

УДК 621.833: 539.3

В.Е. АНТОНЮК, д-р техн. наук

главный научный сотрудник

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

В.Н. РУСЕЦКИЙ

главный метролог

ОАО «Минский автомобильный завод», г. Минск, Республика Беларусь

Статья поступила 19.02.2015.

УТОЧНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВУХПРОФИЛЬНОГО БЕЗОПЕРАТОРНОГО КОНТРОЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Приведены рекомендации по уточнению параметров двухпрофильного контроля измерительного межосевого расстояния при неравенстве углов зацепления при измерении и обработке с учетом погрешности измерительных колес. Экспериментально подтверждено влияние этих факторов на оценку точности контролируемых зубчатых колес, погрешность в оценке точности может достигать 25 % от фактической точности зубчатых колес.

Ключевые слова: зубчатые передачи, двухпрофильный контроль, нормы точности, измерительные колеса

Введение. Для контроля точности цилиндрических зубчатых колес по ГОСТ 1643-81 для степеней точности, начиная с 5-й по 12-ю, рекомендуется использовать двухпрофильный контроль измерительного межосевого расстояния (ИМР), причем с 9-й по 12-ю степень точности использование двухпрофильного контроля является достаточным для полного контроля норм кинематической точности и норм плавности.

Для производственного контроля зубчатых колес контроль ИМР является наиболее распространенным в массовых и серийных производствах, применяется для цилиндрических, конических и червячных передач, что позволяет считать контроль ИМР универсальным методом контроля зубчатых передач.

В последние годы созданы приборы двухпрофильного контроля с записывающими устройствами на основе ЧПУ и анализирующими программными обеспечениями результатов измерения, что позволяет с минимальными затратами с высокой точностью без участия квалифицированного оператора обеспечить производственный контроль точности зубчатых колес на различных стадиях изготовления.

Однако такие приборы пока не получили широкого использования в отечественных производствах зубчатых передач, одной из причин является отсутствие методических требований к точности и параметрам технологического оснащения этих приборов.

Сущность контроля ИМР заключается во вводе в зацепление измеряемого зубчатого колеса с измерительным в беззачерпное зацепление с одновременным контактом обеих сторон зуба. При вводе

в двухпрофильное зацепление измеряемой и измерительной шестерен они устанавливаются на расчетное межосевое расстояние, а затем при их вращении происходит измерение отклонения фактического измерительного расстояния от расчетного. Межцентромеры устанавливаются непосредственно на производственном участке, а на получение результатов контроля достаточно нескольких минут.

Используемые до настоящего времени для двухпрофильного контроля межцентромеры отечественного производства типа МЦ-400 имеют недостаток, который заключается в необходимости контролеру визуально фиксировать на индикаторной головке одновременно четыре измеряемых параметра. В результате достоверность контроля зависит от квалификации операторов, возникают погрешности в оценке действительной точности зубчатого колеса, отсутствует возможность накапливать информацию о точности изготовленных зубчатых колес и получать информацию о возможных причинах погрешностей.

При изготовлении зубчатых колес на современном зубообрабатывающем оборудовании к методу и средствам двухпрофильного контроля предъявляются другие требования — исключить влияние состояния и квалификации оператора на оценку результатов измерения, иметь возможность хранить и анализировать результаты измерения, по результатам измерения анализировать причины погрешностей и т. д.

Наиболее существенным достижением в использовании метода двухпрофильного контроля зубчатых колес в последние годы явилось создание средств двухпрофильного контроля с записывающими устройствами на основе ЧПУ и анализиру-

ющими программными обеспечениями результатов измерения. В последние годы большинство отечественных предприятий существенно обновили парк зубообрабатывающего оборудования за счет закупки современных зубообрабатывающих станков с ЧПУ таких известных фирм как Gleason, Klingelnberg, Liebherr, Samputensili. Однако при закупке такого оборудования не было приобретено ни одного прибора двухпрофильного контроля с ЧПУ.

Технологические требования к безоператорному двухпрофильному контролю ИМР заключается в необходимости учета всех погрешностей, которые могут оказывать влияние на результаты контроля измеряемого зубчатого колеса — точность самого прибора, точность измерительного колеса, точность оснастки и базирования измеряемого колеса. Если на ранее используемых приборах двухпрофильного контроля оператор мог самостоятельно вносить поправки в результаты контроля и принимать решение по оценке точности зубчатого колеса, то при использовании безоператорного двухпрофильного контроля ИМР такой возможности не имеется и все погрешности будут суммироваться с погрешностями измеряемого колеса.

О необходимости учета погрешностей оснащения имеется информация и в зарубежных исследованиях безоператорного двухпрофильного контроля мелко модульных и червячных передач [1, 2], однако эти исследования проведены с учетом особенностей контроля в системах стандартов AGMA.

По ГОСТ 1643-81 (СТ СЭВ 641-77) для цилиндрических зубчатых колес используется комплекс измеряемых параметров ИМР [3]:

- 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 $-E_{a//i}$.

Из имеющихся в ГОСТ 1643-81 рекомендаций по уточнению параметров ИМР можно отметить наличие только одного случая для уточнения колебания ИМР на одном зубе — при неравенстве углов зацепления, при измерении и при обработке зубчатого колеса.

В действительности на результаты измерения при двухпрофильном контроле будут оказывать влияние различные факторы. В таблице 1 приведен краткий перечень причин, которые могут оказывать существенное влияние на результаты контроля измеряемого зубчатого колеса.

Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе по ГОСТ 1643-81 $f_{ir}^{//}$ определяется как разность между наибольшим и наименьшим действительными межосевыми расстояниями при двухпрофильном зацеплении измерительного зубчатого колеса с контролируемым зубчатым колесом при повороте последнего на один угловой шаг (рисунок 1).

Под номинальным измерительным межосевым расстоянием понимается 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 можно воспользоваться зависимостью [4]

$$A_n = A \cdot \frac{\cos \alpha_{\alpha}}{\cos \alpha_n}; \quad A_n = \frac{m(z + z_n) \cdot \cos \alpha_{\alpha}}{2 \cos \alpha_n}, \quad (1)$$

Таблица 1 — Параметры, оказывающие влияние на результаты контроля ИМР

Причины	Параметр ИМР			
	$F_{ir}^{//}$	$f_{ir}^{//}$	$+E_{a//s}$	$-E_{a//i}$
Измерительное колесо	радиальное биение зубчатого венца	угол зацепления при измерении	радиальное биение зубчатого венца	радиальное биение зубчатого венца
Межцентромер с ЧПУ и записью результатов измерения	разрешающая точность записи линейных перемещений	разрешающая точность записи угловых перемещений	разрешающая точность записи линейных перемещений	разрешающая точность записи линейных перемещений
Базирование	погрешность базирования измеряемого зубчатого колеса	—	погрешность базирования измеряемого зубчатого колеса	погрешность базирования измеряемого зубчатого колеса
Дополнительные параметры	—	—	дополнительное колебание ИМР	дополнительное колебание ИМР

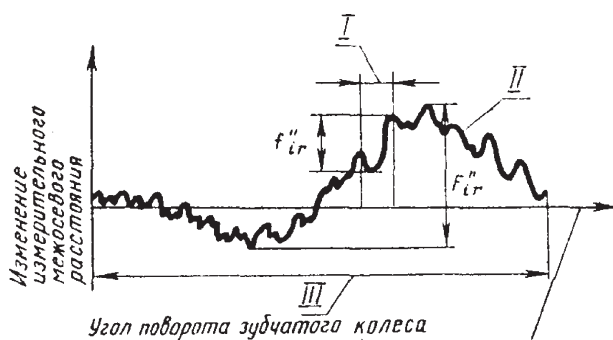


Рисунок 1 — Параметры измерительного межосевого расстояния

где A — межосевое расстояние измеряемого колеса с измерительным без ввода в двухпрофильное зацепление;

$inv\alpha_n = \frac{2\xi_c \cdot tg\alpha_n}{z + z_n} + inv\alpha_n$ — угол за-

цепления измеряемого колеса с измерительным; z — число зубьев измеряемого колеса; z_n — число зубьев измерительного колеса; $\xi_c = \xi_n + \xi_{\Delta n} + \xi_{\Delta}$ — сумма коэффициентов смещения исходного контура измерительного и измеряемого колеса, с учетом знака каждого слагаемого; ξ_n — коэффициент смещения исходного контура измерительного колеса; ξ — коэффициент смещения исходного контура измеряемого колеса; $\xi_{\Delta n}$ — дополнительное смещение исходного контура измерительного колеса; ξ_{Δ} — дополнительное смещение исходного контура измеряемого колеса; α_n — угол исходного контура.

Приведенные в работе [5] исследования результатов измерения колебания ИМР выявили значительное влияние углов зацепления на результаты колебания ИМР на одном зубе f''_{ir} и за оборот F''_{ir} , результаты измерения f''_{ir} при угле зацепления $\alpha_n = 23^\circ 40'$ были равны 0,160–0,170 мм, при угле зацепления $\alpha_n = 21^\circ$ уменьшились до 0,070 мм, и при угле зацепления $\alpha_n = 20^\circ$ стали равны 0,050 мм.

Угол зацепления в обработке α_{ct} определяется по способу финишной обработки зубчатого колеса. При финишном нарезании зубчатого колеса червячной фрезой и шлифовании червячным кругом угол зацепления в обработке α_{ct} будет равен углу профиля исходного контура α_n , при нарезании долбяком — определяется по зависимостям зацепления двух зубчатых колес. В случае равенства угла зацепления при двухпрофильном контроле α_{ct} углу зацепления в обработке α_{ct} циклическая погрешность измеряемого колеса не будет проявляться и для этого случая следует пользоваться допускаемыми значениями f''_{ir} и F''_{ir} по ГОСТ 1643-81. Однако при разности углов α_n и α_{ct} будет проявляться циклическая погрешность измеряемого колеса и в этом случае значения допусков f''_{ir} и F''_{ir} должны быть увеличены.

В работе [4] рекомендуется для выявления максимальной циклической погрешности при двухпрофильном контроле задавать разность углов α_n

и α_{ct} , равной $\frac{90^\circ}{n_{\text{ц}}}$, где $n_{\text{ц}}$ — частота циклической по-

грешности делительной цепи станка, равная или кратная числу зубьев делительного колеса станка, на котором нарезалось зубчатое колесо.

В ранее используемом ГОСТ 1643-72 и действующем ГОСТ 1643-81 имеются различия в учете влияния углов зацепления измеряемого колеса с измерительным при двухпрофильном зацеплении. В ГОСТ 1643-72 допуски для f''_{ir} и F''_{ir} приведены при равенстве угла зацепления при измерении α_n и угла зацепления в обработке α_{ct} , равном углу профиля исходного контура $\alpha_n = 20^\circ$. При неравенстве углов α_n и α_{ct} по ГОСТ 1643-72 табличные значения F''_{ir} могут быть увеличены на $0,25 f''_{ir}$ и значения f''_{ir} — до $1,25 f''_{ir}$.

В ГОСТ 1643-81 указано, что в случае неравенства угла зацепления при измерении и угла зацепления в обработке допуск f''_{ir} следует изменять на величину $\Delta f''_{ir}$, определяемую по формуле

$$\Delta f''_{ir} = \frac{f_{zkr} \cdot \sin k(\alpha_{rwm} - \alpha_{rwe})}{\sin \alpha_{rwm}}, \quad (2)$$

где f_{zkr} — действительная величина циклической погрешности частоты k , выявляемая при контроле зуборезного станка; α_{rwe} — угол зацепления в обработке; α_{rwm} — угол зацепления при измерении.

ГОСТ 1643-81 (таблица 10) для определения допуска на циклическую погрешность f_{zk} указано, что при контроле с измерительным зубчатым колесом частота k принимается по контролируемому зубчатому колесу.

В примере из Приложения 4 к ГОСТ 1643-81 для зубчатого колеса с числом зубьев $z = 60$ значение $k = 90$ без пояснения такого выбора.

ГОСТ 1643-81 (таблица 9) для определения допуска на циклическую погрешность зубцовой частоты f_{zk} указано, что частота k принимается равной z — числу зубьев контролируемого зубчатого колеса.

С учетом разночтений в ГОСТ 1643-81 принимаем, что k — частота циклической погрешности равна числу зубьев контролируемого зубчатого колеса при контроле с измерительным зубчатым колесом.

Для уточнения трактовки влияния неравенства угла зацепления при измерении α_n и угла зацепления в обработке α_{ct} на показатели колебания ИМР на одном зубе в таблице 2 приведены результаты сравнения рекомендаций по уточнению допуска на колебание ИМР на одном зубе по ГОСТ 1643-72 и ГОСТ 1643-81, в качестве примера для сравнения принято зубчатое колесо из приложения 4 к ГОСТ 1643-81: модуль 5, число зубьев 60, нарезание долбяком со станочным углом зацепления $\alpha_{ct} = 21^\circ$, угол зацепления при измерении $\alpha_n = 20^\circ$.

В результате можно сделать вывод, что при одних и тех же параметрах зубчатого колеса по ГОСТ 1643-81 возможно увеличение допуска

Таблица 2 — Сравнение рекомендаций по уточнению допуска на колебание ИМР на одном зубе f_i'' по ГОСТ 1643-72 и ГОСТ 1643-81

Параметр	Базовые значения f_i'' по ГОСТ 1643-81 при $\alpha_n = \alpha_c$	Допускаемое увеличение $\Delta f_i''$ по ГОСТ 1643-81	Базовые значения f_i'' по ГОСТ 1643-72	Допускаемое увеличение $0,25f_i''$ по ГОСТ 1643-72
Расчетный допуск на колебание ИМР на одном зубе, мм	0,020	0,014	0,020	0,005

на колебание ИМР на одном зубе на 70 % по сравнению с базовым значением, по ГОСТ 1643-72 — только на 25 %. Обоснование такого различия отсутствует.

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 (см. рисунок 1).

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

$$|F_{ir}''|_{\text{комб}} = |F_i'' - f_i''|_F + |f_i''|_f, \quad (3)$$

где допуски, входящие в первое слагаемое (с индексом F), принимаются по степени норм кинематической точности, а 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_i'' , допускаемое ГОСТ 1643-81. На рисунке 2 представлена схема уточнения допусков на колебание ИМР за оборот F_{ir}'' с учетом расширения допуска на колебание ИМР на одном зубе f_i'' и погрешности измерительного колеса.

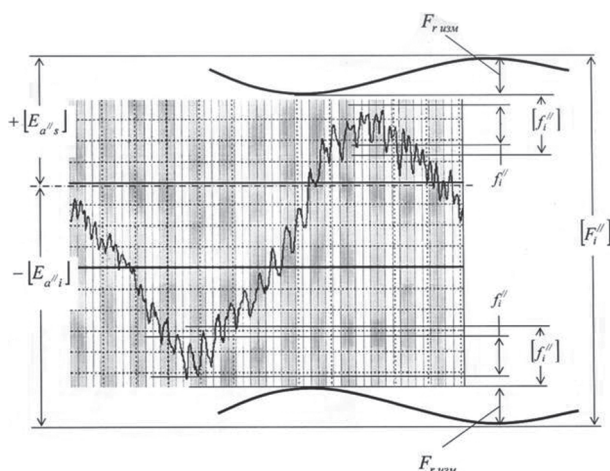


Рисунок 2 — Уточнение параметров на колебания ИМР

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

$$[F_{ir}''] = |F_i''|_{\text{комб}} + \Delta f_i'' + F_{r_{изм}}, \quad (4)$$

где $|F_i''|_{\text{комб}}$ — 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 из-

мерительного 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

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

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

$$[-E_{a''i}] = -[T_H + 0,5\Delta f_i'' + F_{r_{изм}}], \quad (6)$$

где T_H — допуск на смещение исходного контура.

Исследование уточненных параметров ИМР было проведено с целью подтверждения возможности их дальнейшего использования в средствах безоператорного контроля ИМР.

Объектом исследования были выбраны спутники 5440-2405035-001 бортовой планетарной передачи автомобилей МАЗ, параметры которых приведены в таблице 3.

Для записи и анализа параметров ИМР использовался модернизированный межцентромер с возможностью записи результатов измерения (рисунок 3), разработанный как упрощенный альтернативный вариант промышленного прибора для контроля ИМР ВЗ — 681[6].

Для проведения измерений отбирались спутники, прошедшие приемочный контроль службой контроля, и которые по всем параметрам соответствовали заданной степени точности 7-6-6. Результаты каждого измерения представлялись в виде протокола измерений, в котором представлялся

Таблица 3 — Параметры исследуемых сателлитов

Параметры зубчатого колеса	Обозначение	Значения
Модуль нормальный	m	4,5
Число зубьев	z	14
Угол профиля, град	α	20
Коэффициент смещения исходного контура	—	0,41
Степень точности	—	7-6-6-Cd
Верхнее предельное отклонение ИМП	$+E_{a''s}$	+0,018
Нижнее предельное отклонение ИМП	$-E_{a''i}$	-0,080
Допуск на колебание ИМП за оборот	F_{ir}''	0,056
Допуск на колебание ИМП на одном зубе	f_{ir}''	0,018

график записи ИМП и результаты обработки измерения с оценкой «годен-негоден» по четырем параметрам F_{ir}'' , f_{ir}'' , $+E_{a''s}$ и $-E_{a''i}$, приводятся номера зубьев с максимальным колебанием ИМП на од-

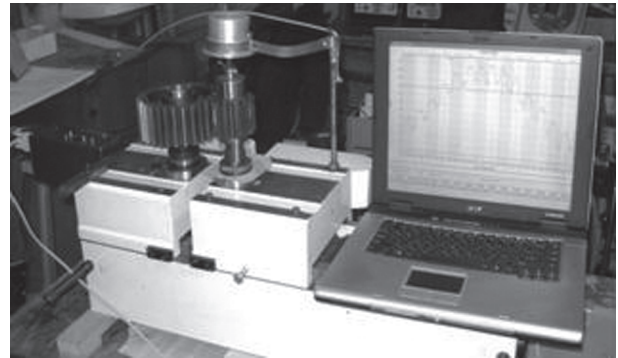


Рисунок 3 — Модернизированный межцентромер для двухпрофильного контроля ИМП

ном зубе и номера зубьев с максимальными значениями верхнего и нижнего отклонения, приводятся также значения f_{ir}'' на каждом зубе, пример такого протокола представлен на рисунке 4.

Исследование влияния угла зацепления при измерении на колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе было проведено с целью проверки корректности увеличения $\Delta f_{i''}$ для внесения в конструкторскую и технологическую документацию при использовании безоператорного двухпрофильного контроля ИМП. В таблице 4 приведен расчет уточненного значения допуска на колебание ИМП на одном зубе с учетом неравенства углов зацепления при измерении и обработке сателлита.

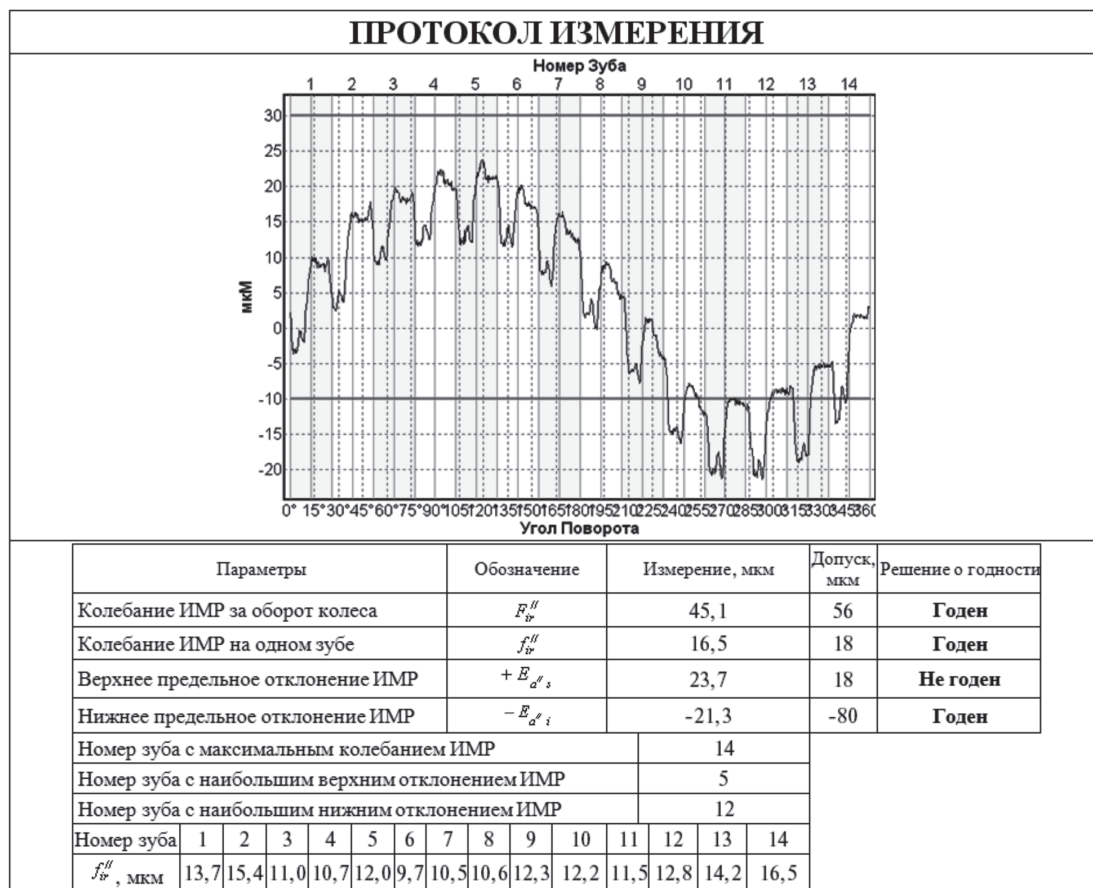


Рисунок 4 — Пример протокола безоператорного двухпрофильного контроля

Таблица 4 — Расчет уточненного допуска на колебание ИМР на одном зубе

Параметры	Обозначение	Значения	
		Сателлит	Измерительное колесо
Модуль нормальный	m	4,5	4,5
Число зубьев	z	14	30
Угол исходного контура, град	α_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_{Hr}	-0,074	-0,100
Сумма коэффициентов смещения	ξ_c	0,236	
Угол зацепления при измерении	α_i	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	

Результаты измерения колебания ИМР на одном зубе после статистического анализа представлены в таблице 5.

По результатам измерения при использовании базового значения допуска на колебание ИМР на одном зубе 27,5 % сателлитов из всех проверяемых выборок 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 % сателлитов из всех проверяемых выборок были оценены как «негодные», в отдельных выборках количество «негодных» достигало 10 %.

Исследование уточненного колебания за оборот и предельных отклонений измерительного межосевого расстояния было проведено с целью экспериментальной проверки предложенных зависимостей при использовании безоператорного двухпрофильного контроля ИМР. В таблице 6 приведен расчет

уточненного значения допуска на колебание за оборот и предельных отклонений ИМР.

Результаты измерения колебания ИМР за оборот после статистического анализа представлены в таблице 7.

По результатам измерения при использовании базового значения допуска на колебание ИМР за оборот 1,1 % сателлитов из всех проверяемых выборок были оценены как «негодные», при использовании уточненного значения допуска на колебание ИМР за оборот все 100 % зубчатых колес из проверяемой партии были оценены как «годные».

Заключение. 1. Для безоператорного контроля зубчатых колес на приборах с ЧПУ с записью результатов контроля предложены зависимости для определения уточненных допускаемых параметров на колебание ИМР на одном зубе с учетом неравенства углов зацепления при измерении и обработке на ко-

Таблица 5 — Результаты измерения колебания ИМР на одном зубе

Номер выборки для измерения	Интервал, мм	Центр рассеивания X_0 , мм	Среднее квадратическое отклонение σ , мм	Процент «негодных» деталей при базовом допуске 0,0180 мм, %	Процент «негодных» деталей при уточненном допуске 0,0267 мм, %
все	0,0118—0,0334	0,01752	0,0468	27,5	3,3
13	0,0118—0,0292	0,01709	0,0474	26,3	5,3
14	0,0130—0,0259	0,01596	0,0444	18,2	0
25	0,0144—0,0334	0,01941	0,0673	50,0	10,0

Таблица 6 — Расчет уточненного допуска на колебание за оборот и предельных отклонений ИМР

Параметры	Обозначение	Значения	
		Сателлит	Измерительное колесо
Модуль нормальный	m	4,5	4,5
Число зубьев	z	14	30
Угол исходного контура, град	α_d	20	20
Степень точности	—	7-6-6-Cd	5
Коэффициент смещения исходного контура	—	0,41	0
Допускаемое увеличение $f_i^{//}$, мм	$\Delta f_i^{//}$	—	0,0087
Расчетное радиальное биение измерительного колеса, мм	$F_{r\text{изм}}$	—	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	—
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	$[F_i^{//}]_{\text{comb}}$	0,0490	—
Уточненный допуск на колебание ИМР за оборот, мм	$[F_i^{//}]$	0,0694	—

Таблица 7 — Результаты измерения колебания ИМР за оборот

Номер выборки для измерения	Интервал, мм	Центр рассеивания X_0 , мм	Среднее квадратическое отклонение σ , мм	Процент «негодных» деталей при базовом допуске 0,056 мм, %	Процент «негодных» деталей при уточненном допуске 0,069 мм, %
все	0,0171–0,0623	0,03620	0,01035	1,1	0
13	0,0242–0,0368	0,03396	0,00957	0	0
14	0,0230–0,0269	0,03052	0,00891	0	0
25	0,0294–0,0489	0,02970	0,00940	0	0

лебание ИМР за оборот и предельных отклонений ИМР с учетом погрешности измерительного колеса.

2. Экспериментально подтверждено, 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 до 25 %.

3. Предлагаемое уточнение технологии и оснащения современного безоператорного двухпрофильного контроля с ЧПУ позволяет решить важнейшие проблемы для изготовителей зубчатых передач — гарантировать точность изготовленных зубчатых передач и обеспечить использование современных средств двухпрофильного контроля.

Список литературы

1. Reiter, E. Practical Considerations for the Use of Double-Flank Testing for the Manufacturing Control of Gearing. Part I / E. Reiter, F. Eberle // Gear Technology. — January / February, 2014. — Pp. 44–51.
2. Reiter, E. Practical Considerations for the Use of Double-Flank Testing for the Manufacturing Control of Gearing. Part I / E. Reiter, F. Eberle // Gear Technology. — March / April, 2014. — Pp. 60–69.
3. ГОСТ 1643-81. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. — М.: Изд-во стандартов, 1989. — 68 с.
4. Марков, А.Л. Измерение зубчатых колес. — Изд. 4-е, перераб. и доп. / А.Л. Марков. — Л.: Машиностроение, 1977. — 280 с.
5. Лившиц, Г.А. Контроль кинематической точности прецизионных зубчатых колес / Г.А. Лившиц // Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении. — М.: Машгиз, 1960. — С. 243–278.
6. Антонюк, В.Е. Двухпрофильный контроль зубчатых колес / В.Е. Антонюк, В.Н. Русецкий, В.Н. Лешев // Металлообработка. Оборудование и инструмент. — 2010. — № 2(123). — С. 72–75.

ANTONJUK Vladimir E., Dr. Techn. Sc.

Chief Researcher

Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

RUSETSKY Vasil N.

Main Metrologist

JSC "Minsk automobile factory", Minsk, Republic of Belarus

Received 19 February 2015.

PRECISE DEFINITION OF DOUBLE-FLANK TESTING PARAMETRES OF THE CYLINDRICAL GEARINGS WITHOUT PARTICIPATION OF THE OPERATOR

Recommendations about precise definition parametres of double-flank control of interaxial distance measuring are resulted at an inequality of pressure angles measurement and processing taking into account an error of measuring gears. Influence of these factors on an estimation of accuracy of controllable cogwheels is experimentally confirmed, the error in an accuracy estimation can reach 25 % from actual accuracy of gears.

Keywords: tooth gearings, double-flank testing, norms of accuracy, measuring gears, an estimation error

References

1. Reiter E., Eberle F. Practical Considerations for the Use of Double-Flank Testing for the Manufacturing Control of Gearing – Part I. *Gear Technology*, January/February, 2014, pp. 44–51.
2. Reiter E., Eberle F. Practical Considerations for the Use of Double-Flank Testing for the Manufacturing Control of Gearing – Part I. *Gear Technology*, March/April, 2014, pp. 60–69.
3. GOST 1643-81. *Peredaci zubchatye cilindricheskie. Dopuski.* [State Standard 1643-81. Transfers the gear cylindrical. Admissions]. Moscow, Standartinform Publ., 1989. 68 p.
4. Markow A.L. *Izmerenije zubchatyh koles* [Measurement of Gear wheels]. Leningrad, Mechanical engineering Publ., 1977. 280 p.
5. Livshits G.A. Control kinematiceskoy tochnosti precizionuh zubchatyh koles [Kontrol of kinematic accuracy of precision gear wheels]. *Wsaimosamenjaemost i thniceskie ismerenija w mashinostroenii* [Interchangeability and technical measurements in mechanical engineering]. Moscow, 1960, pp. 243–278.
6. Antonjuk V.E., Rusetsky W.N., Leshchev W.N. Dvuhprofilny control zubchatyh koles [Double-flank testing for control of gear wheels]. *Metloobrabotka. Oborudowanije i instrument* [Metal working. The equipment and the tool]. Kharkov, 2010, no. 2(123), pp.72–75.