

Содержание

1. Введение.....	3
2. Формулирование актуальности, цели и задач проекта.....	4
3. Обзор существующих аккумуляторных батарей и способов их заряда.....	5
3.1 Способы заряда батарей	16
3.2 Оценка качества новых аккумуляторных батарей.....	20
3.3 Оценка остаточной емкости батареи.....	24
3.4 Оценка качества новых свинцово-кислотных аккумуляторных батарей...	31
3.5 Методы восстановления батареи.....	35
4. Выбор аккумуляторов для исследований.....	39
5. Исследование свинцово-кислотных АКБ.....	40
5.1 Литий ионные батареи.....	46
5.2 Исследования Li-Ion, LiFePO ₄ и NiMH батарей.....	51
6. Заключение.....	86
7. Список используемой литературы.....	87

Введение

Герметичные свинцово-кислотные батареи широко используются в повседневной жизни, но их зарядка может быть сложным процессом. Зарядка герметичных свинцово-кислотных (SLA) батарей не кажется особенно сложным процессом, но основная часть в зарядки аккумулятора SLA максимизирует срок службы батареи.

Простой заряд постоянным током или постоянным напряжением может помочь в восстановлении заряда батареи, но срок службы батареи прописанный производителем может быть значительно снижен при использовании неинтеллектуальных зарядных устройств.

Для получения максимальной эффективности вашей батареи, приходится использовать интеллектуальное зарядное устройство, которое является не только экономически эффективным, но также лучшим вариантом для окружающей среды.

Прежде чем взглянуть на различные методы зарядки важно понять химию батарею и что происходит во время нормальных циклов зарядки и разрядки.

Как правило, положительные пластины батареи сделаны из диоксида свинца, когда отрицательные плиты из губчатого свинца. В качестве электролита используется обычно водный раствор серной кислоты.

Формулирование актуальности, цели и задач проекта

Актуальность работы. В наше время сложно представить себе жизнь без мобильных устройств. Все это стало возможным благодаря аккумуляторным батареям (АБ) которые используются как источники питания портативных устройств, в виде стартерных батарей в автотранспорте, как источники бесперебойного питания и как аккумуляторы энергии в различных энергетических установках (солнечные и ветровые электростанции). Но где бы батарея не применялась, ее несвоевременный отказ может привести к последствиям разной степени тяжести: начиная от потери информации на ПК до отключения систем жизнеобеспечения. В связи с чем возникает потребность в получении информации о состоянии АКБ для своевременной ее замены или перезаряда. Основным критерием выступает емкость (резервная или номинальная), и важно знать, как метод заряда АКБ способен сказаться на ее емкости.

Цель диссертационной работы – изучить влияние различных способов заряда АКБ на их емкость. Для выполнения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Подбор аккумуляторных батарей как новых, так и прошедших более 50 циклов заряда-разряда.
2. Разработка устройства для определения емкости на батарею при помощи плат Arduino.
3. Разработка универсального зарядного устройства способного заряжать любой типа аккумулятора различными способами.

Обзор существующих аккумуляторных батарей и способов их заряда.

В настоящее время придумано и изготовлено огромное количество различных АКБ, под множество конкретных целей, в которых они используются. Чаще всего используются **Свинцово-кислотные аккумуляторы**, особенно в автомобильной промышленности. Реагентами в них являются диоксид свинца (PbO_2) в качестве положительного полюса и свинец (Pb) в качестве отрицательного, все это погружено в серную кислоту. В свою очередь Свинцовые АКБ подразделяются на свои группы, такие как стартерные, стационарные, тяговые и портативные (герметизированные). Они имеют такие минусы как невысокая удельная энергия и наработку, плохая сохранность заряда, выделение водорода.

Свинцово-кислотные АВ имеют самую низкую плотность энергии ($30 \div 50$) Вт / кг. Максимальный ток нагрузки может достигать $I_{раз} = 5 \cdot I_{20}$ (где I_{20} - ток 20 часов разряда). Батареи этого типа способны работать при температуре окружающей среды от -20 до $+60$ ° С. Они также имеют относительно низкую скорость саморазряда составляющую порядка 5% от номинальной мощности в месяц. Батареи этого типа лучше всего подходят для использования в энергоемких устройствах, где их существенный вес и размер не имеет значения. Они считаются самыми надежными, прочными и не требуют высокой стоимости от производителей химических источников тока. Чаще всего они используются в медицинском оборудовании, кресла-каталки, в аварийных системах освещения и источников бесперебойного питания в автомобильной технике. В нынешнем времени существует три поколения активно используемых аккумуляторных батарей. Первое поколение - это батареи с жидким электролитом открытого или закрытого типа, с номинальной мощностью от 35 до 5300 Ач и жизни ($10 \div 20$) лет. Открытый тип батареи не имеет крышки, и электролит, находящийся в контакте непосредственно с воздухом. Эти батареи требуют частой

заправки дистиллированной воды, и должны эксплуатироваться в хорошо вентилируемом месте. Аккумуляторы закрытого типа имеют крышку со специальными пробками обеспечивая задержку аэрозоля серной кислоты. Через них так же производится заливка электролита и добавления воды. АКБ закрытого типа может быть необслуживаемые, они поставляются заполненными и заряженными. Благодаря конструкции колпачков, что обеспечивает удержание паров воды в виде конденсата, такие батареи требуют долива воды.

Второе поколение - запечатаны гелевые батареи. такие батареи содержат гелеобразный электролит, полученный путем смешивания серной кислоты с загустителем. Гелевые аккумуляторы не требуют технического обслуживания в течение всего срока операция. Тем не менее, они имеют решающее значение для стабильности напряжения зарядного устройства. Нестабильность напряжения заряда не должна превышать 1% от $U_{зар}$. Превышение максимально допустимого напряжения заряда приводит к обильным газообразования и образование полостей незаполненной электролита на границе с электродом.

Третье поколение часто называют запечатанные AGM-батареи. AGM (Absorbed in Glass Mat) - это технология изготовления батарей, в которых электролит абсорбируется в сепараторах из стекловолокна, расположенных между электродами. Этот сепаратор представляет собой пористую систему, в которой Электролит содержит капиллярные силы. Количество электролита

дозируют так, что мелкие поры заполнены и оставались большие для свободной циркуляция газов, выделяющихся. Несмотря на то, что в батареях этот тип значительно меньше, они также имеют важное значение для сстабильность напряжения заряда (лучше, чем 1%)

Никель-кадмиевые аккумуляторы (Ni-Cd). Реагентами в этих АКБ в служит гидроксид никеля и кадмий, электролитом является раствор KOH,

поэтому они носят название щелочные аккумуляторы. Как и свинцово-кислотные никель-кадмиевые аккумуляторы можно поделить на подгруппы: герметичные, ламельные аккумуляторы и с спеченными электродами (без ламельные аккумулятор). Наиболее распространение получили ламельные никель-кадмиевые аккумуляторы, которые характеризуются плоской разрядной кривой, высокими сроками эксплуатации и прочностью. У аккумуляторов со спеченными электродами удельная энергия, скорость разряда выше, они более неприхотливы и способны работать при низких температурах, но дороже, отмечаются эффектом памяти и способностью к тепловому разгону.

Герметичные же в свою очередь характеризуются горизонтальной разрядной кривой, быстрым разрядом и работоспособностью при низких температурах, но они дороже аналогичных герметизированных свинцовых

аккумуляторов и характеризуются эффектом памяти. Такие чаще всего встречаются нами повсеместно как источники питания портативной аппаратуры (сотовых телефонов, магнитофонов, компьютеров и т.д.).

Главным минусом является содержание в них токсичного кадмия.

Никель-кадмиевые батареи применяются уже достаточно долгий срок, однако, обладают низкой плотностью энергии ($45 \div 80$) Вт / кг. Они обладают длительным сроком службы до 1500 циклов заряда / разряда и могут обеспечить высокие пиковые токи разряда.

Следует отметить, что производителям батарей удобно выражать емкость заряда и разряда используя тока заряда для них, как кратное значение емкости. Например, ток 20 А используется для зарядки аккумулятора номинальной емкости $C = 100$ А, может быть выражен как $0,2C$. Тем не менее, такой метод обозначение не является действительным с точки зрения физического измерения значение, так как кратность емкости

батареи выражается не в ампер-часах, а в амперах, как это требуется для текущего измерения. Чтобы решить эту проблему был использован метод, который устанавливает, что ток рекомендуемого заряда, выражается формулой:

$$I_n = \frac{C_n}{t_1}$$

где I_n – рекомендуемый ток (ток n-часового разряда), А; C_n – номинальная емкость, установленная изготовителем, Ач; $t_1 = 1$ – продолжительность разряда, ч.

В этом случае, номинальная мощность - количество электроэнергии $C_n(A)$

указанной изготовителем, который может оказать на батарею при токе разряда

V / n (А) до конечного напряжения U_k (мощность разряда n-час).
Каждым из

типов батарей в соответствии с их значение устанавливается U_k , Для щелочных $U_k = 1$ В на ячейку для свинцово-кислотных - $U_k = 1,75$ В Никель-кадмиевые батареи, как правило, используются в качестве источников Электростанции, биологические и медицинское оборудование, профессиональные видеокамеры и инструменты. Никель-кадмиевые батареи не являются критическими для быстрого режима зарядки в течение $T_{зар.} = 1$ час и полный разряд малыми токами $I_{раз}$. Кроме того, периодическая полная разрядка нужна батареям этого типа. В противном случае, элементы пластин образуют крупные кристаллы, что значительно снижает их емкость (Так называемый "эффект памяти"). Это единственный тип аккумуляторов, способен работать в самых суровых условиях температуры, при $T -40 +60$ ° С Недостатки NiCd АВ используется может включать в себя токсичность

материалов в процессе производства и относительно высокой саморазрядкой до ~ 20% Емкость в месяц

Решением проблемы содержания токсичных веществ являются **Никель-железные аккумуляторы**. Вместо кадмия в них содержится железо. Но из-за выделения водорода при начале заряда аккумуляторы производят только в негерметичном варианте. Но имея свои плюсы у них прослеживаются и свои недостатки, такие как высокий уровень саморазряда, низкая отдача энергии, очень чувствительны к температуре, неспособны работать при $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Применяются в основном в промышленности в качестве тяговых источников питания.

Основным активным материалом отрицательного электрода в **Никель-металлогидридные аккумуляторы (Ni-MH)** является интерметаллид, которые при работе собирают водород, т.е. фактически являясь водородным электродом. Характеристики его схожи с Ni-Cd аккумуляторами, но в удельной емкости и энергии в 1,5-2 раза превосходит, и более того не содержат токсичный кадмий. Имеют герметичное исполнение цилиндрической, призматической и дисковой формы.

В разделе щелочных аккумуляторов так же присутствуют **Никель-цинковые аккумуляторы**, которые в качестве отрицательного электрода имеют цинковый электрод. Они во многом превосходят Ni-Cd аккумуляторы, но ресурс их работы мал, поэтому массового применения не имеют.

Стоит так же отметить **Литий-ионные аккумуляторы (Li-ion)**. Это аккумуляторы в которых в качестве отрицательного электрода используется углеродистый материал, в котором внедряются ионы лития. В качестве положительного электрода обычно выступает оксид кобальта, в который также обратимо внедряются ионы лития. Электролитом является раствор соли лития в неводном растворителе. АКБ имеют высокую удельную энергию, большой ресурс и способны работать при низких температурах. Именно они сейчас выходят на ведущие роли в качестве источников питания.

Литий-ионные имеют очень высокую плотность энергии (110 ÷ 160) Вт / кг. Максимальный ток нагрузки может превышать $I_{раз}=2 \cdot I_5$. Батареи, такого

типа способны работать при температуре окружающей среды от $T -20$ до $+ 60$ ° С. Они также демонстрируют относительно низкую скорость саморазряда около 10% от номинальной мощности в месяц. Тем не менее, это требует строгого соблюдения правил эксплуатации и безопасности. Они лучше

подходит для устройств, требующих большой емкости батарей и в то же время строгих требований к их весу. Используется в ноутбуках и мобильных телефонах. Литий-ионные батареи имеют хорошие характеристики нагрузки и просты в обслуживании. Они не имеют «эффекта памяти», а нет необходимые для выполнения циклов управления и подготовки кадров. Высокое напряжение на ячейке батареи $U = 3,7$ В, позволяет производить перезаряжаемых источников питания, состоящих только из одного элемента. В производстве мощных батареи, состоящих из нескольких элементов, дает очень большое преимущество низкие элементы внутреннего сопротивления. С точки зрения экологической безопасности Литий-ионные аккумуляторы гораздо более дружелюбным, чем АКБ на основе свинца или кадмия.

Тем не менее, такие батареи имеют и недостатки. Они требуют использования схемы защиты, которые ограничивают максимальное напряжение на каждом элементе во время зарядки и предотвращает падение напряжения ниже допустимого значения во время разряда. В дополнение к большинству типов литий-ионных батарей, как правило, стареют. Вне зависимости от того, был ли или не был использован аккумулятор, емкость батареи уменьшается каждый год. Через 2-3 года батареи уже непригодна.

Литий-полимерный АВ представляет собой более дешевый вариант литий-ионных аккумуляторные батареи. Они имеют высокую плотность энергии (100 ÷ 130) Вт / кг. Максимальный ток нагрузки может превышать

$I_{раз} = 2 \cdot I_5$. Батареи этого типа работоспособны только при положительных температурах окружающей среды $T = (0 \div 60) \text{ } ^\circ \text{C}$. Они также демонстрируют относительно низкую скорость саморазряда около 10% от номинальной мощности в месяц. Они могут иметь тонкий корпус и часто используются в мобильных телефонах, смартфонах и планшетах, компьютеры.

Литий-полимерные батареи отличаются от обычных литий-ионных, так как они имеют твердый полимерный электролит сухой, непроводящий электрический ток, но проходящий через ионы. Полимерный электролит заменяет пористый сепаратор пропитанный жидким электролитом. Эти АКБ легче в производстве, более безопасны и имеют удобную геометрию. Литий-полимерный элемент может быть изготовлен толщиной всего 1 мм. Недостатком литиевых полимерных батарей слишком высока внутреннее сопротивление, которое не позволяет обеспечить высокие токи. Большинство батарей используется для питания мобильных телефонов гибридных. В таком сепараторе батареи используется вместо твердого электролита с добавлением геля, который улучшает процессы ионного обмена и снижения внутреннее сопротивление. Эти батареи следует называть - литий-ионные полимерные батареи.

Но рано или поздно, какую бы емкость не имел аккумулятор, накопленном заряду приходит конец и появляется необходимость в восполнении заряда АКБ. Количество различных методов заряда так же велико как и разнообразие самих видов аккумуляторов.

Одним из основных является **метод заряда постоянным током**. Полный заряд аккумулятора осуществляется при подключении к зарядному устройству с постоянной силой тока, имеющие напряжение в $1/10C$ (где C — номинальная емкость АКБ).

Метод является отличным решением благодаря возможности 100% заряда батареи. Уменьшая зарядный ток мы увеличиваем глубину заряда, и наоборот увеличивая его сокращаем время заряда. Но есть свои границы, при слишком маленьком токе время зарядки будет неоправданно большим, и

наоборот при высоком, велика возможность что батарея «закипит». К минусам данного метода относят обильное газовыделение, повышение температуры АКБ, возникает потребность в стабилизации силы тока заряда.

Для борьбы с отрицательными эффектами применяется двухступенчатый режим заряда. В случае со свинцово-кислотными АКБ для начала на 1-й ступени производится заряд током $0,1C$ до момента достижения аккумулятором напряжения $14,4$ В. После продолжается заряд током, меньшим в 2 раза до $16,2$ В. Силу тока следует выбирать при 20-часовом заряде равную $1/20 C$

Вторым из основных методов является **метод заряда при постоянном напряжении**. Его недостатком является то что Аккумулятор заряжается лишь на 90-95% от своей номинальной емкости. Из-за большой силы тока при начале заряда возникает большой нагрев батареи. Исходя из величины напряжения источника тока, ток постепенно уменьшается по сравнению с началом заряда и концу может достигнуть нуля. Обычно напряжение выдерживается в районе 15 В.

Есть множество и нестандартных способов заряда. Один из них **метод Медленного заряда**. При этом методе есть несколько вариантов: заряд полупостоянным током или заряд осуществляемый постоянным током.

При выборе заряда полупостоянным током его начальное значение выбирается примерно равным $1/10 C$. По мере заряда батареи это значение уменьшается. Заряд осуществляется примерно за 15-16 часов. На практике заряд происходит через токозадающий резистор от источника постоянного напряжения. Этот вариант практически безопасен для любого аккумулятора, так как заряд в $1/10 C$ достаточно мал.

При использовании заряда с постоянным током, ток величиной $1/10 C$ выдерживается в течение всего заряда. (Рис.1)

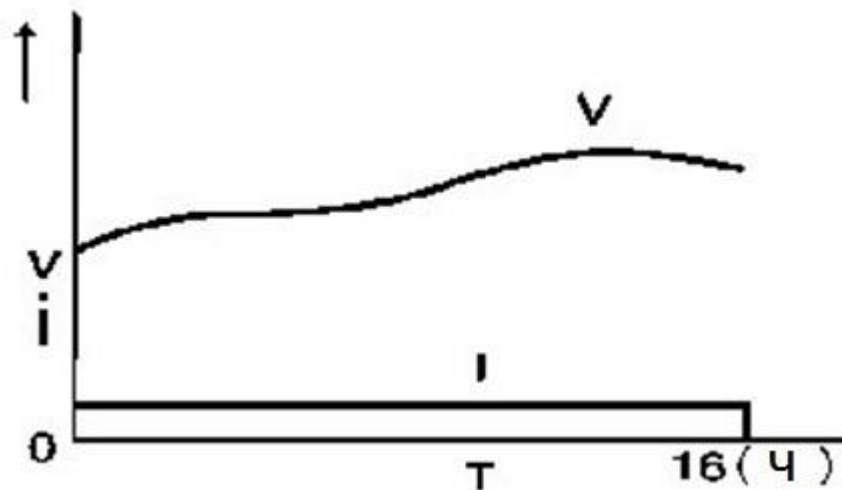


Рисунок 1. Медленный метод заряда NiCd и NiMH аккумуляторов

С помощью этого метода возможно сокращение времени заряда в 2 раза, при помощи увеличения тока до 0,2 С, но при этом нужно ограничить заряд 6-8 часами.

Противоположностью медленного заряда является метод **быстрого заряда**, где уже используется ток от 0,3 до 1,0 С. Но при этом велика вероятность перегрева аккумулятора. Для предотвращения этого и определения момента окончания заряда АКБ, используется термopредохранитель и термодатчик. Термодатчик измеряет температуру батареи, изменение которой являются критерием для прекращения заряда. Дело в том, что при полном заряде, температура батареи резко повышается. И когда она поднимется на 10 градусов Цельсия и более относительно окружающей среды, заряд необходимо остановить, или переключится на медленный заряд. Но так или иначе, при любом методе заряда, если применяются большие токи, необходимо устанавливать предохранительный таймер.

Но самым эффективным и поэтому чаще всего встречающийся метод заряда для сотовых телефонов — это **дельта V заряд**. Вся суть метода заключается в измерении изменений напряжения на клеммах аккумулятора для определения времени остановки заряда.

Если измерять напряжение на выводах аккумулятора во время заряда постоянным током, то напряжение поначалу медленно повышается, а в момент полного заряда будет уменьшаться. Величина уменьшения примерно 15-30 мВ для NiCd и 5-10 для NiMH, но четко прослеживается. Этот маленький спад напряжения и принимается за критерий для остановки заряда. Более того, этот метод почти всегда требует измерения температуры, что является дополнительным критерием оценки степени заряда АКБ.

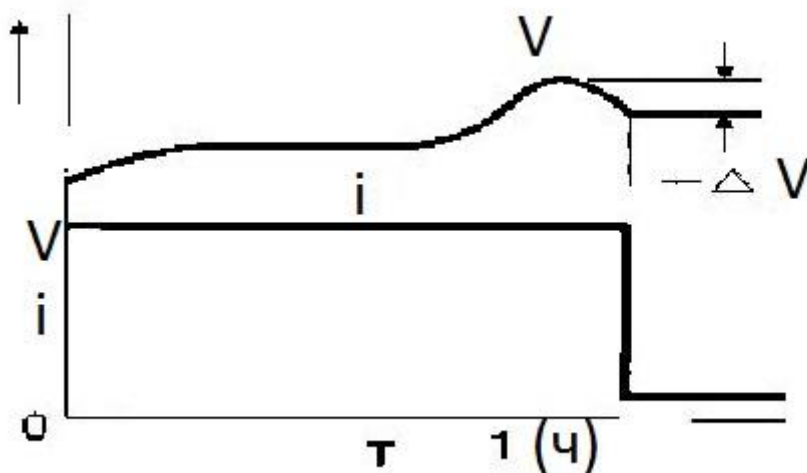


Рисунок 2. Метод дельта V заряда на примере NiCd и NiMH аккумуляторов

На рис.2 показан график заряда с током в 1 С . После полного заряда, ток заряда уменьшается до $1/30 \dots 1/50\text{ С}$ для компенсации явления саморазряда аккумулятора.

В настоящее время существуют электронные схемы, спроектированные специально для метода дельта V заряда. Например MAX712 и MAX713. Выполнение заряда по этому методу труднее и дороже, чем другие, но окупается хорошо воспроизводимыми результатами. Так же следует заметить, что в батарее с хотя бы одним непригодным элементом из

цепочки последовательно соединенных, метод дельта V заряда может не функционировать и привести к поломке остальных элементов.

Другой проблемой, возникающей при заряде по этому методу, заключается в том, что при использовании в автомобилях электрические помехи препятствуют обнаружению дельта V , и телефоны в основном управляют зарядом по температуре. Это может быть причиной повреждения батареи, поскольку в автомобиле имеют место быть многократные запуски и остановки двигателя. Всякий раз, когда зажигание выключается на некоторое время и затем включается обратно, происходит новый цикл заряда.

Батареи существуют почти в каждом портативном устройстве, и зарядка батарей происходит практически каждый день. Глобальный доход от батарей достиг \$ 47,5 млрд в 2009 году, и уже 2015 достиг отметки в \$ 74 млрд. Правильное использование батареи имеет важное значение для их производительности и влияет на срок службы.

Программируемое зарядное устройство отличается от других зарядных устройств из-за чрезвычайная гибкость заряда, что позволяет заряжать батареи различных напряжений и типов с различными токами заряда.

История батареи

Батареи как таковые существуют с 1800-х годов с момента, когда Алессандро Вольта делает открытие, которые приводит к изобретению первого так называемого «вольтового столба». Некоторые полагают, что батареи существовали еще до этого открытия за 2000 лет до Вольта.

Основы знаний об аккумуляторах

Батареи хранят электрическую энергию в химической форме, которая затем подается на питание устройства или цепи. Батареи являются первичными (не перезаряжаемые) или вторичный (перезаряжаемые).

Удельная энергия является способностью батареи держать энергию в ватт-часов на килограмм

(Втч / кг), а удельная мощность это способность батареи для подачи мощности в ваттах на килограмм (Вт / кг). Более высокая удельная энергия означает более длительное использование по времени для использования данной батареи в то время как удельная мощность означает, что батарея может доставить больше мощности или тока.

Способы заряда батарей

В этом разделе описывается, как заряжать различные батареи, чтобы обеспечить все требования для зарядки различных аккумуляторов. Для начала необходимо проверить правильность спецификации батареи в паспорте батареи перед зарядкой любого аккумулятора.

Скорость заряда или "С-скорость" определяет скорость зарядки батареи или разряда по сравнению с емкостью батареи. Она определяет, как долго батарея принимает ток зарядки или разряда. Например, 1С разряд батареи емкостью 1Ah производит ток в 1А в течение 1 часа. Разрядка той же батареи на 0.5С будет производить в два раза меньшим током, 0.5А, в течении 2 часов. Разрядка той же батареи на 2С будет производить в два раза большим током, 2А, за 30 минут. Тарификация работает точно так же в обратном направлении, что определяет время, необходимое для достижения полного заряда при заданном токе. Например, батарея с номинальной вместимостью 1Ah требует заряда 1А в течение 1 часа для 1С, 0,5А в течение 2 часов для 0.5С и 2А,30 минут на 2С. Каждая батарея имеет уникальный профиль заряда в зависимости от химии, напряжения, и емкости.

Перезаряд

Перезарядка Li-Ion батарей очень опасна, потому что батарея может взорваться. После того, как аккумулятор полностью заряжен, ток заряда должен прекратиться. Батарея должна оставаться на уровне 4.20 В. Если батарея остается на уровне или ниже 1,5 В более чем на неделю, эксперты

рекомендуют пользователям не заряжать батарею. Аккумулятор может стать нестабильным, и в случае зарядки может привести к перегреву или другим проблемам.

Длительная зарядка напряжением выше 4.30V образует покрытие из металлического лития на аноде, в то время как материал катода начинает окисляться, теряет устойчивость и производит углекислый газ (CO₂).

Давление начинает расти, а продолжающемся заряде, устройство прерывания тока, которое отвечает за безопасность батареи разъединяет ток при 1,380kPa (200PSI). Но и после этого давление может продолжать расти и уже при 3,450kPa (500psi) батарея взрывается и может случить причиной возгорания.

Свинцово-кислотный

Свинцово-кислотные аккумуляторы имеют номинальное напряжение в 12В или около 2.0 В на ячейку. Как правило они состоят из шести ячеек, расположенных в последовательном соединении. Напряжение заряда составляет от 2.30 В до 2.45 В на ячейку. Выбор слишком низкого порогового напряжения может вызвать сульфацию на отрицательной пластине, но установка высокого порогового напряжения приводит к коррозии решетки на положительной пластине, которая может быть источником газыделения. Выбирая различные режимы заряда, пользователь выбирает пороговое напряжение и, таким образом, выбирает нужный компромисс.

Этапы заряда



Рисунок 3. Зависимость напряжения и тока от времени при заряде Li-ion аккумулятора

Этап 1

На этой стадии, известной как постоянный ток заряда, напряжение повышается до своего порогового значения в 4.20 В. Это один из главных этапов так как относится к фактическому заряду батареи. В этой стадии, батарея заряжается до 70% в примерно от 5 до 8 часов. После этого следует следующая ступень

Этап 2

На этой стадии, известной как стадия насыщения, ток уменьшается при том что напряжение остается неизменным. За этот этап аккумулятор заряжается на оставшиеся 30% около 7 -10 часов. Если зарядное устройство пропускает этот этап, батарея может в конечном счете потерять способность полностью восстанавливать полный заряд за счет образования сульфитации, что снижает производительность и срок службы батареи. После того, как батарея полностью заряжается, этот этап не должен оставаться при напряжении «дозаряда» в течение более 48 часов, во избежание повреждения батареи.

Этап 3

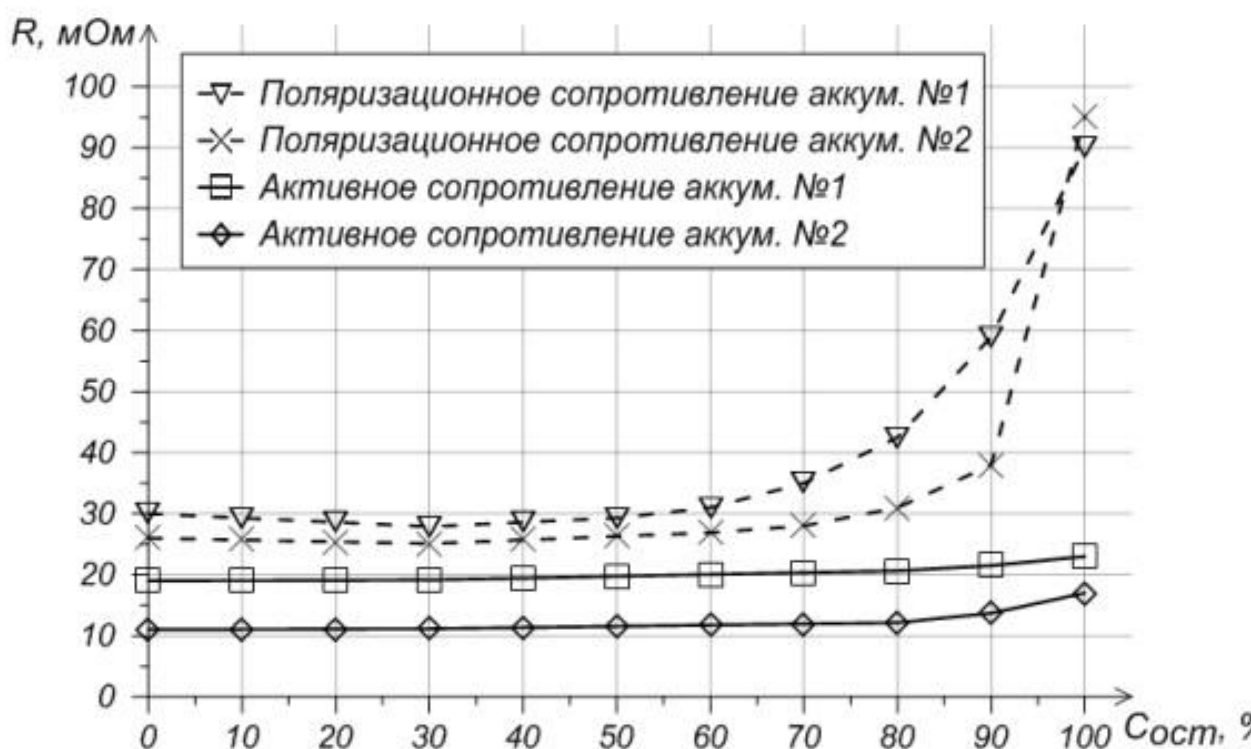
На этой стадии, известной как заряд малым током, ток заряда компенсирует саморазряд, так как напряжение батареи немного уменьшается с течением времени. Этот этап помогает держать аккумулятор при полной зарядке. Рекомендуемое напряжение с плавающей точкой для большинства аккумуляторов является 2.25 В. Производитель рекомендует понижать ток подзаряда, если температура окружающей среды выше 29 ° C (85 ° F) [1]. Батарея достигает полной зарядки, когда ток падает до заранее определенного уровня или когда достигает 3% от номинального тока батареи. Этап 3 держит батарею при полной зарядке после того, как уже достигается полного заряда. Свинцово-кислотные батареи всегда должны храниться с зарядом и зарядное устройство следует применять на позарядку, чтобы предотвратить напряжение от падения ниже 2.10 В на ячейку.

Батареи на основе никеля имеют уникальный профиль заряда в том, что они не имеют конкретных этапов постоянного тока или постоянного напряжения, как на Li-Ion или Свинцово-кислотные батареях. Эти батареи также требуют определенного количества циклов заряда / разряда до достижения оптимального уровня. Число циклов зависит от качества батареи. После достижения пика емкость, как правило, от 100 до 300 циклов, производительность начинает ухудшаться с каждым циклом зарядки / разрядки.

Новые NiCd аккумуляторы следует заряжать медленно, около 0.1C, от 16 до 24 часов перед использованием в порядке чтобы привести все ячейки аккумуляторной батареи к равному уровню заряда. При хранении аккумулятора на долговременный период времени, клетки могли саморазрядится при различных скоростях в результате чего в электролите произошли перемещения в нижней части ячейки. Первоначальный медленный заряд помогает перераспределить электролит для устранения сухих пятен на сепараторе. Многие перезаряжаемые элементы NiCd имеют безопасные вентиляционные отверстия, которые открываются в 1,000-

1,400kPa (150-200psi), чтобы освободить избыточное давление, в случае неправильной зарядки. Это высвобождает давление через закрывающийся вентиляционное отверстие не вызывая никаких повреждений, но некоторый электролита, ускользает и уплотнение может начать протекать, что создает белый порошок в вентиляционном отверстии. После многократных выбросов в атмосферу, клетка не высыхает и больше не сохраняет заряд. Следует обратить внимание, что удаление воздуха является последним средством обеспечения безопасности и никогда не должно происходить при правильной зарядки

Оценка качества новых аккумуляторных батарей



Первая проблема, которая возникает при выборе источников тока является проблема оценить качество новой батареи или иного производителя. Как указанные значения напряжения или рабочее напряжение щелочной Ураб батареи с неизвестной историей не являются надежными диагностическими параметрами. В связи с этим, в качестве рабочего параметра диагноз этого типа батареи вы должны использовать внутреннее сопротивление тока

источника. Для исследования возможности оценки качества продукции осуществляется измерения внутреннего сопротивления цилиндрического никель-кадмиевых и Никель-металлогидридные аккумуляторы. В исследовании приняли участие размер AA батареи ($D = 15 \text{ мм}$, $H = 50 \text{ мм}$). На рисунке 4 и 5 перечислены зависимости от активного и поляризационного сопротивления остаточной стоимости емкости в результате измерений .

Рис 4. Зависимость сопротивлений от значений остаточной емкости Ni-Cd аккумуляторов

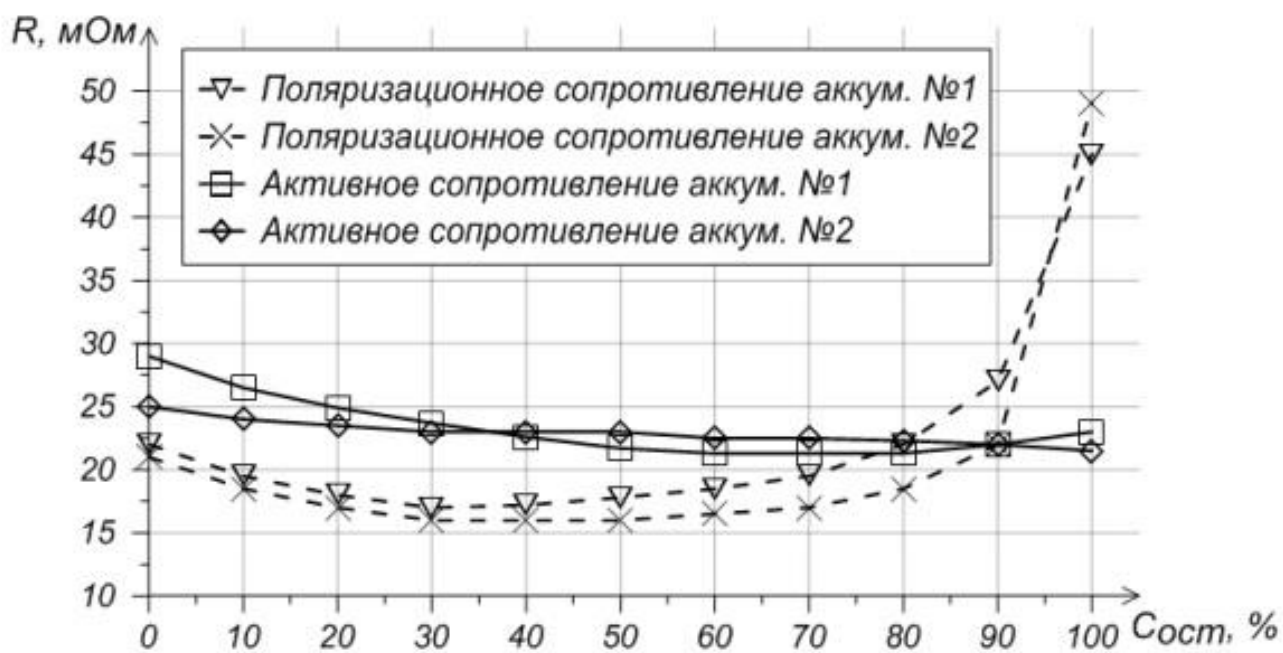


Рис 5. Зависимость сопротивлений от значения остаточной емкости Ni-MH аккумуляторов

Измерения производится с помощью специализированного тестера методом постоянного тока. Токи первой и второй ступеней анализатора выбранных в соответствии с процедурой, регулируемой государственными стандартами и были $I_1 = I_2 = 350 \text{ мА}$, продолжительность каждого теста разрядного тока был $\tau_1 = \tau_2 = 10$ и 3 , соответственно . Как видно на рис. 4 в зависимости от остаточной емкости сопротивление никель-кадмиевых

батарей с уменьшением оставшейся емкости не значительно увеличилось. Немного больше чувствительности к изменению состояния наблюдается только при исчерпании 80% мощности. Как видно из рис. 5 батареи Ni-MH в заряженном состоянии имеют более высокое сопротивление, которое связано с некоторыми испарением электролита и сепарации газа во время зарядки. Зависимости внутреннего сопротивления от оставшейся емкости для батарей данного типа также плохо отслеживаются. Результатом является то, что оценка остаточной емкости для активное сопротивление щелочных батарей не возможна. Как видно из рис. 4 и 5, сопротивление поляризации R_{pol} Ni-Cd и Ni-MH батареи является более чувствительным параметром, но зависимость от остаточной емкости отчетливо наблюдается только при истощение 50-90% емкости батареи.

В дополнение к значению остаточной мощности сопротивления под влиянием плотности электродного узла и количества электролита. Особенно большой параметр распространения R_a происходит в призматических батареях ручной сборки. На рис. 6 показана зависимость напряжения того же типа никель-кадмиевых батарей, ручной сборки с помощью их активного Сопротивление при высоких токах

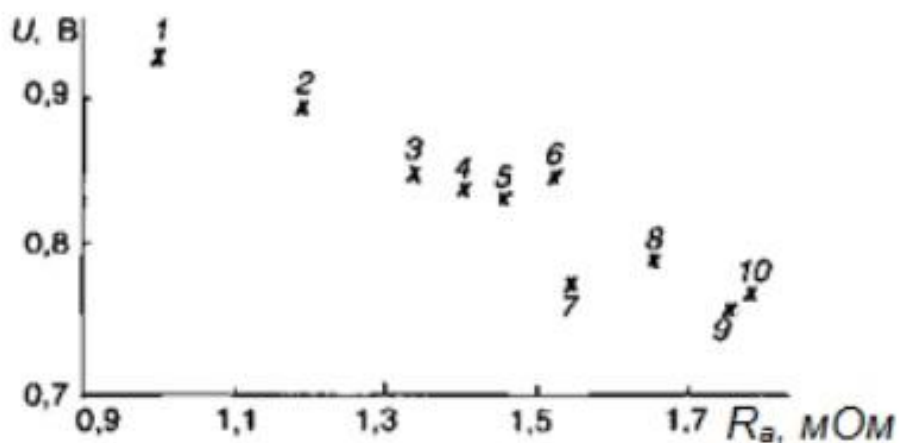


Рис. 6 Зависимость напряжения никель-кадмиевых аккумуляторов от активного сопротивления R_a при больших токах разряда

В тесте собраны различные типы батареи НГК-30С емкостью 30 А/ч ранее заряженные на 50%. Значения напряжения измеренные в момент нагрузки от батареи ток 150 А ($5 \cdot I_5$). Из рис. 6 следует, что различие в сопротивлении с тем же типом батарей большие токи разряда приводят к разбросу напряжения батареи. В сборе таких батарей будет зависеть от отдельных аккумуляторов на которые придется дополнительный повышенный износ, в качестве сильноточного разряда их напряжение будет опускаться ниже минимального значения для них. Влияние электролита дозы сопротивления герметичных батарей

иллюстрируются зависимости от сопротивления остаточной емкости обоих типов аккумуляторов (обычные и модифицированные) Тип батареи НГК-90с

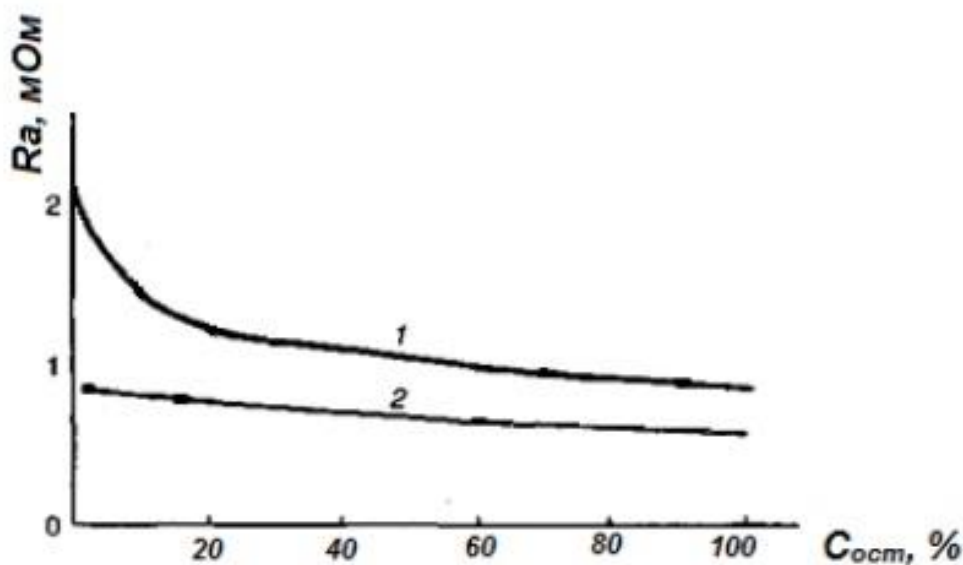


Рис 7. Зависимость внутреннего активного сопротивления аккумуляторов НКСК-90С от остаточной емкости

На рисунке 7 показано, что сопротивление стандартных батарей (1) выше, чем модифицированных (2). Кроме того, зависимость сопротивления модифицируется остаточной емкостью батареи имеет линейную в отличие от характера зависимости получены при стандартных (1) батареях. Модифицированная партия имела отрицательный электрод с улучшенной газопоглощением, что позволило увеличить количество заполняющего электролита на 10%. Это, в свою очередь, дало меньшее падение сопротивления и большая однородность продукта .

Оценка остаточной емкости батареи

Из-за различных зависимостей сопротивления Ni-Cd и Ni-MH состояние батареи с оставшейся емкостью не представляется возможным определить универсальным методом оценки состояния для всех щелочных источников тока в параметре внутреннего сопротивление. Некоторые перспективы появляются из анализа характеристик импеданса батарей в широком диапазоне частот. На рис. 8 показана схема импеданса, полученного на отечественном аккумуляторе емкостью 30 Ач с различной остаточной емкостью. Измерения производительности проводились на частотах тестовых сигналов в диапазоне от 1000 Гц до 0,1.

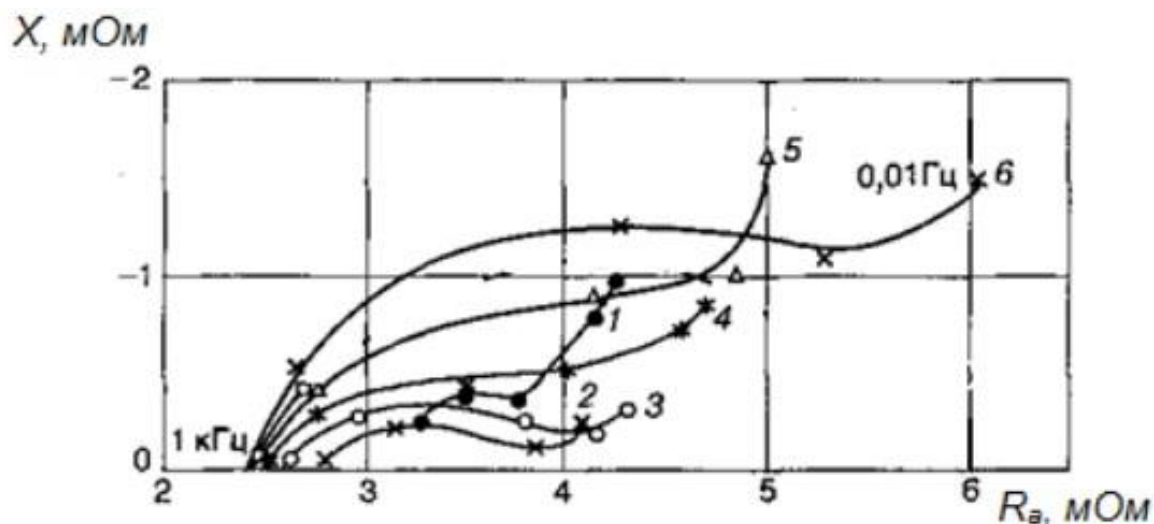


Рис. 8 Диаграммы импеданса Ni-Cd аккумулятора емкостью 30 Ач при разной остаточной емкости

На рис. 8 цифры обозначают соответствующие диаграммы импеданса разной остаточной емкости. Таким образом, на рис. 8 позиция 1 обозначает батареи зависимость остаточной емкости с $C = 7\%$; под номером 2 - $C = 30\%$; 3 - $\text{Комп} = 70\%$; 4 - $C = 80\%$; 5 - $C = 95\%$; 6 - $C = 100\%$. Рис. 8 показывает, что в пределах заряда приблизительно от 15 до 95% активного вещества сопротивление R_a (ордината диаграмма точка пересечения импеданса) мало меняется. Тем не менее, сопротивление переноса заряда R_0 (диаметр "полукруг") заметно возрастает. Таким образом, параметр сопротивления R_0 имеет прямую зависимость от остаточной мощности и может быть использованы для оценки этой характеристики. Аналогичные результаты наблюдаемой в ходе испытания никель-кадмиевых герметизируют и вентилируемым аккумулятор. Характерные изменения в диаграммах импеданса все равно, Они отличаются только в полукруге высокого диаметра.

Полное сопротивление схемы никель-металлогидридных батарей менее изучены. Они похожи на диаграммы никель-кадмиевых аккумулятор, но стабильная зависимость от параметра R_0 остаточной емкости можно

установить только после циклов 3-5 разряда / заряда, в котором параметр R_0 уменьшается. Сходство этих диаграмм батареи импеданса электрохимической системы из-за того, что они имеют один и тот же оксидно-никелевый электрод. Щелочные батареи сконструированы таким образом, что емкость положительного электрода несколько меньше, чем отрицательного ($C / C_{+} > 1$). Таким образом, блок питания мощностью обычно ограничена мощностью положительным Оксидно-никеля электродом, который определяет форму ее диаграммы импеданса. Импеданс отрицательных электродов электрохимических и те же системы во всем диапазоне (от 0 до 100%) от оставшейся емкости. Поскольку длительность внутренних процедур измерения сопротивление увеличивается с уменьшением частоты (для 2-3 регистрации тест синусоида сигнала на частоте 0,01 Гц составляет ~ 5 минут) исследователи предпочитают измерять этот параметр при фиксированной частоте. Описаны параметры изучения Ni-Cd емкость батареи 4 Ач, осуществляется с помощью моста переменного тока, что позволило измерить на частотах от 10 до 30 Гц. На рис. 9 показано в зависимости от разности фаз угла ϕ между текущими значениями тестового сигнала, и напряжение состояния заряда. Фазовый сдвиг обусловлен наличием емкостных и индуктивной составляющей импеданса батареи.

зависимости

измеренная на частотах сигналов трех тестов: 10 Гц; 20 Гц; 30 Гц. Рис. 9 показывает, что для каждой из представленных зависимостей угла Разность фаз ϕ увеличивается во время разряда (составитель $\rightarrow 0$) батареи. В соответствии с рис. 9 (а) изменение емкости $C_{\text{смп}}$ 10 соответствует 90% разность фаз $\Delta\phi$ изменение угла, измеренная при частоте 10 Гц, только 0,015 рад. В то же время, как показано на рис. 9 (б), при измерении угла разности фаз на частоте 30 Гц, в зависимости от чувствительности возрастает

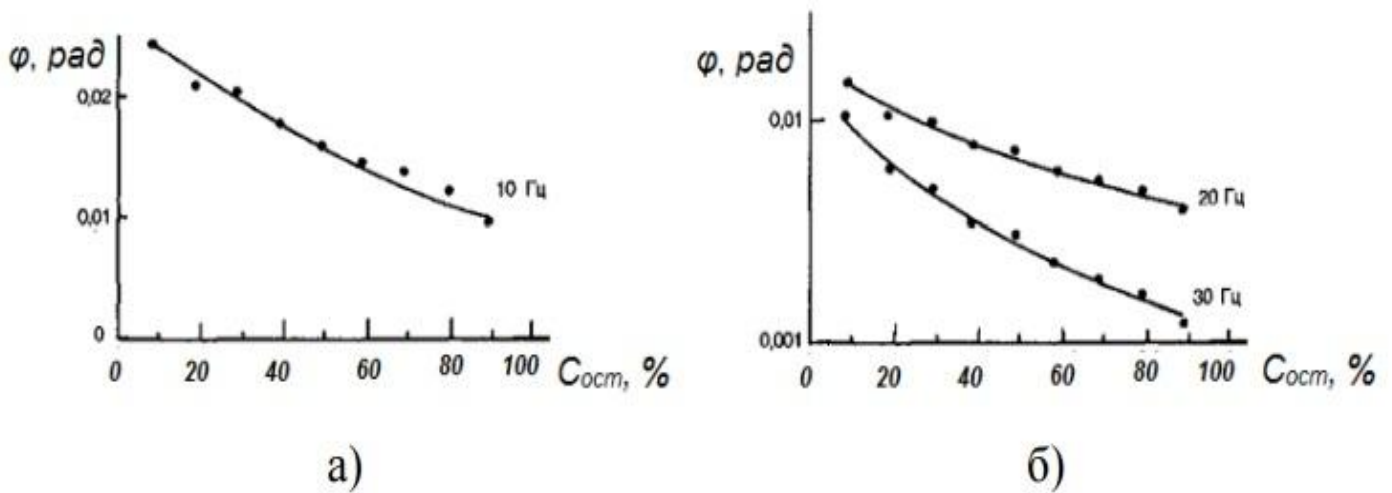


Рис. 9 Зависимости угла разности фаз φ тока и напряжения тестового сигнала от остаточной емкости $C_{ост}$

К тому же изменению значения остаточной емкости $C_{ост}$ от 10 до 90% соответствует почти кратное изменение угла сдвига фаз φ . Это может говорить о хороших диагностических свойствах параметра, полученного на частоте 30 Гц. Угол разности фаз в качестве диагностического параметра для никель- кадмиевых аккумуляторов емкостью 1,8-2 Ач рассматривался в таблице. Однако там было показано, что угол разности фаз φ почти линейно меняется на 5 градусов лишь в диапазоне заряженности от 0 до 40%. В остальном диапазоне от 40 до 100% значение угла разности фаз φ остается неизменным. Большая часть исследователей сходятся на мнении, что в зависимости от величины остаточной емкости более всего меняются параметры импеданса в области частот ниже 0,01 Гц, поясняя это тем, что на этой частоте тестового сигнала на значение импеданса оказывает влияние процессы диффузии заряженных частиц, отражающие текущее состояние аккумулятора. В значение остаточной емкости аккумуляторов емкостью 23

Ач Предлагается по определять изменению реактивной составляющей полного сопротивления, измеренного на частоте 0,4 Гц. Рис. 10 иллюстрирует зависимость этого параметра от значения остаточной емкости. Зависимость получена усреднением значений параметров 6 аккумуляторов.

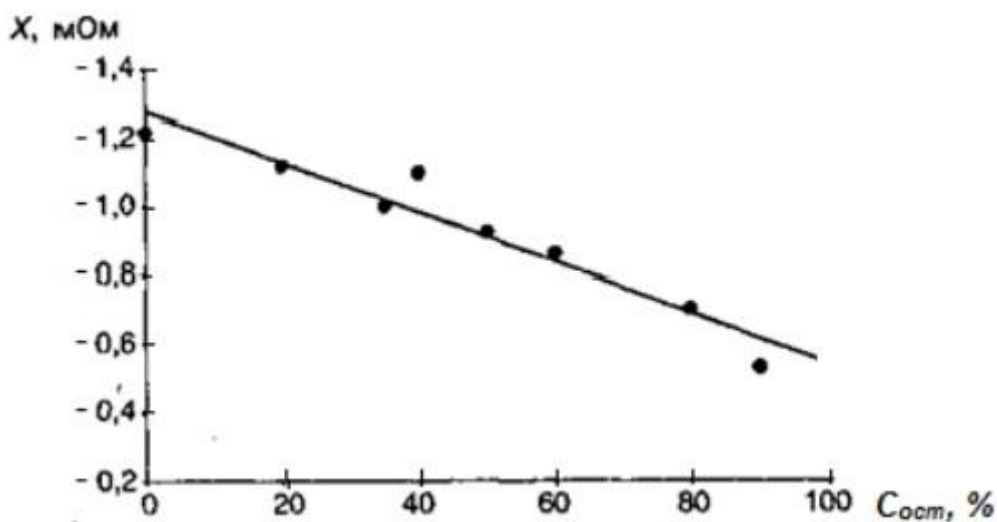


Рис. 10 Зависимость реактивного сопротивления от остаточной емкости аккумулятора

Рис. 10 показывает, что связь может быть описана достаточно хорошо линейным уравнением во всем диапазоне остаточной мощности от 0 до 100%. Для больших батарей потенциала в оценке состояния заряда обеспечить лучший модуль измерения импеданса разрешения диапазон частот. В процессе зарядки или разрядки при смене отношение индуктивных и емкостных компонентов сдвинуты на минимальную единицу сопротивление. Рис. 11 показывает зависимость частоты $F \pm$, в результате чего импеданс Z Он принимает минимальное значение Z_{min} , остаточной емкости батареи. Зависимости полученные на никель-кадмиевые батареи FNC-T 204N компании Хоппеке емкость 46 Ah.

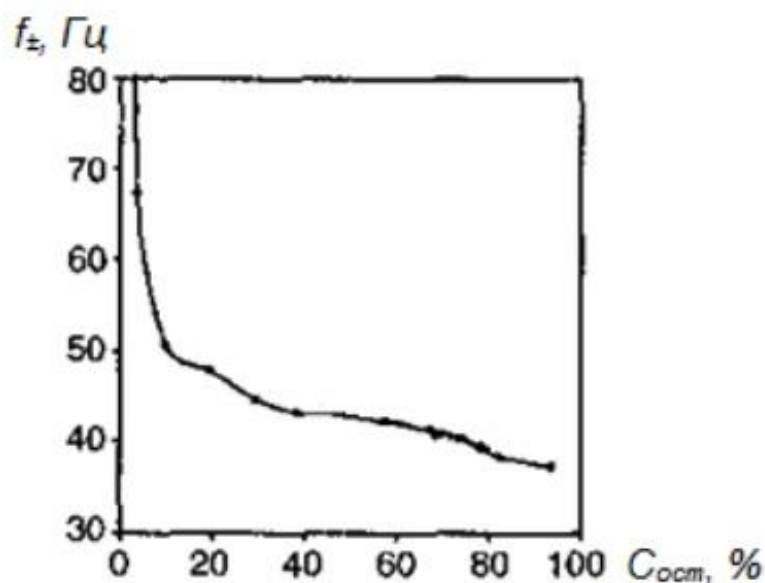


Рис. 11 Усредненная зависимость частоты f_{\pm} Ni-Cd аккумуляторов от величины остаточной емкости $C_{ост}$

Рис.11 показывает, что зависимость частоты $F \pm$ остаточных значений мощности для никель-кадмиевых батарей может быть описана гиперболической функцией. Тем не менее, если рассматривать участок зависимости соответствующих остаточной емкости 10 до 90%, она может быть описана линейной функцией, что может указывать на диагностические свойства параметра $e \pm$. В работах для оценки остаточной емкости потенциала авторы предлагают для измерения бросков тока, протекающие через аккумулятор при подаче тестового импульса напряжения постоянного тока. в соответствии с источниками последовательно занимаемыми 6 импульсов с интервалом 60 секунд. Каждый последующий импульс на 50 мВ больше, чем предыдущий. Обработка текущее время зависимость, полученная каждым из 6 испытательных импульсов авторы получили зависимость текущих значений числа тестового импульса. В как диагностический метод использует значение параметра одного из коэффициенты уравнения, описывающие эти отношения. По заверениям

авторов, значение коэффициента этого уравнения коррелирует с величиной остаточной емкости батареи, коэффициент корреляции этого принимает значения 0,5 0,8 для различных батарей.

Оценка качества новых свинцово-кислотных аккумуляторных батарей

Одной из основных характеристик свинцово-кислотных источников – это напряжение на них при разомкнутой цепи. Значение этого параметра зависит от концентрации (плотности) электролита. НРЦ эти источники тока значительно изменяется в процессе разряда в результате разбавления электролита. Небольшое количество электролита, например, в герметичных батареях приводит к увеличению влияния на степень его характеристики изменяются НРЦ. На производстве, обеспечить контроль всего производственного процесса довольно сложно. Поэтому измерение напряжения разомкнутой цепи готовых полностью заряженных источников питания или регистрации изменений в процессе разряда может помочь в оценке качества продукции.

При сборке батарей большого напряжения, например, для источника бесперебойного питания от стандартных батареек или отдельных АКБ возникают проблемы качества отдельной батареи. При производстве электрических характеристик источников тока имеют значительный разброс. Поскольку такие батареи, как правило, работают в буферном режиме и приспособлен к длительному перезаряду, предполагается, что во время заряда батареи с разной степенью были заряжены на одном уровне.

Тем не менее, в стационарном состоянии напряжения питания компоненты батареи высокого напряжения могут существенно различаться. Когда осмотр батарей из двух параллельных цепей по 180 батарей после работы в буферном режиме (напряжение заряда 2,38 В / батареи) фактическое изменение напряжения в группе произвольно выбранных 230 батарей было 170 мВ (со стандартным отклонением в диапазоне ± 33 мВ). Разброс характеристики батарей приводит к ускоренному старению системы: постепенной коррозии положительных электродов, перезаряда

отрицательного электрода. В работах исследовали саморазряда батареи в течение 2-х месяцев хранения после полной зарядки. Результаты показали, что 10% потерь мощности соответствует изменению напряжению разомкнутой цепи параметров батареи 20 мВ. То есть, во время периодического мониторинга НРЦ АКБ напряжения с момента, в котором АКБ полностью заряжен, можно оценить величину его остаточной емкости. Другой важной характеристикой источников тока - их внутреннее сопротивление, которое определяет уровень рабочего напряжения нагрузки. В соответствии с государственными стандартами Российской Федерации сопротивление свинцово-кислотных источников питания определяется по формуле:

$$R_i = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1}$$

где I_1 и I_2 для свинцово-кислотных источников тока принимают значения $(4 \div 6)I_{10}$ и $(20 \div 40)I_{10}$ соответственно (I_{10} – ток десятичасового разряда). Напряжение U_1 регистрируется через 20 с после начала протекания I_1 , а U_2 - через 5 с протекания тока I_2 .

Разброс устойчивости новых батарей, как правило, малы и не дает реальную возможность сортировать их. Более точную картину состояния свинцово-кислотных источников энергии может дать анализ их диаграмм импеданса в диапазоне частот от нескольких сотен до нескольких герц. В работе представлен ряд графиков импеданса индивидуальной емкости аккумулятора 7,5 Ач, которые были выбраны из 12-вольтовой батареи в ранее признанного качества (А) (рис. 12) и низкого качества (В и С) (рис. 13, 14).

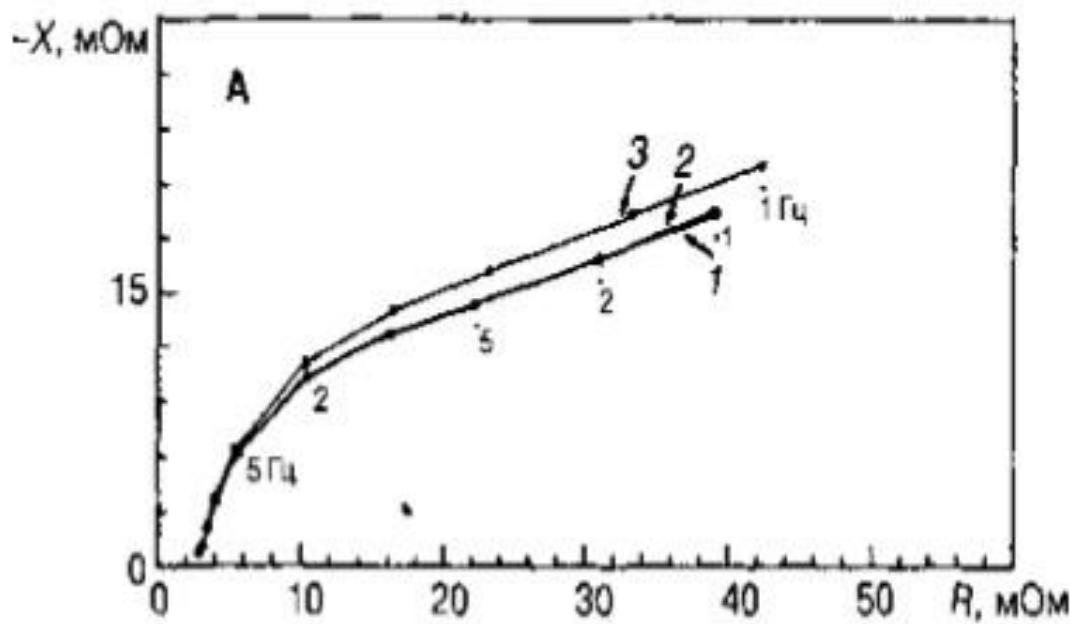


Рис. 12 Диаграммы импеданса заряженного аккумулятора из качественной батареи (А) после хранения в течение: 1 – 1, 2 – 5 и 3 – 20 дней

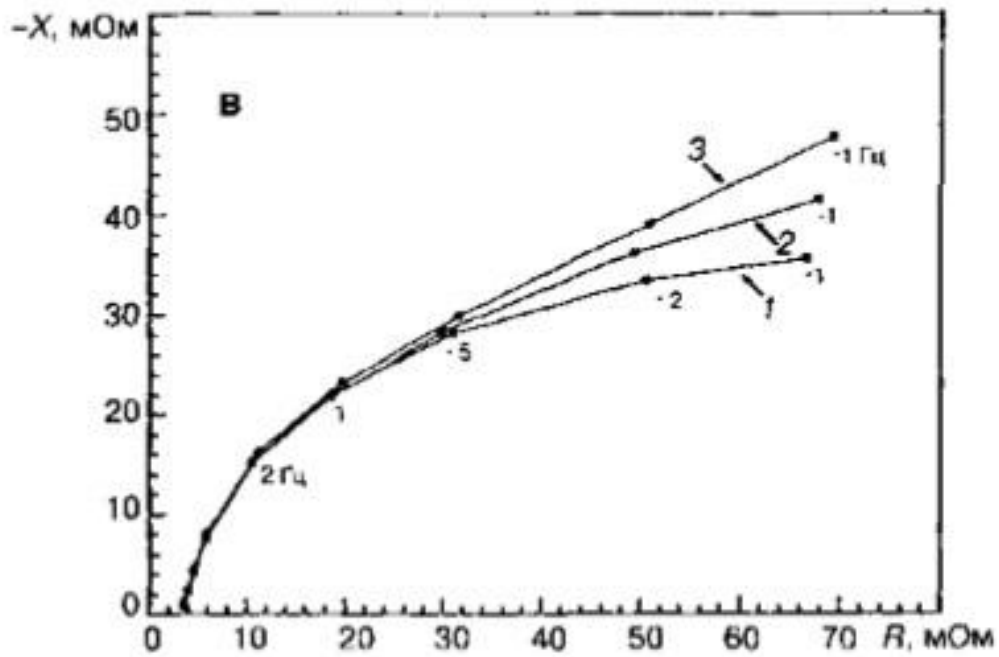


Рис. 13. Диаграммы импеданса заряженного аккумулятора из некачественной батареи (В) после хранения в течение: 1 – 1, 2 – 5 и 3 – 20 дней

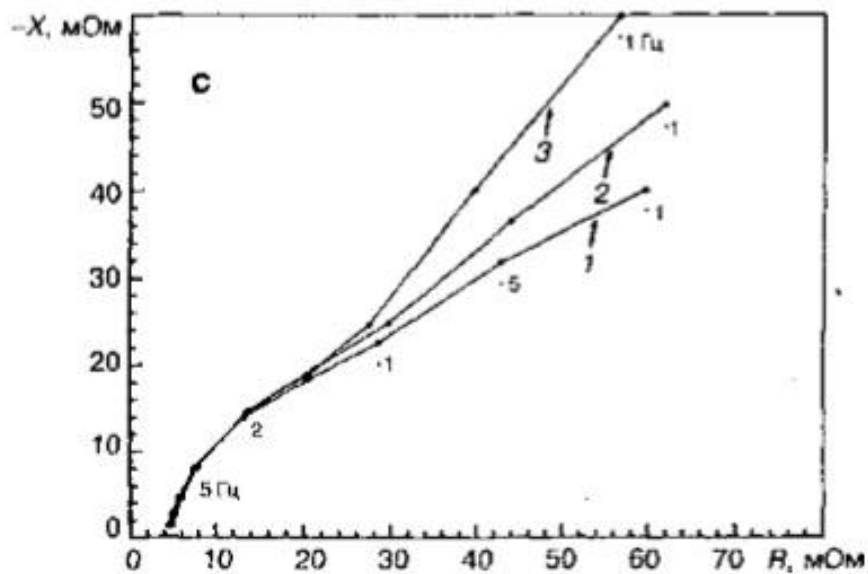


Рис. 14. Диаграммы импеданса заряженного аккумулятора из некачественной батареи (С) после хранения в течение: 1 – 1, 2 – 5 и 3 – 20 дней

В таблице 1 приведены усредненные параметры этих аккумуляторов качественной (А) и некачественных (В и С).

Состояние батареи	$U_{НРЦ}$, В	Импеданс при 1 кГц, мОм	Емкость при токе разряда $1 \cdot I_5$, Ач
Качественная (А)	$2,17 \pm 0,02$	$2,3 \pm 0,2$	$9 \pm 0,5$
Некачественная (В)	$2,19 \pm 0,03$	$3,1 \pm 0,5$	$7 \pm 1,0$
Некачественная (С)	$2,19 \pm 0,03$	$4,3 \pm 0,7$	$3 \pm 1,4$

Из рис. 12 видно, что хранение высокого качества работы от батарей (А) не приводит к изменению графика на всем диапазоне частот. В свою очередь, схема батареи В (рис. 13), в котором контейнер только на 7% ниже номинала (7,5 Ah) (табл. 1), на частотах ниже 5 Гц расходятся с увеличением времени хранения. батареи диаграммы импеданса С (рис. 14), емкость которого составляет лишь 40% , имеют еще большее несоответствие. Таким образом, для оценки качества источника тока свинцово-кислотных могут быть использованы для анализа изменить импеданс частотой 1 Гц в течение 2-3 недель после накопления заряда.

Методы восстановления батареи

При использовании батареи часто возникают обнаруженные дефекты или дефекты, которые могут быть легко устранены. Во время работы происходит иногда увеличенный саморазряд батареи (более 1% в день). Ее причины включают наличие вредных примесей в электролите, загрязнение поверхности батареи, хранения электролита батареи при повышенной температуре, а также наличие короткого замыкания через сепаратор или боковые края пластин. Проливы тело электролита АВ необходимо промыть

водой. Для свинцово-кислотной батареи электролитом, как желательно, чтобы нейтрализовать серную кислоту с кальцинированной соды или 10% раствором аммиака. Для удаления вредных примесей из электролита он заменяется после глубокого разряда АБ. Поскольку большая часть электролита в порах активной массы и сепаратора часто выполняются многократная промывка дистиллированной водой блоков электродов. Короткое замыкание может быть восстановлено путем замены сепаратора, удаление осадка и механическое удаление губки свинцовых кромок пластин свинцово-кислотных АКБ.

При эксплуатации АКБ уровень электролита свинцово-кислотных батарей изменяется непрерывно. Он уменьшается в разрядах (особенно в глубоких), когда температура падает и долговечная перезарядка в результате электролитического разложения воды. В результате, верхние края пластин могут быть обнажены, что приводит к ускорению процесса сульфатирования. Чтобы предотвратить это явление, долив дистиллированной водой должен регулярно проводиться. При подключении батареи АВ иногда бывают случаи индивидуальной полярности батареи. Это происходит из-за быстрого саморазряда отдельных батарей. Во время разряда батареи конечного напряжения этих батарей достигается быстрее и дальше разряда приводит к изменению их полярности и последующего отказа. Для того, чтобы предотвратить разворот необходимо провести дополнительный заряд отсталых элементов. В противном случае следует заменить неисправные компоненты.

Тем не менее, большинство методов ремонта АКБ пригодны только для обслуживания, негерметичных батарей. Необслуживаемые аккумуляторы, когда эти недостатки становятся непригодными для ремонта.

Одним из основных факторов, ограничивающих срок службы свинцово-кислотных батарей является необратимым сульфатация

отрицательного электрода. На сегодняшний день накоплен достаточный опыт восстановления АКБ после длительного бездействия.

Реверсивный зарядный ток является одним из способов предотвращения сульфатации и восстановления работоспособности сульфатированных электродов. Реверсивный ток - переменный ток с различной амплитудой и длительностью импульсов обеих полярностей для каждого периода поездки. Соответственно, аккумулятор заряжается и разряжается частично за каждый период повторения импульсов. В соответствии с теорией электрохимических процессов, обращающих ток заряда аккумулятора позволяет контролировать реакции восстановления и структурные изменения активного электродного материала. Увеличение пористости, в свою очередь, повышает величину максимального заряда и тока разряда. При назначении обратного тока заряда производит меньше тепла и газовыделение в конце заряда начинается позже. При низкой или умеренной десульфации электрода сульфатирования осуществляется обратного тока значения $(0,5 \div 2)$ А. десульфатации может принять $(20 \div 50)$ часов без перерыва. Это увеличивает плотность электролита. Признаком конца десульфатирования является постоянное напряжение и электролита плотность в течение 2-х часов.

При сульфатации работает форма используется небольшой заряд реверсивного тока. Предварительно батарея разряжается до 1,8 В на батарее, сливают весь электролит и заливают дистиллированной водой. Ток устанавливается настолько малый, чтобы напряжение заряда не превышало 2,3 В. В процессе плотности заряда электролита будет увеличиваться. Когда плотность всех аккумуляторов батареи достигает значения 1,11 г / см³, необходимо еще раз слить электролит, залить дистиллированную воду и

продолжают десульфацию низким обратным током при одинаковом напряжении. Когда плотность электролита достигает величины 1,12 г / см³, установить значение обратного тока 1 А. Заряд продолжают до тех пор, пока плотность электролита не перестанет возрастать и не начнется равномерное газовыделение. После этого аккумулятор разряжают в течение 2 часов током, составляющим 20 % от максимального разрядного тока, а затем заряжают в том же режиме до получения постоянства напряжения и плотности электролита. Такие циклы разряда-заряда повторяют 2-5 раз, пока напряжение и плотность электролита не примут установившиеся значения. После этого добавляют аккумуляторную кислоту до плотности (1,21÷1,22) г/см³ и полностью заряжают аккумулятор. Через 3 часа после заряда снова корректируют плотность электролита до значения (1,21÷1,22) г/см³. Заряд аккумулятора реверсивным током может проводиться и в качестве профилактики. При систематическом подзаряде аккумуляторов сульфатации электродов практически не наблюдается. Однако сульфатация электродов отсутствует и в АБ, которые интенсивно эксплуатировались и быстро выработали свой ресурс.

Выбор аккумуляторов для исследований

Для проведения необходимых испытаний были выбраны аккумуляторы:

1. Свинцово-кислотный «Зверь» 77 А/ч

2. Li-ion GP 2,1 А/ч

3. Li-ion LG 2,3 А/ч

4. Li-ion Sanyo 2,5 А/ч

5. NiMH GP 4,1 А/ч

6. NiMH GP 2,5 А/ч

7. NiMH GP 2,0 А/ч

8. NiMH Saft 1,7 А/ч

9. NiMH Varta 700 мА/ч

10. LiFePO₄ RKB 3,0 А/ч

Исследование свинцово-кислотных АКБ

Для того что бы проверить работоспособность собранного испытательного стенда был разработан и изготовлен стенд для измерения емкости АКБ и его зарядки. С его помощью были проведены исследования разрядных характеристик нескольких свинцово-кислотных и литий-ионных аккумуляторов.

Стенд имеет следующие характеристики:

- Входное напряжение 220 В;
- Диапазон напряжения на выходе 6 - 25В;
- Максимальный ток работы 15 А;

Для замера тока в цепи нагрузки используется малоомный шунт (0.75 мОм), напряжение с которого снимается цифровым мультиметром. Нагрузка представляет собой многоваттные резисторы или допускается применять лампы накаливания.

С функциональной точки зрения, испытательный стенд состоит из источника питания подключаемого к сети общего пользования, выпрямительный мост, зарядное устройство, микроконтроллер на базе DCsduino для определения емкости батареи и цепи нагрузки.

Определение емкости АКБ осуществляется в режиме постоянной мощности. В то же время, как говорится в паспорте аккумулятора номинальный кривые разряда, как правило, получают в гальваноциклическом режиме (разряда постоянным током). Из-за этого, чтобы получить сопоставимые результаты, будет использоваться следующий метод: в

режиме, когда химический источник тока разряжается, будет измеряться не только постоянное напряжение на выходе и ток нагрузки, но и падение напряжения непосредственно на клеммах тестируемого АКБ. Эти значения будут сниматься по средствам DCcduino, затем обрабатываются соответствующим программным.

Что касается энергетических характеристик различных типов аккумуляторов, они во многом зависят от рабочей температуры аккумулятора, этот параметр должен быть под постоянным контролем (так же эти параметры будет учитывать DCcduino по средствам термодатчика).

Для проведения эксперимента были отобраны три АКБ марки «Зверь» с ёмкостью в 77 Ач, производимые Свирским аккумуляторным заводом. Согласно заводским ТУ зарядка данных АКБ должна проводится со следующими условиями:

- Электролит внутри батареи должен быть плотностью в 1,22 г/мл;
- Для получения 100% зарядки должна выдерживаться пауза в один час (в течение которого происходит реакция сульфатации активной части батареи);
- Зарядку может считать законченной при плотности электролита 1.28 г/мл;
- Выход на полную емкость будет осуществлен только после 3-х циклов заряда разряда

Зарядка АКБ проводилась следующим образом

- После заправки электролитом, заряд АКБ выбирался в качестве 0.1С (7.7А); Затем, когда плотность электролита дошла до величины 1,22 г/мл), производилась дозарядка АКБ постоянным током 14А

- После проведенных действий на первой батарее были проведены еще 4 цикла заряда-разряда. Заряд производился постоянным током в 0.1С, Накопленная энергия батареи (при подключении нагрузки с постоянным током в 0.05С) уже на 3-м цикле вышла к паспортным показателям. В последующем этапе использовался ускоренный заряд АКБ постоянным током в 15А (0.2С). В результате чего было зафиксировано уменьшение накопленного заряда АКБ, (Вероятнее всего, в результате повреждения плюсового электрода батареи, так как он не был рассчитан на такие токи. После этого, эксперименты с АКБ №1 были прекращены.

- Проведение испытаний со второй батареей такого же типа выполнялись с учтенным опытом при проведении с первой батареей.

- Заряд снятый с батареи был несколько ниже чем указано в его паспорте, по всей видимости из-за плотности электролита 1,24 г/мл. В дальнейшем при последующих циклах емкость возросла, и к 4-му циклу достигла своего значения.

- При зарядке АКБ №3, после 3 циклов заряда-разряда энергия накопленная АКБ достигла 83 Ач, что на 11% больше нормированной емкости указанной батареей

По результатам экспериментов могут быть сделаны следующие выводы:

1. Энергия накапливаемая в АКБ, фиксируемая с батареи при последующих циклах заряда-разряда в среднем оказывается больше указанной на 5–10%;

2. Заряд на первой батарее после 4 циклов оказался 78 Ач

3. Заряд на второй батарее после проведения 10 циклов показал 88Ач,

4.Заряд на третьей батарее после 6 циклов показал 84 Ач

5.Емкость АКБ может быть выше указанной на 5-10% (важно следить на плотностью электролита и выбирать правильный зарядный ток).

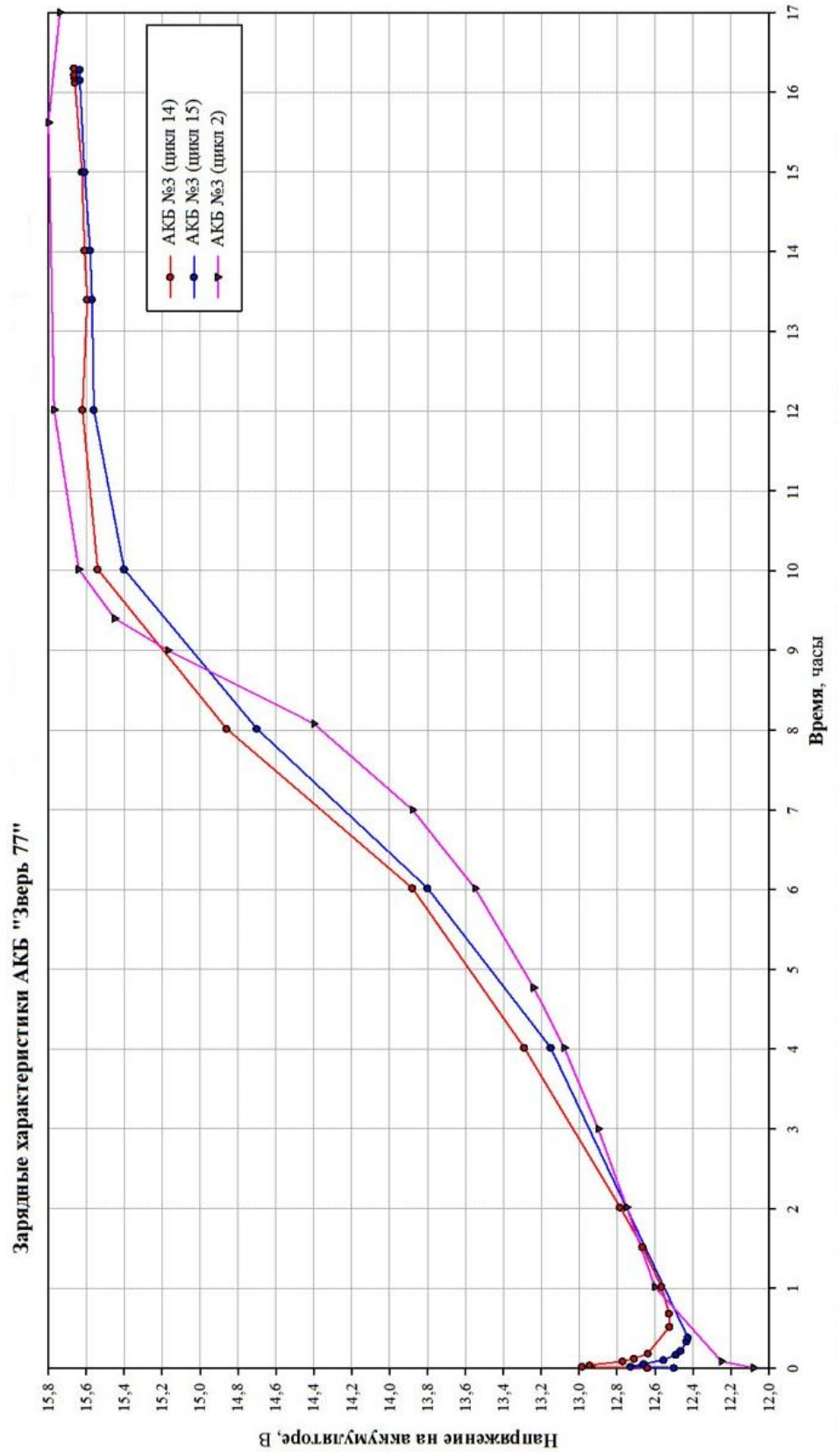


Рисунок 15: Опыт 1: зарядка током 7.76 А в течении 16 часов; Опыт 2: зарядка током 7.76 А в течении 16,3 часов; Опыт 3: зарядка током 7.7 А в течении 17 часов.

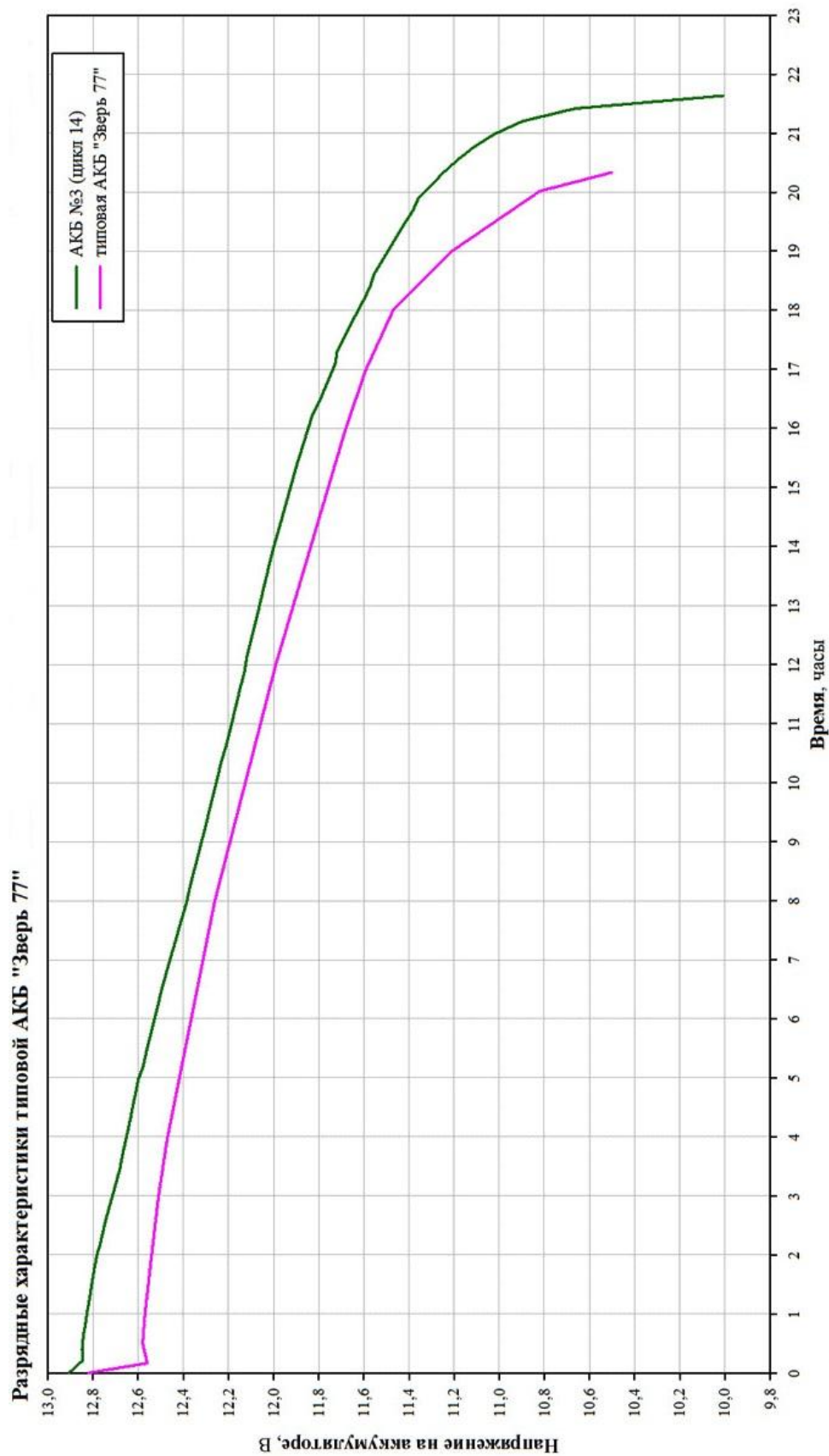


Рисунок 16: Разрядные характеристики батареи до применения циклов заряда-разряда и после 14 циклов.

Литий ионные батареи

Не секрет, что каждый из аккумуляторов нуждается в периодическом заряде. И казалось бы, все просто, батарея разряжена - подключаешь зарядное устройство. Но с течением времени, будет заметно, что время работы полностью заряженной батареи становится меньше, чем это было раньше. Вот эту проблемы мы и рассмотрим.

Как известно, к концу заряда батареи в нормальном зарядном устройстве на нем загорится зеленый индикатор, сигнализируя, что аккумулятор полностью заряжен и готов к работе. Исходя из этого, можно быть уверенным, что АКБ имеет полную мощность, и ему можно доверять на 100%.

Тем не менее, это не гарантия того что батарея вышла на достаточную емкость и что она полностью исправна. Зарядное устройство работает только до тех пор, пока батарея не будет заполнена, а количество энергии, запасенной аккумулятором в то же время остается неизвестным.

Самый простой и надежный способ узнать запасенную энергию аккумулятора это разрядить его током числе равной величине его номинальной емкости. Тогда уже с большей уверенностью можно будет судить о реальных значениях емкости батареи.

Вполне естественен вопрос: от чего происходит так, что батарея становится не способной заряжаться до того объема на которой она была рассчитана?

Проблема заключается в том, что во время эксплуатации жидкость в никель-кадмиевых (NiCd) и никель-металл гидридные (NiMH) батареи постепенно меняет свою структуру в направлении уменьшения площади активной поверхности. Чтобы проиллюстрировать этот процесс на рис. 1 схематически показывает 5 различных состояний одной батареи. Левая батарея - имеет емкость 100%. Его рабочее вещество имеет

форму, тонкую структуру и как следствие - максимальную площадь активной поверхности. Крайнее правое - самое худшее, и имеет только 20% от номинальной мощности. Его рабочая среда частично кристаллизуется, а площадь его активной поверхности значительно снизилась.

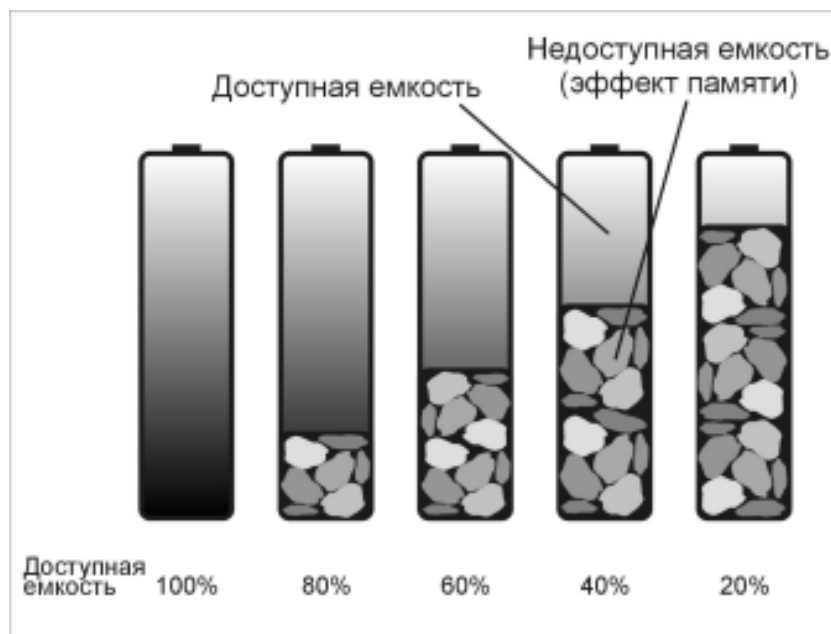


Рис. 17 Емкость батареи в зависимости от состояния его рабочей среды.

На рис 2.показыны четыре различных батареи с разными показателями номинальной мощности и технического состояния. Батареи "B", "D" может принять меньше энергии из- за кристаллических структур и других явлений. Самое худшее из них - это "D" батарея; Индикатор полного заряда на зарядном устройстве сообщит о своей готовности примерно через 14 минут после начала зарядки. К сожалению, такая батарея будет работать только в течение короткого периода времени. С другой стороны, батарея "A" имеет самую высокую емкость и требует большего времени зарядки - 144 минут. Эта функция может быть использована на практике для грубой

оценки емкости батареи. Поэтому, важно, время от времени контролировать время срабатываний индикатора.

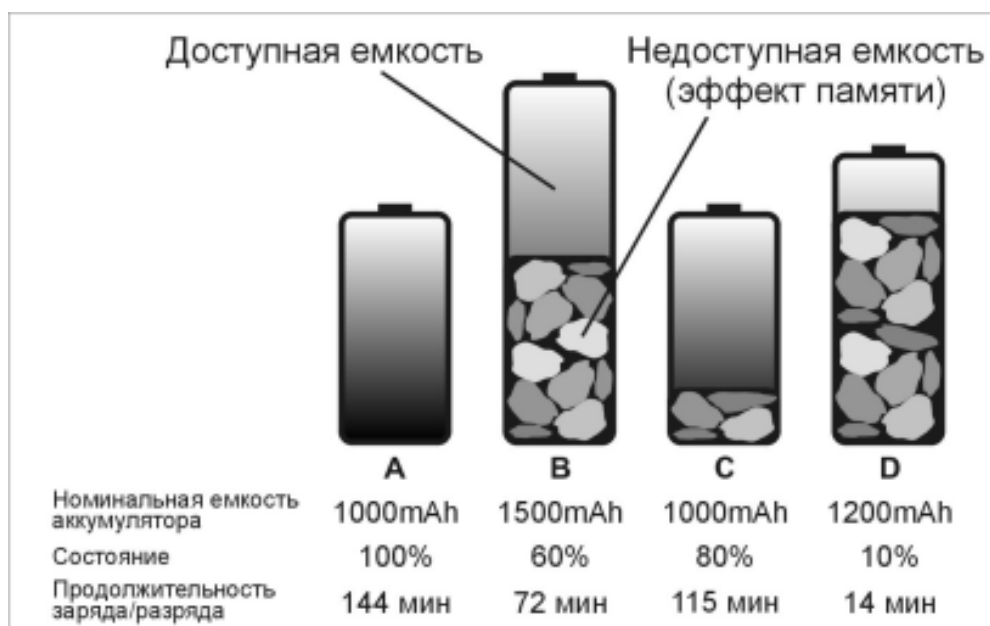


Рис. 18 Время заряда и разряда батареи с различной номинальной емкостью и ее состояние

Есть ли возможность предотвратить или уменьшить потери емкости батареи, и если это все же произойдет возможно ли восстановить его? Да, есть такая возможность. Для этого требуется периодическая проверка емкости аккумуляторов на анализаторе, который имеет возможность восстанавливать его способности в случае необходимости. Но это применимо только для никель-кадмиевых (NiCd) и никель-металл-гидридные (NiMH) аккумуляторов. В идеале емкость батареи должна составлять 100%, но на практике это довольно редкий случай. Как правило, величина емкости, при котором считается, чтобы батарея исправна, составляет 80% от номинального значения. Если в результате проверки было установлено, что емкость батареи составляет менее 80%, батарея перемещается в анализатор батарей, который способен проводить цикл восстановления. Восстановление аккумулятора осуществляется с помощью глубокого разряда при соблюдении

специального алгоритма. При удалении оставшейся энергии батареи, структура его рабочей среды возвращается в исходное состояние, и, таким образом, батарея

восстанавливает свою способность накапливать заряд. Как правило, около 70% никель-кадмиевых и до 30% никель-металлгидридных аккумуляторов, восстанавливаются подобный образом. Если эту процедуру осуществлять на регулярной основе (для никель-кадмиевых батарей - один раз в месяц, а для никель-металлогидридных - один раз в два месяца), а не нарушать правила использования батарей, можно приблизиться к значению времени службы заявленных заводом изготовителем.

Тем не менее, следует отметить, что аккумуляторы с высоким показателем саморазряда или после короткого замыкания, не могут быть восстановлены; так же не могут быть восстановлены аккумуляторы, повреждённые в результате неправильного использования. На данный момент, так как практически не реализованы, ориентированные на массовое применение методы восстановления литий-ионные аккумуляторы цель сервиса сводится только в идентификации непригодных батарей и вывода их из эксплуатации.

В контексте рассматриваемой проблемы нельзя не упомянуть такой важный параметр, как внутреннее сопротивление батареи. По своей сути это то, что во многом определяет длительность ее работы. Например, батарея может иметь достаточную емкость, и, тем не менее, имея большое внутреннее сопротивление, уже не пригодна для использования в сотовом телефоне. Это проявляется следующим образом: во время отправки или приема вызова, телефон выключается, и происходит это практически мгновенно что пользователь не успевает понять, телефон был включен и выключился сам собой внезапно. И причина проста: в этот момент телефон начинает работать на коробку передач и потребляет значительный ток и

батареи, который создает дополнительное падение напряжения на внутреннем сопротивлении батареи. Это эквивалентно последовательно соединенных между батареей и исправным телефоном паразитного сопротивления, что в момент передачи падало некоторое напряжение. В результате, телефон переходит к более низкому напряжению, и он срабатывает от цепи, когда мощность снижается. Обычные зарядные устройства этот параметр не отслеживаются, поэтому внутреннее сопротивление должно быть измерено в ходе периодической проверки. Следует, однако, отметить, что телефон выключается во время отправки или приема вызова также из-за плохой подгонки контактов батареи на телефоне или загрязнения.

Заряд и разряд аккумуляторов в телефоне или в обычном зарядном устройстве этих вопросов не решает.

Исследования Li-Ion, LiFePO4 и NiMH батарей

Первым шагом является получение данных о мощности в ватт-часах. Так как это внесистемная мера работы электрического тока, и легче сослаться на мощность в ватт-часах, букву "А".

$$A = Q \cdot U$$

A - работа электрического тока измеряется в джоулях (или в нашем случае, ватт-часы)

Q - количество электричества, измеряется в ампер-секундах (в данном случае, в ампер-часах)

U - напряжение, измеряется в вольтах

В паспорте батарей, как правило, включаются кривые разряда произведенные заводом изготовителем. И, как правило, эти несколько кривых взяты при различных токах. Эти кривые были обработаны в первую очередь. По оси абсцисс на этих графиках или ампер-часы, или время (час, минута), а ось Y - напряжение аккумуляторной батареи. Нам нужно взять только средние значения Y и умножить их на ампер-часы, где он заканчивается по графику.

Результаты суммированы в таблице. Для более детального сравнения, вычислим и удельную емкость, грубо говоря, это количество ватт-часов. Кроме того, попытаемся оценить экономическую эффективность батарей на основе их стоимости и долговечности.

	NiCd 1A*ч (AA)						NiMH 2,5A*ч (AA)					
	0,1C	0,2C	0,5C	1,0C	2,0C	3,0C	0,1C	0,2C	0,5C	1,0C	2,0C	3,0C
Ток разряда, хС	1,270	1,253	1,231	1,210	1,182	1,149	1,238	1,223	1,189	1,155	1,010	1,045
Напряжение (среднее), В	1,181	1,090	1,093	1,030	1,033	1,020	2,662	2,623	2,098	2,404	2,373	2,271
Количество электричества, А*ч	1,50	1,37	1,35	1,25	1,22	1,17	3,30	3,21	2,49	2,78	2,40	2,37
Ёмкость, ВТ*ч	8,34						8,34					
Объём, см.куб.	26,5						31,5					
Масса, г	3,177						3,777					
Плотность, г/см.куб	57	52	51	47	46	44	105	102	79	88	76	75
Удельная ёмкость, ВТ*ч/кг	180	164	162	150	146	140	396	358	299	333	288	284
Объёмная ёмкость, ВТ*ч/дм.куб	42 - 100						112 - 220					
Цена аккумулятора, руб	1000						500					
Срок службы, цикл.	1,20						1,32					
Суммарная энергия за весь срок службы, кВт*ч	45,28						41,91					
Суммарная удельная энергия за весь срок службы, кВт*ч/кг	40,83 - 83,33						90,34 - 166,67					
Стоимость энергии, руб/кВт*ч												

Таблица 2. Данные аккумуляторов согласно паспорту

	Li-ion 2,3A*ч (18650)				LiFePO4 3A*ч (26650)				SLA 7,2A*ч (Батарей 6В)							
	0,2С	0,5С	1,0С	1,5С	0,2С	0,5С	1,0С	4,0С	0,05С	0,1С	0,2С	0,4С	1,0С	2,0С	3,0С	
Ток разряда, хС	3,767	3,685	3,576	3,374	3,104	3,043	2,977	2,787	5,988	5,950	5,866	5,833	5,739	5,364	5,308	
Напряжение (среднее), В	2,323	2,300	2,236	2,060	3,022	3,045	3,038	3,074	7,148	6,786	5,915	5,022	3,704	2,874	2,334	
Количество электричества, А*ч	8,75	8,48	8,00	6,95	9,38	9,27	9,04	8,57	42,80	40,38	34,70	29,29	21,26	15,42	12,39	
Ёмкость, Вт*ч	17,15															
Объём, см.куб.	34,78															
Масса, г	44															
Плотность, г/см.куб	2,566															
Удельная ёмкость, Вт*ч/кг	199	193	182	158	123	122	119	113	32	31	26	22	16	12	9	
Объёмная ёмкость, Вт*ч/дм.куб	510	494	466	405	270	267	260	246	85	81	69	59	42	31	25	
Цена аккумулятора, руб	101 - 158															
Срок службы, цикл.	500															
Суммарная энергия за весь срок службы, кВт*ч	3,50															
Суммарная удельная энергия за весь срок службы, кВт*ч/кг	79,55															
Стоимость энергии, руб/кВт*ч	28,93 - 45,14															
	286 - 535															
	275 - 950															
	2000															
	15,0															
	197,4															
	19,07 - 35,67															
	40,16 - 138,73															

Таблица 3. Данные аккумуляторов согласно паспорту

Гляди на эти цифры уже можно выделить из пяти представителей двух лидеров: Li-Ion и LiFePO₄, удельная мощность которых составляет 100 Вт · ч / кг. Хотя тоже не совсем ясно, цифры явно завышены.

Хоть и определились два лидера, наибольшее распространение на сегодняшний день имеют батареи NiMH. В качестве емкости он почти в два раза ниже, чем литий-ионные и уступает около 20% от литий-фосфатных. Но списывать со счетов его рано, хотя бы потому что его рынок огромен и разнообразен. NiMH производят многие фирмы в различных вариантах и с различной мощностью, рынок также представляет огромное количество зарядных устройств для них. Эти батареи, в отличие от лития нетребовательны большинству параметров в процессе зарядки. И все бы ничего, но есть у металло-гидридных одна неприятная особенность - так называемый "эффект памяти". Другими словами, эти батареи должны работать с полным циклом заряда-разряда, и если он повторно не разряжается до конца заряда (или наоборот, занижен заряд), то она резко уступает в мощность. Для дальнейших исследований этот самый «эффект памяти» крайне не желателен. Конечно, "эффект памяти" из гидрида металла не так очевиден, как и никель-кадмиевых, но зато они быстрее выходят из строя. Конечно, можно отнести к минусам минус у металл гидрид как значительный саморазряд, но это относится только к самой долговременной аккумуляторной батарее.

Нужно принять во внимание еще один важный параметр при употреблении батареи в качестве источника питания – это отдача ранее накопленной энергии или же ее КПД. В идеале же конечно сколько мы в нее зарядили столько и должны получить. Но на самом деле существует множество различных потерь из-за переходных процессов внутри батареи и ее внутреннего сопротивления. Начнем с Литий-ионных батарей.

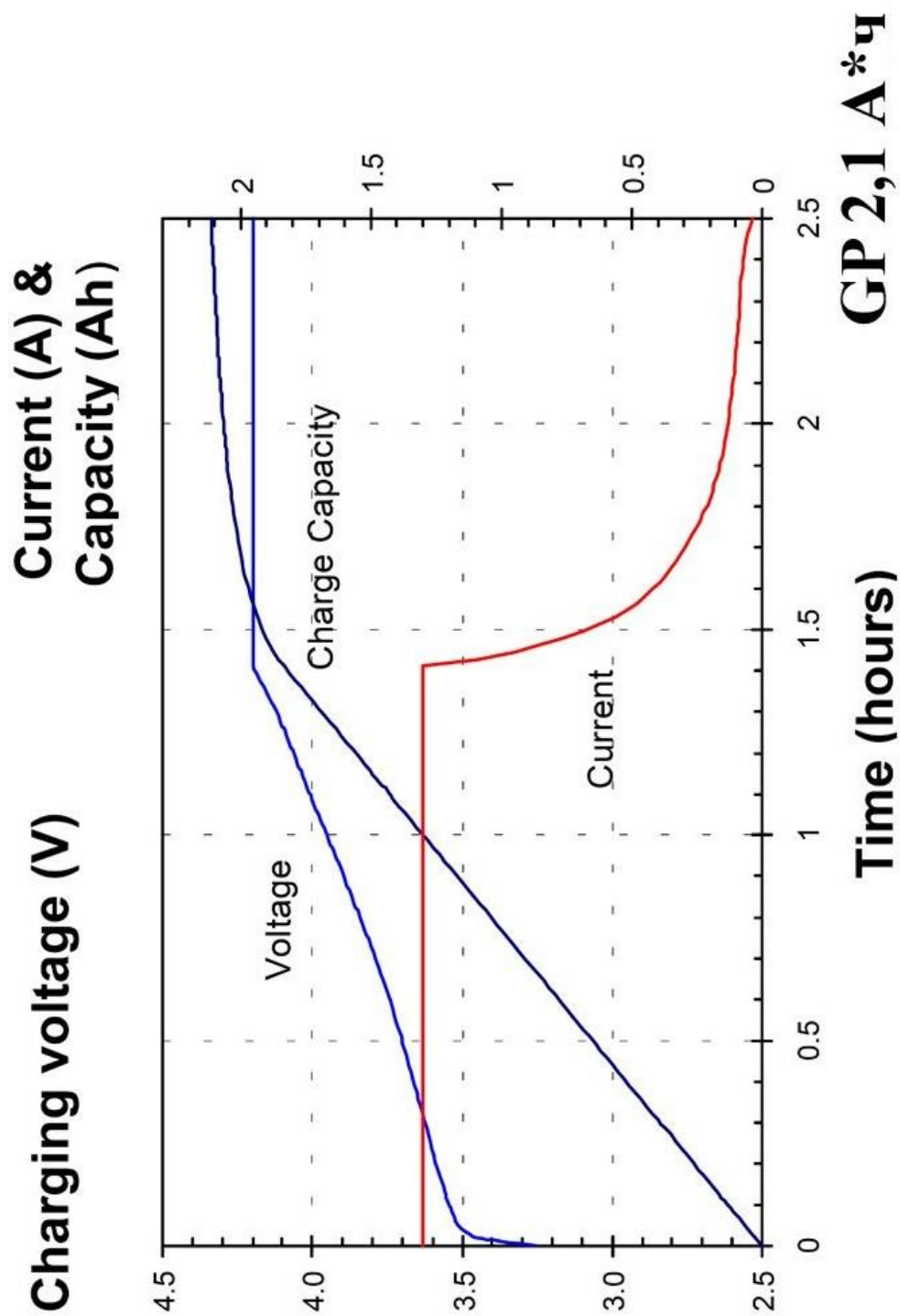


Рис. 19 Паспортные данные батареи GP [1]

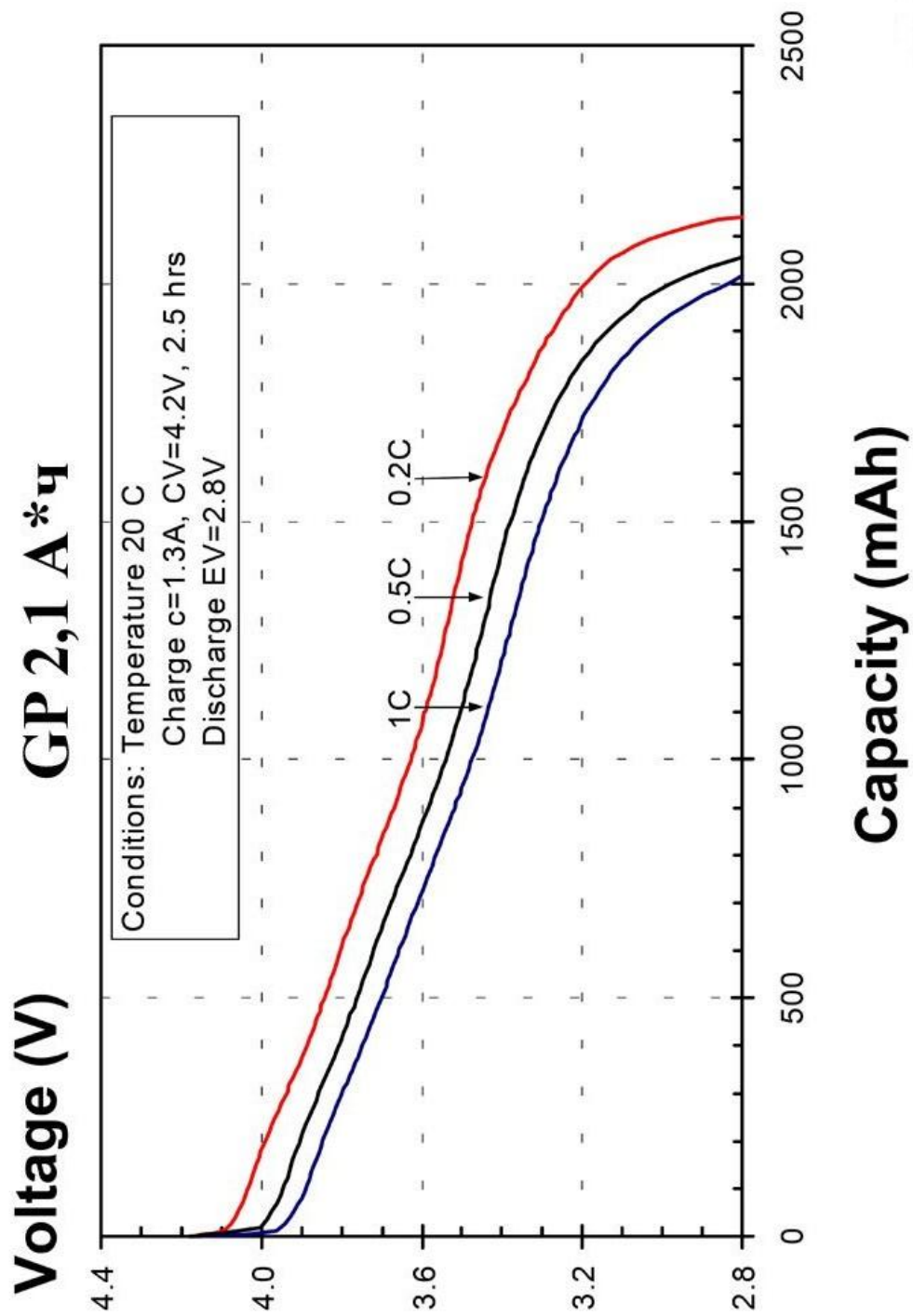


Рис. 20 паспортные данные батареи GP[2]

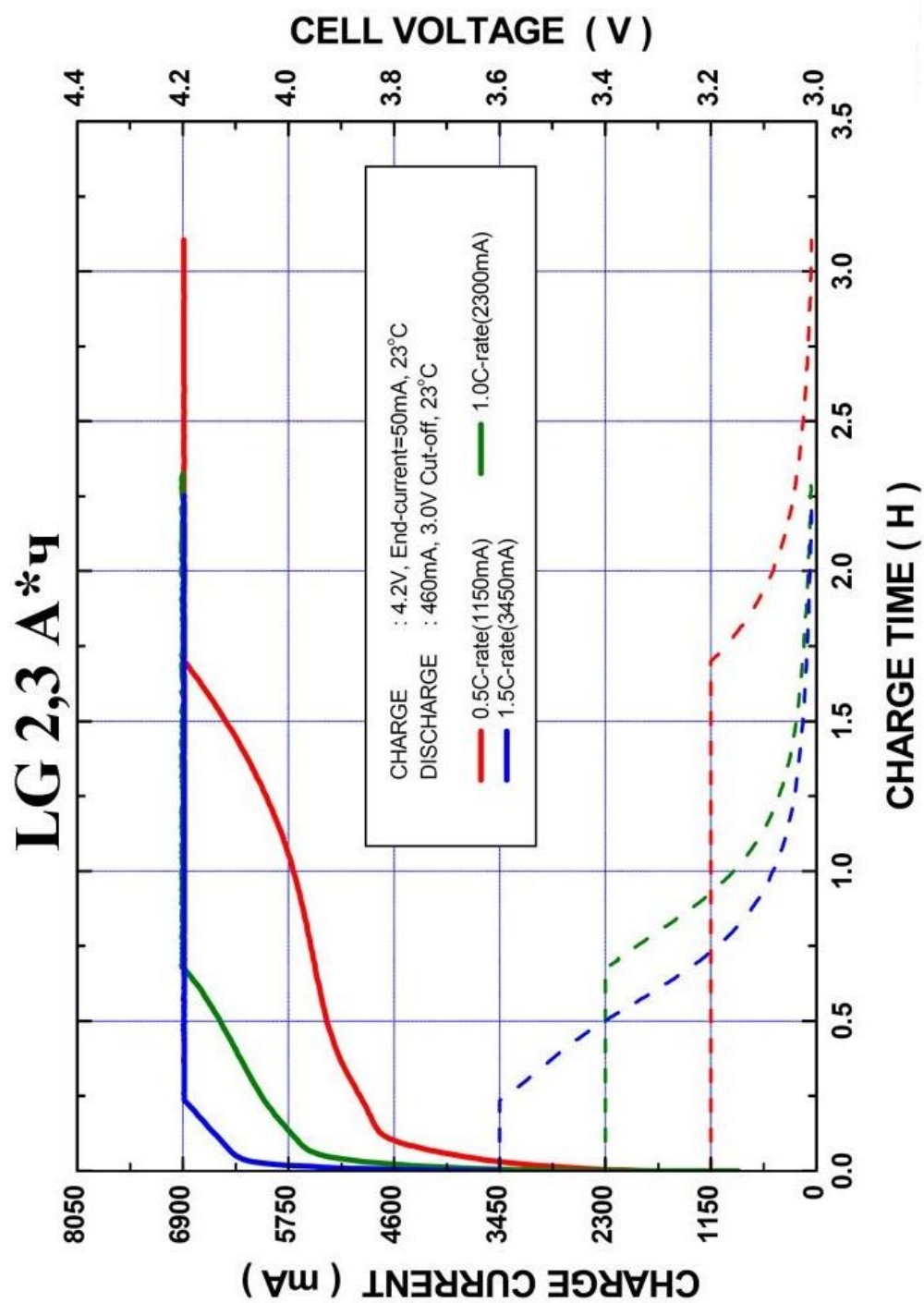
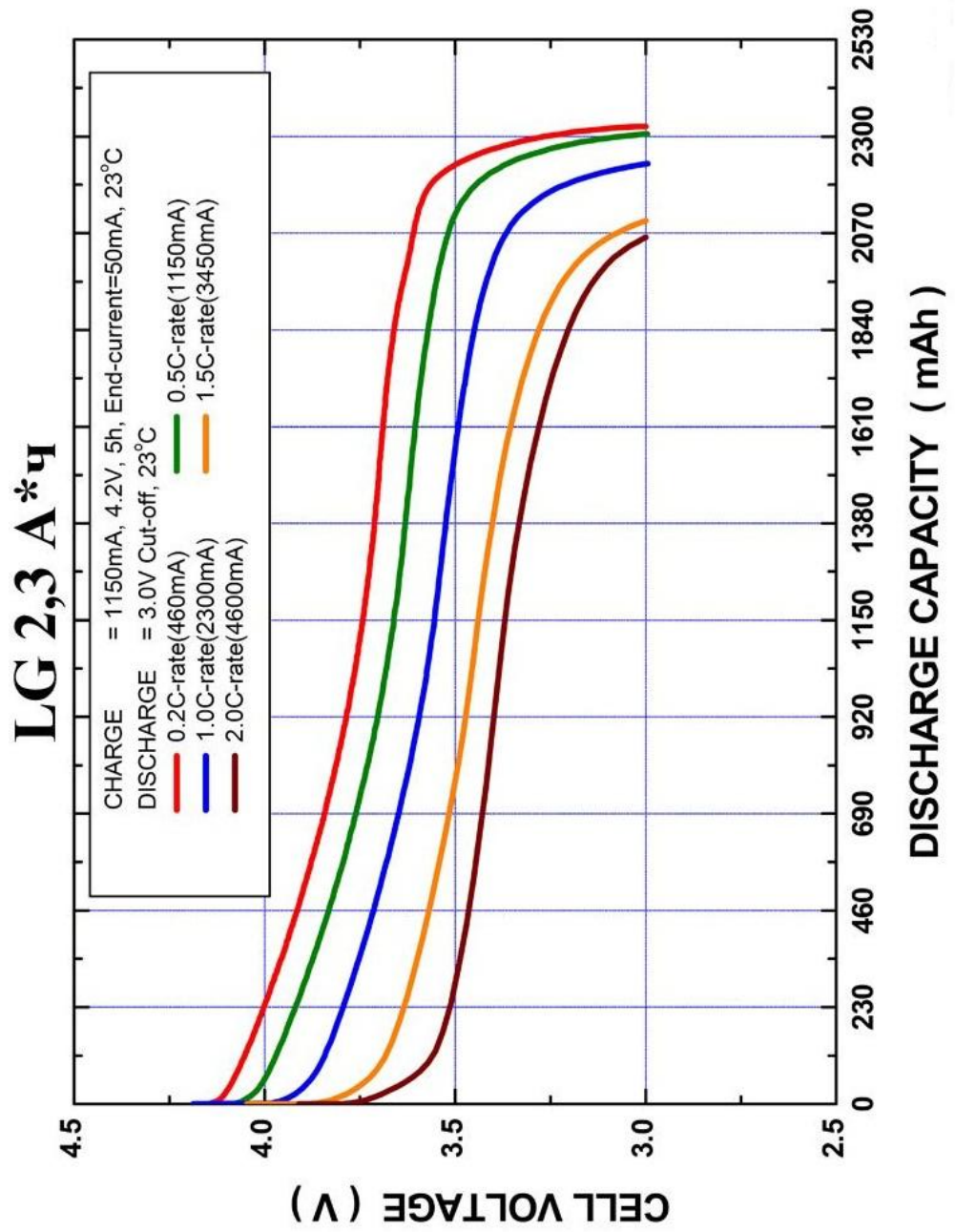


Рис. 21 паспортные данные батареи LG [3]

Рис. 22 паспортные данные батареи LG [4]



Charge characteristics Sanyo 2,5 A*ч

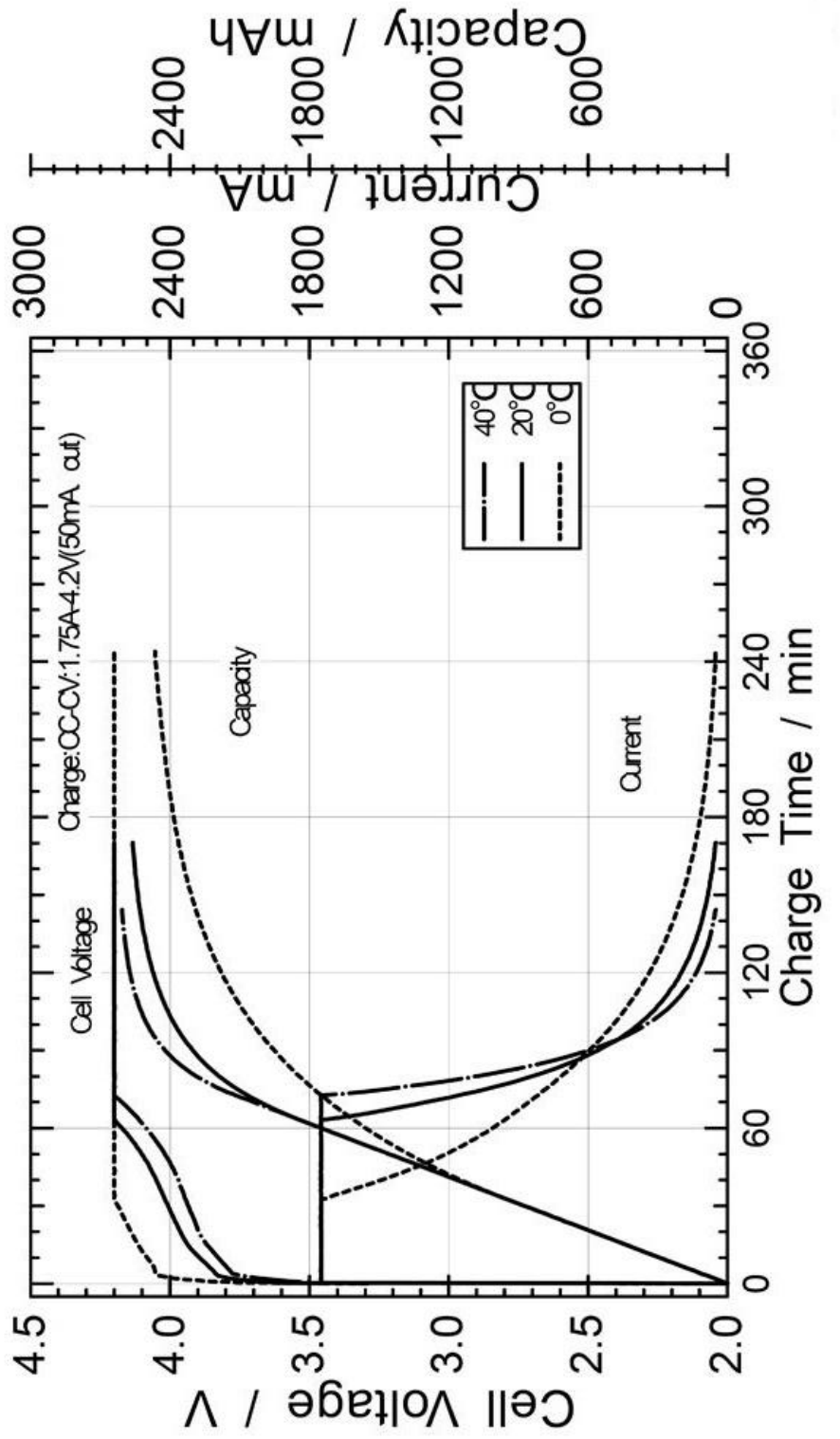
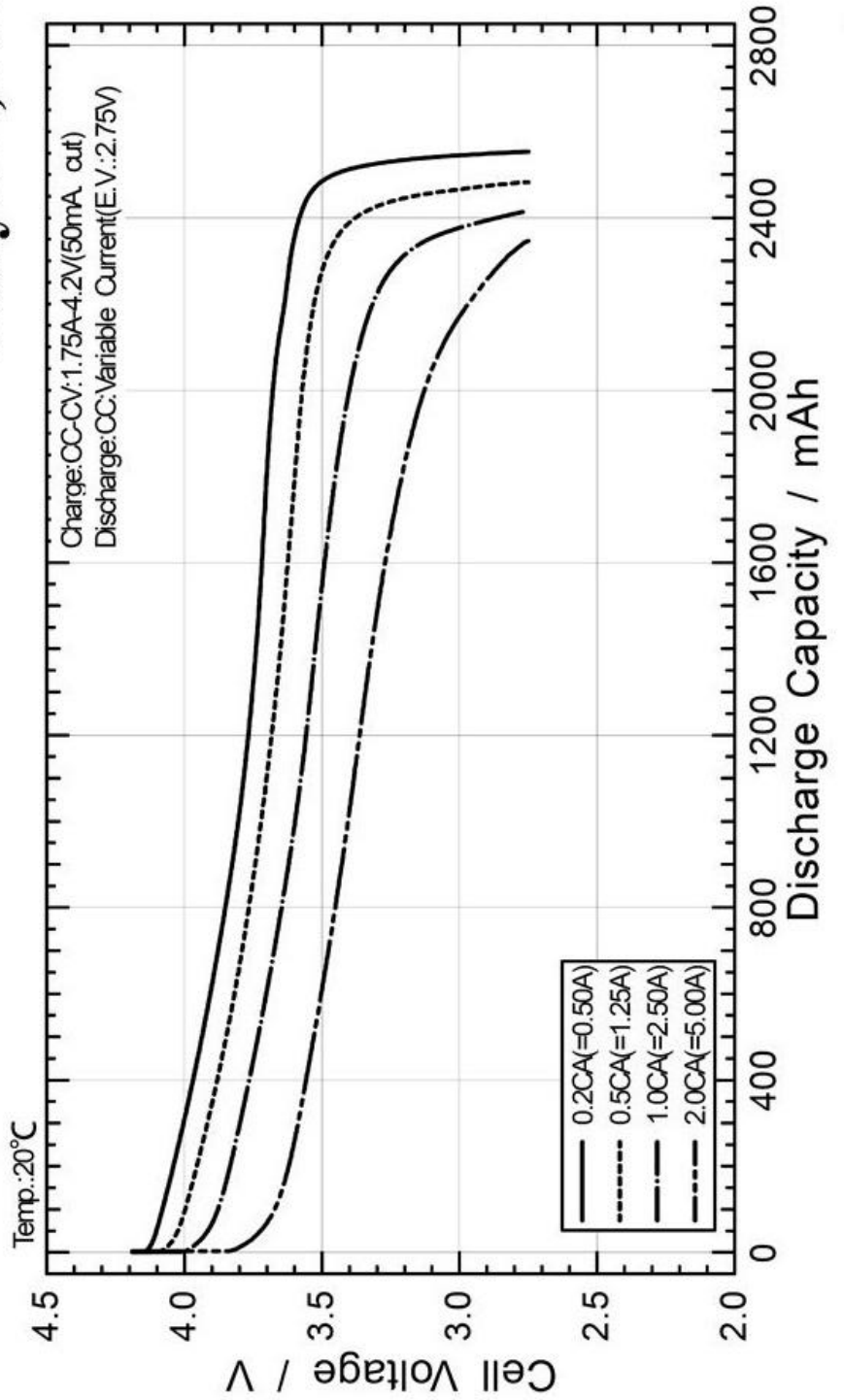


Рис. 23 паспортные данные батареи Sanyo [5]

Рис. 24 паспортные данные батареи Sanyo [6]

Discharge rate characteristics Sanyo 2,5 A*ч



Исходя из сведений полученных в паспортах аккумуляторов можно собрать таблицу для сравнения.

Li-ion аккумулятор	Параметры	Ток разряда			
		0,2С	0,5С	1,0С	2,0С
GP 2,1 А*ч	Аз, Вт*ч	8,39			
	Ар, Вт*ч	7,73	7,28	7,02	-
	КПД, %	92,2	86,8	83,7	-
LG 2,3 А*ч	Аз, Вт*ч	9,66			
	Ар, Вт*ч	8,75	8,48	7,99	6,95
	КПД, %	90,6	87,7	82,8	72,0
Sanyo 2,5 А*ч	Аз, Вт*ч	10,57			
	Ар, Вт*ч	9,65	9,14	8,59	7,86
	КПД, %	91,3	86,5	81,3	74,3

Таблица 4. Сравнения АКБ по показателям

Аз – количество энергии полученных при зарядке

Ар – полученная энергия с батареи при ее разряде, соответствующем током

При составлении графика на эффективность КПД от тока разряда, можно видеть, что точки, принадлежащие к различным батареям находятся не далеко друг к другу и не имеют каких-то необычно высоких или низких значений. Поэтому данным указанных производителем можно доверять.

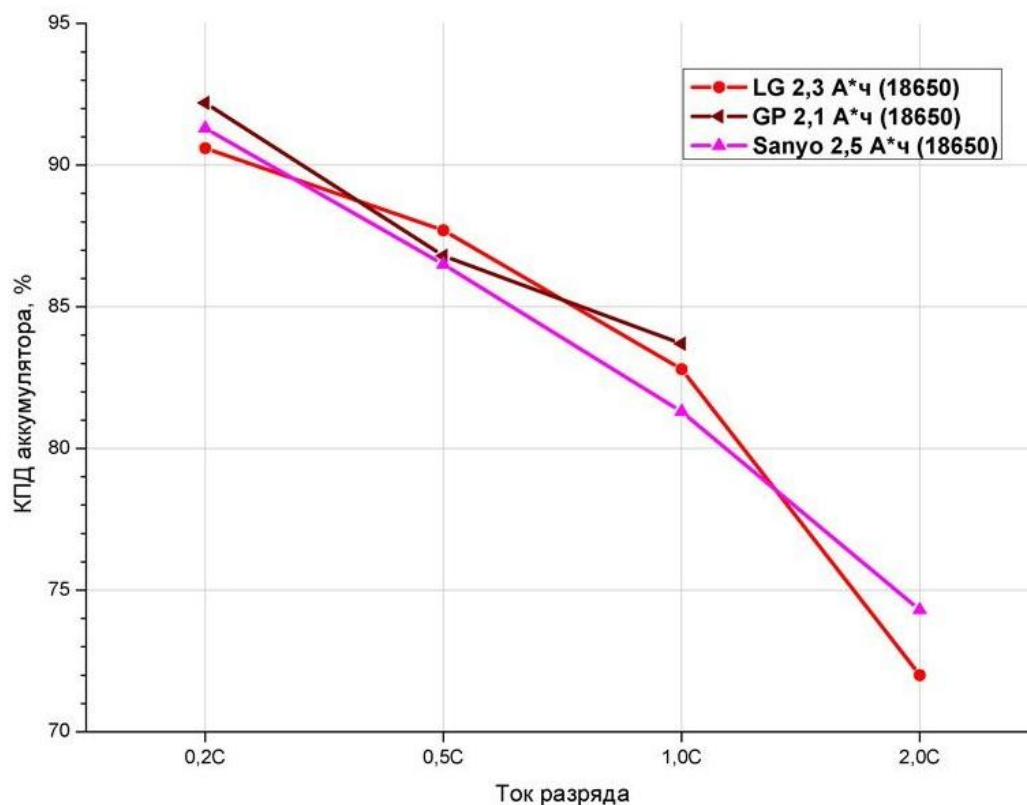


Рис. 25 График зависимости КПД от тока разряда в относительных единицах

График эффективности батарей становится более очевидным, если ток разряда указывать не в относительных единицах xC, а в амперах. Становится очевидно, что высокий КПД (более 90%) имеет место только при низком токе разряда (ниже 0,6 А), а с увеличением тока разряда на ампер, эффективность падает до 5%. То есть, для того, чтобы достичь высокой эффективности при высокой выходной мощности должны быть либо параллельно соединённые банки (что не очень хорошо), или должна быть собрана батарея с высоким напряжением, либо взять банки с большей ёмкостью.

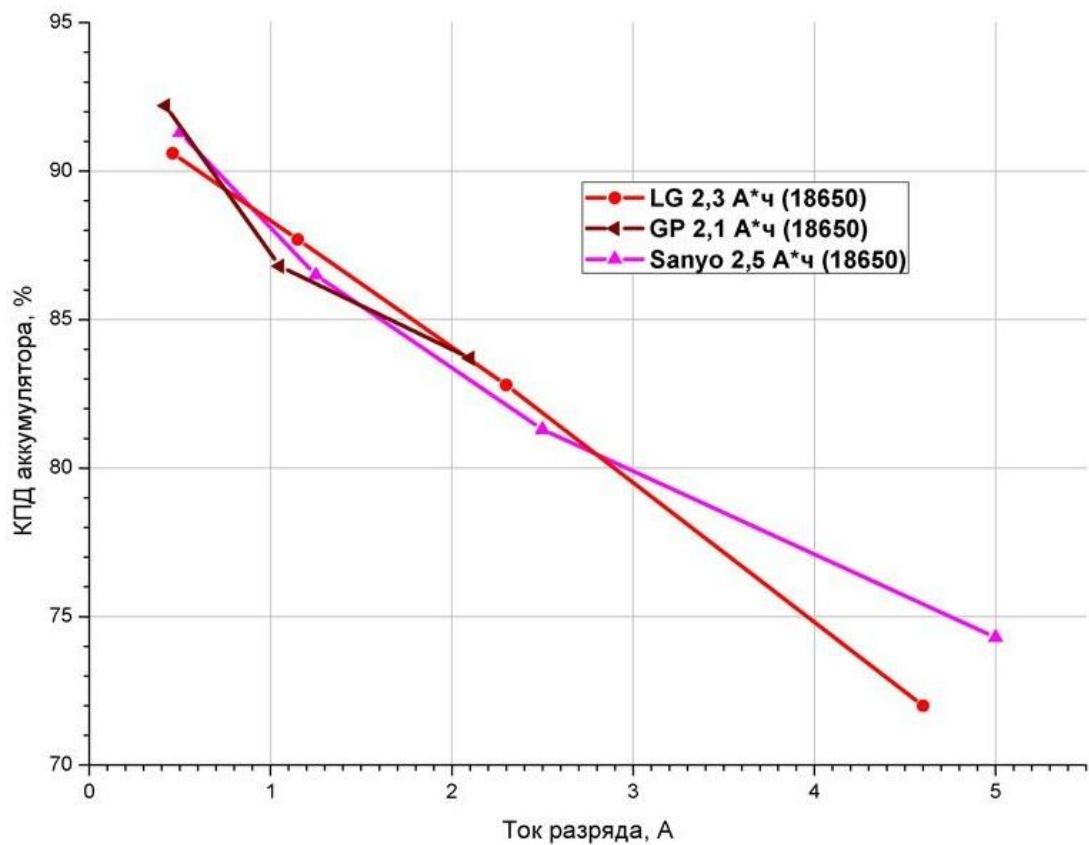


Рис. 26 График зависимости КПД от тока разряда в амперах

Исследование метал-гидридных аккумуляторов

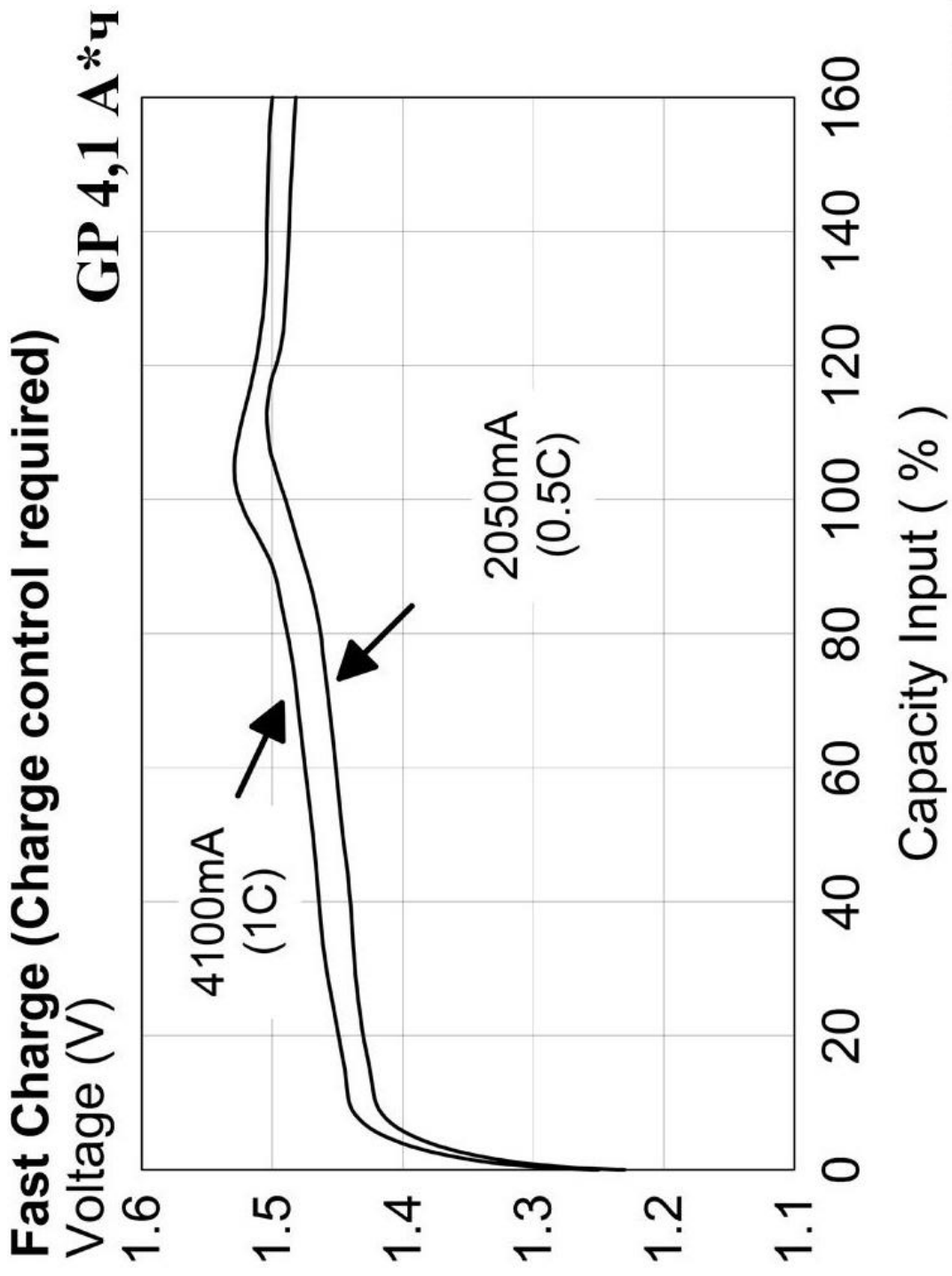


Рис.28 Паспортные данные батареи GP [8]

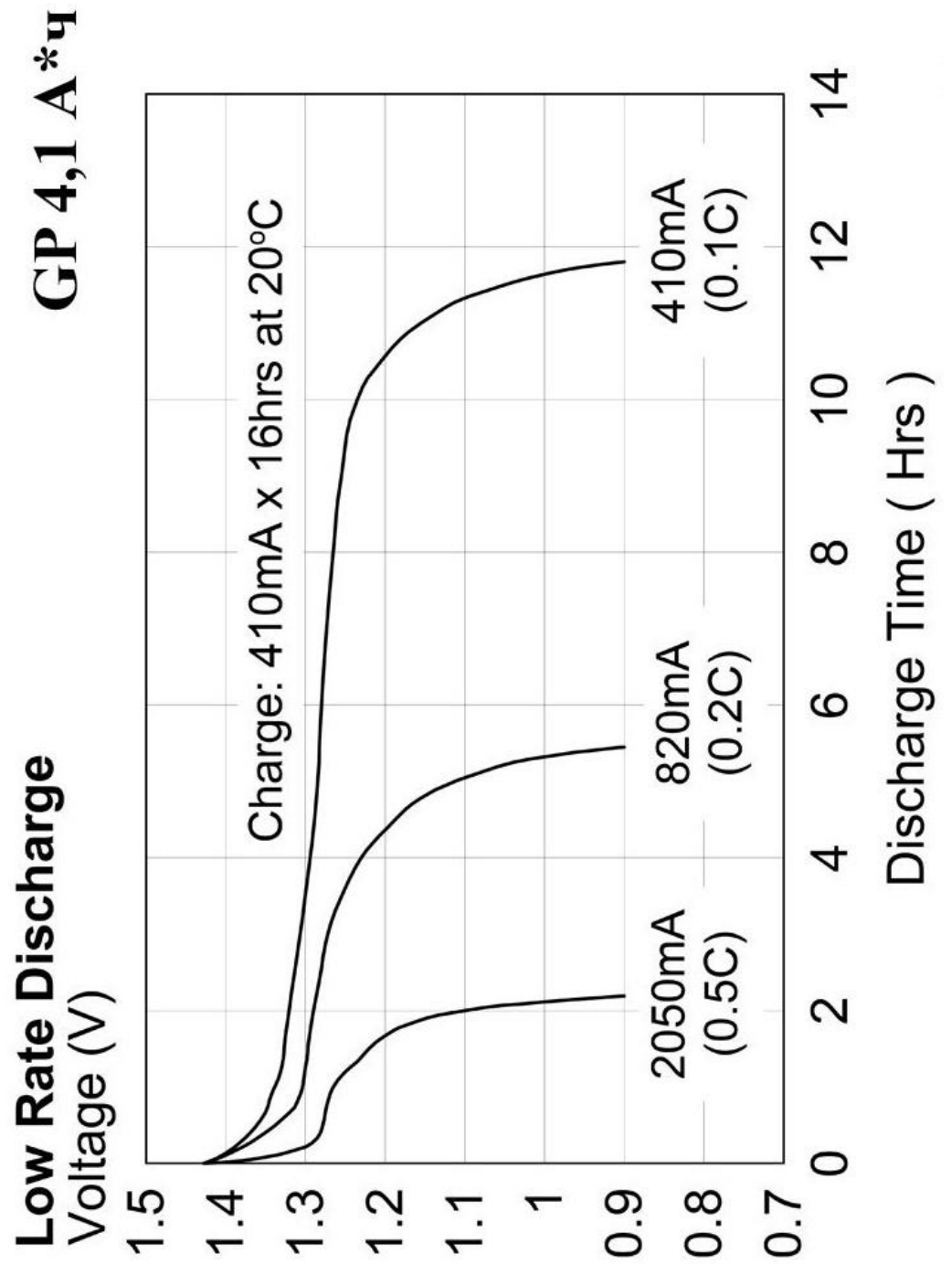
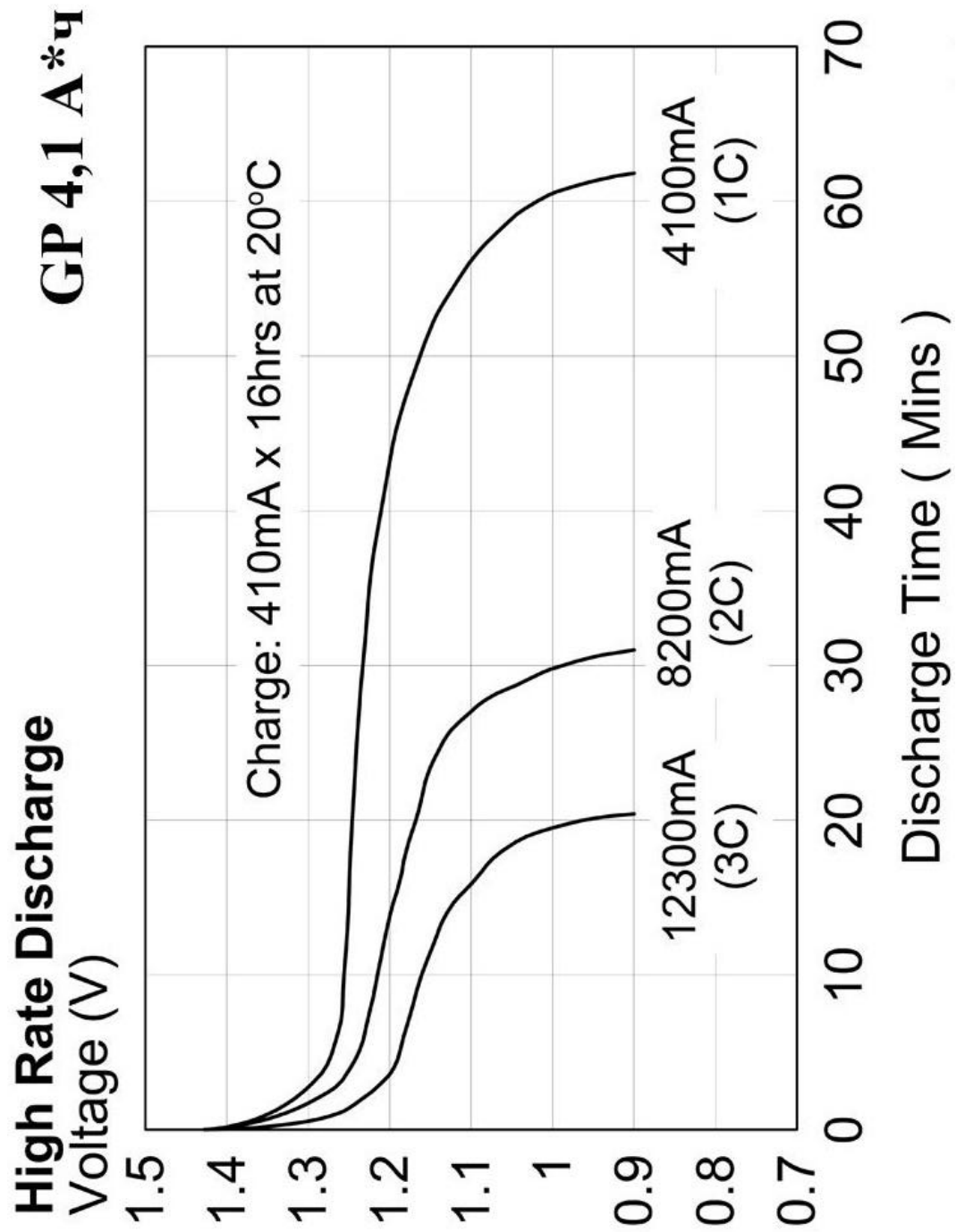


Рис.29 Паспортные данные батареи GP [9]



Fast Charge (Charge Control Required)

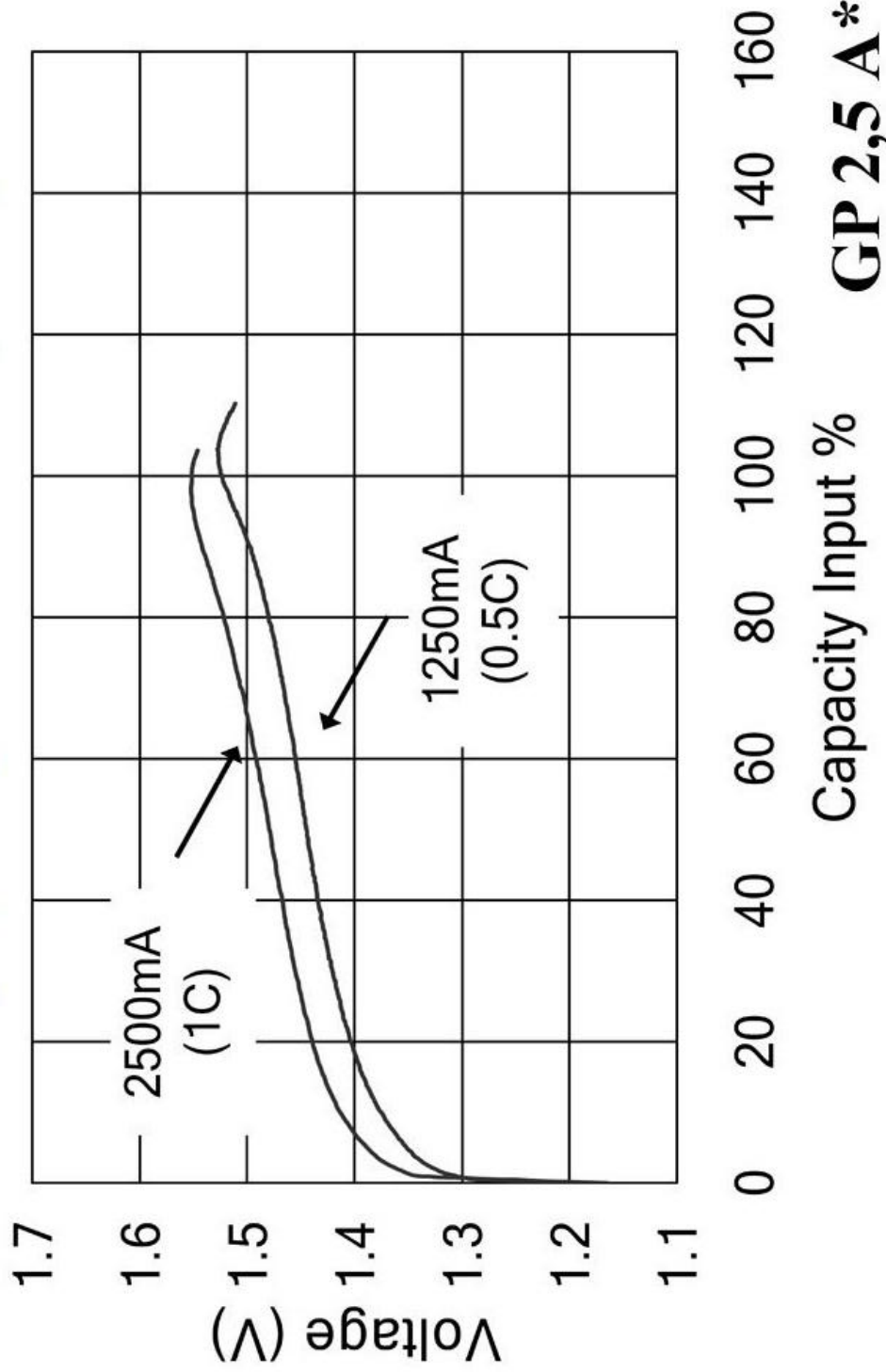


Рис.30 Паспортные данные батареи GP [10]

Low Rate Discharge **GP 2,5 A*ч**

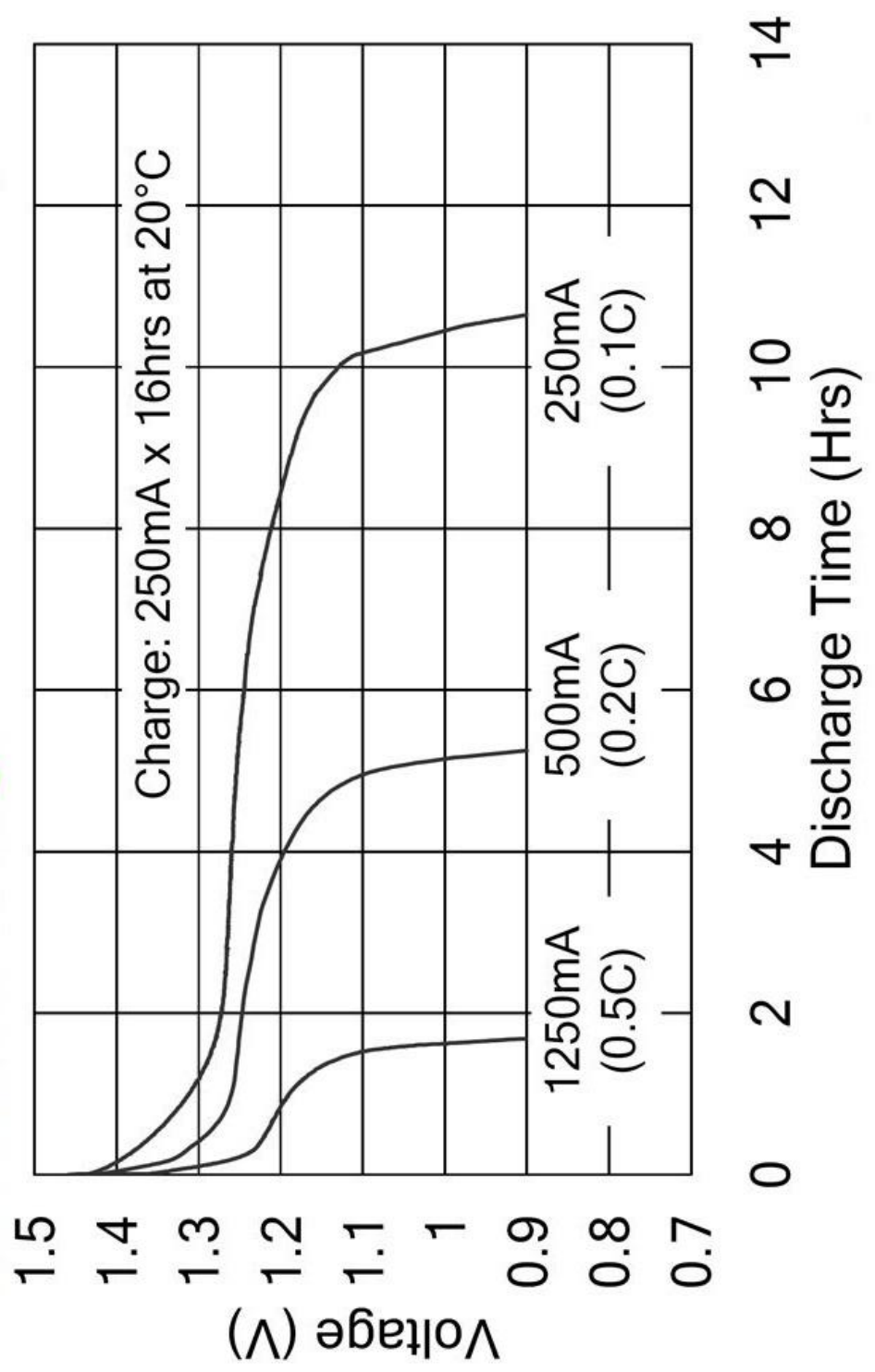


Рис.31 Паспортные данные батареи GP [11]

High Rate Discharge GP 2,5 A*ч

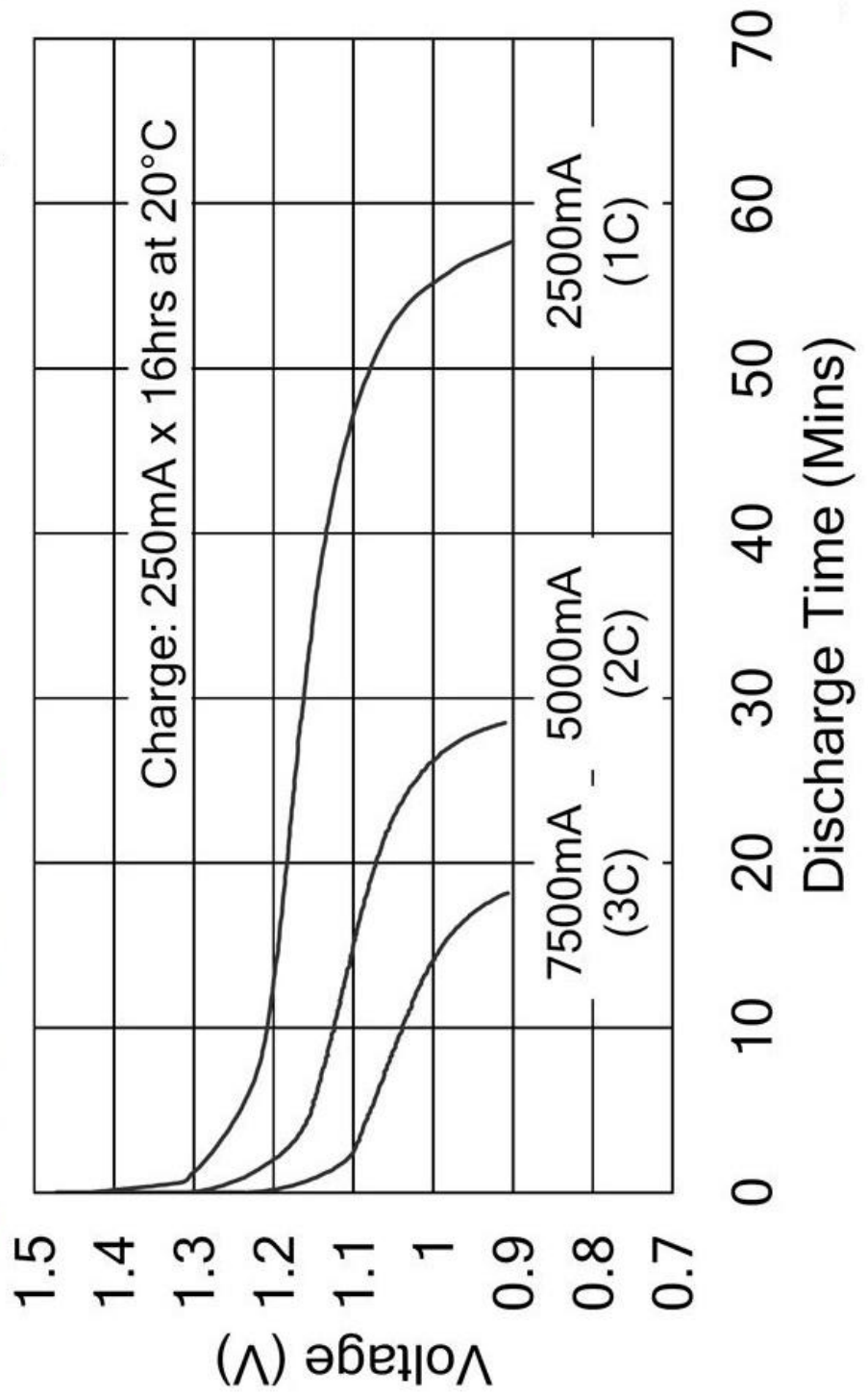


Рис.32 Паспортные данные батареи GP [12]

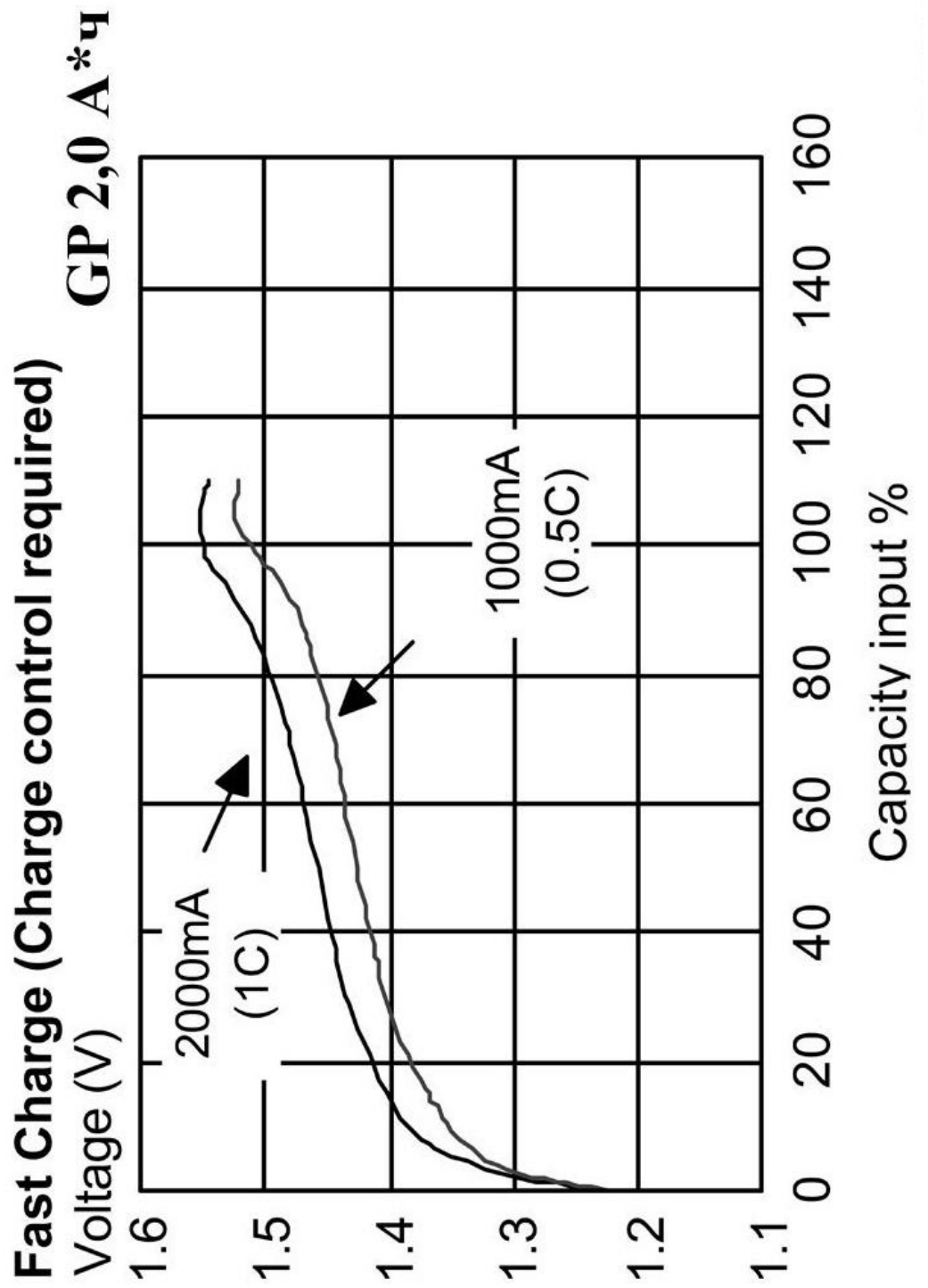


Рис.33 Паспортные данные батареи GP [13]

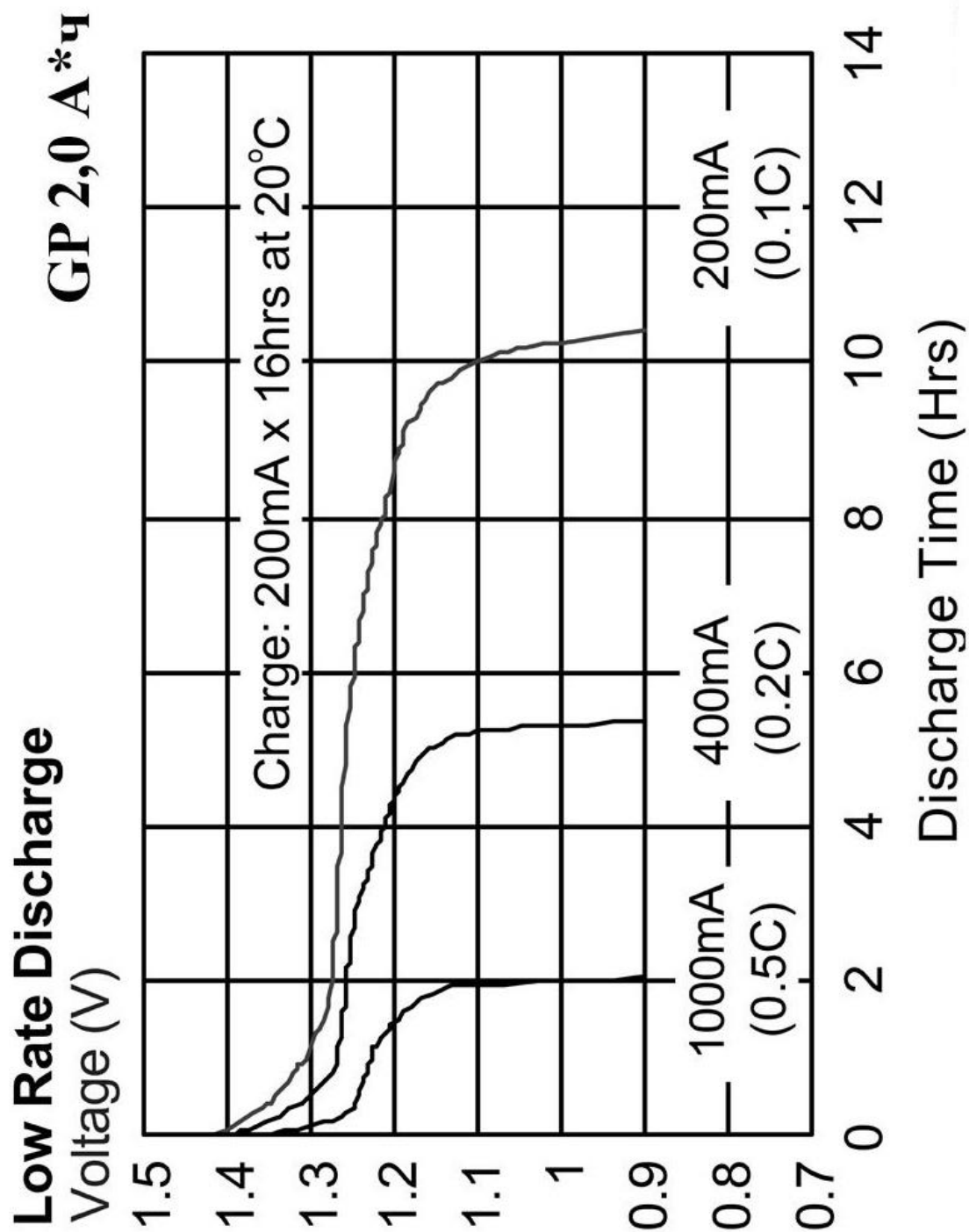


Рис.34 Паспортные данные батареи GP [14]

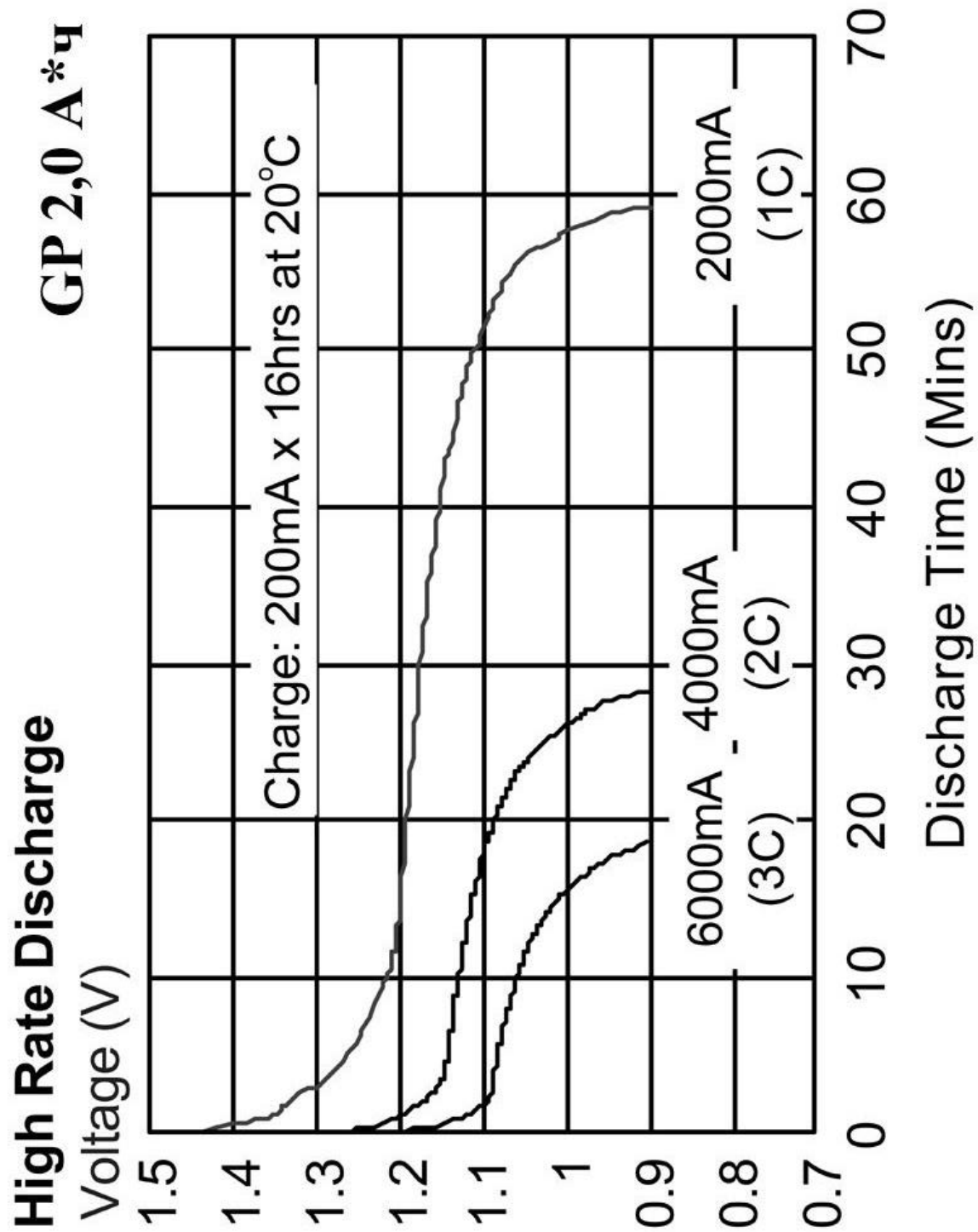


Рис.35 Паспортные данные батареи GP [15]

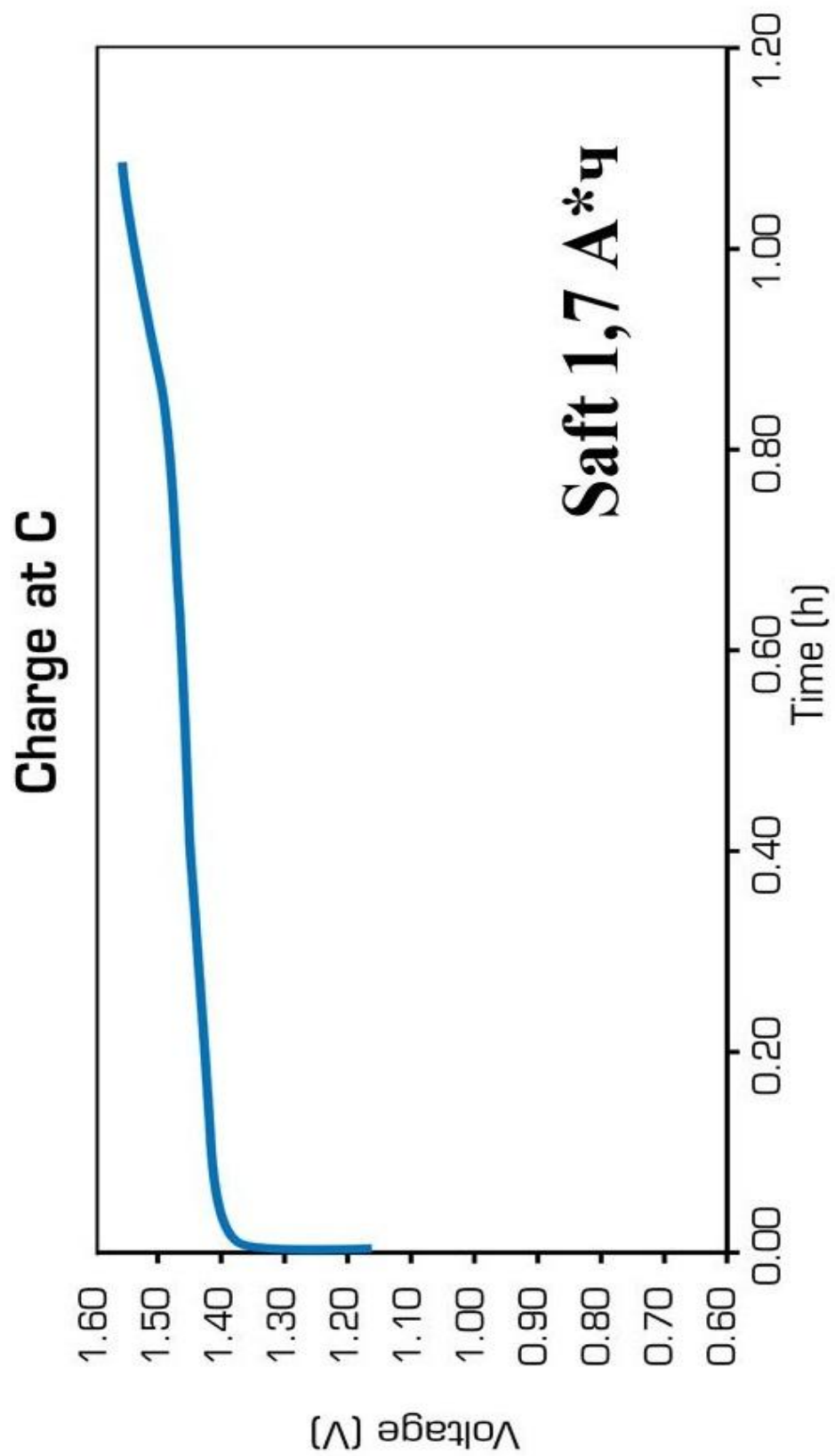


Рис.36 Паспортные данные батареи Saft [16]

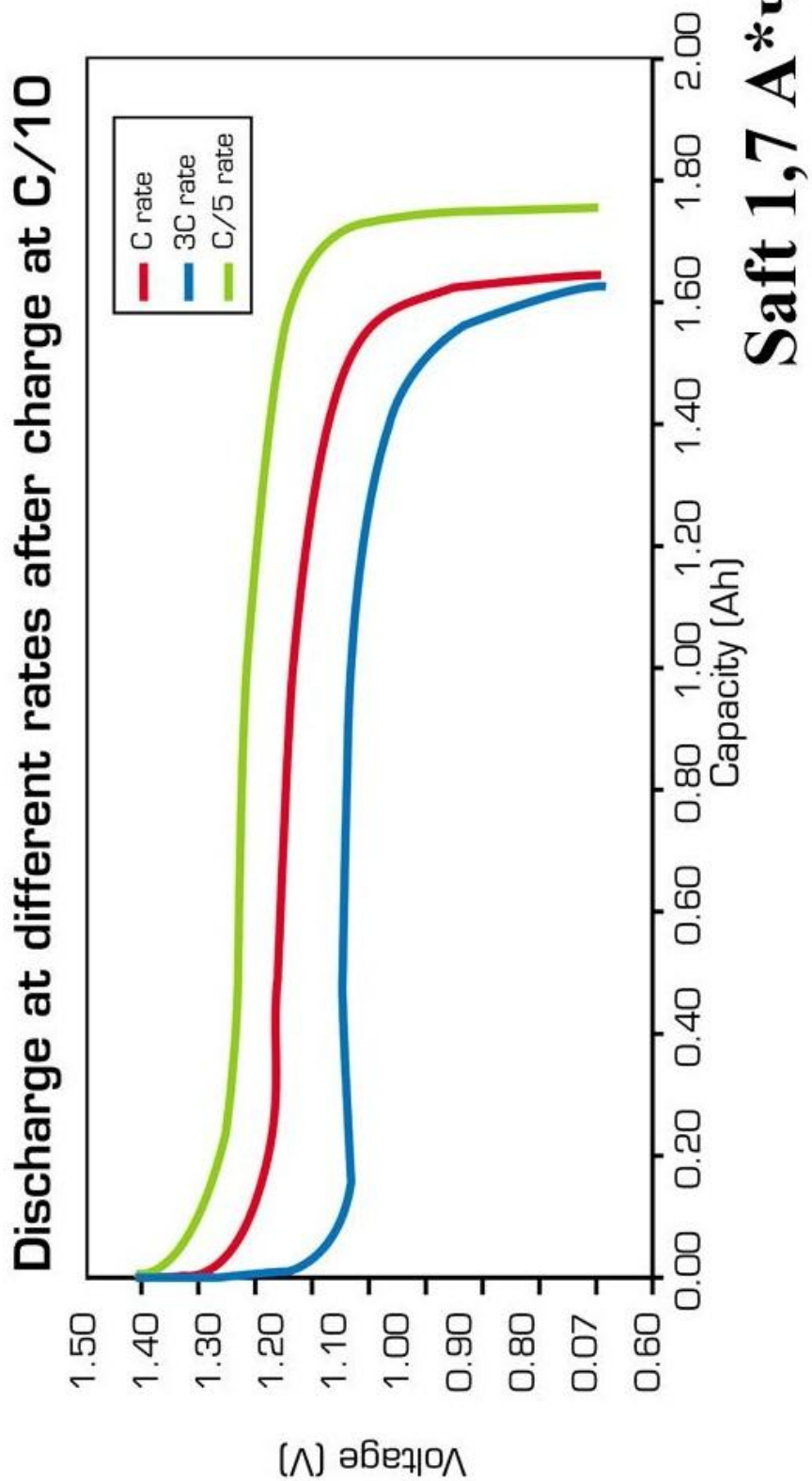
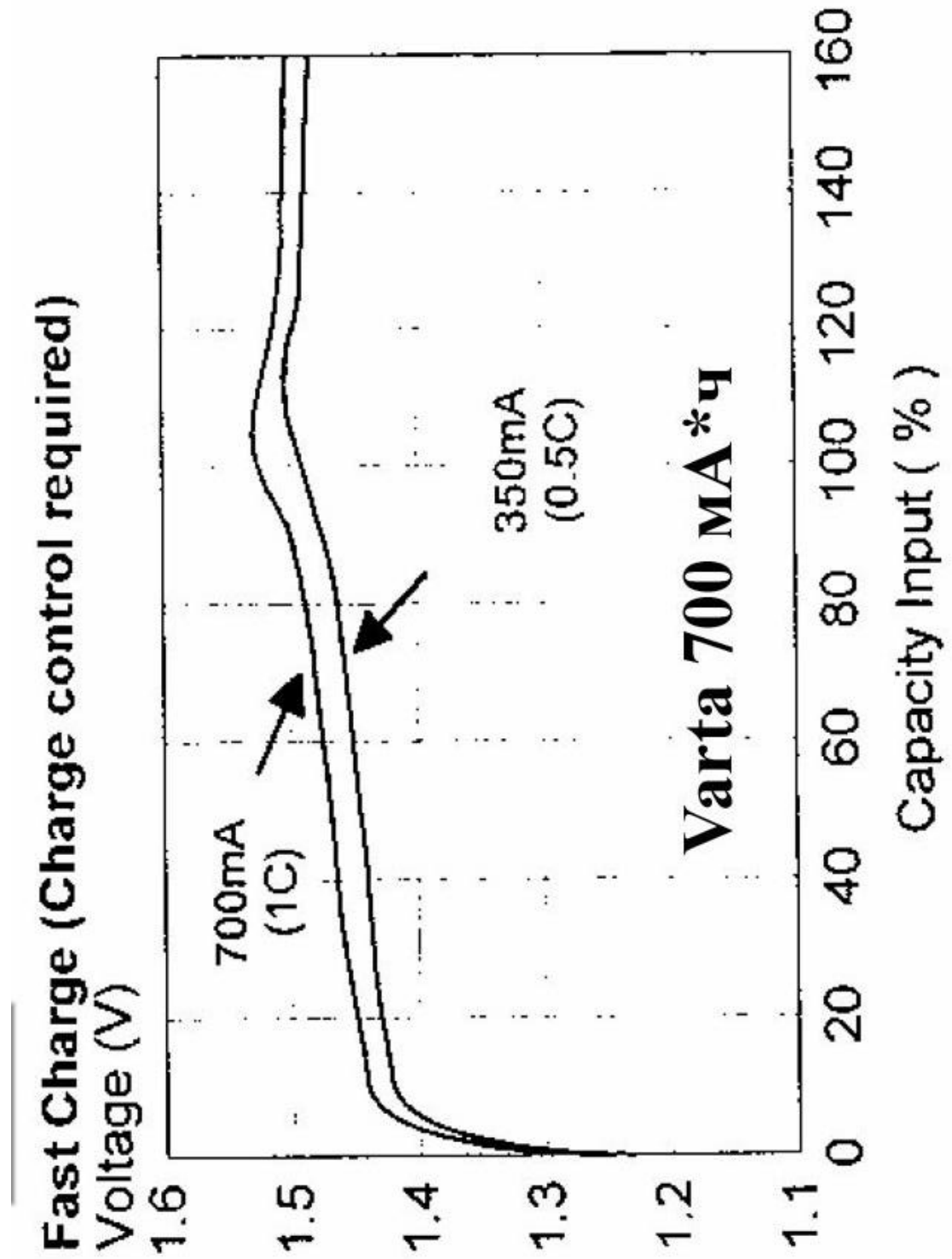


Рис.37 Паспортные данные батареи Saft [17]

Рис.38 Паспортные данные батареи Varta [18]



VH700AAA Discharge curves with various loads at room temperature

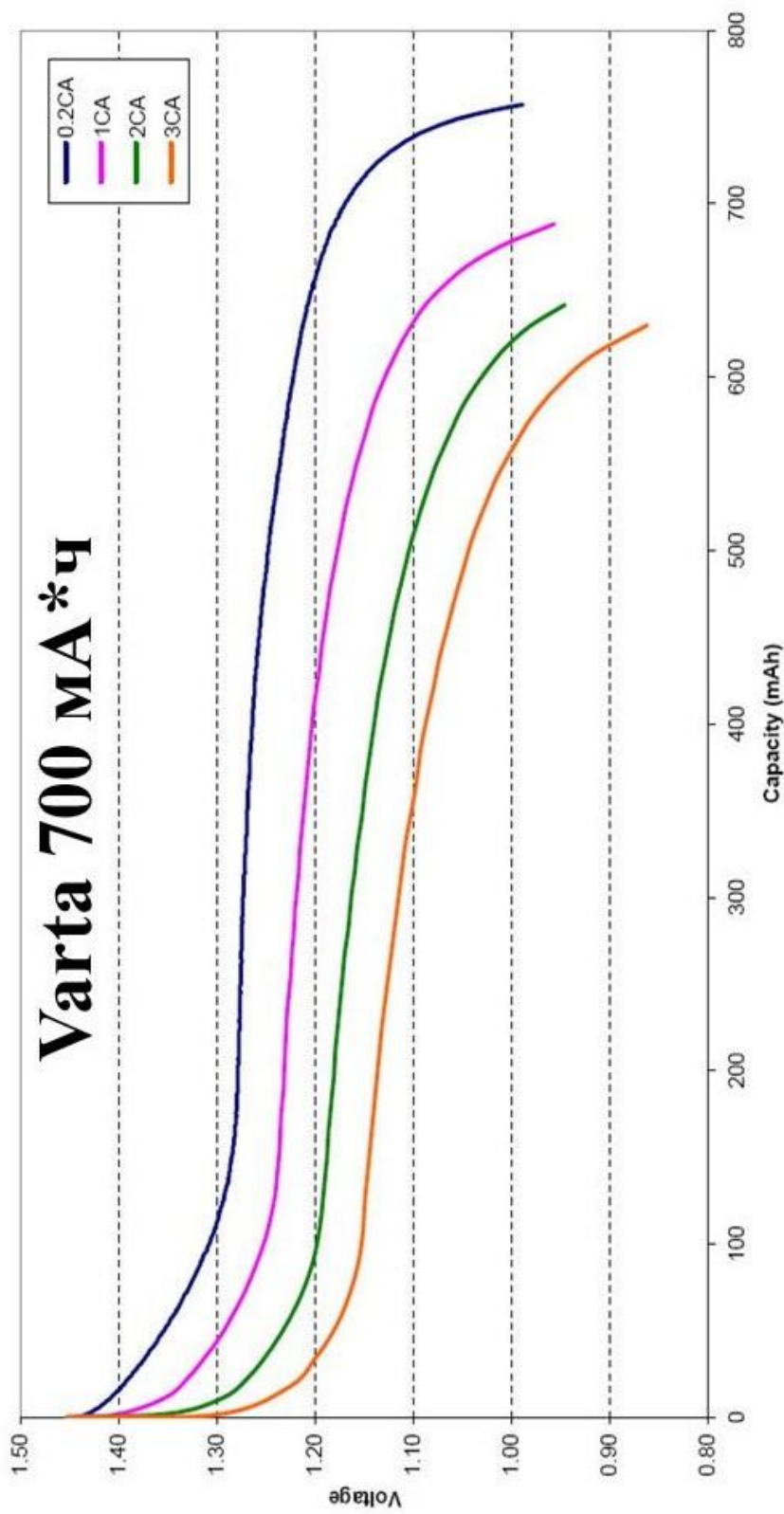


Рис.39 Паспортные данные батареи Varta [19]

Небольшие разъяснения по анализу "гидридников". Как известно, для никель-кадмиевых и никель-металлогидридных батарей, существует два типа зарядки. Во-первых, так называемый "медленный заряд" где выдерживается постоянный ток в $1/10$ от емкости батареи в течение 16 часов. Даже элементарная оценка в уме показывает крайнюю неэффективность этого метода. Предполагается, что в таком с таким маленьким текущим током перезаряда не наносится вред внутренней структуре АКБ. Для того, чтобы определить, когда батарея заряжена, с такими токами невозможно. Точнее можно, если провести несколько экспериментов по текущими данными заряда, но с различным временем заряда, а затем последующая разрядка батарей, чтобы определить количество энергии, произведенной во время зарядки. Но есть опасения, что эти данные будут "ходить" в рамках различных произведенных партий, не говоря уже о батареях разных производителей. Это неудобно для производителей аккумуляторов - они должны откалибровать каждую партию, а не каждый потребитель сможет справиться со всеми нюансами этого вопроса, а также производителем зарядного устройства - они должны будут производить комплекс "зарядки" с регулированием тока и времени заряда. Это в разы увеличит стоимость батарей, зарядных устройств, а также окажет влияние на рынок. Таким образом, был найден компромисс, в котором батарея не несет серьезный вред в результате перезаряда, конструкция зарядного устройства очень проста, и огромный избыток энергии (от 30 до 60% выше нормы), сообщаемая батарее, в условиях внутреннего потребления практически незаметна. Этот тип заряда в последнее время отходит на второй план, и все более и более популярным становится "быстрая зарядка" с зарядными токами более $1 / 10C$ и до $4C$. Обычно это микропроцессорное устройство, которое контролирует уровень напряжения заряда за счет изменения в "банке", а некоторых еще и расширенный контроль внутреннего сопротивления батареи и ее температуры. Именно этот режим заряда и подвергали анализу как более перспективный и простой для расчетов.

Следует отметить, что кривые разряда для всех анализируемых батарей были получены после "медленного заряда". Так указал производитель, и, зная что производитель постарается лучше зарекомендовать свой продукт, то можно предположить, что в этом режиме, батарея показывает максимальную мощность.

NiMH аккумулятор	Параметры	Ток разряда				
		0,2С	0,5С	1,0С	2,0С	3,0С
GP 4,1 А*ч	Аз, Вт*ч	6,38				
	Ар, Вт*ч	5,60	5,53	5,11	5,01	4,81
	КПД, %	87,7	86,6	80,1	78,4	75,3
GP 2,5 А*ч	Аз, Вт*ч	3,65				
	Ар, Вт*ч	3,21	2,50	2,78	2,61	2,37
	КПД, %	87,8	68,3	76,1	71,5	65,0
GP 2,0 А*ч	Аз, Вт*ч	3,07				
	Ар, Вт*ч	2,65	2,48	2,31	2,07	1,95
	КПД, %	86,2	80,7	75,1	67,4	63,6
Saft 1,7 А*ч	Аз, Вт*ч	2,54				
	Ар, Вт*ч	2,29	-	2,02	-	1,81
	КПД, %	90,2	-	79,2	-	71,0
Varta 700 мА*ч	Аз, Вт*ч	1,08				
	Ар, Вт*ч	0,95	-	0,83	0,74	0,69
	КПД, %	88	-	76,5	68,1	63,9

Таблица 5. Сравнение АКБ по показателям

Аз – количество энергии полученных при зарядке

Ар – полученная энергия с батареи при ее разряде, соответствующем током

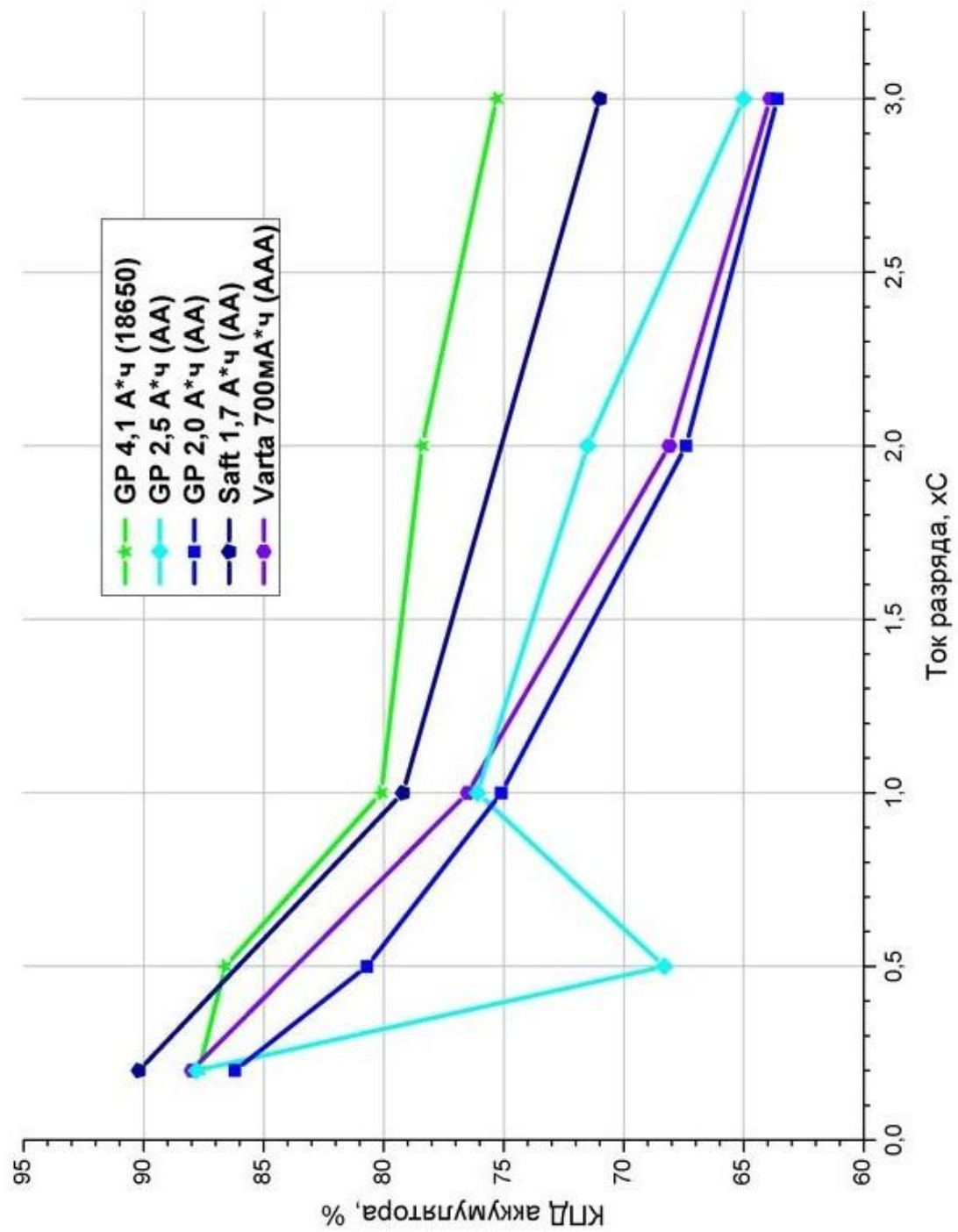


Рис. 40 График зависимости КПД от тока разряда в относительных единицах

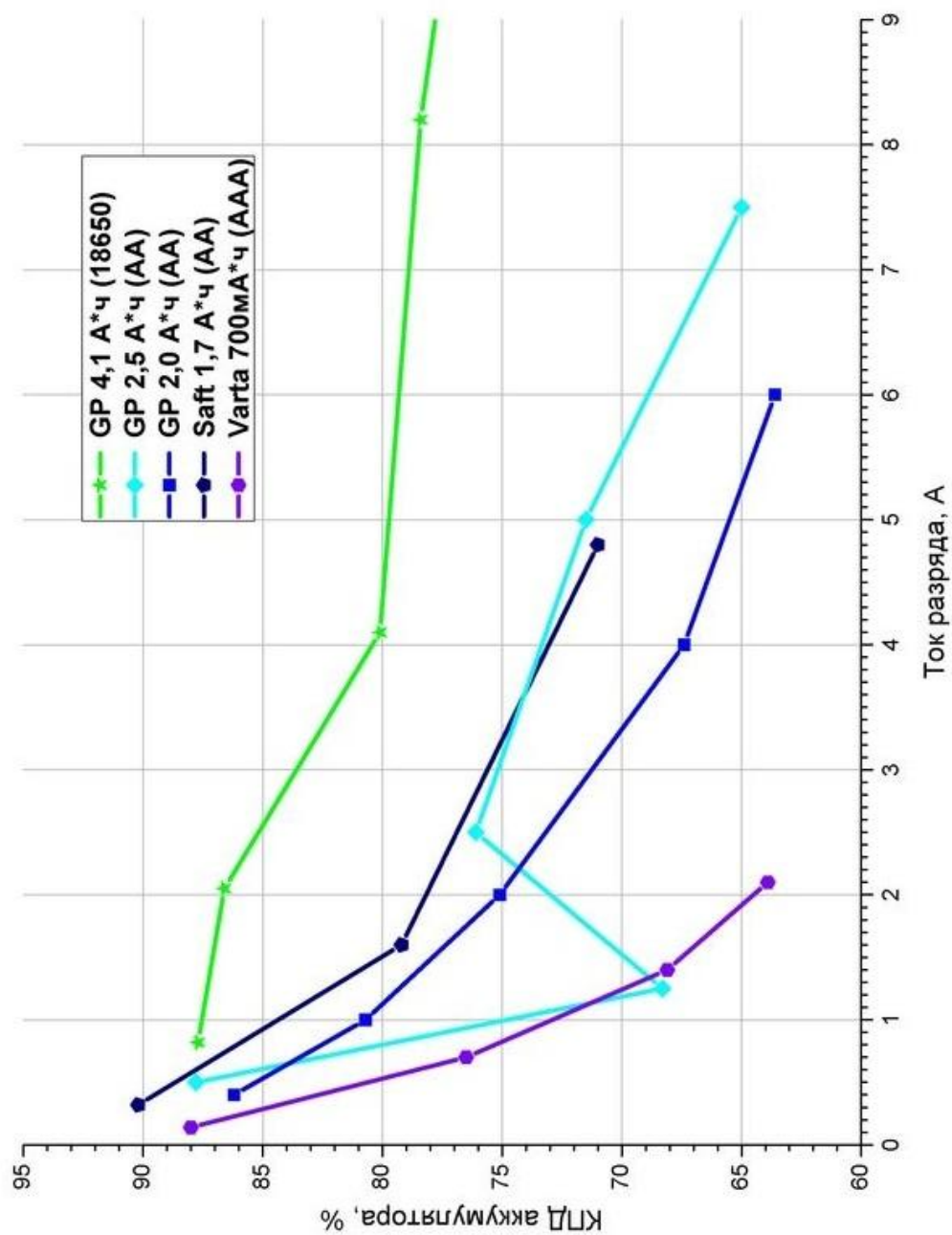


Рис. 41 График зависимости КПД от тока разряда в амперах

На графике КПД четко прослеживается провал образованный на 0,5С от АКБ GP2,5А * ч. Как часто бывает, завод изготовитель не совсем корректно внес сведения по батарее в ее паспорт, поэтому в дальнейшем этот показатель будет игнорироваться. Остальные точки на графике являются более или менее соответствующими действительности. График с абсолютным значением тока разряда получился более информативным. В нем четко прослеживается зависимость эффективности форм-фактор батареи, попросту говоря, размер "банки". И чем больше размер банки, тем более пологой является кривая разряда. Для лития эта картина не наблюдалось.

Наконец

LiFePO₄. Проблема с ними состоит в том, что трудно найти нормальный технический паспорт. Это связано с высокой емкостью батареи для электрических транспортных средств и электроскутеров или есть не читабельный график. В связи с этим имеется только один представитель для сравнений.

Charge Characteristics RKB 3,0 A*ч

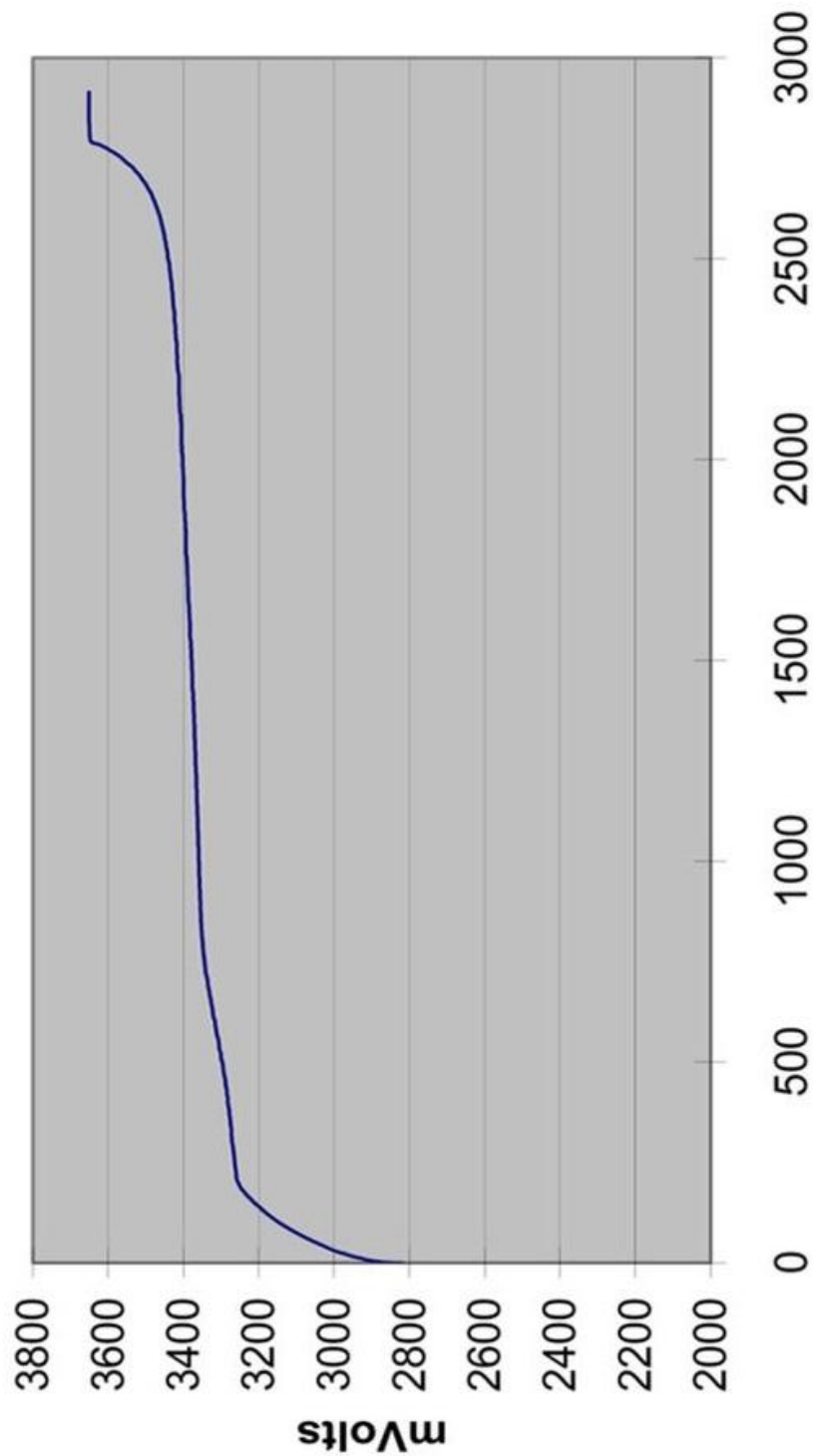


Рис.42 Паспортные данные батареи RKB [20]

Discharge Characteristics

RKB 3,0 A*ч

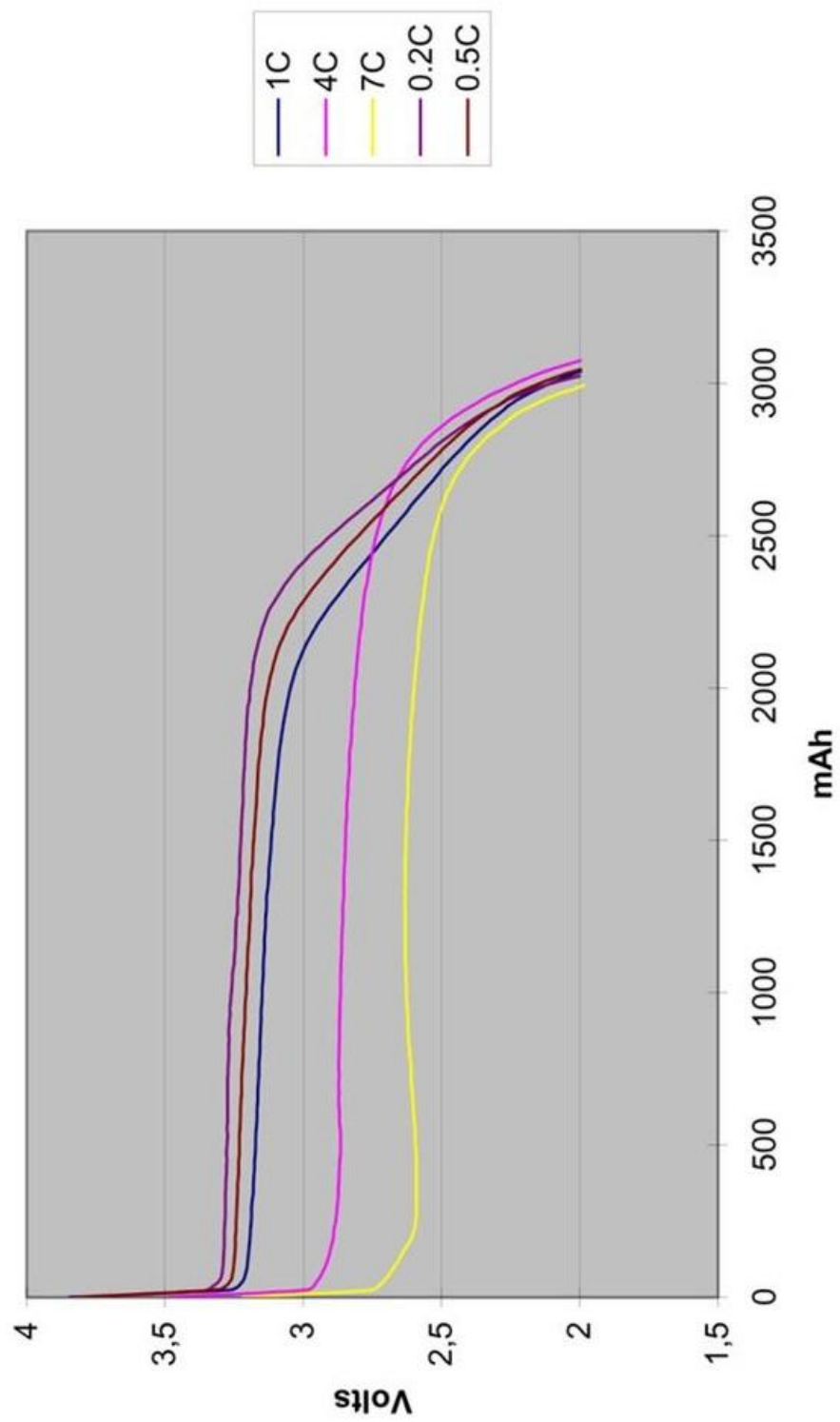


Рис.43 Паспортные данные батареи RKB [21]

LiFePO4 аккумулятор	Параметры	Ток разряда			
		0,2С	0,5С	1,0С	4,0С
RKB 3A*ч	Аз, Вт*ч	9,84			
	Ар, Вт*ч	9,38	9,27	9,04	8,57
	КПД, %	95,4	94,2	91,9	87,1

Таблица 6. Сравнение АКБ с показателями

Построить отдельный график для одного аккумулятора бессмысленно, поэтому внесем данные в общую схему для всех типов батарей. Поскольку NiMH показали наиболее слабый результат, принято решение не включать их в график чтобы не было слишком много лишней информации. На графике видно, что при малых токах все типы батарей показывают высокие значения коэффициента полезного действия. Лидер является безусловно LiFePO4, но на мой взгляд, это связано, большей мере из-за его размеров (диаметр 26 мм, 65 мм высота). Низкое внутреннее сопротивление этого типа батарей отчетливо проявляется на небольшом склоне кривой относительно оси X. Особой внимание заслуживает соотношение между литий-ионными и никель-металлогидридных батарей того же размера (красный, фиолетовая и зеленая линия). Обращает на себя внимание тот факт, что литиевые батареи показали зависимость близкой к линейной. Это "заслуга" электролита из батареи при больших токах он нагревается, его сопротивление падает, а потери сведены к минимуму, то есть проявляется повышение эффективности.

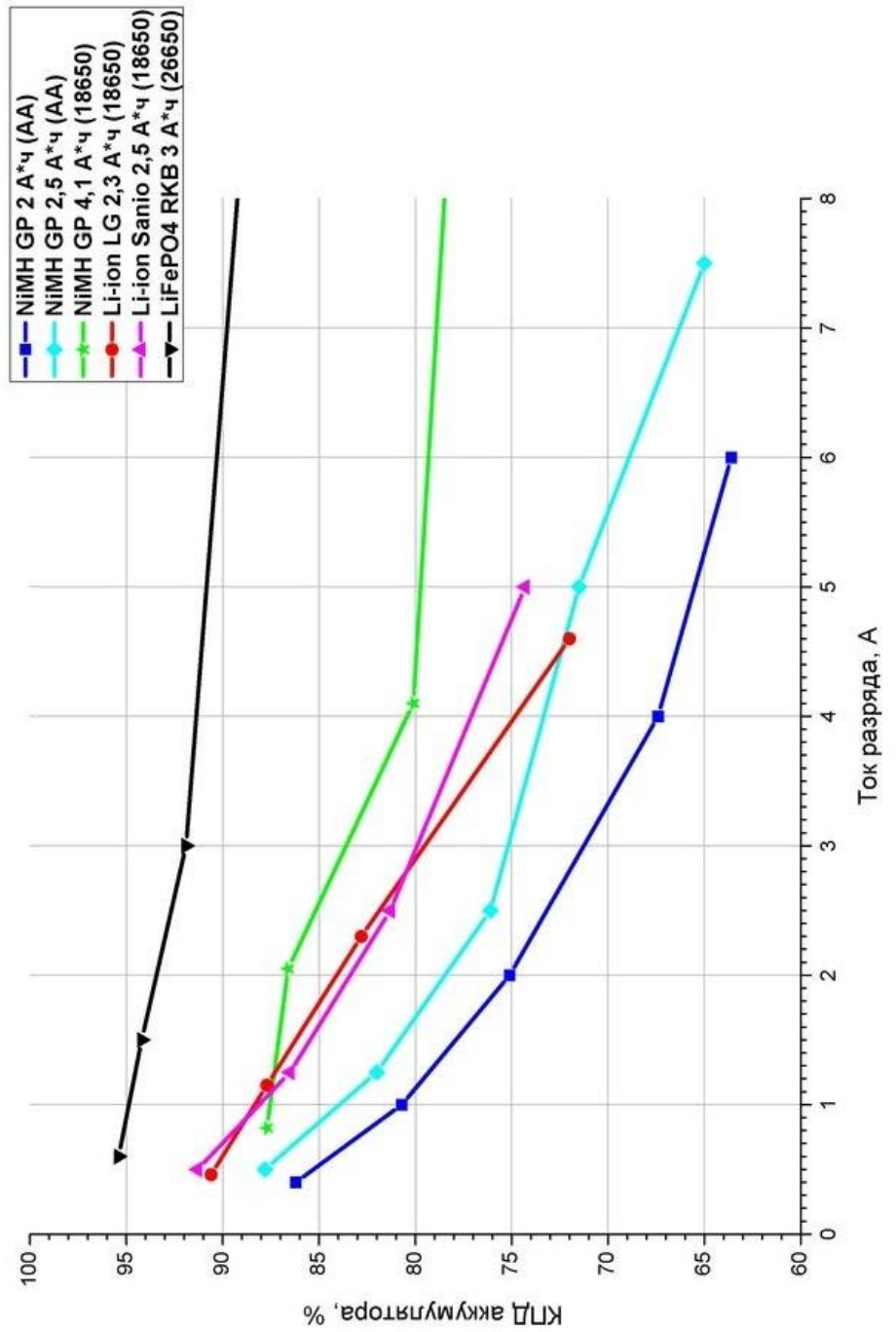


Рис. 44 График КПД исследуемых батарей

Заключение

При рассмотрении какой же способ заряда лучше для батареи нет единогласного ответа. Во многом выбор типа заряда зависит от самой батареи, ее структуры и технических характеристик. Как показали исследования заряд постоянным током может обеспечить 100 % заряженность батареи, но при этом вызывает обильное газовыделение у свинцово-кислотных АКБ и повышение температуры. Заряд методом постоянного напряжения не обеспечит 100% заполняемость батареи и при этом вызовет нагрев батареи из-за высокого первоначального зарядного тока.

Используя комбинированные методы, например такие как «Подзарядка малым током» помогут решить эти проблем, при этом не влияя негативно на батарею.

Необходимо помнить что разряд батареи не менее важен чем ее заряд.. Разряд током близким к значению C, может сказаться уменьшением емкости батареи до 50% от номинальной. При понижении температуры емкости батареи также снижается. Это уменьшение составляет приблизительно 1%/°C.

В ходе разряда уменьшается плотность электролита из-за пассивации сульфата свинца. Такие химические процессы станут необратимы и приведут к выводу из строя электродов. Поэтому нельзя хранить разряженные аккумуляторы длительное время.

Опыт показал, что соблюдая указанный процесс заряда-разряда может повлиять на срок службы батареи почти в полтора раза в сторону увеличения. Стоит отметить, что это не относится к аккумулятором которые уже осыпались из-за некачественного производства.

Список используемой литературы

- 1) Большая советская энциклопедия, третье издание, Москва, 1969—1978 г.
- 2) Коровин Н.В. Электрохимические генераторы. М., 1974 г.
- 3) Лидоренко Н.С., Мучник Г.Ф. Электрохимические генераторы. М., 1982 г.
- 4) Кромптон Г. Вторичные источники тока. М., 1985 г.
- 5) Кромптон Г. Первичные источники тока. М., 1986 г.
- 6) Кабардин О. Физика: справочные материалы. М.: Просвещение, 1991 г.
- 7) Трофимова Т.И. Курс физики: Учебное пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1999 г.
- 8) Эллиот Л., Уилкокс У. Физика. М.: ГИФМЛ, 1963 г.
- 9) СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.
- 10) ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ Предельно допустимые величины напряжений и токов. Электробезопасность.
- 11) ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 12) Охрана труда. Учебное пособие для вузов, Денисенко Г.Ф., Высшая школа, 1985 г.
- 13) НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
- 14) Борьба с шумами и вибрациями в авиационной промышленности. Методические указания к дипломному проектированию, Дайнов М. И., Малько Л. И., Яров В. Н., Московский авиационный институт, 1989 г.
- 15) Правила устройства электроустановок (ПУЭ), шестое издание, переработанное и дополненное, с изменениями.
- 16) Р 2.2.2006 - 05 Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
- 17) Интернет-страница <http://www.buchmann.ca/Article4-Page1.asp>
- 18) Интернет-страница <http://www.toroid.ru/romashEM.html>
- 19) Интернет-страница <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0>

[%B8%D0%B9 %D0%B0%D0%BA%D0%BA%D1%83%D0%BC%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%82%D0%BE%D1%80](http://en.wikipedia.org/wiki/Rechargeable_battery)

Интернет-страница http://en.wikipedia.org/wiki/Rechargeable_battery

- 20) AD654: Low Cost Monolithic Voltage-to-Frequency Converter Data Sheet (Rev C, 07/2013) [Электронный ресурс]: [Текст] / Analog Devices, Inc. - электрон. текст. дан. – Норвуд: Analog Devices, Inc., 2013. - Режим доступа: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD654.pdf .
- 21) Berndt, D. Maintenance-free Batteries. Lead-Acid, Nickel/Cadmium, Nickel/Metal Hydride: A Handbook of Battery Technology [Текст] / D. Berndt. – 2nd ed. - Research Studies Press, Taunton, Somerset, England, 1997. - 496 p.
- 22) Gopikanth M. L., Satyanarayana S. II J. Appl. Electrochem. - № 9. - 1979. - P. 369. 16.
- 23) Haak R. Degradation in nickel-cadmium cells studied by impedance measurements [Текст] / R. Haak, C. Ogden, D. Tench // J. Power Sources. - № 12. – 1984. – P. 289- 303. 17.
- 24) Hammouche, A. Monitoring state-of-charge of Ni-MH and Ni-Cd batteries using impedance spectroscopy [Текст] / A. Hammouche, E. Karden, R.W. De Donker //J. Power Sources. - № 127. – 2004. – P. 105-111.
- 25) Viswanathan, V. V., Salkind A. J., Kelley J. J., Ockerman J. B. // J. Appl. Electrochem. - № 25. – 1995. P.716. 39.
- 26) Wenzl, H. Life prediction of batteries for selecting the technically most suitable and cost effective battery [Текст] / Wenzl, H. // J. Power Sources. - № 144. - 2005. - P. 373-384. 40.
- 27) Zhang, W. L., Kumar M. P. S., Srinivasan S. // J. Electrochem. Soc. - № 142. – 1995. P. 29-35. 41.
- 28) А. с. 1619360 СССР, БИ № 1. Способ определения остаточной емкости кислотной свинцовой аккумуляторной батареи и устройство для его осуществления [Текст] / Петросян В.А.,

- 29) Момджян А.А., Арутюнян А.А., Агабабян Ю.В.(СССР). – 4375136/07; заявлено 10.02.88; опубл. 07.01.91, Бюл. 1 – С 4. 42.
- 30) Алёшкин, А. А. Метод оперативной диагностики доступной ёмкости свинцовых аккумуляторов (батарей) [Текст] / А.А. Алёшкин, Ю.И. Бубнов, В.Х. Протопопов, В.М. Ягнятинский // Электрохимическая энергетика. / СГУ им. Н.Г. Чернышевского. – Саратов, 2013. - №1(13). С. 46-53.
- 31) Антонишен, И. В. Способ измерения внутреннего сопротивления химических источников тока [Текст] / И. В. Антонишен, В. И. Туев, М. В. Южанин // «Доклады ТУСУРа». - № 2 (22) - Ч. 2. - 2010. - С. 183-186. 45.
- 32) Атабеков, Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи [Текст]. В 2 ч. Ч. 1. / Г. И. Атабеков. – 5-е изд. – Москва: Энергия, 1978. – 522 с. 46.
- 33) Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи [Текст] В 2 ч. Ч. 1. / Л. А. Бессонов. – 9-е изд. – Москва : Высшая школа, 1996. – 638 с.
- 34) Болотовский, В. И. Эксплуатация, обслуживание и ремонт свинцовых аккумуляторов [Текст] / В.И. Болотовский, З.И. Вайсгант. Ленинград: Энергоатомиздат, 1988. - 196 с.
- 35) Антонишен, И. В. Способ измерения внутреннего сопротивления химических источников тока [Текст] / И. В.
- 36) Антонишен, В. И. Туев, М. В. Южанин // «Доклады ТУСУРа». - № 2 (22) - Ч. 2. - 2010. - С. 183-186. Атабеков, Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи [Текст]. В 2 ч. Ч. 1. / Г. И. Атабеков. – 5-е изд. – Москва: Энергия, 1978. – 522 с.
- 37) Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи [Текст] В 2 ч. Ч. 1. / Л. А. Бессонов. – 9-е изд. – Москва : Высшая школа, 1996. – 638 с. Болотовский, В. И. Эксплуатация, обслуживание и ремонт свинцовых аккумуляторов [Текст] / В.И. Болотовский, З.И. Вайсгант. Ленинград: Энергоатомиздат, 1988. - 196 с.

- 38) Большой энциклопедический словарь: [А – Я] [Текст] / ред. А. М. Прохоров. - 2е изд., перераб. и доп. - Москва: Большая Российская энциклопедия; Норинт, 1997. – 1408 с. Варыпаев, В.Н. Химические источники тока [Текст]: учеб. пособие для хим.технол. спец. вузов / В.Н. Варыпаев, М.А. Дасоян, В.А. Никольский, ред. В.Н. Варыпаев. – Москва: Высш. шк., 1990. – 240 с.
- 39) Горшенков, А.А. Лингвистическая модель классификационных измерений распределений сигналов [Текст] / Горшенков А.А., Кликушин Ю.Н., Кобенко В.Ю. // Измерительная техника, Москва: Изд-во «Российский научнотехнический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия», – 2013. - № 1. – С. 23-27.
- 40) Гусев, Ю. П. Оценка технического состояния аккумуляторных батарей электростанций и подстанций в процессе эксплуатации [Текст] / Ю. П. Гусев, Н. М. Дороватовский, А. М. Поляков // Электро. – 2002. – № 5. – С. 34-38.
- 41) Известные методы восстановления емкости аккумуляторных батарей [Электронный ресурс]. [Текст] / ООО «БФ-Сервис». – Электрон. текст. дан. – Тюмень: ООО «БФ-Сервис», – 20.07.2008. – режим доступа: <http://www.megabat.ru/company/press-room/publications/98.html>.
- 42) Краткий аналитический обзор существующих способов оценки емкости ХИТ и приборов, реализующих эти способы [Электронный ресурс]. [Текст] / ООО «Черемшина ЭНЕРГОСТАНДАРТ». - электрон. текст. дан. – Севастополь: ООО «Черемшина ЭНЕРГОСТАНДАРТ». - Режим доступа: http://chsenergo.com/files/analisis_10.pdf
- 43) Новицкий, П.В. Оценка погрешностей результатов измерений [Текст] / П.В. Ноаицкий, И.А. Зограф. – 2-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. – 304 с.
- 44) Таганова, А.А. Свинцовые аккумуляторные батареи: стационарные, тяговые, для портативной аппаратуры [Текст]: справочник / А.А. Таганова, А.Е. Семенов. - СПб.: Химиздат, 2004. - 117 с.

- 45) Таганова, А.А. Герметичные химические источники тока: элементы и аккумуляторы, оборудование для испытаний и эксплуатации [Текст]: справочник / А.А. Таганова, Ю.И. Бубнов, С.Б. Орлов. СПб: Химиздат, 2005. – 264 с.
- 46) Таганова, А.А. Изменение импедансных характеристик герметичных никель- кадмиевых аккумуляторов в процессе заряда [Текст] / А.А. Таганова // Исследования в области электрохимической энергетики. Ленинград, Энергоатомиздат, 1989. - С. 70-77.
- 47) Теньковцев, В.В. Повышение эксплуатационных характеристик и надежности герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов для систем электропитания автономных объектов [Текст] / В.В. Теньковцев, А.А. Таганова, Б.А. Борисов и др. // Химические источники тока. Ленинград, Энергоатомиздат, 1991. - С. 27-35.
- 48) Физическая химия. Теоретическое и практическое руководство [Текст]: учеб. пособие для вузов / ред. Б.П. Никольский. – 2-е изд., перераб. и доп., Ленинград: Химия, 1987. – 880 с.
- 49) Чупин, Д. П. Резонансный метод измерения внутреннего сопротивления аккумуляторных батарей [Текст] / Д.П. Чупин // Электроэнергетика и приборостроение: современное состояние, перспективы развития и подготовка кадров : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Т. 1. – Петропавловск : СКГУ им. М. Козыбаева, 2011. – С. 61–63.
- 50) Чупин, Д.П. Влияние измерительных щупов на результаты измерений внутреннего сопротивления аккумуляторных батарей [Текст] / Д.П. Чупин // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность! : материалы V Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием : в 3 кн. / [отв. ред. А.В. Косых]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. – С.247-250.
- 51) Чупин, Д.П. Метод определения емкости аккумуляторных батарей [Текст] / Д.П. Чупин // Динамика систем, механизмов и машин : материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. (Омск, 13-15 ноября 2012 г.) : в 5 кн. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2012: Кн. 1. – С.342-345.

- 52) Чупин, Д.П. Метод оценки параметров аккумуляторных батарей [Текст] / Д.П. Чупин // Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. ученых, преподавателей, аспирантов, студентов, специалистов промышленности и связи, посвященной 15летию ИРСИД. – Омск: Изд-во КАН, 2012. – С.205-207.
- 53) Чупин, Д.П. Проведение экспериментальных исследований с использованием анализатора аккумуляторных батарей АЕА30V [Текст] / Д.П. Чупин // Природные и интеллектуальные ресурсы Омского региона (Омскресурс-3-2013): материалы III Межвузовской научной конференции студентов и аспирантов. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – С. 133-135.
- Scrosati, V. C. A. Modern Batteries. An Introduction to Electrochemical Power Sources [Текст] / V. C. A. Scrosati. - 2nd ed. London: Arnold; N. Y.: Willey, 1997. - 351 p.