

Сигнал ШИМ задается вручную или, если необходима стабилизация выходного напряжения, через обратную связь от сравнивающего органа.

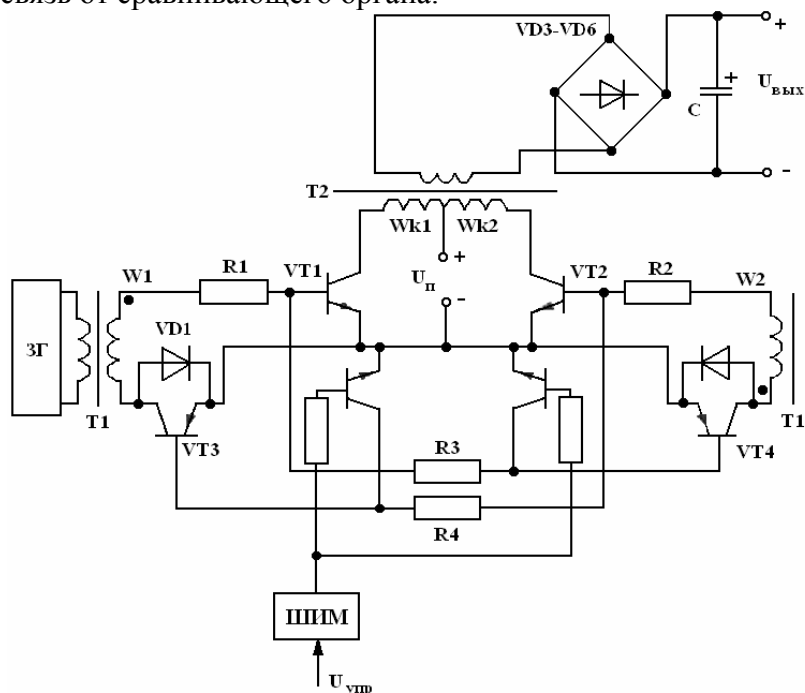


Рис.4. Регулируемый по напряжению высокочастотный преобразователь

### **Структура и взаимосвязь факторов точности деталей, сопряжений и пути снижения погрешностей при изготовлении ДВС**

к.т.н., доц. Санаев Н.К.

*Дагестанский государственный технический университет*

Точность деталей принято оценивать по уровню соответствия линейных и диаметральных размеров, пространственной взаимной координации поверхностей и их осей, микро и макрогеометрии поверхностей, твердости и микроструктуры материала, требованиям, установленным в чертежах.

Однако при установлении последнего соответствия в зависимости от квалификации и опыта работы конструктора, полноты информации о модели функционирования деталей сопряжении в узле, в двигателе и от целого ряда других факторов допускаются погрешности, которые могут наследоваться в ходе изготовления и эксплуатации дизеля. И эту точность на данном этапе можно назвать конструкторской точностью.

Для реализации конструкторской точности поршневого двигателя внутреннего сгорания требуется разработать, оснастить и выполнить не менее 130 тысяч технологических операций изготовления и контроля, и при этом неизбежно отмечается разброс размеров деталей в пределах установленных допусков. Наследуются эти погрешности в зависимости от технологической точности станков и приспособлений, контрольно-измерительных средств, а также погрешностей, обусловленных недостаточностью опыта и квалификации технологов при разработке технологических процессов и осуществления подготовки производства, несоблюдения технологических требований при изготовлении и контроле качества деталей исполнителями, в том числе занятыми на вспомогательных производственных операциях. В результате к конструкторским погрешностям добавляются погрешности технологические и производственные, что позволяет выделить отличные от конструкторской точности технологическую точность и производственную точность, а отличие зависит от суммы унаследованных погрешностей из-за технологических и производственных нарушений. Так, из проверенных в

течение двух лет 5453 основных деталей кривошипно-шатунного механизма (КШМ) дизелей 4ч8,5/11 и 6ч9,5/11 погрешности, обусловленные технологическими и производственными нарушениями, имели 927 деталей, что составляет 17% , из которых 11 % приходились на технологические факторы, а 6 % - на производственные нарушения.

На сборку КШМ и дизеля поступают детали, изготовленные на конкретном производстве с характерным для него уровнем качества, где в ходе сборки, обкатки и испытания узлов, агрегатов, механизмов и дизеля детали подвергаются монтажным, тепловым и нагрузочным деформациям, от монтажных и внутренних сил , сил давления газов и сил инерции масс деталей, совершающих возвратно-поступательные движения , центробежных и инерционных сил масс деталей, совершающих вращательное движение, и сил трения в подвижных сопряжениях. В результате к конструкторским, технологическим и производственным погрешностям добавляются погрешности, обусловленные деформациями деталей и сопряжений под действием монтажных усилий в ходе сборочно-монтажных операций, погрешности, обусловленные тепловыми и нагрузочными деформациями и неудовлетворительной защитой поверхностей трения деталей от литейных, технологических, производственных и обкаточных загрязнений в первые часы работы при приемо-сдаточных испытаниях. При успешном завершении последних дизель упаковывается, транспортируется до потребителя, где после его распаковки и монтажа на объекте перед вводом в эксплуатацию подвергают обкатке в течение 60-100 часов на долевых нагрузках. По завершении этих работ к перечисленным погрешностям добавляются погрешности, обусловленные некачественным выполнением транспортно-монтажных операций и изменением размеров микро- и макрогеометрии поверхностей трения подвижных сопряжений в ходе эксплуатационной обкатки.

В связи с изложенным можно выделить еще 4 вида точности:

- по завершении сборочно-монтажных операций – сборочно-монтажную точность;
- по завершении приемо-сдаточных испытаний – испытательную точность;
- по завершении транспортно-монтажных операций на объекте – транспортно-монтажную точность;
- по завершении эксплуатационной обкатки – исходную эксплуатационную точность.

Закономерности появления погрешностей конструкторских, технологических, производственных, сборочно-монтажных, испытательных, транспортно-монтажных, эксплуатационно-обкаточных и изменение точности деталей и сопряжений в ходе всего цикла создания дизеля крайне велика, особенно для отечественных заводов, а исходная эксплуатационная точность является одним из ведущих факторов, определяющих характер и динамику износа сопряжений, а также и срок их службы в двигателе. Отмечаемый в эксплуатации значительный разброс ресурса до переборки дизелей одной и той же модели во многом объясняется различием их исходной эксплуатационной точности.

С момента ввода дизеля в эксплуатацию начинается отчет срока службы деталей и сопряжений, а также постепенное и непрерывное изменение микро и макро геометрии деталей, вследствие изнашивания трущихся поверхностей под действием нагрузок сил давления газов, сил инерции движущихся масс и сил трения.

Таким образом, обеспечение точности деталей и сопряжений дизеля – задача многогранная и состоит из нескольких взаимосвязанных аспектов, объединяющих большое количество конструкторских, технологических, производственных, эксплуатационных факторов, оказывающих влияние на формирования погрешностей при изготовлении, сборке, испытании, обкатке и вводе в эксплуатацию.

Рабочие поверхности подвижных соединений деталей дизеля, его агрегатов и узлов изготовлены, в лучшем случае, с неровностями в пределах заданных классов шероховатости. Поэтому в первые часы работы дизеля, площадь поверхности контакта подвижных сопряжений и удельные давления в соединении зависят от суммарных площадей выступов неровно-

стей по шкале  $R_a$  или реже по шкале  $R_z$ . Эти площади можно увеличить как изготовлением поверхностей деталей с чистотой, обеспечивающей требуемое срабатывание металла по металлу без длительной эксплуатационной обкатки, так и изготовлением деталей с меньшими затратами в производстве и назначением относительно продолжительной обкатки перед вводом дизеля в эксплуатацию.



**Рис. 1. Структура и взаимосвязь факторов, формирующих исходную эксплуатационную точность деталей и сопряжений ДВС.**

Первое увеличивает стоимость изготовления, а второе повышает затраты в эксплуатации. Так, например, отечественные автомобильные двигатели ЗМЗ, УАЗ, ВАЗ согласно руководству по эксплуатации приходится обкатывать на долевых нагрузках в течение времени необходимого для пробега автомобилем 10000 км, а дизели ч8,5/11 и ч 9,5/11 в течение 60 ч., тогда как продолжительность обкатки автомобилей производства Японской фирмы «НИССАН» с двигателями с искровым зажиганием CR12ДЕ; CR 14ДЕ; HR16ДЕ или дизелем К9К составляет всего 1600 км пробега, что в 6,25 раза меньше. Сокращение продолжительности эксплуатационной обкатки до минимальных значений характерны для двигателей производства ведущих зарубежных фирм.

Из анализа этих данных следует, что, чем ниже уровень конструкторской, технологической, производственной, сборочно-монтажной, испытательной точности деталей, тем больше времени требуется для приработки деталей и сопряжений, соответственно приходится назначать более длительные продолжительности или пробеги транспортных средств для эксплуатационных обкаток и наоборот.

Исследования точности деталей КШМ дизелей ч8,5/11 и ч9,5/11, выполненные путем

определения закона распределения параметра точности, поля рассеяния и сопоставления последнего с техническим допуском с использованием законов распределения: Гаусса, Шарлье, Релея и законов модуля разности и некруглости, показали, что:

- на предварительных черновых операциях, где снимается значительная часть припуска, наблюдается несимметричность кривых распределения диаметральных размеров, а погрешности обработки зависят от материала заготовки, режимов резания и технологического метода обработки;
- при чистовых и финишных операциях обработки графики распределения погрешностей диаметральных и линейных размеров оказывается более симметричными, что объясняется существенно меньшими припусками обработки;
- погрешности диаметральных и линейных размеров хорошо описываются графиками нормального распределения (законом Гаусса), а коэффициенты эксцесса и асимметрии не превышают своих утроенных ошибок, что позволяет относить распределение к симметричным.

В отличие от диаметральных и линейных размеров, погрешности которых являются случайными функциями, геометрические формы и расположения поверхностей характеризуются погрешностями, определяемыми как разность между наибольшими и наименьшими диаметрами в поперечном и продольном сечениях. Закон распределения их определяется путем выравнивания экспериментальных графиков по закону Релея, а затем последовательно по закону модуля разности и по закону некруглости.

В результате графики погрешностей формы и расположения поверхностей изменили свой вид от резко несимметричного до почти симметричного, а погрешности формы отмечаются у всех исследованных деталей: поршней и втулок цилиндров, отверстий под их установку в блоке цилиндров и отверстий в поршневой и кривошипной головке шатунов, а также осей и поверхностей шатунных и коренных шеек коленчатого вала.

Анализ собранных статистических данных в условиях производства и изучения процесса образования погрешностей позволил установить, что:

- в целом ряде случаев погрешности геометрической формы и расположения поверхностей деталей не укладываются в заданные поля технологического допуска;
- вследствие технологических и производственных факторов погрешности, выходящие за установленные поля допуска, отмечаются у целого ряда деталей, количество которых достигает 17%;
- запас точности деталей и пределы его повышения путем ликвидации производственных нарушений составил 6%, а совершенствованием технологических процессов изготовления – еще 11%.

На основании указанных исследований были откорректированы технологические допуски на нелинейные размеры коленчатого вала, операции термической обработки его ТВЧ, исключены операции холодной правки коленчатых валов и шатунов, схема базирования поршня при выполнении черновых операций была изменена путем разработки специальной оправки, а часть операций технологического процесса изготовления коленчатого вала были переведены на станки с ЧПУ, были внесены изменения и в режимы термической обработки заготовок блок – картеров и в операции монтажа втулок цилиндров в блок – картер, с целью снижения деформаций первых от монтажных усилий и т.д.

С целью совершенствования технологических процессов и стабилизации параметров заданной точности были разработаны перечисленные мероприятия на базе вскрытия механизма образования погрешностей обработки основных размеров блок – картера и втулки цилиндра, поршня и шатуна, коленчатого вала и поршневого пальца, которые позволили существенно уменьшить предельные значения погрешностей до уровня, укладывающегося в поля допусков их размеров.

### Выводы

1. На пути от разработчика до эксплуатационника точность деталей и их сопряжений в дизеле не является постоянной и изменяется вследствие формирования погрешностей в процессе проектирования, разработки технологических процессов и осуществления подготовки производства, изготовления деталей и их сборки, испытания дизеля, транспортировки и монтажа на объекте и обкатки для ввода в эксплуатацию.

2. Вскрытие механизма образования и наследования погрешностей позволяет установить, что запас точности деталей и их количество, не укладывающиеся в поля допусков на размеры, а также вклад в это конструкторских, технологических, производственных, сборочно-монтажных, испытательных, транспортно-монтажных и обкаточных операций - с целью разработки научно обоснованных рекомендаций для достижения заданного или оптимального уровня точности деталей и сопряжений ДВС.

3. Закономерности изменения заданной точности деталей в ходе реализации технологических и производственных циклов изготовления, а также при вводе в эксплуатацию формирует исходную эксплуатационную точность, от которой начинается отчет срока службы деталей и зависит характер и динамика износа поверхностей трения дизеля и его узлов.

### **Математическая модель механизма формирования опорной поверхности движения колесом перекатывающегося типа**

К.т.н., доц. Сергеев А.И., к.ф-м.н., доц. Черный И.В.  
МГТУ «МАМИ», БГИТА

Механизм формирования опорной поверхности с точки зрения механики можно представить трансформацией голономной нестационарной связи в стационарную и удерживающую с формированием при этом траектории деформации контактирующих поверхностей (обод колеса и поверхность движения).

Траектория деформации,  $z^2 - 2(b-p)z + b^2 - r_k^2 = 0$ , являющаяся уравнением связи и представляющая реакцию опорной поверхности системы «колесо - опорная поверхность»  $\bar{R}$  (далее просто системы), полученную двумя пересекающимися поверхностями, (рис. 1) цилиндрической  $x^2 + (z-b)^2 - r_k^2 = 0$  (I) и параболическим цилиндром:  $x^2 - pz = 0$ , (II) где интервалы определения функции по координатам  $x$  и  $z$  выражают смещение системы:

$$-\sqrt{2(b-p)+2\sqrt{(b-p)^2+p^2r_k^2}} \leq x \leq \sqrt{2(b-p)+2\sqrt{(b-p)^2+p^2r_k^2}},$$

$$b-p-\sqrt{p^2-2bp+r_k^2} \leq z \leq b-p+\sqrt{p^2-2bp+r_k^2}.$$

Определим работу силы по формированию траектории деформации и выберем на ней точку  $M$ , определяющую положение мгновенного центра вращения во внешнем потенциальном силовом поле.

Проекция действующего на точку  $M$  внешнего силового фактора  $\vec{F}$  на координатные оси в каждой точке поля можно определить по формулам  $F_x = \partial U / \partial x; F_z = \partial U / \partial z$ , где  $U$  является силовой функцией, зависящей от координат точки  $M$   $U(x, z)$ .

Элементарная работа силы в этом случае на элементарном участке траектории деформации в окрестности точки  $M$  (рис. 2) определяется как скалярное произведение векторов