

# СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ КАЧЕСТВА

УДК 621.833.15

## Перспектива стандартизации параметров точности зубчатых колес и передач. К разработке нового отечественного стандарта, учитывающего рекомендации ISO

М. В. Абрамчук, Б. П. Тимофеев

*В статье описываются положения стандартов ISO 1328 и ГОСТ 1643–81, которые следует включить в новый отечественный стандарт, нормирующий зубчатые колеса и передачи, для производства конкурентоспособной на международном рынке продукции.*

**Ключевые слова:** *зубчатые колеса, зубчатые передачи, точность, стандарты.*

### Введение

В августе 2012 г. Россия присоединилась к ВТО. Поэтому актуальнейшей является задача соответствия отечественных стандартов рекомендациям ISO. Когда дело касается точности зубчатых колес и передач, положение осложняется наличием и там и тут примерно одинакового количества степеней точности, которые, однако, представляют собой во многих степенях существенно различный уровень точности. Последнее обстоятельство может вносить большую путаницу в случае международного сотрудничества и даже просто торговли техническими устройствами. Таким образом, необходим пересмотр отечественных стандартов ГОСТ 1643–81 и ГОСТ 21098–82 с учетом положений рекомендаций ISO 1328.

Вместе с тем главным положительным свойством отечественных стандартов было и остается предложение вполне определенных комплексных показателей и комплексов показателей параметров точности для зубчатых колес и передач определенных степеней точности. Другим важнейшим свойством отечественных стандартов, в частности ГОСТ 1643–81 [1], является наличие подробнейших таблиц, из которых конструктор непосредственно выбирал показатели согласно выбранному комплексу. Конечно, существует противоречие между требованием ЕСКД о простановке па-

раметров точности колеса относительно имеющейся на чертеже базовой оси и указанием ГОСТа, согласно которому все нормы приведены относительно рабочих осей [1, с. 30, п. 2.9], которое на практике обычно игнорируется. Таким образом, практически нормы, установленные в ГОСТе для рабочих осей, записываются в чертежах зубчатых колес относительно базовых. И эта практика привычна и повсеместна. При этом следует указать, что пожелание о совмещении конструкторских, технологических и метрологических баз при изготовлении зубчатых колес является при сегодняшнем уровне производства трудновыполнимым.

В дальнейшем тезисно будут приведены аргументы о необходимости использования положений и рекомендаций ISO и желательности сохранения некоторых из положений стандарта ГОСТ 1643–81 в будущем стандарте.

### 1. Положения рекомендаций ISO

Ввиду того что перевод рекомендаций ISO осуществлен авторами данной статьи и мало знаком нашим читателям, поскольку на официальном уровне весь стандарт ISO 1328 не переводился, кратко рассмотрим основные положения, прежде чем перейти к сравнению в табличном виде.

Прежде всего следует отметить во многом существенное расширение диапазона геометрических параметров зубчатых колес, на которые распространяется деятельность стандарта ISO 1328 [2, 3]:

- делительный диаметр  $d$ : до 10 000 мм (до 6300 мм в ГОСТ 1643–81);
- модуль зубьев  $m$ : до 70 мм (до 55 мм в ГОСТ 1643–81);
- ширина венца  $b$ : до 1 000 мм (до 1 250 мм в ГОСТ 1643–81).

Вместе с тем в отдельных положениях стандарта рассматриваются зубчатые колеса с модулем зубьев до 0,2 мм (в ISO 1328-2 [3]: для колебаний измерительного межосевого расстояния). Данные положения, отражающие существующую практику изготовления зубчатых колес и передач, оспаривать или как-то изменять не имеет смысла. Таким образом, существующее до настоящего времени положение о мелкозубчатых колесах авторам представляется бессмысленным, и стандарт ГОСТ 9178–81 [4], нормирующий зубчатые колеса с модулем зубьев меньше 1 мм, в дальнейшем рассматриваться не будет. Вместе с тем не ставится под сомнение необходимость в стандартизации зубчатых колес с модулем зубьев менее 0,5 мм, однако параметры точности таких колес должны устанавливаться в соответствии с их назначением стандартами предприятий (СТП). Разработка СТП является важнейшей задачей специализированных предприятий. При этом, отражая специфику производства и использования таких передач, СТП не должны противоречить ни государственным стандартам, ни рекомендациям ISO.

Рекомендации ISO в некоторых случаях вместо таблицы допустимых значений параметра точности приводят формулу для его вычисления. Например: в ISO 1328–1 местная кинематическая погрешность  $f'_i$  определяется по формуле:  $f'_i = K(4,3 + f_{pt} + F_\alpha)$ , где  $f_{pt}$  — погрешность шага;  $F_\alpha$  — погрешность профиля зуба общая, а коэффициент  $K$  зависит от общего коэффициента перекрытия  $\varepsilon_\gamma$ , т. е. местная кинематическая погрешность зависит от общего коэффициента перекрытия [2, с. 17]. Вместо таблицы допустимых значений местной кинематической погрешности приведена таблица значений  $f'_i/K$  [2, с. 18–19]. Отсутствует таблица допустимых значений накопленной погрешности шага  $F_{pk}$ . Эта величина рассчитывается по формуле.

Стандарт ISO 1328 содержит определение термина «зубчатое колесо механизма» и неко-

торые требования к измерительному зубчатому колесу. Последнее, безусловно, нуждается в доработке и уточнении в связи с тем, что условия зацепления при одно- и двухпрофильном контакте неодинаковые. Критика методов контроля при применении двухпрофильного контакта содержится в целом ряде работ. Например, данный метод контроля был раскритикован еще в 1975 году Б. А. Тайцем [5]. Поэтому разработка требований к измерительным колесам при проведении метрологических операций остается важной задачей стандартизации.

В техническом отчете ISO/TR 10064-4 [6] содержатся рекомендации, относящиеся к структуре поверхности и контролю пятна контакта зуба. Пятна контакта используют в качестве количественной и качественной меры поверхности зубьев колеса. Пятна контакта наиболее часто применяют при контроле больших деталей, которые невозможно поставить на измерительную машину. Эти рекомендации должны быть дополнены разработкой подробных требований к применяемым установкам (разность метрологических и конструкторских баз), применяемым краскам и усилиям (моментам сил) при измерении.

Рекомендации ISO не устанавливают норм кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев, а также виды сопряжений зубчатых колес передачи, виды допуска на боковой зазор и классы отклонений межосевого расстояния. Естественно, отсутствует понятие о комбинировании норм точности, несоответствии вида сопряжения зубчатых колес в передаче виду допуска на боковой зазор и т. д.

Конечно, данные положения ГОСТ 1643–81 чрезвычайно усложняют вопрос о нормировании точности зубчатых колес и передач. Более того, нормы кинематической точности, плавности работы, контакта зубьев и бокового зазора не являются независимыми и их введение противоречит не только основным понятиям стандартизации, но и основам идентификации объектов.

В отечественной литературе неоднократно указывалось, что речь идет всего лишь о преимущественном влиянии того или иного показателя точности на кинематику, плавность и т. д. Аналогично мы можем говорить о преимущественном значении того или иного показателя для кинематических, силовых и скоростных передач, да и вообще о разбивке передач на упомянутые категории.

Представляется целесообразным вести речь о гармонических составляющих кинематической погрешности: «оборотной», зубцовой и более высокой частоты. Однако введение этих понятий в рекомендации ISO — дело отдаленного будущего при условии участия наших специалистов в работе соответствующего комитета ISO.

Стандарт ISO 1328 состоит из следующих частей (ISO 1328-1: 1995 [2], ISO 1328-2: 1997 [3]), имеющих общий заголовок *Передачи зубчатые цилиндрические. Система точности по ISO. Часть 1: Определения и допустимые значения отклонений соответствующих боковых поверхностей зацепляющихся зубьев. Часть 2: Определения и допустимые значения отклонений, относящихся к радиальным составным отклонениям (колебаниям измерительного межосевого расстояния), и информация по износу (радиальному биению)*. Каждая часть имеет свою систему точности:

- ISO 1328-1 включает в себя 13 степеней точности (0 — самая высокая, а 12 — самая низкая);
- ISO 1328-2: 9 степеней точности (с 4 по 12-ю).

По этому поводу дается уточнение: «...положения в документах относительно требуемой точности должны включать ссылку на соответствующий стандарт: ISO 1328-1 или ISO 1328-2» [3, с. 3].

Дополняют положения ISO технические отчеты, среди которых упомянутый выше ISO/TR 10064-4: *Передачи зубчатые цилиндрические. Практическое руководство по приемке. Часть 4. Рекомендации, относящиеся к структуре поверхности и контролю пятна контакта зуба* [6] и, например, ISO/TR 10064-2: 1996. *Передачи зубчатые цилиндрические. Практическое руководство по приемке. Часть 2. Контроль суммарных радиальных отклонений, биения, толщины зуба и зазора* [7].

В отличие от ISO 1328, ГОСТ 1643–81 — это один документ. Одним документом удобнее пользоваться.

В заключение первого пункта стоит отметить, что перечисленные замечания касаются возможного совершенствования стандарта ISO. При составлении нового отечественного стандарта в него могут быть включены положения, развивающие рекомендации ISO, но не противоречащие им.

## 2. Положения стандарта ГОСТ 1643–81

Как уже не раз было сказано в научно-технической литературе [8–10], базовый ГОСТ 1643–81 «Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски» обладает рядом преимуществ и недостатков по сравнению с рекомендациями ISO. Главные недостатки проистекают из чрезвычайной устарелости документа. Действительно, со времени его введения в действие прошло 28 лет. Кроме того, ГОСТ полностью соответствует стандартам СТ СЭВ 641–77, СТ СЭВ 6437–77 и СТ СЭВ 644–77, т. е. еще более древним документам (СЭВ — Совет экономической взаимопомощи).

Вместе с тем в СССР изменения ГОСТ 1643 происходили в 1946, 1956, 1972 и 1981 гг. Т. е. минимальный срок действия стандарта не превышал 10–15 лет. Этим в огромной степени объясняются недостатки стандарта: развитие документа не поспевало за нуждами и практикой производства.

Главным преимуществом стандарта является подробная разработка таблиц, следуя которым, даже относительно малоквалифицированный специалист может для заданных степени точности и вида сопряжения выбрать необходимый контрольный комплекс и показатели точности. Не будем повторять все сказанное об отнесении показателей на рабочих осях к базовым осям, поскольку такая практика была повсеместной.

Положения стандарта, к сожалению, привязаны к технологии зубонарезания методом обкатки, что неприемлемо как в принципиальном плане — показатели точности не должны зависеть от метода изготовления, так и в плане сложностей с введением передовых методов изготовления — горячая и холодная прокатка, прессование из порошка, литье под давлением и т. д.

Введение обязательного нормирования кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев, с одной стороны, существенно расширяет возможности конструктора, но с другой — не учитывает того важнейшего обстоятельства, что все эти качества формируются в едином технологическом процессе, и потому производственные возможности комбинирования норм точности ничтожны. Недаром классы отклонения межосевого расстояния и несовпадение видов сопряжения с видом допуска на боковой зазор используются на практике чрезвычайно редко.

Установление многочисленных показателей для норм кинематической точности, плавности работы, контакта зубьев и бокового зазора является для нашей страны чрезвычайно важным. Для примера можно взять показатели точности, обеспечивающие гарантированный боковой зазор или допуск на него в передаче. Наличие на предприятиях различного измерительного оборудования и отсутствие комплексных измерительных лабораторий, позволявших во времена СССР измерить любую комплексную и поэлементную погрешность, объясняют необходимость наличия в ГОСТ 1643–81 различных показателей. В периоды кризисов, как правило, выручают старые механические приборы контроля, имеющиеся на предприятиях в достаточном количестве. При условии недостатка современных измерительных машин и почти полного отсутствия приборов, использующих бесконтактное измерение параметров зубьев, такое построение стандарта надо считать оправданным. Ситуация осложняется тем, что современные приборы должны обслуживаться грамотными специалистами-электронщиками, что неприемлемо в период кризиса.

Нормы стандарта устанавливаются для зубчатых передач, зубчатых пар и зубчатых колес, причем в таблицах стандарта четко указано, какая норма относится к колесам, какая — к передачам, какая — к парам.

В ISO 1328 понятие о зубчатой паре отсутствует. Однако уровень производства в нашей стране не позволяет производить отдельные колеса, не подобранные в пары. Более того, специалисты не рекомендуют производство отдельно взятого колеса. Дело в том, что в редукторе ввиду наибольшего числа циклов нагружения быстрее всего из строя выходит шестерня быстроходной передачи. Вместе с тем заменить только шестерню не представляется возможным, так как парное колесо также находится в определенной стадии износа. Поэтому понятие о зубчатой паре, безусловно, следует сохранить.

Пересчет таблиц ГОСТ 1643–81 в соответствии с рекомендациями ISO не приведет к кардинальной ломке технологии и метрологии в производстве зубчатых колес и передач. Приведем сравнительные табличные значения параметров точности для 5-й степе-

Таблица

ISO 1328			ГОСТ 1643–81		
$m = 1 \text{ мм}$	$m = 3 \text{ мм}$	$m = 5 \text{ мм}$	$m = 1 \text{ мм}$	$m = 3 \text{ мм}$	$m = 5 \text{ мм}$
1) погрешность шага $\pm f_{pt}$			1) отклонение шага $\pm f_{pt}$		
5,5	6	6,5	6	6	8
2) полная накопленная погрешность шага колеса $F_p$			2) допуск на накопленную погрешность шага $F_p$		
18	19	19	20	20	20
3) погрешность профиля зуба общая $F_\alpha$			3) допуск на погрешность профиля зуба $f_f$		
6	8	9,5	6	6	7
4) погрешность направления зуба общая $F_\beta$			4) допуск на погрешность направления зуба $F_\beta$		
6,5 $b = 10 \text{ мм}$	8,5 $b = 30 \text{ мм}$	10 $b = 45 \text{ мм}$	7 $b = 10 \text{ мм}$	7 $b = 30 \text{ мм}$	10 $b = 45 \text{ мм}$
5) местная кинематическая погрешность $f'_i$			5) допуск на местную кинематическую погрешность зубчатого колеса $f'_i$		
12	13,5	15	12	12	16
6) допуск на полное колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса $F''_i$			6) допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса $F''_i$		
18	25	31	22	22	25
7) допуск на колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе $f''_i$			7) допуск на колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе $f''_i$		
3,5	10	15	10	10	13
8) допуск на радиальное биение $F_r$			8) допуск на радиальное биение $F_r$		
15	15	16	16	16	18

ни точности в обоих стандартах. Величины погрешностей приведены в микрометрах.

Значения модуля  $m = 1, 3, 5$  мм, делительный диаметр  $d = 100$  мм, ширина венца  $b = 30$  мм (для пункта 4 — 10, 30, 45 мм), коэффициент осевого перекрытия  $\varepsilon_\beta = 1,5$ .

В других степенях точности при внедрении рекомендаций ISO может произойти сдвигка на 1–2 степени в ту или другую сторону. При этом будет достигнуто взаимопонимание между нашими и зарубежными производителями и пользователями зубчатых колес и передач без какого-то ни было ущерба для производства.

## Выводы

Таким образом, разработка нового отечественного стандарта, учитывающего рекомендации ISO при использовании положительных сторон наших стандартов, представляется делом абсолютно необходимым для нашей интеграции в мировую систему производства и торговли. Это может быть достигнуто без коренной ломки как системы производства и контроля зубчатых колес и передач, так и без существенного изменения достигнутой квалификации занимающегося этим производством научно-технического персонала. Вопрос соответствия стандартов важен не только производителям зубчатых колес и передач, но и для заказчиков, чтобы учитывать погрешности при эксплуатации.

## Сведения об авторах

**Абрамчук Михаил Владимирович** — старший преподаватель кафедры мехатроники Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики; тел. (812) 232-31-50, e-mail: amv76@list.ru

**Тимофеев Борис Павлович** — д-р техн. наук, профессор кафедры мехатроники Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики; тел. (812) 232-31-50, e-mail: mechatronic@mail.ifmo.ru

## Литература

1. ГОСТ 1643–81. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. М.: Издательство стандартов, 1989. 68 с.
2. ISO 1328-1: 1995, Cylindrical gears — ISO system of accuracy — Part 1: Definitions and allowable values of deviations relevant to corresponding flanks of gear teeth.
3. ISO 1328-2: 1997, Cylindrical gears — ISO system of accuracy — Part 2: Definitions and allowable values of deviations relevant to radial composite deviations and runout information.
4. ГОСТ 9178–81. Передачи зубчатые цилиндрические мелкозубчатые. Допуски. М.: Издательство стандартов, 1981. 40 с.
5. Тайц Б. А. Точность и контроль зубчатых колес. М.: Машиностроение, 1972.
6. ISO/TR 10064-4: 1998, Cylindrical gears — Code of inspection practice — Part 4: Recommendations relative to surface roughness and tooth contact pattern checking.
7. ISO/TR 10064-2: 1996, Cylindrical gears. Code of inspection practice — Part 2. Inspection related to radial composite deviations, runout, tooth thickness and backlash.
8. Тимофеев Б. П., Абрамчук М. В. Рекомендации ISO 1328 в части установления параметров точности зубчатых колес и передач. II межвузовская конференция молодых ученых. Сб. научн. тр. Том 2. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2005. С. 127–131.
9. Тимофеев Б. П., Абрамчук М. В. Рекомендации по организации контроля бокового зазора в зубчатых передачах. Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. Выпуск 28. I сессия научной школы «Задачи механики и проблемы точности в приборостроении» / Главный редактор д. т. н. профессор В. Н. Васильев. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. С. 206–210.
10. Тимофеев Б. П., Абрамчук М. В. Сравнение табличных значений параметров точности зубчатых колес и передач в стандартах: ISO 1328 и ГОСТ 1643–81. Теория механизмов и машин. № 1 (9). Том 5. СПб.: СПбГПУ, 2007. С. 60–70.

Редакция журнала предлагает открыть дискуссию по данной статье.  
Все присланные размышления, замечания читателей будут опубликованы  
на страницах журнала.

Электронный адрес для материалов: [mo@polytechnics.ru](mailto:mo@polytechnics.ru)