

УДК 621.833;539.3

**В.Н. РУСЕЦКИЙ**

главный метролог

E-mail: metrolog@maz.by

ОАО «Минский автомобильный завод» — управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ»,

г. Минск, Республика Беларусь

**А.В. СОЛОМИНА**

младший научный сотрудник

E-mail: angelika.budzinskaya@gmail.com

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

Поступила в редакцию 27.04.2017.

**ПАРАМЕТРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДВУХПРОФИЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

Рассмотрены особенности назначения параметров двухпрофильного контроля по ГОСТ 1643-81 для цилиндрических зубчатых колес  $6\div 8$  степеней точности при использовании автоматизированных средств контроля с записью результатов измерительного межосевого расстояния (ИМР). Даны рекомендации по учету факторов, оказывающих существенное влияние на результаты автоматизированного двухпрофильного контроля. На основании анализа параметров норм точности двухпрофильного контроля зубчатых колес по ГОСТ 1643-81 сделан вывод о необходимости перерасчета базовых норм точности ГОСТ 1643-81 в уточненные нормы точности, отличающиеся от аналогичных базовых норм ГОСТ 1643-81 учетом технологических погрешностей средств измерений, оснастки и измерительных колес, с целью существенного повышения объективности результатов контроля при условии сохранения базовых требований к точности контролируемых зубчатых колес. Даны расчетные аналитические зависимости определения уточненных «технологических» норм точности зубчатого колеса для автоматизированного двухпрофильного контроля с использованием базовых норм точности ГОСТ 1643-81. Приведены результаты экспериментального исследования сопоставимости уточненных «технологических» норм точности автоматизированного двухпрофильного контроля поэлементным параметрам точности.

**Ключевые слова:** зубчатые колеса, автоматизированный двухпрофильный контроль, нормы точности, параметры, допуски, угол зацепления

Измерительное межосевое расстояние (ИМР) является наиболее распространенным параметром контроля точности зубчатых колес в условиях массового и серийного производства. Особенностью контроля ИМР является возможность одновременно контролировать нормы кинематической точности, нормы плавности и нормы бокового зазора, а также оперативно давать максимум информации о точности зубчатого колеса [1].

Двухпрофильный контроль ИМР относится к комплексному виду контроля, в связи с чем получил широкое применение на всех стадиях производственного контроля точности зубчатых колес. Для назначения параметров двухпрофильного контроля цилиндрических зубчатых колес используется ГОСТ 1643-81 [2]. Наиболее существенным достижением в развитии метода двухпрофильного контроля зубчатых колес в последние годы явилось создание средств автоматизированного двухпрофильного контроля с цифровой микроэлектроникой и программным обеспечением для анализа результатов измерений [3, 4, 5].

В таблице 1 приведены рекомендуемые комплексы контроля цилиндрических зубчатых колес в массовом производстве, и для наиболее широко

используемых  $6\div 11$  степеней точности зубчатых передач мобильных машин используются нормы двухпрофильного контроля [6, 7].

Особенностью норм двухпрофильного контроля согласно ГОСТ 1643-81, а также предыдущих редакций ГОСТ 1643-72 является то, что назначаются они только для контролируемого колеса без учета особенностей зацепления с измерительным колесом. Во всех редакциях ГОСТ 1643 отмечено наличие только одного случая уточнения зацепления с измерительным колесом, а именно в случае неравенства углов зацепления при измерении

**Таблица 1** — Рекомендуемые комплексы контроля цилиндрических зубчатых колес в массовом производстве

Параметры (нормы)	Степени точности			
	5...6	6...8	6...9	9...11
Кинематическая точность	$F_{ir}'$	$F_{ir}''$ , $F_{vWr}$		$F_{ir}'''$
Плавность работы	$f_{pb}, f_{fr}$	$f_{ir}''$		
Контакт зубьев	$F_{br}$	Пятно контакта		
Боковой зазор	$E_{Wms}$	$+E_{a''s}$ , $-E_{a''i}$		

Таблица 2 — Факторы, оказывающие влияние на результаты автоматизированного контроля ИМР

Фактор	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
Межцентромер с записью результатов измерения	разрешающая точность записи линейных перемещений	разрешающая точность записи угловых перемещений	разрешающая точность записи линейных перемещений
Базирование	погрешность базирования измеряемого зубчатого колеса		

и при обработке зубчатого колеса. Причем эти уточнения в ГОСТ 1643-81, а также в предыдущих редакциях ГОСТ 1643-72 существенно отличаются.

В действительности на результаты двухпрофильного контроля будут оказывать влияние различные факторы. В таблице 2 приведен краткий перечень факторов, оказывающих существенное влияние на результаты контроля ИМР измеряемого зубчатого колеса.

Основное внимание при назначении норм двухпрофильного контроля следует уделять углу зацепления контролируемого зубчатого колеса с измерительным —  $\alpha_{\omega M}$  и углу зацепления при финишной обработке контролируемого зубчатого колеса с инструментом —  $\alpha_{\omega O}$ .

Угол зацепления в обработке  $\alpha_{\omega O}$  определяется по способу финишной обработки зубчатого колеса. При финишном нарезании зубчатого колеса червячной фрезой и шлифовании червячным кругом, имеющих исходный контур в виде рейки, угол зацепления в обработке  $\alpha_{\omega O}$  будет равен углу профиля исходного контура  $\alpha = 20^\circ$ , при нарезании долбяком — определяется по зависимостям зацепления двух зубчатых колес.

При равенстве угла  $\alpha_{\omega M}$  и  $\alpha_{\omega O}$  контакт зубьев измерительного и контролируемого зубчатого колеса происходит в точках, которые обрабатывались одновременно, и в этом случае не проявляется циклическая погрешность контролируемого зубчатого колеса.

Особенностью ГОСТ 1643-81, а также предыдущих ГОСТ 1643-72 и ГОСТ 1643-56 является то, что в них приведены допуски на параметры двухпрофильного контроля  $F_{ir}^{//}$  и  $f_{ir}^{//}$  для равенства углов  $\alpha_{\omega M}$  и  $\alpha_{\omega O}$  и равенства угла  $\alpha_{\omega M}$  углу профиля исходного контура  $\alpha = 20^\circ$ .

В случае неравенства углов  $\alpha_{\omega M}$  и  $\alpha_{\omega O}$  допуски параметров двухпрофильного контроля  $F_{ir}^{//}$  и  $f_{ir}^{//}$  должны быть увеличены. Однако трактовка увеличения допусков  $F_{ir}^{//}$  и  $f_{ir}^{//}$  в ГОСТ 1643-81 и в предыдущем ГОСТ 1643-72 имеет принципиальные отличия.

Приведенные в работе [8] исследования результатов измерения колебания ИМР выявили значительное влияние углов зацепления на ре-

зультаты колебания ИМР на одном зубе  $f_{ir}^{//}$  и за оборот  $F_{ir}^{//}$ . В работе [8] рекомендуется для выявления максимальной циклической погрешности при двухпрофильном контроле задавать раз-

ность углов  $\alpha_{\omega M}$  и  $\alpha_{\omega O}$ , равную  $\frac{90^\circ}{n_{\omega}}$ , где  $n_{\omega}$  — частота

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

**Принципиальные требования к назначению допусков на колебание ИМР на одном зубе  $f_{ir}^{//}$  в ГОСТ 1643-81.** Колебание ИМР на одном зубе  $f_{ir}^{//}$  по ГОСТ 1643-81 определяется как разность между наибольшим и наименьшим действительными межосевыми расстояниями в двухпрофильном зацеплении измерительного зубчатого колеса с контролируемым зубчатым колесом при повороте последнего на один угловой шаг.

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 [5]:

$$a_{\omega M} = a_{\omega} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_{\omega M}}; \quad a_{\omega} = \frac{m(z + z_{\omega}) \cdot \cos \alpha}{2 \cos \alpha_{\omega}}, \quad (1)$$

где  $\alpha_{\omega}$  — межосевое расстояние измеряемого колеса с измерительным зубчатым колесом без ввода в двухпрофильное зацепление;

$inv \alpha_{\omega M} = \frac{2\xi_c \cdot \operatorname{tg} \alpha}{z + z_{\omega}} + inv \alpha$  — угол зацепления измеряе-

мого колеса с измерительным зубчатым колесом;  $\alpha$  — угол исходного контура;  $z$  — число зубьев измеряемого колеса;  $z_{\omega}$  — число зубьев измерительного колеса;  $\xi_c$  — сумма коэффициентов смещения исходного контура измерительного и измеряемого колеса с учетом знака каждого слагаемого [8].

В ранее используемом ГОСТ 1643-72 и действующем ГОСТ 1643-81 имеются принципиальные различия в учете влияния углов зацепления контролируемого колеса с измерительным колесом при двухпрофильном зацеплении.

По ГОСТ 1643-81 (приложение 4) при неравенстве углов  $\alpha_{\omega M}$  и  $\alpha_{\omega O}$  допуск на колебание ИМР на одном зубе  $f_i^{//}$  допускается изменять на величину  $\Delta f_i^{//}$ , определяемую по формуле:

$$\Delta f_i^{//} = \frac{F_{zkr} \cdot \sin k \cdot (\alpha_{iWm} - \alpha_{iW0})}{\sin \alpha_{iWm}}, \quad (2)$$

где  $f_{zkr}$  — действительная величина циклической погрешности частоты  $k$ , выявляемая при контроле зуборезного станка;  $k$  — частота циклической погрешности, принимаемая по контролируемому зубчатому колесу;  $\alpha_{iW0}$  — угол зацепления в обработке;  $\alpha_{iWm}$  — угол зацепления при измерении.

Следует отметить разночтение в формуле (2), так как параметр  $F_{zkr}$  (через большое  $F$  принято обозначать параметры нормы кинематической точности) в расшифровке заменен на  $f_{zkr}$  (через малое  $f$  принято обозначать параметры нормы плавности), что является принципиальным отличием. В итоге становится непонятно, что вообще подразумевается под параметром  $F_{zkr}$  в формуле (2), так как в ГОСТ 1643-81 такой параметр отсутствует.

Для использования формулы (2), в примере приложения 4 ГОСТ 1643-81 предложена зависимость, которая требует уточнения:

$$\Delta f_i^{//} = \frac{f_{zk} \cdot \sin k_{\text{цикл}} \cdot (\alpha_{iWm} - \alpha_{iW0})}{\sin \alpha_{iWm}}. \quad (3)$$

Если обратиться к ГОСТ 1643-81, то параметр  $f_{zkr}$  — это циклическая погрешность зубчатого колеса, равная удвоенной амплитуде гармонической составляющей кинематической погрешности зубчатого колеса, а  $f_{zk}$  — допуск на циклическую погрешность зубчатого колеса, имеющих конкретные значения по таблице 10 ГОСТ 1643-81, зависящий от модуля, делительного диаметра и частоты  $k_{\text{цикл}}$  — циклической погрешности за оборот зубчатого колеса.

В результате в приведенном примере используется не  $f_{zkr}$  — действительная величина циклической погрешности частоты  $k_{\text{цикл}}$ , выявляемая при контроле зуборезного станка, как это было определено в расшифровке формулы (2), а допуск  $f_{zk}$  на циклическую погрешность зубчатого колеса по таблице 10 ГОСТ 1643-81, которые являются принципиально различными параметрами. В примере приведена частота  $k_{\text{цикл}}$ , равная 90, как гармоническая составляющая высокой частоты в спектре кинематической погрешности зубчатого колеса.

В результате возникает ситуация, когда при назначении допусков на зубчатое колесо на этапе разработки конструкторской и технологической документации до начала производства зубчатых колес нужно измерить кинематическую погреш-

ность и спектр кинематической погрешности зубчатого колеса.

Возникают также вопросы: зачем определять действительную величину циклической погрешности при контроле зуборезного станка, если разрешается измерить гармоническую составляющую высокой частоты в спектре кинематической погрешности зубчатого колеса; какой станок считать зуборезным — зубофрезерный, зубошпингаловый, зубошлифовальный, зубохонинговальный; если для изготовления используется два или три станка, то для какого станка вносить в расчетную формулу (2) величину циклической погрешности?

В результате пользоваться рекомендациями ГОСТ 1643-81 к назначению уточнения допуска на колебание ИМР на одном зубе  $f_{ir}^{//}$  в ГОСТ 1643-81 (приложение 4) достаточно сложно, поэтому в большинстве случаев этими рекомендациями и не пользуются.

**Принципиальные требования к назначению допусков на колебание ИМР на одном зубе  $f_{ir}^{//}$  в ГОСТ 1643-72.** Хотя в настоящее время ГОСТ 1643-72 не действует, но трактовка уточнения колебания ИМР на одном зубе при неравенстве углов зацепления при контроле и изготовлении была более четкой, чем в ГОСТ 1643-81, кроме того, она совпадала с трактовкой в системе DIN.

По ГОСТ 1643-72 при неравенстве углов  $\alpha_{\omega M}$  и  $\alpha_{\omega O}$  табличные значения  $F_i^{//}$  могут быть увеличены на 0,25  $f_i^{//}$ , значения  $f_i^{//}$  — до 1,25  $f_i^{//}$ . Это значит, что уже на этапе проектирования технологического оснащения и подбора измерительных колес можно рассчитать углы зацепления и при разнице в углах  $\alpha_{\omega M}$  и  $\alpha_{\omega O}$  определить увеличение допусков  $f_i^{//}$  и  $F_i^{//}$ .

В этом случае для приведенного примера из приложения 4 ГОСТ 1643-81 увеличенный допуск  $f_i^{//}$  по ГОСТ 1643-72 будет 25 мкм вместо 34 мкм по ГОСТ 1643-81. Но при этом допуск колебания ИМР за один оборот  $F_i^{//}$  также должен быть увеличен на 0,25  $f_i^{//}$ , чего нет в ГОСТ 1643-81, и равен 61 мкм вместо 56 мкм по ГОСТ 1643-81.

Как недостаток трактовки увеличения допуска в ГОСТ 1643-72 следует отметить разрешение увеличивать допуск на 0,25  $f_i^{//}$  независимо от разницы в углах зацепления, которая может колебаться от 1 минуты до 6÷7 градусов.

Учитывая все вышеизложенное, можно сделать вывод, что при одних и тех же параметрах норм зубчатого колеса по ГОСТ 1643-81 возможно увеличение допуска на колебание ИМР на одном зубе на 70 %, по сравнению с базовым значением, по ГОСТ 1643-72 — только на 25 %.

В результате анализа параметров норм двухпрофильного контроля по ГОСТ 1643-81 и ГОСТ 1643-72 были сделаны следующие выводы: - использование рекомендаций ГОСТ 1643-81 для уточнения допуска на колебание ИМР на одном зубе при неравенстве углов  $\alpha_{\omega M}$  и  $\alpha_{\omega O}$  имеет зна-

чительные трудности для практического использования;

- использование рекомендаций ГОСТ 1643-81 для уточнения допуска на колебание ИМР на одном зубе при неравенстве углов  $\alpha_{\omega M}$  и  $\alpha_{\omega O}$  имеет принципиальные отличия от прежней редакции ГОСТ 1643-72 и приводит к завышенному увеличению поправки на допуск;

- как недостаток рекомендаций ГОСТ 1643-72 для уточнения допуска на колебание ИМР на одном зубе  $f_i^{//}$  при неравенстве углов  $\alpha_{\omega M}$  и  $\alpha_{\omega O}$  следует рассматривать увеличение до  $1,25 f_i^{//}$  независимо от неравенства углов  $\alpha_{\omega M}$  и  $\alpha_{\omega O}$ .

В конечном итоге можно констатировать, что рекомендации по использованию допусков  $F_{ir}^{//}$  и  $f_{ir}^{//}$  как в ГОСТ 1643-81, так и в предыдущем ГОСТ 1643-72 требуют уточнения.

Таким образом, при разработке уточнения допуска на колебание ИМР на одном зубе с неравенством углов  $\alpha_{\omega M}$  и  $\alpha_{\omega O}$  для автоматизированного двухпрофильного контроля пришлось отказаться от использования рекомендаций ГОСТ 1643-81 и ГОСТ 1643-72 и разработать новые зависимости.

**Расчетные аналитические зависимости определения норм точности зубчатого колеса для автоматизированного двухпрофильного контроля.** По результатам анализа норм точности ГОСТ 1643-81, приведенного выше, при использовании автоматизированного двухпрофильного контроля требуется произвести перерасчет базовых норм точности ГОСТ 1643-81, которые обычно приводятся в таблице параметров на чертеже зубчатого колеса, в уточненные нормы точности. Эти уточненные нормы точности в зависимости от технических характеристик используемых средств автоматизированного двухпрофильного контроля будут отличаться от базовых норм точности ГОСТ 1643-81. В дальнейшем для их обозначения принимаем термин «технологические» нормы точности.

«Технологические» нормы точности будут приводиться в картах операционного контроля в технологическом регламенте и будут отличаться от базовых норм точности зубчатых колес ГОСТ 1643-81, однако при этом они должны гарантировать сохранение базовых требований к точности контролируемых зубчатых колес.

Рекомендовано осуществлять автоматизированный двухпрофильный контроль цилиндрических зубчатых колес по следующим «технологическим» нормам точности [9, 10]:

-  $[F_{ir}^{//}]$  — «технологическое» колебание ИМР за оборот зубчатого колеса;

-  $[f_{ir}^{//}]$  — «технологическое» колебание ИМР на одном зубе;

-  $[E_{a/s}^{//}]$  и  $[E_{a/i}^{//}]$  — «технологические» предельные отклонения ИМР, отличающиеся от аналогичных базовых требований ГОСТ 1643-81 учетом технологических погрешностей средств измерений, оснастки и измерительных колес с целью суще-

ственного повышения объективности результатов контроля.

Для определения «технологических» норм точности при автоматизированном двухпрофильном контроле предлагаются следующие зависимости с использованием базовых норм точности ГОСТ 1643-81:

$$\left. \begin{aligned} [F_{ir}^{//}] &= F_{ir}^{//} + F_{изм} + F_{осн} + f_{зац}; \\ [f_{ir}^{//}] &= f_{ir}^{//} + f_{зац}; \\ [E_{a/s}^{//}], [E_{a/i}^{//}] &= E_{a/s}^{//}, E_{a/i}^{//} + f_{зац} + F_{изм} + F_{осн}, \end{aligned} \right\} (4)$$

где  $F_{ir}^{//}$  — колебание ИМР за оборот зубчатого колеса по ГОСТ 1643-81;  $f_{ir}^{//}$  — колебание ИМР на одном зубе по ГОСТ 1643-81;  $E_{a/s}^{//}$  и  $E_{a/i}^{//}$  — предельные отклонения ИМР по ГОСТ 1643-81;  $F_{изм}$  — погрешность измерительного колеса;  $F_{осн}$  — погрешность технологической оснастки;  $f_{зац}$  — погрешность от различия углов зацепления при контроле и при изготовлении зубчатого колеса.

В зависимости (4) входят погрешности измерительного колеса, погрешности технологической оснастки и погрешность от различия углов зацепления при контроле и при изготовлении зубчатого колеса.

Для определения параметра  $\Delta f_i^{//}$  предлагается зависимость

$$\Delta f_i^{//} = \frac{f_{zk} \cdot \sin z \cdot (\alpha_{\omega M} - \alpha_{\omega O})}{\sin \alpha_{\omega M}}, \quad (5)$$

где  $f_{zk}$  — допуск на циклическую погрешность зубчатого колеса по ГОСТ 1643-81 (таблица 10) по нормам кинематической точности контролируемого зубчатого колеса;  $z$  — число зубьев контролируемого зубчатого колеса;  $\alpha_{\omega M}$  — угол зацепления в обработке;  $\alpha_{\omega O}$  — угол зацепления при измерении.

Корректность применения зависимости (5) экспериментально подтверждена соответствием результатов оценки точности при поэлементном и двухпрофильном контроле.

**Экспериментальное исследование идентичности поэлементных параметров точности и «технологических» параметров измерительного межосевого расстояния (ИМР).** Объектом анализа были выбраны спутники автомобильной бортовой планетарной передачи автомобилей, параметры которых приведены в таблице 3.

Спутники изготавливались с применением зубошлифования на современных станках с ЧПУ Sambutensili S250G, что гарантировало стабильность достигаемой точности. Для экспериментального исследования использовались спутники, окончательно изготовленные и прошедшие выборочный приемочный контроль на зубоизмерительном приборе «GearSpect DO-3 PC» в соответствии с действующим технологическим процессом. Поэлементный контроль проводился по параметрам, приведенным в таблице 4.

Таблица 3 — Параметры сателлитов автомобильной бортовой планетарной передачи

Параметры	Обозначение	Значения
Модуль нормальный	$m$	4,5
Число зубьев	$z$	14
Угол профиля, град	$\alpha$	20
Коэффициент смещения исходного контура	$x$	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

Таблица 4 — Контролируемые параметры сателлитов на зубоизмерительной машине «GearSpect DO-3 PC»

Наименование параметра	Обозначение	Значение
Степень точности	—	7-6-6 Cd
Допуск на радиальное биение, мм	$F_r$	0,040
Допуск на погрешность профиля, мм	$F_f$	0,010
Допуск на погрешность направления, мм	$F_\beta$	0,012

При экспериментальном исследовании «технологических» параметров необходимо было убедиться в сопоставимости параметров точности поэлементного контроля и параметров контроля измерительного межосевого расстояния (ИМП).

Для исследования идентификации параметров измерительного межосевого расстояния (ИМП)

Таблица 5 — Результаты измерения опытных зубчатых колес на измерительной машине «GearSpect DO-3 PC» и на приборе двухпрофильного контроля

Номер сателлита	Стороны зуба	двухпрофильный контроль		поэлементный контроль		
		$F_{ir}^{//}$	$f_{ir}^{//}$	$f_f$	$F_\beta$	$F_r$
1	Правая	0,081	0,041	0,030...0,033	0,028...0,039	0,028
	Левая			0,012...0,019	0,023...0,036	
2	Правая	0,021	0,012	0,006...0,013	0,009...0,010	0,021
	Левая			0,004...0,011	0,007...0,016	
3	Правая	0,022	0,011	0,004...0,011	0,007...0,017	0,013
	Левая			0,005...0,012	0,008...0,020	

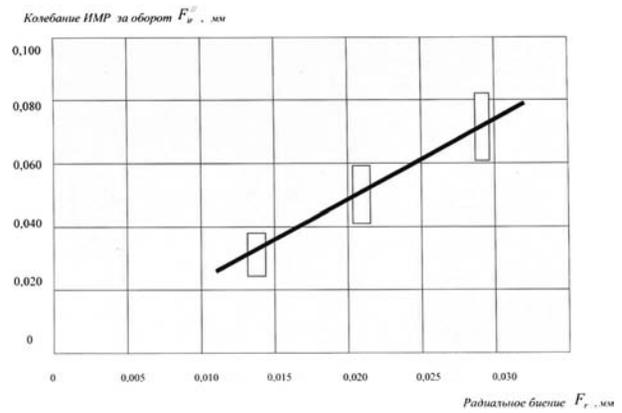


Рисунок 1 — График зависимости колебания ИМП за оборот и радиального биения

с поэлементными параметрами точности были отобраны три сателлита после контроля на зубоизмерительном приборе «GearSpect DO-3 PC». Двухпрофильный контроль сателлитов осуществлялся предприятием «ВИЗАС» на опытно-промышленном межцентромере ВЗ-581.

В итоговом виде результаты измерения сателлитов № 1, № 2 и № 3 на зубоизмерительном приборе «GearSpect DO-3 PC» и на межцентромере ВЗ-581 представлены в таблице 5.

На рисунке 1 представлен график зависимости колебания ИМП за оборот и радиального биения, на рисунке 2 представлен график зависимости колебания ИМП на одном зубе и погрешности профиля, из которых видна достаточно тесная корреляционная зависимость этих параметров.

Анализ графиков на рисунках 1 и 2 позволяет сделать вывод об идентичности характера основных параметров точности при поэлементном контроле на зубоизмерительном приборе и на приборе для двухпрофильного контроля ИМП ВЗ-581.

**Заключение.** Для автоматизированного двухпрофильного контроля рекомендуется использование норм точности с условным названием «технологические», отличающихся от базовых норм точности по ГОСТ 1643-81 учетом неравенства углов зацепления при измерении и обработке, погрешностей измерительного колеса и техноло-

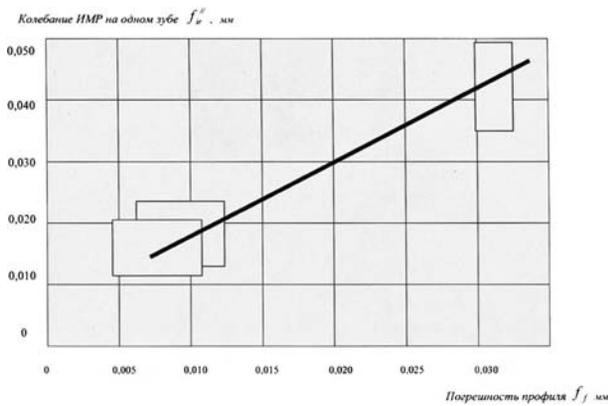


Рисунок 2 — График зависимости колебания ИМР на одном зубе и погрешности профиля

гической оснастки. Для использования норм точности с условным названием «технологические» разработаны и экспериментально подтверждены расчетные зависимости.

### Список литературы

1. Антонюк, В.Е. Двухпрофильный контроль зубчатых колес / В.Е. Антонюк, В.Н. Русецкий, В.Н. Лещев // Метал-

лообработка. Оборудование и инструмент. — 2010. — № 2 (123). — С. 72–75.

2. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски: ГОСТ 1643-81 (СТ СЭВ 641-39, СТ СЭВ 643-77 и СТ СЭВ 644-77). — Введ. 01.07.1981. — М.: Изд-во стандартов, 1989. — 68 с.

3. Zweiflanken Wälz Prüfgeräte: brochure of Frenco GmbH. — 2005. — 23 с.

4. Zweiflanken-Wälz Meßgerät 8305: brochure of Hommelwerke GmbH. — 2013. — ZWG 8110/8115. — Pp. 94–97.

5. Антонюк, В.Е. Возможности современных средств двухпрофильного контроля зубчатых колес / В.Е. Антонюк, В.Н. Русецкий // Вестн. ПГУ. Сер. В. Прикладные науки. Технология машиностроения. — 2009. — № 8. — С. 101–105.

6. Тайц, Б.А. Точность и контроль зубчатых передач / Б.А. Тайц, Н.Н. Марков. — Л.: Машиностроение, 1978. — 137 с.

7. Вулгаков, Э.Б. Категории точности зубчатых передач и методы их оценки / Э.Б. Вулгаков, В.Н. Амосов, А.В. Климов // Автоматизация и современные технологии. — 1992. — № 11. — С. 27–29.

8. Марков, А.Л. Измерение зубчатых колес. / А.Л. Марков. — 4-е изд., доп. и перераб. — Л.: Машиностроение, 1977. — 280 с.

9. Антонюк, В.Е. Уточнение параметров двухпрофильного безоператорного контроля цилиндрических зубчатых передач / В.Е. Антонюк, В.Н. Русецкий // Механика машин, механизмов и материалов. — № 2 (31). — 2015. — С. 16–23.

10. Дечко, Э.М. Методика расчета параметров двухпрофильного контроля цилиндрических зубчатых передач при использовании безоператорных средств контроля / Э.М. Дечко, В.Е. Антонюк, В.Н. Русецкий // Машиностроение: сб. науч. тр. / БНТУ. — Минск, 2015. — Вып. 29. — С. 59–64.

### RUSETSKY Vasilii N.

Chief Metrologist

E-mail: metrolog@maz.by

Joint Stock Company “Minsk Automobile Plant” — Holding Management Company of “BelavtoMAZ”, Minsk, Republic of Belarus

### SOLOMINA Anzhelika V.

Junior Researcher

E-mail: angelika.budzinskaya@gmail.com

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

Received 27 April 2017.

## PARAMETERS OF THE AUTOMATED TWO-PROFILE CONTROL OF CYLINDRICAL COGWHEELS

*Features of purpose of parameters of two-cross-sectional control in accordance with GOST 1643-81 for cylindrical tooth gears of 6÷8 accuracy degrees are considered when using of the automated control devices with record of results of the measuring interaxial distance (MID). Recommendations about the accounting of the factors having significant effect on results of the automated two-cross-sectional control are made. On the basis of the analysis of parameters of norms of accuracy of two-cross-sectional control of tooth gears in accordance with GOST 1643-81 the conclusion is drawn on need of recalculation of basic norms of accuracy of GOST 1643-81 in the specified norms of accuracy different from similar basic norms of GOST by 1643-81 accounting of technological errors of gage devices, the equipment and measuring wheels, for the purpose of essential increase in objectivity of results of control, on condition of saving basic requirements to the accuracy of controlled tooth gears. Definitions of the specified “technological” norms of accuracy of a tooth gear for the automated two-cross-sectional control with use of basic norms of accuracy of GOST 1643-81 are given. Settlement analytical to dependence. Results of pilot study of comparability of the specified “technological” norms of accuracy of the automated two-cross-sectional control to bit-by-bit parameters of accuracy are given.*

**Keywords:** gear wheels, automated two-profile control, State Standard, accuracy standards, parameters, tolerances, angle of engagement

## References

1. Antonyuk V.E., Rusetskiy V.N., Leshchev V.N. Dvuhprofilnyy kontrol zubchatykh kolez [Two-profile control of gears]. *Metalloobrabotka. Oborudovanie i instrument* [Metalworking. Equipment and tools], 2010, no. 2(123), pp. 72–75.
2. GOST 1643-81. *Peredachi zubchatye cilindricheskie* [State Standart 1643-81. Cylindrical gears]. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1989. 68 p.
3. *Zweiflanken Wälzprüfgeräte: prospekt firmy Frencio GmbH* [Zweiflanken Wälzprüfgeräte: brochure of Frencio GmbH]. 2005. 23 p.
4. *Zweiflanken-Wälzmeßgerät 8305: prospekt firmy Hommelwerke GmbH* [Zweiflanken-Wälzmeßgerät 8305: brochure from Hommelwerke GmbH]. 2013, pp. 94–97.
5. Antonyuk V.E., Rusetskiy V.N. Vozmozhnosti sovremennykh sredstv dvuhprofilnogo kontrolya zubchatykh kolez [Capabilities of modern means of dual-profile control of gears]. *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Prikladnye nauki. Tekhnologiya mashinostroeniya* [Bulletin of the Polotsk State University. Series B. Applied Sciences. Technology of mechanical engineering], 2009, no. 8, pp. 101–105.
6. Taitis B.A., Markov N.N. *Tochnost i kontrol zubchatykh peredach* [Accuracy and control of gears]. Leningrad, Mashinostroenie, 1978. 137 p.
7. Vulgakov E.B., Amosov V.N., Klimov A.V. Kategorii tochnosti zubchatykh peredach i metody ih ocenki [Categories of the accuracy of gears and methods for their evaluation]. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii* [Automation and modern technologies], 1992, no. 11, pp. 27–29.
8. Markov A.L. *Izmerenie zubchatykh kolez* [Measurement of cogwheels]. Leningrad, Mashinostroenie, 1977. 280 p.
9. Antonyuk V.E., Rusetskiy V.N. Utochnenie parametrov dvuhprofil'nogo bezoperatornogo kontrolya cilindricheskiykh zubchatykh peredach [Specification of the parameters of two-profile non-operator control of cylindrical gears]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov* [Mechanics of machines, mechanisms and materials], 2015, no. 2(31), pp. 16–23.
10. Dechko E.M., Antonyuk V.E., Rusetskiy V.N. Metodika rascheta parametrov dvuhprofilnogo kontrolya cilindricheskiykh zubchatykh peredach pri ispolzovanii bezoperatornykh sredstv kontrolya [Method for calculating the parameters of the dual-profile control of cylindrical gears using non-operator control devices]. *Mashinostroenie: sb. nauch. tr.* [Mechanical Engineering: collection of scientific papers], 2015, no. 29, pp. 59–64.