

## **Лекция 5. СИСТЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПУСКА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

### **Пусковые качества двигателей внутреннего сгорания**

Возможность осуществления надежного пуска двигателя зависит от многих конструктивных и эксплуатационных факторов, к которым относят степень сжатия, рабочий объем, число и схему расположения цилиндров, тепловое состояние деталей двигателя, регулировочные параметры системы зажигания (для бензиновых двигателей) и топливной аппаратуры, низкотемпературные свойства топлива, вязкостно-температурные характеристики моторного масла, мощность и энергоемкость системы пуска, наличие и эффективность вспомогательных пусковых устройств и т.д.

Поршневые двигатели внутреннего сгорания начинают работать устойчиво при относительно высокой частоте вращения коленчатого вала. Пусковое устройство должно вращать коленчатый вал с частотой, достаточной для начала и развития процессов образования, воспламенения и сгорания топливо-воздушной смеси и способствовать выходу двигателя на устойчивый режим самостоятельной работы. Характер протекания пусковых процессов и требования к пусковой частоте вращения коленчатого вала различны для бензиновых двигателей и дизелей.

Пусковая частота вращения коленчатого вала бензинового двигателя должна быть достаточной для подготовки топливо-воздушной смеси, способной воспламениться от электрической искры. При пуске холодного бензинового двигателя из-за низкой температуры топлива, стенок впускного трубопровода, и малой скорости перемещения в нем воздушного потока в смесеобразовании участвуют только легкоиспаряющиеся фракции бензина, поэтому пусковые качества бензина оценивают по температуре выкипания 10% фракций. Для подготовки смеси, находящейся в пределах воспламеняемости, при пуске увеличивают подачу топлива за счет оптимальной для пуска регулировки топливной аппаратуры.

С уменьшением пусковой частоты вращения коленчатого вала становится более продолжительным процесс сжатия, увеличивается теплопередача в холодные стенки цилиндра и пропуск газов через неплотности в поршневых кольцах и клапанах. Давление и температура в конце сжатия уменьшаются, что ухудшает условия воспламенения смеси и распространения пламени. Уменьшение массы смеси из-за отсутствия дозарядки цилиндров за счет инерции воздушного потока при запаздывании закрытия впускного клапана снижает количество выделяемой при сгорании теплоты и индикаторную мощность, развиваемую двигателем при пуске.

Ухудшение условий смесеобразования при пуске приводит к необходимости увеличения энергии электрической искры. Для пусковых режимов подбирается наивыгоднейший угол опережения зажигания.

В дизелях топливо-воздушная смесь образуется непосредственно в цилиндрах после подачи топлива форсункой. Воспламенение смеси происходит под действием высокой температуры в камере сгорания. Вследствие малой продолжительности процесса смесеобразования и отсутствия принудительного зажигания топливо-воздушной смеси пуск дизелей осуществить сложнее.

Пуск дизелей улучшается с увеличением цетанового числа топлива, по которому оценивают его способность к воспламенению. При низких температурах большую роль играет испаряемость дизельного топлива. Пусковые свойства дизельного топлива оценивают по температуре выкипания 50% фракций или по количеству фракций, выкипающих до температуры 300°C.

Температура в цилиндре в момент подачи топлива должна превышать температуру самовоспламенения топлива, чтобы период задержки воспламенения был меньше времени, отводимого при пуске на образование смеси и развитие предпламенных реакций. При пусковых частотах в режиме электростартерного пуска с большой неравномерностью вращения коленчатого вала резко увеличивается продолжительность процессов сжатия,

что вызывает соответствующий рост утечек тепла и рабочего заряда и снижение температуры и давления в цилиндрах в конце такта сжатия.

Достаточные для воспламенения топливо-воздушной смеси давление и температура в цилиндрах дизелей достигаются благодаря большей, чем у бензиновых двигателей, степени сжатия и увеличенной частоте вращения коленчатого вала пусковым устройством.

Надежность пуска дизеля повышается за счет надлежащего подбора диаметра и числа сопловых отверстий распылителя форсунки, правильной ориентации распылителя в камере сгорания, увеличения давления впрыскивания и количества подаваемого топлива, а также подбора наилучшего для пуска угла опережения подачи топлива.

Пусковые качества автомобильных двигателей оценивают по минимальной пусковой частоте вращения коленчатого вала. Минимальная пусковая частота вращения - это наименьшая частота вращения коленчатого вала, при которой пуск двигателя в заданных условиях происходит за две попытки пуска продолжительностью по 10 с для бензиновых двигателей и по 15 с для дизелей с перерывами между попытками в 1 мин.

Минимальные пусковые частоты определяются по зависимости времени пуска от средней частоты вращения коленчатого вала. Требуемые пусковые частоты для автомобильных бензиновых двигателей - 40-85 мин<sup>-1</sup>, а для дизелей - 50-200 мин<sup>-1</sup>. Минимальные пусковые частоты увеличиваются с понижением температуры, увеличением вязкости масла и заметно снижаются при увеличении числа цилиндров двигателя и использовании устройств для облегчения пуска.

### **Выбор электрической системы пуска**

Тип системы пуска определяет используемая энергия и конструкция основного пускового устройства (стартера). Для пуска автомобильных двигателей используют системы электростартерного пуска. Они надежны в работе, обеспечивают дистанционное управление и возможность

автоматизации процесса пуска двигателей с помощью электронных устройств, (например, системы старт-стоп, системы дистанционного прогрева ДВС).

Структуры схем систем электростартерного пуска представлена на рис.1. В системах управления электростартером предусмотрены электромагнитные тяговые реле, дополнительные реле и реле блокировки, обеспечивающие дистанционное включение, автоматическое отключение стартера от аккумуляторной батареи после пуска двигателя и предотвращение включения стартера при работающем двигателе.

Источником энергии в системах электростартерного пуска является стартерная аккумуляторная батарея – химический источник постоянного тока, поэтому в электростартерах используют электродвигатели постоянного тока. Характеристики стартерного электропривода с электродвигателями постоянного тока последовательного, смешанного или независимого (для стартера с постоянными магнитами) возбуждения хорошо согласуются со сложным характером нагрузки, создаваемой поршневым двигателем при пуске. Происходит это по следующим причинам. Баланс напряжений в якорной цепи стартера описывается уравнением:

$$U = E + I_{\text{я}} R_{\text{я}}$$

где  $U$  – напряжение аккумулятора,  $E$  противоЭДС (встречная ЭДС) стартера,  $I_{\text{я}}$  – ток в якорной цепи,  $R_{\text{я}}$  – полное сопротивление якорной цепи. Крутящий момент стартера равен:

$$M = k\Phi I_{\text{я}}$$

где  $\Phi$  – магнитный поток возбуждения,  $k$  – конструктивный коэффициент. ПротивоЭДС равна:

$$E = 2\pi n\Phi I_{\text{я}}$$

где  $n$  – обороты стартера. Максимальный ток якоря  $I_{я}$  будет когда  $n = 0$ , т.е. в момент включения, а значит и крутящий момент стартера будет максимальным в начале вращения, уменьшаясь при увеличении оборотов. Обороты стартера будут увеличиваться до тех пор, пока уменьшающийся крутящий момент не сравняется с тормозным моментом проворачивания ДВС. При этом значение  $E$  будет обязательно меньше значения  $U$ , а  $I_{я}$  примет установившееся, соответствующее крутящему моменту, значение.

Схема системы пуска приведена на рис. 2. Стартерный электродвигатель получает питание от аккумуляторной батареи через замкнутые контакты 2 (рис. 2) тягового электромагнитного реле. При замыкании контактов выключателя  $S$  стартера, дополнительного реле или реле блокировки втягивающая 3 и удерживающая 4 обмотки тягового реле подключаются к аккумуляторной батарее  $GB$ . Якорь 5 тягового реле притягивается к сердечнику электромагнита и с помощью штока 6 и рычага 7 механизма привода вводит шестерню 10 в зацепление с зубчатым венцом 11 маховика двигателя.

В конце хода якоря 5 контактная пластина 2 замыкает силовые контактные болты 1, и стартерный электродвигатель 12, получая питание от аккумуляторной батареи, приводит во вращение коленчатый вал двигателя.

После пуска двигателя муфта свободного хода 9 предотвращает передачу вращающего момента от маховика к валу якоря электродвигателя. Шестерня привода не выходит из зацепления с венцом маховика до тех пор, пока замкнуты контактные болты 1. При размыкании выключателя  $S$  втягивающая и удерживающая обмотки тягового реле подсоединяются к аккумуляторной батарее встречно-последовательно через силовые контактные болты 1. Так как число витков у обеих обмоток одинаково и по ним при последовательном соединении проходит один и тот же ток, обмотки при разомкнутом выключателе  $S$  создают два равных, но противоположно направленных магнитных потока.

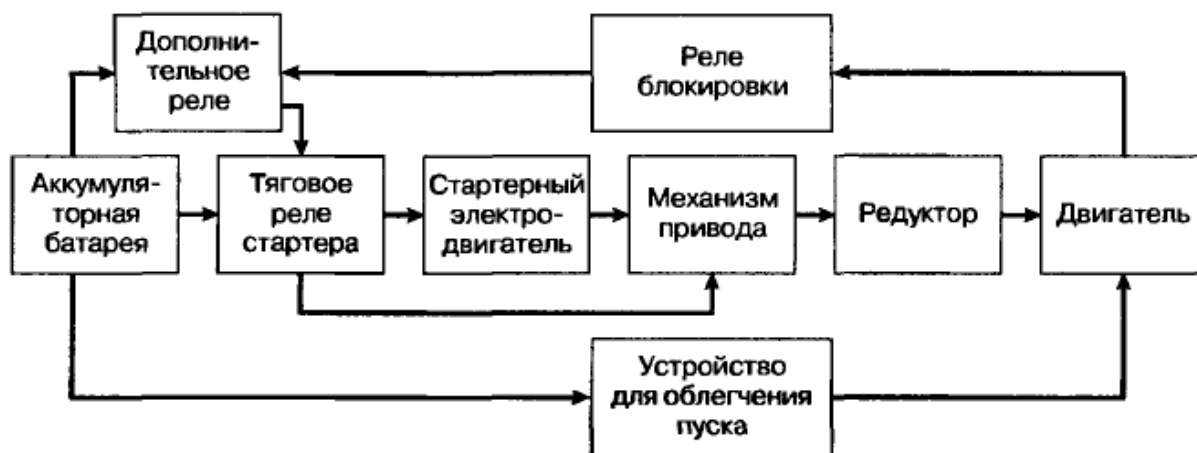


Рис. 1. Структурная схема электрической системы пуска

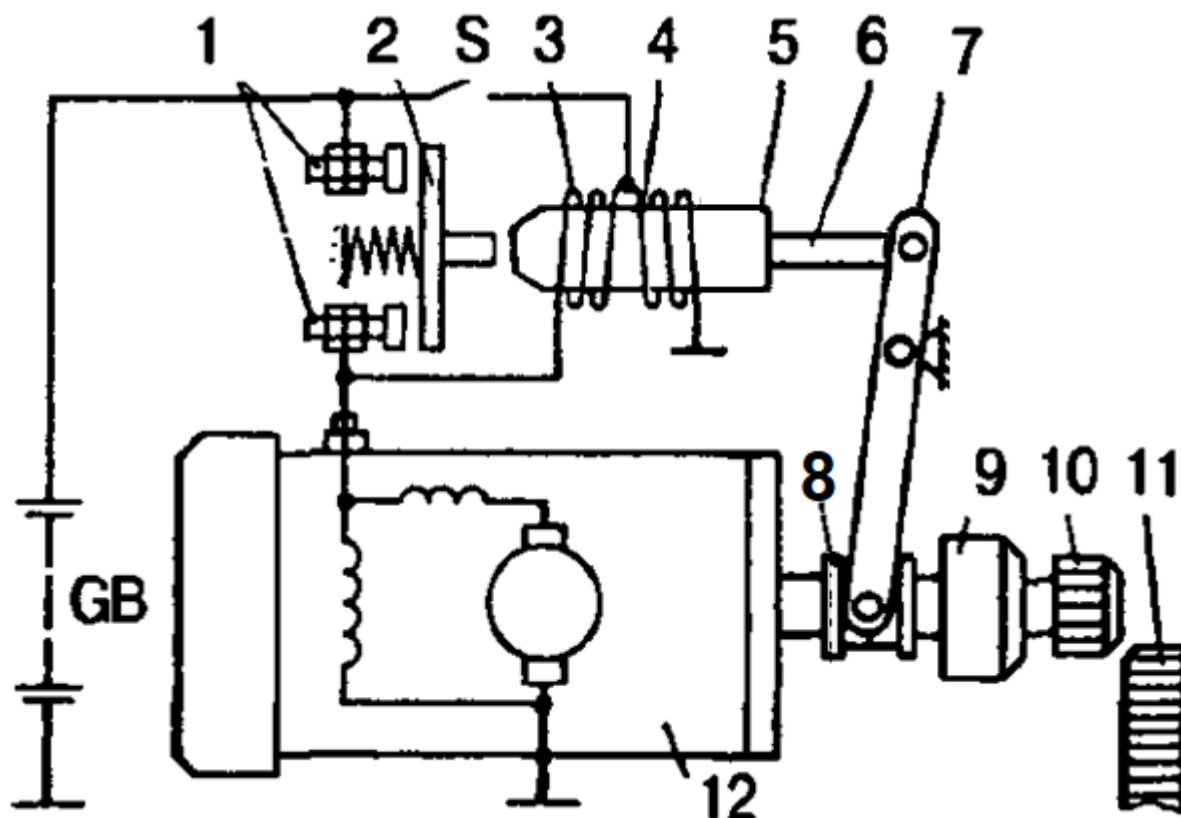


Рис. 2. Схема включения электростартера:

1 - контактный болт; 2 - подвижный контактный диск; 3,4-соответственно тягивающая и удерживающая обмотки тягового реле; 5 -якорь тягового реле; 6 - шток; 7 -рычаг привода; 8 - поводковая муфта; 9 - муфта свободного хода; 10-шестерня привода; 11 -зубчатый венец маховика; 12 -стартерный электродвигатель

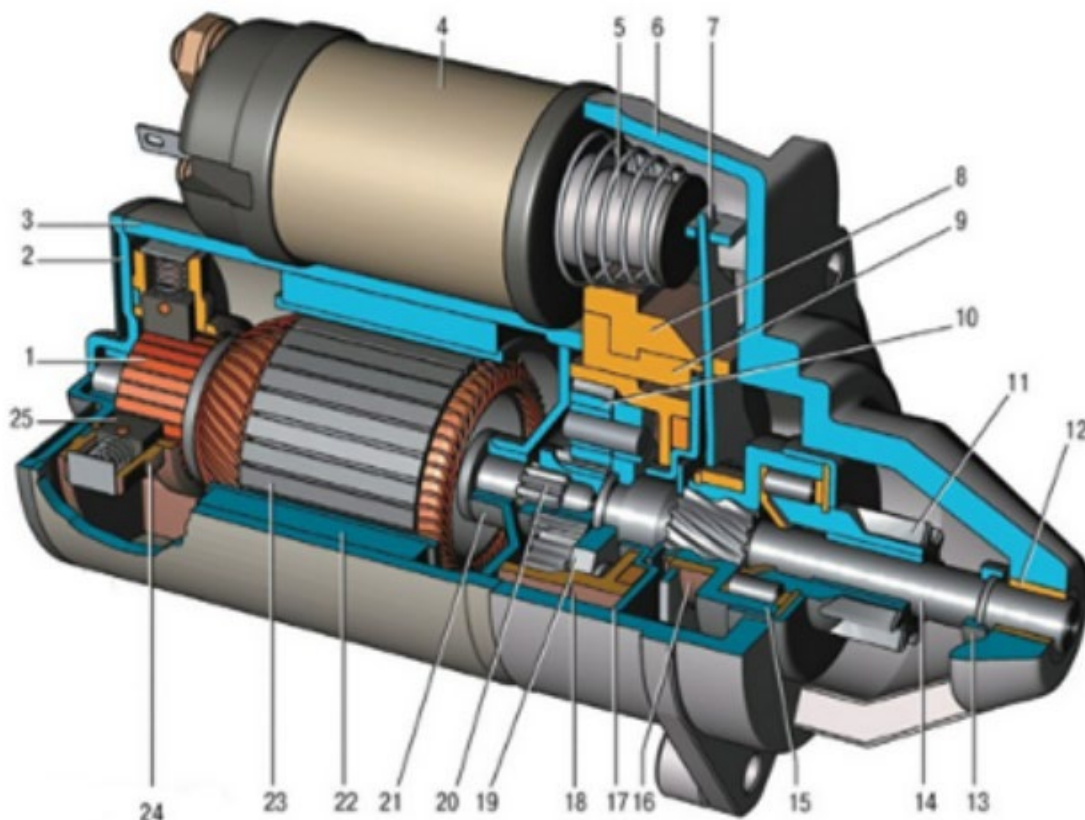
Сердечник электромагнита размагничивается, возвратная пружина перемещает якорь 5 реле в исходное нерабочее положение и выводит шестерню 10 из зацепления с зубчатым венцом маховика. При этом размыкаются и силовые контактные болты 1. Система запуска, устанавливаемая на бензиновые и дизельные двигатели, имеет аналогичную конструкцию.

Режим работы стартера кратковременный, поэтому и конструкция стартера, и параметры аккумуляторной батареи рассчитаны на кратковременное включение режима «пуск ДВС». Современные автомобили имеют время запуска двигателя в среднем 0,8 с, это обеспечивает, как правило, ресурс работы стартера соответствующий сроку эксплуатации автомобиля. Тяговое реле стартера должно втягивать в зацепление шестерню бендикса при напряжении 9В (или 18В при бортовой сети на 24В) и удерживать замкнутыми силовые контакты при снижении напряжения до 5,4В (или до 10,8В при бортовой сети на 24В).

На рис.3 приведена конструкция стартера с возбуждением от постоянных магнитов. В этом случае не нужны обмотки возбуждения и нет цепей для их запитывания. Постоянные магниты могут быть из феррита бария или феррита стронция, тогда как правило стартер имеет встроенный редуктор с коэффициентом передачи 3 – 5.

Редукторы бывают с цилиндрическими шестернями с внешним зацеплением, с внутренним зацеплением и используют иногда планетарный редуктор. Высокие обороты стартера требуют балансировки ротора, а также пропитки обмотки ротора эпоксидным компаундом, во избежание их разноса.

Стартеры в которых для повышения крутящего момента постоянные магниты выполнены на основе сплава железо-неодим-бор, имеющего высокую коэрцитивную силу могут быть без редуктора. Конструкция такого стартера приведена на рис. 3.

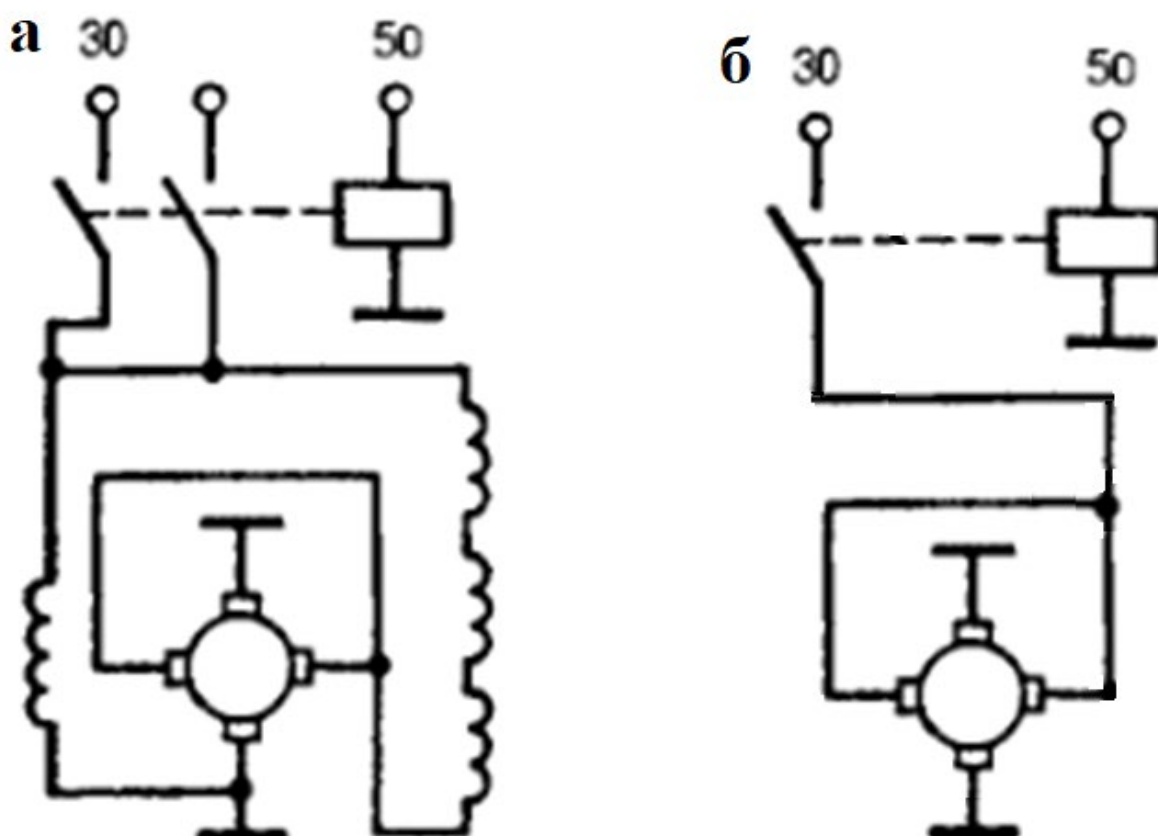


**Рис. 3. Конструкция стартера с возбуждением от постоянных магнитов**

1-коллектор; 2-задняя крышка; 3-корпус статора; 4-тяговое реле; 5-якорь реле; 6-крышка со стороны привода; 7-рычаг; 8-кронштейн рыча; 9-уплотнительная прокладка; 10-планетарная шестерня; 11-шестерня привода; 12-вкладыш крышки; 13-ограничительное кольцо; 14-вал привода; 15-обгонная муфта; 16-проводковое кольцо; 17-опора вала привода с вкладышем; 18-шестерня с внутренним зацеплением; 19-водило; 20-центральная шестерня; 21-опора вала якоря; 22-постоянный магнит; 23-якорь; 24-щеткодержатель; 25-щетка

Щеточно-коллекторный узел выполнен может быть с цилиндрическим или торцевым коллектором. Щетки обычно медно-графитовые, в стартере применяют 4 щетки, что вдвое снижает ток через щетки. Соединяют щетки по схеме, приведенной на рис.4.





**Рис.4** Схема соединения щеток стартера.

а – для смешанного возбуждения,

б – для возбуждения от постоянных магнитов

### **Устройства, облегчающие пуск при низких температурах**

В дизельных двигателях перед холодным пуском включают для прогрева воздуха в цилиндрах ДВС свечи накаливания (на 1 – 2 минуты). В дизельных ДВС малой мощности используют свечи накаливания для подогрева воздуха во впускном коллекторе. Свечи накаливания обеспечивают возможность пуска дизелей до  $-10 \dots -17^{\circ}\text{C}$ . В тяжелых грузовиках используют электрофакельные устройства подогрева. Свечи там используют только для поджига воздушно-топливной смеси, подаваемой через

электромагнитные клапаны во впускной коллектор. При более низких температурах необходим подогрев охлаждающей жидкости ДВС

Предпусковые подогреватели охлаждающей жидкости бывают электрические и работающие на топливе для ДВС. Электрические подогреватели работают от сети переменного тока. Электрические нагреватели для подогрева охлаждающей жидкости устанавливают либо в блок, либо в специальный небольшой котел, соединенный шлангами с системой охлаждения. Такие подогреватели подогревают охлаждающую жидкость до 60...80°C, после чего выключаются с помощью автоматики.

Предпусковые подогреватели на топливе автомобиля (Webasto, Ebersprecher) содержат топливный насос, насос охлаждающей жидкости, свечу накаливания и автоматику. Такие подогреватели могут включаться по таймеру или с помощью дистанционного управления.

. Применяют для облегчения пуска также устройства для подачи пусковой жидкости («Арктика» для бензиновых и «Холод-40» для дизельных ДВС) во впускной коллектор. Это можно делать вручную, впрыскивая перед пуском жидкость из аэрозольного баллончика в воздухозаборник, или, если в автомобиле есть специальное приспособление, дистанционно, с водительского места во время пуска двигателя.

### **Системы старт-стоп**

Системы старт-стоп предназначены для исключения работы ДВС в режиме холостого хода с целью уменьшения вредных выбросов и экономии топлива. Системы старт-стоп вначале устанавливали только на премиальных автомобилях, сейчас устанавливают и на массовых автомобилях.

Системы старт-стоп в основном представлены системами с усиленным традиционным стартером (рис.5) и системами со стартером-генератором,



**Рис. 5. Усиленный стартер для системы старт-стоп**



**Рис. 6. Стартер-генератор системы старт-стоп.**

связанным с ДВС поликлиновой ременной передачей (рис.6). В последнем случае остается и традиционный стартер, который используют для холодного пуска, а стартер-генератор используют только на прогревом двигателе. Такой стартер-генератор изображен на рис. 6, он обеспечивает более быстрый и бесшумный пуск.

Системы старт-стоп фирмы Bosch (системы «Start&Stop») содержат в основе усиленный стартер, который имеет увеличенный срок службы (рассчитан на большое количество пусков двигателя) и повышенный крутящий момент. Стартер также оборудован специальным малошумным механизмом привода, который гарантирует быстрый, надежный и многократный запуск двигателя. Система «Start&Stop» выполняет функции остановки и запуска двигателя, имея кроме усиленного стартера, еще блок контроля уровня заряда аккумуляторной батареи. Система не имеет собственного электронного блока управления, а использует возможности блока управления двигателем, где установлено соответствующее программное обеспечение.

Благодаря тому, что составляющие системы «Start&Stop» по габаритам не больше, чем обычные компоненты, система фирмы «Bosch» может быть без труда интегрирована практически в любое транспортное средство. Однако некоторые узлы и системы потребовали дополнительной адаптации для работы в режиме старт-стоп. Частые отключения и запуски не служат долговечности узлов автомобиля, поэтому производители позаботились о том, чтобы двигатели были приспособлены для работы с системой «старт-стоп».

Чтобы иметь возможность работать должным образом (и в течение длительного времени), автомобили с системой «Старт-Стоп» оснащены батареями с улучшенными характеристиками конструкции EFB (Enhanced Flooded Battery), которые выдерживают гораздо больше циклов запуска двигателя. Для обеспечения повышенного числа запусков двигателя применяются специальные аккумуляторы. Электролит в таких устройствах находится внутри пор стекловолоконной ткани, проложенной между

пластинами батареи Такая технология называется AGM (Absorbent Glass Mat). Аккумуляторы не требуют обслуживания и обеспечивают возможность глубокого разряда, а также повышенную силу тока при запуске.

Система старт-стоп отключается, когда недостаточно заряжен аккумулятор. Для этого в автомобиле установлена система учета энергии поступившей на зарядку аккумулятора и энергии, взятой из аккумулятора.

Система старт-стоп выключает ДВС при остановке автомобиля и запускает при нажатии на педаль акселератора. Задержку при начале движения система старт-стоп вносит небольшую, но тем не менее иногда эта задержка становится нежелательной, поэтому система старт-стоп может быть выключена водителем в сложной дорожной обстановке, например, при повороте налево на нерегулируемом перекрестке с интенсивным встречным движением.

Системы старт-стоп стоят также на всех гибридных автомобилях, но там, как правило, движение начинается на электроприводе, и, поэтому, задержки при начале движения нет.