

Тема 3.5.2. Система допусков зубчатых передач

Зубчатая передача

Большинство механизмов и машин имеют зубчатые передачи, состоящие из двух или более зубчатых колес.

Зубчатое колесо, установленное на валу и передающее вращение, называется *ведущим*, а зубчатое колесо на валу, получающее вращение, *ведомым*.

Меньшее из находящихся в зацеплении колес называется шестерней, а большее — колесом (рис. 4.36).

Наибольшее распространение в машиностроении получили эвольвентные цилиндрические передачи с прямыми зубьями.

Параметры цилиндрических зубчатых колес можно подразделить на **исходные**, которые выбираются конструктором, **основные**, которые рассчитываются на основании исходных, и **контрольные**, необходимые для оценки точности изготовления зубчатых колес и передач.

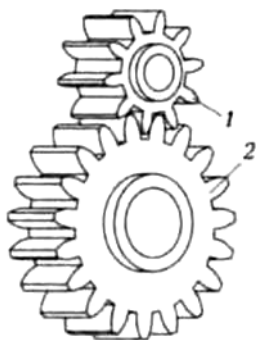


Рис. 4.36. Зубчатое зацепление:
1 — шестерня; 2 — колесо

Стандарты на допуски зубчатых и червячных передач приведены в табл. 4.13.

Таблица 4 13.

ГОСТ	Наименование
1643—81	ОНВ. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски
1758—81	ОНВ. Передачи зубчатые конические и гипоидные. Допуски
3675—81	ОНВ. Передачи червячные цилиндрические
9178—81	ОНВ. Передачи зубчатые цилиндрические мелкомодульные. Допуски

9368—81	ОНВ. Передачи зубчатые конические мелкомодульные. Допуски
9587—81	Зацепления зубчатые. Исходный контур зубчатых мелко-модульных колес
9774—81	ОНВ. Передачи червячные цилиндрические мелкомодульные
10242—81	ОНВ. Передачи зубчатые реечные. Допуски
13506—81	ОНВ. Передачи зубчатые реечные мелкомодульные. Допуски
13755—2015	Зацепления зубчатые. Исходный контур цилиндрических зубчатых колес

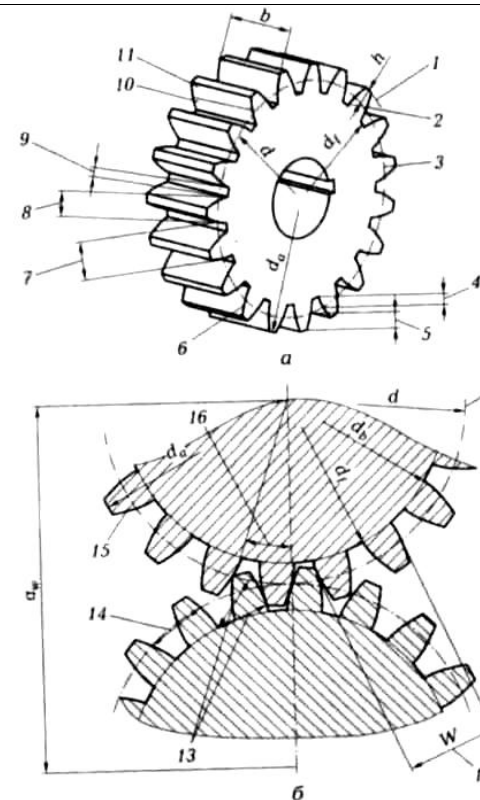


Рис. 4.37. Параметры зубчатого колеса (а) и зубчатой передачи [б] .

1—окружность вершин $d_a = d + 2h_a$; 2 — окружность впадин $d_f = d - 2h_f$; 3- делительная окружность $d = mz$; 4- высота ножки $= 1,25m$; 5 — высота головки $h_e = m$; 6 - эвольвента окружности; 7 - шаг $P_t = \pi m$, 8 - толщина зуба $S_t = 0,5P_t$; 9- ширина впадины $e_t = 0,5 P_t$; 10 - ножка зуба; 11 - головка зуба 12 – длина общей нормали; 13 - основной шаг зацепления P_b ; 14 - окружной шаг P_t ; 15 - профиль зуба (эвольвентный); 16 — угловой шаг; α_w — межосевое расстояние,

Основные параметры зубчатого колеса приведены на рис. 4.37.

Делительные окружности d (пары зубчатых колес) - соприкасающиеся окружности, катящиеся одна по другой без скольжения (на рис. 4.37 - штрихпунктирные линии). При отсутствии коррекции начальная и длительная окружности совпадают, межосевое расстояние в передаче равно делительному, угол зацепления равен номинальному.

Шаг зацепления P_t — расстояние, мм, между одноименными профильными поверхностями (выполненными по кривой, называемой эвольвентой) соседних зубьев, измеренное по дуге делительной окружности. Шаг равен длине делительной окружности nd , деленной на число зубьев z . Отсюда $kd = P^z$. Диаметр делительной окружности

$$d = P_t z / \pi = mz,$$

где m — модуль зубчатого колеса, $m = d/z$.

Модуль m — число, показывающее, сколько миллиметров диаметра делительной окружности приходится на один зуб зубчатого колеса.

Угол перекрытия - угол поворота зубчатого колеса от момента входа зуба в зацепление до момента выхода его из зацепления. У косозубых колес вход и выход фиксируются с разных сторон. Делительная окружность делит зуб на головку и ножку.

Высота головки зуба h_a - расстояние между делительной окружностью и окружностью выступов зубьев: $h_a = m$.

Высота ножки зуба h_f - расстояние между делительной окружностью и окружностью впадин зубьев: $h_f = 1,25m$.

Полная высота зуба для колес с модулем более 1 мм:

$$h = m + 1,25m = 2,25m.$$

В зависимости от условий эксплуатации и предъявляемых требований зубчатые передачи должны обеспечивать:

- точную согласованность вращений валов, т. е. постоянство передаточного отношения за один оборот;
- бесшумность работы быстроходных передач, т.е. постоянство передаточного отношения при повороте на каждый зуб;
- полноту контакта зубьев тяжело нагруженных передач;
- необходимую величину зазора между неработающими профилями зубьев для компенсации погрешностей изготовления,

монтажа, температурных деформаций, а также для размещения смазки.

Для выполнения указанных требований установлены нормы кинематической точности, плавности работы, контакта зубьев в передаче и нормы бокового зазора между неработающими профилями зубьев (определяются видом сопряжения).

Система допусков цилиндрических зубчатых передач

Для зубчатых цилиндрических передач ГОСТ 1643-81 устанавливает 12 степеней точности зубчатых колес и передач с 1-й по 12-ю в порядке убывания точности. Для 1-й и 2-й степеней точности допуски и отклонения не установлены, так как они предусмотрены для будущего развития.

Степень точности - заданный уровень допустимого несоответствия значений действительных параметров (показателей) зубчатого колеса (передачи) их номинальным (расчетным) значениям.

В машиностроении *применяют зубчатые передачи следующих степеней точности:*

3 - 6-й - в редукторах турбин,

3 - 8-й - в металлорежущих станках;

5 - 8-й - в легковых автомобилях и подвижном составе железных дорог;

8 - 11-й - в грузоподъемных и сельскохозяйственных машинах.

3 - 5-й - измерительные или образцовые колеса.

Точность зубчатых колес и передач на чертеже указывают в таблице параметров зубчатого колеса в графе «Степень точности по ГОСТ 1643—81» в виде трех цифр и двух латинских букв, одна из которых строчная, например:

8—7—6—Ba ГОСТ 1643—81.

Первая цифра означает 8-ю степень точности по нормам кинематической точности.

Вторая цифра означает 7-ю степень точности по нормам плавности.

Третья цифра означает 6-ю степень точности по нормам контакта.

Можно предположить, что данное зубчатое колесо предназначено для силовой передачи, так как по нормам контакта задана самая высокая (по сравнению с остальными) степень точности.

Указанные три вида норм точности могут как в зубчатом колесе, так и в передаче комбинироваться и назначаться из разных степеней точности: нормы плавности не более чем на две степени точнее или на одну степень грубее норм кинематической точности; нормы контакта на одну степень грубее или точнее норм плавности.

Прописная буква В указывает на вид сопряжения зубьев зубчатых колес в передаче (на минимальную величину бокового зазора между неработающими профилями зубьев).

Строчная буква а определяет вид (величину) допуска на боковой зазор.

Класс отклонений межосевого расстояния в рассматриваемом примере соответствует виду сопряжения.

В том случае, когда по всем трем нормам назначена одинаковая степень точности, например 7-я, вид сопряжения С с видом допуска на боковой зазор с, соответствующим виду сопряжения, а также соответствием между видом сопряжения и классом отклонений межосевого расстояния, условное обозначение для этого колеса (или передачи) записывается следующим образом:

7 —С ГОСТ 1643 — 81.

Нормы кинематической точности определяют величину полной погрешности угла поворота зубчатых колес за один оборот или один цикл изменения их взаимного положения.

Они содержат требования к таким показателям колеса, погрешности которых влияют на ошибки передаточного отношения за один оборот (цикл).

Построение ГОСТ 1643 - 81 выполнено таким образом, что каждая из норм (кинематической точности и др.) может быть охарактеризована рядом показателей. Для них устанавливаются комплексные и поэлементные показатели. При контроле комплексным показателям следует отдавать предпочтение перед поэлементными.

Чтобы отличать действительное отклонение от допускаемого (или

от допуска), к обозначению действительного отклонения в индексе добавляют букву г (например, F'_{ir} и F'_i)

Показателем норм кинематической точности является наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса (передачи)

Рассмотрим схему комплексного контроля цилиндрической зубчатой передачи (рис. 4.38).

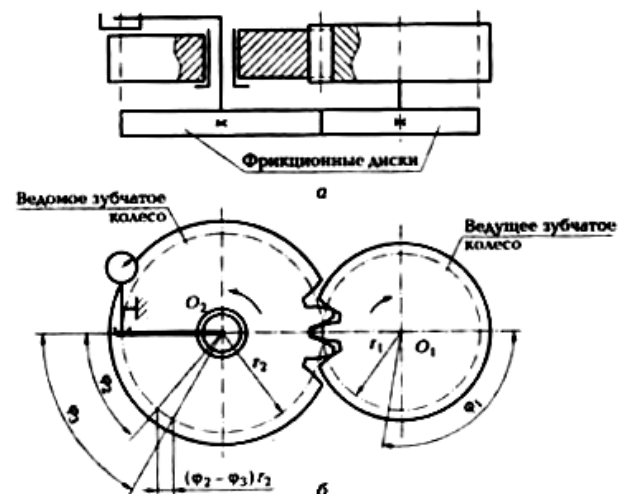


Рис. 4.38. Схема комплексного контроля цилиндрической зубчатой передачи:

а — вид спереди; б — вид сверху

Ведущее и ведомое колеса находятся в однопрофильном зацеплении. Образцовое вращение задается фрикционными дисками, диаметры которых равны делительным диаметрам ведущего и ведомого зубчатых колес.

При вращении ведущего зубчатого колеса вращается и фрикционная пара. Рассогласование во вращении между шпинделем ведомого фрикционного диска и ведомым зубчатым колесом фиксируется измерительным прибором. Прибор установлен на расстоянии от оси, равном радиусу делительной окружности ведомого колеса. Шпиндель ведомого фрикционного диска воспроизводит образцовое вращение и вынесен так, чтобы полученные отклонения фиксировались на уровне делительного диаметра колеса. Таким образом измеряется рассогласование между действительным φ_2 и номинальным φ_3 углами поворота ведомого колеса.

Наибольшая алгебраическая разность значений кинематической погрешности проверяемого зубчатого колеса при его полном повороте на рабочей оси, вращаемого измерительным зубчатым

колесом (рис. 4.39), обозначается F'_{ir} и выражается в линейных величинах длиной дуги делительной окружности. Под рабочей осью зубчатого колеса понимается ось, вокруг которой оно вращается в передаче.



Рис. 4.39. График изменения кинематической погрешности

Допуск на кинематическую погрешность зубчатого колеса обозначается F'_r . Другие показатели норм кинематической точности приведены в ГОСТ 1643—81.

Нормы плавности работы колеса (передачи) определяют величину составляющих полной погрешности угла поворота зубчатого колеса, многократно повторяющихся на каждом зубе за один оборот (один цикл).

Нормы плавности работы колеса (передачи) содержат требования к таким показателям колеса, погрешности которых влияют на многократное изменение передаточного отношения, много раз возникающего на каждом зубе за один оборот (один цикл).

Оценивается плавность работы по многократно изменяющимся колебаниям погрешности угла поворота на диаграмме кинематической погрешности.

Показатели плавности назначают с учетом коэффициента осевого перекрытия ε_p

Показателем норм плавности является циклическая погрешность зубчатого колеса (передачи) f_{zkr} (f_{zkor}) — удвоенная амплитуда k -й гармонической составляющей кинематической погрешности (рис. 4.40) зубчатого колеса (передачи).

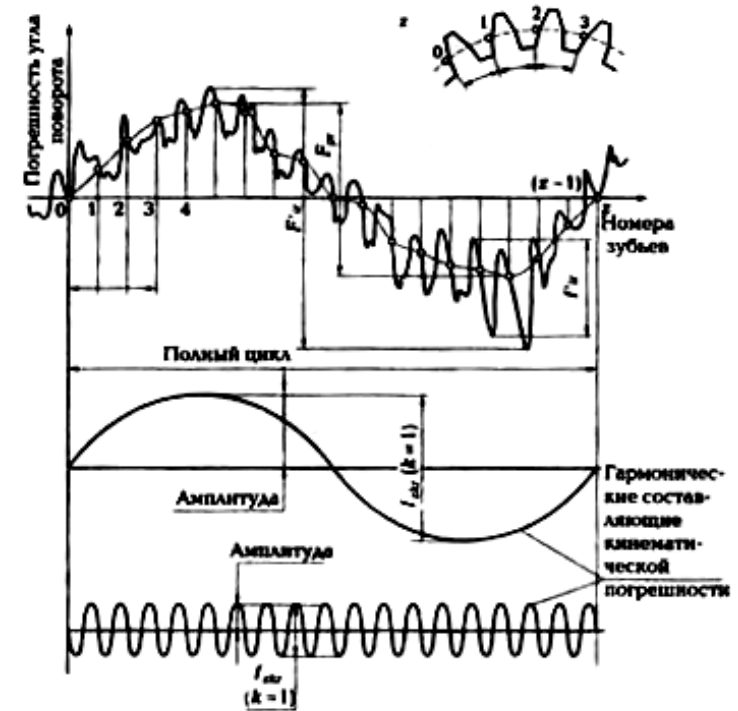


Рис. 4.40. Комплексные показатели норм кинематической точности (F'_r , F'_{pr}) и плавности (f_z , f_{pr})

Допуск на циклическую погрешность зубчатого колеса f_{zk} (передачи — f_{zko}).

Другие показатели норм плавности приведены в ГОСТ 1643-81.

Нормы контакта зубьев отражают полноту прилегания поверхностей зубьев сопряженных колес в передаче.

Они содержат требования к таким показателям колеса, погрешности которых влияют на величину поверхности касания сопряженных зубьев.

Показателем норм контакта является суммарное пятно контакта — часть активной боковой поверхности зуба зубчатого колеса, на которой располагаются следы прилегания зубьев парного зубчатого колеса в собранной передаче после вращения под нагрузкой, устанавливаемой конструктором.

На рис. 4.41, демонстрирующем суммарное пятно контакта, введены следующие обозначения:

B - длина зуба;

a - расстояние между крайними точками следов прилегания;

c - длина разрыва;

h_m - высота следов прилегания;

h_p - высота зуба.

Комплексными показателями полноты контакта, выраженными в процентах, являются:

$$\text{по длине зуба } \frac{a-c}{b} 100$$

$$\text{по высоте зуба } \frac{h_m}{h_p} 100$$

Другие показатели норм контакта приведены в ГОСТ 1643 — 81.

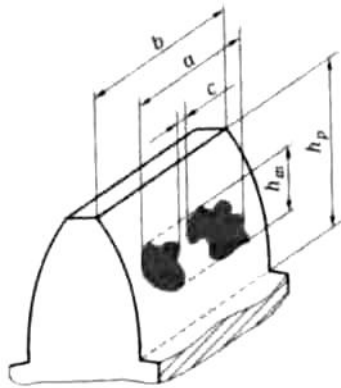


Рис. 4.41. Суммарное пятно контакта

Нормы бокового зазора — дополнительно назначенные независимо от точности изготовления зубчатых колес (передач) по нормам кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев требования к боковому зазору j_n между нерабочими профилями (рис. 4.42, а) зубьев в собранной передаче.

Боковой зазор обеспечивает небольшой люфт (поворот) зубчатого колеса в передаче при заторможенном или неподвижном втором колесе. Зазор необходим для предотвращения заклинивания передачи при ее нагреве во время работы, для компенсации ошибок монтажа и для обеспечения смазки колес.

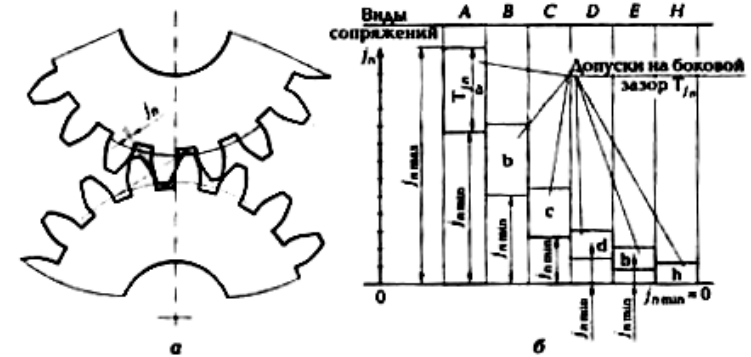


Рис. 4.42. Боковой зазор (а) и виды сопряжения зубьев в передаче (б)

Величина бокового зазора определяется видом сопряжения. Для зубчатых передач с модулем свыше 1 мм установлено шесть видов сопряжений А, В, С, D, E и H (рис. 4.42, б), которые определяют величину гарантированного (наименьшего) бокового зазора $j_{n \min}$. Для зубчатых передач с модулем свыше 1 мм видам сопряжения H и E соответствует вид допуска на боковой зазор h , сопряжениям D, C, B и A - соответственно виды допусков d , c , b и a . Вместо указанных видов допусков для каждого вида сопряжений при необходимости могут быть использованы увеличенные допуски x , y и z . Таким образом, соответствие между видом сопряжений зубчатых колес в передаче и видом допуска на боковой зазор можно изменять.

Для нерегулируемых передач с модулем свыше 1 мм установлено шесть классов отклонений межосевого расстояния, обозначаемых в порядке убывания точности римскими цифрами I, II, III, IV, V и VI, а для передачи с модулем до 1 мм — пять классов отклонений: II, III, IV, V и VI. Гарантированный боковой зазор в каждом сопряжении обеспечивается при соблюдении предусмотренных классов отклонений межосевого расстояния. Например, для передачи с модулем свыше 1 мм сопряжения H и E обеспечиваются при II классе отклонений, а сопряжения D, C, B и A — соответственно при III, IV, V и VI классах.

В обоснованных случаях это соответствие между видом сопряжения и классом отклонений межосевого расстояния может изменяться.

Показателями норм бокового зазора являются:

- гарантированный боковой зазор $j_{n \min}$;
- допуск на боковой зазор T_{j_n} ;
- дополнительное смещение исходного контура E_{Hr} от его номи-

нального положения в тело колеса, осуществляемое в целях обеспечения в передаче бокового зазора (для зубчатых колес с внешними зубьями — *наименьшее дополнительное смещение исходного контура* — E_{Hs});

- допуск на дополнительное смещение исходного контура T_H .

На рис. 4.43 показаны номинальное Γ , наименьшее Б и наибольшее В дополнительное смещение исходного контура зуба, определяющие наименьшее (между точками 1—2) и наибольшее (между точками 1—4) значения величины бокового зазора. Параметр k учитывает изменение погрешности изготовления с изменением степени точности (по нормам плавности). Штриховой линией обозначено номинальное положение исходного контура зуба (Γ) рейки,

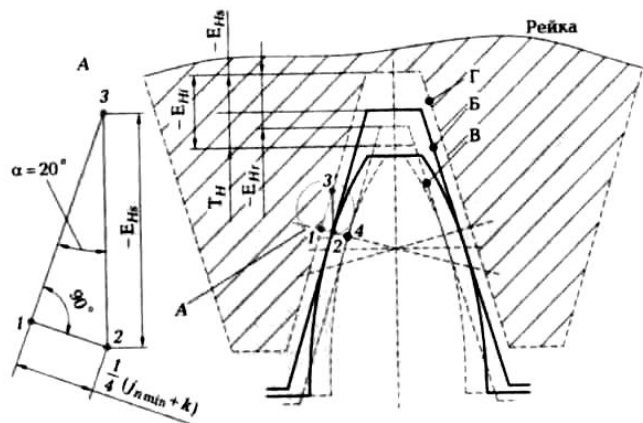


Рис. 4.43. Смещение исходного контура:

Б — положение исходного контура при наименьшем дополнительном смещении E_{Hs} ;
 В — положение исходного контура при наибольшем дополнительном смещении;
 Γ — номинальное положение исходного контура

не имеющей смещения. После перемещения на величину E_{Hs} будет образован зуб максимально допустимой толщины (полужирная линия). Допуск на смещение исходного контура T_H определяет зону расположения реальных значений дополнительного смещения исходного контура E_{Hs} получаемых при наладке станка.

Другие показатели норм бокового зазора приведены в ГОСТ 1643—

Чертеж зубчатого колеса

Согласно ГОСТ 2.403 — 75 на изображении цилиндрического зубчатого колеса рекомендуется указывать:

- диаметр окружности выступов и, при необходимости, предельное значение радиального биения поверхности выступов;
- ширину зубчатого венца и, при необходимости, предельное значение биения поверхности базового торца;
- размеры фасок или радиусы закругления на торцевых кромках цилиндра выступов;
- шероховатость боковой поверхности зубьев, поверхности выступов, поверхности впадин и др.

На рис. 4.44 показан пример выполнения чертежа зубчатого колеса.

В специальной таблице, размещенной в правом верхнем углу чертежа и разделенной полужирными линиями на три части, приводят:

- в первой части — данные, необходимые для изготовления колеса;
- во второй части — показатели норм точности, выбранные по соответствующему стандарту;
- в третьей части — справочные данные, необходимые для контроля показателей, приведенных во второй части таблицы.

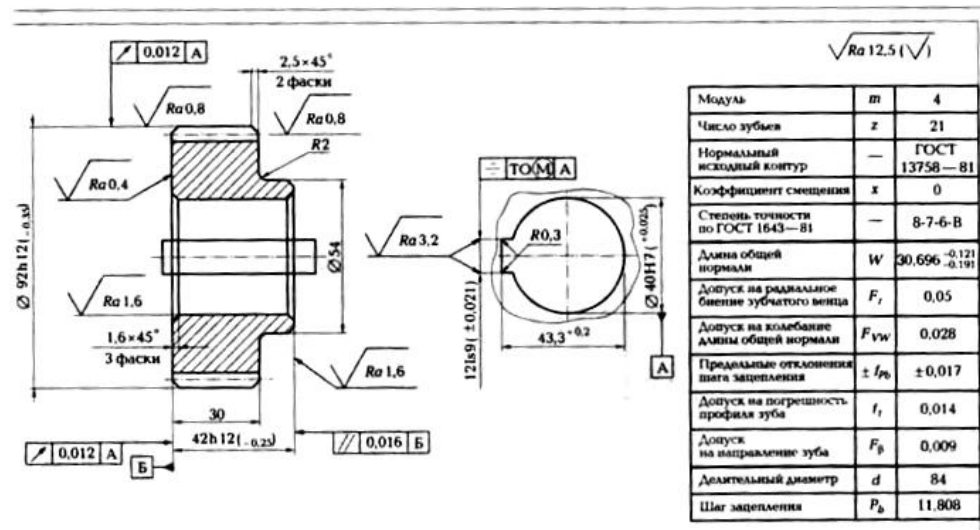


Рис. 4.44. Чертеж зубчатого колеса

ЗАДАНИЕ НА ЗАКРЕПЛЕНИЕ

1. Укажите параметр цилиндрического зубчатого колеса, которые рассчитываются на основании исходных параметров:

- А) исходные
- Б) основные
- В) контрольные

2. Укажите название заданный уровень допустимого несоответствия значений действительных параметров (показателей) зубчатого колеса (передачи) их номинальным (расчетным) значениям:

- А) степень точности
- Б) погрешность зубчатого колеса
- В) смещение исходного контура

3. Укажите параметр цилиндрического зубчатого колеса, которые выбираются конструктором:

- А) исходные
- Б) основные
- В) контрольные

4. Укажите значение степени точности по нормам плавности, если на чертеже указано 6—8—9—Са ГОСТ 1643—81

- А) 6
- Б) 8
- В) 9
- Г) С
- Д) а

5. Укажите параметр цилиндрического зубчатого колеса, которые необходимы для оценки точности изготовления зубчатых колес и передач:

- А) исходные
- Б) основные
- В) контрольные

6. Укажите значение степени точности по нормам контакта, если на чертеже указано 6—8—9—Са ГОСТ 1643—81

- А) 6
- Б) 8
- В) 9
- Г) С
- Д) а

7. Укажите значение вида сопряжения зубьев зубчатых колес в передаче, если на чертеже указано 6—8—9—Са ГОСТ 1643—81

- А) 6
- Б) 8
- В) 9
- Г) С
- Д) а

8. Укажите нормы, которые определяют величину полной погрешности угла поворота зубчатых колес за один оборот или один цикл изменения их взаимного положения

- А) кинематической точности
- Б) плавности работы колеса (передачи)
- В) контакта зубьев

9. Укажите значение степени точности по нормам кинематической точности, если на чертеже указано 6—8—9—Са ГОСТ 1643—81

- А) 6
- Б) 8
- В) 9
- Г) С
- Д) а

10. Укажите значение вида (величины) допуска на боковой зазор, если на чертеже указано 6—8—9—Са ГОСТ 1643—81

- А) 6
- Б) 8
- В) 9
- Г) С
- Д) а

11. Укажите нормы, которые отражают полноту прилегания поверхностей зубьев сопряженных колес в передаче

- А) кинематической точности
- Б) плавности работы колеса (передачи)
- В) контакта зубьев

12. Укажите степень точности зубчатой передачи, которые применяют в легковых автомобилях и подвижном составе железных дорог

- А) 3 - 6-й
- Б) 5 -8-й
- В) 8 - 11-й

13. Укажите нормы, которые определяют величину составляющих полной погрешности угла поворота зубчатого колеса, многократно повторяющихся на каждом зубе за один оборот (один цикл)

- А) кинематической точности
- Б) плавности работы колеса (передачи)
- В) контакта зубьев

14. Укажите степень точности зубчатой передачи, которые применяют в редукторах турбин

- А) 3 - 6-й
- Б) 5 -8-й
- В) 8 - 11-й

15. Укажите степень точности зубчатой передачи, которые применяют в грузоподъемных и сельскохозяйственных машинах

- А) 3 - 6-й
- Б) 5 -8-й
- В) 8 - 11-й