируются вопросы диагностирования аккумуляторных батарей для оборудования систем вневедомственной охраны. Предлагается метод оперативной диагностики доступной ёмкости свинцовых аккумуляторов.

Ключевые слова: системы безопасности, резервное питание, аккумуляторы.

A.A. Aleshkin, Ju.I. Bubnov, A.V. Golubev, N.V. Nikolaev, Je.N. Sharov

THE PROBLEMS OF BACKUP POWER SUPPLY OF THE SYSTEMS OF PRIVATE SECURITY

The issues of the batteries diagnosing for the systems of private security was analyzed. A method for rapid diagnosis of the available capacity of lead-acid batteries is offered.

Key words: security systems, backup power, batteries.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 4 февраля 2016 г.

В течение продолжительного времени значительная часть вневедомственной охраны была оснащена системами, работающими по переключаемым на время охраны линиям городской телефонной сети. В данных системах связь между ретрансляторами, установленными на АТС, и охраняемыми квартирами осуществлялась по медным парам телефонных проводов. По этим парам передавались как сигналы, так и напряжение питания, необходимое для функционирования охранных датчиков (СМК, Окно, Волна-5, Фотон-8). При возникновении аварийной ситуации в электроснабжении дома или района охрана продолжала функционировать за счёт питания от коммутатора АТС, которое резервируется аккумуляторными батареями и дизель-генераторами.

В настоящее время наблюдается тенденция перехода телефонной связи с медных проводов на волоконно-оптические линии связи, передача напряжения питания по которым невозможна. Вследствие этого происходит замена старых *устройств оконечных объектовых (УОО)* на новые, имеющие питание от сети переменного тока. УОО должны быть обеспечены резервным электропитанием, функцию которого выполняют *источники вторичного электропитания (ИВЭП)*. При пропадании электропитания от сети переменного тока, ИВЭП обеспечивают резервное электропитание от встроенного аккумулятора (аккумуляторной батареи) необходимой ёмкости.

ИВЭП и УОО находятся в охраняемых квартирах и объектах, расположенных в различных районах города, иногда на большом расстоянии от пункта централизованной охраны. В связи с этим возникают две основные задачи:

- автоматизация процесса мониторинга эксплуатационных параметров аккумуляторных батарей в резервных источниках питания, эксплуатируемых в режиме непрерывного заряда при постоянном напряжении;

- своевременное информирование оператора пункта централизованной охраны о "Критической зоне" или "Опасности" обеспечения гарантированным электропитанием от резервного источника питания.

Мониторинг состояния резервных источников питания позволит:

- своевременно проводить замену аккумуляторных батарей, выработавших свой ресурс;

- срабатывать техническим средствам при аварийной ситуации в электро-снабжении;

- повысить сохранность имущества граждан, предприятий, организаций различных форм собственности.

О насущности этой проблемы говорит также тот факт, что в **Единых требованиях к средствам функциональной диагностики (ЕТСФД)** оборудования систем централизованного наблюдения, интегрированным в программное обеспечение комплексов средств автоматизации пунктов централизованной охраны в качестве обязательных сообщений приняты сообщения "Ёмкость аккумулятора" и "Ёмкость аккумулятора ниже критической". ЕТСФД утверждены Главным управлением вневедомственной охраны МВД России в августе 2015 г. ЕТСФД разработаны в НИЦ "Охрана" МВД России и предназначены для разработчиков программного обеспечения комплексов средств автоматизации пунктов централизованной охраны, применяемых подразделениями вневедомственной охраны, а также для технических работников вневедомственной охраны.

В процессе эксплуатации аккумуляторной батареи происходит [8]:

- разложение воды и повышение концентрации электролита;

- коррозия положительных электродов токоотводов;

- пассивация отрицательных электродов;

- деструкция структуры активных масс и сепаратора;

- оплывание активных масс.

Кроме того, в аккумуляторных батареях исполнения AGM (с абсорбированным электролитом) и GEL (со сгущённым электролитом) в процессе эксплуатации происходит расслоение электролита по высоте электродов. Следствием этих процессов становится увеличение внутреннего сопротивления, скорости саморазряда, снижение разрядного напряжения и ёмкости батареи. В свою очередь, независимо от срока эксплуатации, в процессе разряда аккумулятора наблюдается [4]:

- уменьшение эффективного диаметра пор и изменение их структуры;

- возрастание затруднённости транспорта электролита из объёма раствора к реакционной поверхности электрода вследствие сужения пор;

- частичное экранирование активной поверхности электродов сульфатом свинца и, как следствие, возрастание истинной плотности тока разряда.

Как видно из изложенного, аккумуляторные электроды и электролит в процессе эксплуатации являются весьма неустойчивыми системами, все основные свойства которых изменяются во времени. Это обстоятельство не позволяет в настоящее время дать строгую количественную оценку рассматриваемого явления.

Ниже будет описан метод оперативной диагностики основных эксплуатационных параметров свинцового аккумулятора (батареи) [5-7]. Метод учитывает параметр, непосредственно характеризующий величину разрядной ёмкости, суммарный электрический заряд активной поверхности лимитирующего электрода.

Принципиальные особенности предложенного метода основываются на том, что:

- электрические параметры аккумулятора (батареи) в равновесном состоянии электрохимической системы в момент времени t определяются – потенциальной энергией $W(t) = Q_{\text{равн}}^{\Sigma q}(t) \varphi_{\text{равн}}(t)$, которой обладают атомы активной массы лимитирующего электрода, то есть суммарным электрическим зарядом $Q_{\text{равн}}^{\Sigma q}(t) = \Sigma q$ и равновесным потенциалом ЭДС $(t) = \varphi_+ - \varphi_-$;

- эксплуатационные (зарядно-разрядные) электрические параметры характеризуются энергией $W' = Q_{\text{равн}}(t) [j_{\text{равн}} + h_+ - h_- - I_{\text{раз}} R_{\text{Ом}}](t)$, которую способен отдать аккумулятор, совершая работу по перемещению заряда между электродами в растворе электролита против сторонних сил $-F_{\text{стоп}}$ не электростатической природы, участвующих в потере электрической энергии при разряде или заряде аккумулятора.

Суммарный электрический заряд активной поверхности отрицательного электрода $Q_{\text{равн}}^{\Sigma q}$, рассчитывается из тока обмена на поверхности электрода $\bar{I}_0^+(\leftarrow M, \text{рез.}) = -\bar{j}_0^+(\leftarrow M, \text{рез.}) S_{\text{акт}} = \bar{j}_0^+(\rightarrow M, \text{рез.}) S_{\text{акт}}$ [2] по отклику на тестовый сигнал $I_{\text{тест}}$ по формуле (1):

$$Q_{\text{равн}}^T(Kл) = (-1) \frac{\bar{I}_0^+}{\bar{k}_g^+ e^{\left(\frac{z_+ F (1-\alpha) \Delta \varphi_e(M,S)}{RT_{\text{изм}}}\right)}}; \quad (1)$$

$$\bar{I}_0^+ = \frac{I_{\text{тест}}}{\left(e^{\frac{-zF\alpha}{RT_{\text{изм}}} n_{\text{тест}}(t)} - e^{\frac{zF\alpha}{RT_{\text{изм}}} n_{\text{тест}}(t)} \right)},$$

где $R = 8,3145$, Дж моль⁻¹ град⁻¹ (газовая постоянная);

$T_{\text{изм}}$ – температура электролита, °K;

$Z_+ = 2$ – величина заряда иона;

$F = 96485$, Кл·моль⁻¹ (число Фарадея);

$\alpha = \frac{1}{2}$ – фактор симметрии или коэффициент переноса, обозначающий

долю расстояния между двумя плоскостями, где локализовано переходное состояние;

\bar{k}_v – константа скорости;

$I_{\text{тест}}$, A – амплитудное значение тока тестового сигнала;

$\eta_{\text{тест}}(t)$, B – амплитудное значение отклика напряжения на тестовый сигнал $I_{\text{тест}}$;

\bar{I}_0^+ , A – ток, протекающий на активной поверхности электрода в его равновесном состоянии, вызванный движением катионов при протекании реакции $\mathfrak{Ox} + ne \rightleftharpoons \mathfrak{Red}$, температуре электролита T , среднем количестве катионов около поверхности электрода $S_{\text{акт}} \sigma^+$ и разности потенциалов между электродом и слоем ионов на расстоянии δ_0 (внешняя плоскость Гельмгольца) в плотной части двойного слоя $\Delta\phi_e(M, S)$.

Доступная разрядная ёмкость $Q_{\text{ост}}^{T_{\text{изм.}} \text{ } ^\circ\text{C}}(A \cdot \text{ч})$, при разряде в номинальном режиме разряда, при температуре электролита $T_{\text{изм.}} \text{ } ^\circ\text{C}$ рассчитывается по формуле (2).

$$Q_{\text{дост}}^{T_{\text{изм.}} \text{ } ^\circ\text{C}}(A \cdot \text{ч}) = k_{\text{экр}} \Theta \left(\frac{Q_{\text{равн}}^{T_{\text{изм.}} \text{ } ^\circ\text{C}}(Kл)}{3600} \right), \quad (2)$$

где $\Theta_{\text{исп.}} = 0,6$ – коэффициент использования активных масс;

$k_{\text{экр.}} = 0,259$, $A \cdot \text{ч} / z$ – электрохимический эквивалент разрядного процесса для отрицательного электрода [1].

Доступная разрядная ёмкость $Q_{\text{ост}}^{T_{\text{изм.}} \text{ } ^\circ\text{C}}(A \cdot \text{ч})$, при токе разряда отличного от номинального значения, рассчитывается численным методом решением уравнения (4) по формуле:

$$Q_{\text{дост.Цикл}}^{T_{\text{изм.}} \text{ } ^\circ\text{C}}(A \cdot \text{ч}) = I_p t_p, \quad (3)$$

где $t_p = f(U_p(t))$, от $U_0^{T_{\text{изм.}} \text{ } ^\circ\text{C}}(t)$ до $U_{\text{кон}}^{T_{\text{изм.}} \text{ } ^\circ\text{C}}(t)$,

$$U_p(t) = U_0(t) - \frac{4RT}{z_+ F} \ln \frac{I_p}{\bar{I}_0^+(t)} + \frac{RT}{z_+ F} \ln \left(1 - \frac{I_p}{\bar{I}_{\text{пред}}^+(t)} \right)^2 - I_p R_{\text{Ом}}^{\text{Ак}}(t), \quad (4)$$

I_p , A – ток разряда;

$R_{\text{Ом}}^{\text{Ак}}(t)$, Ом – омическая составляющая внутреннего сопротивления аккумулятора в момент времени T ;

$\bar{I}_{\text{пред}}^+(t)$, A – предельный ток обмена электрода.

Уравнение (4) описывает квазистатический процесс изменения напряжения на выводах аккумулятора при разряде в момент времени t с учётом:

- напряжения разомкнутой цепи;
- электрохимического и концентрационного перенапряжения;
- падения напряжения на омической составляющей внутреннего сопротивления аккумулятора.

Уравнение (4) базируется на результатах исследований, полученных ранее [5-7], а также на результатах испытательной лаборатории ХИТ "НЕВА-РЕГЛАМЕНТ" [9].

Данный метод позволяет также по совокупности измеренных независимых параметров прогнозировать важный эксплуатационный параметр – наработку до отказа аккумулятора, батареи.

Наработка до отказа рассчитывается для аккумулятора (батареи) при 100 % степени заряженности и температуре приведения $T_{прив.} \text{ } ^\circ\text{C}$.

Наработку до отказа $D_{нар до отказа}^{T_{прив.} \text{ } ^\circ\text{C}}(t)$ в момент времени эксплуатации t , можно рассчитывать как в процентах, так и в месяцах, если известна дата изготовления и назначенный срок службы батареи, по уравнению (5):

$$D_{нар до отказа}^{T_{прив.} \text{ } ^\circ\text{C}}(t) = D_n^{ост T_{прив.} \text{ } ^\circ\text{C}}(t) \int_{g(t)}^{2.72} \frac{1}{\Delta g_{дегр.}(t)} dg(t),$$

$$\Delta g_{дегр.}(t) = \frac{Q_n(A \cdot \varphi)}{Q_{ост.}^{T_{прив.} \text{ } ^\circ\text{C}}(A \cdot \varphi)},$$

$$D_n^{ост T_{прив.} \text{ } ^\circ\text{C}}(t) = \left(\frac{\Delta Q_{ост}^{pec. T_{прив.} \text{ } ^\circ\text{C}}(A \cdot \varphi)}{\Delta Q_n^{pec.}(A \cdot \varphi)} \right) D_n,$$

$$Q_{ост.}^{T_{прив.} \text{ } ^\circ\text{C}} = \frac{Q_{до ост.}^{T_{прив.} \text{ } ^\circ\text{C}}(A \cdot \varphi)}{SOC(\%)} 100(\%),$$
(5)

где $\left(\frac{\Delta Q_{ост}^{pec. T_{прив.} \text{ } ^\circ\text{C}}(A \cdot \varphi)}{\Delta Q_n^{pec.}(A \cdot \varphi)} \right)$ – часть, которую составляет фактическая ресурсная

ёмкость тестируемой батареи от назначенной, для которой определён средний срок службы батареи D_n , измеряется в относительных единицах от 1 до 0;

D_n , % или мес. – средний срок службы стартерной батареи;

$D_n^{ост T_{прив.} \text{ } ^\circ\text{C}}(t)$, % или мес. – остаточный средний срок службы стартерной батареи на момент времени эксплуатации t ;

$\Delta Q_n^{pec.}$, $A \cdot \varphi$ – часть разрядной ёмкости $\Delta Q_n^{pec.}$ на момент времени эксплуатации t ;

$\Delta g_{дегр.}(t)$ – изменение скорости деградации активной массы в процессе эксплуатации, в относительных единицах.

На базе данного метода разработан и прошёл опытную эксплуатацию портативный прибор "Анализатор "ЭДА".

Метод, реализованный в приборе "Анализатор "ЭДА", разработан для свинцово-кислотных аккумуляторов, аккумуляторных батарей. Данный метод позволяет прогнозировать наработку до отказа, % или мес., а также вычислить основные электрические параметры:

- доступную ёмкость, $A \cdot ч$;
- степень заряженности, %;
- омическую составляющую внутреннего сопротивления, $МОм$;
- ток прокрутки и холодной прокрутки (EN), A ;
- плотность электролита, $г/см^3$;
- температуру замерзания электролита $^{\circ}C$.

Результаты опытной эксплуатации (верификации) прибора "Анализатор "ЭДА" приведены на рис. 1.

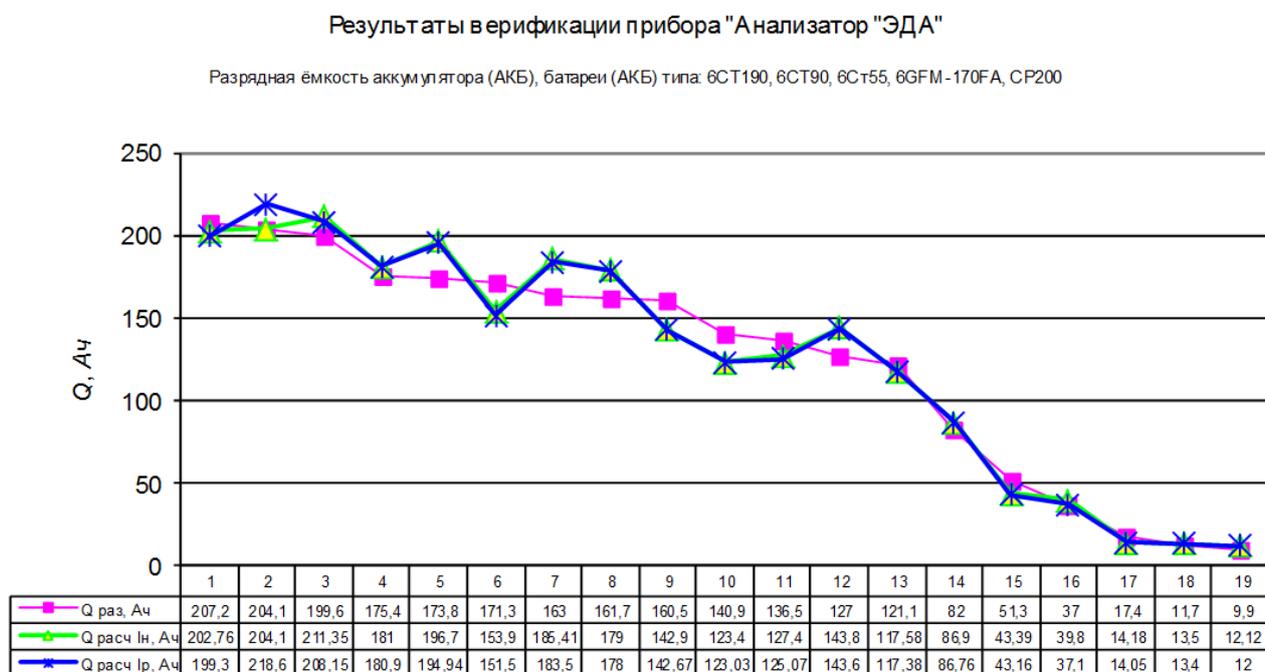


Рис. 1. Результаты опытной эксплуатации (верификации) прибора "Анализатор "ЭДА":

$Q_{раз}$ – фактическая разрядная ёмкость батареи в номинальном режиме разряда при разряде на испытательном оборудовании;

$Q_{расч I_n}$ – разрядная ёмкость батареи в номинальном режиме разряда, рассчитанная по формуле 2;

$Q_{расч I_p}$ – разрядная ёмкость батареи в номинальном режиме разряда, рассчитанная по формуле 3

Выводы:

1. В охранном оборудовании в качестве резервных источников питания используются герметизированные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи, поэтому применение данного метода и прибора "Анализатор "ЭДА" в подразделениях вневедомственной охраны позволит решить проблему обеспечения надёжности резервного питания.

2. Целесообразно на базе данного метода разработать:

- алгоритм "Автоматического мониторинга и передачи информации о состоянии резервных источников питания" на пульт централизованной охраны;

- прибор (модуль), интегрируемый в системы охраны.

Литература

1. *Дасоян М.А., Азуф. И.А.* Основы расчёта конструирования и технологии производства свинцовых аккумуляторов. Л.: Энергия, 1978. 5 с.

2. *Эткинс. П.* Физическая химия. Т. 1; 2. М.: МИР, 1980. 535 с.

3. *Протоколы* ИЛ лаборатории ХИТ "НЕВА-РЕГЛАМЕНТ": № 11-07/А от 11.07.2007; № 14-08/А от 14.08.2007; № 20-02/А от 20.02.2008; № 12-09/А от 12.09.2008.

4. *Дасоян М.А., Азуф И.А.* Современная теория свинцового аккумулятора. Л.: Энергия, 1975. С. 58-82.

5. *Алёшкин А.А., Саранов С.В.* Методика измерений параметров свинцово-кислотных химических источников тока (максимального тока прокрутки при стартерном и коротком режиме разряда, остаточной ёмкости) // Матер. VII междунар. конф. "Фундаментальные проблемы электрохимической энергетики". Саратов: изд-во Саратовского университета, 2008. 14 с.

6. *Алёшкин А.А., Бубнов Ю.И., Протопопов В.Х., Ягнятинский В.М.* Метод оперативной диагностики доступной ёмкости свинцовых аккумуляторов (батарей). Саратов: изд-во Саратовского университета, 2013. 46 с.

7. *Алёшкин А.А., Бубнов Ю.И., Ружников О.Г., Ягнятинский В.М.* Метод оперативной диагностики основных эксплуатационных параметров свинцовых аккумуляторов (батарей) // Матер. 9-й междунар. конф. по свинцово-кислотным аккумуляторам LABAT'2014. Издательство Lead-Acid Batteries Department institute of Electrochemistry and Energy Systems, Bulgarian Academy of Sciences. BULGARIA, 2014. 197-200 с.

8. *Курзуков Н.И., Ягнятинский В.М.* Стартерные аккумуляторные батареи. Основы устройства, эксплуатации и обслуживания, 2011. 224 с.