

## Лекция 3.

### АВТОМОБИЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Электрооборудование любого автомобиля включает в себя генератор - основной источник электроэнергии. Вместе с регулятором напряжения он называется генераторной установкой. На современные автомобили устанавливаются генераторы переменного тока. Они в наибольшей степени отвечают предъявляемым требованиям.

#### Основные требования к автомобильным генераторам

1. Генератор должен обеспечивать бесперебойную подачу тока и обладать достаточной мощностью, чтобы:

- одновременно снабжать электроэнергией работающих потребителей и заряжать АКБ;
- при включении всех штатных потребителей электроэнергии на малых оборотах двигателя не происходил сильный разряд аккумуляторной батареи;
- напряжение в бортовой сети находилось в заданных пределах во всем диапазоне электрических нагрузок и частот вращения ротора.

2. Генератор должен иметь достаточную прочность, большой ресурс, небольшие массу и габариты, невысокий уровень шума и радиопомех.

#### Основные понятия

Разработчики и производители электрооборудования используют следующие понятия.

.

**Генератор** - устройство, преобразующее механическую энергию, получаемую от двигателя, в электрическую.

**Регулятор напряжения** - устройство, поддерживающее напряжение бортовой сети автомобиля в заданных пределах при изменении электрической

нагрузки, частоты вращения ротора генератора и температуры окружающей среды.

**Аккумуляторная стартерная батарея (аккумулятор)** - накапливает и хранит электроэнергию для запуска двигателя и питания электроприборов в течение непродолжительного времени (при неработающем двигателе или недостаточной мощности, развиваемой генератором).

### **Принцип действия генератора.**

В основе работы генератора лежит эффект электромагнитной индукции. Если катушку например, из медного провода, пронизывает магнитный поток, то при его изменении на выводах катушки появляется переменное электрическое напряжение. И наоборот, для образования магнитного потока достаточно пропустить через катушку электрический ток. Таким образом, для получения переменного электрического тока требуются катушка, по которой протекает постоянный электрический ток, образуя магнитный поток, называемая обмоткой возбуждения и стальная полюсная система, назначение которой — подвести магнитный поток к катушкам, называемым обмоткой статора, в которых наводится переменное напряжение. Эти катушки помещены в пазы стальной конструкции, магнитопровода (пакета железа) статора. Обмотка статора с его магнитопроводом образует собственно статор генератора, его важнейшую неподвижную часть, в которой образуется электрический ток, а обмотка возбуждения с полюсной системой и некоторыми другими деталями (валом, контактными кольцами) - ротор, его важнейшую вращающуюся часть. Питание обмотки возбуждения может осуществляться от самого генератора. В этом случае генератор работает на самовозбуждении. При этом остаточный магнитный поток в генераторе, т. е. поток, который образуют стальные части магнитопровода при отсутствии тока в обмотке возбуждения, невелик и обеспечивает самовозбуждение генератора только на слишком высоких частотах вращения. Поэтому в схему генераторной установки, там где обмотки возбуждения не соединены с аккумуляторной батареей, вводят такое внешнее

соединение, обычно через лампу контроля работоспособного состояния генераторной установки. Ток, поступающий через эту лампу в обмотку возбуждения после включения выключателя зажигания и обеспечивает первоначальное возбуждение генератора. Сила этого тока не должна быть слишком большой, чтобы не разряжать аккумуляторную батарею, но и не слишком малой, т. к. в этом случае генератор возбуждается при слишком высоких частотах вращения, поэтому фирмы-изготовители оговаривают необходимую мощность контрольной лампы — обычно 2...3 Вт.

При вращении ротора напротив катушек обмотки статора появляются попеременно "северный", и "южный" полюсы ротора, т. е. направление магнитного потока, пронизывающего катушку, меняется, что и вызывает появление в ней переменного напряжения. Частота этого напряжения  $f$  зависит от частоты вращения ротора генератора  $N$  (оборотов в минуту, размерность обозначается мин<sup>-1</sup>) и числа его пар полюсов  $p$ :

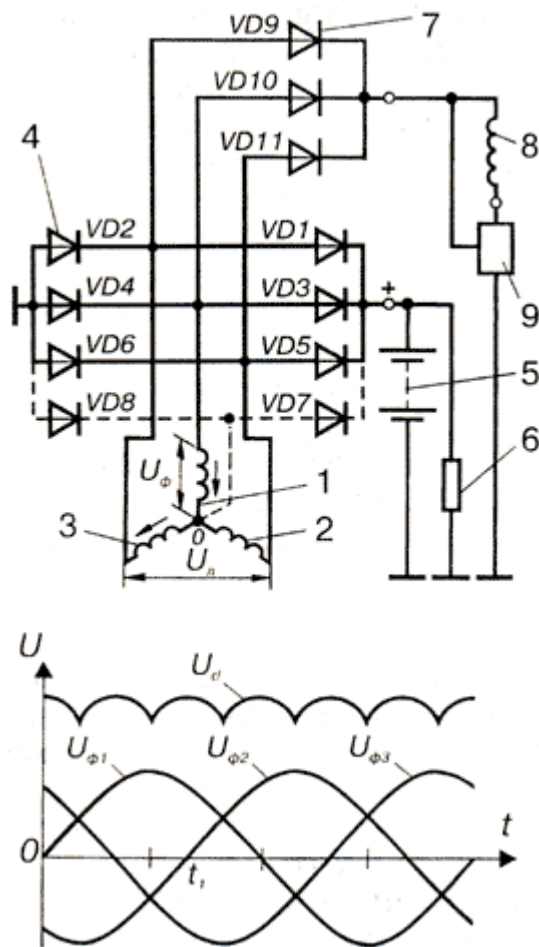
$$f = p * N / 60$$

За редким исключением генераторы имеют  $p = 6$ , т.е. шесть "южных" и шесть "северных" полюсов в магнитной системе ротора. В этом случае частота  $f$  в 10 раз больше частоты вращения ротора генератора. Поскольку свое вращение ротор генератора получает от коленчатого вала двигателя, то по частоте переменного напряжения генератора можно измерять частоту вращения коленчатого вала двигателя. Для этого у генератора делается вывод обмотки статора, к которому и подключается тахометр. При этом напряжение на входе тахометра имеет пульсирующий характер, т. к. он оказывается включенным параллельно диоду силового выпрямителя генератора. С учетом передаточного числа  $i$  ременной передачи от двигателя к генератору частота сигнала на входе тахометра  $f_T$  связана с частотой вращения коленчатого вала двигателя  $N_{дв}$  соотношением:

$$f = p * N_{дв}(i) / 60$$

Конечно, в случае проскальзывания приводного ремня это соотношение немного нарушается и поэтому следует следить, чтобы ремень всегда был

достаточно натянут. При  $p = 6$ , (в большинстве случаев) приведенное выше соотношение упрощается  $f_t = N_{\text{дв}}(i)/10$ . Бортовая сеть требует подведения к ней постоянного напряжения. Поэтому обмотка статора питает бортовую сеть автомобиля через выпрямитель, встроенный в генератор. Обмотка статора генераторов зарубежных фирм, как и отечественных — трехфазная. Она состоит из трех частей, называемых обмотками фаз или просто фазами, напряжение и токи в которых смещены друг относительно друга на треть периода, т. е. на 120 электрических градусов, как это показано на рис. 1. Фазы могут соединяться в "звезду" или "треугольник". При этом различают фазные и линейные напряжения и токи. Фазные напряжения  $U_{\text{ф}}$  действуют между концами обмоток фаз. а токи  $I_{\text{ф}}$  протекают в этих обмотках, линейные же напряжения  $U_{\text{л}}$  действуют между проводами, соединяющими обмотку статора с выпрямителем. В этих проводах протекают линейные токи  $I_{\text{л}}$ . Естественно, выпрямитель выпрямляет те напряжения и токи, которые к нему подводятся, т. е. линейные.



**Рис.1. Принципиальная схема генераторной установки.**

$U_{\phi 1} — U_{\phi 3}$  - напряжение в обмотках фаз;  $U_d$  - выпрямленное напряжение;  
 1, 2, 3 - обмотки трех фаз статора; 4 - диоды силового выпрямителя; 5 - аккумуляторная батарея; 6 - нагрузка; 7 - диоды выпрямителя обмотки возбуждения; 8 - обмотка возбуждения; 9 - регулятор напряжения

При соединении в "треугольник" фазные токи в корень из 3 раза меньше линейных, в то время как у "звезды" линейные и фазные токи равны. Это значит, что при том же отдаваемом генератором токе, ток в обмотках фаз, при соединении в "треугольник", значительно меньше, чем у "звезды". Поэтому в генераторах большой мощности довольно часто применяют соединение в "треугольник", т. к. при меньших токах обмотки можно наматывать более тонким проводом, что технологичнее. Однако линейные напряжения у

"звезды" в корень из 3 больше фазного, в то время как у "треугольника" они равны и для получения такого же выходного напряжения, при тех же частотах вращения "треугольник" требует соответствующего увеличения числа витков его фаз по сравнению со "звездой".

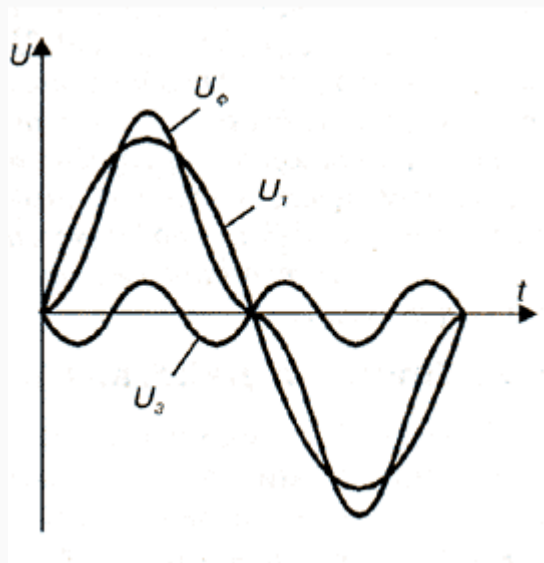
Более тонкий провод можно применять и при соединении типа "звезда". В этом случае обмотку выполняют из двух параллельных обмоток, каждая из которых соединена в "звезду", т. е. получается "двойная звезда".

Выпрямитель для трехфазной системы содержит шесть силовых полупроводниковых диодов, три из которых: VD1, VD3 и VD5 соединены с выводом "+" генератора, а другие три: VD2, VD4 и VD6 с выводом "-" ("массой"). При необходимости форсирования мощности генератора применяется дополнительное плечо выпрямителя на диодах VD7, VD8, показанное на рис.1, пунктиром. Такая схема выпрямителя может иметь место только при соединении обмоток статора в "звезду", т. к. дополнительное плечо запитывается от "нулевой" точки "звезды".

У значительного количества типов генераторов зарубежных фирм обмотка возбуждения подключается к собственному выпрямителю, собранному на диодах VD9—VD 11. Такое подключение обмотки возбуждения препятствует протеканию через нее тока разряда аккумуляторной батареи при неработающем двигателе автомобиля. Полупроводниковые диоды находятся в открытом состоянии и не оказывают существенного сопротивления прохождению тока при приложении к ним напряжения в прямом направлении и практически не пропускают ток при обратном напряжении. По графику фазных напряжений (см. рис.1) можно определить, какие диоды открыты, а какие закрыты в данный момент. Фазные напряжения  $U_{\phi 1}$  действует в обмотке первой фазы,  $U_{\phi 2}$  - второй,  $U_{\phi 3}$  - третьей. Эти напряжения изменяются по кривым, близким к синусоиде и в одни моменты времени они положительны, в другие отрицательны. Если положительное направление напряжения в фазе принять по стрелке, направленной к нулевой точке обмотки статора, а отрицательное от нее то, например, для момента времени  $t_1$ , когда напряжение

второй фазы отсутствует, первой фазы - положительно, а третьей - отрицательно. Направление напряжений фаз соответствует стрелкам, показанным на рис. 1. Ток через обмотки, диоды и нагрузку будет протекать в направлении этих стрелок. При этом открыты диоды VD1 и VD4. Рассмотрев любые другие моменты времени легко убедиться, что в трехфазной системе напряжения, возникающего в обмотках фаз генератора, диоды силового выпрямителя переходят из открытого состояния в закрытое и обратно таким образом, что ток в нагрузке имеет только одно направление - от вывода "+" генераторной установки к ее выводу "-" ("массе"), т. е. в нагрузке протекает постоянный (выпрямленный) ток. Диоды выпрямителя обмотки возбуждения работают аналогично, питая выпрямленным током эту обмотку. Причем в выпрямитель обмотки возбуждения тоже входят 6 диодов, но три из них VD2, VD4, VD6 общие с силовым выпрямителем. Так в момент времени  $t_1$  открыты диоды VD4 и VD9, через которые выпрямленный ток и поступает в обмотку возбуждения. Этот ток значительно меньше, чем ток, отдаваемый генератором в нагрузку. Поэтому в качестве диодов VD9—VD11 применяются малогабаритные слаботочные диоды на ток не более 2 А (для сравнения, диоды силового выпрямителя допускают протекание токов силой до 25...35 А). Остается рассмотреть принцип работы плеча выпрямителя, содержащего диоды VD7 и VD8. Если бы фазные напряжения изменялись чисто по синусоиде, эти диоды вообще не участвовали бы в процессе преобразования переменного тока в постоянный. Однако в реальных генераторах форма фазных напряжений отличается от синусоиды. Она представляет собой сумму синусоид, которые называются гармоническими составляющими или гармониками - первой, частота которой совпадает с частотой фазного напряжения, и высшими, главным образом, третьей, частота которой в три раза выше, чем первой. Представление реальной формы фазного напряжения в виде суммы двух гармоник (первой и третьей) показано на рис.2. Из электротехники известно, что в линейном напряжении, т. е. в том напряжении, которое

подводится к выпрямителю и выпрямляется, третья гармоника отсутствует. Это объясняется тем, что третьи гармоники всех фазных



**Рис.2. Представление фазного напряжения  $U_\phi$  в виде суммы синусоид первой,  $U_1$ , и третьей  $U_3$ , гармоник**

напряжений совпадают по фазе, т. е. одновременно достигают одинаковых значений и при этом взаимно уравновешивают и взаимоуничтожают друг друга в линейном напряжении. Таким образом, третья гармоника в фазном напряжении присутствует, а в линейном - нет. Следовательно мощность, развиваемая третьей гармоникой фазного напряжения не может быть использована потребителями. Чтобы использовать эту мощность добавлены диоды VD7 и VD8, подсоединенные к нулевой точке обмоток фаз, т. е. к точке где сказывается действие фазного напряжения. Таким образом, эти диоды выпрямляют только напряжение третьей гармоники фазного напряжения. Применение этих диодов увеличивает мощность генератора на 5...15% при частоте вращения более 3000 мин-1.

Выпрямленное напряжение, как это показано на рис.1, носит пульсирующий характер. Эти пульсации можно использовать для диагностики выпрямителя. Если пульсации идентичны — выпрямитель работает нормально, если же



картинка на экране осциллографа имеет нарушение симметрии — возможен отказ диода. Проверку эту следует производить при отключенной аккумуляторной батарее. Следует обратить внимание на то, что под термином "выпрямительный диод", не всегда скрывается привычная конструкция, имеющая корпус, выводы и т. д. иногда это просто полупроводниковый кремниевый переход, загерметизированный на теплоотводе.

Применение в регуляторе напряжения электроники, и, особенно, микроэлектроники, полевых транзисторов или выполнение всей схемы регулятора напряжения на монокристалле кремния, потребовало введения в генераторную установку элементов защиты ее от всплесков высокого напряжения, возникающих, например, при внезапном отключении аккумуляторной батареи, сбросе нагрузки. Такая защита обеспечивается тем, что диоды силового моста заменены стабилитронами. Отличие стабилитрона от выпрямительного диода состоит в том, что при воздействии на него напряжения в обратном направлении он не пропускает ток лишь до определенной величины этого напряжения, называемого напряжением стабилизации. Обычно в силовых стабилитронах напряжение стабилизации составляет 25... 30 В. При достижении этого напряжения стабилитроны "пробиваются", т. е. начинают пропускать ток в обратном направлении, причем в определенных пределах изменения силы этого тока напряжение на стабилитроне, а, следовательно, и на выводе "+" генератора остается неизменным, не достигая опасных для электронных узлов значений. Свойство стабилитрона поддерживать на своих выводах постоянство напряжения после "пробоя" используется и в регуляторах напряжения.

### **Устройство генератора**

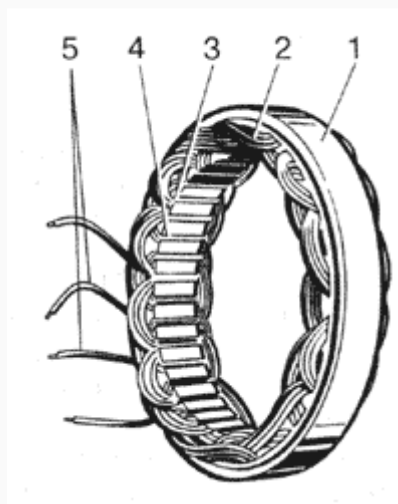
По своему конструктивному исполнению генераторные установки можно разделить на две группы - генераторы традиционной конструкции с вентилятором у приводного шкива и генераторы так называемой компактной конструкции с двумя вентиляторами во внутренней полости генератора.

Обычно "компактные" генераторы оснащаются приводом с повышенным передаточным отношением через поликлиновый ремень и поэтому по принятой у некоторых фирм терминологии, называются высокоскоростными генераторами. При этом внутри этих групп можно выделить генераторы, у которых щеточный узел расположен во внутренней полости генератора между полюсной системой ротора и задней крышкой и генераторы, где контактные кольца и щетки расположены вне внутренней полости. В этом случае генератор имеет кожух, под которым располагается щеточный узел, выпрямитель и, как правило, регулятор напряжения.

Любой генератор содержит статор с обмоткой, зажатый между двумя крышками — передней, со стороны привода, и задней, со стороны контактных колец. Крышки, отлитые из алюминиевых сплавов, имеют вентиляционные окна, через которые воздух продувается вентилятором сквозь генератор.

Генераторы традиционной конструкции снабжены вентиляционными окнами только в торцевой части, генераторы "компактной" конструкции еще и на цилиндрической части над лобовыми сторонами обмотки статора. "Компактную" конструкцию отличает также сильно развитое оребрение, особенно в цилиндрической части крышек. На крышке со стороны контактных колец крепятся щеточный узел, который часто объединен с регулятором напряжения, и выпрямительный узел. Крышки обычно стянуты между собой тремя или четырьмя винтами, причем статор обычно оказывается зажат между крышками, посадочные поверхности которых охватывают статор по наружной поверхности. Иногда статор полностью утоплен в передней крышке и не упирается в заднюю крышку, существуют конструкции, у которых средние листы пакета статора выступают над остальными и они являются посадочным местом для крышек. Крепежные лапы и натяжное ухо генератора отливаются заодно с крышками, причем, если крепление двухлапное, то лапы имеют обе крышки, если однолапное - только передняя. Впрочем, встречаются конструкции, у которых однолапное крепление осуществляется стыковкой приливов задней и передней крышек, а также двухлапные крепления, при

котором одна из лап, выполненная штамповкой из стали, привертывается к задней крышке, как, например, у некоторых генераторов фирмы Paris—Rhone прежних выпусков. При двухлапном креплении в отверстии задней лапы обычно располагается дистанционная втулка, позволяющая при установке генератора выбирать зазор между кронштейном двигателя и посадочным местом лап. Отверстие в натяжном ухе может быть одно с резьбой или без, но встречается и несколько отверстий, чем достигается возможность установки этого генератора на разные марки двигателей. Для этой же цели применяют два натяжных уха на одном генераторе.

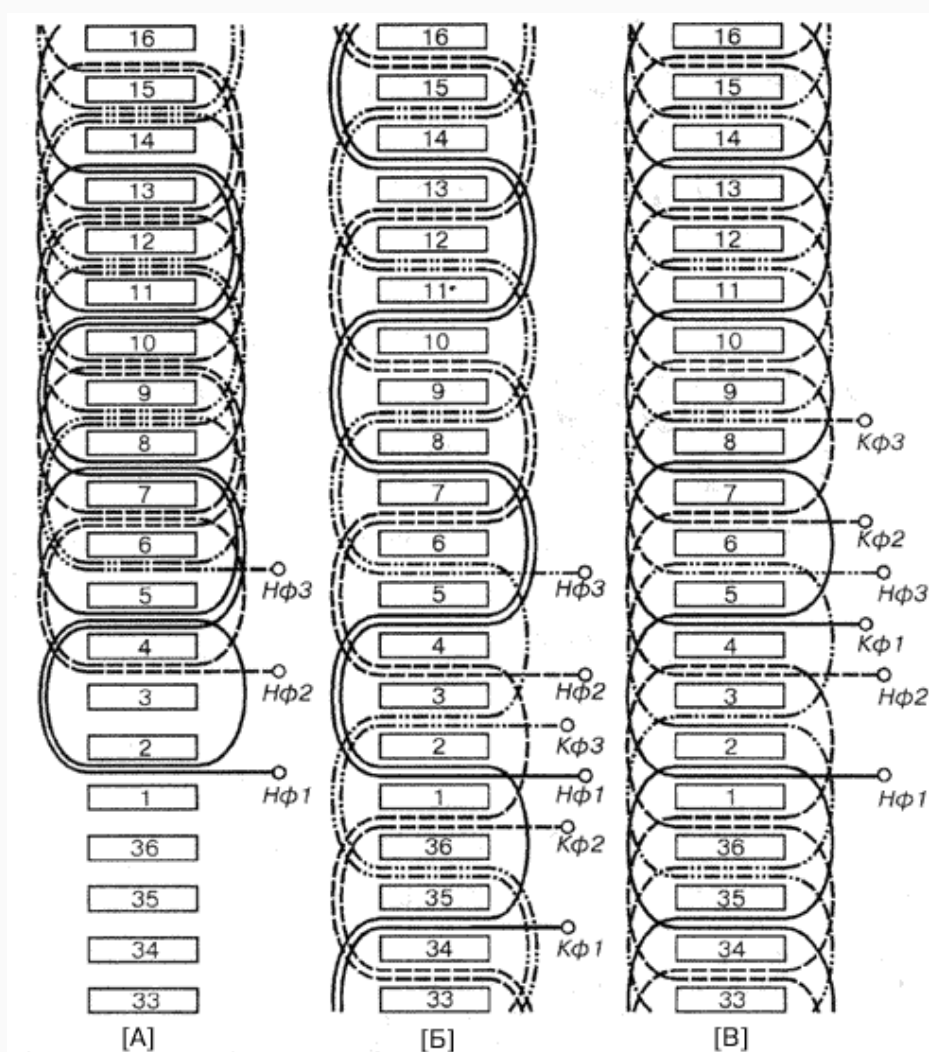


*Рис.3 Статор генератора:*

*1 - сердечник, 2 - обмотка, 3 - пазовый клин, 4 - паз, 5 - вывод для соединения с выпрямителем*

Статор генератора (рис.3) набирается из стальных листов толщиной 0.8...1 мм, но чаще выполняется навивкой "на ребро". Такое исполнение обеспечивает меньше отходов при обработке и высокую технологичность. При выполнении пакета статора навивкой ярмо статора над пазами обычно имеет выступы, по которым при навивке фиксируется положение слоев друг относительно друга. Эти выступы улучшают охлаждение статора за счет более развитой его

наружной поверхности. Необходимость экономии металла привела и к созданию конструкции пакета статора, набранного из отдельных подковообразных сегментов. Скрепление между собой отдельных листов пакета статора в монолитную конструкцию осуществляется сваркой или заклепками. Практически все генераторы автомобилей массовых выпусков имеют 36 пазов, в которых располагается обмотка статора. Пазы изолированы пленочной изоляцией или напылением эпоксидного компаунда.



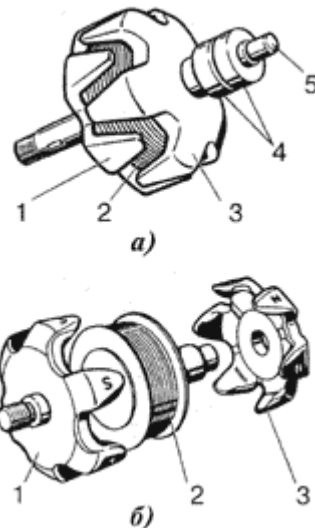
**Рис.4**

**Схема обмотки статора генератора:**

***А - петлевая распределенная, Б - волновая сосредоточенная, В - волновая распределенная***

***----- 1 фаза, - - - - - 2 фаза, - . - . - . - 3 фаза***

В пазах располагается обмотка статора, выполняемая по схемам (рис.4) в виде петлевой распределенной (рис.4,А) или волновой сосредоточенной (рис.4,Б), волновой распределенной (рис.4,В) обмоток. Петлевая обмотка отличается тем, что ее секции (или полусекции) выполнены в виде катушек с лобовыми соединениями по обоим сторонам пакета статора напротив друг друга. Волновая обмотка действительно напоминает волну, т. к. ее лобовые соединения между сторонами секции (или полусекции) расположены поочередно то с одной, то с другой стороны пакета статора. У распределенной обмотки секция разбивается на две полусекции, исходящие из одного паза, причем одна полусекция исходит влево, другая направо. Расстояние между сторонами секции (или полусекции) каждой обмотки фазы составляет 3 пазовых деления, т.е. если одна сторона секции лежит в пазу, условно принятом за первый, то вторая сторона укладывается в четвертый паз. Обмотка закрепляется в пазу пазовым клином из изоляционного материала. Обязательной является пропитка статора лаком после укладки обмотки. Особенностью автомобильных генераторов является вид полюсной системы ротора (рис.5). Она содержит две полюсные половины с выступами — полюсами клювообразной формы по шесть на каждой половине. Полюсные половины выполняются штамповкой и могут иметь выступы - полувтулки. В случае отсутствия выступов при напрессовке на вал между полюсными половинами устанавливается втулка с обмоткой возбуждения, намотанной на каркас, при этом намотка осуществляется после установки втулки внутрь каркаса.



**Рис.5. Ротор автомобильного генератора: а - в сборе; б - полюсная система в разобранном виде; 1,3- полюсные половины; 2 - обмотка возбуждения; 4 - контактные кольца; 5 – вал**

Если полюсные половины имеют полувтулки, то обмотка возбуждения предварительно наматывается на каркас и устанавливается при напрессовке полюсных половин так, что полувтулки входят внутрь каркаса. Торцевые щечки каркаса имеют выступы-фиксаторы, входящие в межполюсные промежутки на торцах полюсных половин и препятствующие провороту каркаса на втулке. Напрессовка полюсных половин на вал сопровождается их зачеканкой, что уменьшает воздушные зазоры между втулкой и полюсными половинами или полувтулками, и положительно сказывается на выходных характеристиках генератора. При зачеканке металл затекает в проточки вала, что затрудняет перемотку обмотки возбуждения при ее перегорании или обрыве, т. к. полюсная система ротора становится трудноразборной. Обмотка возбуждения в сборе с ротором пропитывается лаком. Клювы полюсов по краям обычно имеют скосы с одной или двух сторон для уменьшения магнитного шума генераторов. В некоторых конструкциях для той же цели под острыми конусами клювов размещается антишумовое немагнитное кольцо, расположенное над обмоткой возбуждения. Это кольцо предотвращает

возможность колебания клювов при изменении магнитного потока и, следовательно, излучения ими магнитного шума.

После сборки производится динамическая балансировка ротора, которая осуществляется высверливанием излишка материала у полюсных половин. На валу ротора располагаются также контактные кольца, выполняемые чаще всего из меди, с опрессовкой их пластмассой. К кольцам припаиваются или привариваются выводы обмотки возбуждения. Иногда кольца выполняются из латуни или нержавеющей стали, что снижает их износ и окисление особенно при работе во влажной среде. Диаметр колец при расположении щеточно-контактного узла вне внутренней полости генератора не может превышать внутренний диаметр подшипника, устанавливаемого в крышку со стороны контактных колец, т. к. при сборке подшипник проходит над кольцами. Малый диаметр колец способствует кроме того уменьшению износа щеток. Именно по условиям монтажа некоторые фирмы применяют в качестве задней опоры ротора роликовые подшипники, т.к. шариковые того же диаметра имеют меньший ресурс.

Валы роторов выполняются, как правило, из мягкой автоматной стали, однако, при применении роликового подшипника, ролики которого работают непосредственно по концу вала со стороны контактных колец, вал выполняется из легированной стали, а цапфа вала цементируется и закаливается. На конце вала, снабженном резьбой, прорезается паз под шпонку для крепления шкива. Однако, во многих современных конструкциях шпонка отсутствует. В этом случае торцевая часть вала имеет углубление или выступ под ключ в виде шестигранника. Это позволяет удерживать вал от проворота при затяжке гайки крепления шкива, или при разборке, когда необходимо снять шкив и вентилятор.

Щеточный узел - это пластмассовая конструкция, в которой размещаются щетки т.е. скользящие контакты. В автомобильных генераторах применяются щетки двух типов — меднографитные и электрографитные. Последние имеют повышенное падение напряжения в контакте с кольцом по сравнению с

меднографитными, что неблагоприятно сказывается на выходных характеристиках генератора, однако они обеспечивают значительно меньший износ контактных колец. Щетки прижимаются к кольцам усилием пружин. Обычно щетки устанавливаются по радиусу контактных колец, но встречаются и так называемые реактивные щеткодержатели, где ось щеток образует угол с радиусом кольца в месте контакта щетки. Это уменьшает трение щетки в направляющих щеткодержателя и тем обеспечивается более надежный контакт щетки с кольцом. Часто щеткодержатель и регулятор напряжения образуют неразборный единый узел.

