

*Вольтметр.*

Верхний предел измерений вольтметра равен 220В. Нижний предел равен 50В. Класс точности – 2. Абсолютная погрешность измерения напряжения вольтметром

$$\Delta = \pm \frac{\delta \cdot (x_e - x_n)}{100} = \frac{\pm 2 \cdot (220 - 50)}{100} = \pm 3,4 \text{ В.}$$

*Электронный счетчик оборотов.*

Абсолютная погрешность прибора  $\Delta = \pm 10$  об/мин.

*Газоанализатор.*

Абсолютная погрешность измерения компонентов: углеводов –  $\Delta = \pm 50$  ppm; оксида углерода –  $\Delta = \pm 0,25\%$ ; диоксида углерода –  $\Delta = \pm 0,5\%$ ; кислорода –  $\Delta = \pm 0,5\%$ ; окислов азота –  $\Delta = \pm 50$  ppm. Приведенная погрешность измерения для всех компонентов составляет  $\pm 5\%$ .

*Термопара.*

Относительная погрешность измерения при температуре выше 150°C составляет  $\pm 3\%$ .

*Счетчики расхода воздуха.*

Относительная погрешность составляет  $\pm 3\%$ .

*Измеритель дымности.*

Предел допускаемой абсолютной погрешности  $\pm 2\%$ .

Выбор приборов и методов измерения параметров, необходимых для определения мощностных, экономических, токсических показателей дизеля, оценки теплового баланса, обусловлен их простотой, удовлетворительными для проведения исследований показателями погрешностей измерения и экономической целесообразностью [4]. На стенде проводятся экспериментальные исследования и лабораторные работы по учебным дисциплинам, связанным с изучением ДВС.

### Литература

1. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: Учеб.пособие/Владим.гос.ун-т. Владимир, 2000.-256 с.
2. Перель Л.Я. Подшипники качения: Расчет, проектирование и обслуживание опор: Справочник.- М.: Машиностроение, 1983.-543 с.
3. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания. – М.: Высш.шк.,1975.-320 с.
4. Хлюпин В.Б. Стенд для исследования показателей дизеля при впрыскивании воды//Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики «АНТЭ -07»: Материалы международ. научн.-тех. конф. г.Казань, 2007, с.191-194.

### Многошпиндельный шпильковёрт

д.т.н., проф. Житников Ю.З., к.т.н. Воркуев Д.С.

*КГТА им. Дегтярёва, г. Ковров, ОАО «Завод им. В.А. Дегтярёва», г. Ковров*

Процесс сборки резьбовых соединений можно разделить на два этапа: первый – завинчивание деталей на заданную глубину; второй – затяжка резьбового соединения с заданным моментом и с требуемой точностью.

Первый этап условно может рассматриваться как перемещение деталей на достаточно большой (в пределах нескольких оборотов) угол с относительно большим допуском на него. Второй этап – точное перемещение на малый угол, величина которого определяет требуемое значение момента затяжки соединения, и поэтому допуск на этот угол мал.

На первом этапе момент сопротивления движению изменяется в достаточно узких пределах, в то время как на втором этапе возрастание момента сопротивления движению может быть весьма существенным.

Таким образом, система управления автоматизированной сборкой должна иметь два канала управления крутящим моментом и угловой скоростью рабочего органа: грубый – для обеспечения большого угла поворота детали и точный – для обеспечения требуемого момен-

та затяжки соединения.

Активные итерационные системы базируются на электромеханических следящих приводах в каждом из каналов, управляемыми координатами в них являются чаще всего угловые или линейные перемещения объектов. Построение пассивной системы, управляющей крутящим моментом, должно основываться на электромеханическом приводе вращения рабочего органа, причём следящие системы в каждом из каналов должны базироваться на пассивных чувствительных элементах. Такими элементами являются нелинейные механические устройства – муфты предельного момента (МПМ), муфты свободного хода (МСХ), упругие элементы. Функциональная схема устройства, реализующего итерационный принцип действия в пассивной системе, приведена на рис. 1.

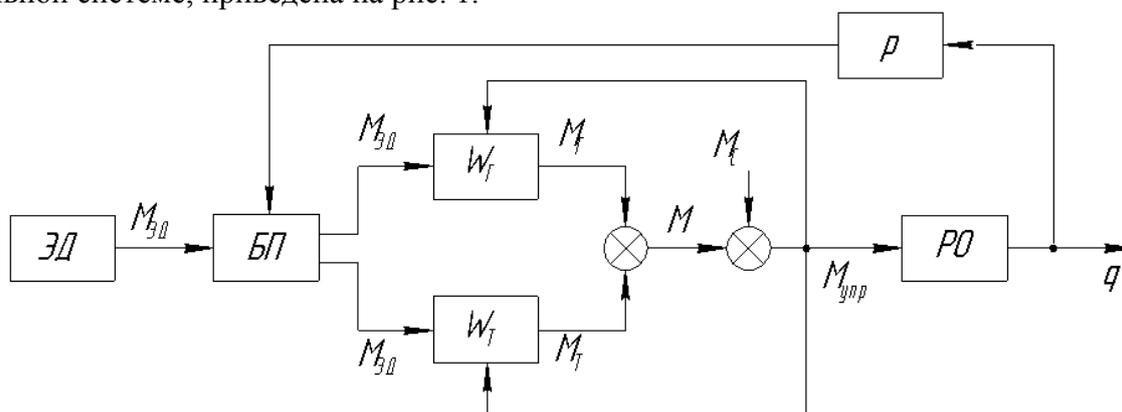


Рис. 1. Функциональная схема итерационной адаптивной системы.

На схеме обозначены: ЭД – электродвигатель; БП – блок переключения;  $W_T, W_G$  – передаточные функции устройств точного и грубого каналов;  $M_G, M_T$  – крутящие моменты, формируемые грубым и точным каналом;  $M_{упр}$  – управляющий момент;  $M_c$  – момент сопротивления движения; РО – рабочий орган;  $q$  – перемещение рабочего органа;  $M$  – момент, формируемый каналами грубого или точного управления;  $M_{ЭД}$  – момент электродвигателя.

Передаточные функции устройств грубого и точного каналов управления должны изменять свои параметры в некоторых диапазонах в зависимости от значения момента сопротивления (или управляющего момента)

$$M_{упр} = M - M_c \quad (1)$$

При изменении момента сопротивления изменяется и  $M_{упр}$ . Изменение параметров грубого или точного каналов должно обеспечивать поддержание разности  $M$  и  $M_c$  на требуемом уровне (в пределе  $M = M_c$ ), т.е. стабилизацию управляющего момента.

Для канала грубого управления изменение выходного момента может быть обеспечено изменением деформации упругого элемента в зависимости от величины момента сопротивления.

Для точного канала управления целесообразно использовать более точный метод формирования выходного момента. Метод импульсного приложения крутящего момента обеспечивает высокую точность момента затяжки. Поскольку невозможно непосредственно измерить момент затяжки с требуемой точностью, его оценка производится комбинированным методом – грубо по моменту затяжки, точно – по углу поворота резьбовой детали. Будем считать, что требуемое значение момента затяжки достигается при угле поворота  $\varphi_3$ . Погрешность угла поворота – это разность между  $\varphi_3$  и действительным углом поворота  $\varphi$ .

$$\Delta\varphi = \varphi_3 - \varphi \quad (2)$$

Полагая  $\Delta\varphi$  малым, можно считать:

$$\Delta\varphi = \omega_{\text{ср}} \Delta t, \quad (3)$$

где:  $\omega_{\text{ср}}$  – среднее значение угловой скорости вращения детали;

$\Delta t$  – время движения детали.

При импульсном приложении момента выполняется закон сохранения момента количества движения детали:

$$M' \Delta t' = I(\omega_1 - \omega_0) = I \Delta\omega, \quad (4)$$

где:  $M'$  – максимальный импульсный момент;

$\Delta t'$  – время приложения момента;

$I$  – момент инерции детали относительно оси вращения;

$\Delta\omega$  – изменение угловой скорости детали от  $\omega_0$  до  $\omega_1$ .

Если при изменении угловой скорости на величину  $\Delta\omega$  деталь поворачивается на угол  $\Delta\varphi$  за время  $\Delta t'$ , то:

$$M' \Delta t' = I \frac{\Delta\varphi}{\Delta t'}, \quad (5)$$

$$\Delta\varphi = \frac{M'}{I} \Delta t'^2 \quad (6)$$

При импульсном приложении момента погрешность угла поворота детали, а, следовательно, погрешность момента затяжки будут равны углу поворота, получаемому при одном импульсе. Таким образом, зависимость (6) определяет погрешность воспроизведения угла затяжки  $\varphi_3$ . В соответствии с этой зависимостью может быть предложен способ управления процессом затяжки. Предположим, что импульсное значение момента примерно постоянно, тогда из формулы (6) следует, что минимальное значение  $\Delta\varphi$  можно получить при малых значениях времени приложения импульсного момента. Если в начале затяжки допускаются относительно большие значения  $\Delta\varphi$ , а в конце этапа – предельно достижимые (равные заданным), то устройство канала точного управления должно обеспечить изменение времени приложения импульсных моментов в зависимости от значения  $M'_{\text{упр}}$ . При этом достигается адаптация точностных показателей канала управления к реальному моменту сопротивления в допустимых пределах. Импульсный метод приложения крутящего момента осуществляется введением таких устройств, как кулачковый механизм, МСХ и упругие элементы в канале точного регулирования момента.

На рис. 2 приведена схема устройства автоматизированного наживления и затяжки шпилек [2].

Вращение от выходного вала 10 двигателя 12 через зубчатые колёса 9 и 11 передаётся обойме 26, имеющей на внутренней поверхности кулачки 28. Кулачок 28 вступает во взаимодействие с подшипником 27, установленным на рычаге 29.

При этом рычаг поворачивается вокруг оси и зубчатый сектор 30 поворачивает зубчатое колесо 8 вместе со шпинделем 13. Вместе со шпинделем вращается втулка 33 с размещёнными на её нижнем основании 6 упругими элементами кручения 4. Последние поворачивают относительно шпинделя внутреннюю обойму 32 муфты свободного хода, которая совершает свободный ход. Муфта свободного хода имеет наружную обойму 7 и кулачки 31. Начальный угол деформации упругих элементов задаётся вращением червяка 35, установ-

ленного на верхнем основании 34 втулки 33. Червяк поворачивает червячное колесо 1, которое поводками 2, проходящими через отверстия 3 в верхнем основании, закручивает упругие элементы.

При этом упругие элементы закручиваются на угол, пропорциональный моменту сопротивления на шпинделе. Пока момент сопротивления не превышает некоторого предельного значения  $M$ , угол поворота рычага недостаточен для того, чтобы подшипник мог выйти из контакта с кулачком. В пределах профиля кулачка обеспечиваются различные деформации упругих элементов в зависимости от моментов сопротивления на шпинделе. Тем самым обеспечивается регулирование выходного момента грубого канала управления. Механизм прерывистого движения, планетарный механизм (сектор 30, колесо 8, обойма 32) и втулка 33 вращаются как единое целое вместе со шпинделем и дифференциалом, состоящим из водила 24, сателлитов 23, 16, зубчатых колёс 15, 21 и обеспечивающим вращение каждого из выходных валов 22, 19 с патронами 20 через зубчатые колёса 14, 25 и 17, 18 соответственно.

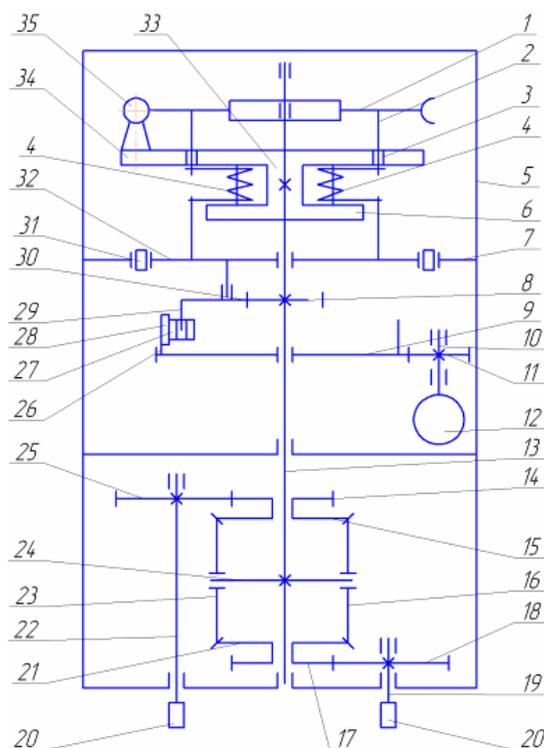


Рис. 2.

С увеличением момента сопротивления движению деталей угол поворота рычага увеличивается и при  $M > M_{\text{пред}}$  оказывается достаточным для того, чтобы подшипник вышел из контакта с кулачком. Под воздействием момента сил упругости элементов внутренняя обойма механизма свободного хода стремится повернуться в обратную сторону, что приводит к включению последней и запасённый момент упругих сил прикладывается относительно корпуса 5 к шпинделю.

Кулачок, продолжая движение вместе с обоймой 26, через некоторое время снова входит в контакт с подшипником, и процесс деформации упругих элементов продолжается. Время свободного движения кулачка зависит от относительной скорости вращения подшипника. За время между последовательными взаимодействиями кулачка с подшипником упругие элементы успевают полностью или частично отдать шпинделю потенциальную энергию, накопленную за предыдущий цикл деформации, поворачивая при этом шпиндель на некоторый угол. Время между двумя взаимодействиями кулачка с подшипником определяется относительной угловой скоростью вращения шпинделя, и, следовательно, моментом сопротив-

ления движению рабочего органа. С возрастанием момента сопротивления движения рабочего органа, т.е. с замедлением движения шпинделя (уменьшением его относительной угловой скорости), время между двумя взаимодействиями кулачка и подшипника становится меньше и угол поворота шпинделя уменьшается. Таким образом, обеспечивается импульсное регулирование крутящего момента и угловой скорости вращения шпинделя.

Следовательно, обоснована кинематическая схема многошпиндельного шпильковёрта с пассивными средствами адаптации при завинчивании и затяжке шпилек.

### Литературы

1. Сазыкин, Ю.М. Адаптивная система для групповой сборки резьбовых соединений / Ю.М. Сазыкин, А.Л. Симаков, Б.Ю. Житников // Сборка в машиностроении, приборостроении. – М.: 2001. – № 9.
2. Житников, Б.Ю. Методология разработки универсальных, высокоточных, многошпиндельных завинчивающих устройств нового класса: Монография / Б.Ю. Житников, А.Л. Симаков. Под общ. ред. Ю.З. Житникова. – Ковров: ГОУ ВПО «КГТА», 2002. – 216 с.

### Расчет погрешностей осевых сил затяжки двухшпиндельным гайковёртом

д.т.н., проф. Житников Ю.З., к.т.н. Воркуев Д.С., Шмагин А.А.

КГТА им. В.А. Дегтярёва, ОАО «Завод им. В.А. Дегтярёва», г. Ковров

Точность затяжки резьбовых соединений многошпиндельными гайковёртами на основе муфт предельного момента, дифференциального механизма и механизмов свободного хода.

Кинематическая схема четырёхшпиндельного гайковёрта представлена на рис. 1.

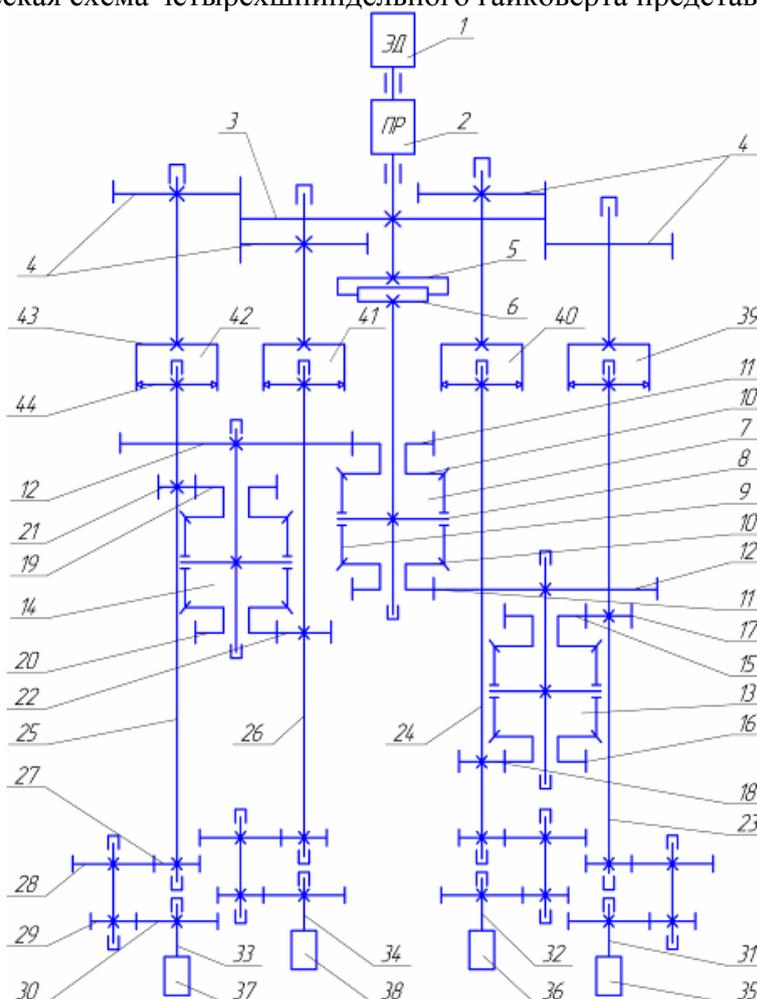


Рис. 1.

На рис. 1 обозначено: 1 – электродвигатель; 2 – планетарный редуктор; 5, 6 – муфта предельного момента кулачкового типа; 39, 40, 41, 42 – механизмы свободного хода храпового типа; 43 – ведущая обойма с собачкой; 44 – ведомая обойма с храповым колесом; 7, 13, 14 – дифференциальные механизмы, в которых 8 – ось саттелитов 9 и сдвоенные шестерни 10, 11; 31, 32; 33, 34 – шпиндели гайковёрта; 35, 36, 37, 38 – патроны для удержания резьбовых деталей; 23, 24, 25, 26 – центральные валы гайковёрта, а остальные позиции соответствуют зубчатым колёсам и шестерням.

В процессе работы многшпиндельного гайковёрта на этапе предварительной и окончательной затяжки резьбовых соединений возникают погрешности осевых сил затяжки, которые могут привести к некачественной сборке.

На этапе предварительной затяжки возникают следующие погрешности осевых сил от:

$\delta Q_k$  – кинематической погрешности угла поворота шпинделя;

$\delta Q_{mx}$  – мертвого хода в зубчатых передачах и зазоров в осях вращения;

$\delta Q_b$  – нестабильности срабатывания муфт предельного момента;

$\delta Q_I$  – величины приведенного к оси шпинделя момента инерции вращающихся частей ветвей гайковёрта, патрона для удержания резьбовой детали и самой резьбовой детали;

$\delta Q_w$  – величины начальной угловой скорости вращения резьбовой детали в процессе предварительной затяжки;

$\delta Q_{kc}$  – выбора кинематической схемы гайковёрта;

$\delta Q_{mc}$  – нестабильности моментов сопротивления в резьбовых соединениях при затяжке;

$\delta Q_{nc}$  – неодновременности начала предварительной затяжки, возникающей от неодновременности начала автоматизированного наживления резьбовых деталей и различной длины их завинчивания;

$\delta Q_{\Delta I}$  – разности приведенных к осям шпинделей моментов инерции вращающихся частей, ветвей гайковёрта, патрона и резьбовой детали;

$\delta Q_{\Delta w}$  – пульсации угловой скорости вращения шпинделей гайковёрта в процессе предварительной затяжки в зависимости от пульсации скорости вращения ротора электродвигателя и наличия кинематических погрешностей угла поворота.

На этапе окончательной затяжки резьбовых соединений возникают следующие погрешности осевых сил от:

$\delta Q'_k$  – кинематической погрешности угла поворота шпинделей;

$\delta Q'_I$  – величины приведенного к оси шпинделя момента инерции;

$\delta Q'_w$  – величины начальной угловой скорости вращения резьбовой детали в процессе окончательной затяжки;

$\delta Q'_{\Delta I}$  – разности приведенных к осям шпинделей моментов инерции вращающихся частей, гайковёрта, патрона и резьбовой детали;

$\delta Q'_{\Delta w}$  – пульсации угловой скорости вращения шпинделей гайковёрта в процессе окончательной затяжки.

Все выше перечисленные погрешности можно разделить на систематические и случайные.

К систематическим погрешностям осевых сил затяжки относятся:  $\delta Q_b$ ,  $\delta Q_I$ ,  $\delta Q_w$ ,