

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ДВУХПРОФИЛЬНОГО КОНТРОЛЯ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ**

**БЕЗОПЕРАТОРНЫХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ**

*Белорусский национальный технический университет*

*ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»*

*Белорусский автомобильный завод*

*Предложена методика по расчету параметров двухпрофильного контроля измерительного межосевого расстояния при неравенстве углов зацепления при измерении и обработке с учетом погрешности измерительных колес. Подтверждено экспериментально влияние этих факторов на оценку точности контролируемых зубчатых колес, погрешность в оценке точности может достигать 25% от фактической точности зубчатых колес.*

Приборы двухпрофильного контроля с записывающими устройствами на основе ЧПУ позволяют с минимальными затратами и высокой точностью без участия квалифицированного оператора обеспечить производственный контроль точности зубчатых колес на различных стадиях изготовления. По ГОСТ 1643-81 для цилиндрических зубчатых колес степеней точности, начиная с 5-ой по 12-ю, рекомендуется использовать двухпрофильный контроль измерительного межосевого расстояния (ИМР).

За рубежом приборы двухпрофильного контроля с ЧПУ используются в массовых производствах зубчатых передач при контроле параметров в системах DIN и AGMA. В отечественных производствах зубчатых передач такие приборы не применяются. Это возможно связано с отсутствием методических рекомендаций по оснащению этих приборов технологической оснасткой и особенностями назначения норм точности в системе ГОСТов.

При контроле на приборах двухпрофильного контроля с записывающими устройствами с ЧПУ результатом контроля зубчатого колеса будет суммарная погрешность зубчатого колеса и всех погрешностей технологического оснащения: точность самого прибора, точность измерительного колеса, точность оснастки и базирования измеряемого колеса. На приборах (межцентромерах) двухпрофильного контроля отечественного производства типа МЦ-400 контролер (оператор) визуально фиксирует одновременно четыре измеряемых параметра и может самостоятельно вносить поправки в результаты контроля. При использовании приборов двухпрофильного контроля с записывающими устройствами с ЧПУ ИМР корректировка результатов измерения невозможна.

Параметрами двухпрофильного контроля по ГОСТ 1643-81 (СТ СЭВ 641-77) для цилиндрических зубчатых колес являются [1]:

- колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса  $F_{ir}''$ ,
- колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе  $f_{ir}''$ ,
- верхнее предельное отклонение измерительного расстояния для зубчатых колес с внешними зубьями  $+E_{a''s}$ ,
- нижнее предельное отклонение измерительного расстояния для зубчатых колес с внешними зубьями  $-E_{a''i}$ .

Опыт использования прямого переноса допусков по вышеперечисленным параметрам согласно ГОСТ 1643-81 в контролируемые параметры на приборе двухпрофильного контроля с записывающим устройством показал, что в результате такого контроля значительная часть зубчатых колес признается негодными, однако они признаются годными при визуальном контроле на межцентромерах типа МЦ-400. Методика расчета параметров двухпрофильного контроля цилиндрических зубчатых передач при использовании приборов двухпрофильного

контроля с записывающим устройством учитывает следующие факторы: угол зацепления при двухпрофильном контроле; разрешающую способность прибора двухпрофильного контроля с записывающим устройством; погрешности измерительного колеса; погрешности технологической оснастки. Только после учета вышеперечисленных параметров производится определение уточненных параметров двухпрофильного контроля  $F_{ir}''$ ,  $f_{ir}''$ ,  $+E_{a''s}$  и  $-E_{a''i}$  для использования их на приборах двухпрофильного контроля с записывающим устройством.

Номинальное измерительное межосевое расстояние определяется как расчетное межосевое расстояние при двухпрофильном зацеплении измерительного зубчатого колеса с контролируемым зубчатым колесом, имеющим наименьшее дополнительное смещение исходного контура. Для определения номинального измерительного межосевого расстояния при двухпрофильном зацеплении для цилиндрических прямозубых колес используется зависимость [2]:

$$A_u = \frac{m(z + z_u) \cdot \cos \alpha_\partial}{2 \cos \alpha_u}, \quad (1)$$

где  $m$  - модуль зубчатого колеса,  $z$  - число зубьев измеряемого колеса,  $z_u$  - число зубьев измерительного колеса,  $\alpha_\partial$  - угол исходного контура,  $\alpha_u$  - угол зацепления измеряемого колеса с измерительным.

Угол зацепления при двухпрофильном контроле по ГОСТ 1643-81 следует учитывать при назначении допуска на колебание межосевого измерительного расстояния  $f_i''$ . Зависимость для определения угла зацепления измеряемого колеса с измерительным при двухпрофильном зацеплении для цилиндрических прямозубых колес имеет вид [2]:

$$\text{inv } \alpha_u = \frac{2 \xi_c \cdot \text{tg } \alpha_\partial}{z + z_u} + \text{inv } \alpha_\partial, \quad (2)$$

где  $\xi_c = \xi_u + \xi + \xi_{\Delta u} + \xi_\Delta$  - сумма коэффициентов смещения исходного контура измерительного и измеряемого колеса, с учетом знака каждого слагаемого;

$\xi_u$  - коэффициент смещения исходного контура измерительного колеса;

$\xi$  - коэффициент смещения исходного контура измеряемого колеса;

$\xi_{\Delta u}$  - дополнительное смещение исходного контура измерительного колеса;

$\xi_\Delta$  - дополнительное смещение исходного контура измеряемого колеса.

Угол зацепления в обработке  $\alpha_{cm}$  определяется по способу финишной обработки зубчатого колеса. При финишном нарезании зубчатого колеса червячной фрезой и шлифовании червячным кругом угол зацепления в обработке  $\alpha_{cm}$  будет равен углу профиля исходного контура  $\alpha_\partial$ , при нарезании долбяком – определяется по зависимостям зацепления двух зубчатых колес. В случае равенства угла зацепления при двухпрофильном контроле  $\alpha_u$  углу зацепления в обработке  $\alpha_{cm}$  циклическая погрешность измеряемого колеса не будет проявляться. Для этого случая следует пользоваться допускаемыми значениями  $f_i''$  по ГОСТ 1643-81. Однако при разности углов  $\alpha_u$  и  $\alpha_{cm}$  будет проявляться циклическая погрешность измеряемого колеса. В этом случае значения допусков  $f_i''$  должны быть увеличены.

В ГОСТ 1643-81 указано, что при неравенстве угла зацепления при измерении и угла зацепления в обработке допуск  $f_i''$  следует изменять на величину  $\Delta f_i''$ , определяемую по формуле:

$$\Delta f_i'' = \frac{f_{zkr} \cdot \sin k(\alpha_{rWm} - \alpha_{rWe})}{\sin \alpha_{rWm}}, \quad (3)$$

где  $f_{zkr}$  - действительная величина циклической погрешности частоты  $K$ , выявляемая при контроле зуборезного станка;  $\alpha_{rWe}$  - угол зацепления в обработке;  $\alpha_{rWm}$  - угол зацепления при измерении.

Разрешающая способность прибора двухпрофильного контроля с записывающим устройством определяется разрешающей способностью датчика линейного перемещения и датчика угловых перемещений измеряемого относительно измерительного зубчатого колеса.

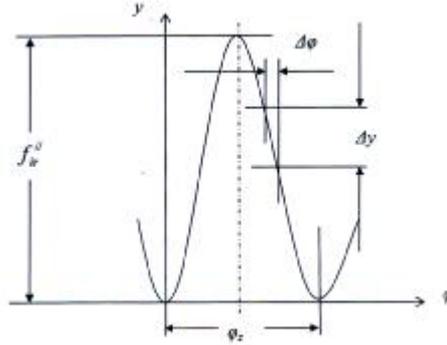


Рисунок 1 – График записи колебания ИМР на одном зубе

Наиболее точным показателем из четырех параметров двухпрофильного контроля является колебание ИМР на одном зубе, что предопределяет обоснование выбора разрешающей способности прибора. Поскольку использование двухпрофильного контроля начинается с 5-ой степени точности по ГОСТ 1643-81, то и обоснование выбора разрешающей способности прибора проводится для обеспечения требуемой точности измерения для зубчатых колес 5 – 7 степеней точности. Колебание ИМР на одном зубе  $f_{ir}''$  имеет вид, представленный на рис. 1.

График записи колебания ИМР на одном зубе представим в виде

$$\Delta y \approx \frac{dy}{d\varphi} \cdot \Delta\varphi \quad \text{или} \quad \Delta y \approx C \cdot \frac{2\pi}{\varphi_z} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\varphi_z} \varphi\right) \cdot \Delta\varphi, \quad (4)$$

где  $\varphi_z = \frac{2\pi}{z}$  - угловое расстояние, соответствующее одному зубу измеряемой шестерни,

$C = \frac{1}{2} \cdot f''_{ir}$  - амплитуда колебаний ИМР при повороте измеряемой шестерни на угол  $j_z$ .

После преобразований суммарная максимальная погрешность измерения колебания ИМР на одном зубе равна

$$df''_{ir} = 2dC = \sum_{k=0}^{\left[\frac{n}{4z}\right]-1} f''_{ir} \cdot \frac{2p}{j_z} \cdot \cos\left(\frac{2p}{j_z} j_k\right) \cdot 0,05 \frac{2p}{n} \quad (5)$$

где  $n$  – число делений датчика угловых перемещений,  $k = \left[\frac{n}{4z}\right]$  - целая часть числа интервалов,  $\varphi_k = k \cdot \Delta\varphi$ ,

Суммарная относительная максимальная погрешность измерения колебания ИМР на одном зубе

$$\frac{\delta f''_{ir}}{f''_{ir}} = 0,1\pi \frac{z}{n} \cdot \sum_{k=0}^{\left[\frac{n}{4z}\right]-1} \cos\left(2k \cdot \pi \cdot \frac{z}{n}\right). \quad (6)$$

Погрешность технологической оснастки следует учитывать при назначении точности базирования с учетом того, что суммарная погрешность их базирования не должна превышать

10...15% соответствующей погрешности зубчатого колеса. Для зубчатых колес 7...9-й степеней точности ориентировочно можно назначать точность базовых поверхностей по табл. 1 [3].

**Таблица 1 – Рекомендуемые нормы точности базирования для цилиндрических зубчатых колес**

Степень кинематической точности по ГОСТ 1643–81	Модуль, мм	Допуск на радиальное биение зубчатого венца при делительном диаметре, мм		Рекомендуемая посадка
		Св. 125 до 400 мм	Св. 400 до 800 мм	
7	6,3...10	0,063	0,080	H6/h5
8	6,3...10	0,080	0,100	H7/h6
9	6,3...10	0,112	0,125	H8/h6

Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса по ГОСТ 1643-81  $F_{ir}''$  определяется как разность между наибольшим и наименьшим действительными межосевыми расстояниями при двухпрофильном зацеплении измерительного зубчатого колеса с контролируемым при повороте контролируемого зубчатого колеса на полный оборот. При комбинировании норм кинематической точности и плавности работы из разных степеней точности допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса определяется по зависимости

$$|F_i''|_{komb} = |F_i'' - f_i''|_F + |f_i''|_f, \quad (7)$$

где допуски, входящие в первое слагаемое с индексом F, принимаются по степени норм кинематической точности. Допуск, входящий во второе слагаемое с индексом f, принимается по степени для норм плавности работы.

В ГОСТ 1643-81 отсутствуют рекомендации по уточнению допуска на колебание ИМР за оборот  $F_{ir}''$  в связи с расширением допуска на колебание ИМР на одном зубе  $f_{ir}''$ , допускаемое ГОСТ 1643-81.

В этом случае уточненный допуск на колебание ИМР за оборот зубчатого колеса будет равен

$$[F_i''] = |F_i''|_{komb} + \Delta f_i'' + F_{r_{изм}}, \quad (8)$$

где  $|F_i''|_{komb}$  - уточненный допуск на колебание ИМР за оборот при комбинировании норм кинематической точности и плавности работы из разных степеней;

$F_{r_{изм}} = F_r \frac{z}{z_n}$  - расчетное радиальное биение измерительного колеса, определяется как

часть  $F_r$  фактического радиального биения измерительного колеса, пропорциональная соотношению чисел зубьев измеряемого и измерительного колес за оборот.

Предельные отклонения ИМР уточняются с добавлением расчетного радиального биения измерительного колеса и половины дополнительного увеличения колебания ИМР на одном зубе.

Уточненное верхнее предельное отклонение измерительного расстояния для зубчатых колес с внешними зубьями

$$[+E_{a''_s}] = +f_i'' + 0,5\Delta f_i'' + F_{r_{изм}}. \quad (9)$$

Уточненное нижнее предельное отклонение измерительного расстояния для зубчатых колес с внешними зубьями  $-E_{a''_i}$

$$[-E_{a''_i}] = -[T_H + 0,5\Delta f_i'' + F_{\text{руз}}], \quad (10)$$

где  $T_H$  - допуск на смещение исходного контура.

Пример использования предлагаемой методики для определения параметров двухпрофильного контроля для зубчатого колеса модулем 4,5 и с числом зубьев 14 приведен в табл.2.

**Таблица 2 – Расчетные параметры двухпрофильного контроля**

Параметры	Обозначение	Значения	
		Измеряемое колесо	Измерительное колесо
Модуль нормальный	$m$	4,5	4,5
Число зубьев	$z$	14	30
Угол исходного контура, град	$\alpha_d$	20	20
Степень точности		7-6-6-Cd	5
Делительный диаметр, мм		63	135
Коэффициент смещения исходного контура		0,41	0
Дополнительное смещение исходного контура	$E_{tr}$	- 0,074	- 0,100
Номинальное измерительное межосевое расстояние	$A_u$	122,75	
Сумма коэффициентов смещения	$\xi_c$	0,236	
Угол зацепления при измерении	$\alpha_u$	21° 33'	
Допуск на циклическую погрешность, мм	$f_{zk}$	0,0095	
Допускаемое увеличение $f_i''$ при $k = z$ , мм	$\Delta f_i''$	0,0087	
Базовое значение допуска на колебание ИМР на одном зубе по ГОСТ 1643-81, мм	$f_i''$	0,0180	
Уточненное значение допуска на колебание ИМР на одном зубе, мм	$[f_i'']$	0,0267	
Расчетное радиальное биение измерительного колеса, мм	$F_{\text{руз}}$		0,0117
Верхнее предельное отклонение ИМР, мм	$+E_{a''_s}$	+0,0180	
Уточненное верхнее предельное отклонение ИМР, мм	$[+E_{a''_s}]$	+0,0340	
Нижнее предельное отклонение ИМР, мм	$-E_{a''_i}$	- 0,0800	
Окончание таблицы 2			
Уточненное нижнее предельное отклонение ИМР, мм	$[-E_{a''_i}]$	-0,0960	
Допуск на колебание ИМР за оборот, мм	$F_{ir}''$	0,0560	
Допуск на колебание ИМР за оборот при комбинировании норм точности, мм	$[F_i'']_{\text{komb}}$	0,0490	
Уточненный допуск на колебание ИМР за оборот, мм	$[F_i'']$	0,0694	

По результатам измерения при использовании базового значения допуска на колебание ИМР на одном зубе 27,5% зубчатых колес были оценены как «негодные», при использовании уточненного значения допуска на колебание ИМР на одном зубе в соответствии с имеющейся рекомендацией в ГОСТ 1643-81 только 3,3% были оценены как «негодные».

По результатам измерения при использовании базового значения допуска на колебание ИМР за оборот 1,1 % зубчатых колес были оценены как «негодные». При использовании уточненного значения допуска на колебание ИМР за оборот все 100% зубчатых колес были оценены как «годные».

## **Выводы**

1. Предложена методика уточнения параметров двухпрофильного контроля  $F_{ir}''$ ,  $f_{ir}''$ ,  $+E_{a''s}$  и  $-E_{a''i}$  при использовании безоператорного двухпрофильного контроля с записывающим устройством.

2. Экспериментально подтверждены предложенные параметры двухпрофильного контроля  $F_{ir}''$  и  $f_{ir}''$ . Установлено, что при использовании базовых параметров колебания измерительного межосевого расстояния по ГОСТ 1643-81 при проведении безоператорного контроля без учета технологических погрешностей измерительных колес и учета влияния углов зацепления при измерении некорректная оценка точности контролируемых зубчатых колес может достигать 25%.

3. Предлагаемое оснащение безоператорного двухпрофильного контроля системой ЧПУ позволяет решить важнейшие проблемы для изготовителей зубчатых передач: гарантировать точность изготовленных зубчатых передач и обеспечить использование современных средств двухпрофильного контроля

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. ГОСТ 1643-81. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. /– Изд. стандартов, М., 1981. – 46 с.

2. Марков, А.Л. Измерение зубчатых колес. /А.Л.Марков. – Изд.4-е, перераб. и доп. – Л.:Машиностроение, 1977. – 280 с.

3. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач / В.Е.Антонюк [ и др.]; под общ.ред. В.Е.Старжинского, М.М.Кане. – С-Пб.: Профессия, 2007. – 832 с.

**УДК 621.795**

**Жоглик И.Н.**

### ***АКТИВАЦИЯ АЗОТА ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ИОНАМИ ТИТАНА В ПЛАЗМЕ ВАКУУМНОГО ЭЛЕКТРОДУГОВОГО РАЗРЯДА ЛИНЕЙНОГО ИСПАРИТЕЛЯ***

***Физико-технический институт***

***Национальной Академии Наук Беларуси***

***г. Минск, Беларусь***

*Процессы взаимодействия молекул азота с ионами Ti плазмы разряда в вакууме электродуговой исследованы методами масс-спектрометрии и оптической спектроскопии. Импульс электрического поля, создаваемого системой электродов, расположенных в пространстве плазменного потока определяется тем, что может привести к значительному увеличению степени ионизации молекул и атомов азота. Ионы азота вступают в реакцию прямого синтеза с ионами титана и образуют защитно-декоративные нитриды титановым покрытием. Устройство сепаратор-активатор создан для линейного испарителя дуги в серийное производство золотого покрытия на зеркальной нержавеющей стали для куполов церквей.*