

Лекция 2.

Тема 1. СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Система электроснабжения автомобиля предназначена для бесперебойного питания электроприборов, включенных в бортовую сеть автомобиля. Состоит из генераторной установки, аккумуляторной батареи и устройств, обеспечивающих контроль работоспособности и защиту системы от перегрузок.

Аккумуляторные батареи

Принцип работы свинцового аккумулятора

Источником электроэнергии на автомобиле при неработающем или работающем с малой частотой вращения коленчатого вала двигателе является аккумуляторная батарея. Основная задача – пуск ДВС, это наиболее тяжелый режим работы аккумулятора. В настоящее время на автомобилях наиболее широко применяются свинцовые аккумуляторные батареи, состоящие из шести последовательно соединенных банок аккумуляторов. Применение кислотных аккумуляторов объясняется тем, что они обладают небольшим внутренним сопротивлением и способны в течение короткого промежутка времени (несколько секунд) отдавать ток силой в несколько сотен ампер, что необходимо для питания стартера при пуске двигателя. Конструктивно аккумулятор представляет собой емкость, наполненную электролитом, в которой размещены электроды, выполнены в виде свинцовых решеток, на одну из них намазана паста из порошка губчатого свинца, на другую – из оксида свинца. В пасту добавлен электролит и добавлены пропиленовые волокна для прочности. В качестве электролита используется раствор серной кислоты в дистиллированной воде. При взаимодействии

электродов с электролитом между ними возникает разность потенциалов.

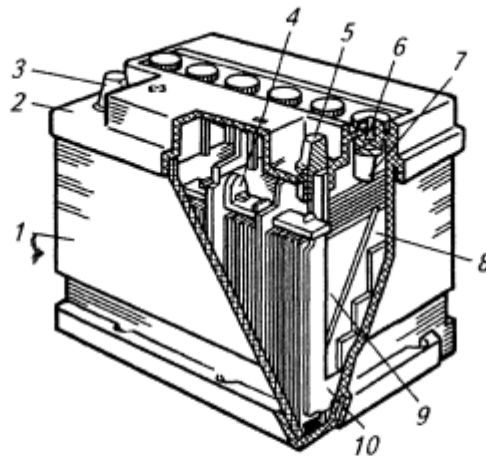


Рис. 1. Стартерная аккумуляторная батарея с закрытыми межэлементными соединениями:
 1 – моноблок; 2 – крышка; 3 и 5 – соответственно положительный и отрицательный полюсные выводы, 4 – межэлементное соединение; 6 – пробка; 7 – индикатор уровня жидкости; 8 – сепаратор; 9 и 10 – соответственно положительный и отрицательный электроды

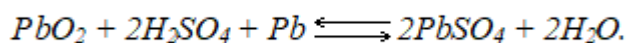
Принцип работы свинцово-кислотных аккумуляторов основан на электрохимических реакциях свинца и диоксида свинца в водном растворе серной кислоты.

В свинцовом аккумуляторе в токообразующих процессах участвуют двуокись свинца (диоксид свинца) PbO_2 положительного электрода, губчатый свинец Pb (восстановитель) отрицательного электрода и электролит (водный раствор серной кислоты H_2SO_4). Активные вещества электродов представляют собой

относительно жесткую пористую ионопроводящую массу с диаметром пор 1,5 мкм у PbO_2 и 5-10 мкм у губчатого свинца. Объемная пористость активных веществ в заряженном состоянии - около 50%. Часть серной кислоты в электролите диссоциирована на положительные ионы водорода и отрицательные ионы кислотного остатка. Губчатый свинец при разряде аккумулятора выделяет в электролит положительные ионы двухвалентного свинца. Избыточные электроны отрицательного электрода по внешнему участку замкнутой электрической цепи перемещаются к положительному электроду, где восстанавливают четырехвалентные ионы свинца до двухвалентного свинца. Положительные ионы свинца соединяются с отрицательными ионами кислотного остатка, образуя на обоих электродах сернокислый свинец $PbSO_4$ (сульфат свинца).

При подключении аккумулятора к зарядному устройству электроны движутся к отрицательному электроду, нейтрализуя двухвалентные ионы свинца Pb^{2*} . На электроде выделяется губчатый свинец. Отдавая под влиянием напряжения внешнего источника тока по два электрона, двухвалентные ионы свинца Pb^{2*} у положительного электрода превращаются в четырехвалентные ионы Pb^{4*} . Через промежуточные реакции ионы Pb^{4*} соединяются с двумя ионами кислорода и образуют двуокись свинца PbO_2 .

Химические реакции в свинцовом аккумуляторе описываются уравнением:



Содержание в электролите серной кислоты и плотность электролита уменьшаются при разряде и увеличиваются при заряде. По плотности электролита

судят о степени разряда свинцового аккумулятора C_p . Степень разряда в процентах:

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

где ρ_3 – плотность электролита заряженного аккумулятора при 25°C , ρ_p – плотность электролита разряженного аккумулятора при 25°C , ρ_{25} – измеренная плотность, приведенная к 25°C . Все плотности в г/см^3 . Для приведения плотности к 25°C можно использовать график, приведенный на рис.2

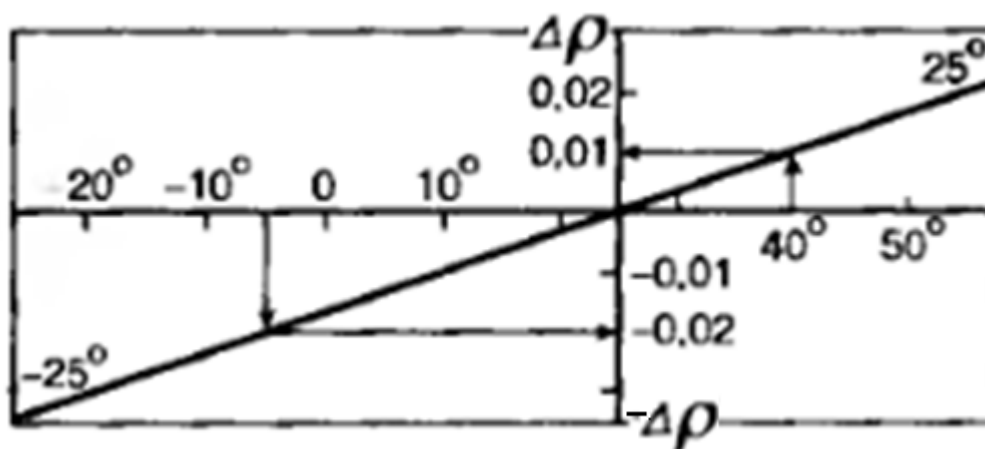


Рис.2. Определение температурной поправки показаний десиметра для приведения к 25°C

Основные электрические характеристики аккумуляторных батарей

Электродвижущая сила и напряжение. Электродвижущей силой (ЭДС) называется разность потенциалов положительного и отрицательного электродов аккумулятора при разомкнутой внешней цепи. Величина ЭДС зависит, главным образом, от электродных потенциалов, т. е. от физических и химических свойств веществ, из которых изготовлены пластины и электролит, но не зависит от размеров пластин аккумулятора. ЭДС кислотного аккумулятора зависит также от плотности электролита. Теоретически и практически установлено, что ЭДС аккумулятора с достаточной для практики точностью можно определить по формуле $E = 0,85 + \rho_{15}$, где ρ_{15} – плотность электролита при 15°C, г/см³. Для кислотных стартерных аккумуляторов, в которых плотность электролита колеблется в пределах от 1,12 до 1,29 г/см³, ЭДС изменяется соответственно от 1,97 до 2,14 В. Измерить ЭДС для практических целей ЭДС приблизительно и достаточно точно можно цифровым вольтметром, имеющим высокое внутреннее сопротивление. Напряжением аккумулятора называется разность потенциалов положительных и отрицательных пластин при замкнутой внешней цепи, в которую включен какой-либо потребитель тока, т. е. при прохождении тока через аккумулятор. При этом показания вольтметра при измерении напряжения всегда будут меньше, чем при замере ЭДС, и эта разность будет тем больше, чем больший ток проходит через аккумулятор. ЭДС и напряжение зависят от ряда факторов. ЭДС изменяется от плотности и температуры электролита. Напряжение в свою очередь зависит от ЭДС, величины разрядного тока (нагрузки) и внутреннего сопротивления аккумулятора.

С увеличением концентрации серной кислоты ЭДС также увеличивается. Отсюда, однако, не следует, что для получения большей ЭДС можно чрезмерно увеличивать плотность электролита. Установлено, что стартерные аккумуляторные батареи достаточно хорошо работают тогда, когда плотность электролита в них составляет 1,27 – 1,29 г/см³. Кроме того, электролит плотностью 1,29 г/см³ имеет самую низкую точку замерзания. При изменении температуры электролита ЭДС аккумулятора также меняется. Так, с изменением температуры электролита от +20°С до –40°С ЭДС аккумулятора снижается с 2,12 до 2,096 в. В значительно большей степени с изменением температуры электролита меняется напряжение, так как оно зависит не только от ЭДС, но и от внутреннего сопротивления аккумулятора, которое с понижением температуры значительно возрастает. Между ЭДС, напряжением, внутренним сопротивлением и величиной разрядного тока существует следующая зависимость $U = E - Ir$, где U – напряжение; E – э. д. с. аккумулятора; I – величина разрядного тока; r – внутреннее сопротивление аккумулятора. Из этой формулы видно, что при постоянном значении ЭДС, измеряемой при разомкнутой цепи, напряжение аккумулятора падает по мере увеличения отдаваемого в процессе разряда тока.

Внутреннее сопротивление. Внутреннее сопротивление аккумулятора сравнительно мало, но в тех случаях, когда аккумуляторная батарея разряжается силой тока большой величины, например, при пуске двигателя стартером, внутреннее сопротивление каждого аккумулятора имеет очень существенное значение. Внутреннее сопротивление складывается из сопротивления электролита, сепараторов и пластин. Главной составляющей является сопротивление

электролита, которое изменяется с изменением температуры и концентрации серной кислоты.

С понижением температуры электролита от $+40^{\circ}\text{C}$ до -18°C удельное сопротивление возрастает в 2,7 раза. Наименьшее значение удельного сопротивления имеет электролит плотностью $1,223 \text{ г/см}^3$ при 15°C (30%-ный раствор H_2SO_4 по весу). Вторым составляющим сопротивлением в аккумуляторе является сопротивление сепараторов. Оно зависит в основном от их пористости. Сепараторы изготавливают из электроизолирующего материала, поры которого заполнены электролитом, что и обуславливает электропроводимость сепаратора. В связи с этим можно было бы предположить, что с изменением температуры сопротивление сепаратора будет изменяться в той же пропорции, что и сопротивление электролита, но это не совсем так. Некоторые виды сепараторов, например, сепараторы из микропористого эбонита (мипора) не чувствительны к изменению температуры. Третьим фактором, входящим в общую сумму внутреннего сопротивления элемента, служит активная масса и решетки положительных и отрицательных пластин. Сопротивление губчатого свинца отрицательной пластины незначительно отличается от сопротивления материала решетки, в то время как сопротивление перекиси свинца положительной пластины существенно превышает сопротивление решетки. В отличие от сопротивления электролита сопротивление решетки уменьшается с понижением температуры. Но ввиду того, что сопротивление электролита во много раз больше сопротивления пластин, то уменьшение их сопротивления с понижением температуры весьма незначительно компенсирует общее снижение сопротивления электролита. На

сопротивление пластин влияет степень заряженности аккумуляторной батареи. В процессе разряда сопротивление пластин возрастает, так как сернокислый свинец, образующийся на положительных и отрицательных пластинах, почти не проводит электрический ток. По сравнению с другими типами аккумуляторов кислотные аккумуляторы имеют сравнительно малое внутреннее сопротивление, что и определяет их широкое применение в качестве стартерных батарей на автомобильном транспорте.

Емкость. Емкостью аккумулятора называется количество электричества, которое может отдать полностью заряженный аккумулятор при заданном режиме разряда, температуре и конечном напряжении. Емкость измеряют в ампер-часах и определяют по формуле $C = I_p t_p$ где C – емкость, А·ч; I_p – сила стабилизированного разрядного тока, А; t_p – время разряда, ч. Величина емкости аккумуляторной батареи в основном определяется следующими факторами: режимом разряда (величиной стабилизированного разрядного тока), концентрацией электролита и температурой. Аккумуляторы при форсированных режимах разряда отдают емкость меньше, чем при разряде более длительными режимами (небольшой величиной тока). Снижение емкости при форсированных режимах разряда происходит по следующим причинам. В процессе разряда превращение активной массы пластин сернокислый свинец происходит не только на поверхности пластин, но и внутри них. Если разряд осуществляют током небольшой силы и медленно, то электролит успевает проникать в глубокие слои активной массы, а вода, образующаяся в результате реакции в порах, успевает смешаться с основной массой электролита. При форсированных режимах разряда концентрация серной

кислоты в электролите внутри пор пластин значительно снижается, свежий электролит не успевает проникнуть вглубь активной массы, реакция идет в основном на поверхности пластин, так как поры заполняются электролитом низкой плотности. При этом в результате значительного увеличения внутреннего сопротивления аккумулятора напряжение на его зажимах резко падает. Однако после того как аккумулятор будет разряжен при форсированном режиме, после небольшого перерыва его снова можно разряжать. Это служит наглядным подтверждением того, что снижение емкости в аккумуляторе при разряде большой величиной силы тока происходит в результате неполного использования активной массы пластин. Кроме величины разрядного тока, на емкость аккумулятора значительно влияет концентрация электролита, которая определяет потенциал пластин, электрическое сопротивление электролита и его вязкость, влияющую в свою очередь на способность проникания электролита в глубокие слои активной массы пластин. В процессе разряда плотность электролита уменьшается и в конце разряда к активной массе пластин поступает недостаточное количество кислоты, в результате чего напряжение аккумулятора падает и дальнейший его разряд становится невозможным. Чем больше разница между концентрациями электролита, находящегося вне пластин, и электролита, находящегося в порах активной массы, тем интенсивнее происходит процесс проникновения кислоты в поры пластин. В этом отношении применение электролита с большей плотностью, казалось бы, должно увеличить емкость. Но в действительности чрезмерно большая плотность не ведет к увеличению емкости, так как увеличение плотности электролита неизбежно приводит к повышению вязкости электролита, в результате

чего процесс проникновения электролита в глубину активной массы пластин ухудшается, и напряжение на зажимах аккумулятора падает. Установлено, что наибольшую емкость имеет аккумуляторная батарея с плотностью электролита 1,27 – 1,29 г/см³. Емкость аккумуляторной батареи зависит также от температуры. С понижением температуры емкость снижается, а с повышением увеличивается. Это объясняется тем, что с понижением температуры увеличивается вязкость электролита, в результате чего он поступает к пластинам в недостаточном количестве. Емкость положительных и отрицательных пластин с изменением температур изменяется не в одинаковой степени. Если при обычной температуре емкость элемента лимитируется положительными пластинами, то при низких температурах – отрицательными, так как при понижении температуры емкость отрицательной пластины уменьшается в значительно большей степени, чем положительной. В последнее время емкость аккумуляторных батарей при низких температурах удалось значительно повысить за счет применения более тонких синтетических сепараторов с высокой пористостью (до 80%) и присадок, так называемых расширителей, к активной массе отрицательных пластин, которые придают ей большую пористость. Помимо режима разряда, концентрации электролита и температуры емкость аккумуляторной батареи зависит от срока ее службы, от срока хранения, в течение которого батарея бездействовала, от наличия вредных примесей и т. д. Емкость новой аккумуляторной батареи, поступающей в эксплуатацию, первое время (в течение гарантийного срока службы) повышается, так как происходит формирование пластин, после чего на протяжении определенного периода остается постоянной и затем начинает постепенно падать.

Потеря емкости аккумуляторной батареей в конце срока службы объясняется уменьшением пористости отрицательных пластин и выпадением активной массы положительных пластин.

Если заряженная батарея продолжительное время бездействовала, то при ее разряде отданная емкость будет значительно меньше. Это объясняется естественным явлением саморазряда при бездействии батареи. Следует также отметить, что в современных автомобилях не отключают аккумулятор от бортсети автомобиля, поскольку необходимо сохранять поправочные коэффициенты ЭСУД и работоспособность некоторых электронных устройств автомобиля. От аккумулятора потребление тока на стоянке в зависимости от автомобиля 30 – 100 мА. Такой ток вместе с саморазрядом при длительной стоянке способен разрядить аккумулятор, что в зимнее время приведет к замерзанию электролита. Следовательно, при длительной стоянке надо или периодически заряжать аккумулятор с помощью зарядного устройства, или хотя бы снять клемму с аккумулятора и периодически контролировать его напряжение или плотность электролита. В случае необходимости аккумулятор надо подзарядить.

На рис.3 приведены характеристики разряда и заряда одной банки свинцового аккумулятора. Напряжение разряда и заряда аккумулятора U_p и U_z отличается от ЭДС на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении r цепи аккумулятора. Это падение напряжения состоит из падения напряжения на его активном внутреннем сопротивлении r_0 и изменения ЭДС за

счет уменьшения при разряде (увеличения при заряде) плотности электролита в порах электродов (ЭДС поляризации $E_{\text{п}}$).

Разрядное напряжение

$$U_{\text{р}} = E - I_{\text{р}}r = E - E_{\text{п}} - I_{\text{р}}r_0$$

где $E_{\text{п}}$ = ЭДС поляризации, В;

$I_{\text{р}}$ – сила разрядного тока;

r – полное внутреннее сопротивление, Ом;

r_0 – активное внутреннее сопротивление, Ом;

Зарядное напряжение

$$U_{\text{з}} = E - I_{\text{з}}r = E - E_{\text{п}} - I_{\text{з}}r_0$$

где $I_{\text{з}}$ – сила зарядного тока;

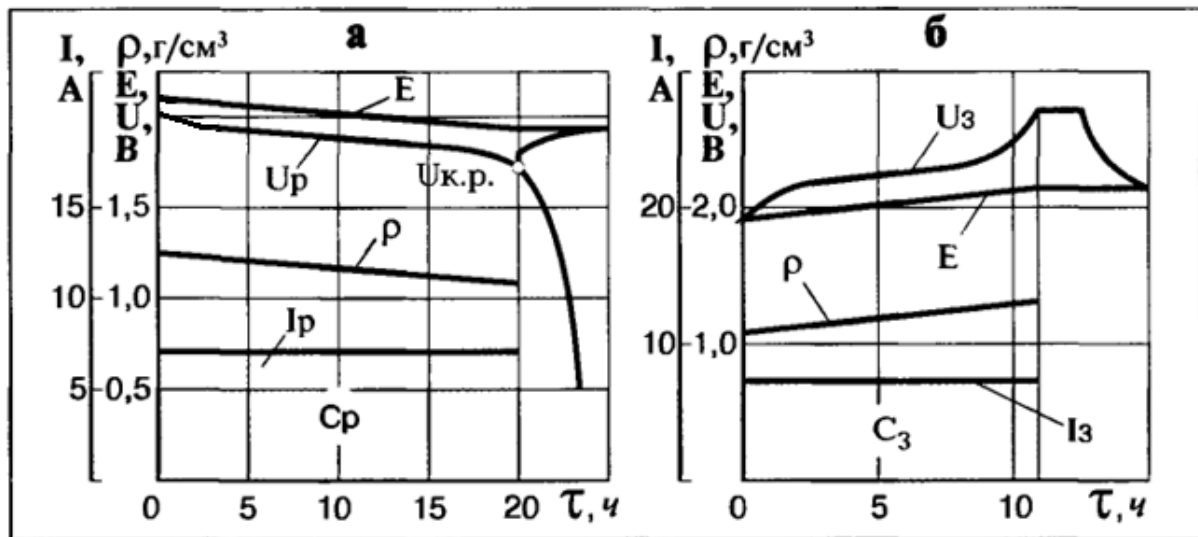


Рис. 3. Характеристики свинцового аккумулятора. *а* – разрядная, *б* - зарядная

Методы зарядки аккумулятора. Принято считать, что аккумулятор на 12В заряжают либо при постоянном зарядном токе, либо при постоянном зарядном напряжении. Первый метод применяют, когда надо максимально быстро зарядить аккумулятор от сети с применением зарядного устройства. Для этого выбирают зарядный ток $0,1C$, где C емкость аккумулятора. Таким током зарядку производят до тех пор, пока электролит не начнет «кипеть», потом уменьшают ток до $0,05C$ и еще 2 часа продолжают зарядку. Этот метод требует наблюдения за аккумулятором и после зарядки, требуется доливать выкипевшую воду. Второй метод зарядки применяется при эксплуатации автомобиля, где генератор при работающем ДВС обеспечивает на аккумуляторе постоянное напряжение $13,5 - 14,4В$. Такой метод зарядки разряженного аккумулятора до его полной зарядки занимает много

времени. Современные зарядные устройства, как правило, имеют комбинированный метод, при котором вначале идет зарядка стабилизированным током $0,1C$ до тех пор, пока напряжение на аккумуляторе не поднимется до 14,4 вольта. С этого момента зарядное устройство переключается в режим стабилизации этого напряжения и зарядный ток начинает уменьшаться по мере дальнейшей зарядки аккумулятора. Когда ток упадет до $0,01C$ зарядка считается оконченной и зарядное устройство отключается.



Рис. 5. Импульсное автоматическое зарядное устройство.

Современные зарядные устройства как правило выполнены на основе высокочастотных импульсных преобразователей, имеют малый вес и габариты, а также высокий КПД.