

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СТАРТЕРНЫЕ АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ

**Методические рекомендации по изучению
стартерных аккумуляторных батарей для автомобилей
и тракторов для студентов специальностей
1-36 05 01 «Машины и оборудование лесной промышленности»,
1-46 01 01 «Лесоинженерное дело»**

Минск 2007

УДК 621.43(075.8)

ББК 31.251 я73

С 77

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

Составители:

В. А. Симанович, В. А. Демидов, Д. В. Клоков

Рецензенты:

доцент кафедры тракторов и автомобилей БГАТУ
кандидат технических наук *М. А. Солонский*;
доцент кафедры логистики и ценовой политики БГЭУ
кандидат технических наук *А. В. Гермацкий*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2007 год. Поз. 21.

Предназначено для студентов специальностей 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесной промышленности», 1-46 01 01 «Лесоинженерное дело».

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2007

ВВЕДЕНИЕ

В тракторах и автомобилях, поступающих в лесную промышленность и лесное хозяйство Республики Беларусь, электрическая энергия применяется для различных целей – пуска двигателя и питания всех потребителей. Потребители – это сложный комплекс электротехнических и электронных устройств (самостоятельные системы, всевозможные реле, датчики, регуляторы и т. д.), выполняющих самые разнообразные функции.

В автомобилях и тракторах применяются два типа источников тока – аккумуляторная батарея и генераторная установка. Аккумуляторная батарея обеспечивает питание стартера при пуске двигателя и питание потребителей при неработающем двигателе и при его работе на небольшой частоте. Батарея компенсирует дефицит энергии, когда генератор не может обеспечить отдачу мощности, необходимую для полного обеспечения всех включенных потребителей. Заметим, что лесные машины, дорожно-строительная техника имеют гидравлический привод технологического оборудования. В них батарея служит не только для пуска двигателя, но и как буферный источник питания для покрытия пиковых нагрузок энергопотребления с возможностью глубоких разрядов.

Особым требованиям должны отвечать аккумуляторные батареи при эксплуатации машин в условиях отрицательных температур окружающей среды из-за ухудшения условий смесеобразования в двигателе и проворачивания коленчатого вала.

В настоящее время свинцовые стартерные батареи являются наиболее массовым и дешевым химическим источником тока, что обуславливает их широкое применение на лесных машинах.

Для обеспечения надежной работы потребителей тока необходимо четко знать устройство аккумуляторной батареи, неукоснительно выполнять все работы технического обслуживания. Это позволит повысить техническую готовность автотракторного парка лесного комплекса.

1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ, УСТРОЙСТВО И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АККУМУЛЯТОРОВ

1.1. Общие сведения

Первый работающий аккумулятор был создан в 1859 г. французским изобретателем Г. Планте. Он состоял из двух спирально свернутых и разделенных сепаратором листов свинца, погруженных в раствор серной кислоты. Батарея имела общую активную поверхность (площадь) электродов 10 м^2 . После некоторых усовершенствований аккумуляторы были запущены в производство в 1880-х гг. Создание Э. Фолькмаром пластин на решетчатой основе из сплава свинец – сурьма стало началом успешного развития аккумуляторов. Но только в 1925 г. на автомобилях начали устанавливать электрическую систему пуска, которая состоит из аккумуляторной батареи, электростартера и коммутационной аппаратуры. Аккумуляторная батарея стала необходимым элементом автотракторного электрооборудования.

Электроснабжение потребителей электрической энергией в системах электрооборудования лесных машин осуществляется от аккумуляторной батареи (АБ) и генераторной установки. В бортовой сети машин используют постоянный ток с номинальным напряжением 12 или 24 В. Напряжение 24 В выбирается в тех случаях, когда система пуска не обеспечивает необходимых мощностных характеристик при напряжении 12 В. Иногда применяются бортовые сети, обеспечивающие переключение напряжения с 12 на 24 В. В этих случаях стартер включается в цепь с напряжением 24 В, а остальные – с напряжением 12 В.

В автотракторном электрооборудовании обычно применяют однопроводную схему. Согласно ГОСТ 3940–57 все колесные и гусеничные машины имеют бортовую сеть, соединенную с клеммой «+» источника электрической энергии, т. е. ко всем потребителям электроэнергии подходит только один провод. Клема «–» соединяется с корпусом машины «массой», и роль второго провода сети выполняют металлические части машины: шасси, кузов, двигатель, рама и т. п., с которыми все потребители и источники электрически соединены.

АБ является общим элементом для систем пуска и электроснабжения. Однако режим ее работы в этих системах различен. В системах электроснабжения батарея работает в режиме циклического разряда и заряда, причем токи не превышают номинальной емкости

$(0,5-0,7)C_{20}$ А. В системе пуска батарея разряжается в прерывистых режимах при силе тока $(2-5)C_{20}$ А.

Аккумуляторная батарея состоит из нескольких соединенных последовательно аккумуляторов.

Аккумулятор (лат. accumulator – собиратель, от accumulo – собираю, накапливаю) – устройство для накопления энергии с целью последующего использования. Электрический аккумулятор – химический источник тока, устройство, способное накапливать химическую энергию при подаче извне электрического тока (заряд) и отдавать ее в виде электрической энергии во внешнюю цепь (разряд). Процессы превращения энергии происходят многократно в течение всего времени работы аккумулятора.

Аккумуляторная батарея – группа однотипных электрических аккумуляторов, соединенных электрически и конструктивно для получения такого количества электрического напряжения или количества электричества (емкости в А·ч), которое один элемент дать не может. При последовательном соединении суммируется ЭДС отдельных аккумуляторов, а при параллельном – их емкости. При смешанном соединении повышается и электрическое напряжение, и емкость аккумуляторной батареи. При параллельном и смешанном соединениях необходимо предупреждать появление уравнивающих токов.

По типу применяемого электролита аккумуляторы подразделяются на *кислотные* (свинцово-кислотные) и *щелочные* (железо-никелевые).

Свинцово-кислотные аккумуляторы подразделяются на четыре группы: стартерные, стационарные, тяговые и портативные (герметичные). Наибольшее распространение получили свинцово-кислотные (свинцовые) стартерные аккумуляторные батареи, предназначенные для запуска двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и энергообеспечения приборов различных машин.

Применение дизелей для автомобилей и тракторов потребовало значительного возрастания мощности системы пуска.

В настоящее время мощность стартеров большегрузных автомобилей и тракторов равны 10–15 кВт, а емкость аккумуляторных батарей – 200–400 А·ч.

Место расположения АБ в автомобилях и тракторах – в двигательном отсеке, кабине, снаружи – определяется в основном конструктивными особенностями машины и условиями их эксплуатации.

1.2. Принцип действия свинцового аккумулятора

Простейший свинцовый аккумулятор представляет собой сосуд, заполненный электролитом, в который опущены две пластины – электроды. Электролитом является раствор серной аккумуляторной кислоты H_2SO_4 (ГОСТ 667–73) высокой степени очистки в дистиллированной воде (ГОСТ 6709–72) (рис. 1.1). Активными материалами при протекании электрохимических процессов являются двуокись свинца PbO_2 (диоксид свинца 85–90%) на положительной пластине «+» (анод) и губчатый свинец Pb (80–90%) на отрицательной пластине «-» (катод) в заряженном аккумуляторе. При этом электролит, состоящий из водного раствора серной кислоты ($H_2O + H_2SO_4$), имеет повышенную плотность.

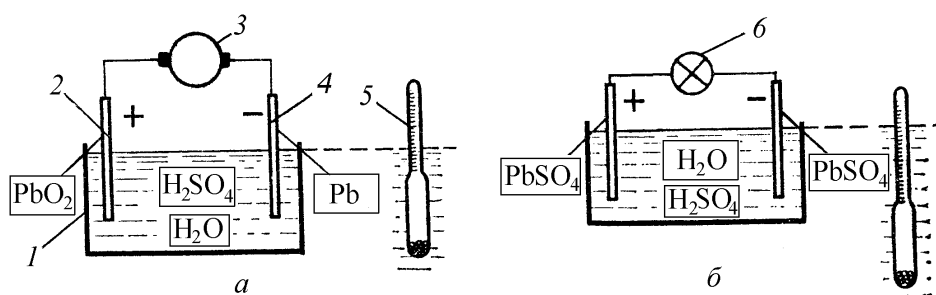


Рис. 1.1. Схема режимов работы аккумулятора:

а – при заряде; *б* – при разряде:

1 – сосуд; *2, 4* – пластины свинцовые; *3* – источник постоянного электрического тока; *5* – ареометр; *6* – потребитель электрической энергии

Аккумулятор работает по принципу двойного преобразования энергии: сначала электрическая энергия, получаемая от постороннего источника (зарядное устройство, генератор), преобразуется в химическую (заряд), а затем химическая – в электрическую (разряд). Аккумулятор не является самостоятельным источником электрического тока, а служит в качестве накапливающего и преобразующего устройства.

Под действием электрического тока серная кислота, содержащаяся в электролите, разлагается. Выделяющийся из нее водород соединяется с кислородом, который выделяется на положительной пластине и образует воду. Освободившийся свинец соединяется с кислотным остатком SO_4 и образуется сернокислый свинец $PbSO_4$.

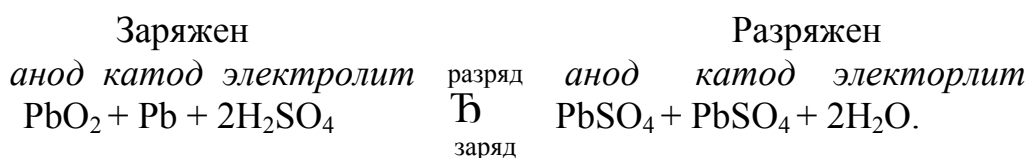
Одновременно с химическим преобразованием положительной пластины при разряде аккумулятора изменяется и химический состав

отрицательной пластины, т. е. губчатый свинец ее соединяется с кислотным остатком SO_4 и на отрицательной пластине также образуется сернокислый свинец PbSO_4 .

До разряда аккумулятора положительная пластина имела темно-коричневый цвет, а отрицательная пластина – темно-серый. При разряде цвет пластин изменяется: положительная пластина приобретает светло-коричневый цвет, а отрицательная – светло-серый.

Для осуществления заряда ток от внешнего источника пропускают в направлении, противоположном току разряда. Ионы водорода, образующиеся в результате распада воды, взаимодействуют с сернокислым свинцом электродов. Водород, соединяясь с сернокислым остатком, образует серную кислоту, а сульфат свинца отрицательного электрода преобразуется в губчатый свинец. Выделяющийся из воды кислород соединяется со свинцом положительной пластины, образуя перекись свинца.

Химические реакции, протекающие при разряде и заряде свинцового аккумулятора, описываются уравнением



Содержание в электролите серной кислоты и плотность электролита уменьшаются при разряде и увеличиваются при заряде. По плотности электролита судят о степени разряженности свинцового аккумулятора:

$$\Delta C_p = \frac{100(\rho_3 - \rho_{25})}{\rho_3 - \rho_p},$$

где ΔC_p – степень разряженности аккумулятора, %; ρ_3 и ρ_p – плотность электролита соответственно полностью заряженного и полностью разряженного аккумулятора при температуре 25°C , г/см^3 ; ρ_{25} – измеренная плотность электролита, приведенная к температуре 25°C , г/см^3 .

Поскольку плотность электролита зависит от его температуры, ее значения приводят к нормированным значениям. Этими значениями обычно являются 20 или 25°C .

Расход кислоты у положительных электродов получается больше, чем у отрицательных. Если учитывать количество воды, образующейся у положительных электродов, то количество кислоты,

необходимое для работы в режиме разряда, в 1,6 раза больше, чем для отрицательных электродов.

При разряде происходит незначительное увеличение объема электролита, а при заряде – уменьшение (около 1 см^3 на $1 \text{ А}\cdot\text{ч}$). На $1 \text{ А}\cdot\text{ч}$ электрической емкости расходуется: при разряде – свинца $3,86 \text{ г}$, диоксида свинца $4,44 \text{ г}$, серной кислоты $3,67 \text{ г}$, а при заряде – воды $0,672 \text{ г}$, сульфата свинца $11,6 \text{ г}$.

При величине номинального напряжения аккумулятора 2 В теоретический удельный расход материалов на единицу энергии равен $5,995 \text{ г/Вт}\cdot\text{ч}$, а удельная энергия аккумулятора составляет $166,82 \text{ Вт}\cdot\text{ч/кг}$.

В связи с тем, что половина поверхности активной массы материалов недоступна для электролита, так как служит основой для построения каркаса, обеспечивающего механическую прочность материала, реальный коэффициент использования активных масс положительного электрода составляет $45\text{--}55\%$, а отрицательного – $50\text{--}65\%$. Кроме того, в качестве электролита используется $35\text{--}38\%$ -ный раствор серной кислоты.

1.3. Конструкция свинцовых стартерных аккумуляторных батарей

Батареи классифицируют:

1) по основным параметрам – номинальному напряжению (6- и 12-вольтовые) и номинальной мощности;

2) по конструктивно-функциональному признаку:

– батареи обычной конструкции – в моноблоке с ячеечными (отдельными) крышками и межэлементными переключками над крышками;

– батареи в моноблоке с общей (единой) крышкой и межэлементными переключками под крышками;

– батареи необслуживаемые – с общей крышкой, не требующие ухода в процессе эксплуатации (термин «батареи необслуживаемые» – условный, так как обслуживать их в эксплуатации все таки требуется, хотя и в значительно меньшем объеме);

– герметизированные батареи с иммобилизованным электролитом;

– батареи, залитые электролитом и полностью заряженные и сухозаряженные.

Особенно это важно при больших разрядных токах, возникающих при включении стартера. Решетка состоит из рамки 2, вертикальных ребер и горизонтальных жилок 4, токоотводящего ушка 1, с помощью которого электроды привариваются к мостику и двух опорных ножек 3, которыми электрод опирается на призмы блока (рис. 1.3).

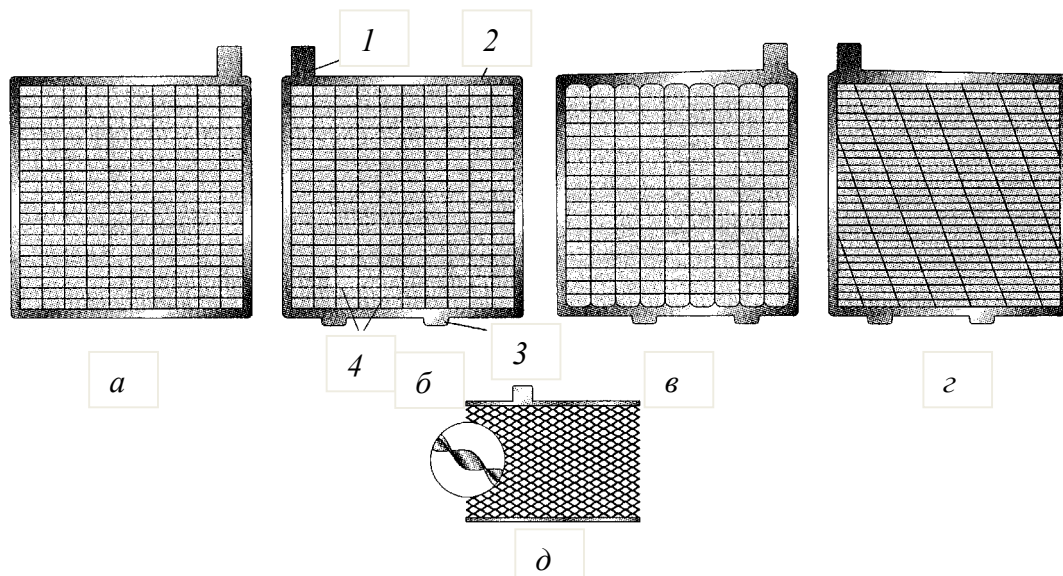


Рис. 1.3. Решетки аккумуляторных электродов:

а, б – соответственно отрицательных и положительных электродов необслуживаемых батарей; *в, г* – соответственно отрицательных и положительных электродов традиционных батарей; *д* – с металлической освинцованной сеткой: *1* – ушко; *2* – рамка; *3* – ножки; *4* – вертикальные ребра и горизонтальные жилки

В качестве решетки применяют и освинцованную металлическую сетку (рис. 1.3, *д*). Она имеет увеличенную поверхность, лучшее сцепление с активным веществом электрода, уменьшая действие коррозии и увеличивая срок службы батареи.

Решетка выполняет не только функции каркаса, обеспечивающего механическую прочность электрода, но и обеспечивает удержание активной массы и возможность параллельного соединения электродов между собой в блоки при помощи ушек.

Толщина решеток электродов выбирается в зависимости от режимов работы и установленного срока службы АБ. Решетки отрицательных электродов имеют меньшую толщину, так как они в меньшей мере подвержены деформации и коррозии. Масса решетки составляет до 50% массы электрода.

Для необслуживаемых АБ решетки изготавливают из свинцово-кальциево-оловянистых или малосурьмянистых (до 2,5% сурьмы)

сплавов. Это снижает интенсивность газообразования, а содержание 0,05–0,09% кальция, 0,5–1% олова и 1,5% кадмия обеспечивает повышение напряжения начала газовой выделения до 2,45 В и в 15–17 раз снижает потерю воды от электролиза. Это позволяет контролировать и корректировать уровень электролита не чаще одного раза в год. Отсутствие выделений взрывоопасных смесей водорода и кислорода облегчает задачу утепления и обогрева батарей.

Ячейки решеток электродов заполняют (вмазывают) пористым активным веществом (пастой) (рис. 1.4). Активная масса традиционных АБ состоит из порошкообразного сурика и свинцового глета, замешанных на растворе серной кислоты.

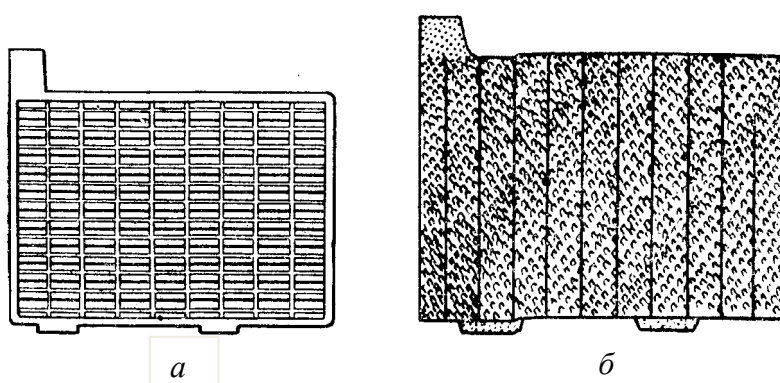


Рис. 1.4. Решетки (тоководы) пластин свинцового аккумулятора:
а – до заполнения пастой; *б* – после заполнения

В настоящее время самое широкое распространение для приготовления электродных паст получили свинцовые порошки. Производство свинцового порошка является более экономичным, чем сурика и глета. Для производства свинцового порошка используется марка свинца С0, С1 и реже С2. Их получают различными методами: истиранием шаров, цилиндров, чушек в мельничных установках; электролитическим способом и др. Основной составляющей свинцового порошка является оксид PbO (60–70%), образуемый по реакции



Наиболее распространенными рецептами для приготовления электродных паст стартерных аккумуляторов являются:

– для положительных электродов: свинцовый порошок – 100 кг; раствор H₂SO₄ (ρ = 1,07 г/см³) – 15 л; раствор H₂SO₄ (ρ = 1,40 г/см³) – 2,85 л; вода 0–2 л; волокно 0,05–0,1 кг;

– для отрицательных электродов: свинцовый порошок – 100 кг; сульфат 0,6–1,0 кг; дубитель БНФ (твердый) 0,2–0,3 кг; волокно 0,05–0,1 кг; вода (общая) 1,5–2,0 л.

Тестообразная паста внедряется в решетки электродов. Затем пластины сушат. При этом происходят отверждение пасты, уменьшение в ней свободного свинца, окисление компонентов сплава тоководов. После сушки пластины формируют. Электрохимическое формирование осуществляется в специальном формирочном электролите плотностью 1,07–1,1 г/см³. Общепринятым режимом формирования является двухступенчатый, при котором плотность тока на первой ступени составляет 1 А/дм², а на второй ступени – 0,7 А/дм², продолжительность формирования составляет примерно одни сутки при беспайковом (без припайки пластин к токоподводящим шинам) формировании.

Емкость аккумулятора зависит в первую очередь от площади электродов, вступающих в реакцию с электролитом. Поэтому для повышения емкости аккумуляторов необходимо увеличивать площадь пластин и обеспечить участие в реакции всей массы электродов, а не только поверхностей. С этой целью для электродов используют пористый материал, а увеличение площади пластин достигается параллельным включением нескольких пластин.

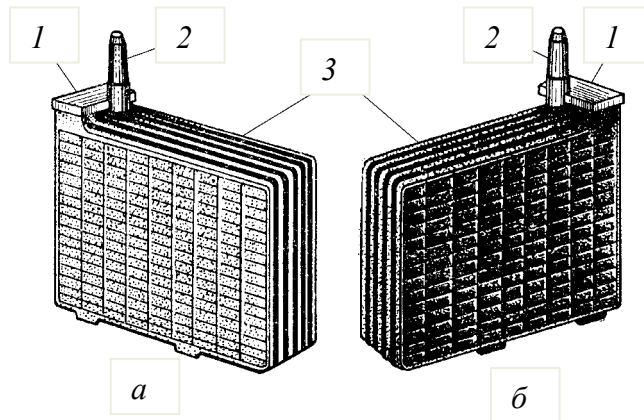


Рис. 1.5. Полублоки электродов свинцового аккумулятора:

a – отрицательных; *б* – положительных:

1 – мостик; *2* – борн; *3* – электроды

Высушенные и отформированные пластины – электроды одной полярности с определенным зазором припаивают к мостику (баретке) *1*, к которому приварен выводной штырь (борн) *2*. Баретка является токоведущим элементом. В результате образуется полублок одно-

именных электродов (рис. 1.5). Баретки изготавливаются литьем из свинцово-сурьмянистого сплава достаточно массивными для уменьшения внутреннего сопротивления АБ. Два полублока разной полярности соединяют в блок. Для устранения возможности непосредственного контакта двух соседних электродов разной полярности в блоке между ними установлены кислотоупорные вставки из изоляционного материала – сепараторы. После чего блоки помещают в ячейки моноблока (рис. 1.6). Моноблок разделен перегородками на отдельные ячейки, число которых равно числу аккумуляторов в АБ (3 или 6). На дне каждой секции расположены четыре опорные призмы, между которыми имеется пространство для шлама. Это исключает короткое замыкание электродов, так как шлам оседает в углублениях между ребер.

Полублок отрицательных электродов у традиционных батарей содержит на один электрод больше, чем полублок положительных электродов. Находясь между двумя отрицательными электродами обе стороны положительного электрода участвуют в электрохимических процессах и подвергаются одинаковым изменениям объема активной массы при заряде и разряде, что увеличивает емкость аккумулятора и создает его равномерный износ. При такой компоновке положительные электроды, как правило, на 10–20% толще отрицательных, а крайние отрицательные электроды имеют толщину на 40% меньше положительных.

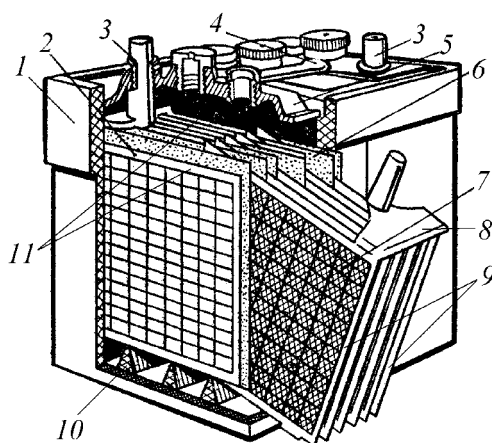


Рис. 1.6. Установка полублоков в ячейках АБ:

1 – моноблок; 2 – отрицательная пластина; 3 – полюсные выводы; 4 – межэлементное соединение (перемычка); 5 – крышка; 6 – сепараторы; 7 – положительные пластины; 8 – баретка полублока; 9 – полублок положительных пластин; 10 – опорные призмы моноблока; 11 – полублок отрицательных пластин

Сепараторы. Электроды в блоках разделены сепараторами. Это пористые полимерные перегородки, которые предотвращают короткое замыкание разнополярных электродов, обеспечивают необходимый для высокой ионной проводимости запас электролита в межэлектродном пространстве и предотвращают возможность переноса электролита от одного электрода к другому.

В свинцовых аккумуляторах применяют сепараторы из:

1) мипора (микропористый эбонит) – вулканизированная смесь натурального каучука с различными добавками (силикагель и сера). Мипор имеет хорошие эксплуатационные характеристики, но хрупок и дорогостоящ в производстве. Толщина сепараторов 1,1; 1,5; 1,9 мм;

2) мипласта (микропористый полихлорвинил), получаемый из полихлорвиниловой смолы спеканием. Размер пор меньше, чем в мипоре, но менее стоек к прорастанию дендритов, но дешевле. Срок службы АБ с сепараторами из мипласта меньше. Толщина сепараторов 1,1; 1,3; 1,5; 1,7; 1,9 мм;

3) порвинила – полихлорвиниловая смола с добавками крахмала и циклогексана (повышает мощность АБ при низких температурах на 10–15%).

Сепараторы из мипора и мипласта – прямоугольные пластины с трапециевидными, круглыми или овальными вертикальными выступами (рис. 1.7), которые обращены к положительному электроду для лучшего доступа к нему электролита. Тем самым снижается внутреннее сопротивление, повышается емкость АБ, уменьшается оползание активной массы. Небольшие ребра высотой 0,15–0,2 мм со стороны, обращенной к отрицательному электроду, снижают вероятность «прорастания» сепаратора, улучшают условия диффузии и конвекции электролита около отрицательного электрода.

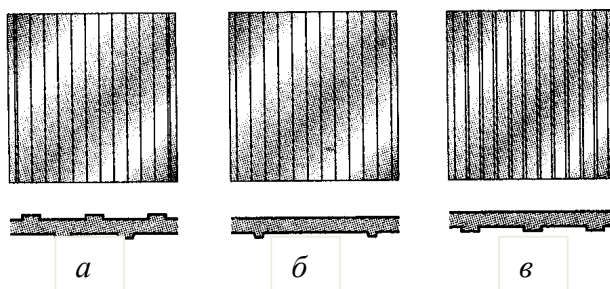


Рис. 1.7. Сепараторы свинцовых стартерных АБ:
a – из мипора; *б* – из мипласта; *в* – полиэтиленовые

Размеры сепараторов из мипора и мипласта на 3–5 мм по ширине и на 9–10 мм по высоте больше, чем у электродов. Это исключает появление токопроводящих мостиков по торцам пластин и сепараторов.

Известны сепараторы и более сложной конструкции:

1) сепараторы – конверты, имеющие мягкое утолщение по боковым и нижним кромкам;

2) двойные сепараторы, состоящие из мипора или мипласта и слоя стекловылока (0,4–0,65 мм). Однако применение двойной сепарации повышает внутреннее сопротивление аккумулятора по сравнению с одинарной, что ухудшает его работу при стартерном разряде.

В необслуживаемых батареях применяют пленочные сепараторы и сепараторы-конверты (рис. 1.8), образуемые двумя сваренными с трех сторон пластиковыми сепараторами.

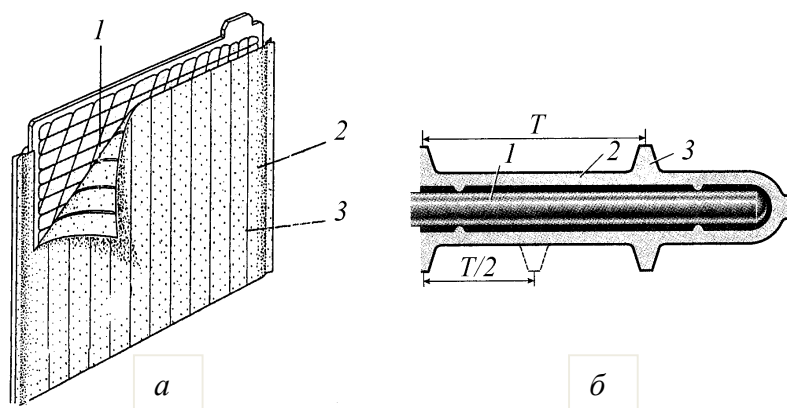


Рис. 1.8. Сепаратор-конверт АБ:

а – размещение электрода в сепараторе-конверте;

б – сечение сепаратора-конверта с электродом;

1 – электрод; *2* – сепаратор; *3* – ребра сепаратора;

T – расстояние между ребрами сепаратора

Моноблоки. Крышки. Пробки. Моноблок АБ должен быть морозо- и теплоустойчив, кислотостоек, механически прочен. Моноблоки изготавливают из эбонита или другой пластмассы. Для выполнения этих требований моноблок, крышки и другие корпусные детали должны иметь толщину стенок 9–12 мм. В этом случае масса их достигает 15–18% от полной массы АБ, а масса моноблока доходит до 5–12 кг. Моноблоки из эбонита в настоящее время заменяются моноблоками из термопласта (наполненного полиэтилена), полипропилена (сополимер пропилена и этилена) и полистирола. Высокая

прочность полипропилена позволила уменьшить толщину стенок до 1,5–2,5 мм и тем самым уменьшить массу моноблока и батареи.

Внутри моноблок разделен прочными непроницаемыми перегородками на отдельные ячейки по числу аккумуляторов в батарее. В ячейках моноблока размещают собранные в блоки электроды и сепараторы. В батареях с обычными сепараторами их устанавливают ножками на опорные призмы (разноименные электроды на свои две призмы), что исключает их короткое замыкание шламом (рис. 1.9).

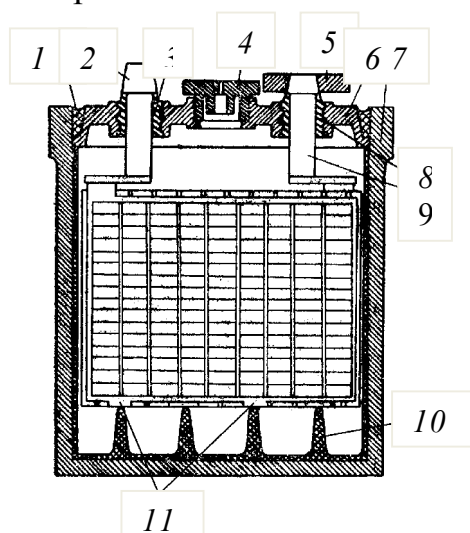


Рис. 1.9. Свинцово-кислотный аккумулятор в разрезе:

- 1 – заливочная мастика; 2, 9 – выводные штыри; 3, 8 – свинцовые втулки;
4 – пробка; 5 – межэлементная перемычка; 6 – крышка; 7 – моноблок;
10 – опорные призмы шламового пространства; 11 – ножки; 12 – шламовые камеры

Крышки из эбонита и пластмассы различного конструктивного исполнения могут закрывать отдельные аккумуляторные ячейки (рис. 1.10).

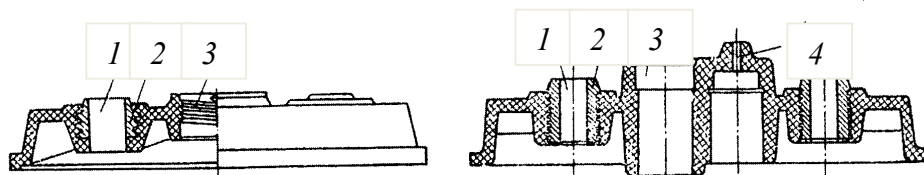


Рис. 1.10. Крышки для отдельной аккумуляторной ячейки моноблока:

- 1 – отверстие для вывода борна; 2 – свинцовая втулка;
3 – заливочное отверстие (горловина); 4 – вентиляционное отверстие

В местах стыка отдельных крышек со стенками моноблока эбонитовые АБ герметизируются битумной мастикой. Мастика должна быть химически стойкой и эластичной, иметь низкую температуру плавления, при температурах от -40 до $+60^{\circ}\text{C}$, не должна отставать от стенок моноблока и крышек, разрываться и трескаться.

Заливочные отверстия в крышках унифицированы по группам с метрической резьбой М20, М24 и М30 и закрываются пробками с вентиляционными отверстиями, обеспечивающими выход газов. Пробки изготавливают из эбонита, полиэтилена, полистирола и фенолита. Пластмассовые пробки имеют меньшую массу и большую прочность. Чтобы предотвратить выплескивание электролита во время движения и при угле наклона АБ до 45° пробка имеет отражатель 4 и уплотняется резиновой шайбой 3 (рис. 1.11). Отражатель может быть выполнен и в форме лепестка 7.

Герметизация может обеспечиваться также конусным бортиком 5, плотно прилегающим к горловине отверстия в крышке. В новых пробках предусмотрен пластмассовый уплотнительный элемент 6, расположенный на бортике пробки.

При наличии общей крышки можно устанавливать блок пробок на несколько заливных горловин, которые располагаются выше вентиляционных отверстий. Вытекающий из заливных горловин электролит через вентиляционные отверстия может поступать обратно в ячейки моноблока. Блок пробок выполнен в виде пластмассовой планки 8, в которую вставлено необходимое число безрезьбовых пробок 9 (рис. 1.11, з).

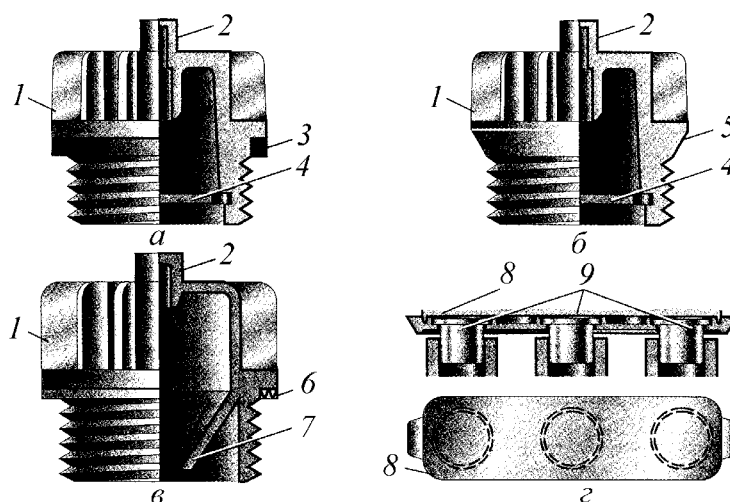


Рис. 1.11. Пробки АБ:

- а, б, в* – с резьбой; *з* – блок безрезьбовых пробок:
1 – корпус пробки; *2* – прилив вентиляционного отверстия;
3 – резиновая шайба; *4* – отражатель; *5* – конусный бортик;
6 – пластмассовый уплотнительный элемент; *7* – лепестковый отражатель;
8 – пластмассовая планка; *9* – безрезьбовые пробки

Общие крышки из пластмассы приваривают или приклеивают к моноблокам. Применение общей крышки (особенно из термопластичных материалов) позволяет облегчить обслуживание батареи в эксплуатации. Конструкция некоторых крышек из полипропилена обеспечивает централизованную заливку электролита в батарею и общий газоотвод.

Внешний вид батарей в пластмассовом корпусе с общей крышкой приведен на рис. 1.12.

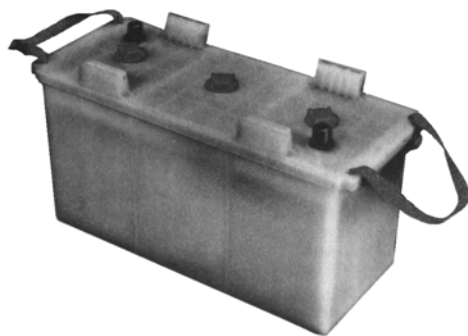


Рис. 1.12. Батарея типа ЗСТ в пластмассовом корпусе

Межэлементные перемычки. Выводы. Для последовательного соединения аккумуляторов в батарее используют межэлементные перемычки 5, которые припаивают к борнам бареток полублоков в таком порядке, чтобы соединить между собой полублок отрицательных пластин одного аккумулятора с полублоком положительных пластин рядом расположенного аккумулятора.

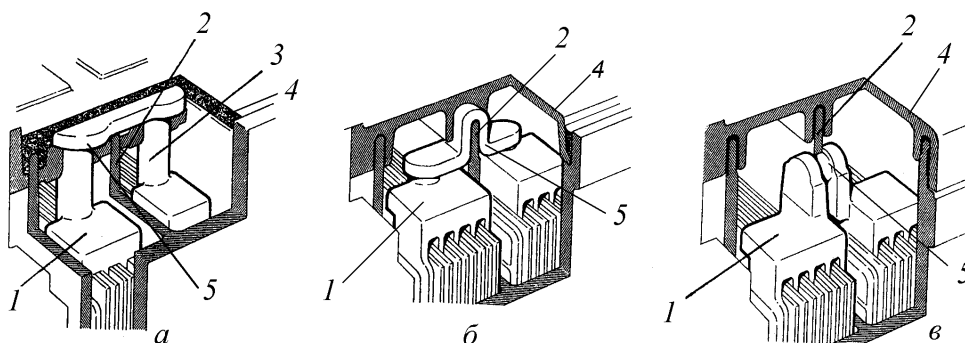


Рис. 1.13. Межэлементные перемычки АБ:

а – наружные над крышкой; *б* – внутренние над перегородкой под крышкой;

в – внутренние через отверстия в перегородке;

1 – мостик баретки; *2* – перегородка моноблока; *3* – борн баретки;

4 – крышка; *5* – перемычка

Межэлементные перемычки из свинцово-сурьмянистого сплава устанавливают снаружи над крышкой, через перегородки под крышкой и пропускают через отверстия в пластмассовой перегородке (рис. 1.13).

Укороченные межэлементные перемычки через перегородки полиэтиленовых и полипропиленовых моноблоков позволяют уменьшить сопротивление батареи (рис. 1.14) и расход свинцового сплава. Снижение потерь напряжения на соединительных деталях позволяет иметь на 0,1–0,3 В больше напряжение на выводах батареи при ее работе в стартерном режиме. Расход свинцово-сурьмянистых сплавов снижается на батареях до 100 А·ч на 0,5–0,9 кг, а на батареях емкостью свыше 100 А·ч – на 1,5–3 кг.

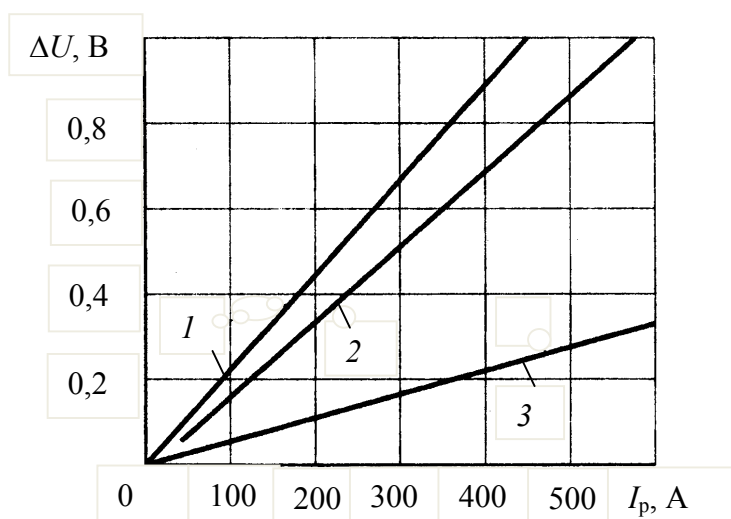


Рис. 1.14. Зависимость омических потерь напряжения ΔU от разрядного тока I_p при различных способах соединения аккумуляторов:
1 – над крышкой; 2 – под крышкой; 3 – через перегородку

Поперечные сечения борнов и межэлементных перемычек стартерных батарей выбираются из условия ограничения падения напряжения на каждом из борнов до 16 мВ и на межэлементных перемычках – до 20 мВ.

С целью уменьшения внутреннего падения напряжения в АБ большой емкости борны и межэлементные перемычки выполняются в виде освинцованных стержней из меди, имеющей в 12 раз большую электропроводность по сравнению с свинцово-сурьмянистыми сплавами (рис. 1.15).

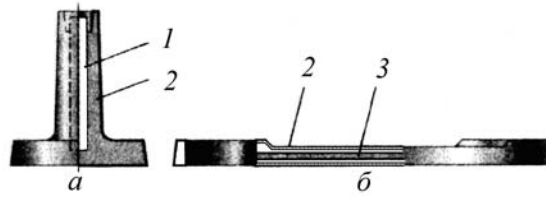


Рис. 1.15. Токоведущие детали батареи с медными вкладышами:
a – борн; *б* – перемычка:
 1 – медный стержень борна; 2 – свинцово-сурьмянистый сплав;
 3 – медная пластина перемычки

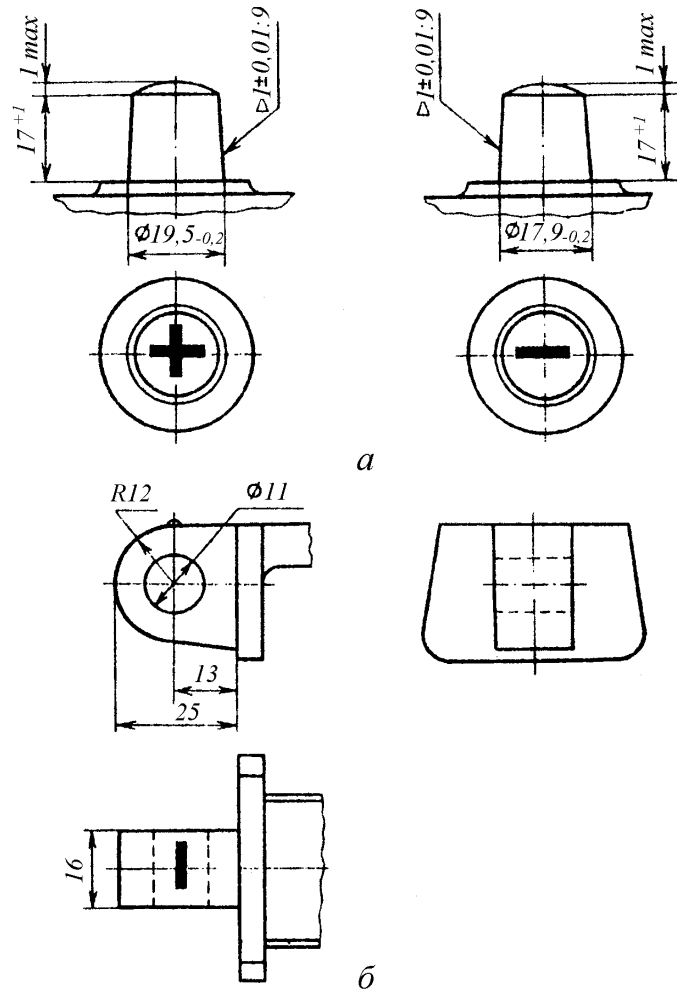


Рис. 1.16. Полюсные выводы стартерных АБ:
a – конусные; *б* – с отверстиями под болт

К борнам крайних аккумуляторов приваривают конусные полюсные выводы, к которым крепятся клеммные зажимы проводов внешней цепи и ставят клеймо соответствующего полюсного знака («+» и «-»). Размеры выводов стандартизированы. Диаметр конуса у

основания положительного вывода больше, чем у отрицательного (рис. 1.16). Этим исключается вероятность неправильного включения батареи в систему электрооборудования, что может привести к повреждению электронных и других элементов системы электрооборудования.

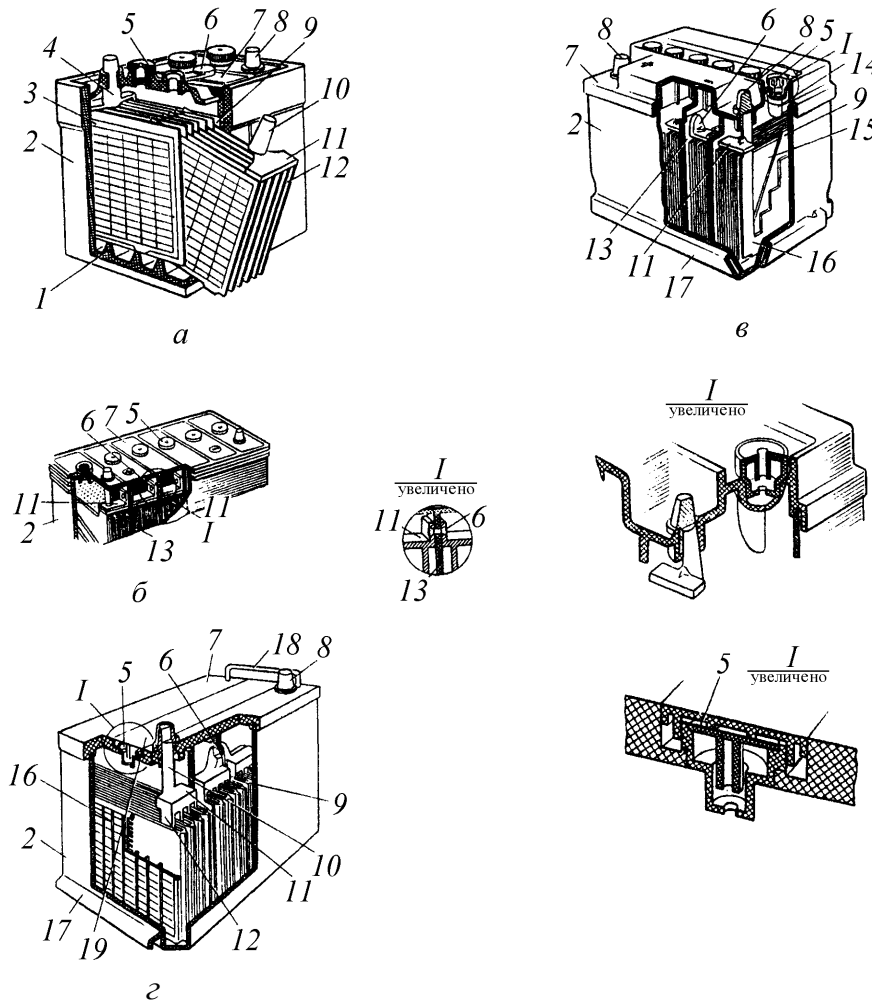


Рис. 1.17. Аккумуляторные батареи:

а – в моноблоке с ячеечными крышками и межэлементными перемычками через перегородки; *б*, *в*, *з* – с межэлементными перемычками через перегородки:

- 1* – опорные призмы моноблока; *2* – моноблок;
- 3* – полублок отрицательных электродов; *4* – баретка; *5* – пробка;
- б* – межэлементная перемычка; *7* – крышка; *8* – полюсный вывод; *9* – сепаратор;
- 10* – борн; *11* – мостик; *12* – полублок положительных электродов;
- 13* – перегородка моноблока; *14* – индикатор уровня электролита;
- 15* – положительный электрод; *16* – отрицательный электрод;
- 17* – выступ моноблока; *18* – ручка; *19* – планка

Некоторые конструкции АБ имеют полюсные выводы с отверстиями под болты для крепления проводов или оба типа выводов.

Узлы пайки и токоведущие детали батарей должны выдерживать прерывистый разряд током силой $9C_{20}$ А (C_{20} – номинальная емкость при двадцатичасовом разряде), но не выше силы разрядного тока 1700 А в течение четырех циклов (5 с – разряд, 10 с – пауза).

Для удобства размещения АБ на машинах предусмотрена унификация их размеров по ширине, высоте, а в некоторых случаях и по длине батареи.

АБ большой емкости снабжают ручками для переноски, прикрепленными к моноблоку с помощью специальных металлических скоб, накладок и винтов. Переносные устройства и места их крепления в целях безопасности при обслуживании должны выдерживать нагрузку, равную двухкратной массе батареи с электролитом.

Конструкции стартерных свинцовых АБ типа ЗСТ (с ячеечными крышками) и 6СТ (с единой крышкой) и другими особенностями приведены на рис. 1.17.

1.4. Необслуживаемые батареи

Термином «необслуживаемые» характеризуют стартерные АБ, не требующие добавления дистиллированной воды в процессе эксплуатации, обладающие высокими электрическими характеристиками и большим сроком службы по сравнению с обычными батареями.

Обычные стартерные свинцовые батареи имеют достаточно высокие удельные электрические характеристики, однако обладают рядом существенных недостатков.

В процессе эксплуатации свинцовой батареи происходит электролитическое разложение воды при заряде и особенно интенсивно при перезарядках. Вода из электролита испаряется при повышенных температурах окружающей среды. В результате снижается уровень электролита, что требует периодического добавления дистиллированной воды.

Разработка и создание необслуживаемых АБ позволяет значительно уменьшить отмеченные выше недостатки традиционных батарей. Это стало возможным благодаря применению решеток тоководов из свинцово-кальциево-оловянистых сплавов (кальция 0,07–0,1%, олова 0,1–0,12%, остальное – свинец). В результате значительно снизи-

лось газовыделение, что обеспечило эксплуатацию батареи без доливки воды в течение не менее 2 лет. При этом саморазряд снизился более чем в 6 раз. Однако после 2–3 глубоких разрядов такие батареи теряют 40–50% емкости и их стартерные характеристики также снижаются. Есть определенные трудности и в изготовлении решеток пластин из свинцово-кальциево-оловянистых сплавов. Кальций в процессе литья выгорает. Поэтому технологически трудно обеспечить очень малое оптимальное содержание кальция в сплаве. От содержания кальция и олова в сплаве решетки зависят ее прочностные и антикоррозионные свойства. Поэтому такие батареи не нашли широкого применения.

Снизить высокую чувствительность батарей с решетками из свинцово-кальциево-оловянистых сплавов к глубоким разрядам позволяют АБ у которых решетки положительных электродов изготавливаются из свинца, легированного сурьмой (1,25%) и кадмием (1,5%), а решетки отрицательных – из свинцово-кальциево-оловянистого сплава. При этом также повышается напряжение газовыделения до 2,45 В и в 15–17 раз снижается потеря воды.

Зарубежные фирмы разработали технологию изготовления решеток с уменьшенным содержанием сурьмы и легирующими добавками. Батареи, собранные на этих решетках, получили название *малообслуживаемых* – их срок службы соответствует сроку службы обычных, но они не чувствительны к глубоким разрядам, а газовыделение в несколько раз меньше.

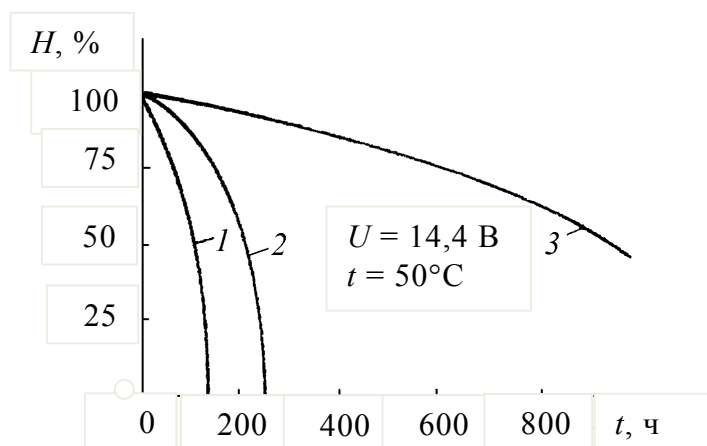


Рис. 1.18. Снижение уровня электролита АБ при эксплуатации:
 1 – батарея с обычными свинцово-сурьмянистыми решетками;
 2 – малообслуживаемая батарея; 3 – необслуживаемая батарея с решетками из свинцово-кальциево-оловянистых сплавов

На рис. 1.18 показан график «выкипания» воды электролита у батарей различных типов при их эксплуатации. По оси ординат отложен уровень электролита H над верхними кромками электродов.

Сопротивление таких батарей также уменьшается за счет того, что удельное сопротивление решеток из свинцово-кальциево-оловянистых сплавов меньше, чем у решеток из обычного свинцово-сурьмянистого сплава.

В Европе создают *гибридные батареи*, содержащие положительные тоководы из малосурьмянистого сплава (не более 2%) с добавлением мышьяка, олова, меди, селена и т. п. в различных комбинациях и соотношениях; а отрицательные – из свинцово-кальциевого. Их характеристики по расходу воды и саморазряду не такие хорошие, как у свинцово-кальциевых, но значительно лучше, чем у батарей по технологии малосурьмянистых сплавов.

В необслуживаемых батареях (РФ) по сравнению с обычными батареями содержание сурьмы в сплаве решеток электродов уменьшено в 2–3 раза. Это повысило напряжение начала выделения водорода и кислорода и обеспечило подзаряд батарей без газовыделения практически во всем диапазоне регулируемого напряжения генераторных установок. Примерно в 5–6 раз снизилась интенсивность саморазряда батареи (до 0,08–0,1% в сутки).

Для батарей, у которых отсутствуют отверстия для доливки воды и имеется атмосферная связь внутренней полости с окружающей средой через небольшие вентиляционные отверстия на торцах крышки, степень разряженности их нельзя определить по плотности электролита. В зимнее время возникает опасность замерзания электролита разряженной батареи. Поэтому на необслуживаемые АБ устанавливают индикаторы состояния заряженности: шарик-поплавок зеленого цвета размещен над пластинами и всплывает, когда электролит при заряде достигает определенной плотности. Эта величина соответствует минимальной степени заряженности (62–64% от номинального значения), что свидетельствует о работоспособности батареи в пусковом режиме.

Усовершенствование конструкции при создании необслуживаемых батарей заключается еще и в том, что для увеличения запаса электролита без изменения высоты батареи один из аккумуляторных электродов помещается в сепаратор-конверт, который изготовлен из микропористого полиэтиленового материала с низким электросопротив-

тивлением. В этом случае замыкание электродов разноименной полярности шламом исключается. Это позволяет устанавливать блоки электродов непосредственно на дно моноблоков без призм и шламового пространства и увеличить высоту ($h_2 + h_3$) слоя электролита над электродами в ячейках моноблока (рис. 1.19).

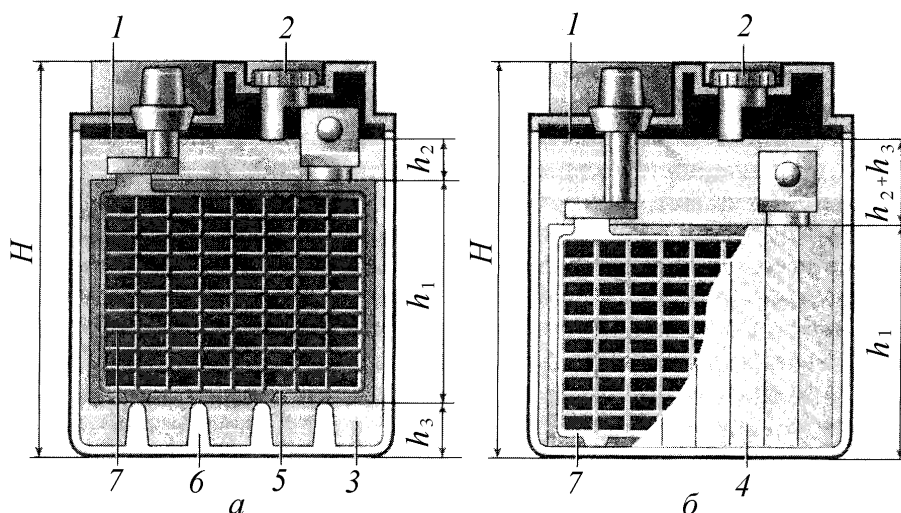


Рис. 1.19. Схемы расположения электродов в аккумуляторе:

а – обычных; *б* – необслуживаемых:

1 – уровень электролита; *2* – пробка; *3* – шламовые камеры; *4* – сепаратор-конверт; *5* – сепаратор листовой; *6* – призмы моноблока; *7* – электрод; *H* – высота батареи; h_1 – высота электрода; h_2 – запас электролита в батареях с листовым сепаратором; h_3 – высота призмы; $h_2 + h_3$ – запас электролита в аккумуляторах с сепаратором-конвертом

Таким образом, необслуживаемые батареи имеют следующие достоинства: лучшие пусковые качества (более высокое напряжение при неизменном токе); увеличенный срок службы; улучшенные зарядные характеристики; меньший саморазряд; уменьшение коррозии положительных электродов; отсутствие необходимости доливки воды в процессе эксплуатации.

1.5. Герметизированные батареи

По конструкции различают аккумуляторы негерметичные (традиционные), герметизированные (с клапаном) и герметичные. У герметизированных аккумуляторов существует вероятность накопления газов, поэтому они снабжены предохранительными клапанами. Герметичными являются никель-кадмиевые (НК), никель-цинковые (НЦ) и другие.

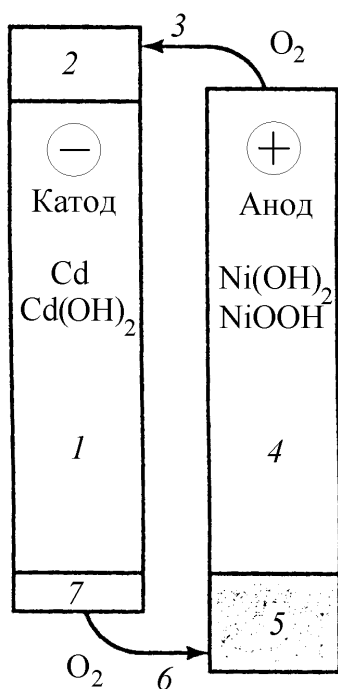


Рис. 1.20. Схема электродов и кислородного цикла в герметичном НК-аккумуляторе:
 1 – основная часть активных компонентов отрицательного электрода (полезная емкость);
 2 – резерв заряда; 3 – перенос кислорода к кадмиевому электроду при заряде; 4 – гидроксиды никеля (полезная емкость);
 5 – антиполярная добавка;
 6 – перенос кислорода к положительному электроду при перезарядке; 7 – резерв разряда

Чтобы понять работу и процессы, проходящие в герметичных и герметизированных аккумуляторах, рассмотрим принцип действия герметичного НК аккумулятора при заряде и разряде. При создании герметичных и герметизированных аккумуляторов используют *кислородный цикл*. На рис. 1.20 приведена схема электродов и кислородного цикла герметичного НК аккумулятора.

Сущность кислородного цикла заключается в предотвращении выделения водорода при заряде и связывании в оксиды выделившегося кислорода. Для этого подбирают соотношения масс реагентов на положительном и отрицательном электродах таким образом, чтобы емкость положительного электрода была меньше емкости отрицательного. Поэтому отрицательный электрод получает добавку емкости, называемую *резервом заряда* 2. При заряде сначала заканчивается заряд положительного электрода (гидроксида никеля) и выделение кислорода начинается раньше, чем закончится заряд отрицательного

электрода. Выделившийся кислород диффундирует (3) к отрицательному электроду и реагирует с кадмием. В результате образуется оксид кадмия, который восстанавливается до кадмия. Благодаря взаимодействию кислорода с отрицательным электродом предотвращается выделение водорода на катоде. При длительном заряде происходит только выделение кислорода на положительном электроде и его восстановление на отрицательном электроде. В этом случае подведенная электрическая энергия превращается в теплоту, поэтому повышается температура.

Чтобы создать полностью необслуживаемую батарею свинцово-кислотной системы необходимо выделяющийся на положительном электроде газ связать на поверхности отрицательного электрода, т. е. реализовать кислородный цикл. Для этого емкость отрицательных электродов в аккумуляторе должна быть на несколько процентов больше емкости положительных.

Для ускорения поступления кислорода от положительного электрода к отрицательному необходимо ограничение объема свободного электролита. Поэтому для герметизированных свинцовых аккумуляторов используют загущенный (гелеобразный) электролит или абсорбированный жидкий электролит.

Для загущения электролита применяют селикагель, аллюмогель, высокодисперсный диоксид кремния и другие вещества. При смачивании серной кислотой эти вещества образуют тиксотропный гель. В качестве сепараторов применяют стекломаты из ультратонких волокон с объемной пористостью 80–85%. Их используют не только для батарей с гелеобразным электролитом, но и для батарей с абсорбированным жидким электролитом.

Нормальная эксплуатация батарей с иммобилизованным электролитом возможна при соблюдении гораздо более жесткого диапазона регулирования зарядного напряжения, чем при эксплуатации необслуживаемых батарей с жидким электролитом (даже не имеющих отверстий для доливки воды). Так, для батарей с гелеобразным электролитом максимальное зарядное напряжение должно составлять 14,35 В. Превышение этой величины на 0,05 В нарушает равновесие кислородного цикла и резко возрастает скорость газовой выделенной. Образующийся избыток выделяющихся газов приводит к нарушению контакта активной массы электродов с электролитом и батарея теряет работоспособность. У батарей с абсорбированным электролитом максимально допустимая величина зарядного напряжения ограничена 14,8 В.

Эти обстоятельства наряду с более высокой стоимостью герметизированных батарей в сравнении с необслуживаемыми ограничивают их широкое применение. Использование таких батарей на автотракторной технике станет целесообразным после оптимизации зарядных режимов электрооборудования машин и существенного снижения их стоимости.

1.6. Обозначение и характеристики стартерных аккумуляторных батарей

1.6.1. Условные обозначения и параметры батарей. В Российской Федерации с июля 2003 г. введен в действие новый стандарт ГОСТ 959–2002, «Батареи аккумуляторные свинцовые стартерные для автотракторной техники», который заменил ГОСТ 959–91. По этому стандарту маркировка батареи должна содержать следующие данные: товарный знак предприятия-изготовителя; знаки полярности плюс «+» и минус «-»; дату изготовления (две цифры – месяц, две цифры – год изготовления); массу батареи (если масса составляет 10 кг и более); номинальную емкость в ампер-часах; номинальное напряжение в вольтах; ток холодной прокрутки должен соответствовать требованиям EN 60095-1 (EN – European Norm).

В соответствии с требованиями данного стандарта на батареях должны быть указаны знаки безопасности и символ переработки, а для батарей, предназначенных на экспорт, – ГОСТ.

Пример маркировки: батарея 6СТ–55АМЗ.

6 – цифра, указывающая число последовательно соединенных аккумуляторов в батарее (6 или 3), характеризующая ее номинальное напряжение (12 или 6 В).

СТ – буквы, характеризующие назначение батареи по функциональному признаку (СТ – стартерная).

55 – число, указывающее номинальную емкость в ампер-часах (55).

Затем следуют буквы или цифры дополнительной информации об исполнении батареи (при необходимости) и применяемых для ее изготовления материалов, например: Н – несухозаряженная; А – с общей крышкой; З – залитая и полностью заряженная; слово «необслуживаемая» – для батарей, соответствующих требованию ГОСТ по расходу воды; Э – корпус-моноблок из эбонита; Т – моноблок из термопластичной пластмассы; М – сепаратор типа мипласт из поливинилхлорида; Р – сепаратор типа мипор; П – сепаратор – конверт из полиэтилена; С – стекловолокно совместно с каким-либо из сепараторов.

Таким образом, «6СТ–55АМ» означает, что батарея состоит из шести последовательно соединенных аккумуляторов (ее напряжение 12 В), стартерная, номинальной емкостью 55 А·ч, изготовлена в моноблоке с общей крышкой с сепараторами типа мипласт и поставляется сухозаряженной.

Условное обозначение «6СТ–55АМЗ необслуживаемая» указывает, что батарея имеет все параметры по напряжению, назначению,

емкости и конструктивному исполнению аналогичные вышеупомянутой, выпускается в необслуживаемом исполнении (с уменьшенным расходом воды и саморазрядом) и поставляется залитая электролитом и полностью заряженная.

6СТ–190ТМ – батарея для колесных и гусеничных машин многоцелевого назначения 12-вольтовая, емкостью 190 А·ч с мипласт-сепараторами в моноблоке из термопласта.

Европейские производители батарей обозначают батареи шестизначными по DIN или девятизначными по ETN (ETN – European Type Number) кодами. Первые три цифры в кодах по DIN и ETN содержат информацию о напряжении и емкости батареи.

Для батарей напряжением 6 В первые три цифры (от 001 до 499) соответствуют номинальной емкости батареи при 20-часовом режиме разряда. У батарей на 12 В номинальную емкость можно получить, вычитая из первых трех цифр (от 501 до 799) число 500. Следовательно, для 12-вольтовых батарей первая цифра 5 говорит о том, что батарея имеет емкость от 1 до 99 А·ч, 6 – от 100 до 199 А·ч, а 7 – от 200 до 299 А·ч. Например, обозначение «555 65» (DIN) или «555 065 042» (ETN) говорит о том, что батарея имеет емкость 55 А·ч ($555 - 500 = 55$); «680 32» или «680 032 100» – 180 А·ч ($680 - 500 = 180$); «725 12» или «725 012 115» – 225 А·ч. Последние две цифры в коде по DIN и вторая тройка цифр в коде по ETN указывают вариант исполнения, т. е. расположение выводов, конструкцию крепежных элементов или крышки, тип системы газоотвода, виброустойчивость и другие особенности.

Последние три цифры при обозначении батареи девятизначным кодом по ETN соответствуют 0,1 тока холодной прокрутки по EN. Поэтому для определения тока холодной прокрутки по европейскому стандарту EN значение этой группы цифр необходимо умножить на 10 ($042 \cdot 10 = 420$ А; $100 \cdot 10 = 1000$ А и т. д.). У батарей, девятизначные коды которых приведены выше, токи холодной прокрутки по EN равны соответственно 420, 1000 и 1150 А. В заключение приведем один пример: батарея «562 103 064» имеет емкость 20-часового разряда 62 А·ч и ток холодной прокрутки по EN, равный 640 А.

Американские производители батарей маркируют в соответствии с требованиями стандарта SAE. Обозначение содержит номер типоразмерной группы и значение тока холодной прокрутки при 18°C. Например, «A27500»: группа ($306 \times 173 \times 225$ мм), ток 500 А.

Поясним смысл некоторых выражений.

Ток холодной прокрутки позволяет дать оценку энергоемкости батареи при стартерном разряде, который является для батареи наиболее тяжелым режимом работы.

В соответствии с ГОСТ 959–2002 *ток холодной прокрутки* – это ток разряда, который способна отдать батарея при температуре электролита -18°C в течение 10 с до напряжения 7,5 В. Ток разряда указывается изготовителем АБ.

Испытание током холодной прокрутки дает ответ о работоспособности батареи при зимних условиях эксплуатации: если величина тока батареи в этом режиме меньше, чем требуется на питание стартера при пуске двигателя в этих условиях, то батарею в таком комплекте использовать нельзя. Необходимо брать другую батарею с соответствующим (большим) током холодной прокрутки.

Стартерные батареи, находящиеся в эксплуатации, таким испытаниям не подвергают, т. к. вследствие износа пластин электродов показатели отдачи снижаются.

По этому стандарту *необслуживаемые батареи* – это батареи, у которых расход воды при перезаряде при постоянном напряжении $(14,4 \pm 0,05)$ В за 21 сутки не должен быть более 6 г на 1 А·ч номинальной емкости или 4 г/мин резервной емкости.

В табл. 1.1 приведены основные параметры батарей.

Таблица 1.1

Основные параметры стартерных АБ

Тип АБ	Емкость А·ч	Напря- жение, В	Размеры, мм			Масса, кг	
			длина	ширина	высота	без электро- лита	с элект- ролити- том
6СТ-45ЭМ	45	12	238	178	221	14,8	18,8
6СТ-50ЭМ	50	12	258	174	234	15,9	20,8
6СТ-55ЭМ	55	12	260	172	223	17,4	21
6СТ-60ЭМ	60	12	280	180	237	19	24,5
6СТ-75ЭМ	75	12	356	176	236	23,3	30
6СТ-75ТМ	75	12	356	176	233	21,7	28,1
6СТ-90ЭМ	90	12	419	185	236	27,6	35
6СТ-105ЭМ	105	12	473	185	236	30,9	39,1
6СТ-132ЭМ	132	12	510	209	241	39,2	49,2
6СТ-182ЭМ	182	12	520	280	240	54,9	69,6
6СТ-190ТН	190	12	582	237	236	55,4	69,9
3СТ-150ЭМ	150	6	324	175	234	21,1	27,2
3СТ-155ЭМ	155	6	324	175	236	22,7	29,2

Тип АБ	Емкость А·ч	Напря- жение, В	Размеры, мм			Масса, кг	
			длина	ширина	высота	без электро- лита	с элект- ролити- том
3СТ-155ТМ	155	6	324	175	234	21,4	27,9
3СТ-215ЭМ	215	6	426	194	240	31,8	40,8
3СТ-225ЭМ	225	6	426	194	240	33,6	41,3
Батареи с общими крышками							
6СТ-44А	44	12	206	175	210	9,1	13,5
6СТ-50А	50	12	242	168,5	224	12,2	16,7
6СТ-55А	55	12	242	175	210	11,2	16
6СТ-65А	65	12	304	162	213	16	21,3
6СТ-66А	66	12	301	175	210	13,2	19
6СТ-75А	75	12	340	168	232	19,4	25,2
6СТ-77А	77	12	339,1	175	210	15,1	22
6СТ-88А	88	12	376,9	175	210	17	25
6СТ-110А	110	12	330	239	230	22,8	32
6СТ-110АН	110	12	364	239	240	25,2	34,4
6СТ-132А	132	12	511	182	241	35,2	43
6СТ-190А	190	12	524	239	243	44	59,2
3СТ-215А	215	6	425	170	240	23,6	32,6
Необслуживаемые батареи							
6СТ-55А3	55	12	241,5	175	210	–	16

1.6.2. Энергия и удельные характеристики батарей. Для электропотребителей автомобиля (трактора) как нагрузки АБ (особенно для системы пуска) более важным показателем является энергозапас W_p , а не емкость C_p .

Энергия аккумулятора выражается в Вт·ч и определяется произведением разрядной (зарядной) емкости на среднее разрядное (зарядное) напряжение:

$$W_p = C_p U_p; \quad W_z = C_z U_z,$$

где C_p , C_z – емкость при разряде и заряде, А·ч; U_p , U_z – среднее значение разрядного и зарядного напряжения, В. Энергия аккумулятора уменьшается сильнее, чем емкость при понижении температуры и увеличении силы разрядного тока, так как при этом меняется не только емкость, но и разрядное напряжение.

При сравнении свинцовых стартерных батарей с другими источниками тока и для оценки совершенства их конструкции пользуются

удельными характеристиками, т. е. энергией, отнесенной к единице массы аккумулятора или его объема.

В идеальном аккумуляторе зарядная емкость C_3 равна разрядной C_p . Однако как было отмечено ранее, при заряде протекают побочные электрохимические процессы, на которые тратится часть потребляемого зарядного тока I_3 . Зарядно-разрядный режим аккумулятора оценивается коэффициентом отдачи. Различают коэффициент отдачи по емкости

$$\eta_c = \frac{C_p}{C_3}$$

и энергии

$$\eta_w = \frac{C_p U_p}{C_3 U_3}.$$

При номинальных режимах (C_{20} А и $+25^\circ\text{C}$) коэффициент отдачи по емкости равен приблизительно 0,84–0,95, а по энергии – 0,75–0,85. Это значит, что при заряде исправного аккумулятора электричества затрачивается больше, чем он отдает при разряде.

Аккумуляторные батареи занимают сегодня одно из первых мест в мире среди других накопителей энергии в автотракторной технике по удельной энергии.

1.7. Электрические характеристики аккумуляторов и аккумуляторных батарей

1.7.1. Электродвижущая сила. Электродвижущей силой (ЭДС) аккумулятора называют разность его электродных потенциалов, измеренную при разомкнутой внешней цепи. Электродный потенциал при разомкнутой внешней цепи состоит из равновесного электродного потенциала и потенциала поляризации. Равновесный электродный потенциал характеризует состояние электрода при отсутствии переходных процессов в электрохимической системе. Учитывая наличие двух составляющих электродного потенциала при переходных режимах, различают *равновесную ЭДС* аккумулятора – ЭДС при равенстве плотности электролита по всему объему ячейки – и *неравновесную ЭДС* аккумулятора в течение времени от замыкания цепи до установления равновесного состояния (период протекания переходного процесса).

На величину ЭДС влияет плотность электролита и очень незначительно температура. Изменение ЭДС от температуры составля-

от $3 \cdot 10^{-4}$ В/град. Зависимость ЭДС от плотности электролита в диапазоне $1,05-1,3$ г/см³ определяют по формуле

$$E = 0,84 + \rho,$$

где E – ЭДС аккумулятора, В; ρ – плотность электролита, приведенная к $+25^\circ\text{C}$, г/см³.

ЭДС, рассчитанная по плотности электролита, практически равна равновесной ЭДС, так как локальные изменения плотности электролита у поверхности электродов очень мало влияют на значения плотности электролита после ее выравнивания по всему объему.

С повышением плотности электролита ЭДС возрастает (рис. 1.21).

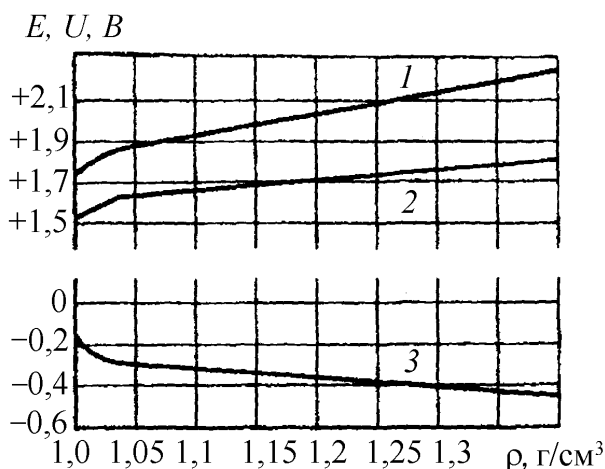


Рис. 1.21. Изменение равновесной ЭДС и электродных потенциалов свинцового аккумулятора в зависимости от плотности электролита:

1 – ЭДС; 2 – потенциал положительного электрода;

3 – потенциал отрицательного электрода

ЭДС не зависит от количества заложенных в аккумулятор активных материалов, от формы и размеров электродов. ЭДС АБ увеличивается пропорционально числу последовательно включенных аккумуляторов m :

$$E_{\text{АБ}} = mE.$$

Плотность электролита в порах электродов и в ячейках моноблока одинакова у аккумуляторов, находящихся в состоянии покоя. Этой плотности соответствует ЭДС покоя. ЭДС при разряде меньше, а при заряде больше ЭДС покоя. Основной причиной изменения ЭДС в процессе разряда или заряда является изменение плотности электролита, участвующего в электрохимических процессах.

1.7.2. Внутренне сопротивление. Любой источник тока, в том числе и аккумулятор, имеет внутреннее сопротивление, которое противодействует прохождению через аккумулятор зарядного или разрядного тока.

Полным внутренним сопротивлением аккумулятора принято называть сопротивление, оказываемое прохождению через аккумулятор постоянного разрядного или зарядного тока. Оно состоит из омического сопротивления электродов, электролита, сепараторов и токоведущих звеньев (мосты, борны, перемычки) и сопротивления поляризации:

$$R = R_o + R_{п},$$

где R_o – омическое сопротивление; $R_{п}$ – сопротивление поляризации.

Омическое сопротивление аккумулятора имеет ту же природу, что и сопротивление всех проводников. Однако по мере разряда меняется химический состав активной массы электродов и уменьшается плотность электролита, что вызывает изменение омического сопротивления аккумулятора.

Сопротивление электродов и токоведущих деталей мало изменяется с изменением температуры. Рост внутреннего сопротивления АБ с понижением температуры связан в основном с увеличением сопротивления электролита (рис. 1.22) и пропитанных электролитом сепараторов. При температурах от -40 до -10°C сопротивление электролита в 2–3 раза больше, чем при температуре $+25^{\circ}\text{C}$.

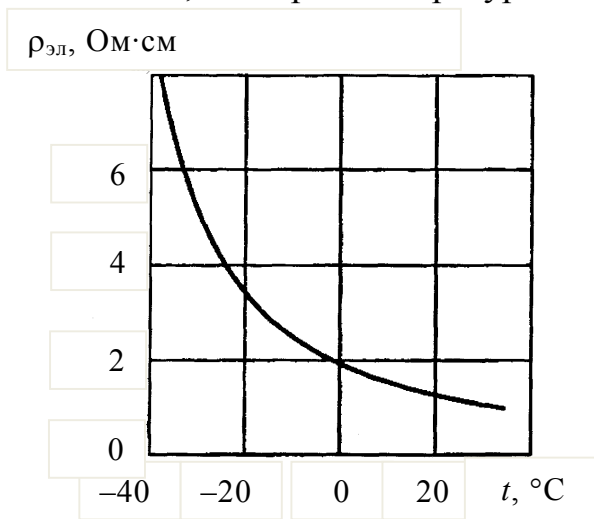


Рис. 1.22. Зависимость удельного сопротивления электролита (раствора серной кислоты) от его температуры (плотность $1,26 \text{ г/см}^3$ при температуре $+25^{\circ}\text{C}$)

1.7.3. Напряжение разряда и заряда. При разряде аккумулятора его равновесная ЭДС E распределяется между внутренним участком цепи, где она преодолевает внутреннее сопротивление, и внешним, где посредством присоединенного потребителя (нагрузки) электрическая энергия преобразуется в другой вид энергии. Та часть ЭДС, которая при разряде приходится на внешний участок цепи, называется *напряжением разряда аккумулятора* U_p . Потери же на внутреннем участке носят название *внутренних потерь напряжения* $I_p R$. Связь между напряжением разряда и ЭДС аккумулятора и внутренним падением напряжения описывается формулой

$$U_p = E - I_p R = E - E_{п.р} - I_p R_0,$$

где $E_{п.р}$ – ЭДС поляризации разряда, В; I_p – сила разрядного тока, А; R – полное внутреннее сопротивление, Ом; R_0 – омическое сопротивление аккумулятора, Ом.

При заряде напряжение внешнего источника должно преодолевать ЭДС аккумулятора и падение напряжения на внутреннем сопротивлении, т.е. должно выполняться условие

$$U_3 = E + I_3 R = E + E_{п.з} + I_3 R_0,$$

где $E_{п.з}$ – ЭДС поляризации заряда, В; I_3 – сила зарядного тока, А.

Таким образом, характер изменения напряжения аккумулятора во времени при заряде током постоянной силы определяется изменением равновесной ЭДС и внутреннего сопротивления.

Зарядно-разрядные характеристики относят к временным характеристикам. Они выражают зависимость напряжения от продолжительности разряда.

Напряжение аккумулятора в процессе разряда постоянным током I_p изменяется сложным образом (рис. 1.23). Это объясняется нелинейностью и непостоянством во времени его внутреннего сопротивления и особенно поляризационной составляющей.

Перед началом разряда равновесная ЭДС имеет значение E , соответствующее определенной плотности электролита (точка 1). В начале разряда постоянным по силе током происходит резкое падение напряжения разряда (участок 1–2) за счет внутренних потерь напряжения на омическом сопротивлении R_0 аккумулятора. Затем происходит быстрое, но плавное снижение напряжения (участок 2–3) за счет появления ЭДС поляризации $E_{п.р}$. Нарастание ЭДС поляризации происходит до тех пор, пока не установится определенная разность концентраций электролита (у поверхности электродов

и в общем объеме), обеспечивающая поступление к электродам необходимого для реакций количества кислоты. Начиная с точки 3, участок 3–4 характеризуется относительно медленным линейным уменьшением напряжения U_p в связи с линейным падением равновесной ЭДС (на рис. 1.23 штриховая линия) из-за общего снижения плотности электролита.

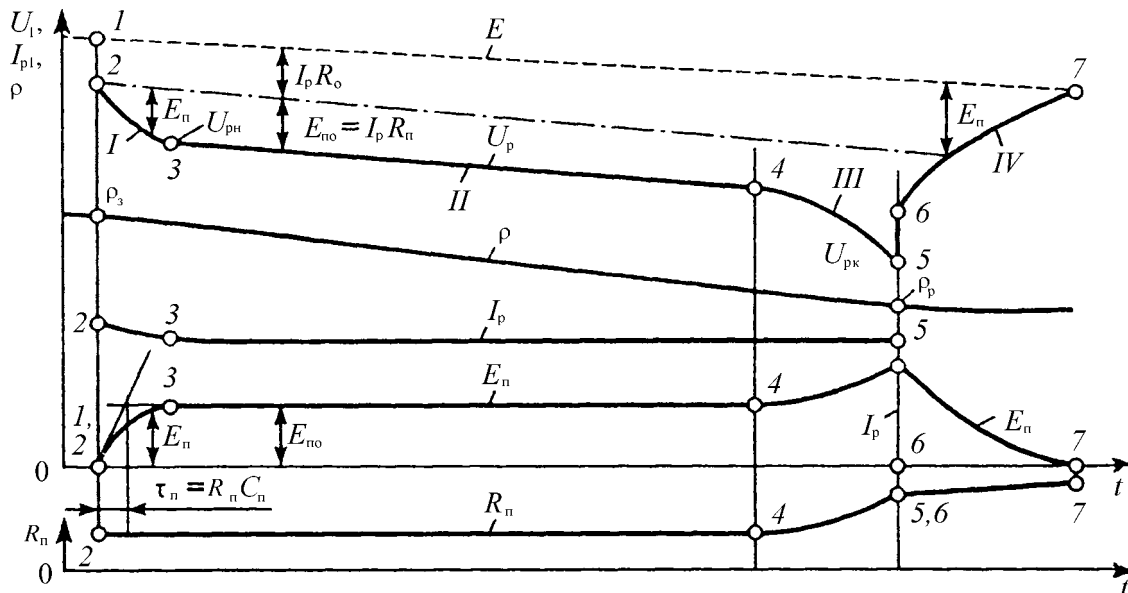


Рис. 1.23. Расчетные временные характеристики разряда свинцово-кислотного аккумулятора

В ходе токообразующей реакции из-за образования воды и поглощения серной кислоты из раствора электролита происходит линейное уменьшение плотности электролита ρ .

При дальнейшем разряде на поверхности электродов активные вещества превращаются в сульфат свинца. Частицы $PbSO_4$, отлагаясь на поверхности электродов, закрывают поры, что вызывает уменьшение проходных сечений пор, снижение скорости диффузии электролита в глубину электродов. Равновесие нарушается, начинается увеличение поляризационного сопротивления R_n и, следовательно, увеличение ЭДС E_n . Кроме того, увеличивается и омическое сопротивление R_o в связи с падением плотности электролита ρ (см. рис. 1.23). В результате увеличивается электросопротивление, а напряжение разряда U_p быстро падает (участок 4–5). Химические реакции, протекающие при недостатке кислоты из-за пассивации сульфатом свинца после точки 5, являются необратимыми. Нагрузку

отключают, так как глубокий разряд приводит к порче электродов. Поэтому при снятии характеристики необходимо прекращать разряд при определенном $U_{p.к}$. Обычно $U_{p.к} = 0,75U_{p.н}$, где $U_{p.н}$ – начальное разрядное напряжение после завершения переходного процесса в точке 3 (примерно на десятой секунде разряда).

После отключения нагрузки в точке 5 напряжение U_p скачком возрастает (участок 5–6) на величину падения напряжения $I_p R_o$ на омическом сопротивлении R_o , но оно не достигает значения равновесной ЭДС из-за неравномерного распределения плотности электролита по толщине электродов.

Площадь, ограниченная осью времени t и кривой $I_p(t)$, пропорциональна разрядной емкости аккумулятора в данном режиме разряда.

Рассмотрим процессы, происходящие при заряде аккумулятора постоянным током I_3 (рис. 1.24).

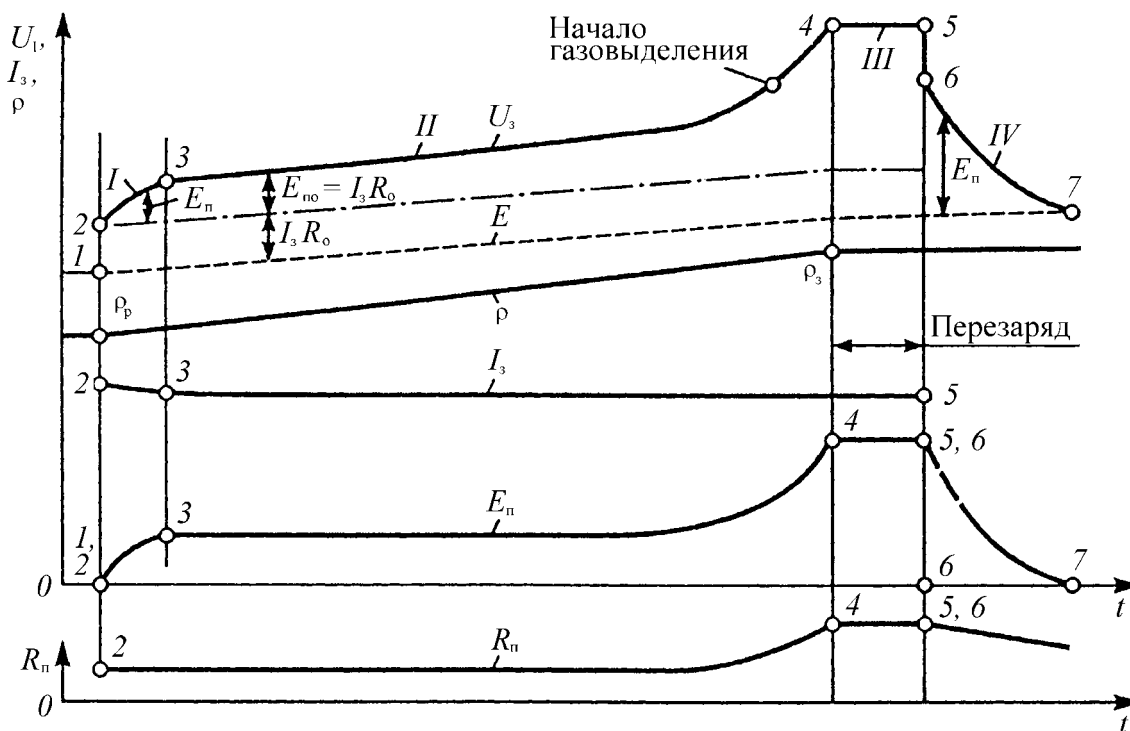


Рис. 1.24. Расчетные временные характеристики заряда свинцово-кислотного аккумулятора

Перед началом заряда равновесная ЭДС также имеет какое-то начальное значение E (точка 1), соответствующее плотности электролита в аккумуляторе. В начале заряда постоянной силой тока

происходит резкое увеличение напряжения заряда I_3R_0 на омическом сопротивлении R_0 (участок 1–2). Участок 2–3 характеризуется нарастанием ЭДС поляризации $E_{\text{п}}$, связанным с быстрым увеличением плотности электролита у поверхности электродов. За счет формирования активной массы, повышения плотности электролита ρ на участке 3–4 происходит повышение ЭДС аккумулятора E и рост зарядного напряжения U_3 .

При завершении процесса заряда, когда почти вся активная масса электродов окажется восстановленной, напряжение на аккумуляторе достигает 2,3 В, зарядный ток начинает частично, а затем полностью расходоваться на разложение воды с выделением водорода и кислорода. ЭДС поляризации $E_{\text{п}}$ увеличивается и напряжение резко повышается, достигая 2,7 В (участок «начало газовыделения» – точка 4), что объясняется более высоким напряжением для разложения воды. После достижения указанного значения на участке 4–5 напряжение остается постоянным и уже происходит только разложение воды. В течение 2–3 ч напряжение U_3 и плотность ρ не изменяются. Этот период, так называемый перезаряд, сопровождается обильным газовыделением – «кипением» электролита. На этой стадии происходит окончательная регенерация глубинных слоев активных масс электродов и полное электрическое разложение сульфата свинца PbSO_4 . Обильное газовыделение и постоянство напряжения служат признаком конца заряда.

После отключения зарядной цепи напряжение скачком падает на величину падения напряжения I_pR_0 на омическом сопротивлении R_0 (участок 5–6). Плотность электролита выравнивается во всем объеме (у электродов и между ними). Соответственно понижается и напряжение аккумулятора до значения равновесной ЭДС E , соответствующей достигнутой плотности электролита ρ_3 (участок 6–7). ЭДС поляризации $E_{\text{п}}$ плавно уменьшается и исчезает при полном выравнивании плотности электролита (участок 5,6–7 кривой $E_{\text{п}} f(t)$).

Заметим, что участка 4–5 нет у необслуживаемых батарей, так как в них значительно повышено напряжение газовыделения. В этом случае после полного восстановления исходных реагентов электрохимические процессы прекращаются и ток заряда резко падает. Батарея перестает «принимать» заряд.

Рассмотрим характеристики разряда – заряда аккумулятора емкостью 70 А·ч с начальной плотностью электролита 1,27 г/см³.

Характеристику разряда снимают при разряде полностью заряженного аккумулятора электрическим зарядом, равным 10% его номинальной емкости. Во время разряда с помощью реостата (рис. 1.25а) поддерживают постоянную силу разряда тока $I_p = 0,1C_{20}$ А и измеряют напряжение разряда, ЭДС и плотность электролита.

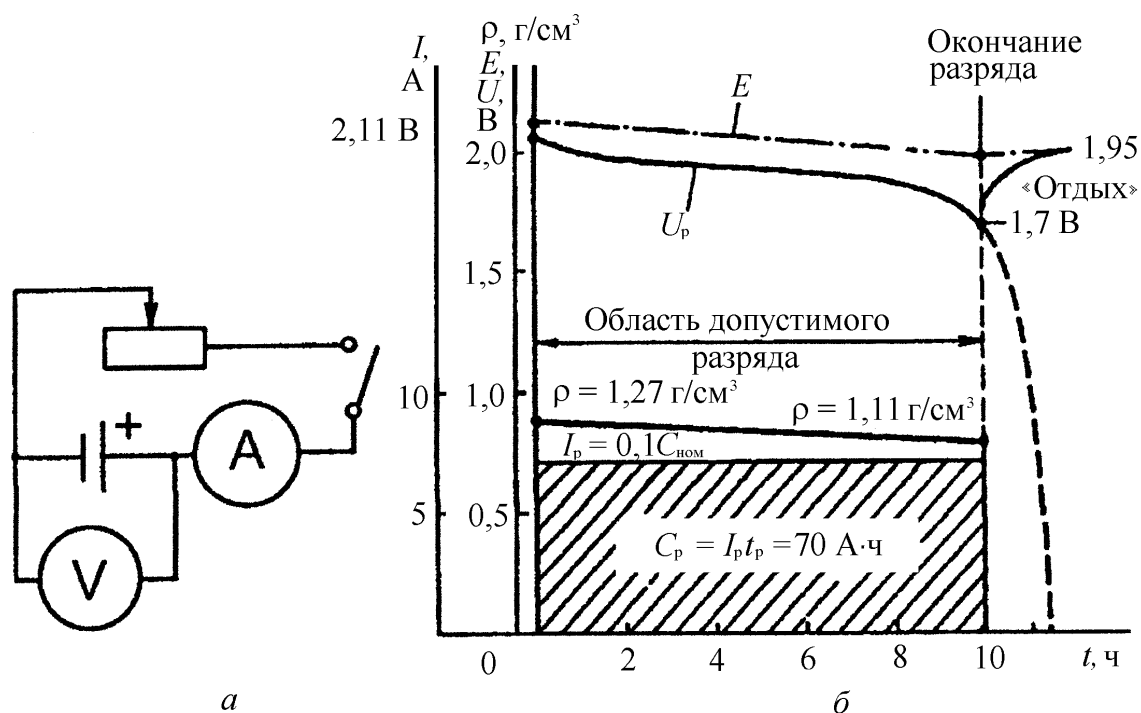


Рис. 1.25. Схема для определения режима разряда аккумулятора (а) и характеристика разряда аккумулятора (б)

Причины изменения U_p , E и ρ при разряде изложены выше.

В дополнение к изложенному выше отметим, что разряд аккумулятора при 10-часовом разряде прекращают при конечном напряжении $U_p = 1,7$ В. Это обусловлено тем, что резкое падение напряжения во внешней цепи нарушает нормальную работу потребителей. Плотность электролита ρ за это время уменьшилась с 1,27 до 1,11 г/см³, а ЭДС – с 2,11 до 1,95 В ($E = 0,84 + 1,11 = 1,95$ В). После отключения нагрузки напряжение на выводах аккумулятора скачком увеличивается на $I_p R_0$ достигая значения неравновесной ЭДС. Затем в течение некоторого времени напряжение аккумулятора плавно повышается до величины равновесной ЭДС, равной 1,95 В. Процесс роста напряжения, после выключения цепи разряда называют «отдыхом» аккумулятора (рис. 1.25б). Возможность повышения плотности электролита в порах электродов во время непродолжительного

бездействия после разряда используется при пуске двигателя. Пуск рекомендуется осуществлять отдельными кратковременными попытками. По существующим нормативам продолжительность пуска бензинового двигателя составляет 10 с, дизеля – 15 с, интервал между попытками – 60 с. После трех попыток интервал – 3 мин. Прерывистый разряд способствует лучшему использованию глубинных слоев активных веществ электродов.

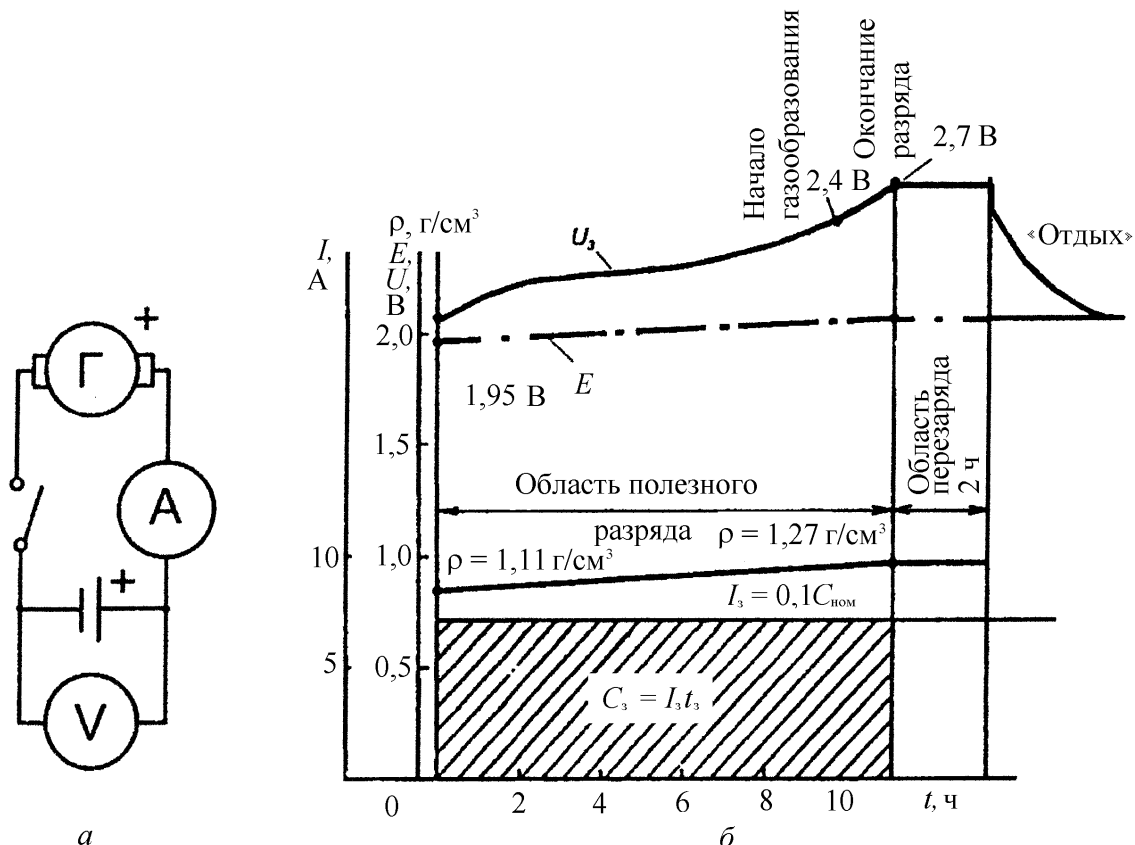


Рис. 1.26. Схема для определения режима заряда аккумулятора (а) и характеристика заряда аккумулятора (б)

Количество электричества, отданное заряженным аккумулятором при его разряде до допустимого предела (в нашем случае 1,7 В), и есть емкость аккумулятора. В данном случае $C_p = I_p t_p = 7 \cdot 10 = 70 \text{ А} \cdot \text{ч}$, и эта емкость пропорциональна площади, ограниченной осью времени t и линией $I_p(t)$ (на рисунке заштрихована).

Характеристику заряда снимают при заряде аккумулятора постоянной силой тока, соответствующего 10% номинальной емкости ($0,1C_{20} \text{ А}$) аккумулятора. В процессе заряда силу зарядного тока с помощью реостата поддерживают постоянной (рис. 1.26, а)

Причины изменения U_3 , ρ , E рассмотрены ранее.

За время заряда плотность электролита ρ увеличилась с 1,11 до 1,27 г/см³, что обусловило рост ЭДС.

После отключения аккумулятора от зарядного устройства напряжение U_3 на зажимах аккумулятора резко падает на величину $I_3 R_0$, а затем плавно снижается до значения равновесной ЭДС E , которое устанавливается по мере выравнивания плотности электролита в объеме аккумулятора и в порах активной массы (рис. 1.26 б).

Площадь, ограниченная осью времени t и линией заряда $I_3(t)$, пропорциональна зарядной емкости аккумулятора в данном режиме заряда (на рисунке заштрихована). При заряде исправного аккумулятора электричества затрачивают на 10–15% больше, чем он отдает при разряде.

1.7.4. Емкость аккумулятора. В зависимости от количества активных веществ и электролита аккумулятор одним и тем же током может разряжаться различное время. *Емкость аккумуляторной батареи* – это количество электричества, выраженное в ампер-часах, отдаваемое АБ в пределах допустимого разряда (до конечного разрядного напряжения) при данных условиях разряда (температура, сила тока разряда, плотность электролита). Определение емкости аккумуляторов при разряде проводят обычно при постоянной силе тока. Рассчитывают емкость C_p по следующей формуле:

$$C_p = I_p t_p,$$

где I_p – разрядный ток, А; t_p – время разряда, ч.

Стартерные батареи собираются из аккумуляторов одной емкости. Так как аккумуляторы соединяются последовательно, емкость батареи равна емкости аккумулятора, а ЭДС АБ равна сумме ЭДС аккумуляторов, входящих в нее.

Величина емкости кислотного аккумулятора зависит от следующих факторов: количество активных материалов, заложенных в положительных и отрицательных пластинах, степень их использования, пористость; плотность и температура электролита; режим разряда; чистота химических веществ.

Количество веществ, участвующих в реакции при разряде, в свою очередь, зависит от геометрических размеров пластины, их количества и пористости. Теоретически для получения количества электричества, равного 1 А·ч, необходимо 4,463 г двуокиси свинца PbO_2 , 3,886 г губчатого свинца Pb и 3,660 г серной кислоты H_2SO_4 .

Теоретический удельный расход активных масс электродов составляет 8,32 г/А·ч. Однако в аккумуляторе содержится веществ значительно больше (в 2–3 раза), чем теоретически необходимо, а коэффициент использования веществ в свинцово-кислотных стартерных аккумуляторах составляет 0,25–0,30. В аккумуляторе с тонкими пластинами он выше, но срок службы таких аккумуляторов несколько ниже.

Увеличить емкость аккумулятора при одной и той же массе пластин можно путем увеличения числа пластин за счет уменьшения их толщины и большей пористости активной массы. Емкость аккумулятора с тонкими пластинами больше емкости аккумулятора с толстыми пластинами.

При длительных режимах разряда свинцовых аккумуляторов (например, в течение 10 ч) использование активных материалов отрицательных пластин составляет 50–60%, положительных – 40–50%; при стартерном режиме – не более 10–15%, при этом оптимальная плотность электролита составляет 1,285 г/см³. Дальнейшее увеличение плотности не дает положительных результатов, так как емкость аккумулятора снижается вследствие уменьшения емкости отрицательных пластин.

Большое влияние на разрядную емкость оказывает температура электролита. Номинальная емкость гарантируется при температуре электролита +25°C. С понижением температуры увеличивается вязкость электролита, что затрудняет его проникновение в поры глубоких слоев активной массы пластин при этом поверхностные слои активной массы быстрее преобразуются в PbSO₄. Кристаллы PbSO₄ закрывают поры активной массы. Поэтому химическая энергия, накопленная в глубоких слоях активной массы пластин, полностью не используется, а разрядная емкость АБ понижается. При понижении температуры электролита ниже +25°C емкость АБ при малой силе разрядного тока (до 0,1C₂₀) А, уменьшается на 0,6–0,7% на каждый градус понижения температуры, а при большей силе разрядного тока – до 2% на 1°C понижения температуры.

При увеличении температуры электролита от +25 до +40°C емкость АБ будет на 10–14% выше номинальной. Однако при этом возможно сильное коробление пластин, сползание активной массы и разрушение решеток положительных пластин.

В начале эксплуатации емкость новой АБ возрастает вследствие увеличения количества активной массы пластин, преобразующейся в

перекись свинца и губчатый свинец. Однако при длительной эксплуатации емкость АБ снижается из-за выпадения активной массы или ее отслаивания от решеток пластин, образования крупнокристаллического сернокислого свинца, уплотнения активной массы отрицательных пластин и по другим причинам.

Сила разрядного тока также влияет на емкость АБ (рис. 1.27). Чем больше разрядный ток, особенно при включении стартера, тем меньше емкость свинцово-кислотного аккумулятора. Объясняется это тем, что при большом разрядном токе внутри пор активной массы положительных пластин образуется большое количество воды, поэтому плотность электролита значительно снижается.

Если разряд вести с перерывами (например, длительность 10–15 с с интервалами между ними по 60 с), т. е. создать кратковременно-повторную нагрузку, то емкость аккумулятора будет больше, так как «отдых» позволяет электролиту проникнуть в глубину пластин.

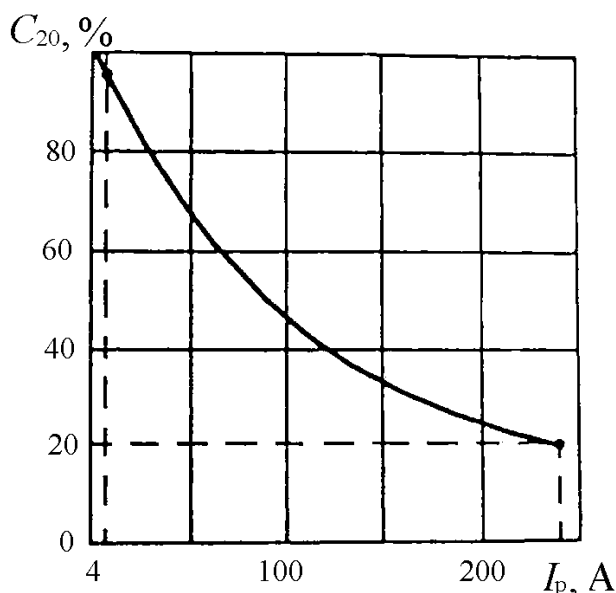


Рис. 1.27. Зависимость емкости АБ от силы разрядного тока при температуре электролита +25°C

Для сравнения различных стартерных батарей ГОСТ введено понятие *номинальной емкости*. Под ней понимают емкость, которую должна отдать полностью заряженная батарея в установленном режиме разряда. Для стартерных батарей номинальная емкость C_{20} задается в 20-часовом режиме разряда при температуре электролита +25°C током такой величины ($0,05C_{20}$), при которой через 20 ч

напряжение у 12-вольтовой батареи снижается до 10,5 В (1,75 В у аккумулятора) при начальной плотности электролита 1,285 г/см³.

Например, если емкость 12-вольтовой АБ в 20-часовом режиме разряда 90 А·ч, это означает, что при разряде батареи током 4,5 А (0,05C₂₀) при температуре электролита +25°С до напряжения 10,5 В время разряда составит не менее 20 ч.

В странах ЕЭС и в новом ГОСТ 959–2002 в настоящее время для оценки качества батарей используется стандарт EN 60095-1. Методика его отлична от методики стандарта МЭК (IEC) 60095-1– Международной Электротехнической Комиссии и стандарта SAE J537 (США). Он позволяет дать более полную оценку энергоемкости батареи при стартерном разряде.

Разряд проводится при температуре электролита $-18\pm 1^\circ\text{C}$ в две стадии (см. рис. 1.28). На первой стадии разряд выполняют током холодной прокрутки $I_{х.п.}$ (стартерным режимом разряда, указанным в НД на батарею конкретного типа) в течении 10 с. Напряжение в конце 10-той секунды разряда должно быть не менее 7,5 В. Затем разряд прекращают. После 10-секундной паузы разряд продолжают при токе, равном 0,6 величины тока ($0,6I_{х.п.}$ А), указанного производителем, до конечного напряжения 6,0 В. Суммарное время разряда батареи до конечного напряжения 6,0 В должно быть не менее 90 или 150 с в зависимости от тока разряда, указанного производителем. Обычно время разряда 90 с принимают для батарей, у которых ток $I_{EN} = I_{DIN} / 0,51$, а 150 с – для батарей, у которых ток $I_{EN} = I_{DIN} / 0,6$.

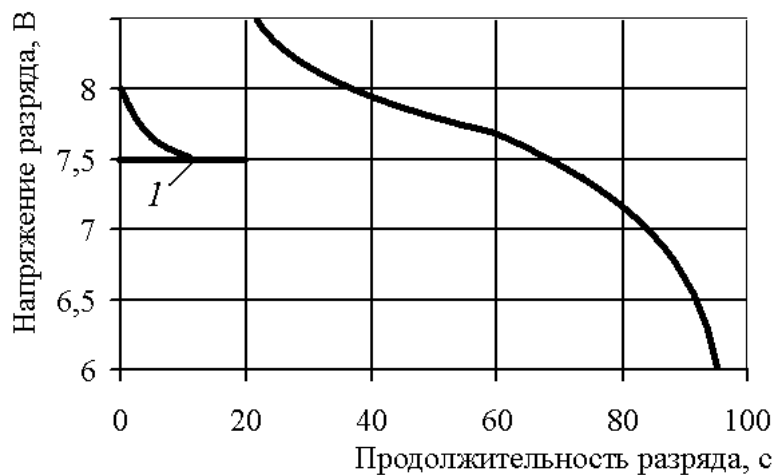


Рис. 1.28. Изменение напряжения батареи при стартерном разряде по методике EN:

I – минимально допустимое значение напряжения на 10-й секунде разряда

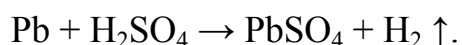
Емкость при разряде током холодной прокрутки $C_{х.п}$ при длительности разряда 150 с должна составлять не менее $0,2C_{20}$ А·ч для батарей емкостью не выше 100 А·ч.

В международной практике оценки емкостных характеристик стартерных аккумуляторов применяется понятие «резервная» емкость. По этому показателю можно оценивать способность АБ обеспечить необходимый минимум электрической нагрузки на машине в случае выхода из строя генераторной установки.

Резервная емкость определяется временем разряда в минутах полностью заряженной батареи при температуре $27\pm 5^\circ\text{C}$ током силой $25\pm 0,25$ А до конечного напряжения на аккумуляторе, равного 1,75 В. Нормативный показатель «резервной емкости» обеспечивает большее соответствие режима испытания батареи условиям эксплуатации ее на автомобиле.

1.7.5. Саморазряд батарей. Заряженные и исправные, залитые электролитом АБ теряют емкость при длительном хранении вследствие саморазряда. Саморазрядом называют уменьшение емкости аккумуляторов при разомкнутой внешней цепи, т. е. при бездействии. Это явление вызвано окислительно-восстановительными процессами, самопроизвольно протекающими как на отрицательном, так и на положительном электродах.

Электроды свинцового аккумулятора и при разомкнутой внешней цепи взаимодействуют с электролитом. Саморазяду особенно подвержен отрицательный электрод вследствие самопроизвольного растворения свинца (отрицательной активной массы) в растворе серной кислоты по реакции



Это происходит по следующей причине. Решетка отрицательного электрода, состоящая из свинца, и его активная масса (губчатый свинец) представляют собой два электрода, между которыми возникает разность потенциалов, вызывающая саморазряд.

Интенсивность самопроизвольного растворения свинца на отрицательном электроде с выделением газообразного водорода существенно возрастает с увеличением концентрации электролита. Увеличение плотности электролита с 1,27 до 1,32 г/см³ приводит к росту скорости саморазряда отрицательного электрода на 40%.

Одной из причин нормального саморазряда является также то, что плотность электролита, находящегося в нижней части аккумулятора,

всегда немного больше плотности электролита, находящегося в его верхней части. Поэтому между верхней и нижней частями электродов возникает разность потенциалов, приводящая к саморазряду.

Саморазряд положительного активного материала обусловлен протеканием реакции



Скорость данной реакции также возрастает с ростом концентрации электролита.

Основной причиной саморазряда положительных электродов является разность потенциалов между свинцом решеток и диоксидом свинца, когда между ними попадает электролит. При наличии разности потенциалов возникает гальванический микроэлемент, который превращает при протекании тока свинец решетки и двуокись свинца активной массы в сульфат свинца.

Саморазряд в значительной мере зависит от температуры электролита и изношенности АБ (рис. 1.29 и 1.30).

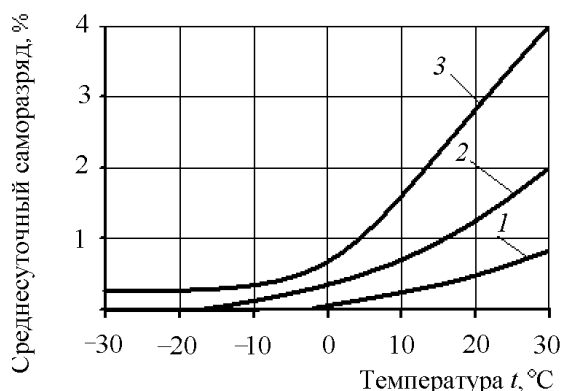


Рис. 1.29. Среднесуточный саморазряд традиционной свинцовой стартерной АБ при бездействии в течение 14 суток в зависимости от температуры электролита и срока эксплуатации: 1 – новой батареи; 2 – в середине срока эксплуатации; 3 – в конце срока эксплуатации

При температуре ниже нуля саморазряд практически прекращается из-за замедления скорости химической реакции. Поэтому рекомендуется хранить залитые электролитом батареи при низких (отрицательных) температурах (до -30°C). Из рисунков видно, что в процессе эксплуатации интенсивность саморазряда возрастает, особенно резко к концу срока службы АБ. Саморазряд связан также с переходом сурьмы в раствор серной кислоты в результате коррозии ре-

шетонок положительных пластин. Сурьма увеличивает скорость коррозии и способствует выделению водорода.

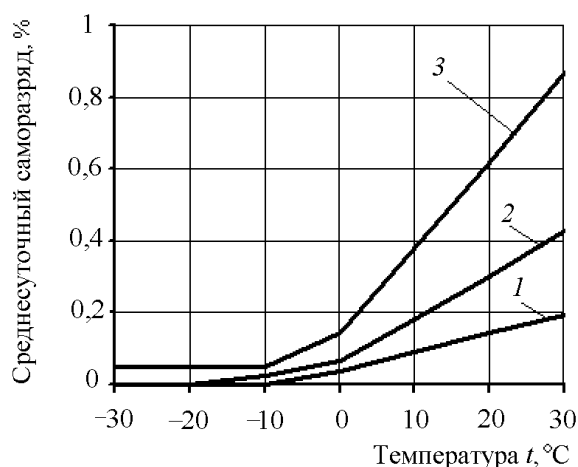


Рис. 1.30. Среднесуточный саморазряд необслуживаемой батареи при бездействии в течение 90 суток в зависимости от температуры и продолжительности предшествующей эксплуатации (малосурьмянистый сплав 2,5% Sb):
 1 – новой батареи; 2 – в середине срока службы;
 3 – в конце срока службы

Например, при уменьшении содержания сурьмы в сплаве тоководов с 5 до 2% и использовании дистиллированной воды для технологических электролитов, среднесуточный саморазряд снижается в 4 раза.

Саморазряд существенно уменьшается при использовании малосурьмянистых и свинцово-кальциевых сплавов (рис 1.31).

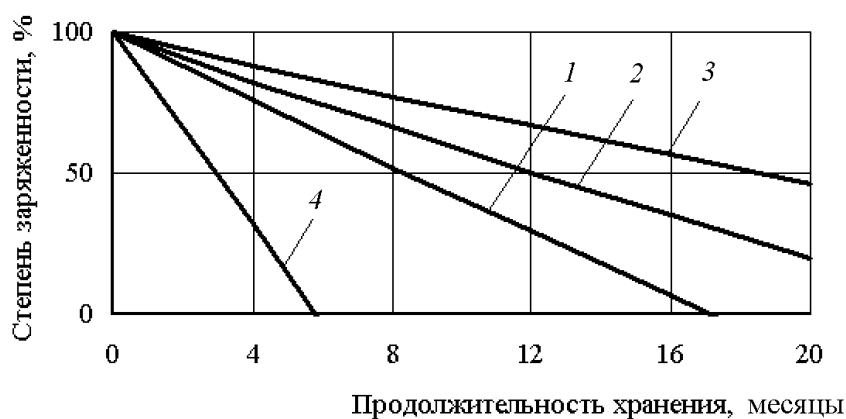


Рис. 1.31. Изменение степени заряженности свинцовых стартерных батарей различного исполнения в процессе хранения в залитом состоянии:
 1 – батареи со свинцово-кальциевыми сплавами; 2 – батареи гибридного исполнения; 3 – батареи с малосурьмянистыми сплавами;
 4 – батареи традиционного исполнения

Снижение скорости саморазряда обеспечивается за счет повышения напряжения выделения водорода и кислорода в необслуживаемых АБ (рис. 1.32).

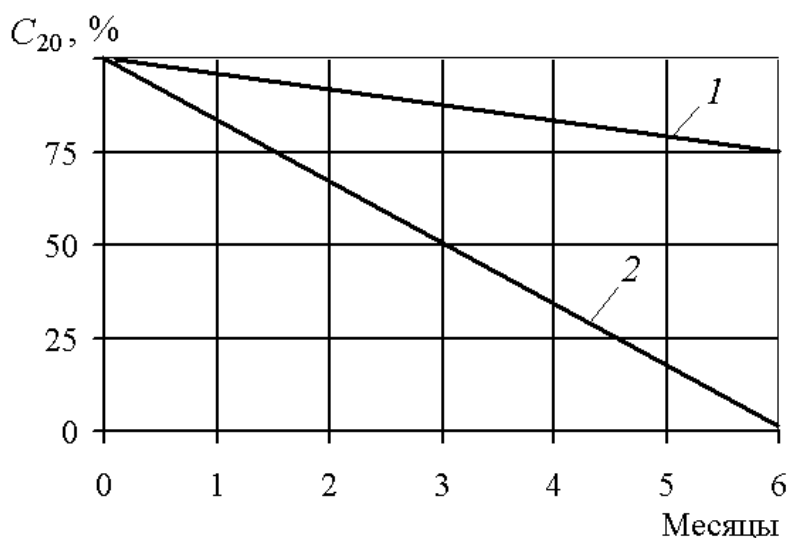


Рис. 1.32. Снижение емкости C_{20} вследствие саморазряда при бездействии АБ: 1 — необслуживаемых; 2 — традиционных

Саморазряд заряженной традиционной батареи после бездействия в течение 14 суток при температуре окружающей среды $20\pm 5^\circ\text{C}$ не должен превышать 7% (0,5% в сутки), а после бездействия в течение 28 суток — 20% от номинальной емкости.

Саморазряд необслуживаемой АБ после бездействия в течение 90 суток не должен превышать 10% (0,11% в сутки), а после бездействия в течение года — 40% от номинальной емкости.

Действующими в настоящее время стандартами саморазряд характеризуется также напряжением после стартерного разряда током $0,6 I_{x.n}$ А и температуре электролита $-18\pm 1^\circ\text{C}$. Напряжение батарей в результате саморазряда после бездействия в течение 21 суток при температуре окружающей среды $40\pm 2^\circ\text{C}$ через 30 с после начала разряда должно быть не менее 8,0 В, а для необслуживаемых — не менее 8,5 В.

Обычно степень саморазряда X выражают в процентах потери емкости за 1 сутки или более длительный период (14, 28 или 90 суток)

$$X = \frac{C - C_n}{nC} 100,$$

где C и C_n — емкости АБ соответственно до и после бездействия, приведенные к $+25^\circ\text{C}$; n — продолжительность бездействия, сутки.

2. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СТАРТЕРНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

2.1. Надежность и срок службы аккумуляторных батарей

В соответствии с требованиями надежности ГОСТ 959–2002 срок хранения АБ, не залитых электролитом, должен быть 36 месяцев, а срок сохраняемости сухозаряженности не менее 12 месяцев. Для выполнения этих требований места хранения должны соответствовать определенным требованиям.

Новые сухозаряженные батареи могут храниться в любом неотапливаемом помещении. При этом они не должны подвергаться воздействию прямых солнечных лучей, особенно батареи в моноблоках из термопластичной пластмассы. Яркий свет ускоряет процессы старения полимерных материалов. Одним из важнейших условий при хранении сухозаряженных батарей является обеспечение герметичности внутренней полости каждого аккумулятора. Нарушение герметичности приводит к попаданию внутрь аккумулятора влажного воздуха. Под воздействием влаги происходит окисление сухозаряженных электродов, то есть их разряд.

Для батарей с отдельными крышками, герметизируемые заливочной битумной мастикой, максимальная температура при хранении составляет $+60^{\circ}\text{C}$, а минимальная -40°C (-50°C при использовании морозостойкой мастики). Хранение при более низких температурах приводит к растрескиванию мастики и потере герметичности батареи, а при более высоких – к ее оплыванию.

Сухозаряженные батареи могут храниться 3–5 лет в зависимости от стойкости материала моноблока. По истечении 1 года хранения такой батареи при приведении ее в рабочее состояние подзаряд после заливки электролита является обязательным. Если же батарея хранилась в сухом виде более 5 лет, при приведении ее в действие должна быть подвергнута заряду после пропитки электролитом в течение 2 ч. Заряд проводят током $0,05C_{20}$ А до обильного газовыделения, постоянства плотности электролита и напряжения на выводах батареи в течение 2 ч.

Хранение залитых электролитом и заряженных батарей имеет свои особенности. Во всех случаях перед началом хранения необходимо определить состояние заряженности. При плотности электролита ниже $1,26\text{ г/см}^3$ и ЭДС ниже 12,6 В батарею необходимо

подзарядить до полностью заряженного состояния. Уровень электролита и его плотность (при необходимости) после окончания заряда довести до нормы по инструкции и в соответствии с зоной эксплуатации.

Максимально возможные сроки хранения батарей, залитых электролитом, зависят от составов и чистоты электролита. Степень заряженности при хранении не должна достигать значений ниже 70–75%, что соответствует снижению плотности электролита на 0,04–0,05 г/см³ от величины плотности полностью заряженной батареи. При снижении плотности более чем на 0,05 г/см³ от первоначального значения батарею необходимо подзарядить. Контроль плотности электролита у традиционных батарей, которые хранятся при положительной температуре, следует производить не реже 1 раза в месяц, а у необслуживаемых – один раз в 3–4 месяца.

Полностью заряженные необслуживаемые батареи можно хранить в неотапливаемом закрытом складе до 1 года. При этом батареи с тоководами из свинцово-кальциевых сплавов, разрядятся за год примерно на 33–37%, гибридного исполнения – на 40–45%, а мало-сурьмянистые – на 50–55%.

В районах с резко континентальным климатом в зимний период рекомендуется снижать плотность электролита с 1,31 до 1,29 г/см³ во избежание ускоренной коррозии положительных электродов.

Этот же ГОСТ устанавливает срок службы АБ. Средний срок службы традиционных батарей в эксплуатации должен быть не менее 12 месяцев при наработке транспортного средства в пределах этого срока не более 150 тыс. км пробега или 24 месяца при наработке транспортного средства в пределах этого срока не более 90 тыс. км пробега или 3000 моточасов.

Для необслуживаемых батарей средний срок службы в эксплуатации должен быть не менее 48 месяцев при наработке транспортного средства за этот период не более 100 тыс. км пробега или 4000 моточасов.

На срок службы батареи значительно влияет плотность электролита. При $\rho = 1,25$ г/см³ срок службы на 30–40% выше, чем при $\rho = 1,30$ г/см³. Более 65% всех батарей выходят из строя из-за разрушения положительных пластин.

Концом срока службы батареи в эксплуатации считается момент, когда ее емкость снижается до 40% номинальной ($0,4C_{20}$ А) или продолжительность разряда током $0,6I_{х.п}$ А при температуре электро-

лита (25 ± 5)°С составит менее 1,5 мин до конечного напряжения в конце разряда 9,0 В (для 12-вольтовых батарей).

Заводами-изготовителями гарантируются определенные (гарантийные) сроки службы батарей при соблюдении правил эксплуатации, определяемых инструкцией по эксплуатации «Батареи аккумуляторные свинцовые стартерные». Гарантийный срок эксплуатации батарей – 18 месяцев со дня ввода батарей в эксплуатацию. Так как срок службы зависит от пробега (наработки), т. е. интенсивности эксплуатации автомобиля (трактора), на котором эксплуатируется АБ, то в пределах гарантийного срока службы оговаривается гарантийная наработка (которая должна быть не более 60 тыс. км) в тыс. км пробега или 2500 моточасов для тракторной техники. Это значит, что батарея, вышедшая из строя в пределах гарантийного срока и имеющая наработку более 60 тыс. км, гарантийной замене не подлежит.

Гарантийный срок эксплуатации необслуживаемых батарей – 24 месяца, а при гарантийной наработке транспортного средства в пределах гарантийного срока эксплуатации – не более 75 тыс. км пробега или 2500 моточасов.

Гарантийный срок эксплуатации необслуживаемых сухоразряженных батарей исчисляются со дня ввода в эксплуатацию для конечного потребителя или со дня продажи через розничную торговую сеть, а не обслуживаемых залитых электролитом батарей исчисляются с момента изготовления.

Аккумуляторная батарея с выявленными дефектами производственного характера в период гарантийного срока должна быть заменена новой. Производственные дефекты, как показывает практика, выявляются в процессе 3–8 месяцев нормальной эксплуатации. При малоинтенсивной эксплуатации (5–8 тыс. км в год) – за 10–12 месяцев.

Следует отличать гарантийный срок от срока службы или технического ресурса, которые имеют разный смысл. Если отказ или выход из строя батареи в период срока гарантии наступает из-за производственного дефекта, то срок службы заканчивается после исчерпания технического ресурса деталей (электродов) по физико-химическим показателям (износ решеток электродов, увеличение внутреннего сопротивления и т. п.).

Фактический срок службы стартерных батарей при соблюдении норм обслуживания в условиях технически исправных изделий электрооборудования, как правило, имеет значительно большую

продолжительность в сравнении с гарантийным сроком и может составлять 5–8 лет. Практика показывает, что наибольший календарный срок надежной работы имеют батареи, которые эксплуатируются на автомобилях со среднегодовым пробегом 10–20 тыс. км, при регулярном контроле за состоянием заряженности и выполнении мероприятий по техническому обслуживанию батарей и изделий электрооборудования. Вместе с тем при высокой интенсивности работы автомобиля (режим «такси») календарный срок работы батареи одного конструктивно-технологического исполнения может быть относительно небольшим при значительно большем пробеге автомобиля (более 150 тыс. км) до выхода батареи из строя.

2.2. Влияние условий эксплуатации на работоспособность батарей

Стартерная батарея используется не только для питания стартера при пуске двигателя, но и способствует распределению энергии генератора по времени на питание потребителей, служит сглаживающим фильтром пульсации и всплесков напряжения генератора при переходных режимах (например, при начальном периоде отдачи энергии генератора, при выключении отдельных мощных потребителей), обеспечивая надежную работу приборов и изделий электроники. Главным принципом взаимодействия батареи со всей системой электрооборудования является соблюдение заданного энергобаланса, то есть возврат при заряде от генератора энергии, отданной при режимах разряда.

На автомобилях и тракторах применяют генераторные установки, параметры которых (мощность, рабочие характеристики) согласованы с показателями потребителей электроэнергии, штатно устанавливаемых на них, включая и необходимый заряд батарей. Поэтому не допускается включения в систему электрооборудования дополнительных потребителей, которые могут нарушить баланс электроэнергии, что непременно приведет к уменьшению срока службы АБ.

Напряжение, вырабатываемое генератором, поддерживается в определенных пределах регулятором напряжения. Этот элемент зарядной системы бывает встроенным в корпус генератора, а бывает выносным (самостоятельным изделием). От настройки регулятора, режима его работы, технического состояния и схемы включения в

систему электрооборудования во многом зависит состояние заряженности батареи.

Настройка регулятора напряжения в первую очередь направлена на обеспечение работы штатных потребителей и заряда батареи в зимних условиях не менее, чем на 75% ее емкости. При этом учитываются рабочие характеристики генератора, передаточное отношение (от двигателя к генератору), средняя продолжительность движения автомобиля в сутки, мощность и режим работы потребителей электроэнергии.

Рассмотрим наиболее характерные режимы и условия работы автомобиля.

Увеличение продолжительности движения автомобиля (например, работа в две смены) при стандартной настройке уровня зарядного напряжения приводит к перезаряду батареи, быстрому снижению уровня электролита.

Установка дополнительных потребителей (более мощные лампы фар, обогрев сидений, приемопередающей радиостанции и т. п.), приводит при тех же условиях к недозаряду батареи. С увеличением продолжительности использования дополнительных потребителей снижение степени заряженности усиливается.

Эксплуатация автотракторной техники в зимний период имеет свои особенности. Из-за сокращения светового дня возрастает продолжительность работы приборов освещения дороги и ламп световой сигнализации, включаются дополнительные потребители (обогрев салона, стекол и др.), при понижении температуры окружающего воздуха существенно увеличивается расход энергии на пуск холодного двигателя, температура электролита значительно ниже. Зимние дорожные условия снижают динамику движения автомобиля и, следовательно, эффективность работы генератора. В итоге батарея, затрачивая больше электроэнергии на пуск двигателя, в процессе движения получает от генератора значительно меньше энергии, чем в летнее время, что и приводит к ее более низкой заряженности.

Низкая температура снижает разрядные характеристики батареи при стартерном пуске двигателя из-за увеличения внутренних потерь. Основной причиной снижения зарядных и разрядных характеристик является увеличение вязкости и сопротивления электролита. При снижении температуры от +20°C до -25°C пусковые характеристики батареи снижаются в 2–3 раза, возрастает сопротивление

прокручиванию вала двигателя, что приводит к увеличению тока стартера и соответственно к увеличению тока разряда батареи.

Одним из направлений создания условий работы батареи на машине, при которых степень ее заряженности близка к оптимальной при круглогодичной эксплуатации, является обогрев как теплом работающего двигателя, так и специальными электрическими нагревателями. Нагреватель может встраиваться в батарею. Рост внутреннего сопротивления батареи при понижении температуры электролита, в указанных выше пределах обуславливает снижение тока заряда в 8–10 раз.

Выбранная для зимних условий настройка регулятора напряжения сохраняется и в летнее время (исполнено в микросхеме). Летние условия эксплуатации и по снижению нагрузки на генератор, и по условиям заряда (температура электролита всегда положительная) позволяют батарее находиться постоянно в полностью заряженном состоянии. Поэтому длительная работа машины, как правило, сопровождается перезарядом батареи, снижением уровня электролита, приводящим к сокращению ее конструктивно-технологического ресурса. Доливка дистиллированной воды до установленного уровня позволяет избежать чрезмерного увеличения плотности электролита и негативных последствий от этого, но остановить электрохимическую коррозию решеток положительных пластин невозможно.

Отсутствие контроля за уровнем электролита в условиях интенсивной эксплуатации машины (особенно в летний период) создает опасность значительного увеличения плотности электролита, его перегрева при работе в условиях перезаряда. В этих условиях может интенсивно оплывать активное вещество с отрицательных электродов, нарушается структура материала сепаратора. Решетки положительных электродов подвергаются интенсивному разрушению от электрохимической коррозии. При оголении верхних кромок электродов под крышками банок накапливается взрывоопасная смесь газов – кислорода и водорода.

Заметим, что в летнее время условия пуска двигателя более легкие и потому возможность пуска сохраняется даже при степени заряженности до 50%. Однако такое состояние даже в летний период не должно сохраняться продолжительное время по причине ускорения разрушения активных материалов аккумуляторных электродов.

Таким образом, на состояние батареи в эксплуатации воздействуют как рабочие характеристики изделий электрооборудования, так и режим и условия работы.

Обобщая рассмотренный материал, приведем наиболее характерные причины выхода батарей из строя и их происхождение (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Причины выхода батарей из строя

Способ проявления	Причина потери работоспособности	Причина неисправности
1. Снижение плотности электролита в одном аккумуляторе в сравнении с другими банками	Короткое замыкание пластин в аккумуляторе	При сборке батареи на заводе (перекос или разрушение электрода, пропуск сепаратора). Ускоренный износ вследствие интенсивного перезаряда.
2. Батарея при разряде на стартер быстро снижает напряжение (садится) при нормальной плотности электролита	Оплывание активного вещества с пластин (отслоение от решеток)	Нарушение условий эксплуатации: длительное использование батареи с низкой степенью заряженности (40–60%); длительная эксплуатация при перезаряде с низким уровнем и высокой плотностью электролита; после замораживания разряженной батареи в зимнее время
3. Заряжается плохо, при нормальной плотности электролита в начале разряда напряжение быстро снижается	Полная коррозия решеток положительных электродов	Нарушение условий эксплуатации: перезаряд вследствие высокого напряжения генератора; интенсивная эксплуатация машины (например, такси)

В таблицу не включена такая неисправность, как состояние полного разряда, при котором батарея становится также неработоспособной.

Полностью разряженная (потенциал составляет 12,0 В и ниже) батарея после полного разряда восстанавливает работоспособность, если ее пребывание в разряженном состоянии не было продолжительным.

Глубокому разряду батарея подвергается при эксплуатации автомобиля с неисправным электрооборудованием (генератором, регулятором напряжения, стартером), бесконтрольном хранении, длительной стоянке автомобиля с включенными потребителями (охранная сигнализация, часы, активная антенна и т. д.), наличии тока разряда (утечки) на неисправные потребители.

В реальной эксплуатации могут быть случаи состояния батарей, схожие с перечисленными причинами потери работоспособности. Однако такая схожесть может быть только внешней – происхождение их различно. Например, плотность снизилась в одной из банок по причине выплескивания электролита и доливки дистиллированной воды в большем количестве, чем в остальные банки. Разряд на стартер может не происходить, если сильно окислены полюсные выводы, внутренняя поверхность наконечников проводов, неисправен стартер. Батарея при пуске может быстро «садиться» при неисправном стартере, слабом креплении «массового» провода с кузова на двигатель.

2.3. Подготовка батареи к эксплуатации

Потребителям аккумуляторные батареи поступают без электролита в сухозаряженном исполнении или готовые к использованию, т. е. залитые электролитом и заряженные.

Перед вводом в эксплуатацию новую АБ осматривают, проверяют целостность моноблока, крышек, полюсных выводов. У сухозаряженной батареи удаляют технологические пробки или герметизирующую ленту. Затем небольшой струей через воронку (стеклянную или изготовленную из кислотоустойчивой пластмассы) заливают в аккумуляторы электролит до тех пор, пока уровень его не поднимется на 10–15 мм выше предохранительного щитка или до касания нижнего конца тубуса горловины. Плотность электролита должна соответствовать климатической зоне. Для районов с умеренным климатом плотность электролита должна быть 1,28 г/см³ (приведенная к температуре +25°C). После заливки батареи выдержать паузу не менее 20 мин, но не более 2 ч, чтобы электроды и сепараторы пропитались электролитом. Проверить напряжение батареи без нагрузки и плотность электролита.

Плотность электролита после пропитки может понизиться, как и его уровень в результате взаимодействия электролита с активной массой электродов. Если плотность понизиться не более чем на

0,03 г/см³ и напряжение не менее 12,5 В (без нагрузки), то батарея готова к работе. Понизившийся уровень нужно восстановить до нормы, доливая электролит той же плотности, что и в начале заливки.

При понижении плотности электролита более чем на 0,03 г/см³ и напряжении менее 12,5 В, но более 10,5 В батарею необходимо подзарядить зарядным током (для соответствующей батареи) с начальной температурой электролита не выше +27°С. Если в конце заряда плотность электролита отличается от нормальной, то ее необходимо довести до нормы. Для этого необходимо электролит разбавить дистиллированной водой при плотности выше нормы или добавить электролит плотностью 1,40 г/см³, когда она ниже нормы. После корректировки заряд продлить на 30 мин для полного перемешивания электролита. Окончательный замер уровня электролита проводится через 30 мин после конца заряда. Если уровень ниже нормы, то в аккумулятор добавляют электролит той же плотности, которая должна быть при полностью заряженном аккумуляторе, при избытке излишек отбирается резиновой грушей. Электролит этой же плотности ($\rho = 1,40 \text{ г/см}^3$) применяется также для корректировки плотности электролита батарей при переходе с летнего периода на зимний и из одного климатического района в другой.

Заряжать батарею после заливки нужно обязательно, если батарея не использовалась 24 ч после заливки; первоначальная эксплуатация будет проходить в тяжелых условиях (частые пуски двигателя, холодная погода и т. п.); новая батарея хранилась более 12 месяцев с даты выпуска.

Если батарея будет эксплуатироваться при температуре ниже 0°С, то после заливки электролита ее рекомендуется подзарядить током 15 А в течение 15 мин.

Батареи, поступившие в залитом и заряженном состоянии, также осматривают, проверяют плотность, уровень электролита и ЭДС. Плотность электролита во всех шести банках (при наличии пробок) не должна иметь разницу более 0,02 г/см³. Измеренная плотность электролита приводится к температуре +25°С. По приведенной плотности электролита определяется состояние заряженности.

Батарею, не имеющую пробок, для контроля плотности надо взвесить, чтобы сопоставить ее массу с каталожной.

Затем измеряется ЭДС – напряжение при разомкнутой цепи на полюсных выводах батареи без нагрузки. Заряженная батарея

(плотность электролита $1,28 \text{ г/см}^3$) будет иметь напряжение на полюсных выводах $12,60\text{--}12,90 \text{ В}$.

Напряжение аккумуляторов измеряют аккумуляторным пробником. Промышленностью выпускается два типа пробников. *Пробник Э107* (рис. 2.1) предназначен для проверки работоспособности АБ в целом и позволяет измерить ЭДС и их напряжение под нагрузкой. *Пробник Э108* предназначен для проверки работоспособности отдельных аккумуляторов в АБ и позволяет измерять ЭДС аккумуляторов и их напряжение под нагрузкой.

При проверке работоспособности батареи разрядом на пробник Э107 (рис. 2.1) током порядка 100 А на $7\text{--}10 \text{ с}$ при температуре электролита $+20 \dots +25^\circ\text{С}$ у исправной и полностью заряженной батареи напряжение должно быть равно $11,20\text{--}11,50 \text{ В}$ (емкостью $55\text{--}65 \text{ А}\cdot\text{ч}$). При разряде на пробник не должно быть выделения газа (часто с запахом из банок с дефектом – короткое замыкание между разноименными электродами, отрыв электродов от мостика, разлом мостика, дефект сварки полюсного вывода и т. п.). При необходимости батарею (без заводских дефектов) следует подзарядить до стабилизации плотности электролита (зарядного напряжения).

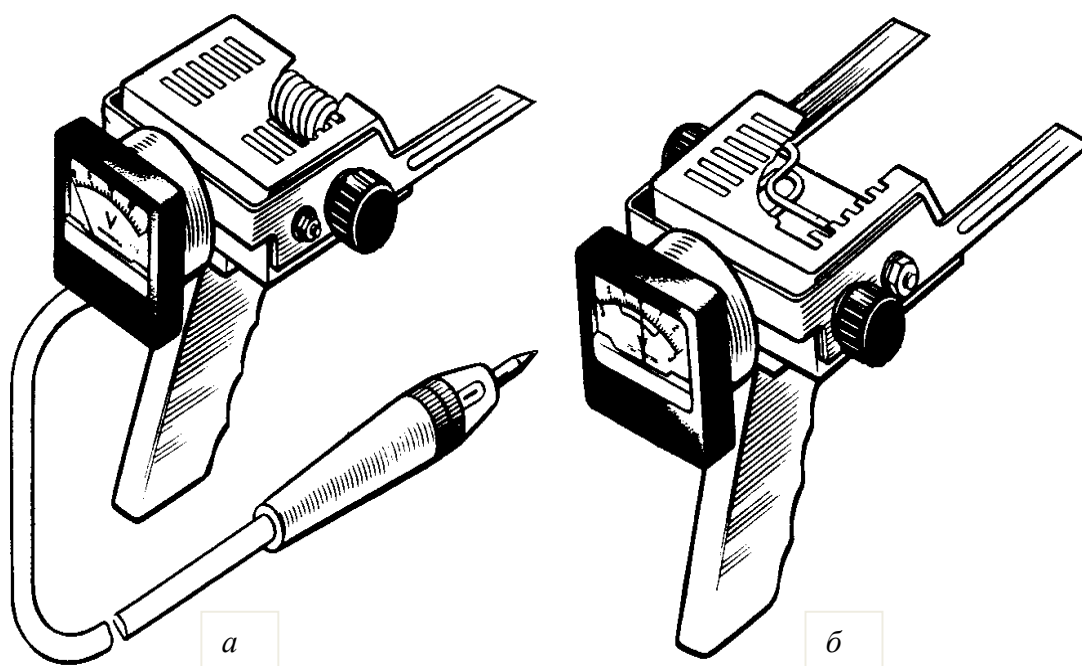


Рис. 2.1. Аккумуляторные пробники:
а – Э107; *б* – Э108

Для традиционных АБ, т. е. батарей с крышкой на каждый аккумулятор, определяют разряженность батареи (если плотность электролита неизвестна) под стартерной нагрузкой. Для этого поочередно подключают ножки пробника Э108 к клеммам каждого аккумулятора батареи на 5–7 с и определяют показания вольтметра. Разность напряжений в аккумуляторах одной батареи не должна превышать 0,2 В. При большей разности батарею следует заменить.

Разряженность батареи определяют по данным из табл. 2.2.

Таблица 2.2

Показатели разряженности батарей

Показатели вольтметра нагрузочной вилки, В	Разряженность батареи, %
1,8–1,7	0
1,7–1,6	25
1,6–1,5	50
1,5–1,4	75
1,4–1,3	100

Батарею, разряженную более чем на 50% летом и более чем на 25% зимой, подзаряжают.

В качестве электролита в свинцовых АБ применяется водный раствор аккумуляторной серной кислоты доведенный до требуемой плотности разбавлением дистиллированной водой. Концентрированная серная кислота – прозрачная маслянистая жидкость без запаха. Плотность ее равна 1,83 г/см³ при температуре +25°С, что соответствует содержанию чистой кислоты около 95%. Она поддается смешиванию с водой в любых пропорциях.

Для получения дистиллированной воды применяются дистилляторы. Удельная электрическая проводимость дистиллированной воды при +20°С равна $5 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, а рН составляет 5,4–5,6. Содержание серной кислоты, используемой для приготовления электролита, должно быть не менее 94% .

Плотность электролита, заливаемого в батарею, зависит от климатической зоны эксплуатации батареи.

Значения норм плотности электролита для разных климатических зон приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Плотность электролита по климатическим зонам при температуре +25°C

Климат (средняя месячная температура в январе, °С)	Время года	Плотность электролита, г/см ³	
		заливаемого в АБ	в полностью заряженной батарее
Очень холодный (-50 ... -30)	Зима, лето	1,28	1,30
Холодный (-30 ... -15)	Круглый год	1,26	1,28
Умеренный (-15 ... -8)	>>	1,24	1,26
Теплый влажный (0 ... +4)	>>	1,21	1,23
Жаркий сухой (+4 ... +15)	>>	1,21	1,23

Для приготовления электролита требуемой плотности концентрированную серную кислоту плотностью 1,83 г/см³ или электролита плотностью 1,40 г/см³ разбавляют определенным количеством дистиллированной воды (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Соотношение количества кислоты, воды и концентрированного электролита при +25°C, необходимых для получения 1 л электролита требуемой плотности

Плотность приготавливаемого электролита, г/см ³	Температура заморозания, °С	Количество воды и электролита $\rho = 1,40$ г/см ³ , л		Количество воды и аккумуляторной кислоты $\rho = 1,83$ г/см ³ , л	
		вода	электролит	вода	кислота
1,210	-34	0,475	0,525	0,849	0,211
1,230	-42	0,425	0,575	0,829	0,231
1,240	-50	0,400	0,600	0,819	0,242
1,250	-54	0,375	0,625	0,809	0,252
1,260	-58	0,350	0,650	0,790	0,274
1,270	-60	0,325	0,675	0,790	0,274
1,280	-64	0,300	0,700	0,781	0,285
1,290	-68	0,275	0,725	0,771	0,296
1,300	-66	0,250	0,750	0,761	0,306
1,310	-60	0,225	0,775	0,750	0,316
1,400	-36	0,000	1,000	0,650	0,423

Из таблицы видно, что при использовании концентрированной серной кислоты объем электролита получается меньше суммы объе-

мов компонентов. Это явление называется «усадкой» электролита, проявляется оно тем сильнее, чем выше его плотность. При применении для приготовления электролита раствора плотностью $1,40 \text{ г/см}^3$ явление «усадки» сказывается незначительно и им можно пренебречь.

Разведение электролита необходимо производить в кислотоустойчивой посуде (эбонитовая, керамическая). Кислота заливается в дистиллированную воду тонкой струей при непрерывном помешивании раствора стеклянной или эбонитовой палочкой. Воду в кислоту лить нельзя, так как вода растекается по поверхности кислоты, образуется пар, приводя к ее разбрызгиванию. Приготовленный электролит следует оставить на 20–24 ч в закрытом сосуде (серная кислота очень впитывает влагу из окружающего воздуха), чтобы он остыл и на дно выпал осадок.

Плотность электролита, полученного в результате приготовления, определяется с помощью денсиметра с пипеткой. Аккумуляторный денсиметр (рис. 2.2) имеет стеклянную колбу 4, резиновую грушу 1, резиновую пробку 2 с эбонитовым наконечником 6 и резиновую пробку 5 с отверстием. Для замера плотности электролита необходимо плавно сжать грушу рукой и погрузить наконечник в электролит (рис. 2.3). Затем плавно отпустить грушу и после того, как уровень электролита в пипетке перестанет повышаться, считать значение плотности по шкале денсиметра против нижнего края мениска жидкости.

Результат измерения плотности электролита приводят к температуре $+25^\circ\text{C}$. Для приведения к исходной расчетной плотности электролита ($+25^\circ\text{C}$) следует учитывать, что при повышении температуры электролита на 1°C его плотность уменьшается на $0,0007 \text{ г/см}^3$, а при понижении температуры электролита на 1°C – увеличивается на $0,0007 \text{ г/см}^3$.

Температура электролита, заливаемого в аккумулятор, должна быть не выше $+25^\circ\text{C}$ (в жаркой климатической зоне не выше $+30^\circ\text{C}$) и не ниже $+15^\circ\text{C}$.

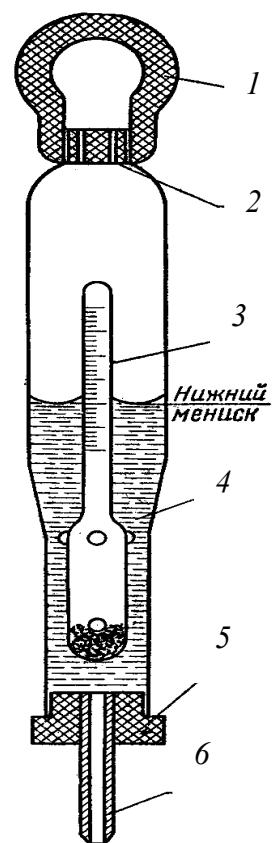


Рис. 2.2.
Аккумуляторный денсиметр:
1 – резиновая груша;
2, 5 – пробки;
3 – ареометр;
4 – стеклянная колба;
6 – наконечник

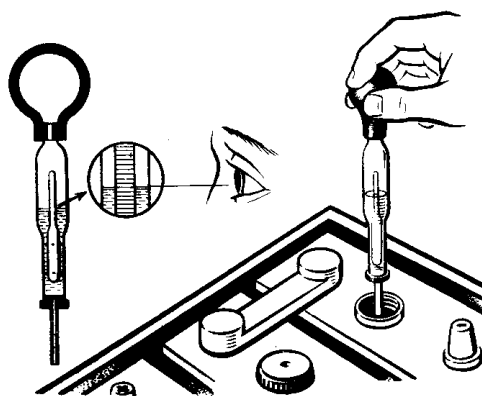


Рис. 2.3. Пользование денсиметром

Во время приготовления необходимо строго соблюдать меры безопасности при обслуживании и эксплуатации аккумуляторных батарей. Серная кислота обычно храниться в стеклянных бутылках с притертыми стеклянными пробками. Выливать кислоту нужно только с помощью приспособлений, не допускающих ее проливания. Рядом обязательно должен быть готовый 10%-ный раствор пищевой кальцинированной соды на случай нейтрализации пролившейся кислоты. При работе с кислотой следует надевать защитные очки, резиновые перчатки, резиновый передник и резиновые сапоги.

2.4. Способы заряда батарей

Заряд аккумуляторов производят от любого источника постоянного тока. Его напряжение должно быть больше, чем напряжение заряжаемой батареи. Для заряда положительный полюс источника тока соединяют с положительным полюсом заряжаемой батареи, а отрицательный – с отрицательным.

Для любого момента заряда

$$I = \frac{U_{ист} - U_б}{R},$$

где $U_{ист}$ – напряжение источника тока, В; $U_б$ – напряжение батареи в данный момент заряда, В; R – общее сопротивление зарядной цепи.

Из этой формулы следует, что при равенстве напряжений зарядного устройства и батареи зарядный ток равен нулю. Если напряжение батареи меньше напряжения зарядного устройства, зарядный ток больше нуля. Если напряжение батареи больше напряжения зарядного устройства, ток меняет направление и батарея будет разряжаться.

Известно, что перезаряд батареи снижает ее срок службы, а недозаряд, т. е. пребывание батареи с 90%-ным зарядом, не увеличивает вредной сульфатации и не снижает срока службы.

Зарядные устройства имеют, как правило, падающую вольт-амперную характеристику: чем больше вызываемый ими ток, тем меньше напряжение. Поэтому если не применять специальных регулирующих устройств, с ростом напряжения аккумулятора при заряде ток заряда уменьшается. В большинстве случаев зарядные устройства снабжены системами, позволяющими регулировать и поддерживать постоянным один из электрических параметров – напряжение или ток заряда. В зависимости от того, какой электрический параметр регулируется, различают два основных способа заряда: при постоянном токе и постоянном напряжении (см. рис. 2.4, *а*, *б*).

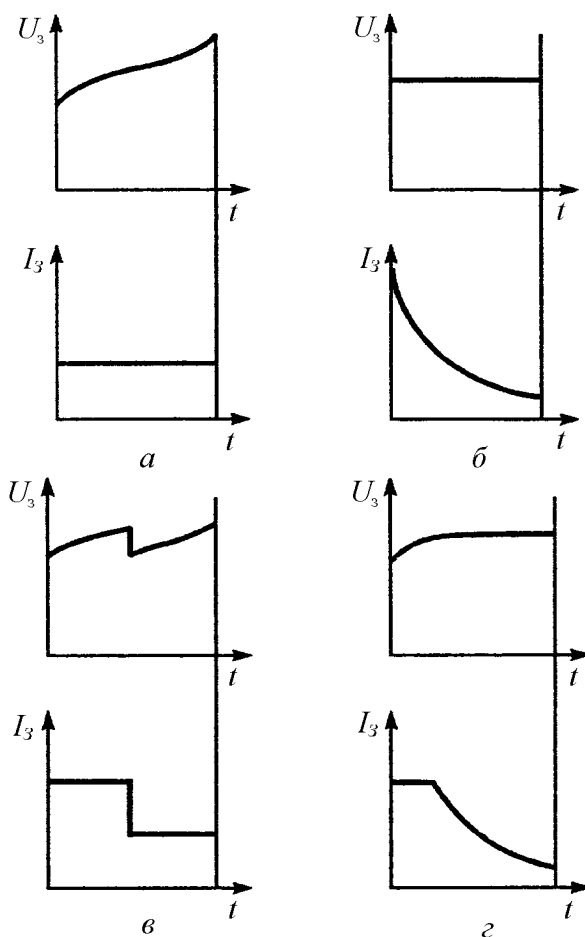


Рис. 2.4. Способы заряда аккумуляторных батарей:
а – при постоянном токе; *б* – при постоянном напряжении;
в – ступенчатым током; *г* – смешанный

Заряд при постоянном токе. В этом способе сила тока заряда в течение всего времени заряда должна оставаться постоянной (рис. 2.4, а).

Заряд характеризуется сравнительной простотой аппаратного оформления, так как устройства для поддержания постоянного тока обычно проще, чем устройства для поддержания постоянного напряжения. Например, включение последовательно с батареей в зарядную цепь реостата, применение тиристорных регуляторов силы тока и т. д. Удобством этого способа является простота расчета количества электричества, сообщенного батарее, как произведение тока и времени заряда.

При заряде постоянным током исправных батарей общее время заряда может быть определено по исходной степени заряженности. Зная емкость, которую необходимо сообщить при заряде батареи, можно определить время ее заряда:

$$t_3 = \frac{C}{I_3 \eta},$$

где C – количество электричества, необходимое для полного заряда батареи от состояния заряженности перед началом заряда; I_3 – сила зарядного тока; η – общий КПД зарядного процесса.

Величину степени заряженности перед началом заряда обычно оценивают по плотности электролита и вычисляют из условия соответствия $0,01 \text{ г/см}^3$ плотности электролита $6,25\%$ разряженности батареи. КПД зарядного процесса при комнатной температуре для исправных батарей может быть принят равным $85\text{--}95\%$ при токе заряда не более $0,1C_{20} \text{ А}$.

Этот способ заряда имеет и свои недостатки. При малом токе время заряда велико. При большом токе и повышении степени заряженности наблюдается повышение температуры электролита, электродов и других элементов батареи, начинается вторичный процесс – электролиз воды, находящейся в составе электролита.

Наиболее распространенным режимом заряда постоянным током является режим, который состоит из двух ступеней (рис. 2.5), так называемый *ступенчатый заряд* – заряд ступенчатым током. Ступенчатый заряд уменьшает газы выведения и связанные с ним снижения уровня электролита, увеличение потерь энергии и температуры батареи.

Батареи одной емкости соединяются в группы последовательно. Каждая из них подключается к сети. Так как при заряде ЭДС батареи возрастает, то для поддержания постоянства зарядного тока необходимо увеличивать напряжение на зажимах батареи. Это достигается включением в каждую группу регулировочного реостата или изменением напряжения $U_{ист}$.

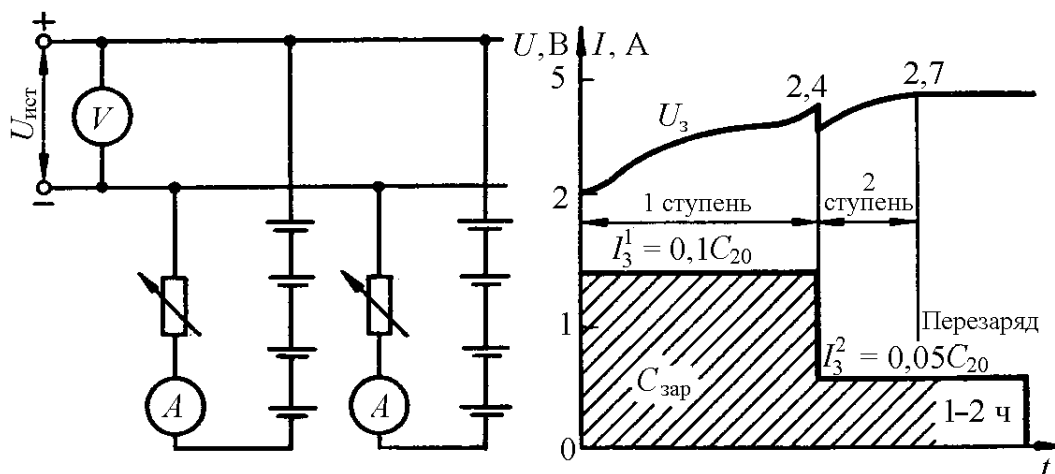


Рис. 2.5. Заряд аккумуляторных батарей ступенчатым током

Величина сопротивления R реостата определяется по формуле

$$R = (U_{ист} - 2,7n) / I_3,$$

где n – число последовательно включенных батарей в зарядной группе.

Число батарей n , которое можно включить в группу при известном напряжении источника равно

$$n = U_{ист} / 2,7m,$$

где m – число аккумуляторов в батарее. Количество групп $n_{гр}$, подключаемых к источнику, равно

$$n_{гр} = I_{ном} / I_{б.з}^{max},$$

где $I_{ном}$ – номинальный ток зарядного устройства.

В группу необходимо включать максимальное число батарей, чтобы уменьшить в реостате потери энергии. Заряд ведется в две ступени. На первой ступени $I_3^1 = 0,1 C_{20}$ А. В начале электролиза воды, т. е. при достижении напряжения 2,4 В на аккумуляторе, зарядный ток снижается до $I_3^2 = 0,05$ А (вторая ступень). Когда напряжение

на аккумуляторе достигает 2,7 В (16,2 В на 12-вольтовую батарею), заряд продолжают еще 1–2 ч; в этом случае обеспечивается 100%-ный заряд новой батареи. Если этим методом заряжается батарея, находящаяся в эксплуатации, заряд прекращается при достижении напряжения 2,7 В на аккумулятор.

Возможны также трех- и четырехступенчатые режимы заряда.

Уравнительный заряд. В процессе длительной эксплуатации плотность электролита и степень заряженности отдельных аккумуляторов в батарее могут быть различными и с повышенной степенью разряженности. Поэтому необходимо (особенно перед началом зимней эксплуатации) провести уравнительный заряд. Он выполняется при постоянной силе тока, численно равной 10% номинальной емкости $0,1C_{20}$ А, как и заряд при постоянном токе, но в течение несколько большего времени, чем обычно. Заряд обеспечивает в АБ полное восстановление активных масс во всех электродах аккумуляторов, нейтрализует действие глубоких разрядов на отрицательные электроды и рекомендуется как мера, устраняющая сульфатацию электродов. Заряд продолжается до тех пор, пока во всех аккумуляторах не будет наблюдаться постоянство плотности электролита и напряжения в течение 3 ч.

Форсированный заряд. Он выполняется при необходимости в короткое время восстановить работоспособность сильно разряженной АБ. Такой заряд может производиться токами, численно равными до 70% номинальной емкости, но в течение короткого времени – тем меньшего, чем больше ток.

Практически при токе $0,7C_{20}$ А продолжительность заряда не должна быть более 30 мин, при токе $0,5C_{20}$ А – 45 мин, при токе $0,3C_{20}$ А – 90 мин. При достижении температуры электролита 45°C дальнейший заряд прерывается. Его проводят не до полной заряженности батареи. Критерием окончания форсированного заряда является равенство количества электричества, получаемого батареей при заряде, той величине емкости, на которую она разряжена.

Следует отметить, что применение форсированного заряда должно быть исключением, так как его систематическое многократное повторение для одной и той же АБ заметно сокращает срок ее службы.

Заряд при постоянном напряжении. При постоянном напряжении на зажимах АБ величина зарядного тока изменяется следующим образом. В начале заряда ЭДС АБ понижена, так как понижена

плотность электролита, и ток достигает наибольших значений (см. рис. 1.43, б). Для полностью разряженных батарей он может составлять $(1-1,5)C_{20}$ А. В процессе заряда напряжение батареи постепенно возрастает, увеличивается сопротивление, сила тока понижается и концу заряда становится заметно меньше, чем сила тока при заряде постоянным током.

При заряде методом постоянного напряжения (рис. 2.6) батареи (или группа батарей) подключается параллельно к источнику питания. Зарядное напряжение поддерживается постоянным в пределах 2,35–2,40 В на аккумулятор. Сила зарядного тока для каждой батареи устанавливается автоматически. В процессе заряда с увеличением ЭДС батареи сила тока уменьшается и к концу заряда практически понижается почти до нуля. Батарею можно зарядить до 90–95% от номинальной емкости.

Этот метод целесообразно применять для подзаряда батарей, находящихся в эксплуатации. Его достоинство – отсутствие контроля за величиной зарядного тока.

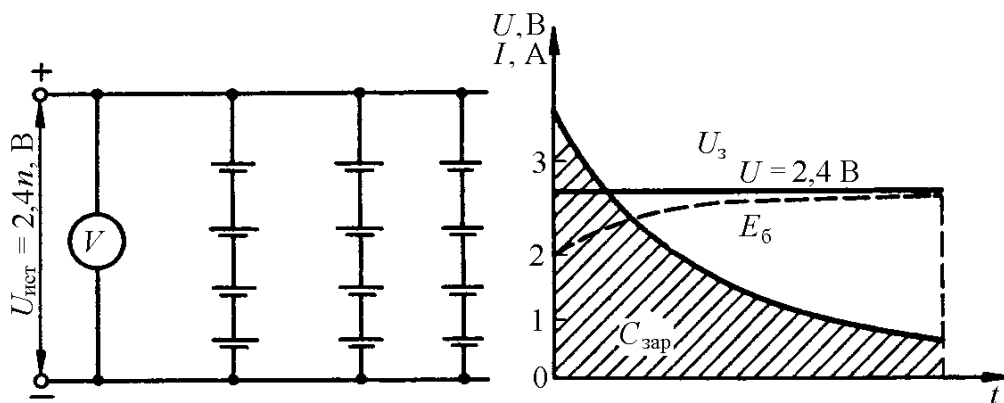


Рис. 2.6. Заряд аккумуляторных батарей при постоянном напряжении

Смешанный способ предусматривает ограниченное время заряда при постоянном токе, а затем перевод в режим заряда при постоянном напряжении. Возможны и разнообразные комбинации этих режимов. Во всех этих способах с целью сокращения времени заряда и уменьшения газовыделения используют в начальной стадии большие токи заряда, а в конечной – небольшие.

Постоянный подзаряд малыми токами. Ток заряда силой 0,025–0,1 А выбирается из условия компенсации теряемой батареей емкости при саморазряде. Подзаряд может осуществляться при постоянной силе тока или при постоянном напряжении как на машине,

так и в помещениях для хранения батарей. Непрерывный подзаряд позволяет поддерживать батарею в заряженном состоянии, однако одновременно ускоряет процесс коррозии решеток положительных электродов. На подзаряд малыми токами следует устанавливать только исправные и полностью заряженные батареи.

Контрольно-тренировочный цикл. Для батарей, залитых электролитом, контрольно-тренировочные циклы проводятся один раз в год и в тех случаях, когда нужно оценить пригодность батарей для дальнейшей эксплуатации. По результатам контрольно-тренировочного цикла судят о техническом состоянии батареи, выявляют неисправные аккумуляторы в батарее, оценивают ее возможности по отдаче емкости.

Контрольно-тренировочный цикл включает в себя заряд батареи током $0,1C_{20}$ А до напряжения 2,4 В на каждом аккумуляторе, дальнейший полный заряд батареи током $0,05C_{20}$ А, затем разряд постоянным током силой $0,05C_{20}$ А до конечного разрядного напряжения на аккумуляторе 1,75 В.

Емкость, отданная при разряде батареи в контрольно-тренировочном цикле, приводится к температуре 25°C и сравнивается с номинальной. Если емкость ниже 40% от номинальной, то батарея считается непригодной к эксплуатации.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Химические источники тока: справ. / под ред. Н. В. Коровина, А. М. Скундина. – М.: МЭИ, 2003. – 740 с.
2. Акимов, С. В. Электрооборудование автомобилей: учеб. для вузов / С. В. Акимов, Ю. П. Чижков. – М.: За рулем, 2005. – 336 с.
3. Ютт, В. Е. Электрооборудование автомобилей: учеб. для студентов вузов / В. Е. Ютт. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 2006. – 320 с.
4. Стартерные аккумуляторные батареи: устройство, эксплуатация, ремонт / М. А. Дасоян [и др.]. – М.: Транспорт, 1991. – 255 с.
5. Боровских, Ю. И. Стартерные аккумуляторные батареи / Ю. И. Боровских, Ю. П. Чижков; под общ. ред. Ю. П. Чижкова. – М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. – 157 с.
6. Боровских, Ю. И. Электрооборудование автомобилей / Ю. И. Боровских. – К.: Высшая школа, 1988. – 167 с.
7. Курзуков, Н. И. Аккумуляторные батареи: краткий справ. / Н. И. Курзуков, В. М. Ягнятинский. – М.: За рулем, 2003. – 88 с.
8. Копылова, Л. В. Теория, конструкция и расчет автотракторного электрооборудования: учеб. для машиностроительных техникумов по специальности «Автотракторное электрооборудование» / Л. В. Копылова, В. И. Коротков, В. Е. Красильников; под ред. М. Н. Фесенко [и др.]. – М.: Машиностроение, 1979. – 344 с.
9. Резник, А. М. Электрооборудование автомобилей: учеб. для автотранспортных техникумов / А. М. Резник. – М.: Транспорт, 1990. – 256 с.
10. Можяев, В. Н. Электрооборудование тракторов, автомобилей и комбайнов / В. Н. Можяев. – Л.: Колос, 1970. – 256 с.
11. Туревский, И. С. Электрооборудование автомобилей: учеб. пособие для среднего профессионального образования / И. С. Туревский, В. Б. Саков, Ю. Н. Калинин. – М.: Форум-ИНФРА, 2003. – 368 с.
12. Батареи аккумуляторные свинцовые стартерные для автотракторной техники: ГОСТ 959–2002. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 12 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Принцип действия, устройство и электрические характеристики батарей	4
1.1. Общие сведения	4
1.2. Принцип действия свинцового аккумулятора	5
1.3. Конструкция свинцовых стартерных аккумуляторных батарей	8
1.4. Необслуживаемые батареи	22
1.5. Герметизированные батареи	25
1.6. Обозначение и характеристики стартерных аккумуляторных батарей	28
1.6.1. Условные обозначения и параметры батарей	28
1.6.2. Энергия и удельные характеристики батарей	31
1.7. Электрические характеристики аккумуляторов и аккумуляторных батарей	32
1.7.1. Электродвижущая сила	32
1.7.2. Внутреннее сопротивление	34
1.7.3. Напряжение при разряде и заряде	35
1.7.4. Емкость аккумулятора	41
1.7.5. Саморазряд батарей	49
2. Эксплуатация стартерных аккумуляторных батарей	49
2.1. Надежность и срок службы батарей	49
2.2. Влияние условий эксплуатации на работоспособность батарей	52
2.3. Приведение батарей в рабочее состояние	56
2.4. Способы заряда батарей	62
Рекомендуемая литература.....	69

СТАРТЕРНЫЕ АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ

Составители: **Симанович** Василий Антонович
Демидов Валерий Алексеевич
Клоков Дмитрий Викторович

Редактор Л. Г. Кишко
Компьютерная верстка Л. Г. Кишко

Подписано в печать 21.12.2007. Формат 60 × 84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 4,1. Уч.-изд. л. 4,3.
Тираж 100 экз. Заказ .

Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220006. Минск, Свердлова, 13а.
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования

«Белорусский государственный технологический университет».
220006. Минск, Свердлова, 13.
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.