

Б. П. ТИМОФЕЕВ, М. В. АБРАМЧУК

ПРОБЛЕМЫ СОВМЕСТИМОСТИ НОВЫХ РОССИЙСКИХ СТАНДАРТОВ С НОРМАМИ ISO

Обоснована необходимость разработки российских стандартов на основе ГОСТ 1643-81 в соответствии с рекомендациями ISO. Проведено сравнение стандарта ISO 1328 с ГОСТ 21098-82 и ГОСТ 1643-81, рассмотрены некоторые достоинства и недостатки последнего.

Ключевые слова: зубчатые колеса, зубчатые передачи, точность, многозвенный механизм, стандарты, ГОСТ 1643-81, ISO 1328, ГОСТ 21098-82.

Введение. Нормирование точности зубчатых колес, передач и многозвенных механизмов сопряжено с рядом проблем, в частности, в одном документе (ГОСТ 1643-81 [1] «*Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски*») нормирована точность и зубчатых колес, и передач. Однако в ЕСКД содержится фундаментальное положение о том, что допуски и предельные отклонения на чертежах даются относительно приведенной на чертеже детали оси [2], т.е. применительно к зубчатым колесам это — базовая ось. Допуски и предельные отклонения

переприсваиваются в таблицу на чертеже колеса без всяких изменений. В отличие от [1], в ГОСТ 21098-82 указано, что при переходе к рабочим осям следует учесть монтажные погрешности, к которым, безусловно, относятся погрешности незубчатых элементов передачи: подшипников, валов, корпуса, соединений, втулок и т.д., и это правильный подход.

За прошедшее с последнего издания стандарта [1] время подход к нормированию точности зубчатых колес и передач изменился. Отечественный производитель, желающий реализовывать свою продукцию на мировом рынке, особенно в связи с присоединением России к ВТО, должен учитывать, по крайней мере, минимальные требования, приведенные в стандартах ISO. Тем не менее отказаться полностью от отечественных стандартов невозможно. Следует пересмотреть российскую нормативную документацию с учетом современных реалий, дополнить отечественный опыт лучшими зарубежными наработками, что может быть достигнуто без коренной ломки системы производства и контроля зубчатых колес и передач, но с учетом необходимости повышения квалификации научно-технического персонала.

Сравнение рекомендаций ISO с нормами ГОСТ 1643-81. Рекомендации ISO 1328, в отличие от ГОСТ 1643-81, разбиты на две части (ISO 1328-1:1995 „Определения и допустимые значения отклонений соответствующих боковых поверхностей зацепляющихся зубьев“ [3] и ISO 1328-2:1997 „Определения и допустимые значения отклонений, относящихся к радиальным составным отклонениям (колебаниям измерительного межосевого расстояния), и информация по износу (радиальному биению)“ [4]). Обе части имеют общий заголовок „*Передачи зубчатые цилиндрические — Система точности по ISO*“.

Стандарт издан двумя отдельными частями, поэтому им неудобно пользоваться. В каждой из частей используется своя система рядов параметров. В первой части [3, с. 7—8]:

— делительный диаметр: 5 / 20 / 50 / 125 / 280 / 560 / 1000 / 1600 / 2500 / 4000 / 6000 / 8000 / 10 000 мм;

— модуль зубьев: 0,5 / 2 / 3,5 / 6 / 10 / 16 / 25 / 40 / 70 мм;

— ширина зубчатого венца: 4 / 10 / 20 / 40 / 80 / 160 / 250 / 400 / 650 / 1000 мм.

Во второй части представлены ряды для колебаний измерительного межосевого расстояния [4, с. 5]:

— делительный диаметр: 5 / 20 / 50 / 125 / 280 / 560 / 1000 мм;

— модуль зубьев: 0,2 / 0,5 / 0,8 / 1 / 1,5 / 2,5 / 4 / 6 / 10 мм;

а также для радиального биения [4, с. 8]:

— делительный диаметр: 5 / 20 / 50 / 125 / 280 / 560 / 1000 / 1600 / 2500 / 4000 / 6000 / 8000 / 10 000 мм;

— модуль зубьев: 0,5 / 2,0 / 3,5 / 6 / 10 / 16 / 25 / 40 / 70 мм.

Такой подход усложняет нормирование точности.

В отличие от ISO, ГОСТ 1643-81 регламентирует эвольвентные цилиндрические зубчатые колеса и зубчатые передачи внешнего и внутреннего зацепления с прямозубыми, косозубыми и шевронными зубчатыми колесами с диаметром делительной окружности до 6300 мм, шириной зубчатого венца или полушеврона до 1250 мм, модулем зубьев от 1 до 55 мм [1, с. 1]. Нам представляется разумным проработать вопрос об увеличении диапазона величин диаметра делительной окружности до значений не менее приведенных в первой части ISO 1328, т.е. до 10 000 мм, и модуля зубьев — до 70 мм.

Таким образом, видно, что диапазон делительных диаметров d и модулей m существенно ограничен сверху, скорее всего, вследствие отсутствия приборов для измерения зубчатых колес больших размеров.

При разработке нового стандарта представляется логичным установить нижнюю границу величины модуля зубьев — 0,5 мм. 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 стандартами предприятий (СТП) в соответствии с их

назначением. Разработка стандартов является важнейшей задачей специализированных предприятий. При этом, отражая специфику производства и использования таких передач, СТП не должны противоречить ни государственным стандартам, ни рекомендациям ISO.

В рекомендациях ISO система точности разделена в соответствии с разделением самого ISO на 2 части, и в них не введены такие понятия, как норма кинематической точности, плавности и контакта зубьев.

В каждой части ISO 1328 установлена своя структура системы точности для зубчатых колес. В первой части [3, с. 7] отмечается, что система точности по ISO включает в себя 13 степеней точности, где 0 — самая высокая, а 12 — самая низкая. Во второй части [4, с. 1] говорится, что система точности радиальных измерений имеет иные диапазоны степеней, чем ISO 1328-1. Ряды диаметра и модуля для радиальных составных отклонений (колебаний измерительного межосевого расстояния) и радиального биения также другие. Система точности радиальных составных отклонений (колебаний измерительного межосевого расстояния) включает в себя 9 степеней точности, где 4 — самая высокая степень, а 12 — самая низкая. В стандарте [3, с. 3] сказано, что определение степени точности с помощью измерения радиальных составных отклонений (колебаний измерительного межосевого расстояния), согласно этой части ISO 1328, не подразумевает, что погрешности элементов (например, шага, профиля, хода винтовой линии зуба и т.д. из ISO 1328-1) будут соответствовать той же степени (точности). Положения в документах относительно требуемой точности должны включать ссылку на соответствующий стандарт, ISO 1328-1 или ISO 1328-2.

Также в ISO отсутствуют виды сопряжений зубчатых колес в передаче, виды допуска на боковой зазор, классы отклонения межосевого расстояния, нормы бокового зазора. Боковой зазор упоминается в первой части ISO 1328 [3, с. 17] среди требований для проверки степени точности кинематической погрешности.

ГОСТ 1643-81 устанавливает 12 степеней точности зубчатых колес и передач от 1 до 12 — в порядке убывания точности. Для каждой степени точности зубчатых колес и передач устанавливаются нормы кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев зубчатых колес в передаче. Нормы точности стандарта ГОСТ 1643-81 включают в себя поэлементные показатели (объединенные в комплексы) и комплексные показатели точности зубчатых колес и передач [5, с. 326]. Допускается комбинирование норм кинематической точности, норм плавности работы и норм контакта зубьев зубчатых колес и передач разных степеней точности.

Такая структура ГОСТ усложняет работу с нормативным документом. При разработке нового ГОСТ следует сохранить возможность комбинирования норм кинематической точности, норм плавности работы и норм контакта зубьев зубчатых колес и передач разных степеней точности. Это позволяет конструктору передачи (механизма) указать приоритет той или иной нормы для данной передачи. Так, для отсчетных передач важна кинематическая точность, для скоростных — плавность, для силовых — нормы контакта и т.д., такой подход позволяет фиксировать внимание технолога на обеспечении тех или иных норм. Последняя задача актуальна, поскольку станкостроение в области зубчатых передач отстало от мирового уровня меньше, чем практика зубообработки [6—8].

Обязательное нормирование кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев в ГОСТ, с одной стороны, существенно расширяет возможности конструктора и позволяет использовать более индивидуальный подход к группе передач, но с другой — не отражает того, что все эти качества формируются в едином технологическом процессе, и потому производственные возможности комбинирования норм точности ничтожны. Недаром параметры классы отклонения межосевого расстояния и несовпадение видов сопряжения и допуска на боковой зазор используются на практике чрезвычайно редко.

В рекомендациях ISO подход к контролю бокового зазора отличается от ГОСТ. В ISO 1328 он рассматривается в отдельном стандарте: техническом отчете [9, 10]. Рекомендации стандарта ISO/TR 10064-2 не связывают величину зазора и ее нормирование ни с видом сопряжения, ни с видом допуска на боковой зазор, ни с классом отклонения межосевого расстояния. Однако требуется обязательный учет погрешности изготовления и монтажа незубчатых деталей передачи (корпуса, валов, подшипников и т.д.), условий работы зубчатой передачи, а также вида смазки, ее загрязнения, наличия неметаллических частей колес и других элементов.

Нормирование бокового зазора в ГОСТ 1643–81 производится следующим образом. В стандарте установлены шесть видов сопряжения: A, B, C, D, E, H и восемь видов допуска T_{jn} на боковой зазор: x, y, z, a, b, c, d, h . Видам сопряжения H и E соответствует вид допуска на боковой зазор h ; D, C, B и A — d, c, b и a соответственно. Возможно менять соответствие вида сопряжения колес и допуска на боковой зазор. Также могут быть использованы допуски x, y, z , которые не связаны с определенным видом сопряжения, т.е. предусматривается возможное увеличение допуска T_{jn} . В ГОСТ установлены 6 классов отклонений межосевого расстояния (по сути неподвижного звена передачи), обозначаемых в порядке убывания точности римскими цифрами от I до VI. Гарантированный боковой зазор $j_{n \min}$ в каждом сопряжении обеспечивается при соблюдении отклонений межосевого расстояния (для сопряжений H и E — II класса, а для D, C, B и A — III, IV, V и VI соответственно). Помимо того, допускается изменять соответствие между видом сопряжения и классом отклонения межосевого расстояния. Требования к боковому зазору задаются видом сопряжения по нормам бокового зазора.

Наличие видов сопряжения в ГОСТ 1643-81 создает значительную вариативность в нормировании бокового зазора, это позволяет детализировать рекомендации ISO. Использование видов сопряжения расширяет возможности конструктора в части назначения гарантированного бокового зазора $j_{n \min}$ и допуска на него T_{jn} . Представляется разумным отказаться от такого понятия, как класс отклонения межосевого расстояния, поскольку эта норма переопределяет боковой зазор в зубчатой передаче.

При разработке нового стандарта необходимо рассчитывать параметры бокового зазора исходя из условий эксплуатации [11]. Необходима стандартизация методики расчета бокового зазора на основании проведения экспериментальных работ ввиду недостаточного объема имеющихся рекомендаций в настоящее время.

Стандарт ISO 1328 нормирует точность зубчатых колес, содержит их определение и требования к измерительному зубчатому колесу.

Нормы стандарта ГОСТ 1643-81 устанавливаются для зубчатых передач, зубчатых пар и зубчатых колес, причем в таблицах стандарта четко указано, какая норма относится к колесам, какая — к передачам. В ISO 1328 понятие зубчатой пары отсутствует.

Уровень производства в отечественном редукторостроении не позволит в ближайшем будущем исключить из объектов стандартизации „зубчатую пару“ и ввести „отдельно взятое колесо“. Уровень производства в нашей стране не позволяет производить отдельные колеса, не подобранные в пары. Более того, специалисты не рекомендуют производство отдельно взятого колеса. В редукторе быстрее всего из строя выходит шестерня быстроходной передачи. Вместе с тем заменить только шестерню не представляется возможным, так как парное колесо также в определенной стадии изношено.

Основные требования к созданию стандарта параметров точности передач и многозвенных зубчатых механизмов. В ГОСТ 21098-82 [12] нет четкого определения „объект взаимозаменяемости“, что необходимо учесть при разработке нового стандарта зубчатой передачи [13]. Таким образом, предполагается изменить базовый ГОСТ 1643-81 и другие, основанные на тех же принципах, стандарты, так как нормы этих документов относятся к колесам на базовых осях и проставляются на чертежах зубчатых и червячных колес, червяков и реек.

Однако в переработанном ГОСТ следует сохранить принцип: чтобы получить параметры точности передач, необходимо добавить к параметрам точности колес монтажные погрешности, т.е. сумму погрешностей всех элементов передачи.

Необходимо привести типовые схемы зубчатых передач в более полном объеме, чем это сделано для цилиндрических передач [14, с. 144]. Предполагается придать стандарту, вводимому вместо ГОСТ 21098-82, расчетный характер. При этом табличные показатели норм точности и бокового зазора будут относиться к отдельным типовым схемам передач. Требование одинаковой степени точности по каждому отдельному показателю для шестерни и колеса передачи становится в таком случае излишним. Необходимо учесть существенные недостатки ГОСТ 21098-82, основные из них:

1) весьма приближенно охарактеризован расчет осевых и радиальных составляющих монтажных погрешностей, не учтены разногласия относительно монтажных погрешностей в типовых видах соединений;

2) при суммировании погрешностей элементов передач в передачу и передач — в многозвенный механизм не учитываются результаты работ по изученным функциям плотности распределения вероятности различных видов погрешности;

3) в стандарте используется неверный подход к вычислению коэффициентов фазовой компенсации.

Выводы. На данный момент актуальна задача разработки новых стандартов вместо ГОСТ 1643-81 и его аналогов на зубчатые и червячные колеса, червяки, рейки и зубчатые пары, которые отражали бы развитие теории и практики зубчатых передач за истекший период, не противоречили рекомендациям ISO и вместе с тем по возможности сохраняли положительные стороны стандарта ГОСТ 1643-81.

Разработка нового отечественного стандарта, учитывающего рекомендации ISO, в том числе и по нормированию бокового зазора в стандарте ISO/TR 10064-2, при использовании положительных сторон существующих стандартов необходима для интеграции в мировую систему производства и торговли для создания конкурентоспособной продукции.

Не менее актуальна переработка ГОСТ 21098-82 в стандарт на зубчатые передачи, имеющий расчетный характер, при обязательном использовании всех наработок в области теории вероятности и математической статистики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 1643-81. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. М.: Изд-во стандартов, 1989. 68 с.
2. ГОСТ 2.109–73. Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам. М.: Изд-во стандартов, 1974. 29 с.
3. ISO 1328-1:1995, Cylindrical gears — ISO system of accuracy — Pt. 1: Definitions and allowable values of deviations relevant to corresponding flanks of gear teeth.
4. ISO 1328-2:1997, Cylindrical gears — ISO system of accuracy — Pt. 2: Definitions and allowable values of deviations relevant to radial composite deviations and runout information.
5. Тищенко О. Ф., Валединский А. С. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Машиностроение, 1977. 357 с.
6. Тимофеев Б. П. Стандартизация параметров точности зубчатых колес и передач // Актуальные задачи машиноведения, деталей машин и триботехники: Тр. Междунар. науч.-техн. конф. СПб: БГТУ, 2010. С. 10—14.
7. 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. 2007. Т. 5, № 1(9) С. 60—70.
8. Тимофеев Б. П., Абрамчук М. В. Формирование отечественных стандартов качества зубчатых колес и передач, не противоречащих рекомендациям ISO // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2008. Вып. 48. С. 172—178.

9. ISO/TR 10064–2:1996. Cylindrical gears. Code of inspection practice. Pt. 2. Inspection related to radial composite deviations, runout, tooth thickness and backlash.
10. ISO/TR 10064–2:1996/Cor.1:2001. Cylindrical gears. Code of inspection practice. Pt. 2. Inspection related to radial composite deviations, runout, tooth thickness and backlash. Technical Corrigendum 1.
11. Тимофеев Б. П., Шалобаев Е. В. Состояние и перспективы нормирования точности зубчатых колес и передач // Вестн. машиностроения. 1990. № 12. С. 34—36.
12. ГОСТ 21098–82. Цепи кинематические. Методы расчета точности. М.: Изд-во стандартов, 1986. 15 с.
13. Вульфсон И. И., Ерихов М. Л., Козловский М. З. и др. Механика машин / Под ред. Г. А. Смирнова. М.: Высш. школа, 1996. 511 с.
14. Кудрявцев В. Н., Кузьмин И. С., Филипенков А. Л. Расчет и проектирование зубчатых редукторов: Справочник. СПб: Политехника, 1993. 448 с.

Сведения об авторах

Борис Павлович Тимофеев

— д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра мехатроники; E-mail: mechatronic@mail.ifmo.ru

Михаил Владимирович Абрамчук

— Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра мехатроники; старший преподаватель; E-mail: amv76@list.ru

Рекомендована кафедрой
мехатроники

Поступила в редакцию
29.02.12 г.