

1 СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

- ▶ **Функциональные системы автомобиля:**
 - ▶ - источники: генератор, реле-регулятор, выпрямитель, аккумуляторные батареи;
 - ▶ - потребители;
 - ▶ - коммутирующие устройства (выключатели, переключатели).
- ▶ **Потребители:**
 - ▶ - система зажигания;
 - ▶ - система запуска двигателя;

- система предпусковой подготовки двигателя;
- освещение;
- звуковая и световая сигнализация;
- контрольно-измерительные устройства;
- стеклоочистители (на иномарках стеклоочистители на заднем стекле и фарах);
- приборы комфорта;
- приборы управления агрегатами: автоматическое управление КП, управление впрыском топлива, автомат включения переднего ведущего моста (КРАЗ);
- радиоустановки;
- приборы безопасности движения: о превышении скорости, о короткой дистанции;
- приборы диспетчерской связи;
- противоугонные устройства.

Классификация приборов электрооборудования:

1. Приборы, неисправность которых делает невозможным дальнейшую работу двигателя (система зажигания, система впрыска, приборы автоматического управления агрегатами...).

2. Приборы, неисправность которых влияет на безопасность работы автомобиля (освещение, сигнализация, контрольно-измерительные приборы).

3. Приборы, неисправность которых создает дискомфорт и увеличивает утомляемость водителя.

Основной источник питания - *генератор*, который обеспечивает питание при работающем двигателе. Другой источник - *аккумуляторная батарея*, которая обеспечивает работу потребителей при неработающем двигателе, а также при его пуске.

Регулятор поддерживает заданное напряжение в сети при работе генератора, а также совместную работу последнего с аккумуляторной батареей.

При нормальной работе системы должны соблюдаться два условия:

$$1) I_G = I_{б.з.} + I_n \text{ при } U_G > E_{б}; I_G = I_n \text{ при } U_G = E_{б};$$

$$2) I_G + I_{б.р.} = I_n \text{ при } U_G > E_{б}; I_{б.р.} = I_n \text{ при } U_G = 0,$$

где $I_G, I_n, I_{б.р.}, I_{б.з.}$ — силы токов генератора, питания потребителей, батареи при ее разряде и заряде; $U_G, E_{б}$ — соответственно напряжение генератора и ЭДС аккумуляторной батареи.

Первое условие определяет режим питания потребителей и зарядку батареи при работающем генераторе, второе условие — при неработающем генераторе.

Аккумуляторные батареи

- ▶ Аккумуляторная батарея на автомобиле служит для питания электрическим током стартера при пуске двигателя, а также для всех других приборов электрооборудования, когда генератор не работает или не может еще отдавать энергию в цепь (например, при работе двигателя в режиме холостого хода).
- ▶ Если мощность, потребляемая включенными потребителями, превышает мощность, развиваемую генератором, аккумуляторная батарея, разряжаясь, обеспечивает питание потребителей одновременно с работающим генератором.
- ▶ **Назначение и работа кислотно-свинцовых аккумуляторов.** Условия пуска двигателя определяют тип и конструкцию аккумуляторных батарей. Режим пуска наиболее тяжелый. Автомобильные аккумуляторные батареи называют стартерными.

Требования, предъявляемые к стартерным батареям:

- максимальное рабочее напряжение (12 или 24 В);
- минимальное внутреннее сопротивление, т.е. они должны давать большой ток;
- малое изменение напряжения в процессе разряда;
- максимальное количество энергии, снимаемое с единицы массы (удельная масса);
- большая ёмкость;
- быстрое восстановление емкости в процессе заряда;
- большая механическая прочность, надежность, долговечность и простота обслуживания, малая стоимость;
- малые габариты и вес.

Состав кислотного-свинцового

аккумулятора:

- два электрода, погруженных в 28...40%-й раствор серной кислоты.

Отрицательный электрод выполнен из губчатого свинца (Pb),

а положительный — из диоксида свинца (PbO₂).

При разряде АКБ:

- расходуется серная кислота и образуется вода,

на обоих электродах — сульфат свинца.

Основные показатели аккумуляторных батарей

- *Электродвижущая сила (ЭДС)* - алгебраическая разность электродных потенциалов и измеряется как напряжение разомкнутой цепи аккумулятора.

$$E_{\sigma} = nE,$$

где n — число последовательно соединенных аккумуляторов;

E — ЭДС аккумулятора.

$$E_{\sigma} = 0,84 + \rho_{25}, \quad \text{где}$$

ρ_{25} — плотность электролита, измеренная денсиметром при 25°C .

- *Напряжение* - отличается от его ЭДС на величину падения напряжения во внутренней цепи аккумулятора.

$$U = E - IR,$$

где I — ток разрядки; R — внутреннее сопротивление батареи.

Внутреннее сопротивление R аккумулятора - противодействует прохождению через него зарядного и разрядного токов:

$$R = R_o + R_n,$$

где R_o — омическое сопротивление электролита, электродов и других токопроводящих элементов, R_n — сопротивление поляризации.

Омическое сопротивление заряженного аккумулятора составляет тысячные доли Ома:

- растет по мере разряда, так как меняется состав активной массы, уменьшается плотность электролита.
- с уменьшением температуры электролита увеличивается.

Сопротивление поляризации обусловлено изменением плотности электролита у поверхности пластин и в их порах. При разряде плотность уменьшается, вследствие чего ЭДС снижается на величину, называемую ЭДС поляризации/ При заряде плотность растет, вызывая увеличение ЭДС поляризации. Это падение или рост ЭДС условно выражают через сопротивление поляризации:

$$E_n = IR_n.$$

- *Разрядная емкость* C_p - количество электричества, которое аккумулятор может отдать в сеть при полном разряде от начального напряжения U_0 до конечного U_k за время t .

$$C_p = Q_p = \int I_p(t) dt$$

ЭДС батареи зависит от:

- активности электролита (плотности) –
увеличивается плотность электролита,
увеличивается и ЭДС.

ЭДС не зависит от:

- размера электродов;
- числа электродов;
- температуры.

**Разряд АКБ - сопротивление растёт -
уменьшается плотность электролита.**

**С уменьшением температуры сопротивление
растёт.**

Основные неисправности АБ:

- механические повреждения;
- повышенный саморазряд (более 1% от номинальной ёмкости в сутки);
- сульфатация – перекристаллизация сульфата свинца из мелкокристаллического строения в крупные кристаллы с потерей растворимости.

Характеристики аккумуляторной батареи:

Разрядная характеристика - зависимость изменения плотности электролита, ЭДС и напряжения аккумулятора при постоянной силе разрядного тока.

Зарядная характеристика - зависимость изменения плотности электролита, ЭДС и напряжения при постоянной силе зарядного тока.

Ток заряда обычно равен 0,1 его номинальной емкости.

Саморазряд - не более 10 % за 14 суток при температуре 20° С, у «необслуживаемых» — 10 % за 90 суток.

Проверка состояния батареи

Полная проверка состояния батареи включает в себя:

- проверку уровня электролита в аккумуляторах;
- измерение плотности электролита в аккумуляторах;
- измерение электродвижущей силы батареи;
- измерение напряжения батареи.

Соотношение между степенью заряженности батарей и плотностью электролита

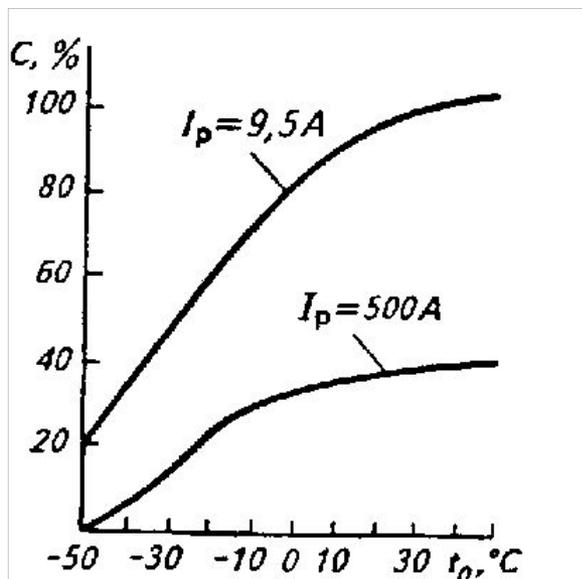
Степень заряженности аккумуляторной батареи, %	Плотность электролита, г/см ³ , для климата	
	холодного	умеренного
100	1,29...1,31	1,23...1,27
75	1,25...1,27	1,19...1,23
50	1,21...1,23	1,15...1,19

Напряжение аккумулятора, В	1,7...1,8	1,6...1,7	1,5...1,6	1,4...1,5
Степень заряженности, %	100	75	50	25

Плотность электролита батареи при различной степени заряженности

Климатические зоны и районы	Средняя месячная температура воздуха в январе, °С	Время года	Плотность электролита, приведенная к 25°С, г/см ³ при состоянии батареи				
			полностью заряжена	разряжена на 25%	разряжена на 50%	разряжена на 75%	полностью разряжена

Холодная, с климатическими районами							
очень холодный	От -50 до -30	Зима, лето	1,30	1,26	1,22	1,18	1,14
холодный	От -30 до -15	Круглый год	1,28	1,24	1,20	1,16	1,12
Умеренная	От -15 до -4	То же	1,26	1,22	1,18	1,14	1,10
Теплая влажная	От 4 до 6	»	1,22	1,18	1,14	1,10	1,06
Жаркая	От 15 до 4	»	1,24	1,20	1,16	1,12	1,08



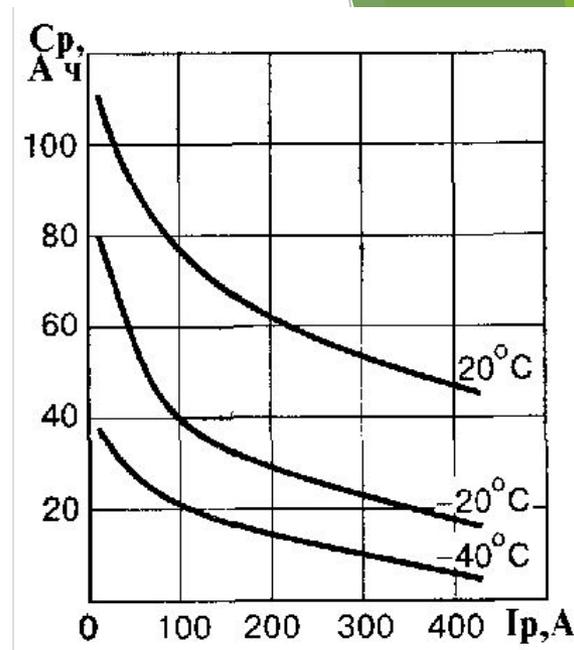
Зависимость емкости аккумуляторной батареи от температуры

Разрядная емкость:

$$C_p = \int_0^{t_p} I_p dt$$

Зарядная емкость:

$$C_3 = \int_0^{t_3} I_3 dt$$



Зависимость емкости батареи от силы разрядного тока и от температуры

Энергия, отдаваемая аккумулятором в течение некоторого времени разряда:

$$W_p = \int_0^{t_p} U_p I_p dt$$

или при $I_p = const$:

$$W_p = U_{p,CP} I_p t_p.$$

Энергия заряда батареи:

$$W_3 = \int_0^{t_3} U_3 I_3 dt$$

или при $I_3 = const$:

$$W_3 = U_{3,CP} I_3 t_3,$$

где
$$U_{3,CP} = \frac{1}{t_3} \int_0^{t_3} U_3 dt$$

Коэффициенты отдачи по емкости и энергии:

$$\eta_C = \frac{C_p}{C_3}, \quad \eta_W = \frac{W_p}{W_3}.$$

Удельная материалоемкость при 20-часовом режиме разряда:

$$q_{20} = \frac{m_a 10^3}{C_{20} U_H},$$

где q_{20} - удельная материалоемкость при 20-часовом режиме разряда, кг/(кВт·ч);

m_a - масса свинца и активных материалов по конструкторской документации, кг;

C_{20} - номинальная емкость, А·ч;

U_H - номинальное напряжение, В.

Удельная материалоемкость в стартерном режиме разряда при отрицательной температуре:

$$q_C = \frac{60 m_a}{I_p t_p 0,95 U_{30}},$$

где q_C - удельная материалоемкость в стартерном режиме, кг/(кВт·ч);

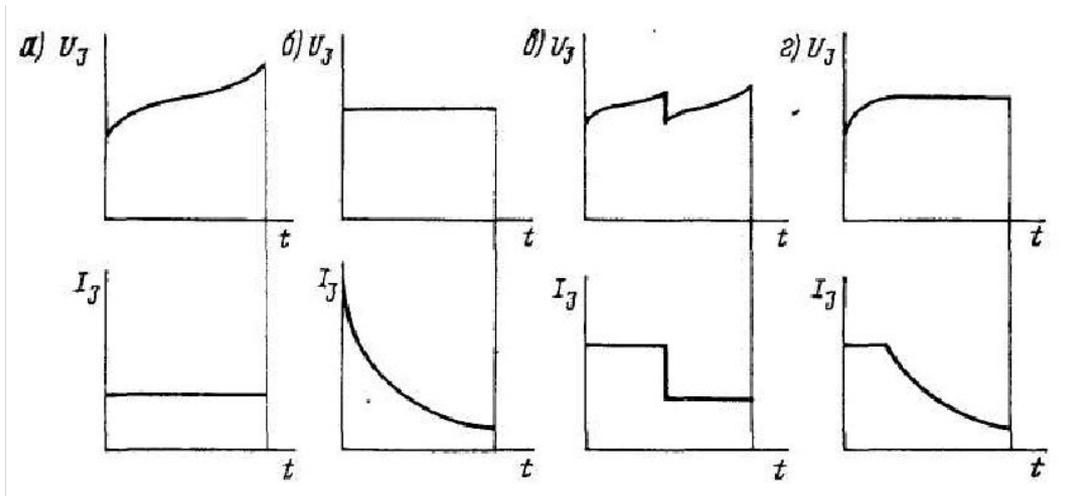
I_p - сила тока разряда, А;

t_p - продолжительность разряда, мин;

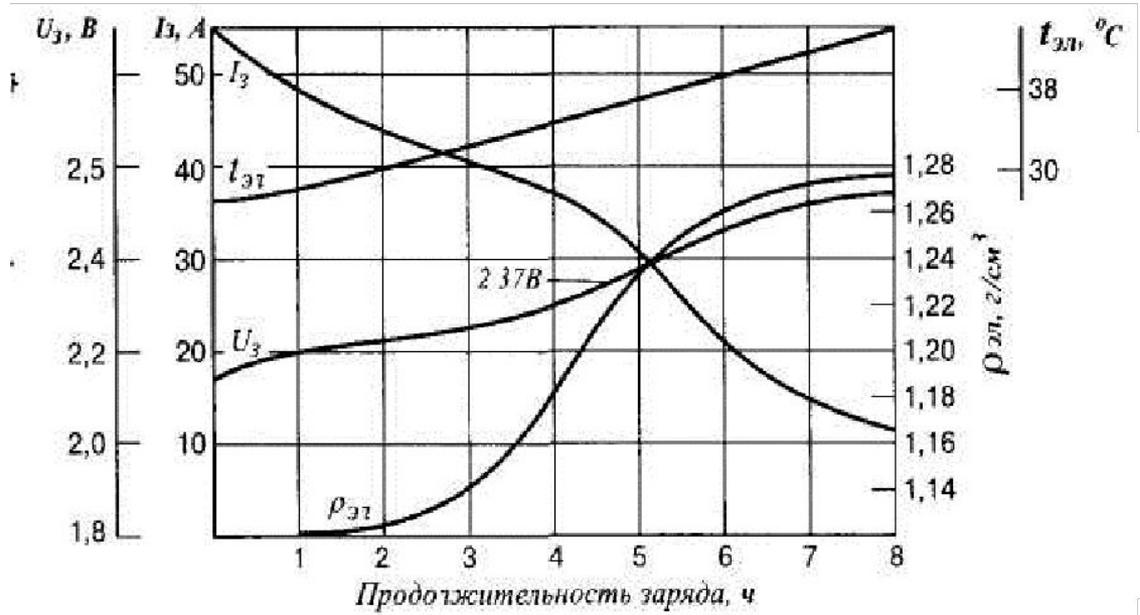
U_{30} - напряжение на 30 с стартерного режима разряда, В;

0,95 – коэффициент среднего напряжения стартерного режима разряда.

Методы заряда аккумуляторных батарей



Различные способы заряда аккумуляторных батарей



1. Заряд при постоянном токе

- ▶ Основные способы регулирования силы тока заряда:
- ▶ - включение в цепь заряда последовательно с аккумуляторными батареями реостата;
- ▶ - применение регуляторов тока,
- ▶ - изменение напряжения источника тока ручным или автоматическим регулирующим устройством в соответствии с показаниями амперметра.
- ▶ Преимущества способа:
- ▶ обеспечивает полный заряд АБ:
- ▶ Недостатки:
- ▶ при малом токе время заряда велико;
- ▶ при большом токе к концу заряда ухудшается заряжаемость и наблюдается значительное повышение температуры электролита, что снижает срок службы аккумуляторных батарей.

Оптимальная величина тока заряда:

$0,1 C_{20} \text{ А.}$

Общее число последовательно включенных аккумуляторов:

$$n = U_3 / 2,7,$$

где U_3 — напряжение на зажимах зарядного устройства.

2. Заряд при постоянном напряжении

- ▶ АКБ соединяются параллельно.
- ▶ Зарядный ток для полностью разряженных батарей: $(1 \dots 1,5) C_{20}$.
- ▶ Средняя величина тока: $0,1 C_{20}$ А.
- ▶ Зарядное напряжение на каждый аккумулятор: 2,4-2,5 В.
- ▶ Преимущества:
- ▶ позволяет заряжать АБ разной ёмкости и степени разряженности;
- ▶ Недостатки этого метода:
- ▶ перегрев аккумулятора из-за большого начального тока. перегрузка зарядного устройства по току вначале заряда; нельзя заряжать новые и сульфатированные АБ.

3. Комбинированный заряд:

- ▶ заряд ступенчатым током (ступенчатый заряд);
- ▶ уравнительный заряд.

4. Форсированный заряд:

При токе $0,7 C_{20}$ А продолжительность заряда – 30 мин,

При токе $0,5 C_{20}$ А — 45 мин,

При токе $0,3C_{20}$ А — 90 мин.

«Необслуживаемые» или «малообслуживаемые»
батареи:

- решетки положительных пластин изготовлены из свинца с содержанием
- 1,5 % сурьмы и 1,5 % кадмия,
- решетки отрицательных пластин изготовлены из свинцово-кальциевого сплава, удельное сопротивление которых меньше,
- положительные электроды помещены в сепаратор-конверт,
- блок электродов опирается на дно моноблока, что позволило увеличить площадь пластин и объем электролита,
- уменьшена толщина электродов, благодаря чему увеличено их число.

«Необслуживаемые» АКБ имеют:

- лучшие пусковые качества,
- увеличенный срок службы,
- лучшие зарядные характеристики,
- меньший саморазряд,
- в них не надо доливать воду во время эксплуатации,
- они не имеют заливных горловин,
- снабжены индикатором заряженности, цвет которого изменяется при разряде ниже заданного уровня.

ТО АКБ:

- через 2500 км пробега, иначе возникают ускоренная коррозия решетки положительного электрода, снижение уровня электролита, само разряд и др.

Это вызвано повышенным электролизом воды, чему способствует введение в материал решеток 4,5...6 % сурьмы.

Сроки службы батарей

- ▶ Срок службы батарей зависит от:
- ▶ интенсивности эксплуатации автомобиля,
- ▶ уровня регулируемого напряжения генераторной установки,
- ▶ силы разрядного тока,
- ▶ относительной продолжительности разряда,
- ▶ температуры окружающей среды и электролита,
- ▶ уровней вибрации и тряски;
- ▶ естественного изнашивания и деформации электродов,
- ▶ коррозии решеток;
- ▶ оплывания активной массы положительных электродов,
- ▶ уплотнения активной массы отрицательных электродов,
- ▶ «прорастанания» сепараторов и короткого замыкания между электродами;
- ▶ необратимой сульфатации электродов;
- ▶ саморазряда аккумуляторов.

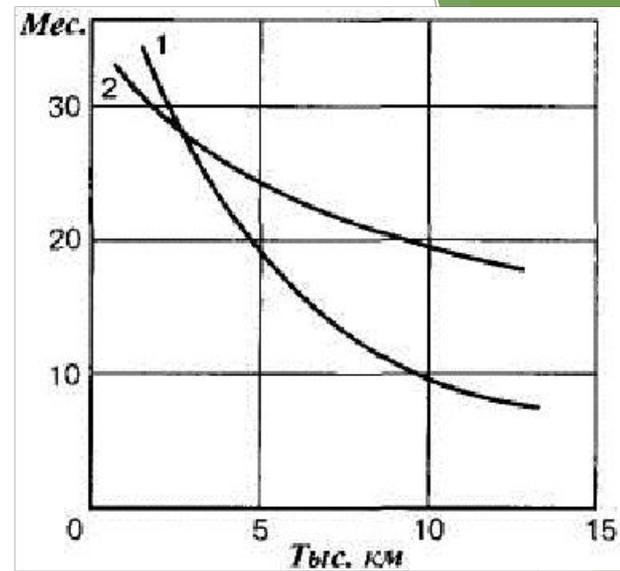
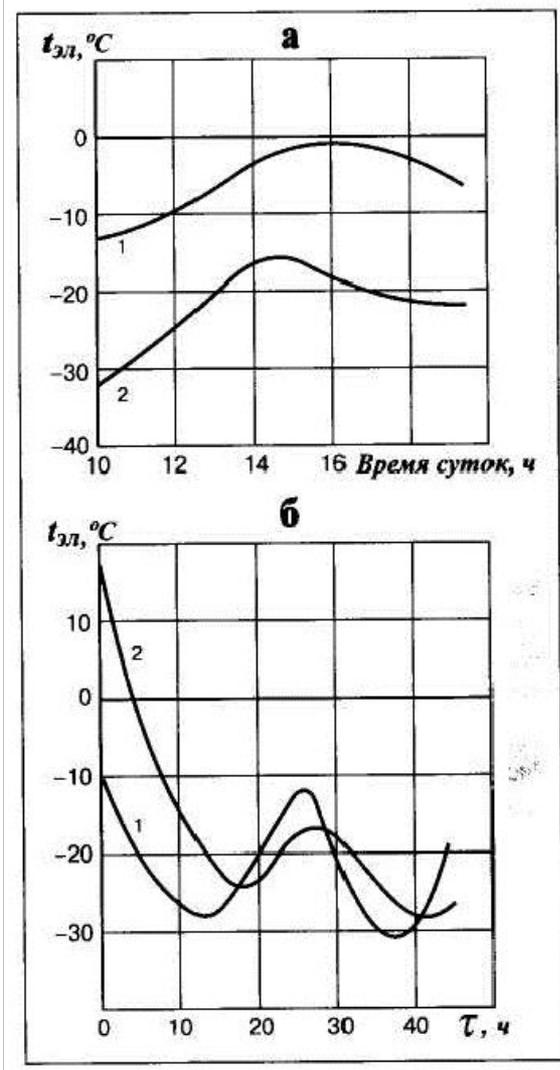
Минимальный срок службы батарей обычной конструкции:

- 1 год при наработке транспортного средства в пределах этого срока не более 150 тыс. км пробега;
- 2 года при наработке транспортного средства в пределах этого срока не более 90 тыс. км пробега.

Минимальный срок службы «необслуживаемых» батарей:

- 3 года при наработке транспортного средства в пределах этого срока службы не более 100 тыс. км пробега.

Гарантийный срок эксплуатации - 18 месяцев со дня ввода батарей в эксплуатацию.



Изменение срока службы аккумуляторных батарей в зависимости от интенсивности эксплуатации

Изменение температуры электролита (неутепленной аккумуляторной батареи):

а - при движении автомобиля; б - при стоянке автомобиля;

1 - температура окружающего воздуха;

2 - температура электролита

Неисправности аккумуляторных батарей, причины их возникновения и способы устранения

Причины неисправности	Признаки неисправности	Способ устранения
1. Аккумуляторная батарея быстро разряжается и не обеспечивает достаточной частоты вращения коленчатого вала двигателя стартером при пуске		
<p>1.1. Длительное включение питания на стоянках при неработающем двигателе или малой частоте вращения коленчатого вала. Продолжительное включение фар, головного освещения, отопителя, обогревателей и других потребителей большой мощности.</p> <p>1.2. Ускоренный саморазряд вследствие утечки тока при замыкании выводов батареи грязью или электролитом по поверхности крышек.</p> <p>1.3. Ускоренный саморазряд вследствие утечки тока при коротком замыкании между разнополярными электродами (разрушение или «прорастание» сепараторов, образование токоведущих мостиков по кромкам электродов и сепараторов, замыкание электродов шламом образующимся между опорными призмами моноблоков при выпадении активной массы).</p> <p>1.4. Ускоренный саморазряд батареи вследствие заполнения аккумуляторов недистиллированной водой или электролитом разной плотности, а также попадания в электролит посторонних примесей.</p> <p>1.5. Короткие замыкания в цепях первичной обмотки катушки зажигания стартера приборов освещения сигнализации, контроля и т.д.</p> <p>1.6. Сульфатация электродов вследствие длительного хранения батареи, эксплуатация батареи при низкой степени заряженности и с пониженным уровнем электролита.</p>	<p>По возможности ограничить количество включенных потребителей, время включения потребителей электроэнергии, если их суммарная мощность превышает мощность генераторной установки на данном режиме работы двигателя.</p> <p>Очистить поверхность батареи 10%-ным раствором нашатырного спирта или кальцинированной соды.</p> <p><u>Признаки короткого замыкания:</u> малая ЭДС аккумуляторов при нормальной плотности электролита, незначительное повышение плотности электролита и напряжения на выводах батареи в процессе заряда, отсутствие или слабое газовыделение («кипение» электролита) в конце заряда.</p> <p><u>Способы устранения:</u> заменить разрушенные сепараторы, удалить шлам со дна бака.</p> <p>Разрядить батарею током десятичасового режима до напряжения 1,1 -1,2 В на аккумулятор. Электролит вылить, батарею промыть, залить в нее свежий электролит и зарядить.</p> <p>Выключить все потребители и проводом от массы коснуться отрицательного вывода батареи. Наличие искры свидетельствует о коротком замыкании в одной из цепей.</p> <p><u>Признаки сульфатации:</u> высокое напряжение в начале заряда, преждевременное обильное газовыделение при незначительном увеличении плотности электролита в процессе заряда, повышенная</p>	

Классификация аккумуляторных батарей

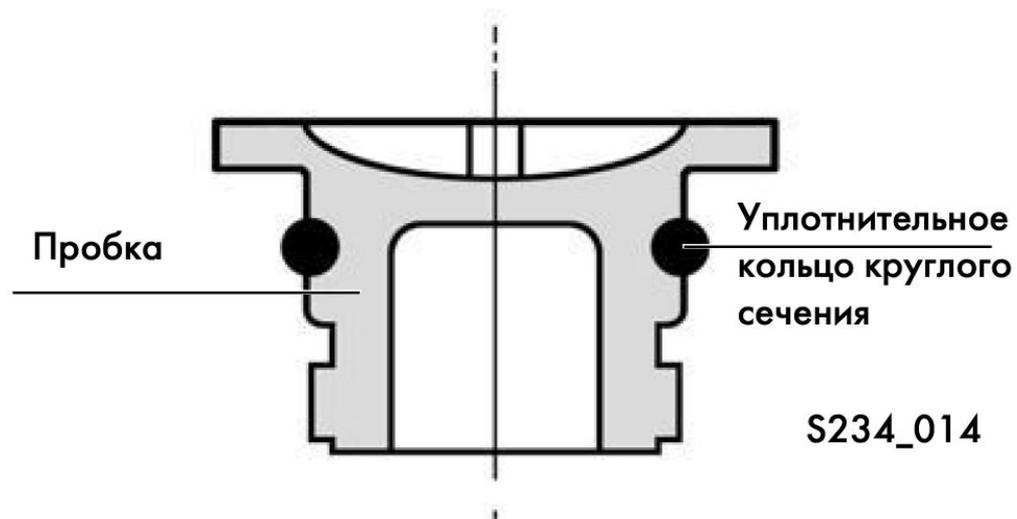
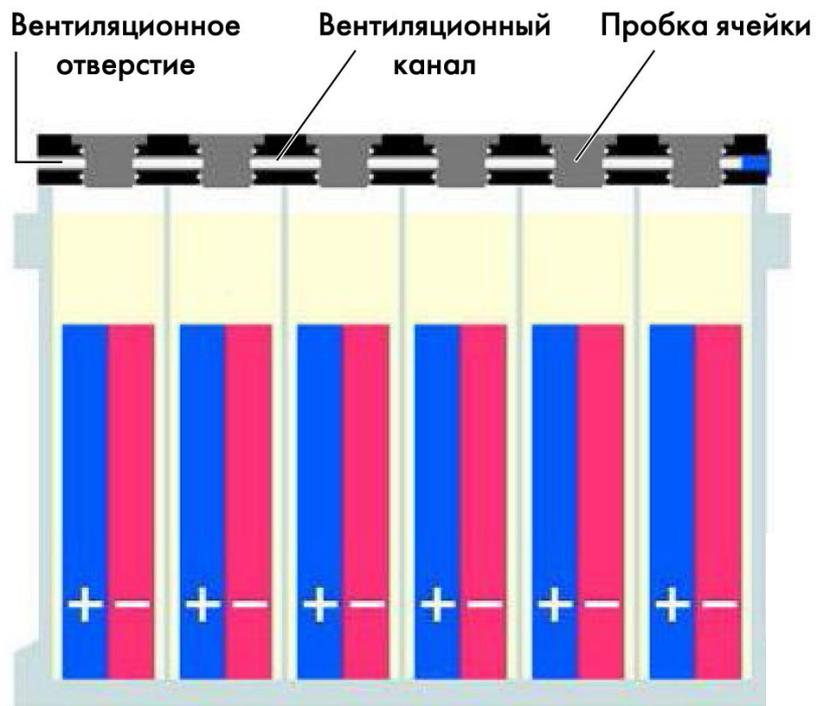
1. Батареи с жидким электролитом

- ▶ Электролит в этих батареях находится в жидком состоянии, поэтому их иногда называют "мокрыми".
- ▶ Выпускаются как в обслуживаемом, так и в необслуживаемом вариантах. В первом варианте их ячейки оснащаются пробками, а во втором варианте такие пробки отсутствуют.
- ▶ Преимущества:
 - ▶ - благоприятное соотношение цены и качества,
 - ▶ - большое число моделей на рынке (большое разнообразие конструкций),

Недостатки:

- необходимость установки специального индикатора для проверки уровня электролита при обслуживании,
- возможность выливания электролита.

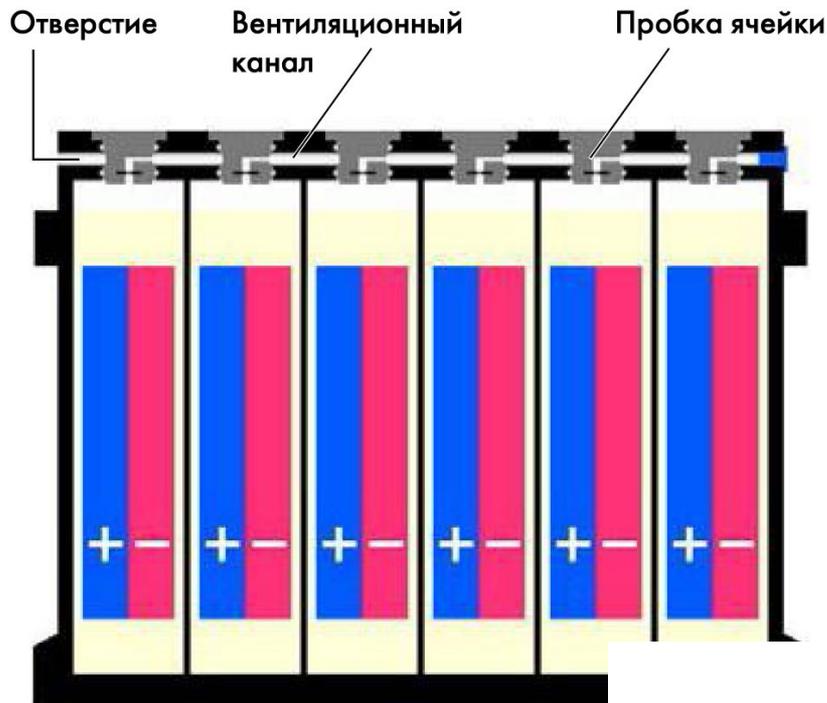
Отвод газов из ячеек осуществляется через канал центральной вентиляции. Этот канал сообщается с атмосферой через одно или два отверстия, расположенные на боковых торцах крышки батареи. Если предусмотрены два отверстия, одно из них обязательно закрывается.



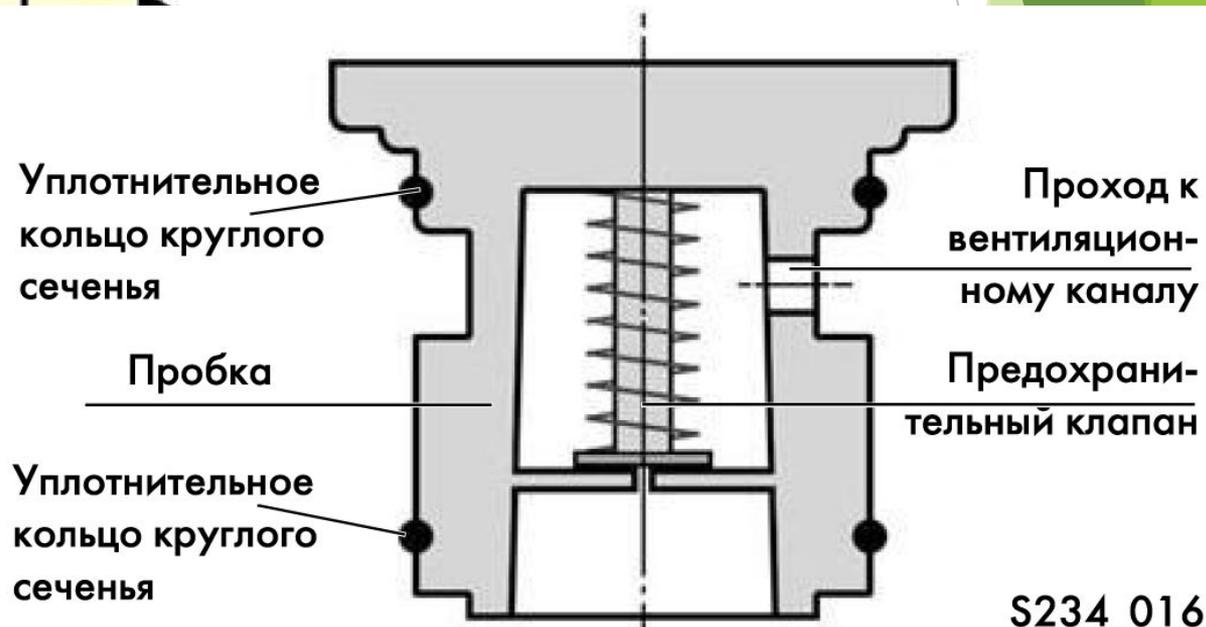
Пробка ячейки "мокрой" батареи

2. Свинцовые батареи с предохранительными клапанами

- ▶ Подвижность электролита ограничена. Пробки их ячеек не выворачиваются. Образующиеся при перезаряде водород и кислород обычно ячейки батареи не покидают и реагируют между собой с образованием воды.
- ▶ Преимущества:
- ▶ - возможность эксплуатации при полном отсутствии ухода.
- ▶ Недостатки обусловлены тем, что перезаряд под слишком высоким напряжением сопровождается выходом газов через предохранительные клапаны.
- ▶ Так как соответствующее потере газов пополнение ячеек водой невозможно, перезаряд батареи может привести к ее неисправности. Поэтому заряд таких батарей допускается только от источников электроэнергии, напряжение которых не превышает 14,4 В.



В пробки ячеек встроены предохранительные клапаны, которые пропускают газы в систему центральной вентиляции только при определенном избыточном давлении.



S234_016

3. Батареи с гелеобразным электролитом

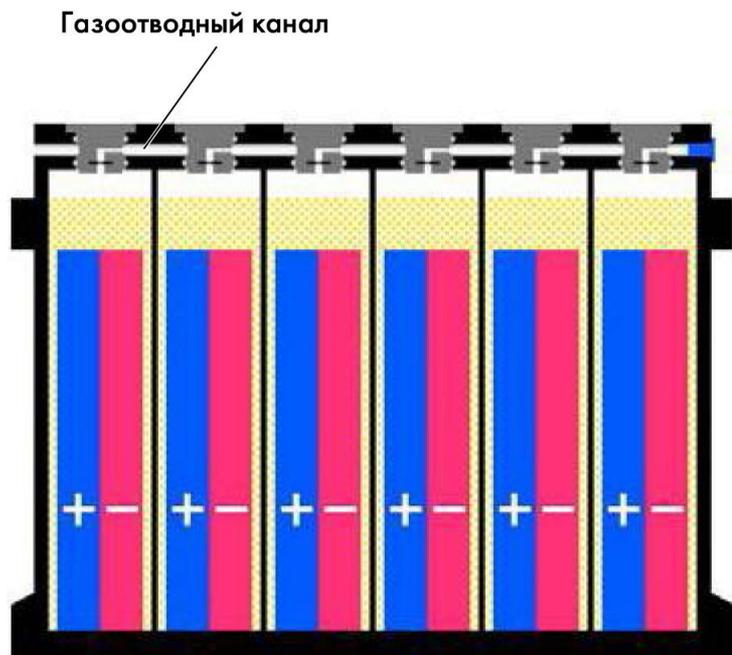
- ▶ В электролит этих батарей добавлена кремниевая кислота, превращающая его в гель.
- ▶ По способу отвода газов эти батареи относятся к предыдущему типу.
- ▶ В электролит этих батарей добавляется еще фосфорная кислота, которая существенно повышает их циклическую стойкость (количество возможных циклов разряда и заряда) и способность к восстановлению после глубокого разряда.
- ▶ Эти батареи оснащаются общей крышкой, в которую встроены несъемные пробки ячеек и предусмотрен канал центральной вентиляции. Индикатор у них отсутствует.

Преимущества:

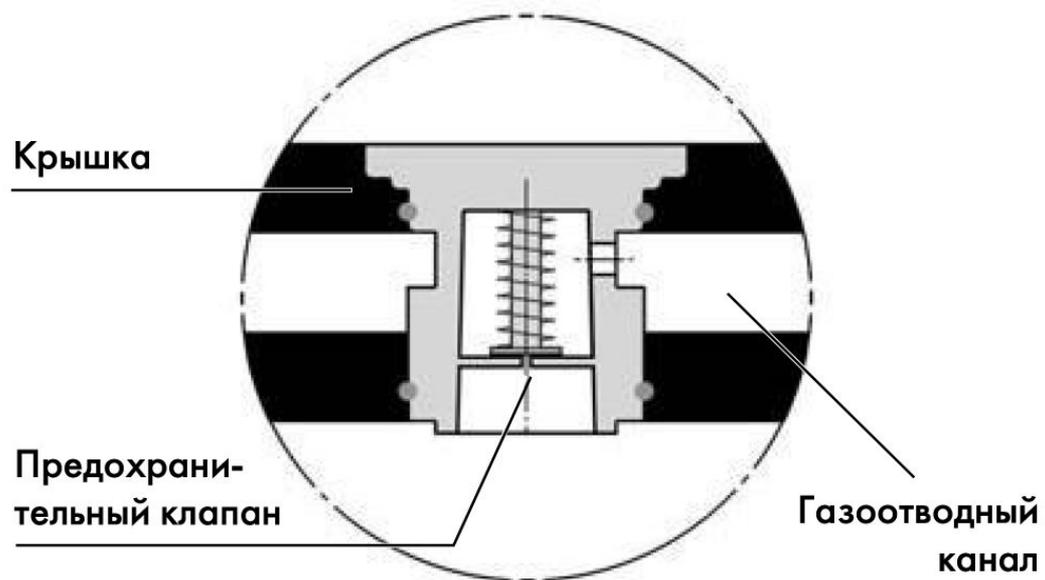
- небольшая вероятность потери электролита,
- высокая циклическая стойкость,
- не нужен уход за батареей;
- сниженное газообразование.

Недостатки:

- ухудшенные пусковые свойства при низких температурах,
- высокая стоимость,
- ограниченный выбор на рынке,
- непереносимость повышенных температур.



Пробки ячеек встроены в крышку, в которой предусмотрен также газоотводный канал.



4. Батареи типа AGM (Absorbent-Glass-Mat-Battery)

- ▶ Электролит впитывается и удерживается стекломатами. Стекломаты представляют собой микропористый нетканый материал из переплетающихся между собой ультратонких стекловолокон. Стекломаты очень хорошо впитывают и удерживают электролит. Одновременно они выполняют функции сепараторов. В батарею заливается только то количество электролита, которое могут впитать стекломаты.

▶ Батареи относятся к непроливаемому типу. При повреждении моноблока такой батареи возможна потеря незначительных количеств электролита, измеряемых несколькими миллилитрами.

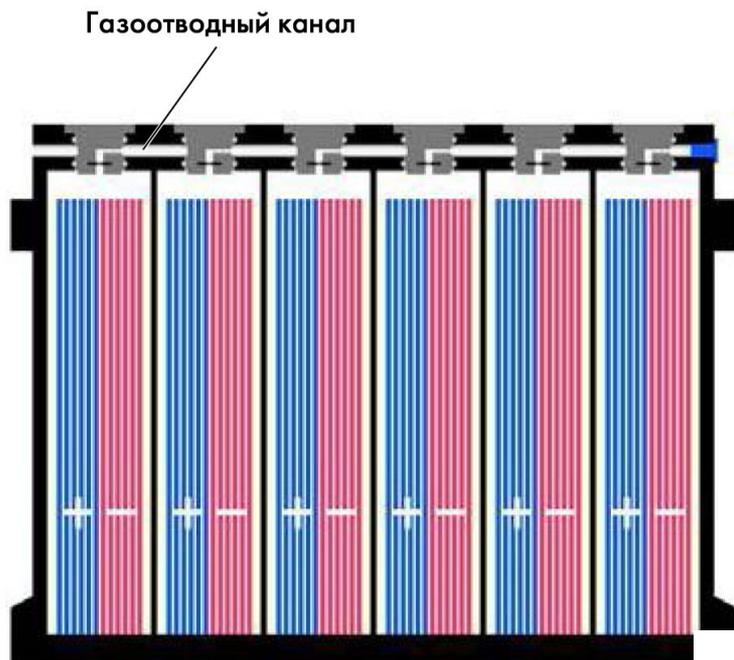
Эти батареи оснащаются общими крышками, в которые встроены пробки ячеек и предусмотрен газоотводный канал. Установка индикатора на них не предусмотрена.

Преимущества:

- высокая циклическая стойкость (большое число циклов заряда-разряда),
- безопасность при повреждении моноблока или опрокидывании батареи,
- не требуется уход,
- незначительное газовыделение,
- хорошие пусковые качества.

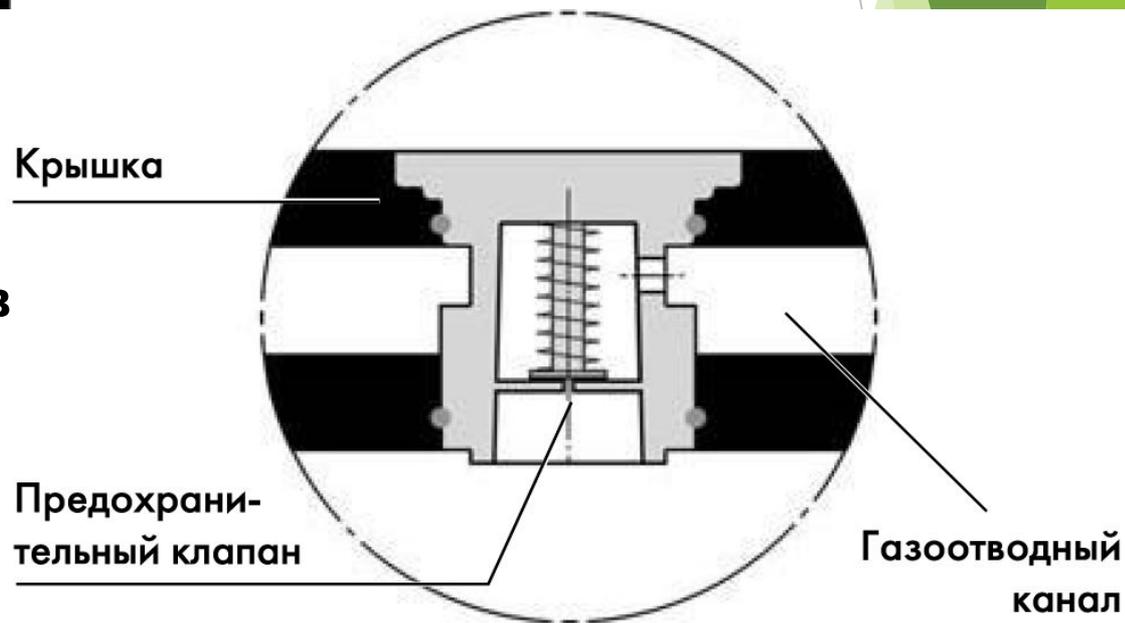
Недостатки:

- высокая стоимость,
- небольшой выбор моделей на рынке,
- непереносимость высоких температур.



Батарея AGM с полностью закрытым корпусом. Электролит удерживается нетканым материалом сепараторов

**Разрез крышки батареи
Пробки ячеек встроены в крышку, в которой предусмотрен также газоотводный канал.**

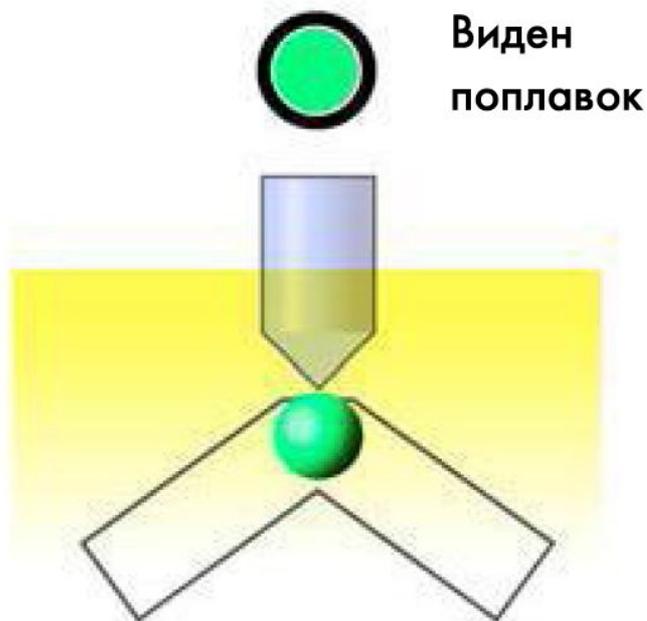


Батареи могут быть оснащены **индикатором**, по цвету которого можно судить о степени заряженности батареи и об уровне электролита в ней.

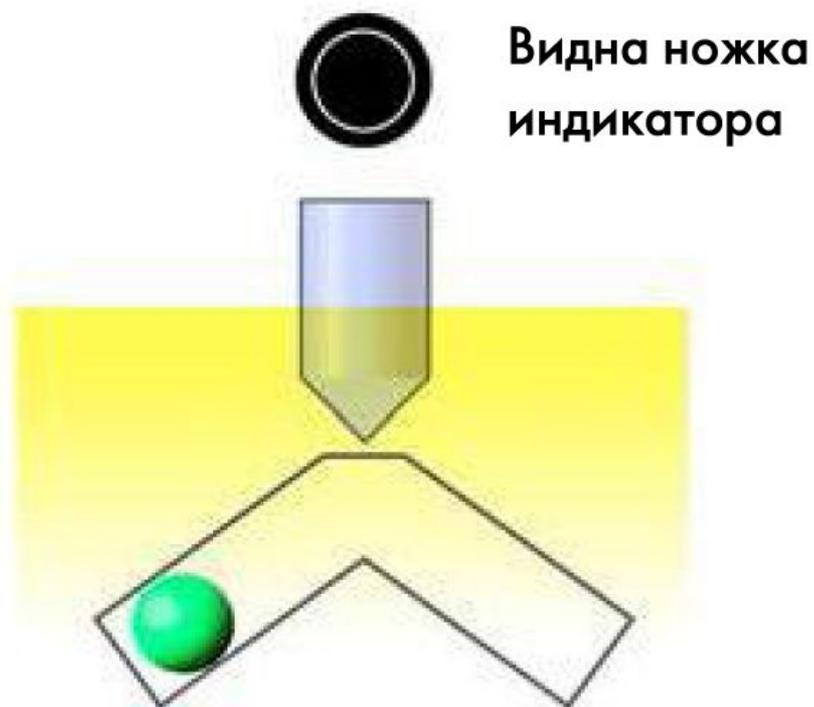
Для предварительной оценки состояния батареи вполне достаточна индикация в одной ячейке.

Глазок индикатора может окрашиваться в следующие три цвета:

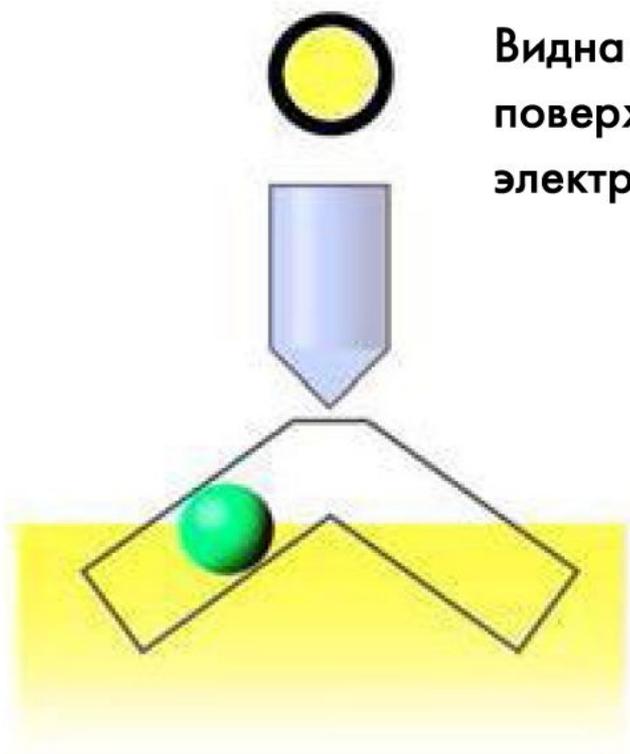
Зеленый цвет индикатора свидетельствует о достаточной степени заряженности батареи (> 65 %) и ее исправности.



Черный цвет индикатора свидетельствует о недостаточной степени заряженности батареи (< 65 %) и необходимости ее подзаряда.



Желтый или бесцветный глазок индикатора свидетельствуют о слишком низком уровне электролита и необходимости замены батареи.



Видна
поверхность
электролита

Энергетический баланс

- ▶ **Действие высоких температур.**
- ▶ 1. При повышении температуры АКБ ускоряются протекающие в ней химические процессы.
- ▶ 2. Отдаваемая батареей мощность повышается благодаря снижению вязкости электролита.
- ▶ 3. Емкость батареи несколько возрастает.
- ▶ 4. Электроды подвергаются усиленному воздействию кислоты, которая вызывает повышенную коррозию их решеток.
- ▶ 5. При повышении температуры усиливается процесс химического саморазряда батареи.

Действие низких температур.

- 1. При понижении температуры разрядная емкость батареи уменьшается.
- 2. Повышенная вязкость электролита приводит к замедлению химических процессов.
- 3. Чем больше разряжена батарея, тем меньше плотность ее электролита. При этом повышается температура его замерзания.
- 4. У глубоко разряженной батареи электролит может замерзнуть уже при 0°C .

Напряжение, В	Степень заряженности, %	Плотность электролита, г/см³	Температура замерзания, °С
12,7	100	1,28	< -50
12,5	80	1,24	-40
12,3	60	1,21	-30
12,1	40	1,18	-20
11,9	20	1,14	-14
11,7	0	1,10	-5

Замерзшую батарею:

1. Не следует пытаться зарядить, так как электролит при этом склонен к разбуханию.
2. Замерзшие батареи подлежат обязательной замене.
3. При замерзании электролита увеличивается его объем, в результате чего в моноблоке могут образоваться микротрещины. Выступающий через них электролит может нанести существенный вред кузову.

Обслуживание АКБ

- ▶ **1. Визуальный контроль.**
- ▶ **2. Проверка состояния моноблока.** Повреждения моноблока могут быть причиной вытекания электролита, который может вызвать серьезные повреждения деталей автомобиля. Залитые электролитом поверхности промыть с мылом, а сильно поврежденные детали нужно заменить.
- ▶ **3. Состояние полюсных выводов и клемм.** Повреждения полюсных выводов или клемм могут быть причиной ухудшенного контакта между ними.
▶ Плохая посадка клемм или недостаточная затяжка их на полюсных выводах может быть причиной возгорания соединительных кабелей.

4. Проверка крепления батареи. Срок службы батареи может быть существенно сокращен из-за вибраций, создаваемых при недостаточном ее креплении.

Возникают повреждения решеток электродов, которые могут привести даже к взрыву батареи. При плохом креплении батареи не обеспечивается безопасность при аварии автомобиля.

Прижимная планка должна плотно прилегать к крепежному выступу моноблока и заходить в фиксирующие выемки на нем.

При необходимости между ней и выступом следует установить переходную планку. Крепежные болты следует затягивать моментом предписанной величины.



Генераторы
переменного
тока.

Регуляторы
напряжения

Генератор - основной источник электроэнергии на автомобиле, обеспечивающий питание потребителей и заряд АБ при работе двигателя.

- ▶ Долгое время применялся генератор постоянного тока.
- ▶ В таком генераторе напряжение снимается с вращающегося якоря, а выпрямление осуществляется коллектором, что связано с искрением и износом коллектора и щеток.
- ▶ С увеличением мощности и количества потребителей электрической энергии на автомобиле размеры и масса генераторов постоянного тока настолько возросли, что размещать их на двигателях стало трудно, а повышение частоты вращения якоря двигателя приводит к быстрому износу коллектора и повреждению обмотки якоря

- ▶ Начало отдачи энергии у генераторов постоянного тока происходит при частоте вращения 1000...1400 об/мин, а полная отдача - при 1800... 2500 об/мин. Увеличение количества и мощности потребителей электроэнергии на автомобиле при одновременном увеличении времени работы двигателя на оборотах холостого хода способствует усилению разрядного режима аккумуляторной батареи.
- ▶ Для компенсации разрядного режима аккумуляторной батареи необходимо усилить интенсивность и продлить время ее подзаряда.
- ▶ Сделать это можно за счет увеличения мощности генератора. Повысить удельную мощность генератора постоянного тока очень трудно (удельная мощность генератора постоянного тока 40...50 Вт/кг, генератора переменного тока -150...160 Вт/кг). Отсутствие коллектора и связанного с ним явления коммутации позволяет довести максимальную частоту вращения вала генератора переменного тока до 10000-12000 об/мин, что дает возможность обеспечить отдачу 25-50% мощности генератора при работе двигателя на оборотах холостого хода.

Основными технико-экономическими преимуществами генераторов переменного тока перед генераторами постоянного тока являются:

- ▶ уменьшение в 1,8 . . 2,5 раза массы генератора при той же мощности;
- ▶ уменьшение в 3 раза расхода меди,
- ▶ большая максимальная мощность при равных габаритах,
- ▶ меньшее значение начальных частот вращения и обеспечение более высокой степени заряженности аккумуляторных батарей;
- ▶ значительное упрощение схемы и конструкции регулирующего устройства: генераторная установка переменного тока комплектуется с выпрямителем, поэтому не нуждается в реле обратного тока; она обладает способностью самоограничения, поэтому не нуждается в реле ограничения тока;
- ▶ уменьшение стоимости эксплуатационных трат в связи с большей надежностью работы и повышенным сроком службы. Ресурсы генератора переменного тока в 2-3 раза выше, чем у генератора постоянного тока.

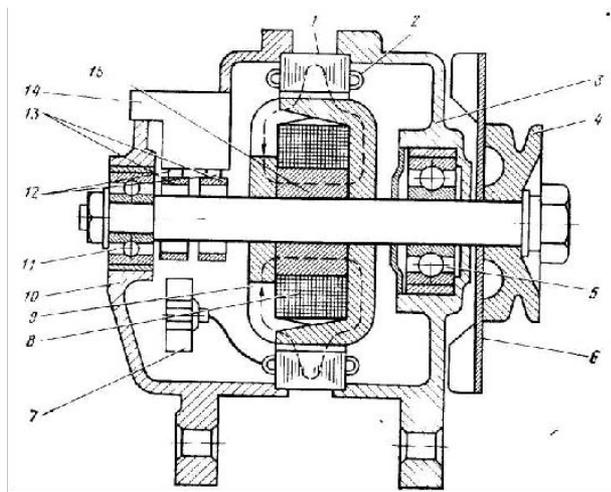
Принцип действия генераторов переменного тока

- ▶ Упрощенная схема устройства автомобильного генератора переменного тока с клювообразным ротором представлена на рис. 1.1.
- ▶ Генератор имеет следующие основные конструктивные элементы:
- ▶ неподвижный статор 1, набранный из пластин электротехнической стали;
- ▶ обмотку статора 2;
- ▶ вращающийся ротор с клювообразными полюсами 9 и расположенную между ними втулку 15,
- ▶ обмотку возбуждения 8, выводы которой припаяны к двум изолированным от вала и друг от друга медным контактными кольцам 13,
- ▶ крышку со стороны привода 3 и крышку со стороны контактных колец 10, выполненные из алюминиевого сплава, в которых установлены шарикоподшипники 5 и 11 с двусторонним резиновым уплотнителем и одноразовой закладкой смазки на весь срок службы.

- ▶ Крышки имеют вентиляционные отверстия и крепежные лапы для крепления генератора на двигателе.
- ▶ В крышке со стороны контактных колец установлен пластмассовый щеткодержатель 14 с двумя прямоугольными медно-графитовыми щетками 12 и выпрямительный блок 7. При помощи крыльчатки 6 создается протяжная вентиляция для охлаждения генератора. Привод генератора осуществляется при помощи шкива 4.

Принцип действия генератора заключается в следующем:

- ▶ При включении замка зажигания на обмотку возбуждения подается напряжение аккумуляторной батареи, которое вызывает появление тока возбуждения. Ток возбуждения, проходя по обмотке возбуждения, создает магнитный поток, рабочая часть которого распределяется по клювообразным полюсам одной полярности. Выходя из полюсов, магнитный поток пересекает воздушный зазор, проходит по зубцам и спинке статора, еще раз пересекает воздушный зазор, входит в клювообразные полюса другой полярности и замыкается через втулку и вал.
- ▶ При вращении ротора под каждым зубцом статора проходит попеременно то положительный, то отрицательный полюс, т. е. магнитный поток, пересекающий обмотку статора, изменяется по величине и направлению.



$$E_{\phi} = 4,44 f \omega k_{об} \Phi,$$

где f — частота, ω — число витков обмотки одной фазы, Φ — магнитный поток; $k_{об}$ — обмоточный коэффициент.

$$f = \frac{pn}{60},$$

p - число пар полюсов, n — частота вращения.

Число пазов статора q , приходящихся на полюс и фазу:

$$q = \frac{z}{2pm},$$

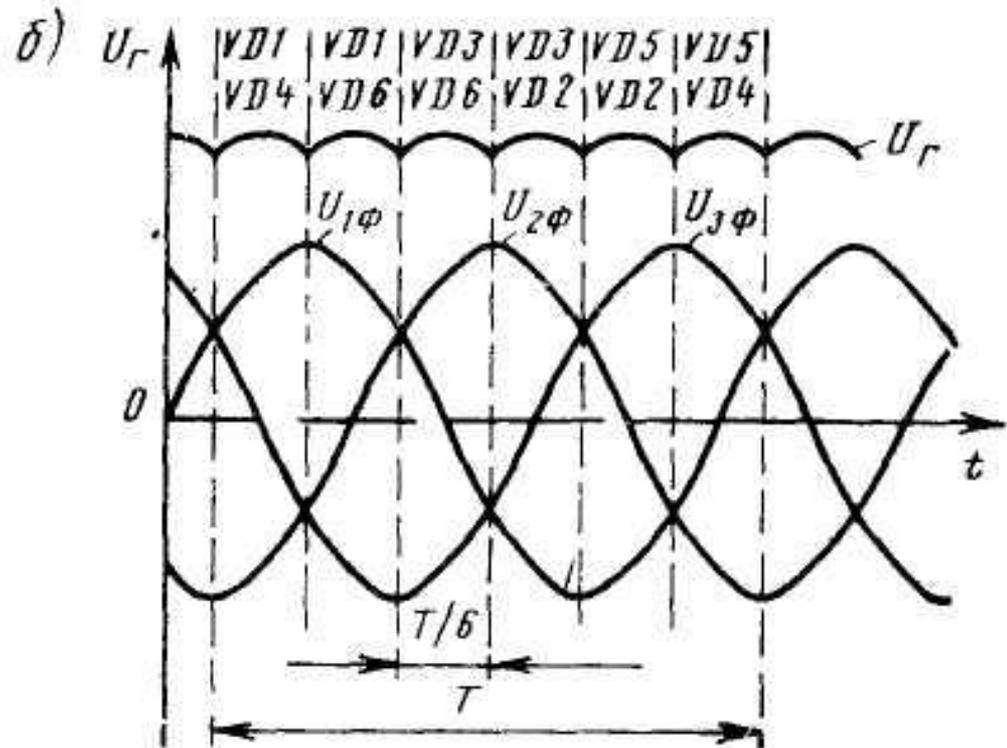
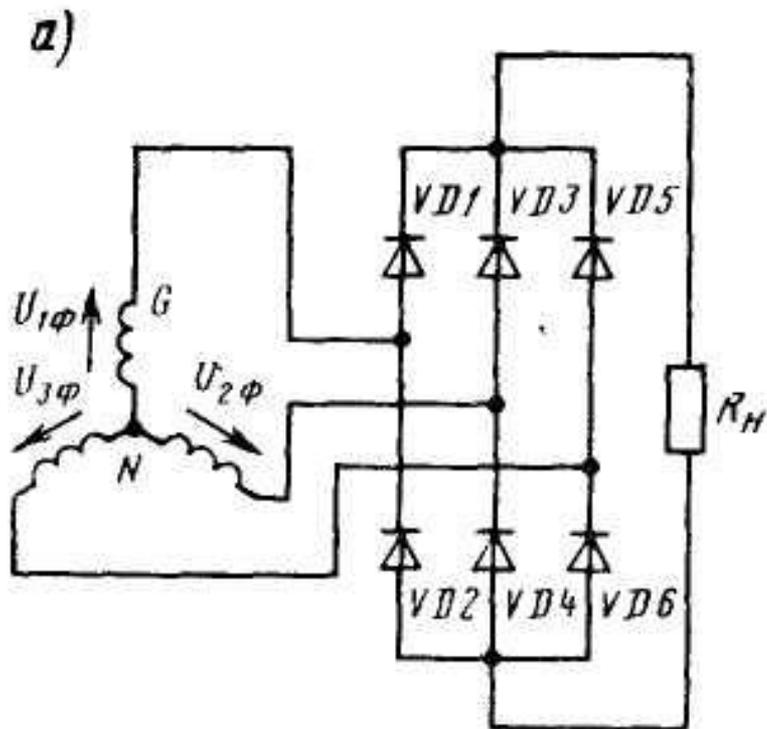
где z — число пазов, m — число фаз.

z	18	36	72
$k_{об}$	0,866	1	0,966
q	0,5	1	2

$$E = C_e n \Phi,$$

где $C_e = \frac{4,44p \omega k_{об}}{60}$ - постоянный коэффициент.

Рисунок 2 - Мостовая трехфазная схема выпрямления:
а - электрическая схема, б – осциллограммы фазных
и выпрямленного напряжений



- ▶ Характер изменения ЭДС в проводниках обмотки статора зависит от кривой распределения магнитной индукции в зазоре, которая определяется формой полюса. Форму полюса делают такой, чтобы форма ЭДС приближалась к синусоиде.
- ▶ В автомобильных генераторах наибольшее применение нашли трехфазные мостовые двухполупериодные схемы выпрямления. В этих схемах наиболее благоприятное соотношение между выпрямленной мощностью P_d и мощностью генератора P (теоретически $P = 1,045 P_d$). Трехфазная мостовая схема выпрямления обеспечивает относительно небольшие пульсации выпрямленного напряжения, что является одним из важных требований к автомобильным генераторам в связи с широким применением электроники на автомобиле.

- ▶ Работает мостовая трехфазная схема выпрямления следующим образом.
- ▶ Предположим, что обмотки статора генератора соединены по схеме «звезда» (рис. 2, а).
- ▶ В каждый данный момент времени работает тот диод первой группы, у которого анодный вывод в это время имеет наибольший положительный потенциал относительно нейтральной точки N генератора, а вместе с ним — диод второй группы, у которого катодный вывод имеет наибольший по абсолютной величине отрицательный потенциал относительно этой же точки.
- ▶ Частота пульсации выпрямленного напряжения при такой схеме выпрямления равна удвоенному числу фаз генератора, т. е. шесть пульсаций за период (рис. 2, б).

$$U_{л} = \sqrt{3} U_{\phi};$$

$$I_{л} = I_{\phi}.$$

$$f_n = 6f = \frac{6pn}{60} = 0,1pn.$$

Пульсация выпрямленного напряжения (при соединении обмоток генератора по схеме «звезда»):

$$\Delta U_d = (1,73 - 1,5) U_{\phi \max} = 0,23 U_{\phi \max}.$$

Среднее значение выпрямленного напряжения:

$$U_d = 1,65 U_{\phi \max}.$$

Пульсация выпрямленного напряжения:

$$\Delta U_d = (0,23/1,65) U_d = 0,139 U_d.$$

Ток при подключении к выпрямителю активной нагрузки:

$$I_d = U_d / R_H,$$

Пульсирующий выпрямленный ток с амплитудой:

$$I_{d \max} = U_{d \max} / R_H.$$

Среднее значение выпрямленного тока:

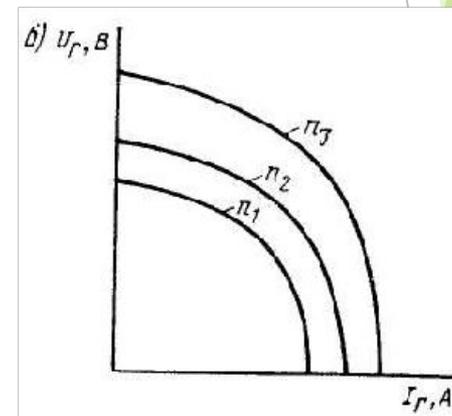
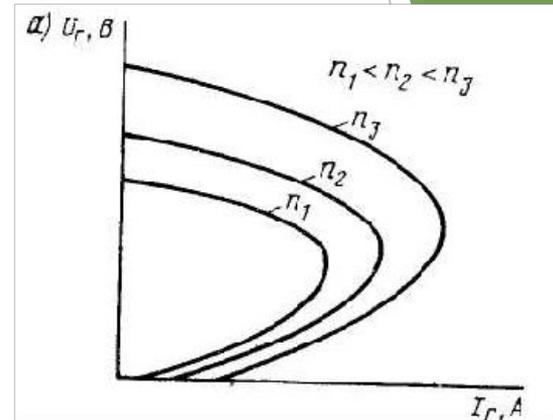
$$I_d = 0,955 I_{d \max}.$$

Действующее значение фазного тока

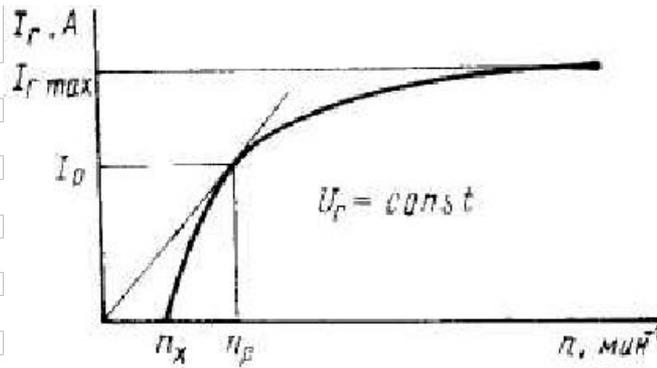
$$I_{\phi} = 0,755 I_{d \max}.$$

Зависимость напряжения от тока для фазных величин:

$$U = 4,44 f \omega k_{об} \Phi - Z_0 I.$$



Внешняя характеристика генератора переменного тока:
а — с самовозбуждением; б — с независимым возбуждением



Токоскоростная характеристика генератора переменного тока

$$I = \frac{E}{\sqrt{(R_a + R_H)^2 + X_L^2}}$$

Индуктивное сопротивление статора:

$$X_L = 2\pi f L = 2\pi \frac{pn}{60} L = C_x n,$$

где $C_x = 2\pi \frac{p}{60} L$.

Коэффициент использования:

$$K_{\max} = \frac{P_{G \max}}{G_G},$$

где $P_{G \max}$ - максимальная мощность генератора; G_G - масса генератора (без шкива).

Максимальная мощность генератора:

$$P_{G \max} = U_H I_{G \max},$$

где U_H - номинальное выпрямленное напряжение; $I_{G \max}$ - максимальный ток нагрузки генератора.

Удельный коэффициент использования:

$$K_{\text{уд}} = \frac{U_H I_P}{G_G n_P},$$

где I_P - расчетный ток (70-75% $I_{G \max}$); n_P - частота вращения.

Удельный коэффициент использования по холостому ходу:

$$K_x = \frac{U_H I_{G \max}}{G_G n_x},$$

где n_x - начальная частота вращения при холостом ходе.

Расчетная нагрузка от потребителей (кроме стартера):

$$I_H = \sum I_{N \text{ потр}} k_H k_t.$$

Необходимая сила номинального тока генератора для режима движения:

$$I_N = \frac{I_H}{1 - T_{PB}}.$$

Регуляторы напряжения

▶ Назначение:

- ▶ Регулятор напряжения поддерживает напряжение бортовой сети в заданных пределах во всех режимах работы при изменении частоты вращения ротора генератора, электрической нагрузки, температуры окружающей среды.

▶ Дополнительные функции:

- ▶ - защита элементов генераторной установки от аварийных режимов и перегрузки,
- ▶ - автоматическое включение в бортовую сеть цепь обмотки возбуждения или систему сигнализации аварийной работы генераторной установки.

▶ Напряжение генератора определяется факторами:

- ▶ частотой вращения ротора,
- ▶ силой тока, отдаваемой генератором в нагрузку,
- ▶ величиной магнитного потока, создаваемой током обмотки возбуждения.

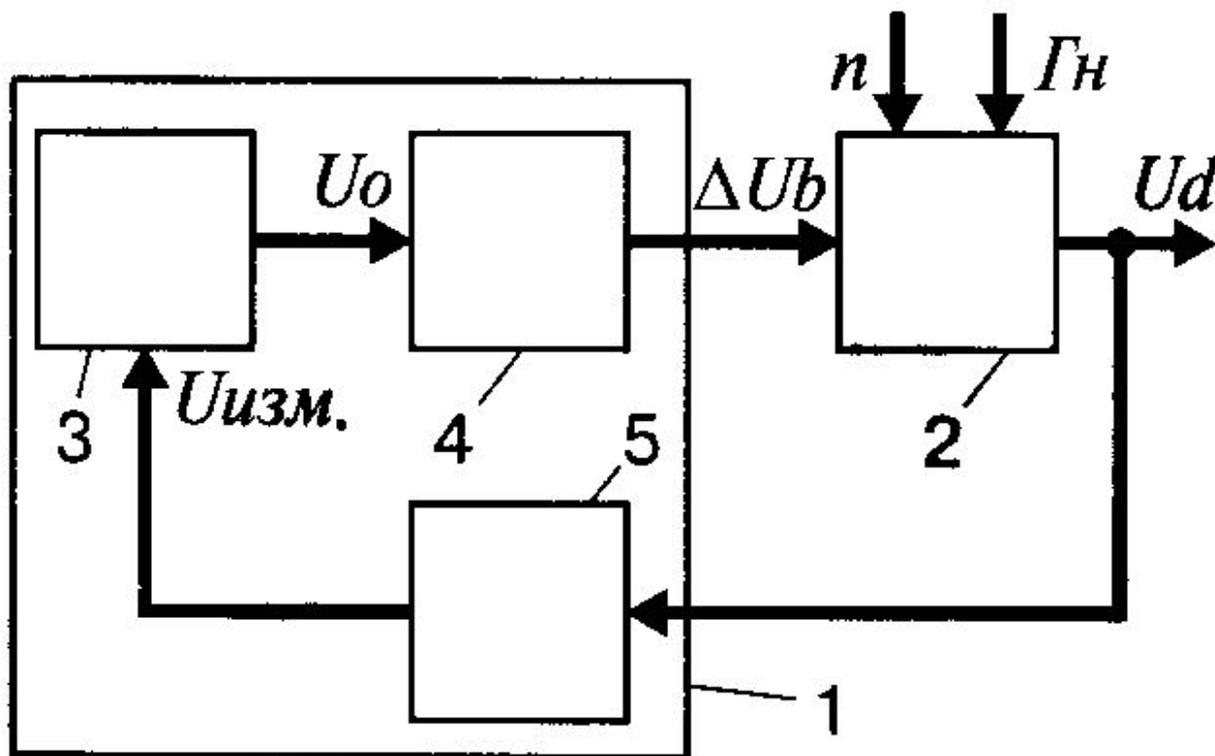
Суть РН:

Все регуляторы напряжения стабилизируют напряжение изменением тока возбуждения.

Если напряжение возрастает или уменьшается, регулятор соответственно уменьшает или увеличивает ток возбуждения и вводит напряжение в нужные пределы.

Блок-схема регулятора напряжения:

- 1 - регулятор;
- 2 - генератор;
- 3 - элемент сравнения;
- 4 - регулирующий элемент;
- 5 - измерительный элемент.



Принцип действия:

1. Измерительный элемент воспринимает напряжение генератора U_d и преобразует его в сигнал $U_{изм}$, который в элементе сравнения сравнивается с эталонным значением $U_{эт}$.

2. При отличии $U_{изм}$ от эталонной величины $U_{эт}$, на выходе измерительного элемента появляется сигнал U_0 , который активизирует регулирующий элемент, изменяющий ток в обмотке возбуждения так, чтобы напряжение генератора вернулось в заданные пределы.

Чувствительным элементом регулятора напряжения является *входной делитель напряжения*.

Напряжение поступает с входного делителя на элемент сравнения, где роль эталонной величины играет обычно напряжение стабилизации стабилитрона.

Стабилитрон не пропускает через себя ток при напряжении ниже напряжения стабилизации и пробивается, т.е. начинает пропускать через себя ток, если напряжение на нем превысит напряжение стабилизации.

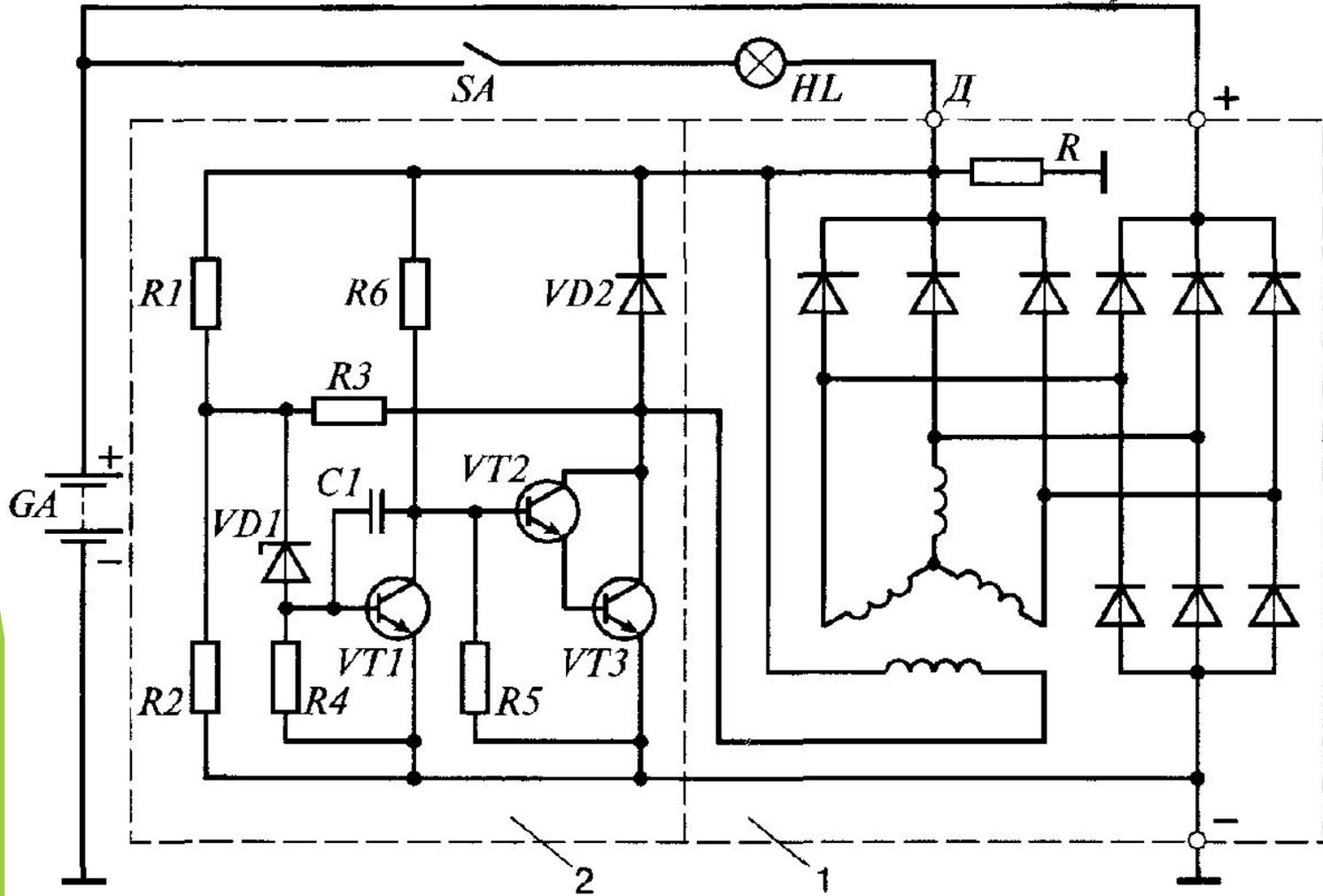
Напряжение на стабилитроне остается при этом практически неизменным.

Ток через стабилитрон включает электронное реле, которое коммутирует цепь возбуждения таким образом, что ток в обмотке возбуждения изменяется в нужную сторону.

Типы регуляторов напряжения:

1. Вибрационные и контактно-транзисторные регуляторы: чувствительный элемент представлен в виде обмотки *электромагнитного реле*. Коммутацию в цепи обмотки возбуждения осуществляют контакты реле.
2. Контактно-транзисторные регуляторы: коммутацию в цепи обмотки возбуждения осуществляет *полупроводниковая схема*.
3. Электронные транзисторные регуляторы.

Электронный транзисторный РН: 1 - генератор; 2 - регулятор



Принцип работы схемы электронного транзисторного РН:

- ▶ Напряжение к стабилитрону VD1 подводится от выхода генератора Д через делитель напряжения на резисторах R1, R2.
- ▶ *Пока напряжение генератора невелико, и на стабилитроне оно ниже напряжения стабилизации:*
 - ▶ - стабилитрон закрыт,
 - ▶ ток через него не протекает,
 - ▶ в базовой цепи транзистора VT1 ток не протекает,
 - ▶ транзистор VT1 закрыт.

При достижении напряжением величины напряжения стабилизации:

- стабилитрон VD1 пробивается,
- ток через него начинает поступать в базовую цепь транзистора VT1, который открывается;
- составной транзистор закрывается, разрывая цепь питания обмотки возбуждения;
- ток возбуждения спадает,
- уменьшается напряжение генератора,
- закрываются стабилитрон VD2, транзистор VT1,
- открывается составной транзистор VT2, VT3,
- обмотка возбуждения вновь включается в цепь питания,
- напряжение генератора возрастает и т. д., процесс повторяется.

Характеристики генераторных установок:

- ▶ 1. Токоскоростная характеристика (ТСХ) - способность генераторной установки обеспечивать электропитанием потребителей электроэнергии на автомобиле во всех режимах его работы (*зависимость силы тока, отдаваемого генератором в нагрузку, от частоты вращения его ротора*).
- ▶ 2. Коэффициент полезного действия (КПД). Чем выше КПД, тем меньшую мощность отнимает генератор у двигателя при той же полезной отдаче. Чем генератор мощнее, тем КПД выше. Обычно максимальное значение КПД вентильных автомобильных генераторов не превышает 50 - 60%.

Токоскоростная характеристика имеет характерные точки:

1. n_0 - начальная частота вращения ротора без нагрузки,

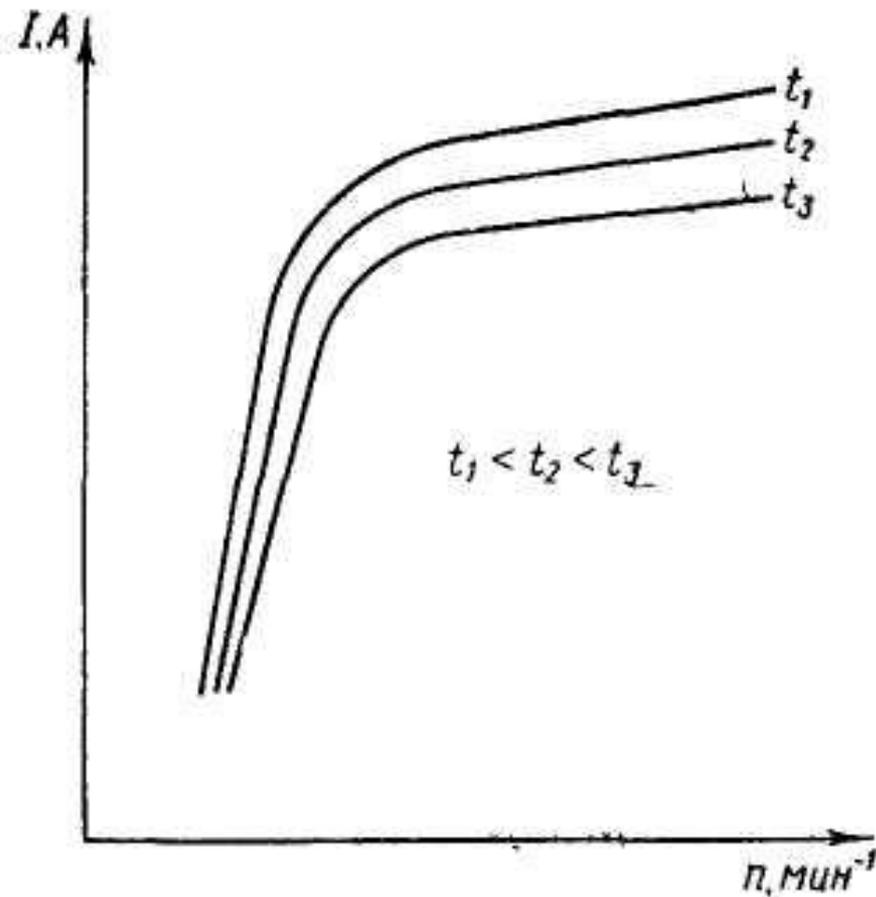
2. n_{rg} - минимальная рабочая частота вращения ротора, т.е. частота вращения, соответствующая оборотам холостого хода двигателя. Условно принимается $n_{rg} = 1500$ мин⁻¹ (для высокоскоростных генераторов - 1800 мин⁻¹).

3. n_H - номинальная частота вращения ротора, при которой вырабатывается номинальный ток, т.е. ток, сила которого не должна быть меньше номинальной величины.

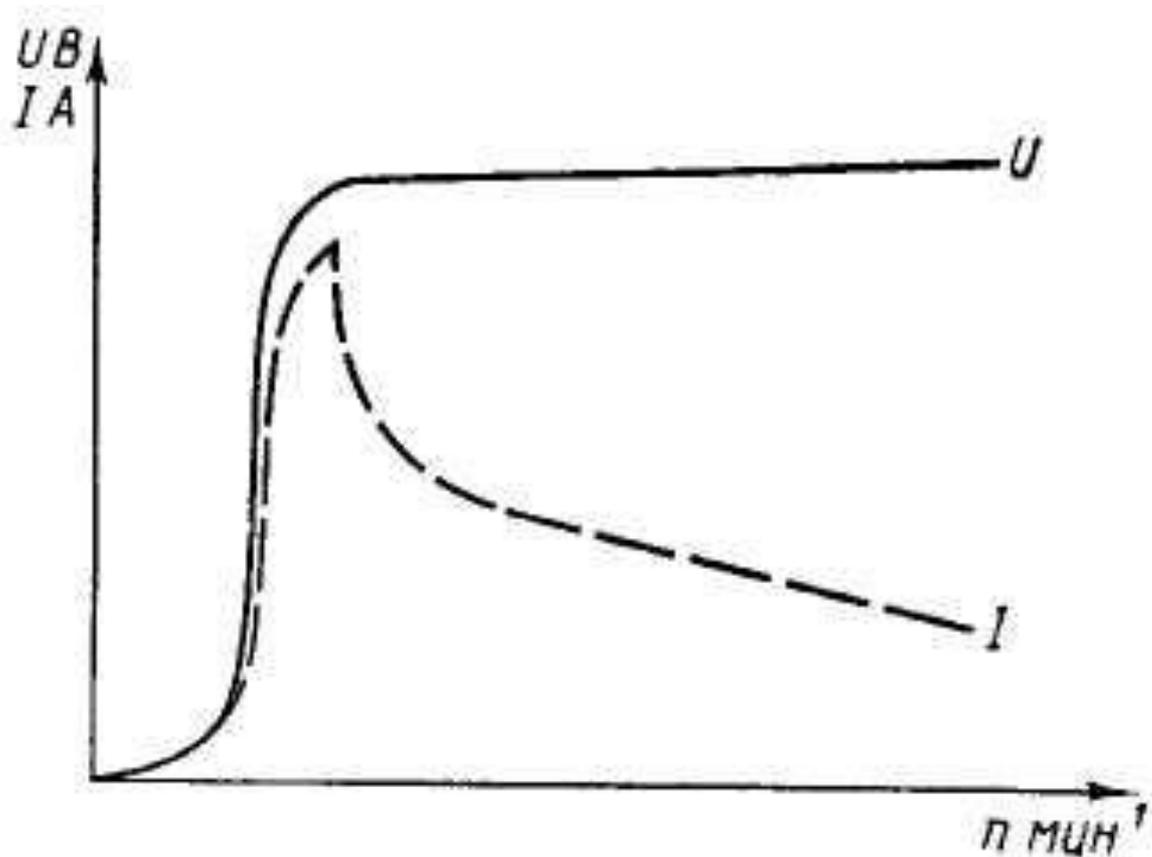
4. n_{max} - максимальная частота вращения ротора. При этой частоте генератор вырабатывает максимальный ток.

Частота вращения ротора находится в пределах 5000 мин⁻¹.

Зависимость нагрузочной характеристики генератора от температуры



Зависимость напряжения U генератора и тока возбуждения от частоты вращения n при наличии регулятора напряжения



Основные тенденции развития конструкций и схем РН:

- ▶ 1. РН при встраивании в генератор должен занимать как можно меньше места,
- ▶ 2. Необходимость увеличить число выполняемых РН функций (вместе со стабилизацией напряжения сообщать о работоспособности генераторной установки, предотвращать разряд аккумуляторной батареи при неработающем двигателе);
- ▶ 3. Повышение качества выходного напряжения.

Вибрационные реле-регуляторы и контактно-транзисторные регуляторы в настоящее время полностью заменены *электронными транзисторными регуляторами напряжения.*

Электронные РН можно разделить на две группы:

- регуляторы традиционного схемного исполнения с частотой переключения, меняющейся с изменением режима работы генератора,
- регуляторы со стабилизированной частотой переключения, работающие по принципу широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

По конструкции регуляторы традиционного схемного исполнения выполняются либо на навесных элементах, расположенных на печатной плате, либо в виде гибридных схем, регуляторы с ШИМ могут быть гибридного исполнения или полностью выполненными на монокристалле кремния.