

ВЫБОР СТАЦИОНАРНЫХ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА

ГУСЕВ Ю.П., МОНАКОВ В.К., МОНАКОВ Ю.В., ЧО Г.Ч., Московский энергетический институт

Рассмотрены факторы, влияющие на выбор батарей с современными типами аккумуляторов. Исследовано влияние на выбор типа и емкости свинцово-кислотных аккумуляторов интенсивности разряда, соотношения временной и кратковременной нагрузок, напряжения в конце разряда батареи, наличия в системе оперативного постоянного тока (СОПТ) устройств стабилизации напряжения. Предусмотрена возможность использования дополнительной группы аккумуляторов в батарее.

В настоящее время аккумуляторы СК и СН, применявшиеся в прошлом для подстанций и электростанций, сняты с производства и не могут использоваться ни при строительстве новых, ни при реконструкции существующих СОПТ. Современные свинцово-кислотные аккумуляторы существенно отличаются от аккумуляторов СК и СН, производители предлагают аккумуляторы разных типов, характеристики которых оптимизированы для использования в конкретных областях применения. Например, для систем связи выпускаются аккумуляторы, рассчитанные на относительно не большие токи разряда и обладающие повышенным ресурсом циклов заряд-разряд для СОПТ подстанций и электростанций аккумуляторы предполагают более интенсивные разряды с неравномерными графиками нагрузки и кратковременными импульсами при наличии выключателей с электромагнитными приводами. Игнорирование подобной специфики приводит к снижению надежности и электромагнитной совместимости, ухудшает технико-экономические показатели СОПТ, уменьшается срок службы аккумуляторов [1]. Известен случай возгорания неправильно выбранной аккумуляторной батареи

от протекания тока электроприводов высоковольтных масляных баковых выключателей электрической подстанции, превышающего предельное допустимое, для аккумуляторов, значение.

В статье рассмотрено влияние продолжительности разряда и напряжения в конце разряда, характерных для электростанций и подстанций, на емкость аккумуляторной батареи на примере двух типов аккумуляторов, предназначенных для применения в разных областях. Содержащиеся в статье количественные оценки влияния этих факторов на выбор емкости способствуют принятию оптимальных решений при подборе типа и количества аккумуляторов в батарее и позволяют оценить недостатки альтернативных решений.

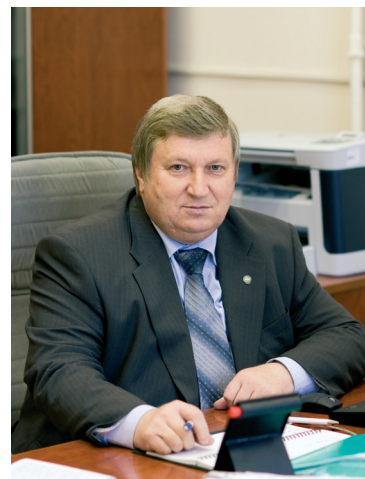
Выбор аккумуляторной батареи, состоит из двух этапов. На первом этапе производится выбор количества аккумуляторов, на втором – выбор их номинальной емкости. Требования по отклонению напряжения на клеммах электроприемников [2] проверяется по напряжению на батарее в конце разряда, которое зависит от количества аккумуляторов в батарее и конечного напряжения их разряда. Имеется не-

которая свобода выбора – можно увеличить количество аккумуляторов и, одновременно, уменьшить конечное напряжение разряда аккумуляторов, и наоборот. Следует отметить, что номинальная емкость аккумуляторов, заявляемая производителем, приведена для определенного тока разряда и определенного напряжения в конце разряда, как правило, для 1,8 В. При больших потерях напряжения в распределительной сети может оказаться, что напряжение на аккумуляторах нельзя снизить до значения, к которому приведена номинальная емкость. Таким образом, увеличение напряжения в конце разряда батареи приводит к необходимости увеличения емкости аккумуляторов. Увеличение количества аккумуляторов позволяет выбирать аккумуляторы меньшей емкости, однако это приводит к увеличению напряжения в режимах поддерживающего и, особенно, ускоренного зарядов батареи. Наибольшее предельно допустимое напряжение на клеммах электроприемников является ограничением количества аккумуляторов сверху.

Проиллюстрируем влияние напряжения аккумулятора в конце разряда на

ОПЕРАТИВНЫЙ ТОК

Ведущий рубрики



Гусев Юрий Павлович

Заведующий кафедрой «Электрические станции» ФГБОУ ВПО «НИУ МЭИ», профессор

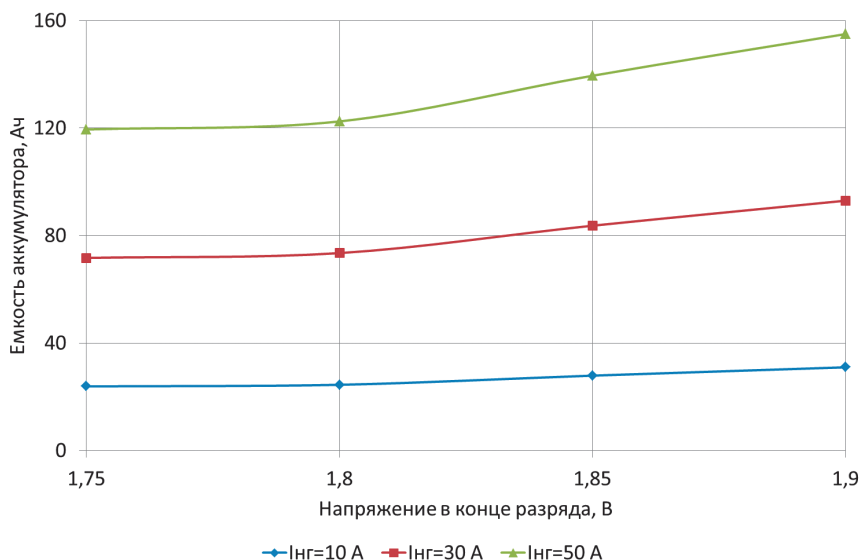


Рис. 1. Влияние конечного напряжения, задаваемого для двухчасовых разрядов, на выбор емкости аккумуляторов типа GroE

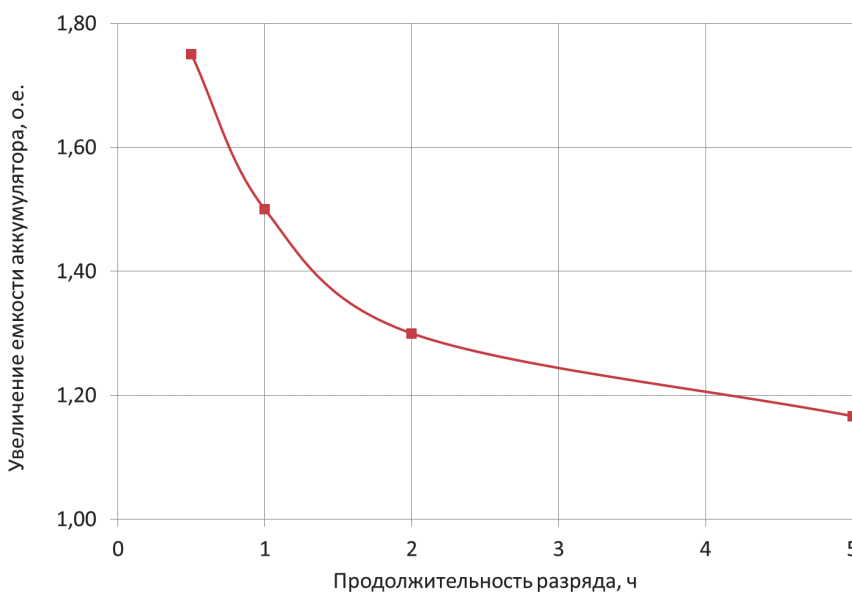


Рис. 2. Влияние напряжения в конце разряда на емкость аккумуляторов типа GroE при разных продолжительностях разряда

емкость. Расчет емкости производился с использованием методики [3, 4]. На рисунке 1 приведены зависимости номинальных емкостей аккумуляторов при напряжениях на аккумуляторе в конце разряда от 1,75 до 1,9 В, что соответствует от 112 до 103 аккумулятора в батарее, при потерях напряжения в распределительной сети не более 0,04 номинального напряжения. Применение в батарее 105 аккумуляторов и более может привести к превышению предельно допустимых напряжений на клеммах электроприемников СОПТ [2]. Избежать этого можно путем установки специальных

устройств стабилизации напряжения, использующих коммутируемые секции балластных диодов. Расчеты емкости проводились для двухчасового разряда аккумуляторов типа GroE с временной нагрузкой, соответствующей токам 10, 30 и 50 А. Из рисунка 1 видно, что увеличение напряжения в конце разряда с 1,75 до 1,9 В приводит к необходимости увеличения емкости на 30 % независимо от тока разряда.

Двухчасовой разряд аккумуляторной батареи, рассмотренный на рисунке 1, характерен для СОПТ подстанций. На электростанциях продолжительность разряда меньше и, как правило, со-

ставляет 0,5 ч [5]. Уменьшение продолжительности разряда усиливает влияние напряжения в конце разряда на емкость аккумуляторов. На рисунке 2 представлена зависимость относительного увеличения емкости аккумуляторов для продолжительностей разряда 0,5; 1; 2 и 5 ч. При продолжительности разряда 0,5 ч увеличение напряжения в конце разряда с 1,75 до 1,9 В вызывает увеличение емкости аккумулятора типа GroE на 75 %. Разряд, продолжительностью 1 ч, характеризуется увеличением емкости аккумуляторов GroE на 50 %. Таким образом, применение в СОПТ электростанций и подстанций устройств стабилизации напряжения на нагрузке позволяет снизить требуемую емкость аккумуляторной батареи за счет уменьшения напряжения аккумулятора в конце разряда на 30 – 75 %.

Продолжительность разряда, наряду с напряжением в конце разряда, оказывает влияние на выбор емкости аккумуляторной батареи. В соответствии с [6], номинальная емкость аккумулятора приводится для номинальной продолжительности разряда 10 часов. Меньшие продолжительности разряда батарей, характерные для СОПТ электростанций и подстанций [2, 5], приво-

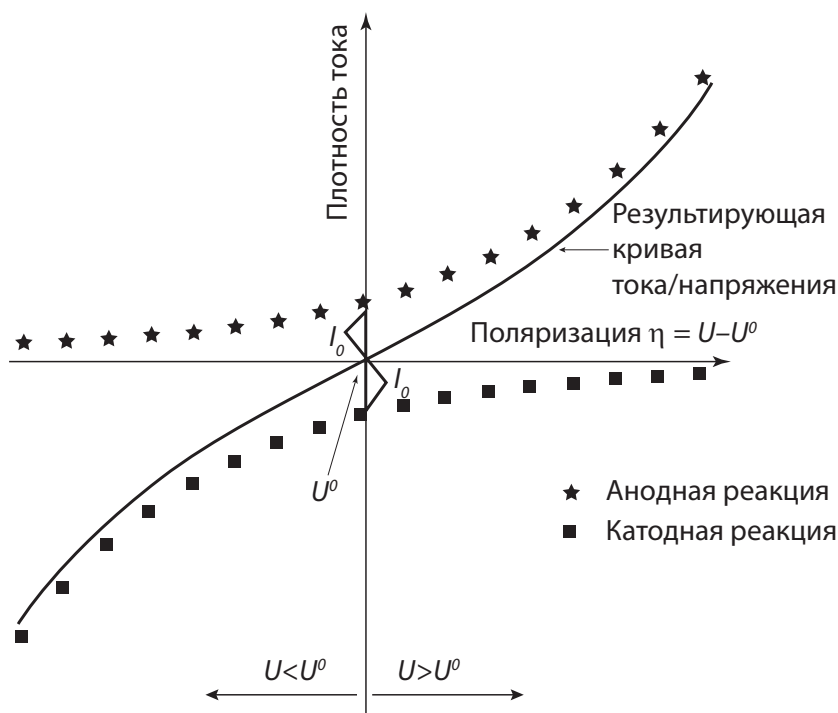


Рис. 3. Зависимость поляризации пластин от плотности тока аккумулятора [7]

дят к увеличению интенсивности разряда аккумуляторов, выражающейся в увеличении кратности разрядного тока по отношению к номинальному току аккумуляторов. Увеличение интенсивности разряда приводит к росту плотности тока пластин аккумулятора и росту потерь на преодолении энергии активации электронов на отрицательном электроде [7], обеспечивающих протекание тока во внешней цепи. Дополнительные затраты энергии, выражаемые в виде потерь напряжения в аккумуляторе, приводят к росту поляризации электродов, что уменьшает напряжение на аккумуляторе. Зависимость поляризации от плотности тока носит нелинейный характер (рис. 3). Положительные значения плотности тока характеристики, представленной на рисунке 3, соответствуют режиму разряда аккумулятора.

Таким образом, с увеличением интенсивности разряда напряжение на аккумуляторе снижется быстрее, полезная емкость, выдаваемая в нагрузку, уменьшается, уменьшается коэффициент использования номинальной емкости аккумуляторов. Количественную оценку влияния интенсивности разряда на емкость аккумулятора впервые предложил немецкий ученый В. Пекерт в 1897 году [8]. Одна из форм записи

закона Пекерта позволяет рассчитать емкость аккумулятора, приведенную к расчетному току разряда:

$$It = C_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{C_{\text{ном}}}{It_{\text{ном}}} \right)^{k-1}$$

где It – приведенная емкость аккумулятора;

$C_{\text{ном}}$ – номинальная емкость аккумулятора при нормированной продолжительности разряда $t_{\text{ном}}$;

k – коэффициент Пекерта, для аккумуляторов открытых типов может принимать значения от 1,2 до 1,6.

На рисунке 4 приведены результаты выбора емкости аккумуляторов типа GroE и OPzS для разных продолжительностей разряда током 100 А. Увеличение продолжительности разряда при постоянной нагрузке приводит к увеличению требуемой емкости аккумуляторов и снижению плотности тока пластин аккумуляторов, а значит и интенсивности разряда. Расчеты производились для продолжительностей разряда 1 мин; 5 мин; 15 мин; 30 мин; 1 ч; 2 ч до напряжения аккумуляторов 1,8 В. Из рисунка 4 видно, что уменьшение продолжительности разряда в два раза (с двух часов до одного) приводит к уменьшению емкости аккумуляторов GroE на 36 % и аккумуляторов OPzS на 32 %. Двух-

кратное уменьшение продолжительности разряда с одного часа до получаса вызывает уменьшение емкости аккумуляторов GroE на 31 % и аккумуляторов OPzS на 27 %. Дальнейшее уменьшение продолжительности разряда сопровождается меньшими относительными снижениями емкости аккумуляторов, что обусловлено снижением коэффициента использования номинальной емкости с увеличением интенсивности разряда. При уменьшении продолжительности разряда ниже 15 минут емкость аккумуляторов OPzS не уменьшается, а остается постоянной. Это связано с достижением максимально допустимой плотности тока пластин аккумулятора, после которой аккумулятор может перейти в режим, сопровождающийся резким ростом поляризации пластин и снижением напряжения на батарее.

Увеличение поляризации пластин вызвано ростом потерь напряжения в аккумуляторе за счет снижения концентрации носителей заряда в приэлектродных слоях аккумуляторов. Изменение концентрации обусловлено дисбалансом диффузионных процессов и процессов переноса заряженных частиц между пластинами, при увеличении плотности тока разряда. Следует отметить, что влияние интенсивности разряда на емкость аккумуляторов GroE меньше чем аккумуляторов OPzS в зоне кратковременных разрядов. Из рисунка 4 видно, что при уменьшении продолжительности разряда до 1 мин наблюдается снижение емкости аккумуляторов GroE. Это означает, что максимально допустимая плотность тока пластин аккумуляторов в проведенных расчетах не достигнута. Пластины аккумуляторов GroE по сравнению с аккумуляторами OPzS, рассчитаны на более интенсивные диффузионные процессы и большие плотности разрядного тока. Сопоставление абсолютных значений емкостей аккумуляторов двух типов свидетельствует о более чем двухкратной разнице в требуемой емкости при разрядах продолжительностью менее 10 мин. С увеличением продолжительности разряда разница в емкостях уменьшается.

На практике нагрузка не всегда является неизменной, и в процессе разряда могут происходить броски

тока, вызываемые подключением к батарее кратковременной нагрузки. Так, для СОПТ подстанций наиболее распространен двухступенчатый профиль. Первая ступень состоит из токов постоянной и временной нагрузки СОПТ, в которую входят релейная защита, сигнализация, связь, аварийное освещение, аварийные маслonaсосы. Ток разряда первой ступени зависит от параметров и компоновки оборудования подстанции, количества присоединений в распределительных устройствах, и составляет, как правило, от 10 до 60 А. Ток разряда второй ступени профиля, кроме постоянной и временной нагрузок, включает ток кратковременной нагрузки, как правило, состоящей из электромагнитных или пружинных электроприводов выключателей среднего и высокого напряжения. Включение выключателей может происходить в начале разряда, под действием АПВ, или и в конце разряда, по команде оперативного персонала. Включение кратковременной нагрузки в конце разряда является более тяжелым режимом разряда аккумуляторной батареи, т.к. к моменту включения аккумуляторы будут в большей степени разряжены, что приведет к увеличению сопротивления электролита и к снижению скорости диффузионных процессов. Ток кратковременной нагрузки зависит от типа установленных выключателей в распределительных устройствах всех напряжений и может достигать полутора килоампер.

Для оценки влияния параметров двухступенчатых профилей разряда на выбираемую емкость аккумуляторов выполнены расчеты двухчасовых разрядов (рис. 5). В расчетах постоянная и временная нагрузка принималась равной 30 А. Ток кратковременной нагрузки, подключаемой в конце разряда и имеющей продолжительность 1 с, варьировался в диапазоне от 0 до 570 А. На рисунке 5 ток второй ступени профиля нагрузки представлен кратностью по отношению к суммарному току постоянной и временной нагрузок. Расчеты аккумуляторов типа GroE и OPzS проводились при условии их разряда до напряжения 1,8 В.

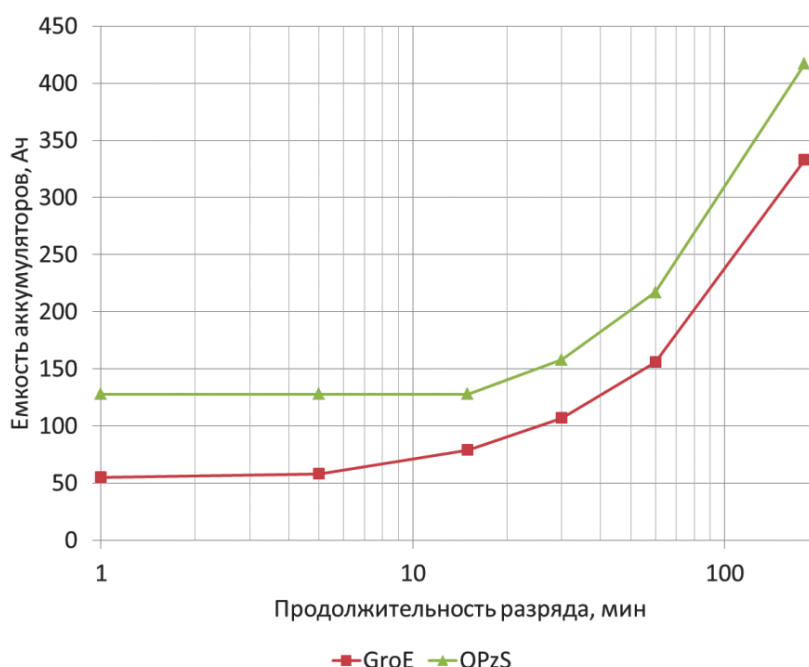


Рис. 4. Зависимость емкости аккумуляторов от интенсивности разряда

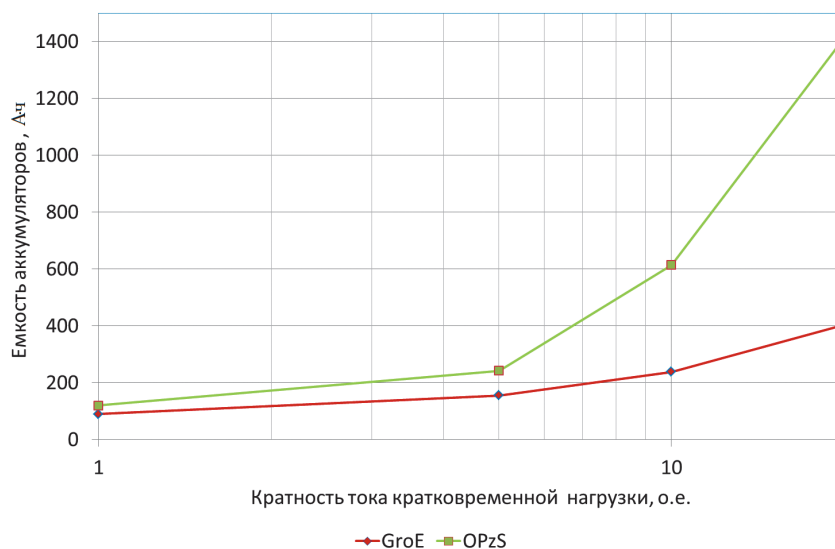


Рис. 5. Зависимость выбираемой емкости аккумуляторов типа GroE и OPzS при изменении кратности тока кратковременной нагрузки

Из рисунка 5 видно, что наличие кратковременной нагрузки приводит к увеличению выбираемой емкости аккумуляторов. Причем, разница между емкостями аккумуляторов GroE и OPzS пропорциональна амплитуде кратковременной нагрузки. При отсутствии кратковременной нагрузки разница между емкостями аккумуляторов не превышает 30%. При токе второй ступени профиля нагрузки 300 А минимально необхо-

димая емкость аккумуляторов GroE составляет 240 Ач, а аккумуляторов OPzS – 614 Ач. При токе второй ступени 600 А потребуется аккумуляторная батарея GroE емкостью 400 Ач или аккумуляторная батарея OPzS емкостью 1412 Ач. Десятикратное увеличение емкости аккумуляторов OPzS при наличии кратковременной нагрузки с током 570 А обусловлено ограничением допустимой плотности тока пластин аккумуляторов.

Конструктивные особенности аккумуляторов GroE, рассчитанных на работу с кратковременными разрядами высокой интенсивности, определяют меньшую чувствительность к токам кратковременной нагрузки. В рассмотренном случае, наличие кратковременной нагрузки с током 570 А привело к увеличению емкости аккумуляторов GroE в 4,4 раза.

Наличие в СОПТ электромагнитных приводов прямого действия устаревших выключателей среднего и высокого напряжения приводит к необходимости использования дополнительной группы аккумуляторов в батарее для компенсации потерь напряжения в питающих кабелях. Это негативно сказывается на сроке службы аккумуляторов, приводит к необходимости установки отдельного зарядного устройства для дополнительных аккумуляторов. При реконструкции подстанции без замены выключателей, как правило, приходится сохранять существующую схему СОПТ, применять современную батарею с дополнительными аккумуляторами. Замена устаревших

выключателей на современные электрогазовые и вакуумные позволит оптимизировать режим разряда аккумуляторных батарей СОПТ, уменьшить их емкость и полностью отказаться от дополнительной группы аккумуляторов.

Результаты проведенного исследования подтверждают преимущества аккумуляторных батарей типа GroE, по сравнению с батареями OPzS, для СОПТ подстанций и электростанций.

Результаты исследования использованы авторами статьи в процессе разработки стандарта ОАО «ФСК ЕЭС», содержащего методические указания по выбору аккумуляторных батарей, зарядных устройств, кабелей, плавких предохранителей и автоматических выключателей СОПТ подстанций единой национальной энергетической системы. Введение в действие разработанного стандарта позволит учитывать особенности современного электрооборудования, в частности современных аккумуляторов, и принимать корректные проектные решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев Ю.П. Аккумуляторные батареи для систем оперативного постоянного тока подстанций. ЕНЭС // Энергоэксперт. 2009. № 4. С. 24–28.
2. СТО 56947007-29.120.40.041-2010 Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования.
3. Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций: Учеб. для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1990.
4. IEEE 485-2010 – IEEE Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stationary Applications.
5. Правила устройства электроустановок. Изд. 6-е. М.: Энергоатомиздат, 1986.
6. ГОСТ 26881-86. Аккумуляторы свинцово-кислотные. Общие технические условия.
7. Berndt D. Maintenance-Free Batteries: A Handbook on Aqueous Electrolyte Lead-Acid, Nickel / Cadmium, Nickel / Metal Hydride, 2002.
8. BU-501a: Calculating Battery Runtime [Электронный ресурс] URL: http://batteryuniversity.com/learn/article/calculating_the_battery_runtime (дата обращения: 22.06.2015).

Реклама 1/2 полосы
176x116 мм