

1. Аккумуляторные батареи

1.1. Назначение стартерных аккумуляторных батарей

Автомобильная аккумуляторная батарея (АКБ) предназначена для электроснабжения стартера при пуске двигателя внутреннего сгорания и других потребителей электроэнергии при неработающем генераторе или недостатке развиваемой им мощности. Работая параллельно с генераторной установкой, батарея устраняет перегрузки генератора и возможные перенапряжения в системе электрооборудования в случае нарушения регулировки или при выходе из строя регулятора напряжения, сглаживает пульсации напряжения генератора, а также обеспечивает питание всех потребителей в случае отказа генератора и возможность дальнейшего движения автомобиля за счет резервной емкости.

Наиболее мощным потребителем энергии аккумуляторной батареи является электростартер. В зависимости от мощности стартера и условий пуска двигателя сила тока стартерного режима разряда может достигать нескольких сотен и даже тысяч ампер. Сила тока стартерного режима разряда резко возрастает при эксплуатации автомобилей в зимний период (пуск холодного двигателя).

В соответствии с основным назначением, батареи, как правило, называются стартерными. Важное требование к стартерным аккумуляторным батареям - минимальное внутреннее сопротивление и внутреннее падение напряжения при больших токах разряда в стартерном режиме.

1.2. Устройство батареи

Аккумуляторная батарея состоит из корпуса, полублоков положительных и отрицательных пластин, сепараторов, крышек, перемычек и полюсных выводов. Конструкция АКБ показана на рис. 1.1.

Корпус батареи имеет форму параллелепипеда, разделенного на секции, в которые устанавливаются отдельные аккумуляторы.

В нижней части корпуса из эбонита имеются ребра (опорные призмы). На эти ребра опираются пластины, а в пространстве между ними скапливается осыпавшаяся активная масса пластин для предотвращения электрического замыкания. Эта масса называется шламом. Ребра также предотвращают перемещение шлама при движении автомобиля. Внутренняя поверхность корпуса защищена от действия электролита пластмассовыми кислотоупорными вставками.

Положительные и отрицательные пластины соединены параллельно в блоки. Это необходимо для снижения внутреннего сопротивления аккумулятора. Каждая пластина выполняется на основе решетки из сплава свинца, в которую "вмазана" активная масса.

Активная масса положительных пластин в заряженном состоянии батареи состоит из двуокиси свинца и имеет коричневый цвет. Активная масса отрицательных пластин в этом состоянии состоит из губчатого порошкообразного свинца светло-серого металлического цвета.

Решетки положительных пластин изготавливаются более толстыми, чем отрицательные. Для изготовления решеток пластин используют сплав свинца с сурьмой (до 5 %) и мышьяком (до 0,2 %). Эти присадки повышают механическую прочность пластин.

Сверху пластины оснащены приливами (ушками), с помощью которых они

привариваются к токоподводящим клеммам. Аккумуляторы между собой соединяются свинцовыми перемычками. Аккумуляторы в батарее закрывают крышками, изготовленными из того же материала, что и корпус.

В крышках имеются отверстия с резьбой, в которые вворачиваются заливные пробки. Пробки предназначены для заливки электролита (водного раствора серной кислоты) и контроля его уровня в эксплуатации. Пробки изготавливают из полиэтилена. В пробках имеются вентиляционные отверстия, через которые из аккумуляторов выходят в атмосферу газы (кислород и водород). У новой батареи пробки герметичные и вентиляционные отверстия закрыты. При заливке электролита на пробках удаляют герметизирующие выступы и открывают отверстия. Герметизация устраняет доступ кислорода воздуха к отрицательным пластинам и их окисление, что увеличивает срок хранения новой батареи. В пробках устанавливаются специальные отражательные шайбы для предотвращения выбросов электролита на поверхность батареи при движении автомобиля. При работе батареи на автомобиле вместе с газами выходят пары кислоты, кислота расходуется и вызывает коррозию близко расположенных деталей двигателя и кузова.

При сборке аккумуляторов полублоки пластин вводят друг в друга и изолируют сепараторами. Главное назначение сепараторов заключается в предотвращении электрического контакта между положительными и отрицательными пластинами. Сепараторы изготавливают из пористой пластмассы, не проводящей электрического тока. Через поры пластмассы свободно проходят ионы электролита по кратчайшему (между пластинами) пути, снижая внутреннее сопротивление батареи. Одновременно в порах пластин хранится часть электролита, уменьшающая габариты аккумулятора. Сепараторы изготавливают в основном из микропористой пластмассы –мипласт и реже из микропористого эбонита или микропористой резины –мипор.

В настоящее время широкое распространение получили **новые** малообслуживаемые батареи. Корпус такой батареи изготавливается из полиэтилена. Полиэтилен обладает высокой кислотостойкостью, поэтому нет необходимости устанавливать кислотоупорные вставки. Корпус представляет собой единую сварную конструкцию без отдельных крышек. Однако клея для полиэтилена нет, сварка полиэтилена - технологически сложный процесс, и батарея получается неремонтнопригодной. Перемычки между отдельными аккумуляторами убраны с крышек внутрь и теперь они проходят непосредственно через отверстия в боковых перегородках корпуса. Уменьшился саморазряд батареи, снизилось выделение кислоты через отверстия для перемычек.

Сепараторы **новых батарей** стали изготавливать в виде конвертов, в которые вставляются пластины. Такие сепараторы предотвращают выпадение активной массы на дно корпуса. Ребра на дне аккумулятора теперь не нужны. Пластины опустили ниже и увеличилось пространство для электролита при прежних габаритах. Электролита теперь заливают больше, с запасом, и его хватает на большее время.

Изменен состав сплава решеток пластин. Убрана из сплава сурьма, для повышения прочности пластин применяются кальций и олово. Значительно

сократилось кипение электролита при зарядке и уменьшилась коррозия решеток положительных пластин.

Такие аккумуляторы теперь можно реже обслуживать и их стали называть малообслуживаемыми или необслуживаемыми.

Клеммы аккумуляторной батареи изготавливают разного диаметра. Положительная клемма больше, а отрицательная клемма меньше. В процессе эксплуатации положительная клемма подвергается коррозии в большей мере, чем отрицательная. Качество контакта в клеммах легко проконтролировать после пуска двигателя стартером по их нагреву. Если клемма становится теплой, то необходимо ее отсоединить, промыть водой и при необходимости зачистить.

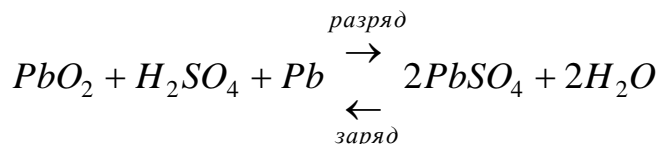
1.3. Принцип работы свинцового аккумулятора

Свинцовые аккумуляторы являются вторичными химическими источниками тока, которые могут использоваться многократно.

После заряда: Когда к аккумулятору не подключена внешняя нагрузка, то, вследствие химических реакций, на положительных пластинах образуется положительный заряд, а на отрицательных - отрицательный. Образующиеся заряды препятствуют дальнейшему прохождению реакций, реакции прекращаются и теоретически в таком состоянии аккумулятор может находиться неограниченное время.

Разряд: При подключении внешней нагрузки появляется электрический ток, снижаются величины зарядов и вступают в работу химические реакции. Активная масса расходуется, на положительных и отрицательных пластинах активная масса постепенно преобразуется в серноокислый свинец, также расходуется электролит и вместо кислоты в электролите появляется дополнительная вода. При разряде понижается плотность электролита, его уровень, пластины покрываются слоем серноокислого свинца, снижается электродвижущая сила и повышается внутреннее сопротивление. Когда прореагирует вся активная масса, напряжение на выводах батареи начинает быстро падать и процесс разряда прекращается. В эксплуатации допускать полный разряд батареи не рекомендуется из-за коробления пластин и отслоения активной массы.

Химические реакции в свинцовом аккумуляторе описываются следующим уравнением:



При зарядке батареи, в конце процесса заряда, активная масса пластин полностью преобразуется и начинается электролиз воды. Вода разлагается на кислород и водород. Электролит начинает кипеть. Кислород выделяется на положительных пластинах, а водород на отрицательных. Кислород образуется в атомарном состоянии и окисляет решетки положительных пластин.

Содержание в электролите серной кислоты и плотность электролита уменьшаются при разряде и увеличиваются при заряде. По плотности электролита судят о степени разряженности свинцового аккумулятора. При разряде происходит незначительное увеличение объема электролита, а при заряде – уменьшение.

В таблице 1.1 указаны состояния пластин и электролита заряженной и разряженной аккумуляторной батареи.

Таблица 1.1

Заряженное состояние		
Положительные	Отрицательные	Электролит
Двуокись свинца	Губчатый свинец	Серная кислота
Разряженное состояние		
Положительные	Отрицательные	Электролит
Серноокислый свинец		Вода

В заряженном состоянии плотность электролита составляет в среднем $1,28 \text{ г/см}^3$, а в разряженном $1,11 \text{ г/см}^3$. ЭДС в заряженном состоянии достигает $2,15 \text{ В}$ и в разряженном состоянии снижается до $1,96 \text{ В}$.

В процессе эксплуатации решетки положительных пластин постепенно становятся более тонкими, плохо проводят электрический ток и разрушаются. Нарушается электрический контакт решеток с активной массой, активная масса не вступает в химические реакции при зарядке и разряде, снижается разрядная емкость. При зарядке электролит в аккумуляторе рано закипает. Разрушение решеток положительных пластин является основной причиной выхода аккумуляторных батарей в эксплуатации.

1.4. Типы и условные обозначения стартерных батарей

Стартерные свинцовые аккумуляторные батареи классифицируют по номинальному напряжению (6 и 12 В) и номинальной емкости.

На стартерные аккумуляторные батареи наносят товарный знак предприятия-изготовителя, указывают тип батареи, дату выпуска и обозначение стандарта или технических условий на батарею конкретного типа.

Условное обозначение типа батареи (например, батарея 6СТ-55А) содержит указание на количество последовательно соединенных аккумуляторов в батарее (6 шт.), характеризующих ее номинальное напряжение (12 В), указание на назначение по *функциональному* признаку (СТ – стартерная, ТСТ – для эксплуатации в тяжелых условиях), номинальную емкость при 20 часовом режиме разряда ($55 \text{ А}\cdot\text{ч}$) и *исполнение* (при необходимости):

А - с общей крышкой; Н - несухозаряженная; З - для необслуживаемой, залитой электролитом и полностью заряженной батареи.

В условных обозначениях еще применяемых в настоящее время батарей буква Э и Т после величины номинальной емкости указывают на *материал моноблока* (соответственно эбонит и термопласт). Последующие буквы обозначают материал сепаратора (М - мипласт, Р – мипор).

Отечественная промышленность выпускает стартерные свинцовые аккумуляторные батареи номинальным напряжением 6 и 12 В и номинальной емкостью до $190 \text{ А}\cdot\text{ч}$.

1.5. Характеристики стартерных батарей

Аккумуляторные батареи оцениваются по следующим параметрам: номинальная разрядная емкость, стартерная разрядная емкость, ток холодной прокрутки, внутреннее сопротивление, электродвижущая сила (ЭДС) и напряжение.

Номинальная емкость C_{20} определяется в стандартном режиме разряда: время разряда 20 часов, температура батареи 25 °С, разряд заканчивают при достижении напряжения допустимой величины 10,5 В для батареи из 6 аккумуляторов.

Разрядная емкость C_R аккумуляторной батареи отражает количество электричества в ампер-часах, которое батарея отдает в нагрузку. Емкость определяется как произведение тока разряда на время разряда батареи. Единица измерения емкости подобрана для удобства пользователя: зная ток потребителя в амперах легко найти допустимое время его подключения в часах разделив емкость на величину тока. *Разрядная емкость зависит от величины тока разряда и температуры аккумулятора.* При больших разрядных токах электролит быстро расходуется в порах пластин и новые порции электролита не успевают проникать внутрь. В результате внутренние слои пластин остаются не прореагировавшими, а наружные слои покрываются сернокислым свинцом. Разрядная емкость аккумуляторных батарей снижается, вводят важный показатель – стартерная разрядная емкость.

Стартерная емкость определяется за время разряда 3 минуты или при разряде батареи током $3C_{20}$. Разряд производится при температуре минус 18 градусов от начального напряжения 12 В до конечного 6 В.

Ток холодной прокрутки является дополнительным показателем, отражающим стартерные свойства батареи. Он замеряется при температуре минус 18 градусов и отражает максимальный ток, при величине которого напряжение на выводах батареи не падает ниже 7,2 В в течение 30 секунд разряда.

ЭДС аккумуляторной батареи измеряется в вольтах и равна разности потенциалов на клеммах батареи без нагрузки. ЭДС батареи равна сумме ЭДС всех последовательно соединенных аккумуляторов. ЭДС аккумулятора зависит от плотности электролита: $E = 0,85 + \rho$, где ρ – плотность электролита, в г/см³ (измеряется при помощи ареометра).

Напряжение батареи равно разности потенциалов на ее клеммах при подключенной нагрузке. Напряжение и ЭДС замеряются вольтметром с большим внутренним сопротивлением. При разряде напряжение на клеммах батареи меньше ЭДС на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении батареи r :

$$U_B = E - Ir,$$

где I – ток разряда.

При заряде батареи напряжение д.б. больше ЭДС.

Внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи складывается из сопротивления всех деталей, по которым проходит электрический ток: клемм, переключателей, решеток пластин, активной массы, сепараторов и электролита. По металлическим проводникам ток проходит в виде электронов, по электролиту ток проходит в виде ионов. Внутреннее сопротивление стартерной батареи составляет порядка сотой доли Ома и при ее изготовлении прилагают все усилия для уменьшения сопротивления.

Характеристики аккумулятора зависят от его температуры. При снижении температуры уменьшаются скорости химических реакций и

увеличивается внутреннее сопротивление батареи. Одновременно возрастает вязкость электролита, он плохо проникает в поры пластин и аккумулятор хуже работает в стартерном режиме разряда.

Отдых аккумуляторной батареи широко используется водителями автомобилей, особенно в зимнее время. Для отдыха от аккумулятора просто отключают нагрузку и дают выдержку в течение 20...30 с и более. Во время отдыха электролит успевает глубоко проникнуть в поры пластин, выравнивается плотность электролита. При следующем включении батареи в химические реакции вовлекаются внутренние слои активной массы, которые без отдыха так и остаются не прореагировавшими.

Энергию в АКБ вырабатывает химический источник энергии и основная ее часть передается в нагрузку, а часть расходуется на нагрев батареи.

Мощность химического источника энергии равна произведению ЭДС батареи на величину разрядного тока: $P_x = E_B I$.

Мощность аккумуляторной батареи представляет собой полезную мощность, отдаваемую батареей в нагрузку, измеряется в ваттах и определяется как произведение напряжения на клеммах батареи на величину разрядного тока

$$P_n = U_B I = (E_B - Ir)I.$$

Часть мощности, вырабатываемой химическим источником тока, теряется внутри самой батареи и тратится на ее нагрев. Потери мощности на нагрев батареи соответствуют произведению падения напряжения на внутреннем сопротивлении батареи на значение разрядного тока: $P_n = Ir^2$.

Максимум отдаваемой батареей в нагрузку мощности будет иметь место при равенстве сопротивления нагрузки внутреннему сопротивлению аккумуляторной батареи.

В зимнее время нагрев батареи приводит к росту температуры активной массы и электролита и за счет нагрева батарея потом лучше работает в стартерном режиме разряда. Это свойство батареи используется на практике. Перед пуском двигателя в очень холодную погоду водитель включает на несколько минут ближний свет фар, а затем уже включает стартер.

Вольт-амперная характеристика батареи представляет собой зависимость напряжения на ее клеммах U_B от тока разряда I . АКБ обладает внутренним сопротивлением. По мере увеличения тока разряда напряжение на выводах батареи снижается (рис. 1.2). Снижение напряжения U_B происходит на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении батареи: $\Delta U_B = Ir$.

Для построения вольт-амперной характеристики используют две экспериментальные точки.

Первая точка - ток разряда $I=0$ и напряжение на выводах батареи равно ЭДС – E_B . Вторая точка соответствует некоторому значению тока батареи $I = I_{\Pi}$ и напряжению на выводах $U_{БП}$: $U_{БП} = E_B - I_{\Pi} r$.

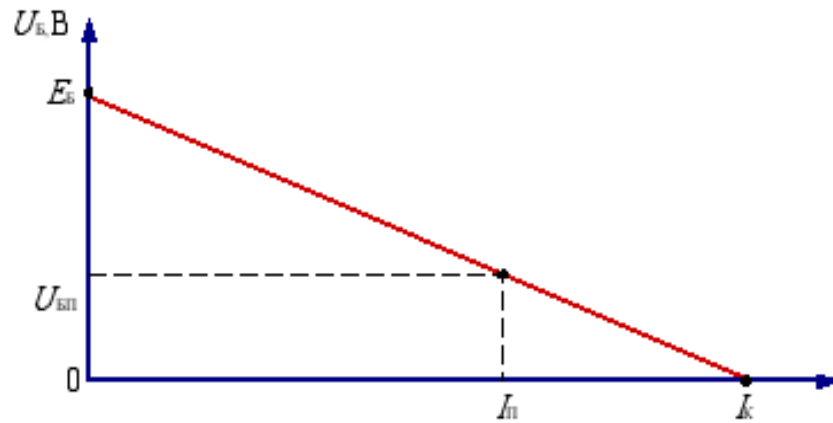


Рис. 1.2. Вольт-амперная характеристика батареи

По известным значениям E_B , $U_{БП}$, $I_{П}$ вычисляется величина внутреннего сопротивления батареи $r = (E_B - U_{БП}) / I_{П}$ и ток короткого замыкания $I_K = E_B / r$.

Ток короткого замыкания отражает максимальную силу тока, который может выработать АКБ при замыкании клемм проводником с нулевым сопротивлением.

1.6. Саморазряд аккумуляторных батарей

Заряженные и исправные АКБ теряют емкость при длительном хранении вследствие саморазряда. Саморазряд обусловлен недостаточной чистотой активных материалов и неравномерной плотностью электролита по высоте.

Саморазряд заряженной *обслуживаемой* батареи при температуре 15-25°С не должен превышать **0,5 – 0,8 % в сутки**.

Необслуживаемой батареи (– стартерные АКБ, не требующие добавления электролита в процессе эксплуатации, обладающие высокими электрическими характеристиками и большим сроком службы по сравнению с обычными АКБ) – не более **0,11 %** в сутки (а за год – не более 40 %).

Величина саморазряда батареи зависит от:

- чистоты поверхности батареи (вода, электролит или другие токопроводящие жидкости на поверхности АКБ ускоряют саморазряд),
- температуры электролита (при температуре ниже нуля саморазряд практически прекращается),
- плотности электролита (чем выше плотность тем больше саморазряд).

Интенсивность саморазряда возрастает в процессе эксплуатации батареи и особенно резко к концу срока службы.

1.7. Эксплуатация батарей

Новые сухозаряженные АКБ заливают электролитом следующей плотности:

Таблица 1.2

Микроклиматические районы; среднемесячная	Время	Плотность электролита приведенная к 25°С, г/см ³
---	-------	---

температура воздуха в январе, °С	года	Заливаемого	Заряженной батареи
Холодный:			
очень холодный от -50 до -30	Зима	1,28	1,30
	Лето	1,24	1,26
холодный от -30 до -15	Круглый год	1,26	1,28
Умеренный:			
умеренный от -15 до -8	Круглый год	1,24	1,26
жаркий сухой от -15 до +4	– // –	1,22	1,24
теплый влажный от 0 до +4	– // –	1,20	1,22

В жарком климате плотность электролита меньше, это приводит к снижению коррозионного действия кислоты.

Приготовление электролита нужной плотности выполняют путем **добавления в воду кислоты** тонкой струей при постоянном перемешивании.

Температура заливаемого электролита должна быть от 15 до 30 °С (далее по инструкции). Электролит наливают на уровне 10-15 мм выше предохранительной сетки.

Способы заряда аккумуляторных батарей

1. Заряд при постоянной силе тока (зарядка ведется силой тока $0,1 C_{20}$ включенных батарей). Достоинства: возможность регулировать и контролировать силу тока в процессе всего заряда. Недостатки: продолжительность заряда; необходимость регулирования силы тока; потеря энергии в реостатах; потери на обильное газовыделение в конце заряда.
2. Заряд при постоянном напряжении. *Достоинства:* уменьшение тока по мере заряда; возможность включения батарей разной емкости на заряд (зарядная сила тока устанавливается автоматически); короткое время заряда (за 5 часов примерно до 95% полной емкости). *Недостаток:* нельзя регулировать силу зарядного тока и, следовательно, исправлять сульфатацию.
3. Модифицированный заряд (снижают силу тока в начальный период, исключают влияние напряжения сети на зарядный ток).

4. Форсированный заряд (т.е. ускоренный, снижает срок службы).
5. Контрольно тренировочный цикл – заряд батареи до номинального напряжения и последующий полный разряд. Выполняется для контроля и частичного восстановления емкости батареи (может выполняться несколько раз подряд).

На рисунке 1.3 представлены графики разрядной и зарядной характеристик свинцового аккумулятора при постоянной силе зарядного и разрядного токов.

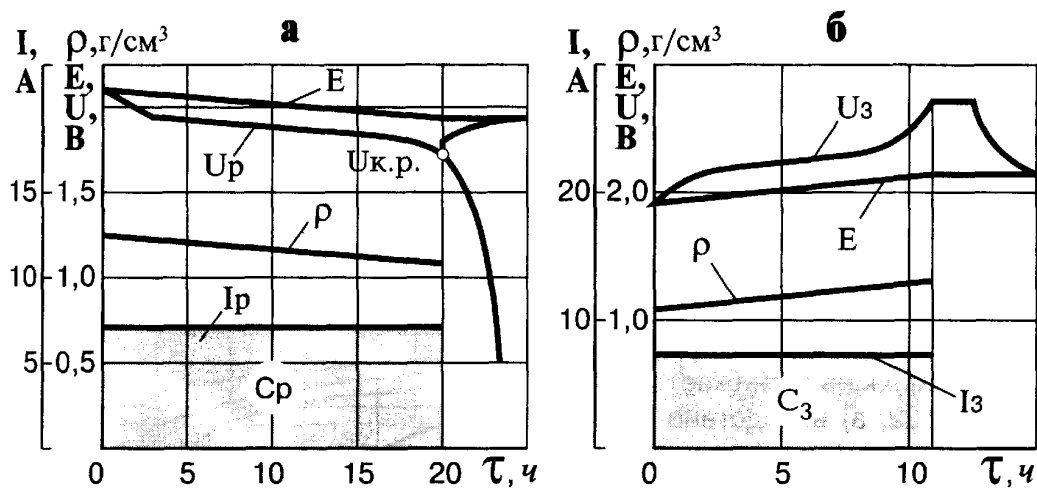


Рис. 1.3. Разрядная (а) и зарядная (б) характеристики аккумулятора

Напряжение на выводах аккумулятора меньше величины ЭДС при разряде:

$$U_p = E_B - I_p r, \text{ и больше величины ЭДС при заряде: } U_z = E_B + I_z r$$

Нелинейное снижение напряжения на начальном участке обусловлено изменением разности концентраций электролита между электродами и в порах активной массы. К концу разряда сульфат свинца закрывает поры активного вещества электродов, препятствуя притоку электролита и увеличивая сопротивление электродов – напряжение начинает резко падать. Дальнейший разряд вреден и не имеет смысла.

При заряде напряжение на выводах аккумулятора возрастает вследствие внутреннего падения напряжения и повышения ЭДС при увеличении плотности электролита в порах электродов. В конце заряда напряжение достигает 2,6-2,7 В и остается неизменным, при этом наблюдается интенсивное разложение воды на кислород и водород – напоминает кипение.

Если в конце заряда плотность электролита отличается от нормы, ее корректируют добавлением дистиллированной воды или раствора серной кислоты плотностью 1,4 г/см³.

Запрещено испытывать АКБ «на искру» проводом большого сечения – это приводит к быстрому выходу батареи из строя. Не рекомендуется эксплуатация батареи разряженной более чем на 50 %.

В таблице 1.3 приведены типичные значения ЭДС современной аккумуляторной батареи в зависимости от степени её заряженности

Таблица 1.3

Напряжение без нагрузки	% заряженности	Плотность электролита
12.74 – 12.60	100	1.27 – 1.26
12.54 – 12.40	75	1.25 – 1.24
12.35 – 12.30	50	1.23 – 1.21