

Аккумуляторные батареи



Аннотация

В настоящем пособии не приводятся сложные теоретические выкладки, формулы и графики, описывающие все многообразие электрохимических и физических процессов, протекающих в аккумуляторной батарее. Рассматриваются только кислотные стартерные аккумуляторы.

Дается минимальное количество понятий и сведений, достаточное для понимания основных процессов, позволяющее автолюбителю самостоятельно без больших затрат сил и времени организовать рациональный уход за аккумулятором и продлить срок его безотказной работы.

Пособие предназначено для автолюбителей, которые в большинстве своем не являются специалистами в области химических источников тока, однако предполагается что читатель имеет представление об устройстве современной аккумуляторной батарее.

Аккумуляторные батареи.

1. ВВЕДЕНИЕ

Аккумуляторная батарея - одно из самых сложных устройств современного автомобиля. В ней непрерывно протекают многие электрохимические и физические процессы, взаимосвязанные и в значительной мере обусловленные влиянием внешних факторов. И как любое сложное устройство, требует соответствующего ухода при соответствующей квалификации.

Автолюбителя, в большинстве своем, интересуют чисто практические вопросы. Такие, как например, почему батарея уже через два сезона не обеспечивает пуск совершенно исправного двигателя? Почему батарея прослужила всего два года, а не 5 или 8 лет, хотя и прошел автомобиль по 3 тысячи км в год из-за отсутствия бензина? Что надо делать для того, чтобы аккумуляторная батарея служила долго и не подводила в самый неподходящий момент? И сколько ей уделять времени, и не следует ли с ней возиться каждый день? И многие другие подобные вопросы.

Для ответов на эти вопросы необходимо пользоваться не только готовыми рекомендациями и инструкциями, но и иметь определенный уровень знаний об аккумуляторных батареях.

Аккумуляторы, как и иные химические источники тока, интенсивно изучаются и совершенствуются, однако зачастую многие публикации недоступны для автолюбителя и понимание ряда вопросов требует специальной профессиональной подготовки. Во многих журнальных статьях, пособиях, рекомендациях, инструкциях и т.п. наряду с безусловно правильной и полезной информацией

много субъективизма, а в ряде случаев, к сожалению, просматривается непонимание, незнание и корпоративные интересы авторов (особенно в журнале "За рулем").

Настоящее пособие преследует очень простую цель - дать автолюбителю начальные знания по уходу за аккумуляторной батареей. Мы старались избежать сложных теоретических выкладок и формул. Тем не менее, полностью исключить теоретические сведения нельзя.

Без понимания основных процессов, протекающих в аккумуляторе в тех или иных условиях, невозможно построить оптимальную тактику ухода за аккумуляторной батареей в реальных условиях эксплуатации (собственно аккумулятора), избежать досадных ошибок, даже пользуясь огромным количеством правильных рекомендаций.

Мы понимаем, что данное пособие тоже не лишено недостатков, однако постарались в логической последовательности изложить известные факты, различные методики и выполняемые работы по уходу за аккумулятором. Надеемся, что материал, изложенный в пособии, поможет автолюбителю в уходе за аккумуляторной батареей.

2. ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АККУМУЛЯТОРЕ

2.1. Понятия и определения

Аккумулятор является обратимым источником тока. Он способен отдавать в нагрузку во внешней цепи ранее запасенную энергию. На легковые автомобили устанавливаются аккумуляторные батареи, состоящие из шести последовательно включенных аккумуляторов. Они способны обеспечивать большие разрядные токи и относятся к классу стартерных аккумуляторных батарей. Это отражено в маркировке батарей. Например, батарея 6СТ-55 содержит 6 аккумуляторов, стартерная, номинальная энергоемкость составляет 55 ампер-часов.

Приведем некоторые основные понятия и определения, характеризующие аккумуляторную батарею в различных режимах работы.

Электродвижущая сила (ЭДС) - это разность электродных

потенциалов при разомкнутой электрической цепи. ЭДС аккумулятора зависит от плотности температуры электролита и состава активной массы пластин. Выражается ЭДС в вольтах и обычно обозначается буквой E . Измерить ЭДС можно вольтметром с большим внутренним сопротивлением, превышающим 20 кОм.

ЭДС покоя (E_0) - это ЭДС аккумулятора, находящегося длительное время (более 2-3 часов) без нагрузки.

ЭДС аккумулятора под нагрузкой отличается от ЭДС покоя. Это вызвано тем, что при прохождении тока в цепи на электродах и в электролите происходят необратимые физические и химические процессы, связанные с потерей энергии. Один из них - это процесс поляризации.

ЭДС поляризации (E_n) - это ЭДС аккумулятора при наличии поляризации пластин.

E_p всегда направлена навстречу току.

При заряде ЭДС аккумулятора равна сумме ЭДС покоя и ЭДС поляризации:

$$E = E_0 + E_n,$$

а при разряде

$$E = E_0 - E_n.$$

Величину E называют динамической ЭДС, или просто ЭДС аккумулятора.

В замкнутой электрической цепи постоянного тока, когда к аккумулятору подключены потребители, связи между ЭДС, проходящим по цепи током и сопротивлением цепи определяется по закону Ома:

$$E = I(R + r), \quad (1)$$

где E - ЭДС, В;

I - сила тока в цепи, А;

R - активное сопротивление внешней цепи, Ом;

r - полное сопротивление участка электрической цепи внутри самого источника тока, Ом.

Выражение (1) можем переписать в виде:

$$E = IR + Ir, \quad (2)$$

т.е. ЭДС аккумулятора компенсирует падение напряжения на внешней цепи $U=IR$ и падение напряжения внутри самого источника тока на его полном внутреннем сопротивлении $Ur=I*r$.

Величина $U=I*R$ - это напряжение аккумулятора. Это напряжение на зажимах аккумулятора, которое используется для

работы потребителей тока.

Из уравнения (2) видно, что при работе аккумулятора его напряжение U всегда меньше чем ЭДС, так как

$$U = E - U_r.$$

По мере износа аккумулятора его внутреннее сопротивление возрастает. Это одна из причин пониженного напряжения на зажимах аккумулятора под нагрузкой. поскольку увеличивается U_r . У разряженного аккумулятора ситуация подобная.

Различают зарядное напряжение, равное

$$U_z = E + I_z * r,$$

и разрядное напряжение:

$$U_p = E - I_p * r,$$

где I_z - зарядный ток, А;

I_p - разрядный ток, А;

r - внутреннее сопротивление аккумулятора, Ом.

Нормальный зарядный ток - величина зарядного тока (А).

численно равная 0.1 емкости аккумуляторной батареи, выраженная в ампер-часах.

Внутреннее сопротивление аккумулятора складывается из сопротивления электродов, электролита и сопротивления, обусловленного сепараторами (прокладками между пластинами). Внутреннее сопротивление - величина непостоянная. Оно зависит от конструкции электродов, состояния активной массы, плотности электролита, температуры. В полностью заряженном аккумуляторе внутреннее сопротивление значительно меньше, чем у разряженного. Объясняется это тем, что электропроводность активной массы заряженного аккумулятора выше, чем у разряженного.

Емкость аккумулятора - это количество электричества, которое может запасти или отдать аккумулятор.

Емкость зависит от величины тока разряда. Емкость аккумулятора определяется как величина, равная произведению постоянного тока на время при 20-часовом режиме разряда до напряжения 1.7 В:

$$Q_{20} = I_p * t_p = I_p * 20 (A * ч),$$

где I_p - величина разрядного тока,

t_p - время разряда.

Емкость по току разрядная Q_p - номинальная емкость аккумулятора при разряде:

$$Q_p = I_p * t_p,$$

где I_p - величина разрядного тока, А;

t_p - время разряда.

Зарядная емкость аккумулятора - характеризует количество электричества, полученное аккумулятором в процессе заряда:

$$Q_z = I_z * t_z ,$$

где Q_z - зарядная емкость, А*ч;

I_z - зарядный ток, А;

t_z - время заряда, ч.

У современных аккумуляторов КПД по емкости равно 0.85.

Емкость по энергии - характеризует способность аккумулятора выполнить электрическую работу за определенное время.

Измеряется в ватт-часах.

Емкость по энергии при разряде:

$$A_p = U_p * I_p * t_p ,$$

где U_p - разрядное напряжение (среднее), В;

I_p - ток разряда, А;

t_p - время разряда, ч.

Емкость по энергии при заряде:

$$A_z = U_z * I_z * t_z ,$$

где U_z - среднее зарядное напряжение, В;

I_z - ток заряда, А;

t_z - время заряда, ч.

КПД аккумулятора по энергии (отдача аккумулятора) определяется как отношение емкости по энергии при разряде к емкости при заряде:

Современный аккумулятор имеет КПД по энергии, равный 0.68*. По мере износа аккумулятора эта величина уменьшается.

Емкость аккумулятора сильно зависит от режима разряда. При больших токах разряда она падает в несколько раз по сравнению с разрядом током 20-часового режима разряда. Например, в стартерных режимах, когда ток достигает 150-200 А емкость батареи падает в 2-3 раза. При снижении температуры емкость аккумулятора также уменьшается.

С повышением температуры емкость аккумулятора увеличивается, однако при температурах выше 45 С аккумуляторы необратимо теряют емкость и сокращается их срок службы.

Саморазряд аккумулятора - потеря заряда заряженным аккумулятором.

Саморазряд внутренний - обусловлен химическими реакциями в

аккумуляторе. У исправных аккумуляторов при $t=+1...+20$ С за 1 сутки составляет 1% от номинальной емкости, или 30% за месяц. При снижении температуры ток саморазряда уменьшается.

Очевидно, что неработающий аккумулятор необходимо заряжать 1-2 раза в месяц. По мере старения аккумулятора саморазряд протекает более интенсивно.

Саморазряд внешний - обусловлен электропроводностью загрязненной поверхности между клеммами аккумулятора. Может достигать величин 0.5 А и более.

Очевидно, что батарею необходимо очищать от загрязнений.

Срок службы аккумулятора - время безотказной работы, в течение которого обеспечивается и стартерный режим.

Срок службы аккумулятора зависит от очень многих внутренних и внешних факторов. Гарантийный срок (который может быть уменьшен при неправильном уходе) указывается в паспорте и зависит от конструкции и технологии изготовления.

Обычно это 200-300 циклов заряда-разряда для намазных пластин и 1500-2000 для панцирных пластин.

Понятно, что следует избегать длительных стартерных режимов разряда, глубоких разрядов.

2.2. ЗАРЯД АККУМУЛЯТОРА

2.2.1. Электрохимические процессы при заряде.

При заряде сульфат свинца обеих пластин под действием электрического тока при электролизе переходит на положительной пластине в перекись свинца, а на отрицательной - в губчатый свинец.

Как видно из уравнения, в процессе заряда плотность электролита повышается из-за образования серной кислоты.

В конце цикла заряда количество уменьшается и более активно происходит электролиз воды с выделением на положительном электроде кислорода, а на отрицательном - водорода. Этим обусловлено интенсивное газовыделение в конце заряда. Часть воды из электролита удаляется.

Поэтому после прекращения заряда аккумулятора в течение 2-3 часов идет выравнивание плотности электролита в порах активной массы и в межэлектродном пространстве. Через 3 часа после зарядки

аккумулятора необходимо проверить и откорректировать плотность электролита, добавив или дистиллированной воды или кислоты по мере необходимости.

Плотность полностью заряженного аккумулятора должна быть

$$\rho_z = 1.28 + 0.005 \text{ г/см}^3$$

Во время заряда плотность электролита в аккумуляторах повышается постепенно и только к концу заряда принимает постоянное значение. Напряжение на аккумулятора медленного возрастает с 2.2 до 2.4 В, начинается газовыделение.

Напряжение в конце заряда составляет 2.6-2.65 В, при этом происходит обильное газовыделение.

Это объясняется тем, что практически закончено преобразование сульфата свинца и вся энергия тока зарядного устройства расходуется на электролитическое разложение воды.

2.2.2. Зарядные характеристики аккумулятора.

Процесс заряда аккумулятора описывается определенным набором зарядных характеристик.

Зарядными характеристиками аккумулятора называются изменяющиеся во времени в процессе заряда следующие величины:

- напряжение аккумулятора;
- ЭДС покоя;
- динамическая ЭДС;
- плотность электролита;
- температура электролита;
- интенсивность газовыделения.

Все эти характеристики взаимозаменяемы и зависят от многих факторов, определяющих состояние аккумулятора, и величины зарядного тока.

При температуре +20 С и постоянной нормальной величине зарядного тока для исправного аккумулятора эти характеристики меняются следующим образом.

Напряжение аккумулятора - для разряженного аккумулятора в начале заряда 2.18 В. Затем оно в течение 1-2 часов возрастает до 2.25-2.3 В и очень медленно увеличивается (6-8 часов), после чего начинает быстро возрастать при достижении напряжения 2.4 В. При напряжении 2.7 В начинается перезаряд аккумулятора.

ЭДС покоя зависит от температуры и концентрации электролита. Для разряженного аккумулятора ЭДС покоя = 1.95 В, а для заряженного - 2.18 В. По мере заряда аккумулятора эта характеристика меняется линейно между указанными граничными значениями. По ЭДС можно судить о степени заряженности аккумулятора, однако весьма приближенно, поскольку изменяется ЭДС покоя на небольшую величину и зависит от нескольких факторов.

Динамическая ЭДС имеет почти такой же характер зависимости от времени, как и напряжение. Она немного меньше напряжения, В начале заряда динамическая ЭДС равна 1.95 В, а в конце - примерно 2.7 В.

Плотность электролита между пластинами аккумулятора при заряде линейно изменяется от 1.11 г/см³ для разряженного аккумулятора до 1.28 г/см³ - для заряженного. Это одна из основных диагностических характеристик аккумулятора. Зная температуру электролита и его плотность можно с приемлемой степенью точности определить степень заряженности аккумулятора.

Температура электролита линейно возрастает в процессе заряда, и значительно быстрее растет в области перезаряда.

Интенсивность газовыделения незначительно до напряжения 2.4 В. После этого значения до 2.7 В - обильное газовыделение, которое сохраняется и в области перезаряда.

Обильное газовыделение свидетельствует о завершении процесса полезного заряда аккумулятора.

3. ЗАРЯДКА АККАМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ.

В зависимости от возможностей, задач и условий эксплуатации аккумуляторов применяются различные методы заряда аккумуляторов.

3.1. Заряд постоянным током.

Этот метод реализуется с помощью стабилизированного источника тока. Величина зарядного тока поддерживается постоянной во всей области полезного заряда. Область полезного заряда занимает время до обильного газовыделения.

Величина (нормальная) зарядного тока устанавливается численно

равной 0.1 емкости аккумулятора, выраженной в ампер-часах. Как правило, это максимальный зарядный ток.

$$I_{10} = Q/10 \quad .$$

Например, для батареи емкостью 54 А.ч

$$I_{10} = 54/10 = 5.4 \text{ А} \quad .$$

Аналогично определяется ток 20-часового режима.

Например:

$$I_{20} = 54/20 = 2.7 \text{ А}.$$

Разумеется, если время не очень лимитировано, то целесообразно заряжать током в 2 раза меньшим. Это увеличивает сохранность аккумулятора, поскольку реализуются менее интенсивные электрохимические процессы и механические напряжения в активных элементах аккумулятора.

При заряде контролируют ток, напряжение, температуру и плотность электролита. Характер их изменения описан в п. 2.2.2.

Напряжение на аккумуляторе 2.7 В (16.2 В на батарее 6СТ) при плотности 1.28 В свидетельствует о конце заряда аккумулятора при сильном газовыделении.

С целью полного использования активной массы пластин заряд аккумулятора продолжают 1-2 часа при сильном газовыделении, уменьшив ток в 2-3 раза. Эта область перезаряда необходима для полной уверенности, что аккумуляторная батарея полностью заряжена. Зарядный КПД батарей равен 0.85.

Например, можно определить время заряда стартерной аккумуляторной батареи емкостью 54 А.ч током 5.5 А:

$$54/(0.85*5.5) = 11.6 \text{ часов} \quad .$$

Количество электричества, полученное аккумулятором:

$$I_z * t_z = 5.5 * 11.6 = 64 \text{ А.ч} \quad ,$$

где I_z - ток заряда, t_z - время заряда.

Разумеется, не более 85% этого электричества запасено в батарее, а остальное израсходовано на тепло и газовыделение в процессе электролиза.

После прекращения заряда и выключения тока напряжение на зажимах аккумулятора резко падает и затем снижается медленно по мере выравнивания плотности электролита в порах пластин и между пластинами.

Недостатки этого метода заряда.

- сравнительно большое время заряда;
- сложное зарядное устройство.

Преимущества метода заряда постоянным током:

- хорошо контролируются все стадии процесса заряда аккумулятора;
- легко реализуются "щадящие" режимы зарядки малыми токами, продлевающие срок службы аккумулятора.

3.2. Ступенчатый заряд.

Этот метод применяется при ускоренном заряде аккумуляторных батарей. Поясним этот метод на примере трехступенчатого заряда.

На первой ступени заряда, когда нет обильного газовыделения, величина зарядного тока $I_{з1}$ устанавливается численно равной 0.15 емкости аккумулятора, выраженной в ампер-часах. Больше ток не следует устанавливать, поскольку чрезмерный зарядный ток вызывает разрыхление активной массы, разрушение и коробление пластин. Первая ступень заряда продолжается в течение времени $t_{з1}$, пока на каждом аккумуляторе батареи напряжение достигнет 2.4-2.5 В и начнется обильное газовыделение. После этого зарядный ток уменьшают в 2-3 раза и заряд продолжается, пока напряжение опять возрастет до 2.4-2.5 В.

Далее так $I_{з3}$ уменьшают до 1А и продолжают заряд до напряжения 2.7 В. Количество электричества при таком заряде:

$$Q = I_{з1} * t_{з1} + I_{з2} * t_{з2} + I_{з3} * t_{з3}$$

Ступенчатый заряд отличается тем, что экономится время заряда аккумуляторной батареи.

3.3. Заряд током при постоянном напряжении.

Этот метод применяется при наличии источника тока со стабилизированным напряжением. Такими источниками тока являются, в частности, генераторы постоянного тока на автомобилях, напряжение которых поддерживается автоматически с помощью реле-регулятора. Напряжение бортовой сети при этом должно быть 2.4 В на аккумулятор (или 14.4 В на батарею 6СТ). В начале заряда ток имеет наибольшее значение вследствие значительной разности между напряжением источника и ЭДС батареи. При этом чем больше мощность зарядного источника тока и чем сильнее разряжена

батарея, тем больше зарядный ток. По мере заряда ЭДС батареи возрастает и величина зарядного тока падает до нуля.

Преимущества этого метода:

- короткое время заряда;
- автоматически уменьшается ток заряда по мере роста степени заряженности батареи.

Недостатки метода:

- требуется точная установка напряжения источника зарядного тока во избежание систематического недозаряда или перезаряда;
- иногда требуются ограничители тока на начальном этапе заряда;
- нельзя исправлять сульфатированные пластины.

3.4. Заряд реверсивным током.

Улучшение эксплуатационных характеристик аккумуляторов осуществляется, в основном, путем совершенствования их конструкции, а также структуры и состава применяемых активных масс.

Улучшаются эксплуатационные характеристики аккумуляторов и при их заряде реверсивным током, т.е. переменным током с различными амплитудами и длительностями импульсов обоих направлений за каждый период их следования. При этом в каждом периоде аккумулятор заряжается и частично разряжается.

При определенном соотношении амплитуд и длительности импульсов прямого и обратного тока снижается газовыделение и температура электролита.

В соответствии с теорией и практикой электролиза заряд аккумулятора реверсивным током дает возможность управлять восстановительными реакциями и структурными изменениями активного материала пластин, получая, в зависимости от соотношения и абсолютных значений анодного и катодного периодов, кристаллы различных размеров и форм. Это позволяет увеличить суммарную пористость и площадь действующей поверхности пластин, т.е. увеличить поверхность соприкосновения электролита с активным материалом электрода, облегчить условия диффузии и выравнивания концентрации электролита в при

электродном слое.

Увеличение пористости способствует повышению величины максимального тока заряда (и разряда).

При заряде аккумуляторных батарей реверсивным током за счет улучшения условий перемешивания электролита в при электродном слое положительного электрода создается более кислая среда, благоприятствующая получению тетрагональной формы (-модификации) диоксида свинца. При катодном периоде (разрядном периоде реверсивного тока) из этой модификации получается более рыхлый сульфат свинца, который в анодный период (зарядный период реверсивного тока) дает большее количество ***PbO₂***. За счет превращения сульфата свинца в диоксид свинца и металлический свинец в анодный период происходит разработка пор активного материала и улучшение условий доступа электролита к глубинным слоям активного материала.

В анодном периоде на положительном электроде аккумулятора адсорбируется атомарный кислород, количество которого во времени увеличивается, что затрудняет доступ электролита к глубинным слоям активного материала. В катодный период происходит очищение поверхности пластин от кислорода. Электролит получает возможность глубже проникать в поры, что дает возможность большему количеству ***PbSO₄*** вступить в реакцию и превратиться в ***PbO₂*** с увеличением емкости аккумулятора.

При заряде реверсивным током в конце разряда выделяется меньше тепла и интенсивность газовой выделения начинается позже, создаются условия регулирования восстановительных реакций, уменьшаются скорости роста кристаллов сульфата свинца.

Порядок зарядки реверсивным током аналогичен заряду постоянным током.

Недостатки метода:

- сложный источник калиброванного реверсивного тока.

Преимущества:

- отпадает необходимость в периодических контрольно-тренировочных циклах батареи;

- почти полностью исключается необратимая сульфатация пластин, как одна из причин старения и выхода из строя аккумулятора;

- при необходимости ускоренного заряда можно увеличивать зарядный ток в 2-3 раза выше нормального без повреждения

аккумулятора;

- при заряде малым реверсивным током (1-2 А) эффективно идет процесс десульфатации пластин и восстановления емкости аккумуляторной батареи, даже сильно заасфальтированной. Потому такой режим зарядки аккумулятора иногда называют "десульфатацией".

3.5. Непрерывный подзаряд.

В любительской практике применяется, в основном, при хранении аккумуляторов.

Устанавливается ток заряда примерно равный току саморазряда аккумулятора из расчета, что батарея теряет около 1% емкости в сутки. Целесообразно при этом использовать реверсивный ток во избежание сульфатации пластин.

3.6. Импульсный заряд.

По своей сущности эквивалентен ступенчатому заряду. Применяется только на заведомо исправных аккумуляторах при ускоренном заряде. На первой ступени заряда ток устанавливается равным нескольким десяткам ампер. Контролируются температура электролита, не допуская чрезмерного перегрева (не более 45 °C) и газовыделение.

4. РАЗРЯД АККУМУЛЯТОРА

Разряд аккумулятора - наиболее важный режим работы аккумулятора, при котором потребители обеспечиваются током. Процесс разряда аккумулятора описывается электрохимической реакцией:

Образуется сульфат свинца и вода, поэтому по мере разряда аккумулятора плотность электролита уменьшается.

Характер протекания разряда зависит от очень многих характеристик, описывающих состояние аккумулятора и внешних факторов. Все многообразие режимов разряда аккумулятора описывается сравнительно небольшим набором разрядных

характеристик.

4.1. Разрядные характеристики аккумулятора.

Основными разрядными характеристиками являются изменяющиеся за время разряда при постоянном нормальном токе разряда следующие величины:

- ЭДС покоя - ЭДС, изменяющаяся линейно в процессе разряда от 2.11 В до 1.95 В;
- плотность электролита - изменяется от 1.28 до 1.11 г/см³;
- напряжение аккумулятора: начальное равно 2.11 В, конечное напряжение разряда - 1.7 В;
- разрядный ток;
- разрядная емкость аккумуляторной батареи.

Первые три характеристики не нуждаются в дополнительных пояснениях. Остановимся на последних двух.

Разрядная емкость - это количество электричества, отдаваемое аккумулятором при разряде.

Однако емкость аккумулятора зависит от условий разряда. Потому само понятие емкости связывают с условиями разряда. Такое понятие емкости является сопоставительной характеристикой.

Разрядной емкостью аккумулятора называют количество электричества, отдаваемое аккумулятором при разряде нормальным током.

Нормальным разрядным током является ток 10-часового режима разряда.

Наряду с этим используется величина разрядного тока 20-часового режима разряда. Большинство заводов-изготовителей указывают емкость батареи в 20-часовом режиме разряда.

На графиках зависимости напряжения от времени при разряде постоянным по величине током наблюдается снижающаяся практически прямая линия, а в конце разряда напряжение линейно и быстро уменьшается. Ниже 1.7 В аккумулятор разряжать не следует.

Степень разряженности аккумулятора можно характеризовать относительной остаточной емкостью.

Относительная остаточная емкость определяется как количество электричества, которое аккумулятор способен отдать при нормальном токе разряда, начиная с данного момента времени,

деленное на емкость этого же исправного и полностью заряженного аккумулятора.

Qост.отн . достаточно полно характеризует энергетическое состояние аккумулятора в данный момент эксплуатации.

Например, если аккумулятор не изношен, имеет наибольшую емкость и полностью заряжен, то

$$Q_{ост.} = Q_{макс.}$$

и следовательно аккумулятор имеет остаточную относительную емкость, равную 100%.

Однако, например, если аккумулятор сильно засульфатирован, заряжается до 2.7 В при интенсивном газовыделении (полностью заряжен) и в состоянии отдать при нормальном токе разряда.

Разумеется, относительная разрядная емкость аккумулятора зависит от многих факторов, определяющих состояние аккумулятора в текущий момент времени эксплуатации. Это, в основном:

- степень заряженности аккумулятора;
- плотность электролита;
- температура электролита;
- режим заряда.

Необходимо строгое и правильное соответствие между этими зарядными и разрядными характеристиками. Поэтому ***Qост.отн.*** - важная диагностическая характеристика. Зная ее, можно избежать за критических, аварийных режимов эксплуатации аккумулятора.

Например, если ***Qост.отн.*** = 75% , а температура электролита -25 С, то стартерный режим работы аккумулятора уже является за критическим, т.е. плотность электролита должна быть строго определенной при данных температуре и степени заряженности аккумулятора. Степень заряженности аккумулятора должна быть полной без перезаряда и недозаряда.

Режим разряда выбирать в соответствии с состоянием аккумулятора (это условие часто нарушается, особенно в холодное время года, при длительном пользовании стартером в попытке запустить особенно неисправный двигатель). Если этим пренебречь, то можно разморозить аккумуляторную батарею или некоторые (наиболее разряженные) ее аккумуляторы.

Таким образом, зная основные разрядные характеристики аккумулятора, их взаимозависимость и влияние на остаточную емкость аккумулятора, можно уберечь аккумулятор от преждевременного износа и выхода из строя.

Напомним еще раз главные негативные факторы разряда, резко снижающие срок службы аккумулятора:

- глубокий разряд;
- постоянный режим недозаряда;
- несоответствие норме плотности электролита;
- засульфатированность пластин;
- чрезмерные (за критические) токи разряда.

На величину разрядной емкости аккумулятора оказывает влияние плотность электролита. Однако концентрация серной кислоты в стартерных аккумуляторах обусловлена не соображениями получения максимальной емкости, а связана с другими факторами: срок службы, ток саморазряда, работоспособность при низких температурах.

Поэтому следует придерживаться основных правил: аккумуляторная батарея должна быть полностью заряженной (лучше реверсивным током), а концентрация электролита соответствовала установленной норме.

Разрядная емкость батареи сильно зависит от тока разряда и температуры электролита. В большинстве случаев заводы-изготовители указывают емкость аккумуляторной батареи для 20-часового режима разряда при $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Т.е. ток разряда, например, аккумуляторной батареи емкостью **$Q=60\text{А.ч}$** равен

$$I_p = 60/20 = 3\text{А}$$

Однако этот же аккумулятор имеет разрядную емкость при токе 200А (стартерный режим разряда) не более 20 А.ч. Т.е. в таком режиме аккумулятор разряжается ниже допустимых значений за время

$$T_p = 20/200 = 0.1\text{ часа} = 6\text{ минут}$$

При снижении температуры разрядная емкость аккумуляторной батареи также сильно уменьшается. Это в значительной мере зависит от конструкции аккумулятора, однако большинство аккумуляторов, например, при $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ имеют емкость в 2 раза меньшую, чем при $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Этим объясняется затрудненное проворачивание коленвала стартером в зимних условиях (помимо возросшей механической нагрузки из-за загустения смазки).

Разрядные характеристики позволяют определить состояние аккумулятора и не допускать его эксплуатации за пределами допустимых значений характеристик.

Особенно недопустимы режимы глубокого (ниже практического при $U=1.7\text{В}$) разряда и систематического недозаряда. При этом

стартерные токи разряда быстро разрушают пластины. Степень разряженности аккумуляторной батареи можно определить по плотности электролита.

При проверке аккумуляторной батареи нагрузочной вилкой можно определить степень разряженности каждого аккумулятора в зависимости от напряжения.

4.2. Саморазряд.

Саморазряд аккумуляторной батареи - это потеря электричества без включения внешних потребителей тока.

Саморазряд, в основном, обусловлен саморазрядом отрицательного электрода. Саморазряд положительного электрода значительно меньше, чем отрицательного.

Саморазряд отрицательного электрода происходит, в основном, в результате его медленного растворения в электролите. Эта реакция сопровождается образованием сульфата свинца и водорода:

Примесь солей железа и других кислот в электролите ускоряет процесс саморазряда. Поэтому нельзя использовать техническую серную кислоту, в которой обычно соединений железа больше, чем 0.01%. Разумеется, нельзя пользоваться стальной посудой при работе с электролитом.

Суряма, добавляемая в решетки аккумуляторов для повышения их прочности также увеличивает саморазряд.

Бессурьмянистые аккумуляторы (активированные кальцием) имеют очень малые токи саморазряда.

Саморазряд аккумуляторов считается нормальным, если он не превышает 1% в сутки, или 30% емкости батареи в месяц.

Процессы саморазряда протекают более интенсивно в разряженных, изношенных аккумуляторах.

Саморазряд приводит к ускоренной сульфатации пластин и снижению рабочих характеристик аккумулятора.

Для предотвращения вредных последствий саморазряда необходимо:

- применять качественный электролит;
- поддерживать нормальную плотность электролита;
- поддерживать батарею в заряженном состоянии;
- проводить десульфатацию пластин.

4.3. Контрольно-тренировочные циклы.

Контрольно-тренировочный цикл заряда-разряда проводится для предотвращения сульфатации и определения емкости аккумулятора.

Контрольно-тренировочные циклы проводятся не реже одного раза в год и выполняются следующим образом:

- заряжают аккумулятор нормальным током (любым из описанных способов) до полного заряда;
- выдерживают аккумулятор 3 часа после прекращения заряда;
- корректируют плотность электролита;
- включают зарядку на 20-30 минут для перемешивания электролита;
- приводят контрольную разрядку постоянным нормальным током 10-часового режима и контролируют время полного разряда до напряжения 1.7 В (10.2 В на батарее);
- емкость батареи определяют как произведение величины разрядного тока и времени разряда:

$$Q = I_{\text{разр.}} \cdot t_{\text{разр.}}$$

После контрольного разряда батарею сразу же ставят на зарядку и полностью заряжают любым из описанных методов.

Если оказалось, что емкость батареи меньше 50% ее номинальной, то она неисправна.

По нашему мнению в любительской практике, по-видимому, контрольно тренировочные циклы проводить не следует, особенно на аккумуляторных батареях новых конструкций, поскольку каждый такой цикл уменьшает ресурс батареи.

5. ИЗНОС АККУМУЛЯТОРА

5.1. Понятие надежности аккумулятора.

Важнейшие эксплуатационные характеристики- надежность, суммарное время хранения и эксплуатации, разрядные характеристики, особенно стартерных режимов, и другие в большой мере зависят от условий эксплуатации и хранения. Со временем эти характеристики меняются и меняются не в лучшую сторону. Это

связано с необратимыми процессами износа аккумулятора.

Надежность - это вероятность работы без отказов в течение длительного промежутка времени во всех рабочих режимах. При этом основные зарядно-разрядные характеристики не выходят за предельно допустимые (критические) значения. Близкое понятию надежности - стабильность эксплуатационных характеристик.

Механизмов износа много, все они протекают непрерывно. Однако в определенных условиях одни механизмы износа протекают очень интенсивно и являются преобладающими, а в иных условиях их соотношение меняется.

Срок службы аккумулятора определяется его конструктивными и технологическими особенностями, а также условиями хранения и эксплуатации. Обычно срок службы аккумуляторной батареи определяется заводом-изготовителем и в условиях эксплуатации автомобилем составляет 3-4 года. Этот срок можно увеличить (однако не в несколько раз, как иногда пишут некоторые авторы публикаций) и очень легко сократить (даже в несколько раз).

Так называемые не обслуживаемые аккумуляторы более надежны и имеют больший срок службы, но как и для любого аккумулятора их срок безотказной работы может быть либо увеличен, либо сокращен в зависимости от того, как его эксплуатировать. Эти батареи безусловно требуют ухода и в процессе эксплуатации поддержания в норме основных эксплуатационных характеристик.

5.2. Основные процессы износа аккумулятора.

5.2.1. Оползание активной массы положительных пластин.

Оползание активной массы связано с ее разрыхлением. При этом по мере износа меняется однородность и механическая прочность активной массы. Это необратимый процесс износа аккумулятора. Он активизируется при больших токах заряда и разряда, при интенсивном газовыделении и повышенных температурах. Является преобладающим механизмом износа при длительных стартерных режимах особенно глубокого разряда.

В аккумуляторах новых конструкций с этим явлением успешно борются, однако полностью процесс оползания активной массы положительных пластин предотвратить пока не удалось.

5.2.2. Коррозия электродов.

Коррозионный износ электродов обусловлен процессами электрохимической коррозии и растворения в электролите материалов пластин. Мы не будем описывать все многообразие процессов эрозии. Дадим лишь общие закономерности их проявления.

Для улучшения литейных и механических свойств свинца используется сплав свинца с добавками сурьмы (до 10%) и другими легирующими добавками. Сурьмянистые сплавы свинца при определенной технологии изготовления электродов аккумуляторов имеют крупнозернистую структуру. Такие сплавы быстро корродируют и частицы электродов высыпаются в виде шлама. Высокосурьмянистые сплавы свинца приводят также к интенсивному электролизу воды при малых напряжениях заряда. Т.е. при зарядке уже при напряжении 2.4 В кипят и достаточно активно идут процессы коррозионного разрушения электродов.

Снижение содержания сурьмы, например, до 2.5% приводит к тому, что интенсивное газовыделение начинается только при напряжении заряда большем, чем 2.45 В. Срок службы такого аккумулятора возрастает на 30-40% при прочих равных условиях. Ряд зарубежных фирм выпускают аккумуляторы на основе свинцовых сплавов, не содержащих сурьмы и изготовленных на основе особо чистых технологий. В такие аккумуляторы воду доливают 1 раз в 3-4 года и автомобиль проедет более 300 тыс. км без замены аккумулятора.

Интенсивность коррозионного износа электродов резко возрастает при повышении температуры электролита. Например, при 45 С срок службы аккумулятора из-за коррозии уменьшается более чем в 2 раза, а при более высоких температурах идет недопустимо быстрое разрушение пластин. При этом другие механизмы износа несущественны. Сильно корродируют пластины при больших токах заряда, разряда, при перезаряде, при повышенной плотности электролита.

5.2.3. Сульфатация.

Одна из причин выхода из строя аккумулятора - повышенная

сульфатация пластин. Она заключается в образовании крупных кристаллов сульфата свинца, которые являются диэлектриком и практически не участвуют в основных токообразующих процессах.

Сульфатация пластин, как правило, вызывается нарушением правил эксплуатации аккумулятора.

Наиболее характерные электрохимические признаки засульфатированности пластин аккумулятора следующие:

- повышенное внутреннее сопротивление;
- повышенное напряжение в начале заряда (если $U_{2.4В}$ при нормальном токе разряда, то степень засульфатированности уже значительна);
- преждевременное обильное газовыделение;
- пониженная емкость аккумулятора;
- концентрация электролита ниже, чем у исправного аккумулятора;
- пониженное напряжение при разряде.

Можно выделить основные причины, приводящие к сульфатации:

- систематические недозаряды аккумулятора;
- глубокие разряды ($U_{1.75В}$);
- длительное пребывание аккумулятора в разряженном состоянии;
- снижение уровня электролита ниже верхних краев пластин;
- повышенный саморазряд;
- повышенная концентрация электролита;
- хранение аккумулятора при повышенных температурах, особенно переменных.

Чтобы избежать сульфатации, необходимо своевременно устранять основные причины, приведенные выше. Однако, если сульфатация допущена, ее можно устранить следующими способами:

1. Десульфатация малым реверсивным током.

Устанавливают величину зарядного реверсивного тока равной 0.5-2А. Десульфатация продолжается иногда 20-50 часов и более. При этом плотность электролита будет возрастать. Неизменность напряжения и плотности электролита в течение 2 часов является признаком окончания десульфатации.

2. При очень тяжелой форме сульфатации применяют заряд малым током, наиболее эффективно - реверсивным. Для этого разряжают аккумулятор до 1.8 В, удаляют электролит, заливают дистиллированную воду. Ток устанавливают настолько малым, чтобы

напряжение было не более 2.3 В. По мере увеличения плотности электролита возрастает. После тока, как плотность электролита достигнет величины 1,11 г/см³ - слить электролит и залить дистиллированную воду. Опять ведут десульфатацию малым реверсивным током при напряжении до 2.3 В. При плотности электролита 1.12 г/см³ устанавливают величину реверсивного тока в 1 А. Когда плотность раствора перестанет возрастать и начнется равномерное газовыделение, заряд прекращают. Затем в течение 2 часов аккумулятор заряжают током, составляющим 20% от 10-часового разрядного тока, после чего заряжают в том же режиме до получения постоянства напряжения и плотности электролита. Такой разряд-заряд повторяют 2-5 раз, пока не достигнут постоянства напряжения и плотности электролита. После этого добавляют кислоту до плотности 1.21-1.22 г/см³ и полностью заряжают аккумулятор. После зарядки выдерживают 3 часа и корректируют плотность электролита. Если же систематический подзаряд аккумулятора производится реверсивным током, то сульфатации практически не наблюдается. Вопрос сульфатации пластин аккумулятора и десульфатации широко освещен в литературе. Однако в ряде случаев выводы и рекомендации некорректны. Иногда в одних работах утверждается, что сульфатация - единственный механизм старения и выхода из строя аккумулятора, в других - полностью противоположное утверждение: во всех обследованных аккумуляторах, вышедших из строя, признаков сульфатации пластин не обнаружено, а значит - в "современных аккумуляторах проблемы сульфатации не существует".

Очевидно, такие крайние утверждения нельзя считать верными. Сульфатация пластин, повторяем, является одним из механизмов старения и износа аккумулятора. В зависимости от условий эксплуатации аккумулятора и выполняемых работ по обслуживанию износ аккумулятора обуславливается преобладанием одного - двух основных механизмов износа.

Приведем несколько простых (но часто встречающихся на практике) примеров.

1. Повышенная плотность электролита - основной механизм износа: эрозия.

2. Неправильная регулировка реле-регулятора - повышенное напряжение бортовой сети. При этом аккумулятор работает в условиях перезаряда и интенсивного кипения электролита.

Ускоренный износ обусловлен коррозионным разрушением электродов и разрыхлением активной массы.

3. Эксплуатация батареи в условиях систематического недозаряда, глубокого разряда. В этих условиях активно идет процесс сульфатации.

4. Работа батареи при повышенных температурах - эрозия пластин. Летом на солнцепеке под капотом температура аккумулятора может достигать 60 С и более. При этом можно вывести из строя аккумулятор за 1 сезон без признаков сульфатации.

Подобных примеров можно привести множество, когда наблюдается ускоренный износ с преобладанием тех или иных механизмов износа.

Сульфатация, как процесс износа аккумулятора, идентифицируется однозначно. Степень засульфатированности пластин можно определить с приемлемой степенью точности на фоне иных механизмов износа аккумулятора.

5. РАБОТОСПОСОБНОСТЬ АККАМУЛЯТОРА ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ.

С понижением температуры работоспособность аккумуляторов значительно ухудшается, в основном, по следующим причинам:

- возрастает внутреннее сопротивление;
- уменьшается емкость;
- замедляются процессы диффузии электролита в активной массе.

В зимних условиях существует также опасность замерзания электролита в аккумуляторной батарее.

Очевидно, что в зимних условиях необходимо более тщательно контролировать состояние аккумуляторной батареи и поддерживать ее в рабочем состоянии.

Нельзя допускать глубокого разряда. Глубокий разряд происходит вследствие уменьшения емкости батареи при низких температурах, пуск холодного двигателя всегда затруднен и требует большей энергии. При этом плотность электролита падает и электролит может замерзнуть. Оно может вывести аккумулятор из строя из-за деформации пластин и разрушения сосудов вследствие объемных изменений при образовании кристаллов льда.

Не следует эксплуатировать аккумулятор в режиме постоянного недозаряда. необходимо поддерживать батарею в полностью

заряженном состоянии с нормальной плотностью электролита.

6. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТА

В аккумуляторах используется только аккумуляторная серная кислота. Ее плотность 1.83-1.84 г/см³ при концентрации 92-94%. Для приготовления электролита кислоту смешивают с дистиллированной водой.

Готовят электролит в чистой химически инертной посуде. В любительской практике применяют стеклянную посуду. Это следует делать с особой осторожностью, поскольку при смешивании кислоты с водой раствор очень сильно разогревается и посуда может лопнуть. Можно вливать только кислоту небольшими порциями в воду, слегка помешивая раствор.

Вливать воду в кислоту нельзя!

Для предохранения глаз целесообразно работать в защитных очках. Всегда необходимо иметь под рукой достаточное количество воды и раствора пищевой соды (или мела) для удаления случайно попавших капель кислоты с одежды или тела.

Оптимальная плотность электролита 1.28 г/см³. Ее измеряют после остывания электролита ареометром. Его показания зависят от температуры.

Электролит плотностью 1.26-1.30 г/см³ имеет очень низкую температуру замерзания (-54...-70 °C). Однако если батарея разряжена, например на 75 %, то электролит замерзнет при -10 °C, если на 50% - то при -18 °C.

Поэтому зимой нельзя разряжать аккумулятор более чем на 25%. При замерзании электролит может разрушить аккумуляторную батарею.

7. ПОДГОТОВКА АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ К РАБОТЕ

В настоящее время автомобильные батареи выпускаются заводом-изготовителем только в сухозаряженном состоянии. Срок хранения батарей без эксплуатации весьма ограничен и не превышает 2 лет (гарантийный срок хранения 1 год).

Для приведения аккумуляторной батареи в рабочее состояние необходимо выполнить следующее:

- вывинтить пробки из заливочных отверстий, удалить

герметизирующие диски из-под пробок или стержни из вентиляционных отверстий (где они есть), прочистить вентиляционные отверстия;

- залить электролит (после пропитки активного вещества электролитом степень заряженности - около 80 %);

- через три часа после заливки электролита батарею поставить на заряд и заряжать до полного заряда.

Электролит не следует заливать в сухозаряженный аккумулятор при температуре выше +25 С, поскольку при пропитке пластин он чрезмерно разогревается и может привести к оползанию активной массы.

При низких температурах вязкость электролита возрастает и время пропитки пластин возрастает, и например, при +5 С составляет 2-3 часа.

Правильность ввода в эксплуатацию и первый заряд аккумулятора в значительной мере определяют его срок службы.

8. ХРАНЕНИЕ АККУМУЛЯТОРА

Стартерные аккумуляторы имеют небольшую сохранность. Непосредственно после изготовления в сухом виде гарантированный срок хранения составляет 1 год.

В присутствии следов кислоты, воды и углекислого газа срок хранения уменьшается.

Аккумуляторы, бывшие в эксплуатации можно хранить как без электролита, так и с электролитом.

Без электролита хранить аккумулятор можно только в заряженном состоянии. При этом в процессе хранения аккумулятор требует систематического заряда (не реже одного раза в месяц).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аккумуляторы, изготовленные по разным технологиям и различными заводами имеют неодинаковые сроки службы в одинаковых условиях. Точно срок службы аккумулятора не указывается, поскольку зависит от многих факторов.

Рациональный уход за аккумулятором продлевает срок его эксплуатации.

Невыполнение основных правил эксплуатации может сократить

срок службы аккумулятора в несколько раз.

Основные правила и выполняемые при обслуживании работы очень просты и нетрудоемки. Не подводите себя. Не забывайте уделять внимание аккумулятору, в котором он нуждается.

