



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Механика»

РАСЧЕТ И НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ И КОЛЕС

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
по выполнению курсовой работы по дисциплине
«Нормирование точности и технические измерения»
для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология
машиностроения», 1-36 01 03 «Технологическое
оборудование машиностроительного производства»
и 1-36 12 01 «Проектирование и производство
сельскохозяйственной техники»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2018

УДК 621.713/.715+621:53.08(075.8)
ББК 34.41+30.10я73
Р24

*Рекомендовано научно-методическим советом
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 10 от 26.06.2017 г.)*

Составители: *Ю. Е. Кирпиченко, С. И. Прач*

Рецензент: зав. каф. «Технология машиностроения» ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук, доц. *М. И. Кульгейко*

Р24 **Расчет** и нормирование точности цилиндрических зубчатых передач и колес : учеб.-метод. пособие по выполнению курсовой работы по дисциплине «Нормирование точности и технические измерения» для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» и 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» днев. и заоч. форм обучения / сост.: Ю. Е. Кирпиченко, С. И. Прач. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 57 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит методику нормирования точности цилиндрических зубчатых передач и колес и пример выполнения раздела курсовой работы по дисциплине «Нормирование точности и технические измерения».

Для студентов машиностроительных специальностей дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.713/.715+621:53.08(075.8)
ББК 34.41+30.10я73

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2018

Содержание

1 Расчет геометрических параметров.....	4
2 Эксплуатационные требования и система допусков на зубчатые передачи	
2.1 Общие сведения.....	8
2.2 Система допусков на зубчатые передачи.....	9
3 Выбор степени точности зубчатой передачи.....	18
4 Выбор контрольного комплекса... ..	21
5 Требования к рабочим чертежам зубчатых колес.....	27
6 Пример оформления рабочего чертежа зубчатого колеса.....	30
Литература.....	37
Приложение.....	38

1 РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Зубчатые передачи находят широкое применение в различных видах машин и механизмов, исполняя роль передаточного механизма. Они определяют качество, надежность, работоспособность и долговечность машин, станков, приборов и других изделий. Расчет геометрических параметров зубчатых передач необходим с конструкторской точки зрения, так как определяет основные размеры и габариты передачи, а также с технологических позиций, так как влияет на выбор оборудования и методов обработки

Наиболее широко применяются эвольвентные цилиндрические зубчатые передачи внешнего и внутреннего зацепления с исходным контуром, профилирующим режущий инструмент по ГОСТ 13755. Исходный контур выполняется в виде прямозубой рейки с углом $\alpha = 20^\circ$. Прямозубые колеса имеют направление зуба вдоль оси колеса. У косозубых колес зуб направлен под углом β к оси колеса.

Основным геометрическим параметром, определяющим все элементы передачи, является модуль – m , который выбирается в зависимости от передаваемой нагрузки из нормального ряда модулей по ГОСТ 9563 .

Модуль равен отношению диаметра делительной окружности d к числу зубьев z или отношению окружного шага p_t к числу π . Иными словами, модуль – это длина дуги делительной окружности, приходящаяся на один зуб колеса.

Зубчатые колеса с модулем от 0,05 мм до 1 мм принято называть мелкомодульными; от 1 до 10 мм – среднемодульными и свыше 10 мм – крупномодульными.

Основное применение находит *первый ряд* модулей: 0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16. *Второй ряд* применяется ограниченно: 0,55; 0,7; 0,9; 1,125; 1,375; 1,75; 2,25; 2,75; 3,5; 4,5; 5; 7; 9; 11; 14; 18.

Мелкомодульные передачи ($m < 1$) применяются при малых нагрузках (в приборостроении, при ручном приводе). Чем больше

передаваемая нагрузка, тем больше должен быть модуль и ширина зубчатого венца – B . Рекомендуется принимать $B = (3... 15) m$.

Число зубьев колес принято обозначать буквой z , а в передаче для ведущего (шестерни) и ведомого колес – z_1 и z_2 соответственно.

В зубчатой передаче число оборотов зависит от числа зубьев колеса.

Передаточное число $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$, где n_1 и n_2 – число оборотов в

минуту ведущего и ведомого колеса.

Межосевое расстояние (делительное) в передаче:

$$a = m(z_1 + z_2)/2;$$

- диаметр делительной окружности – $d = m \cdot z$;
- диаметр окружности выступов – $d_a = d + 2m = m(z + 2)$;
- диаметр окружности впадин – $d_f = d - 2,5m = m(z - 2,5)$;
- диаметр основной окружности – $d_b = d \cos \alpha = mz \cos \alpha$;
- шаг зацепления или основной шаг (шаг по основной окружности)– $p_a = p_b = p_t \cos \alpha = \pi m \cos \alpha$;
- высота головки зуба – $h_a = m$;
- высота ножки – $h_f = 1,25 \cdot m$;
- толщина зуба по делительной окружности – $S = p_t / 2 = \pi \cdot m / 2$ на высоте головки зуба h_a ;
- толщина зуба по постоянной хорде $S_c = 1,387 \cdot m$, измеренная на высоте $h_c = 0,7476 \cdot m$ от вершины зуба. Этот показатель не зависит от числа зубьев колеса, а зависит только от модуля;
- размер по роликам – M (для определения значения окружной толщины зуба или величины смещения исходного контура для мелкомодульных колес);
- длина общей нормали W или средняя длина общей нормали W_m .

Длина общей нормали – это расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум разноименным, активным боковым поверхностям зубьев колеса. Номинальное значение длины общей нормали определяется по формуле:

$$W = p_t(z_w - 1) + S,$$

где $z_w = 0,111 \cdot z + 0,5$ или $z_w = z/9 + 1$ – число охватываемых при измерении зубьев, которое необходимо округлять до ближайшего целого числа. Для колес с углом зацепления $\alpha = 20^\circ$ формула принимает вид:

$$W = m[1,476(2z_w - 1) + 0,014z].$$

Средняя длина общей нормали определяется по результатам измерения всех длин у колеса от зуба к зубу, как среднее арифметическое значение:

$$W_m = \frac{\sum_1^z W_i}{z} = \frac{W_1 + W_2 + \dots + W_z}{z}.$$

В виду погрешностей обработки, у одного зубчатого колеса длина общей нормали изменяется от зуба к зубу.

Для размещения смазки и исключения заклинивания требуется увеличивать или уменьшать толщину зуба. Теоретическое зацепление считается двухпрофильным, когда контакт идет по обеим сторонам зуба.

Реальная передача имеет однопрофильное зацепление, т.е. по рабочим профилям – контакт, а по нерабочим – зазор.

Величина бокового зазора зависит от условий эксплуатации: температуры, смазки, нагрузки, условий загрязнения и других требований (см. п. 3).

У зубчатого колеса различают окружной шаг по делительной окружности $p_t = \frac{\pi d}{z} = \pi m$, и шаг зацепления или основной шаг (шаг по основной окружности): $p_b = p_t \cos \alpha = \pi m \cos \alpha$.

Контроль окружного шага может быть выполнен накладным шагомером или универсальным зубоизмерительным прибором. Базирующие наконечники опираются на наружный (или внутренний) диаметр (рис.1,а). Широко используется метод измерения от «первого шага», принятого за номинальное значение с определением отклонений от него. Измерив по всей окружности z раз, можно

построить график и определить накопленную погрешность окружного шага.

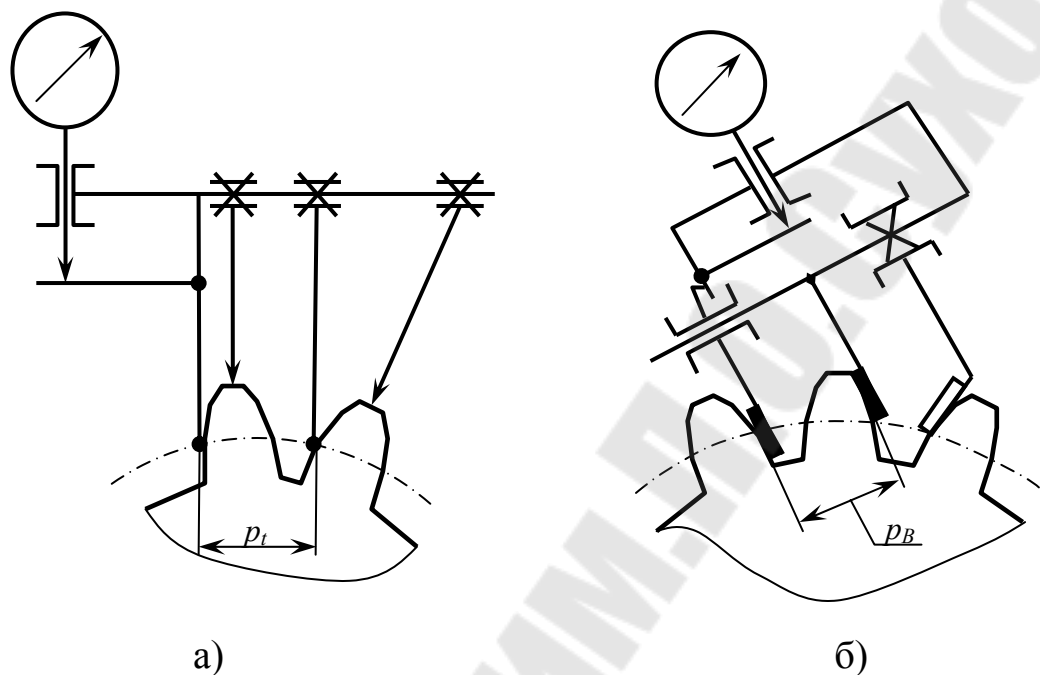


Рисунок 1 – Схема измерения шаговых параметров зубчатого колеса: а – окружного шага; б – шага зацепления

Шаг зацепления (основной шаг) контролируется в плоскости, касательной к основному цилиндру (рис.1,б). Настройка прибора производится на ноль по блоку кольцевых мер длины, равному номинальному значению шага зацепления. Метод измерения относительный, так как прибор показывает погрешность шага зацепления.

2 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И СИСТЕМА ДОПУСКОВ НА ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ

2.1 Общие сведения

По условиям работы зубчатые передачи [3;4;5] делятся на следующие эксплуатационные группы:

- отсчетные (кинематические);
- скоростные (окружная скорость до 120 м/с);
- силовые;
- передачи общего назначения.

Основное требование к **отсчетным передачам** – высокая кинематическая точность (согласованность в углах поворота). Применяются они в точных кинематических цепях (измерительные приборы, делительные механизмы станков), имеют малый модуль и небольшую длину зуба и работают при малых окружных скоростях до 6 м/с.

Для **скоростных передач** основное требование – плавность работы, т.е. бесшумность и отсутствие вибраций. Для них важна также полнота контакта по рабочим профилям зуба. Это зубчатые передачи средних размеров, они входят в состав редукторов турбин, двигателей, коробок перемены передачи автомобилей, коробок скоростей станков и других быстроходных механизмов.

Силовые передачи требуют полноты контакта (рис.2), особенно по длине зуба. Это колеса с крупным модулем, большой длиной зуба ($B > 10m$). Такие передачи работают в грузоподъемных, землеройных, строительных и дорожных машинах, в конвейерах, эскалаторах, механических вальцах и т.д.

Величину пятна контакта оценивают относительными размерами в процентах по длине зуба:

$$\frac{a - c}{B} \cdot 100\%,$$

где a – общая длина контакта; c – сумма длин пробелов в пятне (если $c > m$); B – ширина зубчатого венца,

- по высоте зуба:

$$\frac{h_m}{h_p} \cdot 100\%,$$

где h_m – средняя высота пятна контакта; h_p – рабочая высота зуба, равна $2m$.

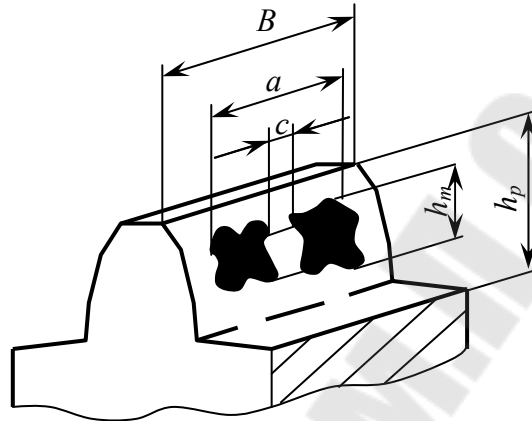


Рисунок 2 – Пятно контакта

Пятно контакта оценивается в собранной передаче, после работы под нагрузкой. Мгновенное пятно контакта составляет около 75% от суммарного пятна контакта и оценивается "по краске" после одного оборота.

Передачи **общего назначения** наиболее распространены в машиностроении. Эти передачи работают при незначительных нагрузках и окружных скоростях до 10 м/с. Для них не устанавливаются повышенные требования ни по одному из трех рассмотренных требований.

2.2 Система допусков на зубчатые передачи

Для регламентации точности созданы системы допусков на отдельные виды зубчатых передач (цилиндрические, конические, червячные), так как точность работы механизма зависит не только от точности отдельных элементов (зубчатых колес), но и от точности расположения осей в корпусах.

Для цилиндрических зубчатых передач с $m > 1$ система допусков определена в ГОСТ 1643, а для мелко модульных – в ГОСТ 9178.

Для конических зубчатых передач с $m > 1$ система допусков определена в ГОСТ 1758, а для мелкомодульных – в ГОСТ 9368.

Для червячных передач при $m > 1$ система допусков определена ГОСТ 3675, для мелкомодульных – ГОСТ 9774.

Системы допусков для различных видов зубчатых передач имеют много общего. Далее рассмотрена система допусков на цилиндрические зубчатые передачи с модулем $m > 1$ (ГОСТ 1643).

Для зубчатых передач установлено 12 степеней точности (с 1 по 12) в порядке увеличения допусков.

Степень точности – заданный уровень допустимого несоответствия значений их действительных параметров расчетным (номинальным) значениям.

Для цилиндрических передач 1 и 2 степени точности резервные. Основной степенью точности является **шестая** степень. Значения допусков остальных степеней рассчитаны через допуск 6 степени и коэффициенты перехода от степени к степени.

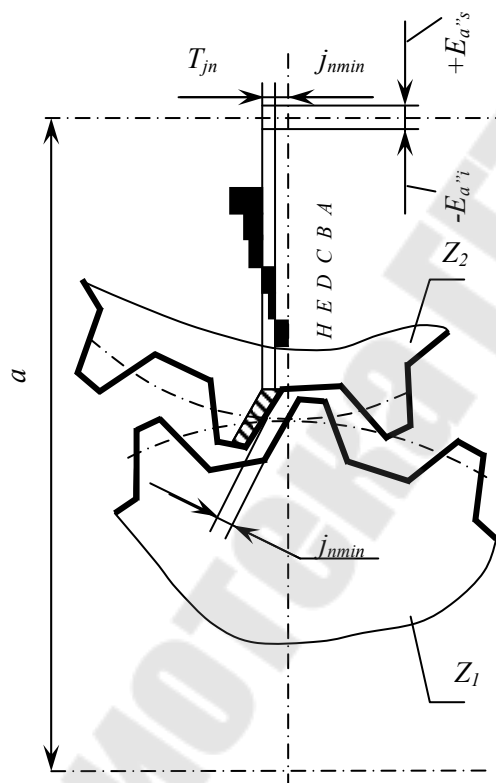
В каждой степени выделено три нормы точности согласно эксплуатационным группам: кинематическая точность, плавность работы и контакт зубьев. В каждой норме определены независимые, равноправные показатели точности и допуски на них (см. рис.3).

Кинематическая точность характеризуется полной погрешностью углов поворота, находящихся в зацеплении колес за один оборот, выражается в линейных величинах длиной дуги делительной окружности.

Плавность работы передачи характеризуется циклическими погрешностями при повороте колеса на один зуб.

Контакт зубьев определяется размерами области контакта боковых поверхностей при работе передачи. Зависит от погрешностей самих колес и от погрешностей их монтажа в корпус.

Независимо от степени точности выбирается **вид сопряжения**, который характеризуется нормой бокового зазора.



Виды сопряжений					
H	E	D	C	B	A
Нормы бокового зазора					
$j_{nmin}; T_{jn}; \pm f_a$					
$E_{Hs}; T_H > F_r$ $E_{Ms}; T_M$ $E_{Wms}; T_{Wm}$ $E_{Ws}; T_W$ $E_{Cs}; T_C$ $E_{a''s}; E_{a''i}$					

Рисунок 3 – Показатели точности зубчатых колес и передач

В стандартах на все виды зубчатых передач при образовании символов нормируемых отклонений и допусков используются следующие обозначения:

- F – показатели, определяющие кинематическую точность;
- f – показатели плавности работы передачи;
- показатель, относящийся к передаче, обозначается индексом -0 ;
- действительное значение измеренного параметра имеет в конце общего символа $-r$;
- один штрих означает, что показатель определяется в однопрофильном зацеплении;
- два штриха требуют выполнять контроль параметра в двухпрофильном зацеплении;
- показатели без штрихов проверяются у зубчатого колеса без зацепления с другим и характеризуют геометрическую точность.

Расшифровка условных обозначений

Показатели нормы кинематической точности:

F_{io}' – допуск на кинематическую погрешность зубчатой передачи; определяется как сумма допусков кинематических погрешностей двух сопрягаемых колес

$$F_{io}' = F_{i1}' + F_{i2}'.$$

F_i' – допуск на кинематическую погрешность зубчатого колеса;

$$F_i' = F_p + f_f;$$

F_p – допуск на накопленную погрешность шага зубчатого колеса;

F_{Pk} – допуск на накопленную погрешность « k » шагов ($k > 2$);

F_r – допуск на радиальное биение зубчатого венца;

F_i'' – допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса

$$F_i'' = 1,4F;$$

F_{vw} – допуск на колебание длины общей нормали:

$$F_{vw} = W_{\max r} - W_{\min r};$$

F_c – допуск на погрешность обката, зависит от кинематической погрешности зубообрабатывающего станка, ($F_c = F_{vw}$).

Показатели нормы плавности работы передачи:

f_{i0}' – допуск на местную кинематическую погрешность передачи,

$$f_{i0}'' = 1,25 f_{i0}';$$

f_{zzo} – допуск на циклическую погрешность зубцовой частоты в передаче;

f_{zko} – допуск на циклическую погрешность передачи;

f_i' – допуск на местную кинематическую погрешность зубчатого колеса;

$\pm f_{Pb}$ – предельные отклонения шага зацепления

$$f_{Pb} = P_{br} - P_b;$$

$\pm f_{Pt}$ – предельные отклонения окружного

$$f_{Pt} = P_{tr} - P_t;$$

f_f – допуск на погрешность профиля зуба;

f_i'' – колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе;

$f_{zk} = f_{zko}$ – допуск на циклическую погрешность зубчатого колеса равен циклической погрешности передачи с частотой « k » за оборот;

f_{zzo} – допуск на циклическую погрешность зубцовой частоты в передаче;

$f_{zz} = 0,6 f_{zzo}$ – допуск на циклическую погрешность зубцовой частоты зубчатого колеса.

Показатели нормы контакта зубьев для передачи:

$\% \%$ – суммарное пятно контакта по высоте и ширине зуба реальной передачи при вращении под нагрузкой;

f_x – допуск параллельности осей, $f_x = F_\beta$;

f_y – допуск на перекос осей, $f_y = 0,5 F_\beta$;

Показатели нормы контакта зубьев для зубчатого колеса:

F_β – допуск на погрешность направления зуба;

F_k – допуск на суммарную погрешность контактной линии.

Показатели норм бокового зазора для передачи:

$\pm f_a$ – предельные отклонения межосевого расстояния (МОР) для передач с не регулируемым расположением осей,

$$\pm f_a = \pm 0,5 j_{n \min};$$

$J_{n \min}$ – минимальный гарантированный боковой зазор;

T_{jn} – допуск на боковой зазор;

Показатели норм бокового зазора для зубчатого колеса при внешнем зацеплении:

+ $E_{a''s}$ – верхнее предельное отклонение измерительного МОР,

$$E_{a''s} = +f_i''; E_{a''s} = a_{нб}'' - a_{ном};$$

+ $E_{a''i}$ – нижнее предельное отклонение измерительного МОР,

$$E_{a''i} = -T_H; E_{a''i} = a_{нм}'' - a_{ном};$$

- E_{Hs} – наименьшее дополнительное смещение исходного контура зубчатого колеса;

T_H – допуск на смещение исходного контура, $T_H > F_r$;

E_{Wms} – наименьшее отклонение средней длины общей нормали;

T_{Wm} – допуск на среднюю длину общей нормали

$$T_{Wm} = (T_H - 0,7F_r)2 \sin \alpha;$$

T_W – допуск на длину общей нормали всей партии колес, изготавливаемых по данному чертежу;

E_{Cs} – наименьшее отклонение толщины зуба

$$E_{Cs} = E_{Hs} 2 \sin \alpha;$$

T_C – допуск на толщину зуба, $T_C = 2T_H \operatorname{tg} \alpha$;

E_{Ms} – наименьшее отклонение размера M по роликам при $m \leq 1$;

T_M – допуск на размер по роликам.

Для зубчатого колеса при внутреннем зацеплении:

- $E_{a''s}$ – верхнее предельное отклонение измерительного МОР,

$$E_{a''s} = -T_H;$$

+ $E_{a''i}$ – нижнее предельное отклонение измерительного МОР,

$$E_{a''i} = +f_i'';$$

+ E_{Hi} – наименьшее дополнительное смещение исходного контура зубчатого колеса;

T_H – допуск на смещение исходного контура, $T_H > F_r$;

+ E_{Wmi} – наименьшее отклонение средней длины общей нормали;

T_{Wm} – допуск на среднюю длину общей нормали.

Для передач с $m > 1$ мм установлено **шесть видов сопряжений**: A, B, C, D, E и H , которые характеризуются величиной гарантированного наименьшего бокового зазора $j_{n \min}$ между нерабочими профилями. Вид сопряжения A имеет наибольшее значение $j_{n \min}$, далее идет уменьшение значения бокового зазора, в итоге вид сопряжения H имеет $j_{n \min} = 0$.

На каждый вид сопряжения установлен допуск бокового зазора T_{jn} , который для соответствующего вида сопряжения обозначается a, b, c, d, h (последний соответствует сопряжениям E и H); для передач с $m \geq 1$ при необходимости можно использовать увеличенные допуски x, y, z .

Для передач с $m < 1$ мм предусмотрено пять видов сопряжений D, E, F, G, H в порядке убывания $j_{n \min}$.

Для **нерегулируемых** передач с модулем свыше 1 мм установлено в порядке убывания точности **шесть классов отклонений межосевого расстояния** от I до VI, при соблюдении которых обеспечивается гарантированный боковой зазор. При этом сопряжения H и E обеспечиваются при II классе, а сопряжения D, C, B и A - при III, IV, V и VI классах. В обоснованных случаях это соответствие можно изменять. Рекомендации по соответствию степени точности и вида сопряжения даны в таблице 1.

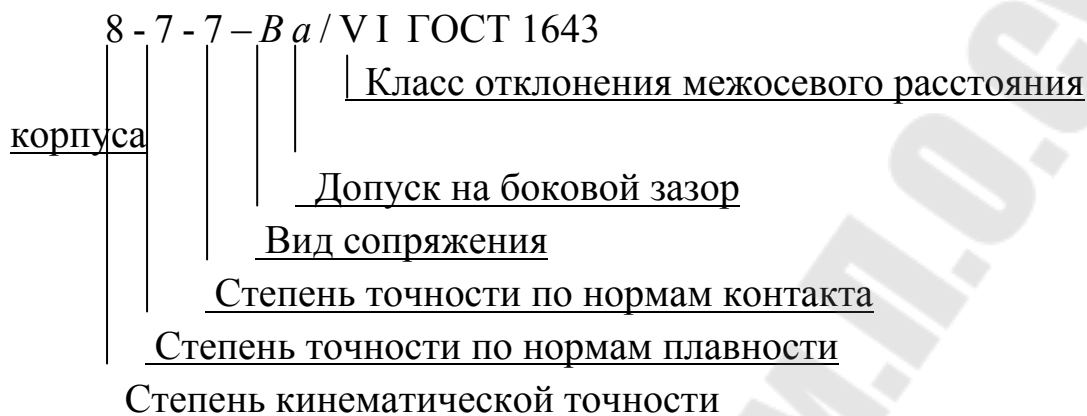
Некоррегированные зубчатые передачи на операциях зубонарезания имеют коэффициент смещения исходного контура равный нулю, то есть для них обеспечивается номинальное межосевое расстояние между исходной рейкой и зубчатым колесом. Коррегирование зубчатых колес (смещение исходного контура) производится при малых z ($z < 17$), чтобы исключить подрезание ножки зуба при зацеплении.

Если передача некоррегированная ($x=0$), то вид сопряжения соответствует виду допуска на боковой зазор ($a; b; c; d; h$) и классу отклонений межосевого расстояния (II... VI).

Если допуск на межосевое расстояние требуется назначить больше, чем по нормам VI класса, то указывают его числовое значение в обозначении точности колеса.

Если вид допуска бокового зазора и класс отклонений межосевого расстояния соответствуют виду сопряжения, то они не указываются в условном обозначении точности колеса:

Рассмотрим полное обозначение степени точности зубчатой передачи:



Пример, когда в указанной точности передачи виду сопряжения *B* соответствует вид допуска бокового зазора *b*, и *V* классу межосевого расстояния:

8-7-7-*B* ГОСТ 1643.

Если по всем нормам назначены одинаковые степени точности, условное обозначение точности колеса должно быть указано следующим образом:

7-*B* ГОСТ 1643.

Когда на одну из норм не задается степень точности, то взамен цифры указывается буква *N*, так как параметры этой нормы контролю не подлежат.

N-8 - 8 ГОСТ 1643.

Вид сопряжения для отсчетных передач рекомендуется принимать *H* или *E*, так как требуется уменьшать «мертвый ход». Пример обозначения **отсчетной** передачи:

6-1-1-*E* ГОСТ 1643.

Скоростная передача может иметь следующее комбинирование степеней точности:

7-6-6-*C* ГОСТ 1643.

Комбинированные нормы точности позволяют не выдерживать высокую точность по тем показателям, по которым условия работы передачи этого не требуют.

Силовая передача может обозначаться:

N-7-6-A ГОСТ 1643,

при этом требования к показателям кинематической точности не нормируются, нормы плавности работы назначаются по 7-й степени, а нормы контакта - по 6-й степени, вид сопряжения принят - *A*.

Пример обозначения точности зубчатой передачи **общего назначения**:

9-A ГОСТ 1643.

Для каждого вида норм определены показатели точности и допуски на эти показатели (см. рис.3). Числовые значения допусков представлены в приложении.

3 ВЫБОР СТЕПЕНИ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

Выбор степени точности производится конструктором на основе конкретных условий работы передачи и требований, предъявляемых к ней. Используются методы - **расчетный, опытный и табличный**.

Расчетный метод применяется для особо ответственных передач. Конкретные методики расчета приводятся в отраслевых стандартах.

При **опытном методе** степень точности проектируемой передачи принимают по прототипу работающего механизма.

Выбор степени точности табличным методом **по нормам плавности** работы производится в зависимости от области применения и заданной скорости по рекомендациям табл.2 [5], далее необходимо учесть характер эксплуатационной группы.

В зависимости от эксплуатационной группы разрешается комбинировать степени точности, выполняя более жесткие требования только по тем параметрам, которые влияют на конкретные эксплуатационные свойства [4,5].

С технологической точки зрения нормы **плавности** могут быть не более, чем на одну степень грубее или на две степени точнее нормы **кинематической точности**. Степень точности по **нормам контакта** может быть любой более точной, равной или одну степень грубее, чем нормы **плавности**.

Для **кинематических (отсчетных)** передач наиболее важной является **кинематическая** точность, она назначается на одну степень точнее, чем нормы плавности и контакта зубьев.

Для **силовых** передач, работающих при малых и средних скоростях (прокатные станы) степень точности **по контакту** зубьев должна быть выше, чем по кинематической точности и по плавности (на одну степень).

Для **среднескоростных** (автомобили) и **высокоскоростных** передач (турбины) степень точности по нормам **плавности**

целесообразно назначать на одну точнее, чем по нормам кинематической точности.

Для передач **общего назначения** для всех норм точности назначают одинаковую степень точности.

Вид сопряжения, гарантирующий необходимую величину наименьшего бокового зазора $j_{n \min}$, назначается независимо от степени точности.

Боковой зазор определяется величиной межосевого расстояния и толщиной зубьев колес и зависит от температурного режима работы передачи, способа подачи смазки и окружной скорости V .

Ориентировочно для размещения смазки боковой зазор можно принять в зависимости от модуля [1,5]. Для тихоходных и кинематических передач $j_{n1} = 0,01m$, а для высокоскоростных и тяжело нагруженных – $j_{n1} = 0,03m$ (мм), для среднескоростных можно принять $0,02m$.

Боковой зазор, соответствующий температурной компенсации, определяется по формулам:

$$j_{n2} = a[\alpha_1 \cdot (t_1 - 20^\circ) - \alpha_2 \cdot (t_2 - 20^\circ)]2 \sin \alpha, \text{ мм},$$
$$\text{при } \alpha = 20^\circ \quad j_{n2} = 0,684 \cdot a[\alpha_1 \cdot (t_1 - 20^\circ) - \alpha_2 \cdot (t_2 - 20^\circ)],$$

где a – межосевое расстояние в передаче, мм; α_1 и α_2 – коэффициенты линейного расширения для материалов зубчатых колес и корпуса; t_1 и t_2 – предельные температуры, для которых рассчитывается боковой зазор, для зубчатых колес и корпуса соответственно.

Таким образом, гарантированный боковой зазор получается как сумма:

$$j_{n \min} \geq j_{n1} + j_{n2}.$$

Рассчитав минимальный гарантированный зазор, можно определить вид сопряжения с учетом межосевого расстояния в передаче (см. табл. 3).

Сопряжения вида B применяется наиболее часто, так как исключает заклинивание стальной или чугунной зубчатой передачи от нагрева при разности температур колес и корпуса в 25°C .

Значения коэффициентов линейного расширения (град^{-1} ; мм на 1 мм и 1°C) при температурном перепаде от 20 до 100°C равны [6]:

- для незакаленной стали $\alpha=11,5 \cdot 10^{-6}$,
- для закаленной стали $\alpha=12 \cdot 10^{-6}$,
- для силумина $\alpha=23 \cdot 10^{-6}$,
- для чугуна $\alpha=10,5 \cdot 10^{-6}$,
- для бронзы $\alpha=17,6 \cdot 10^{-6}$,
- для стекла $\alpha=(6...11) \cdot 10^{-6}$.

Наибольший боковой зазор не регламентируется. Это вызвано тем, что боковой зазор является замыкающим звеном размерной цепи, в которой допусками ограничены отклонения всех составляющих размеров (межцентровое расстояние и смещение исходных контуров на шестерне и колесе, непараллельность и перекос осей). Поэтому величина наибольшего зазора не может превзойти значения, получающегося при определенном сочетании составляющих размеров.

Назначив степени точности зубчатого колеса и вид сопряжения, можно записать полное обозначение точности зубчатой передачи (см. п. 2.2).

Числовые значения допусков по нормам кинематической точности определяются по табл. 4 и табл. 5; по нормам плавности работы – по табл. 6 и табл. 7, по нормам контакта – по табл. 8, по нормам бокового зазора – табл. 9; табл. 10.

4 ВЫБОР КОНТРОЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Для оценки точности изготовления зубчатых колес необходимо выбрать контрольный комплекс показателей. Контроль точности зубчатых колес должен выполняться как минимум по четырем показателям, соответствующим четырем нормам точности системы допусков [1,2]. Контролируемые показатели устанавливает предприятие-изготовитель.

Предпочтение следует отдавать **комплексным** показателям, так как они более полно характеризуют погрешности, возникающие в процессе эксплуатации. При сравнительной оценке влияния точности передачи на эксплуатационные качества изделия предпочтительно использовать такие комплексные показатели, как кинематическая погрешность колеса F_{ir}' и передачи F_{ior}' , циклическая погрешность колеса f_{zkr} и передачи f_{zkor} , циклическая погрешность зубцовой частоты в передаче f_{zso}' , суммарное пятно контакта и гарантированный боковой зазор.

В производственных условиях часто вместо комплексных показателей используют **комплексы поэлементных показателей** (табл.11) и соответственно средства поэлементного контроля (табл.12). Каждый установленный комплекс является **равноправным**. Замена комплексных показателей комплексами поэлементных показателей выполняется по следующим причинам:

- в стандартах отсутствуют допуски на комплексные показатели по нормам точности (для колес грубее 9-й степени);
- на предприятии нет средств комплексной проверки;
- требуется выявить технологические погрешности при зубообработке (погрешность эвольвентного профиля при зубошлифовании; погрешность углового шага при зубодолблении и другие).

Выбор контрольного комплекса зависит от принятой технологии изготовления, размеров передачи, состояния средств производства зубчатых колес, серийности производства, требуемой точности и наличия зубоизмерительных приборов.

Контрольный комплекс должен быть **оптимальным**, т.е. необходимо использовать **минимальное** количество приборов, а погрешность измерения должна быть допустимой. Предпочтение следует отдавать измерениям, проводимым **на базе рабочей оси** вращения зубчатого колеса.

Метод двухпрофильного контроля и поэлементные комплексы позволяют оценить, главным образом, геометрическую точность зубчатого колеса, важную с позиций кинематических функций. Однако они не могут обеспечить всесторонней оценки качества работы зубчатой передачи с позиций долговечности, уровня шума. Этот пробел решается в условиях крупносерийного или массового производства за счет обкатки (притирки) и подбора пары колес по уровню шума или пятну контакта, так как не обеспечивается полная взаимозаменяемость.

Для проверки гарантированного **бокового зазора**, определяющего вид сопряжения, широко применяется пять методов косвенного контроля размеров зубьев колеса (рис.4). В таблицах стандартов отклонения и допуски, характеризующие толщину зуба, указаны при измерении их относительно оси колеса, которая выступает в качестве базы.

1) Контроль вида сопряжения (размеров зубьев) на межцентромере по МОР a'' при двухпрофильном зацеплении контролируемого и измерительного колес дает наиболее полные результаты во всех возможных фазах зацепления (рис.4,а). При этом нормируются предельные отклонения измерительного межосевого расстояния: верхнее $E_{a''s}$ и нижнее $E_{a''i}$ в зависимости от вида зацепления. Этот метод контроля широко используется в условиях массового и крупносерийного производства зубчатых колес 7-й и более грубых степеней точности.

2) Исходному контуру (режущему инструменту) сообщается дополнительное радиальное смещение от номинального положения в тело зубчатого колеса, что приводит к уменьшению толщины зуба.

Стандартом регламентируется наименьшее дополнительное смещение исходного контура $-E_{Hs}$ (или $+E_{Hi}$ для колес с внутренним зацеплением) и величина допуска на смещение исходного контура T_H .

Контроль может выполняться **на базе оси** колеса универсальным зубоизмерительным прибором для мелко модульных и среднмодульных колес с диаметром до 300 мм.

На результатах контроля на базе окружности выступов тангенциальным зубомером сказываются отклонения диаметра и несоосность его относительно рабочей оси колеса. Требуется вводить производственный допуск на E_{Hs} и T_H с учетом принятых допусков на d_a (см. табл.13).

Производственный допуск рассчитывается по следующим формулам:

$$E_{Hsnp} = |E_{Hs}| + 0,35Fd_a ; T_{Hnp} = T_H - 0,7Fd_a - 0,5Td_a .$$

3) Контроль бокового зазора методом контроля толщины зуба по хорде оценивается как весьма грубый, поскольку выполняется на базе окружности выступов колеса, а не от оси колеса. Измерение производится кромками зубомера, а результаты зависят от того, какая хорда выбрана для измерения. Для контроля вводится производственный допуск. Нормируется наименьшее отклонение толщины зуба E_{cs} и допуск на толщину зуба T_c [6].

Производственные отклонения и допуск можно определить по следующим формулам при $\alpha = 20^\circ$:

$$E_{cs} = 0,73E_{Hsnp} ; T_{cnp} = 0,73T_{Hnp} .$$

4) Контроль через измерение длины общей нормали осуществляется нормалемерами. Положительным моментом при этом является отсутствие требований к окружности выступов зубчатого колеса. Но при этом измерение длины общей нормали осуществляется независимо от оси колеса, следовательно, не учитывается влияние радиального биения зубчатого колеса на величину бокового зазора. Кроме того, колебание длины общей нормали не сказывается на величине смещения исходного контура и бокового зазора. Поэтому оценка колеса в отношении размера зубьев должна производиться

по средней длине общей нормали, а не по наибольшей или наименьшей.

Номинальная длина общей нормали W характеризует размеры зубьев, входящих в зацепление без бокового зазора.

Средняя длина общей нормали W_{mr} более точно характеризует размеры зубьев колеса и величину бокового зазора, который зависит непосредственно от радиального биения зубчатого венца.

Отклонения длины общей нормали W_r от номинального значения непосредственно определяют боковой зазор, который равен сумме отклонений сопрягаемых колес.

Для колеса с внешними зубьями нормируется наименьшее (верхнее) отклонение средней длины общей нормали равное сумме двух слагаемых (табл.9 и табл.10) $E_{Wms} = -(E'_{Wms} + E''_{Wms})$. Величина первого слагаемого зависит от делительного диаметра d и вида сопряжения, а второе слагаемое учитывает погрешность от радиального биения. Нижнее отклонение с учетом допуска T_{Wm} (табл.10) равняется $E_{Wmi} = -(| E_{Wms} | + T_{Wm})$.

Для колес с внутренними зубьями значение нижнего отклонения E_{wi} в стандарте указывается как исходное, а верхнее E_{ws} получается суммированием со значением допуска T_w .

Таким образом, для колес с внешними зубьями все отклонения задаются со знаком минус «-», а для колес с внутренними зубьями со знаком плюс «+».

5) Контроль мелко модульных зубчатых колес осуществляется через измерение размера поверх роликов M с высокой точностью, что является положительным качеством этого метода (рис. 4д). Недостатком является то, что измерения производятся независимо от оси колеса, вследствие чего исключается влияние радиального биения зубчатого венца. Для данного метода контроля также рассчитывается производственный допуск. Нормируются наименьшее отклонение размера E_{Ms} по роликам и допуск T_M на размер по роликам.

Для контроля передачи с нерегулируемым расположением осей нормируются предельные отклонения межосевого расстояния $\pm f_a$ (табл.3) а с регулируемым расположением осей - минимальный

боковой зазор j_{nmin} (табл.3) и допуск бокового зазора T_{jn} (определяется видом сопряжения).

В стандартах и справочной литературе приводятся рекомендуемые контрольные комплексы, которые наиболее полно заменяют комплексные показатели. Рекомендации по выбору контрольных комплексов даны в табл.11. Области применения и базирование универсальных зубоизмерительных приборов указаны в табл.12.

В стандартах и справочной литературе приводятся рекомендуемые контрольные комплексы, которые наиболее полно заменяют комплексные показатели. Рекомендации по выбору контрольных комплексов даны в табл.11. Области применения и базирование универсальных зубоизмерительных приборов указаны в табл.12.

Первый комплекс рекомендуется применять для оценки точности зубчатых колес, работающих в прецизионных парах (измерительные, делительные, отсчетные механизмы) при наличии на фирме прибора для однопрофильного контроля.

Второй комплекс рекомендуется применять для точных колес при модуле более 3 мм, когда применяются шагомеры для контроля окружного шага и шага зацепления.

Третий комплекс наиболее широко применяется в производстве колес 7 и 8 степеней точности в автомобильной, авиационной отраслях и в станкостроении, так как операционный и приемочный контроль может выполняться на удобных и простых приборах (межцентромерах) по всем показателям норм точности. Если этот комплекс используется для более точных степеней, когда выполняется шлифование эвольвентного профиля, то необходим контроль профиля на эвольвентомерах.

Четвертый комплекс применяется редко, когда нет межцентромеров, в единичном, мелкосерийном производстве, а также в тракторостроении, в подъемно-транспортных механизмах и в производстве сельскохозяйственных машин.

Пятый и шестой комплексы рекомендуются для контроля крупномодульных ($m > 3$) колес грубых степеней точности в условиях мелкосерийного производства.

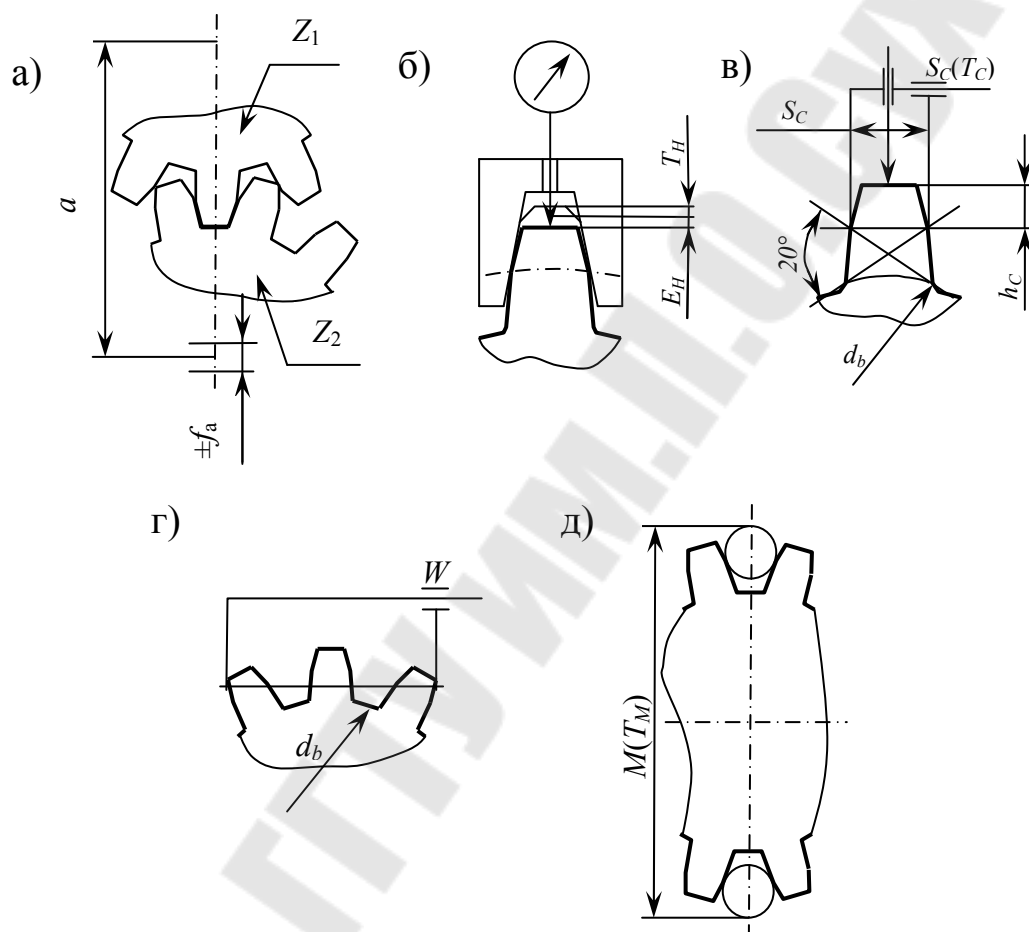


Рисунок 4 – Методы контроля толщины зуба: а – по измерительному межосевому расстоянию на приборе межцетномер; б – по величине смещения исходного контура тангенциальным зубомером; в – по отклонению толщины зуба на постоянной хорде, измеренному зубомером или штангензубомером; г – по отклонению средней длины общей нормали, измеренной нормалеммером; д – по размеру поверх шариков или роликов при $m < 1$ мм

5 ТРЕБОВАНИЯ К РАБОЧИМ ЧЕРТЕЖАМ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Чертежи зубчатых колес выполняются в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД, для цилиндрических зубчатых колес – по ГОСТ 2.403.

В правом верхнем углу поля чертежа на расстоянии 20 мм от верхнего поля помещается таблица параметров зубчатого венца. Размеры таблицы: общая ширина – 110 мм, правый крайний столбец шириной 35 мм, средний столбец – 10 мм, минимальная высота строки – 7 мм. Таблица состоит из трех частей (отделенных друг от друга сплошными основными линиями).

В первой части указываются основные данные: m ; z ; β ; направление линии зуба, исходный контур, коэффициент смещения x ; степень точности.

Во второй части – размеры и отклонения для контроля зубьев по одному из следующих вариантов:

W – длина общей нормали с отклонениями средней длины общей нормали;

S_c – толщина по постоянной хорде и высоте до нее h_c ;

M – торцовый размер по роликам и диаметр ролика для $m < 1$.

Для коррегированных колес указываются контролируемые показатели по всем нормам точности и допуски на них.

В третьей части справочные данные: делительный диаметр - d ; обозначение сопряженного зубчатого колеса (можно указать его число зубьев).

На чертеже колеса указываются требования к точности на элементы заготовок под операции зубонарезания, так как погрешности этих элементов влияют на точность обработки зубчатого венца [2]. Требования к элементам зубчатого колеса (заготовки, поступающей после токарной обработки на операцию зубонарезание) регламентируются отраслевыми стандартами, согласно рекомендации ИСО DR 1328 (табл.13) и в справочной литературе [5,6,7]. Все допускаемые отклонения задаются на тело заготовки.

Отверстие зубчатого колеса D является основной эксплуатационной (установка на вал), технологической (установка на оправку при зубонарезании) и измерительной базой (на межцентромере; эвольвентомере и других приборах). Допуск на базовое отверстие TD выбирается в зависимости от степени точности по нормам плавности.

У валковых колес функции основной эксплуатационной, технологической и измерительной базы выполняют опорные шейки вала с допуском Td .

Диаметр вершин зубьев d_a (наружный цилиндр заготовки) в качестве базы может использоваться в нескольких вариантах. Во всех вариантах требуются ограничения по полю допуска Td_a и по радиальному биению диаметра вершин зубьев Fd_a .

Вариант 1 – первоначально как измерительная база для выверки положения заготовки на зубообрабатывающем станке и затем для измерения размеров зубьев S_c, h_c, p_b, p_b .

Вариант 2 – только как измерительная база для выверки установки заготовки на станке.

Вариант 3 – только как измерительная база для контроля размеров зуба с учетом величины смещения исходного контура. Применяется, в основном, для коррегированных колес.

Вариант 4 – наружный диаметр не используется в качестве базы, и допуски на него назначаются как на свободные размеры (общие допуски). Применяется редко, при грубых степенях точности (грубее 9-й).

Торец может использоваться как установочная, эксплуатационная, технологическая или измерительная базы, поэтому необходимо ограничить торцовое биение по базовому торцу в зависимости от точности по нормам контакта зубьев (F_p , см. табл.8.), которые задаются на ширине зубчатого венца B . Если конструкция колеса несимметричная, то более точно выполняется торец, как правило, совмещенный с торцом зубчатого венца. Если ширина ступицы больше ширины зубчатого венца, то базовым является торец ступицы. В этом случае на ширину ступицы квалитет следует

принимать по величине торцового биения (по табл. 16 – степень точности, а затем по табл. 17 – квалитет).

Допуск на ширину зубчатого венца B принимают по $h11...h14$, т.е. как на свободный размер.

Так как установленные допуски и отклонения справедливы при измерениях на базе рабочей оси, при использовании наружного цилиндра заготовки в качестве измерительной базы, то вносимые погрешности от наружного диаметра должны быть компенсированы уменьшенным (по сравнению со стандартным) производственным допуском. Таким образом, при контроле смещения исходного контура и измерении толщины зуба на базе наружного цилиндра заготовки рассчитываются производственные отклонения и допуски ($E_{Hспр}$ и $T_{Hспр}$; $E_{CSпр}$ и $T_{CSпр}$). Расчеты приводятся в отраслевых стандартах.

Шероховатость боковых поверхностей зуба и других поверхностей определяется по табл. 19.

6 ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ РАБОЧЕГО ЧЕРТЕЖА ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА

Расчет параметров зубчатого колеса выполнен для следующих исходных данных: $m=3,5$; $z=24$; исходный контур по ГОСТ 13755; $x=0$; окружная скорость $V=15$ м/с; $a=147$ мм, зубчатая передача коробки скоростей специального станка, рабочая поверхность зубьев закаленная и могут испытывать нагрев до $+60^\circ$ С, корпус коробки чугунный и может нагреваться до $+35^\circ$ С.

Определяются основные геометрические параметры зубчатого колеса:

$$d=mz=3,5 \cdot 24=84 \text{ мм},$$

$$d_a=m(z+2)=3,5(24+2)=91 \text{ мм},$$

$$B=10m=3,5 \cdot 10=35 \text{ мм}.$$

Рассчитывается число зубьев, охватываемое длиной общей нормали: $z_w=0,111 \cdot z+0,5 = 0,111 \cdot 24 + 0,5 = 3,164$ и округляется полученное значение до целого числа $z_w = 3,0$. Рассчитывается номинальное значение длины общей нормали: $W = 3,5 [1,476 (2 \cdot 3 - 1) + 0,014 \cdot 24] = 27,006$. На чертеже зубчатого колеса в таблице параметров номинальное значение длины общей нормали указывается с точностью до тысячных долей миллиметров.

Выбираем степень точности. Передача задана как скоростная, поэтому основное требование – плавность работы. Принимаем по табл. 2 степень точности по нормам плавности – 6-ю, по нормам контакта также 6-ю, а по нормам кинематической точности 7-ю.

Вид сопряжения определим по минимальному гарантированному боковому зазору с учетом температурного режима:

$$j_{n \min} = j_{n1} + j_{n2},$$

$$j_{n1} = 0,02 \cdot m = 0,02 \cdot 3,5 = 0,070 \text{ мм},$$

$$j_{n2} = 0,684 \cdot 147 [12 \cdot 10^{-6} (60 - 20) - 10,5 \cdot 10^{-6} (35 - 20)] = 0,040 \text{ мм},$$

$$j_{n \min} = 0,070 + 0,040 = 0,110 \text{ мм}.$$

Для заданного межосевого расстояния по табл.3 находим вид сопряжения – C, с видом допуска c, который обеспечивает боковой зазор $j_{n\min} = 100$ мкм.

Обозначение степени точности получается следующее:

7-6-6-C ГОСТ 1643.

Определим верхнее и нижнее отклонения для средней длины общей нормали.

Верхнее отклонение $E_{Wms} = E'_{Wms} + E''_{Wms}$. По таблицам 9 и 10 для вида сопряжения C, 6-й степени точности, $d=84$ мм при $F_r=36$ мкм (табл.5) определяются значения I-го и II-го слагаемых: $E'_{Wms} = 60$ мкм; $E''_{Wms} = 9$ мкм. Тогда $E_{Wms} = 60+9 = 69$ мкм.

По табл. 10 допуск на длину общей нормали $T_{Wm} = 50$ мкм.

Нижнее отклонение средней длины общей нормали $E_{Wmi} = |E_{Wms}| + T_{Wm} = 69 + 50 = 119$ мкм. Оба отклонения для колеса с внешними зубьями должны быть заданы "в тело", т.е. с минусом.

Таким образом, в таблице чертежа должен быть проставлен исполнительный размер длины общей нормали $W_m = 27,006_{-0,119}^{-0,069}$.

Определим требования к базовым поверхностям зубчатого колеса по табл.13.

Базовое отверстие должно быть выполнено по 6-му качеству, так как приняты нормы плавности по 6-ой степени: $\text{Ø}30H6(^{+0,016})$.

Принимаем, что диаметр вершин зубьев используется как измерительная база для выверки положения заготовки на зубообрабатывающем станке, а также для контроля толщины и шага у зубчатого колеса. Точность его оцениваем по 1-му варианту, следовательно Td_a выполняется по 8-му качеству: $\text{Ø}91h8$.

Допуск на радиальное биение $Fd_a = 0,16d + 10 = 0,16 \cdot 84 + 10 = 23,44$ мкм. Принимаем $Fd_a = 25$ мкм по табл. 18.

Торцовое биение базового торца на диаметре ступицы 60 мм находим расчетом, определив $F_\beta = 9$ мкм (по табл.8):

$$F_T = (0,5 \cdot F_\beta d_\phi) / B = (0,5 \cdot 9 \cdot 60) / 35 = 8,4 \text{ мкм.}$$

По табл. 16 принимаем $F_T = 10$ мкм. Все расчетные параметры указываем на чертеже зубчатого колеса (рис.5).

Рассмотрим два варианта выбора контрольных комплексов.

Так как плавность работы и контакт зубьев заданы по 6-й степени, в качестве первого варианта выбираем 1-й комплекс, учитывая наличие на фирме приборов для однопрофильного контроля.

Для контроля кинематической точности зубчатого колеса принимаем F'_i , а для передачи - F'_{io} . Числовые значения F'_i в стандарте отсутствуют и определяются как сумма $F'_i = F_p + f_f$.

Для первого колеса для 7 степени кинематической точности при $d=84$ определить по табл. 4 $F_{p1}=45$, по табл. 6: $f_{f1} = 8$; $F'_{i1} = 45 + 8 = 53$.

Для второго колеса определим диаметр $d_2=2a-d_1= 2\cdot 147-84=210$, тогда $F_{p2}=90$; $f_{f2} = 9$; $F'_{i2}=90+9=99$. Погрешность передачи равна сумме кинематических погрешностей сопрягаемых колес $F'_{io}=F'_{i1}+F'_{i2}$. Погрешность передачи $F'_{io}=53+99=152$ мкм.

По нормам плавности принимаем для передачи f'_{io} и f'_i для зубчатого колеса. Контроль этих параметров, как и предыдущих, выполняется на приборе для однопрофильного контроля.

Допуски по принятым показателям (табл. 6):

$$f'_i=18 \text{ мкм}; f'_{io}=1,25 \cdot f'_i= 1,25 \cdot 18 = 22,5 \text{ мкм}.$$

Профиль эвольвенты шлифуется по указанию табл. 2, поэтому как технологический показатель принимается $f_f=8$ мкм по табл. 6.

По нормам контакта зубьев для 6 степени принимаем F_β для колеса (прибор ходомер), а для передачи (см. табл. 8) f_x и f_y ; $F_\beta=f_x=9$ мкм; $f_y=4,5$ мкм при ширине зубчатого венца $B=10m=35$ мм.

Контроль контакта зубьев также может быть выполнен по суммарному пятну контакта, которое составит для 6-й степени точности 50% по высоте зубьев и 70% по ширине зубьев (табл. 8).

Нормы бокового зазора косвенно оцениваются по предельным отклонениям межосевого расстояния в передаче $f_a=\pm 50$ мкм (см. табл. 3). У зубчатого колеса толщина зуба оценивается тангенциальным зубомером по величине смещения исходного контура: $E_{HS} = 87$ мкм

по табл. 9 для вида сопряжения C , степени точности 6, при делительном диаметре 84 мм.

Допуск на смещение исходного контура $T_H = 100$ мкм при виде сопряжения C и $F_r = 36$ мкм (табл. 5). Рассчитывается производственный допуск, так как необходимо учесть погрешности диаметра выступов.

$$E_{Hs_{np}} = |E_{Hs}| + 0,35Fd_a = 87 + 0,35 \cdot 25 = 96 \text{ мкм};$$

$$T_{H_{np}} = T_H - 0,7Fd_a - 0,5Td_a = 100 - 0,7 \cdot 25 - 0,5 \cdot 54 = 56 \text{ мкм}.$$

Выбранный контрольный комплекс, значения допусков и используемые приборы даны в табл. 14.

Для второго колеса определим диаметр $d_2 = 2a - d_1 = 2 \cdot 147 - 84 = 210$, тогда $F_{p2} = 90$; $f_{f2} = 9$; $F'_{i2} = 90 + 9 = 99$. Погрешность передачи равна сумме кинематических погрешностей сопрягаемых колес $F'_{i0} = F'_{i1} + F'_{i2}$. Погрешность передачи $F'_{i0} = 53 + 99 = 152$ мкм.

По **нормам плавности** принимаем f'_{i0} для передачи и f'_i для зубчатого колеса. Контроль этих параметров, как и предыдущих, выполняется на приборе для однопрофильного контроля.

Допуски по принятым показателям (табл. 6):

$$f'_i = 18 \text{ мкм}; f'_{i0} = 1,25 \cdot f'_i = 1,25 \cdot 18 = 22,5 \text{ мкм}.$$

Профиль эвольвенты шлифуется по указанию табл. 2, поэтому как технологический показатель принимается $f_f = 8$ мкм по табл. 6.

По нормам **контакта зубьев** для 6 степени принимаем F_β для колеса (прибор ходомер), а для передачи (см. табл. 8) f_x и f_y ; $F_\beta = f_x = 9$ мкм; $f_y = 4,5$ мкм при ширине зубчатого венца $B = 10m = 35$ мм.

Контроль контакта зубьев также может быть выполнен по суммарному пятну контакта, которое составит для 6-й степени точности 50% по высоте зубьев и 70% по ширине зубьев (табл. 8).

Нормы бокового зазора косвенно оцениваются по предельным отклонениям межосевого расстояния в передаче $f_a = \pm 50$ мкм (см. табл. 3). У зубчатого колеса толщина зуба оценивается тангенциальным зубомером по величине смещения исходного контура: $E_{HS} = 87$ мкм по табл. 9 для вида сопряжения C , степени точности 6, при делительном диаметре 84 мм.

Выбранный контрольный комплекс, значения допусков и используемые приборы даны в табл.14.

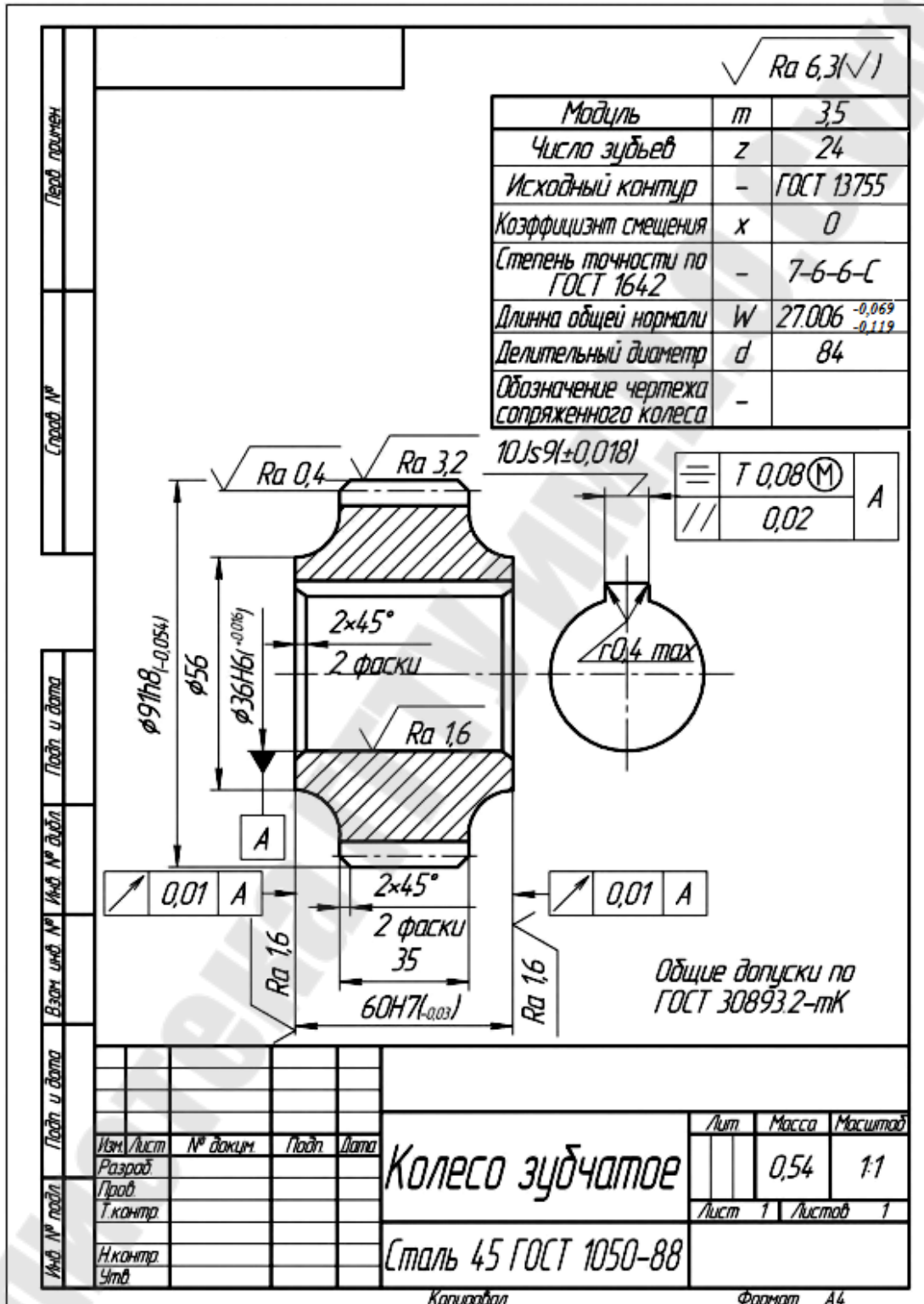


Рисунок 5 – Пример рабочего чертежа зубчатого колеса

В качестве **второго варианта** выбираем третий комплекс, учитывая, что на фирме нет прибора для однопрофильного контроля, а производство станков серийное.

Показатели **кинематической точности**: F''_i и F_{VW} , для оценки **плавности работы**: f''_i и f_f , так как 6-я степень требует шлифования эвольвенты; **контакт зубьев** оценивается по суммарному пятну контакта и $f_x = F_\beta = 9$ мкм; $f_y = 0,5 \cdot F_\beta = 4,5$ мкм; **боковой зазор** оценивается косвенно по отклонению средней длины общей нормали.

По табл.12 назначаются измерительные приборы для контроля выбранных показателей: межцентромер и нормалемер. Весь набор показателей (кроме F_{VW}) контролируется на одном приборе, а измерительная база, которой является ось колеса, совпадает с технологической.

Затем определяются численные значения всех показателей.

При комбинировании норм кинематической точности и плавности из разных степеней точности допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса находим по формуле:

$$|F''_i|_{\text{комб}} = |F''_i - f''_i|_F + |f''_i|_f.$$

По табл. 5 для 7-ой степени точности $F''_i = 50$ мкм; по табл. 6 для 7-ой степени точности $f''_i = 20$ мкм, а для 6-ой степени точности $f''_i = 14$ мкм. Тогда

$$|F''_i|_{\text{комб}} = (50 - 20) + 14 = 44 \text{ мкм.}$$

По табл. 5 определяется допуск на колебание длины общей нормали $F_{VW} = 22$ мкм.

Контроль по нормам плавности осуществляется по колебанию измерительного межосевого расстояния при повороте на один зуб. Допуск по этому показателю уже определен: $f''_i = 14$ мкм.

По нормам контакта зубьев по табл. 8 суммарное пятно контакта установлено: по высоте – 50%, по ширине – 70%. Для корпуса передачи $f_x = F_\beta = 9$ мкм; $f_y = 0,5 \cdot F_\beta = 4,5$ мкм.

Косвенно боковой зазор оценивается по наименьшему отклонению средней длины общей нормали и допуску на нее, которые были рассчитаны раньше, как геометрические показатели.

Для контроля бокового зазора у колеса с внешним зацеплением в выбранном комплексе стандартом предусматриваются предельные отклонения измерительного межосевого расстояния: верхнего $E_{a''_s} = +f''_i = +14$ мкм и нижнего $E_{a''_s} = -T_n = -100$ мкм (табл. 10). Для передач с нерегулируемым расположением осей по табл. 3 для вида сопряжения C и межосевого расстояния $a = 147$ мм определяются предельные отклонения межосевого расстояния $\pm f_a = 0,5$, а также $j_{nmin} = 100$ мкм.

Непосредственный контроль зубчатых колес и передач по всем показателям установленного комплекса не является обязательным, если изготовитель гарантирует выполнение соответствующих требований принятой у него системой контроля точности производства.

Выбранный контрольный комплекс, значения допусков и используемые приборы даны в табл. 15.

Литература

1. Марков А.Л. Измерение зубчатых колес / А.Л. Марков // Издание 4-е, переработанное и дополненное – Машиностроение. Ленинградское отделение: Л., 1977, 280 с.
2. Сергеев А. Г. Метрология, стандартизация, сертификация / А. Г. Сергеев, М. В. Латышев, В. В. Терегеря // учебное пособие - М.: Логос, 2004, 560 с.
3. Белкин И.М. Допуски и посадки (Основные нормы взаимозаменяемости) / И.М. Белкин // учебное пособие машиностроительных специальностей высших технических заведений - М.: Машиностроение, 1992, 528 с.
4. Болдин Л.А. Основы взаимозаменяемости и стандартизации в машиностроении / Л.А. Болдин // Учебное пособие для высших технических учебных заведений, 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1984. - 271 с.
5. Мягков В.Д. Допуски и посадки / В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский // справочник в 2-х частях - Машиностроение. Ленинградское отделение: Л., 1982.
6. Палей М.А. Допуски и посадки / М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский // Справочник в 2-х ч. - Л.: Политехника, 1991, 1184 с.
7. Марков Н.Н. Нормирование точности в машиностроении/ Н.Н. Марков, В.В. Осипов, М.Б. Шабалина // Учебник для машиностроительных специальностей вузов, 2-е изд., испр. и допол. М.: Высшая школа, 2001, 335 с.

Приложение

Таблица 1

Соответствие видов сопряжений видам допуска и классу отклонений

Степень точности зубчатой передачи	Вид сопряжения	Величина гарантированного зазора	Вид допуска бокового зазора	Условное обозначение класса межосевого расстояния	Предельные отклонения межосевого расстояния
3-7	<i>H</i> <i>E</i>	<i>0</i> <i>IT7</i>	<i>h</i>	II	$\pm 0,5 IT7$
3-8	<i>D</i>	<i>IT8</i>	<i>d</i>	III	$\pm 0,5 IT8$
3-9	<i>C</i>	<i>IT9</i>	<i>c</i>	IV	$\pm 0,5 IT9$
3-10	<i>B</i>	<i>IT10</i>	<i>b</i>	V	$\pm 0,5 IT10$
3-12	<i>A</i>	<i>IT11</i>	<i>a</i>	VI	$\pm 0,5 IT11$
			<i>x</i>		$\pm 0,5 IT11$
			<i>y</i>		$\pm 0,5 IT11$
			<i>z</i>		$\pm 0,5 IT11$

Примечания: 1. Расширенные поля допусков *x*; *y*; *z* используются при необходимости увеличения наибольшего зазора.

2. Отклонение межосевого расстояния для *x*; *y*; *z* принимать в соответствии с качеством на гарантированный зазор в зависимости от вида сопряжения.

Таблица 2

**Рекомендации применения зубчатых колес по нормам
плавности работы передачи по ГОСТ 1643**

Степень точности	11	10	9	8	7	6	5	4	3
Категория точности	Низкая		Пониженная	Средняя	Точная	Высоко точная	Прецизионная	Особо прецизионная	
Вид сопряжения	A-B		A-C	A-D	A, B, C, D, E, H				
Область применения							Измерительные зубчатые колеса*, отсчетные*, делительные механизмы*, прецизионные*, редукторы турбомашин		
							Авиационные двигатели		
							Металлорежущие станки, смешанные колеса гитары, дифференциала, шпиндельных пар, коробки скоростей и подач		
							Пассажирский железнодорожный состав		
							Товарный железнодорожный состав, редукторы общего назначения. Легковые автомобили, коробки перемены передач, роботы, манипуляторы		
							Прокатные станы, грузовые автомобили, тракторы, транспортёры, литейные машины		
						Крановые механизмы, силовые узлы			
						Сельскохозяйственные машины, ручные передачи			
Окружная скорость, м/с	Прямозубые	До 2		2...6	6...10	10...20	20...35	35...40	Св. 40
	Косозубые	До 4		4...10	10...15	15...40	40...70	70...75	Св. 75
	Скоростная группа	тихоходные		среднескоростные		скоростные			
Методика нарезания зубчатого венца	Зубонакатывание, метод копирования или обкатки		Метод копирования или зубофрезерования		Обкатка на точных станках		Обработка на прецизионных станках с малой циклической ошибкой		
Окончательная обработка зубьев	Не требуется		Зубохонингование, притирка		Шлифование и притирка; зубохонингование,		Шлифование и доводка		

Примечание: * - задается степень кинематической точности, которая не зависит от окружной скорости.

Таблица 3

Нормы бокового зазора цилиндрических зубчатых передач

Вид сопряжения	Класс отклонения межосевого расстояния	Показатель	Межосевое расстояние a , мм						
			до 80	80-125	125-180	180-250	250-315	315-400	400-500
			Допуски, мкм						
H	II	$J_{n\ min}$	0	0	0	0	0	0	0
E	II		30	35	40	46	52	57	63
D	III		46	54	63	72	81	89	97
C	IV		74	87	100	115	130	140	155
B	V		120	140	160	185	210	230	250
A	VI		190	220	280	290	320	360	400
–	I	$\pm f_a$	10	11	12	14	16	18	20
H, E	II		16	18	20	22	25	28	30
D	III		22	28	30	35	40	45	50
C	IV		35	45	50	35	60	70	80
B	V		60	70	80	90	100	110	120
A	VI		100	110	120	140	160	180	200

Примечание: Класс отклонений межосевого расстояния используется при изменении соответствия между ним и видом сопряжения.

Таблица 4

Нормы кинематической точности (показатель F_p , допуск в мкм)

Степень точности	Модуль, мм	Диаметр делительной окружности, мм					
		Свыше 12,7 до 20,4	Свыше 20,4 до 31,8	Свыше 31,8 до 50,9	Свыше 50,9 до 101,8	Свыше 101,8 до 200,5	Свыше 200,5 до 401,1
4	1...10	8	9	10	12	18	25
5	1...16	12	14	16	20	28	40
6	1...16	20	22	25	32	45	63
7	1...25	28	32	36	45	63	90
8	1...25	40	45	50	63	90	125

Примечание: Допуск на накопленную погрешность k шагов $F_{pk}=F_p$ назначается для длины делительной окружности, соответствующей 1/6 части числа зубьев колеса.

Таблица 5

Нормы кинематической точности

Делительный диаметр D , мм	Обозначение показателя	Модуль, мм	Степень точности							
			4	5	6	7	8	9	10	11
			Допуски, мкм							
До 125	F_i'	от 1 до 10	$F_p + f_f$ (табл. 6.5 + табл. 6.7)					-		
	F_r	от 1 до 3,5	10	16	25	36	45	71	100	125
		от 3,5 до 6,3	11	18	28	40	50	80	125	160
		от 6,3 до 10	13	20	32	45	56	90	140	180
	F_i''	от 1 до 3,5	-	22	36	50	63	90	140	180
		от 3,5 до 6,3		25	40	56	71	112	180	224
		от 6,3 до 10		28	45	63	80	125	200	250
F_{vW}	от 1 до 10	6	10	16	22	28	-	-	-	
Свыше 125 до 400	F_r'	от 1 до 10	$F_p + f_f$ (табл. 6.5 + табл. 6.7)					-		
	F_r	от 1 до 3,5	15	22	36	50	63	80	112	140
		от 3,5 до 6,3	16	25	40	56	71	100	140	180
		от 6,3 до 10	18	28	45	63	80	112	160	200
	F_i''	от 1 до 3,5	-	32	50	71	90	112	160	200
		от 3,5 до 6,3		36	56	80	100	140	200	250
		от 6,3 до 10		40	63	90	112	160	224	280
F_{vW}	от 1 до 10	12	18	28	40	50	-	-	-	

П р и м е ч а н и е : При комбинировании норм кинематической точности и плавности работы из разных степеней точности находить по формуле:

$$|F_i''|_{\text{комб}} = |F_i'' - f_i''|_F + |f_i''|_f,$$

где индекс F указывает, что допуски определять по степеням для норм кинематической точности, индекс f указывает, что принимать по степени норм плавности работы.

Таблица 6

Нормы плавности работы зубчатых колес

Диаметр делительной окружности d , мм	Обозначение показателя	Модуль, мм	Степень точности						
			5	6	7	8	9	10	
			Допуски, мкм						
До 125	f_i'	от 1 до 3,5	12	18	25	36	-	-	
		от 3,5 до 6,3	16	22	32	43	-	-	
	$\pm f_{Pt}$	от 1 до 3,5	6	10	14	20	28	40	
		от 3,5 до 6,3	8	13	18	25	36	50	
	$\pm f_{Pb}$	от 1 до 3,5	5,6	9,5	13	19	26	38	
		от 3,5 до 6,3	7,5	13	17	24	34	48	
	f_f	от 1 до 3,5	6	8	11	14	-	-	
		от 3,5 до 6,3	7	10	14	20	-	-	
	f_i''	от 1 до 3,5	10	14	20	28	36	45	
		от 3,5 до 6,3	13	18	25	36	45	56	
	Свыше 125 до 400	f_i'	от 1 до 3,5	14	20	30	40	-	-
			от 3,5 до 6,3	18	25	36	50	-	-
$\pm f_{Pt}$		от 1 до 3,5	7	11	16	22	32	45	
		от 3,5 до 6,3	9	14	20	28	40	56	
$\pm f_{Pb}$		от 1 до 3,5	6,7	10	15	21	30	42	
		от 3,5 до 6,3	8,5	13	19	26	38	53	
f_f		от 1 до 3,5	7	9	13	18	-	-	
		от 3,5 до 6,3	8	11	16	22	-	-	
f_i''		от 1 до 3,5	11	16	22	32	40	50	
		от 3,5 до 6,3	14	20	28	40	50	63	

Таблица 7

Нормы плавности работы (показатели f_{zk} и f_{zzo})

Делительный диаметр, мм	Частота зацепления k	Обозначение показателя	Модуль, мм	Степень точности				
				4	5	6	7	8
				Допуски в мкм				
До 125 для f_{zk}	Свыше 8 до 16	f_{zk}	от 1 до 6,3	2,4	3,8	6,0	9,5	14
			от 6,3 до 10	2,8	5,0	2,5	12	17
		f_{zzo}	от 1 до 3,5	4,5	6,7	10	15	22
			от 3,5 до 6,3	5,6	8	12	18	28
			от 6,3 до 10	6,7	10	14	22	32
	Свыше 16 до 32	f_{zk}	от 1 до 6,3	1,9	3,0	4,8	7,5	11
			от 6,3 до 10	2,2	3,8	6,0	9,5	13
		f_{zzo}	от 1 до 3,5	5	7,1	10	16	24
			от 3,5 до 6,3	5,6	8,5	13	19	28
			от 6,3 до 10	7,1	11	16	24	34
	Свыше 32 до 63	f_{zk}	от 1 до 6,3	1,5	2,5	3,8	6,0	8,5
			от 6,3 до 10	1,8	3,2	5,0	8,0	11
		f_{zzo}	от 1 до 3,5	5	7,5	11	17	24
			от 3,5 до 6,3	6	9	14	20	30
			от 6,3 до 10	7,1	11	17	24	36
	Свыше 63 до 125	f_{zk}	от 1 до 6,3	1,3	2,1	3,2	5,3	7,1
			от 6,3 до 10	1,5	2,6	4,2	6,7	9,5
		f_{zzo}	от 1 до 3,5	5,3	8	12	18	25
			от 3,5 до 6,3	6,7	10	15	22	32
			от 6,3 до 10	8	12	18	26	38
Свыше 125 до 400	Свыше 8 до 16	f_{zk}	от 1 до 6,3	3,4	5,6	8,5	14	20
			от 6,3 до 10	4,0	6,7	10,5	16	22
	Свыше 16 до 32		от 1 до 6,3	2,8	4,5	6,7	11	15
			от 6,3 до 10	3,0	5,3	8,0	13	18
	Свыше 32 до 63		от 1 до 6,3	2,2	3,6	5,6	9,0	12
			от 6,3 до 10	2,5	4,2	6,7	10	15
	Свыше 63 до 125		от 1 до 6,3	2,1	3,0	4,8	7,5	10
			от 6,3 до 10	2,5	3,6	5,6	9,0	12

Примечания: 1. $f_{zk} = f_{zko}$; $f_{zz} = 0,6 f_{zzo}$.

2. При контроле с измерительным колесом частота k принимается равной числу зубьев.

3. Допуск на циклическую погрешность частоты при $k = 2z$; $3z$; $4z$ за оборот колеса устанавливается равным соответственно $0,5$; $0,4$ и $0,35 f_{zzo}$.

4. f_{zzo} не зависит от делительного диаметра.

Таблица 8

Нормы контакта зубьев цилиндрических зубчатых колес и передач

Ширина зубчатого венца, мм	Обозначение показателя	Модуль, m , мм	Степень точности							
			4	5	6	7	8	9	10	11
			Допуски в мкм							
До 40	$F_{\beta}=f_x$	от 1 до 16	5,5	7	9	11	18	28	45	71
	f_y	от 1 до 16	2,8	4	4,5	5,6	9	14	22	36
Свыше 40 до 100	$F_{\beta}=f_x$	от 1 до 16	8	10	12	16	25	40	63	100
	f_y	от 1 до 16	4	5	6,3	8	12	20	32	50
Свыше 100 до 160	$F_{\beta}=f_x$	от 1 до 16	10	12	16	20	32	50	80	125
	f_y	от 1 до 16	5	6,3	8	10	16	25	40	63
Относительные размеры суммарного пятна контакта										
По высоте зуба в %			60	55	50	45	40	30	25	20
По ширине зуба в %			90	80	70	60	50	40	30	25

Примечание: Норма мгновенного пятна контакта (при повороте колеса на один оборот и легком торможении) должна быть не менее 75 % от суммарного пятна контакта.

Таблица 9

Нормы бокового зазора (показатели E_{Hs} ; E_{Ws} ; E'_{Wms} – первое слагаемое)

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавности	Обозначение показателя	Диаметр делительной окружности, мм						
			До 80	80-125	125-180	180-250	250-315	315-400	400-500
			Допуски в мкм						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	3-6	E_{Hs}	12	14	16	18	20	22	25
		E_{Ws} ; E'_{Wms}	8	10	11	12	14	16	18
	7	E_{Hs}	14	16	18	20	22	25	28
		E_{Ws} ; E'_{Wms}	10	10	12	14	16	18	20
E	3-6	E_{Hs}	30	35	40	46	52	57	63
		E_{Ws} ; E'_{Wms}	20	24	28	30	35	40	45
	7	E_{Hs}	35	40	45	50	55	60	70
		E_{Ws} ; E'_{Wms}	25	30	30	35	40	45	50
D	3-6	E_{Hs}	46	54	63	72	81	89	97
		E_{Ws} ; E'_{Wms}	30	35	40	50	55	60	70
	7	E_{Hs}	50	60	70	80	90	100	110
		E_{Ws} ; E'_{Wms}	35	40	50	55	60	70	70
	8	E_{Hs}	40	50	50	60	70	70	80
		E_{Ws} ; E'_{Wms}	55	70	80	90	100	110	120
C	3-6	E_{Hs}	73	87	100	115	130	140	155
		E_{Ws} ; E'_{Wms}	50	60	70	80	90	100	110
	7	E_{Hs}	80	100	110	120	140	160	180
		E_{Ws} ; E'_{Wms}	55	70	70	80	100	110	120
	8	E_{Hs}	90	110	120	140	160	180	200
		E_{Ws} ; E'_{Wms}	60	80	80	100	110	120	140
9	E_{Hs}	100	120	140	160	180	200	250	
	E_{Ws} ; E'_{Wms}	70	80	100	110	120	140	140	
B	3-6	E_{Hs}	120	140	160	185	210	230	250
		E_{Ws} ; E'_{Wms}	80	100	110	120	140	160	180
	7	E_{Hs}	140	160	180	200	250	280	300
		E_{Ws} ; E'_{Wms}	100	110	120	140	180	180	200
	8	E_{Hs}	140	160	200	220	250	280	300
		E_{Ws} ; E'_{Wms}	100	110	140	140	180	200	200
	9	E_{Hs}	160	180	200	250	280	300	350
		E_{Ws} ; E'_{Wms}	110	120	140	160	200	200	250
10	E_{Hs}	160	200	220	250	300	350	350	
	E_{Ws} ; E'_{Wms}	110	140	160	180	200	250	250	

Окончание таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	3-6	E_{Hs}	190	220	250	290	320	360	400
		$E_{Ws}; E'_{Wms}$	120	140	180	200	220	250	280
	7	E_{Hs}	200	250	280	300	350	400	450
		$E_{Ws}; E'_{Wms}$	140	180	200	200	250	280	300
	8	E_{Hs}	220	280	300	350	400	450	500
		$E_{Ws}; E'_{Wms}$	160	200	200	250	280	300	350
	9	E_{Hs}	250	280	350	400	400	500	500
		$E_{Ws}; E'_{Wms}$	180	200	250	280	280	350	350
	10	E_{Hs}	280	300	350	400	450	500	600
		$E_{Ws}; E'_{Wms}$	200	200	250	280	300	350	400

Примечания: 1. Для зубчатых колес с внешним зацеплением все показатели ($E_{Hs}; E_{Ws}; E'_{Wms}$) задаются со знаком минус.

2. Для зубчатых колес с внутренними зубьями - со знаком плюс.

Таблица 10

Нормы бокового зазора, допуски, мкм

Вид сопряжения	Вид допуска	Обозначение показателя точности	Допуск на радиальное биение зубчатого венца - F_r в мкм									
			Свыше 16 до 20	от 20 до 25	от 25 до 32	от 32 до 40	от 40 до 50	от 50 до 60	от 60 до 80	от 80 до 100	от 100 до 125	от 125 до 160
H,E	h	T_H	40	45	55	60	70	80	110	120	160	200
		T_W	28	30	35	40	50	60	70	80	100	140
		T_{Wm}	20	20	22	25	25	28	30	40	55	70
		T_C	30	35	40	45	50	70	70	90	120	140
D	d	T_H	55	60	70	80	90	100	140	160	200	250
		T_W	35	40	50	55	60	70	100	110	140	180
		T_{Wm}	28	30	35	40	40	40	60	70	80	100
		T_C	40	45	50	60	70	70	100	120	140	180
C	c	T_H	70	80	90	100	120	140	180	200	250	300
		T_W	50	55	60	70	80	100	120	140	180	200
		T_{Wm}	40	45	45	50	60	70	90	110	120	140
		T_C	50	60	70	70	90	100	140	160	180	220
B	b	T_H	80	90	100	120	140	180	200	250	300	400
		T_W	55	60	70	80	100	120	140	180	200	280
		T_{Wm}	45	50	55	60	70	100	100	120	140	200
		T_C	60	70	70	90	100	140	140	180	220	300
A	a	T_H	100	110	140	160	180	200	250	300	350	450
		T_W	70	80	100	110	120	140	180	200	250	300
		T_{Wm}	60	60	80	90	100	110	140	150	180	240
		T_C	70	80	100	120	140	140	180	220	250	350
Для всех сопряжений	Второе слагаемое E''_{Wm}	4	5	7	9	11	14	18	22	25	35	

Таблица 11

Комплексы контроля цилиндрических зубчатых колес

Нормы точности	Номера комплексов контроля колес						Зубчатые передачи 3-8 степеней точности
	1	2	3	4	5	6	
	для степеней точности						
	3-8	3-6	5-8	3-8	9-12	7-12	
Кинематической	F_i или F_P	F_p и F_{pk}	F''_i и F_{Vw} или F''_i и F_c	F_r и F_{Vw} или F_r и F_c	F''_i	F_r	F'_{io}
Плавности	f'_i f_{zk}	f_{pb} и f_f или f_{pb} и f_{pt}	f''_i и f_f	f_{pb}	f''_i	f_{pt}	f_{zko} при $\varepsilon_\beta \geq 1,25$; f_{zzo} при $\varepsilon_\beta < 1,25$
Контакта	Суммарное пятно контакта или $F_\beta(F_{pxn}$ и $F_k)$			Суммарное пятно контакта		пятно контакта - при любом расположении осей; f_x и f_y с нерегулируемым расположением осей	
Боковых зазоров	E_{Hs} и T_H или E_{Wms} и T_{Wm} или E_{cs} и T_c		E_{wms} и T_{wm} или $E_{a''s}$ и $E_{a''i}$		$E_{a''s}$ и $E_{a''i}$ или E_{cs} и T_c		f_a - при нерегулируемом расположении осей; T_{jn} - при регулируемом расположении осей

Таблица 12

Области применения универсальных измерительных приборов

Код прибора	Наименование прибора	Базы при контроле	Модуль m	Делительный диаметр d	Степень точности	Контролируемые параметры
1	Прибор для однопрофильного контроля	Ось колеса	1...8	20...320	3...8	$F'_{ir}; f'_{ir}$
2			1...10	20...400	3...8	$F'_{ior}; f'_{ior}$
3	Межцентромер для контроля измерительного межосевого расстояния	Ось колеса	0,2...1	5...80	5...9	$F''_{ir}; f''_{ir}; E_{a''r}$ %% пятна контакта $j_{nr}; \pm f_{ar}$
4			0,2...1	5...160		
5			1...10	100...300		
6			1...10	20...320		
7	Биениемер	Ось колеса	0,2...2	5...200	3...7	F_r
8			1...10	20...400	7...12	
9			0,3...1	5...120	3...7	
10	Эвольвентомер универсальный и индивидуальный	Ось колеса	1...10	20...320	3...8	f_{fr}
11			1...12	20...340		
12			1...12	20...340		
13			1...16	50...250		
14	Нормалемер рычажный или микрометрический	Боковая поверхность зуба	от 1	до 360	3...8	$W_r; E_{Wr};$ $E_{Wmr}; E_{Vwr};$ $F_{vw}; T_w$
15			от 0,5	до 100		
16			от 0,5	до 300		
17	Штангензубомер; оптический зубомер	Окружность выступов	3...18	$Z=20...360$	9...12	$E_c; rS_c;$
18			1...18		5...9	$h_c; cT_c$
19	Зубомер тангенциальный (смещения)	Окружность выступов	2...10	-	5...9	$E_{Hr}; T_H$
20			4...16			
21	Шагомер для окружного шага или для шага зацепления	То же или боковая поверхность зуба	2...28	от 20	3...8	$P_{tr}; P_{br}; f_{ptr}; f_{pbr}$
22			2...10	св 200		
23	Шагомер для шага и накопленной погрешности шага	Ось или окружность выступов	1...16	200...400	3...8	$F_{pr}; p_{tr}$
24	Ходомер, прибор для контроля направления зуба	Ось колеса	1...10	20...400	3...12	$F_{\beta r}$
25	Контрольно-обкатной станок для подбора пары колес	Ось колеса	1...10	20...400	3...8	%% пятна контакта, уровень шума

Таблица 13

Требования к точности заготовок цилиндрических зубчатых колес

Наименование элемента	Обозначение поля допуска	Степень точности по нормам плавности работы								
		4	5	6	7	8	9	10	11	
		Квалитеты по ГОСТ 25346								
Базовое отверстие	TD	4	5	6	7	7	8	8	8	
Опорные шейки вала	Td	4	5	5	6	6	7	7	8	
Диаметр вершин зубьев	Вариант 1	Td_a	7	7	8	8	8	9	9	10
		Fd_a	$0,1d+5$		$0,16d+10$		$0,25d+15$		$0,4d+25$	
	Вариант 2	Td_a	$Td_a=0,01m$			$Td_a=0,02m$				
		Fd_a	$Fd_a=0,6F_r$							
	Вариант 3	Td_a	$Td_a=0,5T_H$							
		Fd_a	$Fd_a=0,25T_H$							
	Вариант 4	Td_a	$IT12$				$IT14$			
		Fd_a	$Fd_a=0,1m$							
Базовый торец	F_T	$F_T=(0,5 F_\beta d_\sigma)/B ; d_\sigma=3d/4$								

Примечания: 1. F_r – допуск на радиальное биение зубчатого венца (см. табл. 5). 2. T_H - допуск на смещение исходного контура (см. табл. 10). 3. F_β - допуск на направление зуба (см. табл.8). 4. Расчетные значения Td_a округлять до ближайших значений по ГОСТ 25346. 5. Расчетные значения Fd_a и F_T округлять до ближайших значений по табл. 18 и табл. 16 соответственно.

**Первый вариант контрольного комплекса для зубчатой передачи
степени точности 7-6-6-С ГОСТ 1643**

Степень и нормы	Контролируемый параметр	Обозначение	Допуск, мкм	Прибор
Кинематическая 7	Кинематическая погрешность	F'_i	53	Прибор для однопрофильного контроля
	Кинематическая погрешность зубчатой передачи	F'_{io}	152	
Плавность работы 6	Местная кинематическая погрешность зубчатого колеса	f_i	18	
	Местная кинематическая погрешность зубчатой передачи	f_{io}	22,5	
	Погрешность эвольвентного профиля	f_f	8	Эвольвентомер
Контакт зубьев 6	Погрешность направления зуба	F_β	9	Ходомер
	Суммарное пятно контакта	по высоте зубьев	50%	станок
		по ширине	70%	
Вид сопряжения С, боковой зазор	Наименьшее смещение исходного контура	E_{Hs}	96	Тангенциальный зубомер
	Допуск на смещение исходного контура	T_H	56	
Для передачи	Показатели для контроля отверстий в корпусе			
	Допуск параллельности осей	f_x	9	Специальное приспособление для контроля расположения отверстий в корпусе
	Допуск на перекос осей	f_y	4,5	
	Предельное отклонение межосевого расстояния	f_a	± 50	

Таблица 15

**Второй вариант контрольного комплекса для зубчатого
колеса степени точности 7-6-6-С ГОСТ 1643**

	Контролируемый параметр		Обозначение	Допуск, мкм	Прибор
Кинематическая 7	Колебание длины общей нормали		F_{Vw}	22	Нормалемер
	Колебание измерительного межосевого расстояния	за оборот	F''_i	44	Межцентромер
на 1 зубе		f''_i	14		
Плавность работы 6	Погрешность эвольвентного профиля		f_f	8	Эвольвентомер
Контакт зубьев 6	Погрешность направления зуба		F_β	9	Ходомер
	Суммарное пятно контакта	по высоте, %	-	50	Контрольно-обкатной станок
		по ширине, %	-	70	
Вид сопряжения С, боковой зазор	Средняя длина общей нормали		W_m	$27,006_{-0,119}^{-0,069}$	Нормалемер
Для передачи	Показатели для контроля отверстий в корпусе				
	Допуск параллельности осей		f_x	9	Специальное приспособление для контроля расположения отверстий в корпусе
	Допуск на перекос осей		f_y	4,5	
	Предельное отклонение межосевого		f_a	±50	

Таблица 16

Допуски плоскостности, прямолинейности, параллельности, перпендикулярности, наклона и торцового биения по ГОСТ 24643

Интервалы размеров, мм (длина)	Степени точности для плоскостности и прямолинейности															
	мкм											мм				
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
До 10	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	0,1	0,16	0,25	0,4	
Свыше 10 до 16	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5	
16-25	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6	
25-40	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8	
40-63	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1,0	
63 - 100	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2	
100-160	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1,0	1,6	
160-250	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2,0	
250-400	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1,0	1,6	2,5	
400-630	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2,0	3,0	
630- 1000	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1,0	1,6	2,5	4,0	
1000- 1600	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1,2	2,0	3,0	5,0	
1600-2500	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1,6	2,5	4,0	6,0	
2500-4000	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2,0	3,0	5,0	8,0	
4000 - 6300	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2,5	4,0	6,0	10,0	
6300- 10000	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2000	3,0	5,0	8,0	12,0	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	Степень точности для параллельности, перпендикулярности, наклона и торцовое биение															

Примечание. Для торцового биения за номинальный размер принимать диаметр торца.

Таблица 17

Примеры назначения допусков расположения

Квалитет размера	Степень точности	Области применения
3...4	1...2	Высокоточные детали прецизионных аппаратов и приборов. Направляющие прецизионных станков, шейки валов и шпиндели приборов и точных станков
4...5	3...4	Ответственные детали особо точных машин. Шпиндели станков повышенной прочности, измерительных приборов, гидравлическая аппаратура. Направляющие станков высокой точности, приборов, приспособлений
6...7	5...6	Точные машиностроительные детали. Посадочные поверхности валов под зубчатые колеса 5-6 степени, опорные шейки валов при n более 1000 об/мин. Направляющие поверхности станков нормальной точности, станочных приспособлений, рабочие поверхности измерительных инструментов. Торцы подшипников 5,4,2 классов. Заплечики валов и корпусов под подшипники, опорные торцы режущего инструмента, патронов, планшайб. Базовые торцы зубчатых колес
6...8	7	Машиностроительные детали нормальной точности, посадочные поверхности валов и отверстий под зубчатые колеса 7-8 степени точности при числе оборотов менее 1000 об/мин. Рабочие поверхности кондукторов прессов. Торцы подшипников 0 и 6 классов, торцы крышек и заплечики под подшипники. Уплотнительные поверхности фланцев. Рабочие поверхности режущих инструментов. Базовые торцы зубчатых колес
9...10	8	
11...13	9...10	Детали пониженной точности, нежесткой конструкции. Детали сельскохозяйственных машин, подъемно-транспортных машин при малых скоростях вращения, детали в ручных передачах. Поверхности под прокладки, торцы крышек, свободные поверхности
12...16	11...12	Поверхности низкой точности, неответственных деталей.
14...17	13...16	Поверхности низкой точности с неуказанными допусками, поверхности отливок, штамповок

Таблица 18

Допуски цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения, соосности, симметричности, пересечения осей и радиального биения ГОСТ 24643

Интервалы размеров, мм (длина)	Степень точности для цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения															
	мкм													мм		
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
До 3	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8
Свыше 3 до 10	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1,0
10-18	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2
18-30	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1,0	1,6
30-50	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2,0
50 - 120	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1,0	1,6	2,5
120 - 250	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1,2	2,0	3,0
250 - 400	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1,6	2,5	4,0
400 - 630	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2,0	3,0	5,0
630 - 1000	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2,5	4,0	6,0
1000 - 1600	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2000	3,0	5,0	8,0
1600 - 2500	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500	4,0	6,0	10,0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Степень точности для соосности, симметричности, пересечения осей и радиального биения															

Таблица 19

**Рекомендации по выбору параметров шероховатости поверхности
в зависимости от эксплуатационных требований.**

(Значения параметра - *Ra*, мкм, не более)

Характеристика поверхности			Эксплуатационные требования					
Посадки с натягом	Квалитет	Поверхности детали	Номинальный размер, мм					
			До 50	Свыше 50 до 120	Свыше 120 до 500			
а) Сборка под прессом (силовым методом)	5	Вал	0,1...0,2	0,4	0,4			
	6-7	Отверстие	0,2...0,4	0,8	0,8			
		Вал	0,4	0,8	1,6			
	8	Отверстие	0,8	1,6	1,6			
		Вал	0,8	0,8...1,6	1,6...3,2			
б) Сборка термическим методом	6-7	Вал	1,6					
		Отверстие	1,6...3,2					
Посадки с зазором	5	Вал	0,2	0,4				
		Отверстие	0,4	0,8				
	6	Вал	0,4	0,8				
		Отверстие	0,4...0,8	0,8...1,6				
	7	Вал	0,4...0,8	0,8...1,6				
		Отверстие	0,8	1,6				
	8	Вал	0,8	1,6				
		Отверстие	0,8...1,6	1,6...3,2				
	9-10	Вал	1,6	3,2				
		Отверстие	1,6...3,2	3,2...6,3				
11-12	Вал	3,2	6,3					
	Отверстие	3,2...6,3	6,3...12,5					
Селективная (групповая) сборка	Поверхность		Допуск сортировочной группы, мкм					
			2,5	5	10	20		
	Вал		0,1	0,2	0,4	0,8		
		Отверстие	0,2	0,4	0,8	1,6		
Переходные посадки с точным центрированием	Поверхность		Допуск радиального биения, мкм					
			2,5	4	6	10	16	25
	Вал		0,05	0,1	0,1	0,2	0,4	0,8
	Отверстие		0,1	0,2	0,2	0,4	0,8	1,6
Поверхности под подшипники качения	Номинальный диаметр	Поверхность детали	Класс точности подшипника					
			0	6; 5	4	2		
	До 80	Вал	0,8(1,25)	0,4(0,63)	0,2(0,32)	0,1(0,16)		
		Отверстие в корпусе		0,4(0,63)		0,4(0,63)		
		Торцы заплечиков	1,6(2,5)	0,8(1,25)		0,4(0,63)		
	Свыше 80 до 500	Вал	1,6(2,5)	0,8(1,25)	0,4(0,63)	0,4(0,63)		
		Отверстие в корпусе		0,8(1,25)		0,4(0,63)		
		Торцы заплечиков	1,6(2,5)			0,4(0,63)		

Окончание таблицы 19

Поверхности под подшипники скольжения	Поверхность	Квалитет допуска размера					
		6-9		10-12			
	Вал	0,4...0,8		0,8...3,2			
	Отверстие	0,8...1,6		1,6...3,2			
Поверхности под уплотнения	Вид уплотнения	Скорость вращения, м/с					
		До 3	Свыше 3 до 5		Свыше 5		
	Резиновое	0,8...1,6 полировать	0,4...0,8 полировать		0,2...0,4 полировать		
	Войлочное	0,8...1,6 полировать	0,8...1,6 полировать				
	Лабиринтное	3,2...6,3	3,2...6,3				
Соединения с призматическими и сегментными шпонками	Вид соединения	Поверхности	Шпонка	Паз вала	Паз втулки		
						Неподвижное	Рабочая
	С направляющей шпонкой	Рабочая	6,3...12,5				
		Нерабочая	1,6...3,2				
		Нерабочая	6,3...12,5				
Зубчатые и червячные передачи	Поверхности	Степень точности					
		5	6	7	8	9	10
	Профиль зубьев	0,2...0,4	0,4	0,4...0,8	1,6	3,2	6,3
	Профиль витка червяка	0,2	0,4	0,4...0,8	0,8...1,6	1,6...3,2	-
	Диаметр выступов	3,2...12,5					
Резьбовые соединения	Назначение резьбы	Степень точности					
		4; 5		6; 7		8; 9	
	Крепёжная	1,6		3,2		3,2...6,3	
	Ходовой винт	-		0,4		0,8	
	Гайка под ходовой винт	-		0,8		1,6	
Шлицевые соединения	Характер соединения	Поверхности				Зуб вала	Впадина отверстия
		Центрирующие		Нецентрирующие			
		Вал	Отверстие	Вал	Отверстие		
	Подвижное	0,4...0,8	0,8...0,6	1,6...3,2	3,2	0,4...0,8	0,8...1,6
	Неподвижное	0,4...0,8	0,8...1,6	1,6...6,3	3,2...6,3	1,6...3,2	1,6...3,2
Нерабочие поверхности валов, осей. Открытые свободные поверхности втулок, кронштейнов, ступиц и т.д.						6,3...12,5	
Нерабочие поверхности зубчатых колес (диаметр впадин). Канавки, фаски, выточки закругления у всех видов деталей. Поверхности головок болтов, винтов, гаек						3,2...12,5	
Кромки деталей под сварные швы						50...100	
Свободные поверхности органов управления (рукоятки, маховики и т.д.)						0,4...1,6	

РАСЧЕТ И НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ И КОЛЕС

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
по выполнению курсовой работы по дисциплине
«Нормирование точности и технические измерения»
для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология
машиностроения», 1-36 01 03 «Технологическое
оборудование машиностроительного производства»
и 1-36 12 01 «Проектирование и производство
сельскохозяйственной техники»
дневной и заочной форм обучения**

Составители: **Кирпиченко Юрий Ефремович**
Прач Светлана Игоревна

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 21.02.18.

Рег. № 45Е.
<http://www.gstu.by>