

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Ильшат Ринатович Мухаметзянов

Должность: директор

Дата подписания: 13.07.2023 14:34:25

Уникальный идентификатор:

aba80b84033c9ef196388e9ea0434f90a83a40954ba270e84bcb664f02d1d8d0

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский национальный исследовательский

технический

университет им. А.Н. Туполева-КАИ»

Чистопольский филиал «Восток»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
по дисциплине
ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

Индекс по учебному плану: **Б1.В.13**

Направление подготовки: **12.03.01 Приборостроение**

Квалификация: **Бакалавр**

Профиль подготовки: **Приборостроение**

Вид профессиональной деятельности: **проектно-конструкторская,
производственно-технологическая**

Рекомендовано УМК ЧФ КНИТУ-КАИ

Чистополь
2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1. РАБОЧИЙ ЧЕРТЕЖ ПРЯМОЗУБОГО КОЛЕСА.....	2
Лабораторная работа №2. РАБОЧИЙ ЧЕРТЕЖ ВАЛА	288

Лабораторная работа №1. РАБОЧИЙ ЧЕРТЕЖ ПРЯМОЗУБОГО КОЛЕСА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Выполнить рабочий чертеж прямозубого колеса с соблюдением требований ЕСКД.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Рабочий чертеж детали – графический документ, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля.

По чертежам на производстве изготавливают детали, производят сборку машин, механизмов, приборов. С помощью чертежа конструктор или ученый выражает свой замысел в производственных документах.

Чертежи должны отвечать ГОСТ 2.109-73, устанавливающему основные требования к выполнению чертежей деталей, сборочных, габаритных и монтажных на стадии разработки рабочей документации.

Рабочие чертежи деталей выполняют в стандартном масштабе при помощи чертежных инструментов или систем автоматизированного проектирования (САПР).

Правила выполнения чертежей цилиндрических зубчатых колес указаны в ГОСТ 2.403-75.

Зубчатые колеса являются составными частями зубчатых передач – механизмов, которые с помощью зубчатого зацепления передают или преобразуют движение с изменением угловых скоростей и моментов. Зубчатое колесо – это звено, имеющее замкнутый зубчатый контур, обеспечивающий непрерывное движение другого звена. К зубчатым колесам предъявляют высокие требования к точности изготовления.

Пример рабочего чертежа прямозубого эвольвентного колеса, отвечающего ГОСТ 2.109-73 и ГОСТ 2.403-75, а также современным требованиям производства, приведен на рис. 1.1.

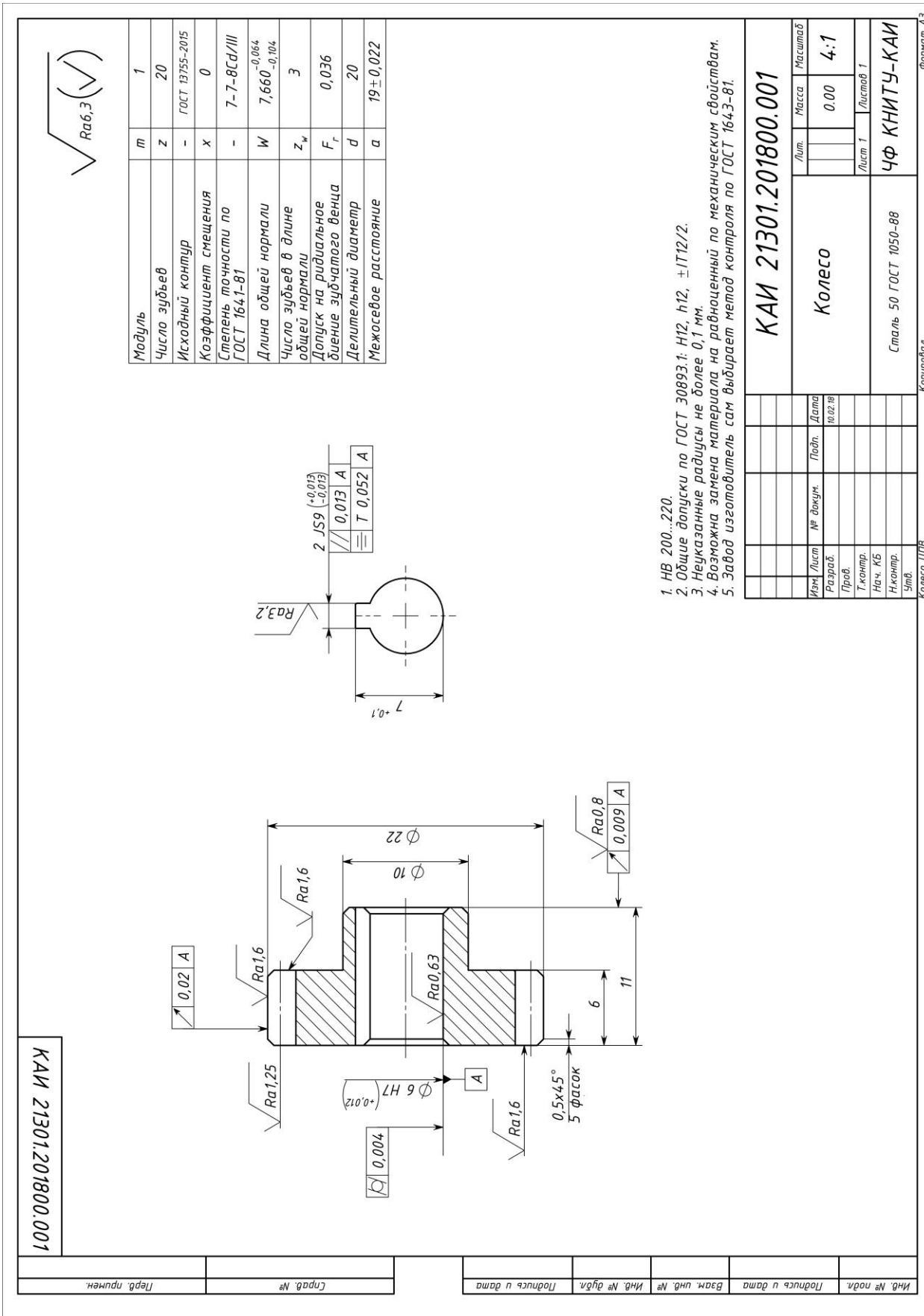


Рис. 1.1. Рабочий чертеж прямозубого колеса

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с предложенным вариантом конструкции зубчатого колеса и определить назначение каждого участка и элемента;
2. Выполнить чертеж колеса и необходимые расчеты;
3. Продумать ответы на вопросы для самоконтроля;
4. Сделать вывод по работе.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕРТЕЖА ПРЯМОЗУБОГО КОЛЕСА

Для рабочего чертежа цилиндрического эвольвентного прямозубого колеса можно установить следующую последовательность его выполнения:

1. Выполнить в масштабе изображение колеса;
2. Нанести размеры;
3. Указать допуски на линейные размеры;
4. Указать допуски формы и расположения поверхностей;
5. Заполнить таблицу параметров зубчатого венца;
6. Указать шероховатость поверхностей колеса;
7. Указать технические требования на колесо.

1. Выполнение в масштабе изображения колеса

Чертеж зубчатого колеса должен содержать минимально необходимое число видов и разрезов для полного понимания конструкции детали, а также для её изготовления и контроля.

Необходимо выполнить главный вид, а также сделать необходимые виды, разрезы и сечения колеса, используя стандартный ряд масштабных чисел (2:1, 2,5:1, 4:1, 5:1).

2. Нанесение размеров

На чертеже должно быть задано минимальное число размеров, но достаточное для изготовления и контроля зубчатого колеса. При этом каждый размер элемента детали должен быть указан только один раз.

Размеры на чертеж можно наносить тремя способами:

1. Цепным способом – обеспечивается точность расположения каждого последующего участка относительно предыдущего (размеры наносятся друг за другом);
2. Координатным способом – обеспечивается точность расположения каждого участка относительно базы (размеры наносятся от одной базы);
3. Комбинированным способом.

Наиболее предпочтительным является комбинированный способ.

3. Указание допусков на линейные размеры

Допуск (поле допуска) – это алгебраическая разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами детали.

Допуски на линейные размеры устанавливаются на различные участки зубчатого колеса в зависимости от их назначения. Ниже приведены рекомендуемые допуски на возможные участки и поверхности колеса:

а) посадочное отверстие на вал со шпоночным пазом

Установка колес на валы со шпонкой или штифтом осуществляется по переходной посадке $\frac{H7}{m7}$. Поэтому диаметр посадочных поверхностей выполняют с полем допуска $H7$.

б) поверхность на диаметре вершин зубчатого колеса

Диаметральный размер вершин выполняют с полем допуска $h12$. Допуск диаметра вершин зубьев можно также принимать по рекомендациям [Справочник конструктора-приборостроителя. Детали и механизмы приборов /В.Л. Соломахо и др. Минск: Высшая школа, 1990. – 440 с.] стр. 297 из соотношения $T_{d_a} \leq (0,2...0,1)m$.

с) поверхности шпоночных пазов

Посадки шпонок в паз ступицы устанавливаются стандартами на шпонки. Согласно ГОСТ 23360-78 (призматические шпонки) и ГОСТ 24071-

97 (сегментные шпонки) при нормальном соединении устанавливается посадка $\frac{Js9}{h9}$. Поэтому ширину шпоночного паза выполняют с допуском $Js9$.

Предельные отклонения глубины шпоночного паза также регламентируются стандартами. Принимают согласно ГОСТ 23360-78 при ширине шпонки до 3 мм и по ГОСТ 24071-97 при ширине шпонки до 2,5 мм предельные отклонения глубины шпоночного паза $^{+0,1}$ мм.

d) неотчетственные поверхности и участки с размерами низкой точности

Допуски на размеры низкой точности, повторяющиеся многократно указывают в виде надписи в технических требованиях, например: «Общие допуски по ГОСТ 30893.1: $H12, h12, \pm IT12/2$ ». Надпись означает, что неуказанные предельные отклонения размеров: отверстий выполняются по 12 квалитету, валов – по 12 квалитету, для прочих \pm половина допуска 12-го квалитета.

4. Указание допусков формы и расположения поверхностей

ГОСТ 2.308-79 устанавливает правила указания допусков формы и расположения поверхностей на чертежах деталей.

При указании допусков формы и расположения поверхностей на чертежах, а также указании баз, необходимо придерживаться двух правил:

1. Если допуск относится к поверхности или ее профилю (базой является поверхность или ее профиль), то рамку обозначения допуска (базы) соединяют с контурной линией поверхности или ее продолжением, при этом соединительная линия не должна быть продолжением размерной линии.
2. Если допуск относится к оси или плоскости симметрии (базой является ось или плоскость симметрии), то соединительная линия должна быть продолжением размерной линии.

Допуски формы и расположения поверхностей устанавливаются для цилиндрического колеса в зависимости от назначения этих поверхностей.

Ниже приведены рекомендуемые допуски формы и расположения поверхности на возможные участки и поверхности колеса:

а) посадочное отверстие

Допуск на отклонение от цилиндричности (©) поверхности посадочного отверстия рекомендуется принимать равным $T \approx 0,3IT_D$, где IT_D – допуск на посадочный диаметр.

б) торец ступицы, являющийся базой для подшипника качения

Для создания точной базы для подшипников качения, а также для ограничения перекоса колец и искажения ориентации дорожек качения внутренних колец подшипников, упирающихся в торец ступицы задают допуски на торцевое биение (\Leftarrow) ступицы колеса согласно ГОСТ 3325-85. Допуски указаны в таблице 1.1 ([Справочник конструктора-приборостроителя. Детали и механизмы приборов /В.Л. Соломахо и др. Минск: Высшая школа, 1990. – 440 с.] стр. 159 табл. 2.69).

Таблица 1.1. Допуски торцевого биения опорных торцевых поверхностей,

МКМ

Интервалы номинальных диаметров d , мм	Класс точности подшипника		
	0	6	5
от 1 до 3	10	6	3
св. 3 до 6	12	8	4
св. 6 до 10	15	9	4
св. 10 до 18	18	11	5
св. 18 до 30	21	13	6
св. 30 до 50	25	16	7
св. 50 до 80	30	19	8
св. 80 до 120	35	22	10
св. 120 до 180	40	25	12

с) поверхности шпоночных пазов

Для обеспечения более равномерного контакта рабочих поверхностей шпоночного паза ступицы и шпонки назначают допуск параллельности (П) и симметричности (\wedge). Численные значения допусков параллельности и

симметричности расположения можно принять согласно следующим рекомендациям, соответственно.

$$T \approx 0,5IT_{\text{шп}}, T = 2IT_{\text{шп}},$$

где $IT_{\text{шп}}$ – допуск ширины шпоночного паза принимают по ГОСТ 23360-78. ([Справочник конструктора-приборостроителя. Детали и механизмы приборов /В.Л. Соломахо и др. Минск: Высшая школа, 1990. – 440 с.] стр. 82). Значение допуск симметричности (\wedge) указывается в диаметральном выражении символом T.

д) диаметр вершин зубчатого колеса

Допуск на радиальное биение (\Leftarrow) диаметра вершин – назначают в зависимости от допуска на радиальное биение зубчатого венца F_r по рекомендациям [Справочник конструктора-приборостроителя. Детали и механизмы приборов /В.Л. Соломахо и др. Минск: Высшая школа, 1990. – 440 с.] стр. 297 из соотношения: $T \leq 0,6F_r$.

Допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r для колес с модулем $m \geq 1$ мм (ГОСТ 1643-81) указан в таблице 1.2, для колес с модулем $m < 1$ мм (ГОСТ 9178-81) – в таблице 1.3 ([Справочник конструктора-приборостроителя. Детали и механизмы приборов /В.Л. Соломахо и др. Минск: Высшая школа, 1990. – 440 с.] стр. 225, 226).

Таблица 1.2. Нормы кинематической точности (показатель F_r – допуск на радиальное биение зубчатого колеса) зубчатых передач при $m \geq 1$ мм.

Степень точности	Делительный диаметр d , мм		
	До 125	Св. 125 до 400	Св. 400 до 800
	МКМ		
5	16	22	28
6	25	36	45
7	36	50	63
8	45	63	80

Таблица 1.3. Нормы кинематической точности (показатель F_r – допуск на радиальное биение зубчатого колеса) зубчатых передач при $m \leq 1$ мм.

Степень точности	Модуль m , мм	Делительный диаметр d , мм								
		До 12	Св. 12 до 20	Св. 20 до 32	Св. 32 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 200	Св. 200 до 315	Св. 315 до 400
		МКМ								
5	От 0,1 до 0,5	7	8	9	10	12	14	16	—	—
	Св. 0,5 до 1,0	9	10	11	12	14	16	19	22	22
6	От 0,1 до 0,5	11	12	14	16	19	22	26	—	—
	Св. 0,5 до <1,0	15	16	18	20	22	25	30	35	36
7	От 0,1 до 0,5	16	18	20	22	26	30	36	—	—
	Св. 0,5 до <1,0	21	22	24	26	30	36	42	48	50
8	От 0,1 до 0,5	19	21	25	28	32	38	45	—	—
	Св. 0,5 до <1,0	26	28	30	34	38	45	50	55	63

5. Заполнение таблицы параметров зубчатого венца

Таблицу параметров помещают в правом верхнем углу поля чертежа. Согласно ГОСТ 2.403-75 она должна состоять из трех частей, разделенных сплошными основными линиями (рис. 1.2).

Модуль	m	1
Число зубьев	z	20
Исходный контур	—	ГОСТ 13755-2015
Коэффициент смещения	x	0
Степень точности по ГОСТ 1643-81	—	7-7-8-Cd/III
Длина общей нормали	W	$7,660_{-0,104}^{-0,064}$
Число зубьев в длине общей нормали	z_w	3
Допуск на радиальное биение зубчатого венца	F_r	0,036
Делительный диаметр	d	20
Межосевое расстояние	a	$19 \pm 0,022$

Рис. 1.2. Пример таблицы параметров зубчатого венца

Первая часть – основные данные (для изготовления):

а) модуль по ГОСТ 9563-60;

б) число зубьев z ;

в) исходный контур:

для $m < 1$ мм – ГОСТ 9587-81;

для $m \geq 1$ мм – ГОСТ 13755-2015.

г) коэффициент смещения исходного контура x ;

д) степень точности, вид сопряжения (вид допуска на боковой зазор, класс отклонения межосевого расстояния) по соответствующему стандарту и номер этого стандарта

для $m < 1$ мм степень точности по ГОСТ 9178-81;

для $m \geq 1$ мм – ГОСТ 1643-81.

Вторая часть – данные для контроля, например:

а) длина общей нормали W с предельными отклонениями и число зубьев в длине общей нормали z_w ;

б) допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r .

Третья часть – справочные данные, например:

а) диаметр делительной окружности d ;

б) межосевое расстояние a с предельными отклонениями.

Дополнительная информация содержится в ГОСТ 2.403-75. Стандарт устанавливает правила выполнения чертежей эвольвентных цилиндрических зубчатых колес в части указания параметров зубчатого венца.

Ниже приведены рекомендации для нахождения недостающих по заданию параметров для прямозубого колеса.

а) выбор степени точности

Показатели точности (допуски) цилиндрических зубчатых эвольвентных передач и колес регламентируются стандартами. Установлено 12 степеней точности зубчатых колес и передач, обозначаемых в порядке убывания точности цифрами 1, 2, 3, ..., 12. Наиболее распространенными в машиностроении степени точности в быстроходных передачах ($V > 10$ м/с) 5, 6, 7, тихоходных – 8, 9. Для степеней точности 1 и 2 допуски не установлены.

Для каждой степени точности ГОСТ 1643-81 (для колес с $m \geq 1$ мм) и ГОСТ 9178-81 (для колес с $m < 1$ мм) устанавливаются нормы: кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев.

Допускается комбинирование норм кинематической точности, норм плавности работы и норм контакта зубьев зубчатых колес и передач разных степеней точности. При этом нормы плавности работы мелко модульных зубчатых колес и передач ($m < 1$ мм) могут быть не более чем на одну степень точнее или грубее норм кинематической точности, для колес с $m \geq 1$ мм – на две степени точнее или на одну степень грубее норм кинематической

точности. Нормы контакта зубьев (для колес всех модулей) могут назначаться по любым более точным степеням, и не более чем на одну степень грубее норм плавности.

Кроме степеней точности для зубчатых колес и передач установлены виды сопряжения, обозначаемые прописными буквами латинского алфавита (A, B, C, ...), и виды допусков на боковые зазоры ($a, b, c \dots$) (рис. 1.3).

Вид сопряжения характеризует гарантированный боковой зазор $j_{n \min}$, т.е. наименьший возможный боковой зазор между зубьями в зацеплении. Вид допуска характеризует возможный наибольший боковой зазор, т.е. допуск на боковой зазор.

Гарантированный боковой зазор в передаче обеспечивается только при определенном отклонении межосевого расстояния передачи от номинального значения. Поэтому стандартами установлены также классы отклонений межосевого расстояния, обозначаемые римскими цифрами, которые задают допуск на межосевое расстояние f_a .

Для передач с модулем $m \geq 1$ мм (ГОСТ 1643-81) установлены 6 видов сопряжений A, B, C, D, E, H (рис. 1.3 а), 8 видов допусков x, y, z, a, b, c, d, h и 6 классов отклонений межосевого расстояния от I до VI в порядке убывания точности.

Сопряжения вида B обеспечивает номинальное значение бокового зазора, при котором исключается возможность заклинивания стальной или чугунной передачи от нагрева при разности температур зубчатых колес и корпуса в 25°C.

Видам сопряжений E и H соответствует вид допуска h, видам сопряжений A, B, C, D – соответственно виды допусков a, b, c, d. Соответствие между видом сопряжения зубчатых колес в передаче и видом допуска на боковой зазор допускается изменять, при этом также могут быть использованы виды допусков x, y, z.

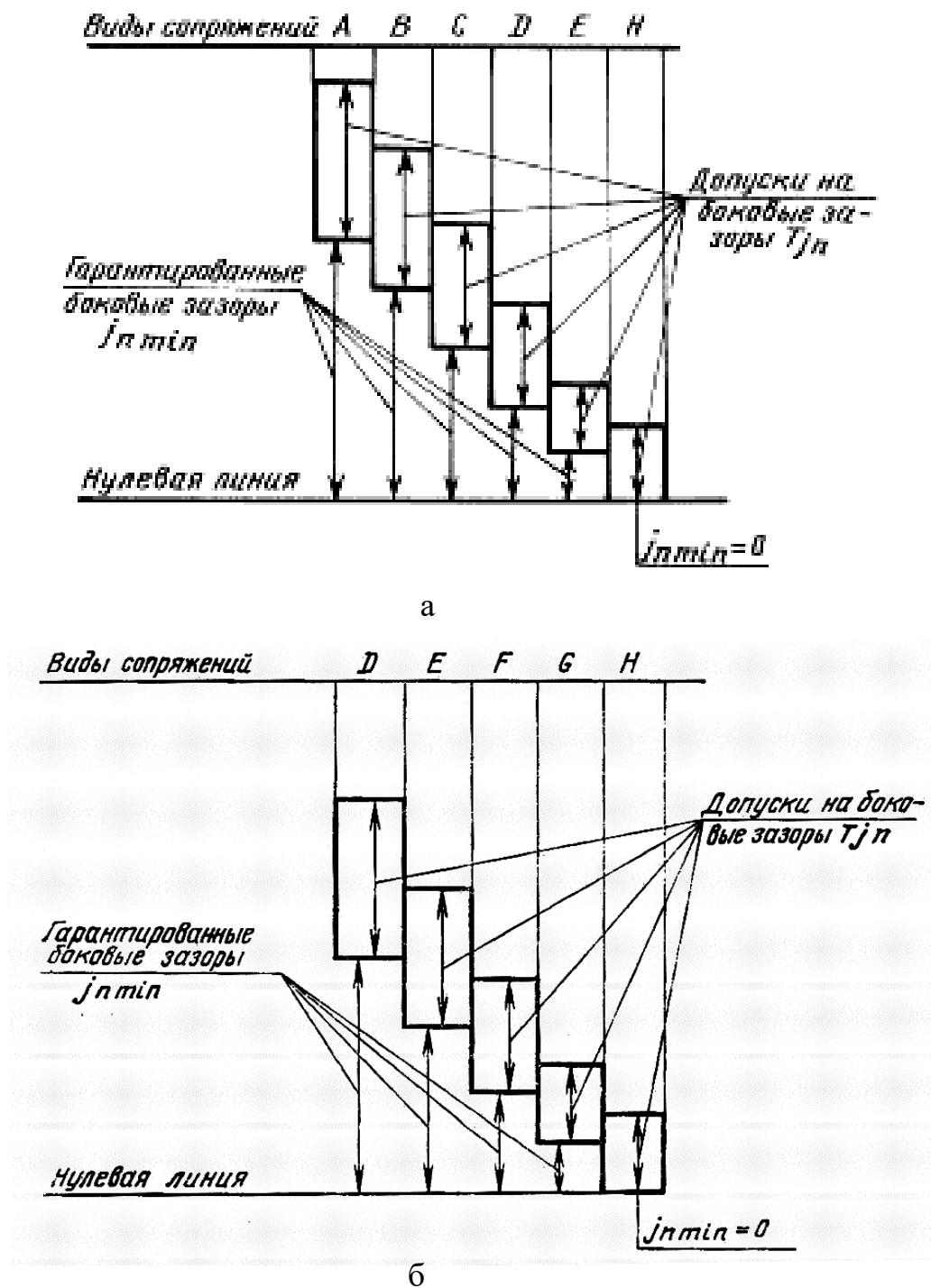


Рис. 1.3. Виды сопряжений и гарантированные боковые зазоры для колес с модулем: а – $m \geq 1$ (ГОСТ 1643-81); б – $m < 1$ (ГОСТ 9178-81)

II класс отклонений межосевого расстояния предусмотрен для сопряжений H и E. Классы III, IV, V, VI – для сопряжений D, C, B и A соответственно. Соответствие видов сопряжений и указанных классов допускается изменять.

Кроме этого вид сопряжения соответствует определенной степени

точности по нормам плавности (таблица 1.4).

Установленные стандартом соответствия видам сопряжений можно представить в виде таблицы 1.4 [Справочник конструктора-приборостроителя. Детали и механизмы приборов /В.Л. Соломахо и др. Минск: Высшая школа, 1990. – 440 с.] стр. 224.

Таблица 1.4. Соответствие норм точности зубчатых передач при $m \geq 1$ мм

Вид сопряжения	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>H</i>
Степень точности по нормам плавности	3...12	3...11	3...9	3...8	3...7	3...7
Вид допуска	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>h</i>	<i>h</i>
Класс отклонения межосевого расстояния	VI	V	IV	III	II	II

Обычно в передачах $m \geq 1$ мм используется сопряжение *B*, а у реверсивных передач *C*.

Для мелко модульных передач с модулем $m < 1$ мм (ГОСТ 9178-81) установлены 5 видов сопряжений *D, E, F, G, H* (рис. 1.3 б) 4 вида допусков на боковой зазор *e, f, g, h* и 5 классов отклонений межосевого расстояния от *II* до *VI* в порядке убывания точности.

Видам сопряжений *D* и *E* соответствует вид допуска на боковой зазор *e*, а видам сопряжений *F, G, H* – виды допусков *f, g, h* соответственно. Соответствие между видом сопряжений зубчатых колес в передаче и видом допуска на боковой зазор допускается изменять.

II класс отклонений межосевого расстояния предусмотрен для сопряжений *H*. Классы *III, IV, V, VI* – для сопряжений *G, F, E* и *D* соответственно. Допускается изменять соответствие между видом сопряжения и классом отклонений межосевого расстояния.

Вид сопряжения соответствует определенной степени точности по нормам плавности при определенном значении модуля (таблица 1.5).

Установленные стандартом соответствия видам сопряжений можно представить в виде таблицы 1.5.

Таблица 1.5. Соответствие норм точности зубчатых передач при $m < 1$ мм

Вид сопряжения	<i>D</i>		<i>E</i>		<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
	0,1...0,5	Свыше 0,5 до 1	0,1...0,5	Свыше 0,5 до 1	0,1...1		
Модуль <i>m</i> , мм	0,1...0,5	Свыше 0,5 до 1	0,1...0,5	Свыше 0,5 до 1	0,1...1		
Степень точности по нормам плавности	3...10	3...12	3...10	3...12	3...12	3...8	3...7
Вид допуска	<i>e</i>	<i>e</i>	<i>e</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>
Класс отклонения межосевого расстояния	<i>VI</i>	<i>VI</i>	<i>V</i>	<i>V</i>	<i>IV</i>	<i>III</i>	<i>II</i>

Чаще в передачах $m < 1$ мм используют сопряжение *E*, а в реверсивных передачах *F*.

Точность изготовления колес указывается на чертеже в таблице параметров зубчатого венца (рис. 1.2). И задаётся степенями точности по нормам кинематической точности, нормам плавности и контакта зубьев, указывается вид сопряжений, вид допуска, класс отклонения межосевого расстояния, номер стандарта.

Например, зубчатая передача с модулем $m < 1$ мм по ГОСТ 9178–81 со степенями точности: 7-я – по нормам кинематической точности; 8-я – по нормам плавности; 8-я – по нормам контакта. Видом сопряжения – *E*, видом допуска – *f* и *IV* класса отклонений межосевого расстояния.

7–8–8 *Ef/IV* ГОСТ 9178–81.

Если все три степени точности одинаковы, то точность записывается одной цифрой

7 – *Dg/III* ГОСТ 9178–81.

Если вид допуска соответствует виду сопряжения, то он в обозначении не указывается. Если класс отклонения межосевого расстояния соответствует виду сопряжения, то он тоже не указывается.

7 – *G* ГОСТ 9178–81.

Если на одну группу степень точности не задаётся, то вместо цифры ставится буква *N*:

7–*N*–8 *H* ГОСТ 9178–81.

б) определение допуска радиального биения зубчатого венца

Контроль колеса по нормам кинематической точности (первая цифра в графе степень точности) предусматривает измерение радиального биения зубчатого венца.

Радиальное биение зубчатого венца – это разность действительных предельных положений исходного контура в пределах зубчатого колеса (от его рабочей оси).

Допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r для цилиндрических эвольвентных колес с модулем $m \geq 1$ мм (ГОСТ 1643-81) указан в таблице 1.2, для колес с модулем $m < 1$ мм (ГОСТ 9178-81) – в таблице 1.3 ([Справочник конструктора-приборостроителя. Детали и механизмы приборов /В.Л. Соломахо и др. Минск: Высшая школа, 1990. – 440 с.] стр. 225, 226).

с) определение длины общей нормали и числа зубьев в длине общей нормали

По длине общей нормали контролируется правильность изготовления зубчатого колеса. Под длиной общей нормали понимается расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум разноименным активным боковым поверхностям зубьев зубчатого колеса. Различают действительную (соответствующую изготовленному колесу) и номинальную длину общей нормали.

Длина общей нормали вычисляется по формуле

$$W = [\pi(z_w - 0,5) + 2x_1 \operatorname{tg} \alpha + z \operatorname{inv} \alpha] m \cos \alpha$$

и округляется до тысячных. Здесь z_w – целое число зубьев в длине общей нормали округляется до ближайшего целого, $\alpha = 20^\circ$ – угол профиля исходного производящего контура ($\operatorname{inv} 20^\circ = 0,014904$).

$$z_w \approx \frac{\alpha}{\pi} z - 0,23x_1 + 0,5 \approx \frac{\alpha}{180^\circ} z - 0,23x_1 + 0,5.$$

Верхнее и нижнее предельное отклонение длины общей нормали устанавливаются в «тело» детали, т. е. для колес с внешними зубьями принимаются со знаком «←→».

Примечание. Нижнее отклонение всегда меньше чем верхнее.

Для колес с $m \geq 1$ мм (ГОСТ 1643-81) верхнее предельное отклонение длины общей нормали $E_{Wms} = E_{Ws}(I) + E_{Ws}(II)$, где $E_{Ws}(I)$ и $E_{Ws}(II)$ определяется по таблице 1.6 и 1.7 соответственно. Нижнее предельное отклонение длины общей нормали $E_{Wmi} = E_{Wms} - T_{Wm}$, где T_{Wm} – допуск на среднюю длину общей нормали для колес с $m \geq 1$ мм определяется по таблице 1.8.

Таблица 1.6. Нормы бокового зазора (показатели $-E_{Ws}$ или $+E_{Wi}$ слагаемое I для определения и $-E_{Wms}$ или $+E_{Wmi}$) передач при $m \geq 1$ мм

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавности	Делительный диаметр d , мм											
		До 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	Св. 500 до 630	до 800	Св. 800 до 1000	Св. 1000 до 1250	Св. 1250 до 1600
		МКМ											
H	3...6	8	10	11	12	14	16	18	20	22	25	28	35
	7	10	10	12	14	16	18	20	22	25	28	30	40
E	3...6	20	24	28	30	35	40	45	50	55	60	70	90
	7	25	30	30	35	40	45	50	55	60	70	80	100
D	3...6	30	35	40	50	55	60	70	70	90	100	110	140
	7	35	40	50	55	60	70	70	80	100	110	120	160
	8	40	50	50	60	70	70	80	90	110	120	140	180
C	3...6	50	60	70	80	90	100	110	120	140	160	180	220
	7	55	70	70	80	100	110	120	140	140	160	200	250
	8	60	80	80	100	110	120	140	140	160	200	200	280
	9	70	80	100	110	120	140	140	160	200	200	250	300
B	3...6	80	100	110	120	140	160	180	200	220	250	280	350
	7	100	110	120	140	180	180	200	200	250	280	300	400
	8	100	110	140	140	180	200	200	250	280	300	350	400
	9	110	120	140	160	200	200	250	280	300	300	350	500
	10	110	140	160	180	200	250	250	280	350	350	400	500
	11	120	160	180	200	200	250	280	280	350	350	400	500
A	3...6	120	140	180	200	220	250	280	300	350	400	500	550
	7	140	180	200	200	250	280	300	350	350	400	500	600
	8	160	200	200	250	280	300	350	350	400	500	550	600
	9	180	200	250	280	280	350	350	400	500	550	600	700
	10	200	200	250	280	300	350	400	400	500	550	600	800
	11	200	250	280	300	350	350	400	500	550	600	700	800
	12	200	250	300	350	350	400	500	500	550	600	800	800

Таблица 1.7. Нормы бокового зазора (слагаемое II для определения $-E_{Wms}$ или $+E_{Wmi}$) передач при $m \geq 1$ мм, мкм

		Допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r , мкм																		
До 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 12	Св. 12 до 16	Св. 16 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 32	Св. 32 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80	Св. 80 до 100	Св. 100 до 125	Св. 125 до 160	Св. 160 до 200	Св. 200 до 250	Св. 250 до 320	Св. 320 до 400	Св. 400 до 500	Св. 500 до 630	Св. 630 до 800
2	2	3	3	4	5	7	9	11	14	18	22	25	35	45	55	70	90	110	140	180

Таблица 1.8. Нормы бокового зазора (T_{Wm} – допуск на среднюю длину общей нормали), при $m \geq 1$ мм.

Вид допуска	Допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r , мкм																				
	До 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 12	Св. 12 до 16	Св. 16 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 32	Св. 32 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80	Св. 80 до 100	Св. 100 до 125	Св. 125 до 160	Св. 160 до 200	Св. 200 до 250	Св. 250 до 320	Св. 320 до 400	Св. 400 до 500	Св. 500 до 630	Св. 630 до 800
h	16	16	18	20	20	20	22	25	25	28	30	40	55	70	80	100	100	140	160	200	280
d	20	25	25	25	28	30	35	40	40	40	60	70	80	100	120	140	160	240	250	350	500
c	28	30	30	35	40	45	45	50	60	70	90	110	120	140	180	240	280	300	400	550	600
b	35	40	40	40	45	50	55	60	70	100	100	120	140	200	250	300	350	450	550	700	900
a	45	50	50	55	60	60	80	90	100	110	140	150	180	240	280	350	450	550	700	800	1000
z	60	60	60	70	70	80	100	110	120	140	180	200	250	300	400	500	600	800	800	1100	1400
y	70	80	90	90	100	110	120	160	180	220	240	300	350	400	500	600	800	900	1100	1400	2000
x	90	100	100	110	120	140	160	180	220	250	300	350	400	550	700	800	1100	1200	1400	1800	2400

Для колес с $m < 1$ мм (ГОСТ 1643-81) верхнее предельное отклонение длины общей нормали $E_{Wms} = E_{Ws}(I) + E_{Ws}(II)$, где $E_{Ws}(I)$ и $E_{Ws}(II)$ определяется по таблице 1.9 и 1.10 соответственно. Нижнее предельное отклонение длины общей нормали $E_{Wmi} = E_{Wms} - T_{Wm}$, где T_{Wm} – допуск на среднюю длину общей нормали для колес с $m < 1$ мм определяется по таблице 1.11.

Таблица 1.9. Нормы бокового зазора (показатели $-E_{Ws}$ или $+E_{Wi}$ слагаемое I для определения и $-E_{Wms}$ или $+E_{Wmi}$) передач при $m < 1$ мм

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавности	Делительный диаметр d , мм							
		До 12	Св. 12 до 20	Св. 20 до 32	Св. 32 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 180	Св. 180 до 250
		мкм							
H	3...7	3	4	5	6	7	8	9	9
G	3...6	8	9	11	13	15	17	19	25
	7	11	12	13	15	17	19	21	26
	8	15	16	17	18	20	22	24	30
F	3...6	12	15	18	21	24	26	30	36
	7	15	16	19	22	25	28	32	36
	8	18	20	22	25	28	32	36	40
	9	25	28	30	32	35	38	42	42
	10	32	35	38	40	40	45	48	50
E	3...7	19	22	26	30	36	42	48	55
	8	24	26	30	35	40	45	50	60
	9	28	32	36	40	45	50	55	60
	10	38	40	42	45	50	55	60	63
	11	48	50	55	60	63	70	75	75
	12	63	70	75	80	80	85	90	90
D	3...7	28	34	40	48	55	63	75	85
	8	34	38	42	48	55	63	80	85
	9	38	42	48	55	60	70	80	90
	10	45	50	55	60	70	70	85	90
	11	55	60	63	70	75	80	95	100
	12	70	75	80	85	90	100	110	110

Таблица 1.10. Нормы бокового зазора (слагаемое II для определения и $-E_{Wms}$ или $+E_{Wmi}$) передач при $m < 1$ мм, мкм

Допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r , мкм												
До 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 16	Св. 15 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 32	Св. 32 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80	Св. 80 до 100	Св. 100 до 125	Св. 125 до 160
1	2	3	4	5	7	9	11	14	18	22	25	35

Таблица 1.11. Нормы бокового зазора (T_{Wm} – допуск на среднюю длину общей нормали), при $m < 1$ мм.

Допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r , мкм															
Вид допуска бокового зазора	До 6	Св. 6 до 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 12	Св. 12 до 16	Св. 16 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 32	Св. 32 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80	Св. 80 до 100	Св. 100 до 125	Св. 125 до 160
	МКМ														
h	6	7	7	8	9	10	11	12	14	16	18	21	25	28	35
g	8	8	9	9	11	12	14	15	16	20	21	28	32	40	48
f	9	10	10	11	12	14	16	19	21	22	28	35	38	45	56
e	11	11	12	14	15	17	21	22	26	30	38	45	53	67	80

д) определение предельных отклонений на межосевое расстояние

Предельные отклонения на межосевое расстояние j_a определяются по таблице 1.12. для колес с модулем $m \geq 1$ мм (ГОСТ 1643-81) и по таблице 1.13 для колес с модулем $m < 1$ мм (ГОСТ 9178-81). Класс отклонений межосевого расстояния используется при изменении соответствия между видом сопряжения и классом отклонения межосевого расстояния.

Таблица 1.12. Нормы бокового зазора (показатели j_a), при $m \geq 1$ мм

Вид сопряжения	Класс отклонений межосевого расстояния	Межосевое расстояние a , мм															
		До 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	Св. 500 до 630	Св. 630 до 800	Св. 800 до 1000	Св. 1000 до 1250	Св. 1250 до 1600	Св. 1600 до 2000	Св. 2000 до 2500	Св. 2500 до 3150	Св. 3150 до 4000
		МКМ															
—	<i>I</i>	±10	±11	±12	±14	±16	±18	±20	±22	±25	±28	±35	±40	±45	±55	±70	±90
<i>H, E</i>	<i>II</i>	±16	±18	±20	±22	±25	±28	±30	±35	±40	±45	±50	±60	±70	±90	±110	±140
<i>D</i>	<i>III</i>	±22	±28	±30	±35	±40	±45	±50	±55	±60	±70	±80	±100	±110	±140	±160	±200
<i>C</i>	<i>IV</i>	±35	±45	±50	±55	±60	±70	±80	±90	±100	±110	±140	±160	±180	±220	±280	±350
<i>B</i>	<i>V</i>	±60	±70	±80	±90	±100	±110	±120	±140	±160	±180	±220	±250	±300	±350	±450	±550
<i>A</i>	<i>VI</i>	±100	±110	±120	±140	±160	±180	±200	±220	±250	±280	±350	±400	±450	±550	±700	±800

Таблица 1.13. Нормы бокового зазора (показатели j_a), при $t < 1$ мм

Вид сопряжения	Класс отклонений межосевого расстояния	Межосевое расстояние a , мм									
		До 12	Св. 12 до 20	Св. 20 до 32	Св. 32 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400
		МКМ									
$H...D$	II	±8	±9	±11	±14	±16	±18	±20	±22	±25	±28
$G...D$	III	±11	±14	±16	±20	±22	±28	±30	±35	±40	±45
$F...D$	IV	±18	±22	±25	±32	±35	±45	±50	±55	±60	±70
$E...D$	V	±30	±36	±40	±50	±60	±70	±80	±90	±100	±110
D	VI	±45	±55	±63	±80	±90	±110	±120	±140	±160	±180

6. Указание шероховатости поверхностей колеса

Шероховатость – совокупность микронеровностей поверхности с малыми шагами по отношению к их высоте (< 50) в пределах базовой длины (0,01 ÷ 25 мм).

ГОСТ 2.309-73 устанавливает обозначения шероховатости поверхностей и правила нанесения их на чертежах изделий.

Для оценки шероховатости используются шесть критериев. Значения этих критериев должны соответствовать ГОСТ 2789-73, который устанавливает числовые значения параметров и общие указания по установлению требований к шероховатости поверхности, а также перечень параметров и типов направлений неровностей.

Наиболее часто используется критерий оценки по Ra (среднеарифметическому отклонению профиля). Значения этого параметра на чертежах задаются в микронах.

Параметры шероховатости поверхности назначаются в зависимости от требований, предъявляемых к этой поверхности (назначения поверхности).

Для предварительного выбора значений высотных параметров можно использовать соотношение между значениями параметров и допусками IT размеров в зависимости от точности соединения (таблица 1.14).

Таблица 1.14. Рекомендуемые значения шероховатости Ra в зависимости от допуска на размер IT

Точность соединения	Значения шероховатости Ra , мкм
Нормальная	$Ra \leq 50IT$
Повышенная	$Ra \leq 25IT$
Высокая	$Ra \leq 12,5IT$

В таблице 1.14. значения допуска на размер IT подставляется в мм и полученные при этом значения округляют до стандартных по ГОСТ 2789-73.

Ниже приведена рекомендуемая шероховатость на возможные участки и поверхности колеса.

а) шероховатость профилей зубьев

Шероховатость профилей зубьев рекомендуется принимать в зависимости от степени точности передачи (таблица 1.15)

Таблица 1.15. Рекомендуемые значения шероховатости Ra профилей зубьев в зависимости от степени точности передачи

Степень точности передачи			
6	7	8	9
Значения шероховатости Ra , мкм			
не более 0,63	не более 1,25	не более 1,6	не более 2,5

б) посадочное отверстие

Шероховатость посадочного отверстия рекомендуется принимать по таблице 1.14 полагая точность соединения нормальной. Полученные при этом значения округляют до стандартных по ГОСТ 2789-73.

в) диаметр вершин зубчатого колеса

Шероховатость цилиндрических поверхностей на диаметре вершин зубчатого колеса рекомендуется принимать в зависимости от степени точности передачи (таблица 1.16).

Таблица 1.16. Рекомендуемые значения шероховатости Ra цилиндрических поверхностей на диаметре вершин зубчатого колеса в зависимости от степени точности передачи

Степень точности передачи			
6	7	8	9
Значения шероховатости Ra , мкм			
не более 0,8	не более 1,6	не более 3,2	не более 6,3

д) торец ступицы, являющийся базой

Шероховатость торцовых поверхностей, для которых установлены допуски биения (\Leftarrow), должна соответствовать чистовой обработке $Ra \approx 100T$, мкм. Где допуск на биение (\Leftarrow) T подставляется в мм. Полученные при этом значения округляют до стандартных по ГОСТ 2789-73.

е) боковые поверхности зубчатого венца

Шероховатость боковых поверхностей зубчатого венца рекомендуется принимать в зависимости от степени точности передачи (таблица 1.16).

ф) поверхности шпоночных пазов

Шероховатость боковых поверхностей шпоночных пазов устанавливаются стандартами на шпонки в зависимости от качества допуска на размер и номинально посадочного диаметра. Согласно ГОСТ 23360-78 и ГОСТ 24071-97 для допуска по 9 качеству и номинальном диаметре до 50 мм шероховатость боковых поверхностей шпоночных пазов $Ra = 3,2$ мкм. Для дна шпоночного паза $Ra = 6,3$ мкм.

г) шероховатость неотчетственных поверхностей зубчатого колеса

Шероховатость неотчетственных поверхностей зубчатого колеса, т.к. оно является относительно точным изделие принимается не ниже $Ra = 6,3$ мкм.

Это значение можно указать только один раз в верхнем правом углу чертежа совместно с условным обозначением (\surd). При этом размеры и толщина линий знака в обозначении шероховатости, вынесенном в правый верхний угол чертежа, должны быть приблизительно в 1,5 раза больше, чем в обозначениях, нанесенных на изображении. Такая форма записи будет означать, что для всех поверхностей с неуказанной шероховатостью на изображении детали, шероховатость принимается $Ra = 6,3$ мкм.

7. Указание технических требований на колесо

В технических требованиях (ТТ) на зубчатое колесо указываются обычно требования к механическим свойствам материала, методу контроля точности изготовления зубчатого венца и его размерам, например.

1. НВ 200...220.
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1: $H12$, $h12$, $\pm IT12/2$.
3. Неуказанные радиусы не более 0,1 мм.
4. Возможна замена материала на равноценный по механическим свойствам.
5. Завод изготовитель сам выбирает метод контроля по ГОСТ 1643-81.

Пункт 1 задает допуск на твердость детали, которая должна быть не ниже чем принята в расчетах на прочность.

Пункт 2 задает величину допуска на размеры колеса с неуказанными допусками.

В пункте 3 указан максимальный радиус скруглений, который необходимо оговаривать для того, чтобы обеспечить возможность без дополнительной обработки собрать зубчатое колесо, например, со шпонкой, имеющей «острые» кромки.

Пункт 4 допускает замену материала колеса при отсутствии этого материала.

В пункте 5 указывается стандарт на метод контроля в зависимости от модуля зубьев (при модуле $m \geq 1$ – ГОСТ 1643-81, при модуле $m < 1$ – ГОСТ 9178-81).

РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

По результатам выполнения лабораторной работы необходимо подготовиться к устному опросу. Лабораторная работа засчитывается после устной защиты/групповой дискуссии. При защите студент должен формулировать ответы на вопросы по теме лабораторной работы. При подготовке к защите лабораторной работы рекомендуется продумать ответы на вопросы для самоконтроля, приведенные в методических указаниях.

Защита проходит при наличии у студента выполненного им рабочего чертежа прямозубого колеса, а также необходимых расчетов и пояснений к ним.

Все расчеты и пояснения, если необходимо, выполняются на двойных тетрадных листах. Чертеж выполняется аккуратно карандашом или на компьютере с соблюдением требований ЕСКД.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что называют зубчатым колесом?
2. Что такое допуск на размер?
3. Что называется верхним и нижним предельным отклонением?
4. Что такое посадка, какие виды посадок и систем существуют?
5. Что такое допуск формы и отклонение формы?
6. Что такое допуск расположения и отклонение расположения?
7. Как на чертеже обозначаются допуски формы и расположения, относящиеся к поверхностям и к осям?
8. Расскажите про структуру условного обозначения допуска формы и расположения.
9. Какое назначение имеют поверхности зубчатого колеса в вашей конструкции?
10. К чему приводят погрешности изготовления зубчатых колес и какими причинами они вызваны?
11. На какие группы можно разделить погрешности изготовления зубчатых колес?
12. Что регламентируют нормы кинематической точности, нормы плавности и нормы контакта и как они назначаются?
13. Что такое боковой зазор в зубчатой передаче и как он назначается?
14. Дайте определение длины общей нормали и для чего ее необходимо контролировать?
15. Что такое шероховатость поверхности и в чем причины её возникновения?

16. Какие параметры шероховатости существуют и как их контролируют?
17. Расскажите про структуру знака шероховатости.
18. Как на чертеже зубчатого колеса указывается шероховатость части поверхностей?
19. Как на чертеже зубчатого колеса указываются допуски на размеры низкой точности, повторяющиеся многократно? Приведите пример.
20. Что указывают в технических требованиях на зубчатое колесо?

Лабораторная работа №2. РАБОЧИЙ ЧЕРТЕЖ ВАЛА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Выполнить рабочий чертеж вала с соблюдением требований ЕСКД.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Зубчатые колеса, шкивы, звездочки и другие вращающиеся детали машин устанавливаются на валах.

Валы – детали, предназначенные для передачи крутящего момента вдоль своей оси, для поддержания расположенных на них деталей и восприятия действующих сил. Вал испытывает изгиб и кручение, а в некоторых случаях – дополнительно растяжение или сжатие.

По назначению валы делятся на коренные (валы несущие основные органы машин) и передаточные (валы передач). По форме геометрической оси валы бывают прямыми, коленчатыми и гибкими.

На рис. 2.1 показан пример выполнения рабочего чертежа прямого передаточного выходного вала привода, отвечающего ГОСТ 2.109-73 и современным требованиям производства.

Конструктивно вал выполнен ступенчатым, т.е. диаметры участков вала к середине вала увеличиваются.

Цилиндрические поверхности ступеней имеют различное назначение. Поверхности $\varnothing 9$ мм – опорные поверхности и служат для установки на них опор – подшипников. На поверхность ступени $\varnothing 8,5$ мм с левой стороны устанавливается зубчатое колесо. Поверхность $\varnothing 8$ мм предназначена для установки на конце выходного вала шкива, полумуфты или звездочки, т.е. для подключения к приводу какого-либо устройства. Поверхность $\varnothing 8$ мм и поверхность ступени $\varnothing 8,5$ мм с левой стороны – несущие поверхности. Промежуточная свободная поверхность $\varnothing 11$ мм служит для упора подшипников. На поверхность ступени $\varnothing 8,5$ мм с правой стороны устанавливается манжетное уплотнение для предотвращения вытекания смазки из привода и попадания внутрь механизма грязи. На валу, чтобы зафиксировать детали, предусмотрены шпоночные пазы для шпонок, а также

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с предложенным вариантом конструкции вала и определить назначение каждого участка и элемента;
2. Выполнить чертеж вала и необходимые расчеты;
3. Продумать ответы на вопросы для самоконтроля;
4. Сделать вывод по работе.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕРТЕЖА ВАЛА

Для рабочего чертежа вала можно установить следующую последовательность его выполнения:

1. Выполнить в масштабе изображение вала;
2. Нанести размеры;
3. Указать допуски на линейные размеры;
4. Указать допуски формы и расположения поверхностей;
5. Указать шероховатость поверхностей вала.
6. Указать технические требования на вал.

1. Выполнение в масштабе изображения вала

Чертеж вала должен содержать минимально необходимое число видов и разрезов для полного понимания конструкции детали, а также для её изготовления и контроля.

Необходимо выполнить главный вид, а также сделать необходимые виды, разрезы и сечения колеса, используя стандартный ряд масштабных чисел (2:1, 2,5:1, 4:1, 5:1).

2. Нанесение размеров

На чертеже должно быть задано минимальное число размеров, но достаточное для изготовления и контроля вала. При этом каждый размер элемента детали должен быть указан только один раз.

Размеры на чертеж вала можно наносить тремя способами:

1. Цепным способом – обеспечивается точность расположения каждого последующего участка относительно предыдущего (размеры наносятся друг за другом);

2. Координатным способом – обеспечивается точность расположения каждого участка относительно базы (размеры наносятся от одной базы);

3. Комбинированным способом.

Выбор способа простановки размеров определяется в основном технологией изготовления валов и объемом производства. Чаще валы механических передач изготавливают в условиях мелкосерийного производства, где чистовую обработку производят на токарном станке. На чертеже детали проставляются размеры точность, которых необходимо проконтролировать.

При изготовлении вала (рис. 2.1) на первых операциях обрабатывают торцы заготовки. Для этого необходим размер длины вала 50 мм. Чистовую обработку проводят с двух сторон. При этом один конец вала (например, левый) закрепляют в кулачках патрона. Первым обрабатывают участки вала с длинами 14 мм, 28 мм и 6 мм. За измерительную базу для размеров 14 мм и 28 мм принимают правый торец вала, а для размера 6 мм бурт вала, полученный после точения участка длиной 28 мм. После этого вал переставляют и обрабатывают с другой стороны размеры 17 мм и 6 мм. За этот же установ можно выполнить торцевое отверстие глубиной 10 мм для последующего нарезания резьбы М3,5 длиной 7 мм.

Для изготовления шпоночных пазов на фрезерном станке необходимо указать размеры этих пазов, а также координаты их расположения по длине участков вала (размеры 1,5 мм и 2 мм).

3. Указание допусков на линейные размеры

Допуски на линейные размеры устанавливаются на различные участки вала в зависимости от их назначения и способа установки на них деталей.

На чертеже детали поле допуска указывается следом за размером и состоит из букв (поля допуска) и цифры (качества). Следом указываются предельные отклонения для этого допуска (рис. 2.1).

Ниже приведены рекомендуемые допуски на возможные участки и поверхности вала:

а) посадочные (опорные) поверхности подшипников качения

Подшипники качения имеют специальные посадки и допуски с применением поля допуска L для внутреннего кольца и l для наружного кольца. Выбор той или иной посадки подшипника на вал или в корпус зависит от вида нагружения колец подшипника (местное, циркуляционное, колебательное), а также от класса точности подшипника, который определяет величину поля допуска на посадочный размер подшипника.

Внутренние кольца подшипников вала на рис. 2.1 должны вращаться вместе с ним. А наружные кольца, установленные в корпусе, неподвижны. Радиальная нагрузка на подшипник постоянна по величине и не меняет своего положения относительно корпуса. В этом случае внутреннее кольцо поворачиваясь воспринимает радиальную нагрузку последовательно всей окружностью дорожки качения, такой вид нагружения кольца называется циркуляционным. Наружное кольцо подшипника воспринимает радиальную нагрузку лишь ограниченным участком окружности дорожки качения, такой характер нагружения кольца называется местным.

Дорожки качения внутренних колец подшипников изнашиваются равномерно, а наружных – только на ограниченном участке.

При назначении посадок подшипников качения существуют правила:

1. Кольца, имеющие местное нагружение, устанавливаются с возможностью их проворота с целью более равномерного износа дорожек качения;
2. При циркуляционном нагружении кольца сажают по более плотным посадкам.

Для подшипника 6 класса точности в случае, когда внутреннее кольцо подшипника на валу испытывает циркуляционное нагружение в нормальном или тяжелом режиме работы согласно рекомендациям ГОСТ 3325-85

применяется посадка с натягом $\frac{L6}{k6}$. Поэтому диаметр посадочных опорных поверхностей выполняют с полем допуска $k6$.

в) посадочные (опорные) поверхности подшипников скольжения

Назначение посадки для подшипников скольжения зависит от режима работы подшипника (режим сухого, полужидкостного или жидкостного трения).

В режиме жидкостного трения расчет посадки производят на основе гидродинамической теории смазки. Для реальных подшипников задача решается приближенно, с введением ряда допущений и использованием опытных данных.

В случае допустимости работы подшипника в режиме сухого или полужидкостного трения посадки подшипников скольжения на вал назначают с зазором в зависимости лишь от частоты вращения вала.

1. При небольших частотах (<100 об/мин) $\frac{H7}{g6}$:

2. При средних частотах (100 ÷ 600 об/мин) $\frac{H7}{f7}, \frac{H8}{f8}$:

3. При больших частотах (600 ÷ 1000 об/мин) $\frac{H7}{e7}, \frac{H7}{e8}, \frac{H8}{e8}$.

Поэтому диаметр посадочных опорных поверхностей выполняют с одним из полей допусков: $g6; f7; f8; e7; e8$.

с) посадочные (несущие) поверхности под зубчатыми и червячными колесами

Установку колес при помощи шпонки или штифта на валах рекомендуют осуществлять по переходной посадке $\frac{H7}{m7}$. Поэтому диаметр посадочных несущих поверхностей выполняют с полем допуска $m7$.

d) посадочная (несущая) поверхность ступеньки на конце выходного вала

В процессе эксплуатации механического устройства и подключения его к другому устройству конструктор должен предусмотреть возможность воспользоваться при подключении одной из двух систем – системой отверстия или системой вала. Так как в системе вала посадка получается за счет изменения поля допуска отверстия при неизменном поле допуска вала h , то диаметр посадочной поверхности ступеньки на конце выходного вала рекомендуют выполнять с полем допуска $h7$.

e) поверхности шпоночных пазов

Посадки шпонок в паз вала устанавливаются стандартами на шпонки. Согласно ГОСТ 23360-78 (призматические шпонки) и ГОСТ 24071-97 (сегментные шпонки) при нормальном соединении устанавливается посадка $\frac{N9}{h9}$. Поэтому ширину шпоночного паза выполняют с допуском $N9$.

Предельные отклонения глубины шпоночного паза также регламентируются стандартами. Принимают согласно ГОСТ 23360-78 при ширине шпонки до 3 мм и по ГОСТ 24071-97 при ширине шпонки до 2,5 мм предельные отклонения глубины шпоночного паза $^{+0,1}$ мм.

f) участки с резьбой

На диаметре резьбы, если необходимо, указывается поле допуска, состоящее из цифры (степени точности) и буквы (основного отклонения).

При выборе и назначении поля допуска резьбы для сравнительной оценки точности резьбы используется условное понятие класса точности.

Точный класс рекомендуется для ответственных статически нагруженных резьбовых соединений. Средний класс – для резьб общего назначения. Грубый класс – для резьб, нарезаемых на горячекатаных заготовках, в длинных глухих отверстиях и т.п.

С учетом того, что при значительных длинах свинчивания труднее обеспечить соблюдение предельных контуров резьбы и требуемую точность

соединения, а при малых легче, поля допусков резьб классифицированы в зависимости от трех групп свинчивания; *N* – нормальные, *S* – короткие, *L* – длинные.

Поля допусков метрической резьбы для посадок с зазором по ГОСТ 16093-2004 приведены в таблице 2.1. Цифры обозначают степень точности, а буквы – основное отклонение.

Таблица 2.1. Поля допусков метрической резьбы для посадок с зазором по ГОСТ 16093-2004

Деталь	Класс точности	Поле допуска при длине свинчивания		
		<i>S</i>	<i>N</i>	<i>L</i>
Наружная резьба (болт)	Точный	—	4 <i>h</i> , 4 <i>g</i>	—
	Средний	5 <i>h</i> 6 <i>h</i> , 5 <i>g</i> 6 <i>g</i>	6 <i>h</i> , 6 <i>g</i> , 6 <i>f</i> , 6 <i>e</i> , 6 <i>d</i>	7 <i>g</i> 6 <i>g</i>
	Грубый	—	8 <i>g</i>	—
Внутренняя резьба (гайка)	Точный	4 <i>H</i>	4 <i>H</i> 5 <i>H</i> , 5 <i>H</i>	6 <i>H</i>
	Средний	5 <i>H</i>	6 <i>H</i> , 6 <i>G</i>	7 <i>H</i>
	Грубый	—	7 <i>H</i> , 7 <i>G</i>	8 <i>H</i>

г) неотчетственные поверхности и участки с размерами низкой точности

Допуски на размеры низкой точности, повторяющиеся многократно указывают в виде надписи в технических требованиях, например: «Общие допуски по ГОСТ 30893.1: *H*12, *h*12, $\pm IT12/2$ ». Надпись означает, что неуказанные предельные отклонения размеров: отверстий (охватывающих поверхностей) выполняются по 12 качеству, валов (охватываемых поверхностей) – по 12 качеству, для прочих \pm половина допуска 12-го качества.

4. Указание допусков формы и расположения поверхностей.

ГОСТ 2.308-79 устанавливает правила указания допусков формы и расположения поверхностей на чертежах деталей.

При указании допусков формы и расположения поверхностей на чертежах, а также указании баз, необходимо придерживаться двух правил:

1. Если допуск относится к поверхности или ее профилю (базой является поверхность или ее профиль), то рамку обозначения допуска (базы) соединяют с контурной линией поверхности или ее продолжением, при этом соединительная линия не должна быть продолжением размерной линии.
2. Если допуск относится к оси или плоскости симметрии (базой является ось или плоскость симметрии), то соединительная линия должна быть продолжением размерной линии.

Допуски формы и расположения поверхностей устанавливаются на различные участки вала в зависимости от их назначения и способа установки на эти поверхности деталей. Ниже приведены рекомендуемые допуски формы и расположения поверхности на возможные участки и поверхности вала:

а) торцевые и посадочные (опорные) поверхности для базирования подшипников качения

Допуски круглости (\square) и профиля продольного (\square) сечения опорных поверхностей для базирования подшипников качения, а также допуски торцевого биения (\Leftarrow) заплечиков валов указаны в ГОСТ 3325-85 или в таблице 2.2 ([Справочник конструктора-приборостроителя. Детали и механизмы приборов /В.Л. Соломахо и др. Минск: Высшая школа, 1990. – 440 с.] стр. 158, 159 табл. 2.67, 2.69).

Таблица 2.2. Допуски круглости, профиля продольного сечения и торцевого биения опорных поверхностей для базирования подшипников качения, мкм

Интервалы номинальных диаметров d , мм	Допуск круглости (\square)		Допуск профиля продольного сечения (\square)		Допуск торцевого биения \Leftarrow		
	Класс точности подшипника						
	0 и 6	5 и 4	0 и 6	5 и 4	0	6	5
от 3 до 6	2	0,8	2	0,8	12	8	4
св. 6 до 10	2,5	1	2,5	1	15	9	4
св. 10 до 18	3	1,3	3	1,3	18	11	5
св. 18 до 30	3,5	1,5	3,5	1,5	21	13	6
св. 30 до 50	4	2	4	2	25	16	7
св. 50 до 80	5	2	5	2	30	19	8

св. 80 до 120	6	2,5	6	2,5	35	22	10
св. 120 до 180	6	3	6	3	40	25	12

Допуски круглости (\square) и профиля продольного сечения (\square) указаны в таблице 2.2. в радиусном выражении. Эти допуски являются допусками формы и относятся к опорным поверхностям. Поэтому соединительная линия рамок допусков круглости (\square) и профиля продольного сечения (\square) не должна быть продолжением размерных линий цилиндрических поверхностей.

Допуск торцевого биения (\Leftarrow) также относится к поверхности, но базой для контроля этого допуска служит общая ось вала, образуемая двумя опорными цилиндрическими поверхностями. Поэтому соединительная линия рамки допуска торцевого биения (\Leftarrow) не должна быть продолжением размерной линии, при этом соединительные линии рамок баз, определяющих общую ось, должны быть продолжением размерных линий диаметров опорных цилиндров.

в) посадочные (несущие) поверхности валов

Допуск круглости (\square) задают для ограничения концентрации давлений на посадочные поверхности валов под зубчатыми и червячными колесами, полумуфтами, шкивами, звездочками, причем, если к данной поверхности, не предъявляются особые требования, то проставляется более общие допуски цилиндричности и круглости. Для нормальной геометрической точности $T \approx 0,3IT_D$, IT_d – допуск размера поверхности.

Допуск круглости (\square) относится к несущей поверхности. Поэтому соединительная линия рамки допуска круглости (\square) не должна быть продолжением размерной линии.

Для посадочной поверхности зубчатого или червячного колеса задают также допуск соосности (\neg), чтобы обеспечить нормы кинематической точности зубчатых и червячных передач. Степень кинематической точности задает степень точности допусков соосности (\neg), которая определяется по таблице 2.3. Допуск соосности (\neg) в зависимости от степени кинематической

точности задается по таблице 2.4 в диаметральном выражении и указывается на чертеже совместно с символом \varnothing .

Допуск соосности (\ominus) относится к оси несущей цилиндрической поверхности и контролируется относительно общей оси вала, образуемой двумя опорными цилиндрическими поверхностями. Поэтому соединительная линия рамки допуска соосности (\ominus) должна быть продолжением размерной линии цилиндрической поверхности, при этом соединительные линии рамок баз должны быть продолжением размерных линий диаметров опорных цилиндров.

Таблица 2.3. Степень точности допусков соосности посадочных поверхностей валов под зубчатыми и червячными колесами

Степень кинематической точности передачи	Диаметр делительной окружности, мм			
	свыше 20 до 50	свыше 50 до 125	свыше 125 до 280	свыше 280 до 560
6	5	5	6	7
7	5	6	7	7
8	6	7	7	8
9	7	7	8	8

Таблица 2.4. Допуск на отклонение от соосности посадочных поверхностей валов под зубчатыми и червячными колесами, мкм

Интервалы размеров d , мм	Степень точности допусков соосности				
	5	6	7	8	9
	Допуск на отклонение от соосности, мкм				
до 3	5	8	12	20	30
св. 3 до 10	6	10	16	25	40
св. 10 до 18	8	12	20	30	50
св. 18 до 30	10	16	25	40	60
св. 30 до 50	12	20	30	50	80
св. 50 до 120	16	25	40	60	100
св. 120 до 250	20	30	50	80	120
св. 250 до 400	25	40	60	100	160

Допуск радиального биения (\Leftarrow) для посадочной поверхности зубчатого или червячного колеса назначается по тем же причинам, что и допуск соосности и выбирается в зависимости от окружной скорости деталей на валу как часть допуска на диаметр вала IT_d по таблице 2.5.

Окружная скорость деталей расположенных на валу, определяется при известных диаметрах делительных окружностей колес d_2 в мм и частоте вращения вала n в об/мин по формуле

$$V = \frac{\pi n d_2}{60000}, \text{ м/с}$$

Таблица 2.5. Допуск на радиальное биение посадочных поверхностей валов под зубчатыми и червячными колесами

Окружная скорость деталей, расположенных на валу, м/с	до 2	2...6	6...10	св. 10
Допуск на радиальное биение в долях от допуска на диаметр вала IT_d	2	1,4	1	0,7

Допуск радиального биения (\Leftarrow) относится к несущей поверхности. Базой для контроля этого допуска служит общая ось вала, образуемая двумя опорными цилиндрическими поверхностями. Поэтому соединительная линия рамки допуска радиального биения (\Leftarrow) не должна быть продолжением размерной линии, при этом соединительные линии рамок баз, определяющих общую ось, должны быть продолжением размерных линий диаметров опорных цилиндров.

с) посадочная (несущая) поверхность ступени на конце выходного и входного вала

Для сравнительно быстроходных валов ($n \geq 1000$ об/мин) требуется нормировать допуск соосности (\rightarrow) на конце выходного и входного вала. Допуск на отклонение от соосности этой ступени относительно общей оси вала, образуемой двумя опорными цилиндрическими поверхностями, принимается по формуле

$$T = 48/n, \text{ мм}$$

Соединительная линия рамки допуска соосности (\rightarrow) должна быть продолжением размерной линии цилиндрической несущей поверхности, при этом соединительные линии рамок баз должны быть продолжением размерных линий диаметров опорных цилиндров. Допуск соосности (\rightarrow)

указывается на чертеже в диаметральном выражении совместно с символом \emptyset .

д) поверхность вала в районе манжетного уплотнения

Для сравнительно быстроходных валов ($n \geq 1000$ об/мин), с целью увеличения ресурса манжетного уплотнения в результате уменьшения амплитуды биения поверхности вала, нормируется допуск на радиальное биение (\Leftarrow) поверхности вала в районе манжетного уплотнения.

$$T = 48/n, \text{ мм}$$

Допуск радиального биения (\Leftarrow) относится к поверхности вала в районе манжетного уплотнения. Базой для контроля этого допуска служит общая ось вала, образуемая двумя опорными цилиндрическими поверхностями. Поэтому соединительная линия рамки допуска радиального биения (\Leftarrow) не должна быть продолжением размерной линии, при этом соединительные линии рамок баз, определяющих общую ось, должны быть продолжением размерных линий диаметров опорных цилиндров.

е) упорный бурт вала зубчатого или червячного колеса

Для узких колес, у которых длина ступицы $l_{\text{ст}}$ (для вала это длина несущей посадочной поверхности под колесом) меньше диаметра вала d и выполняется отношение $l_{\text{ст}}/d < 0,8$ задают допуск на отклонение от перпендикулярности (\perp) бурта вала, в которое будет упираться зубчатое или червячное колесо. Делается это для того, чтобы обеспечить нормы контакта зубчатых и червячных передач. При $l_{\text{ст}}/d \geq 0,8$ допуск не задают.

Степени точности норм контакта задает степень точности допусков перпендикулярности (\perp) (таблица 2.6).

Таблица 2.6. Степень точности допусков перпендикулярности

Типы колес	Степень точности передач по нормам контакта		
	6	7, 8	9
	Степень точности допусков перпендикулярности		
зубчатые	5	6	7
червячные	6	7	8

Допуск перпендикулярности (\perp) бурта вала, в которое будет упираться зубчатое или червячное колесо назначается по таблице 2.7 в зависимости от степени точности допусков перпендикулярности (ГОСТ 24643-81).

Таблица 2.7. Допуск перпендикулярности бурта вала по ГОСТ 24643-81, мкм

Интервалы размеров d , мм	Степень точности допусков перпендикулярности			
	5	6	7	8
	Допуск перпендикулярности, мкм			
до 10	2,5	4	6	10
св. 10 до 16	3	5	8	12
св. 16 до 25	4	6	10	16
св. 25 до 40	5	8	12	20
св. 40 до 63	6	10	16	25
св. 63 до 100	8	12	20	30
св. 100 до 160	10	16	25	40
св. 160 до 250	12	20	30	50
св. 250 до 400	16	25	40	60

Допуск перпендикулярности (\perp) относится к поверхности бурта вала. Базой для контроля этого допуска служит общая ось вала, образуемая двумя опорными цилиндрическими поверхностями. Поэтому соединительная линия рамки допуска перпендикулярности (\perp) не должна быть продолжением размерной линии, при этом соединительные линии рамок баз, определяющих общую ось, должны быть продолжением размерных линий диаметров опорных цилиндров.

Допуск торцевого биения (\Leftrightarrow) упорного бурта вала, к которым примыкают ступицы зубчатых или червячных колес задают, чтобы обеспечить нормы кинематической точности зубчатых и червячных передач. Допуск определяется по таблице 2.8 в зависимости от степени кинематической точности.

Таблица 2.8. Допуск торцевого биения упорного бурта вала, к которому примыкают зубчатые или червячных колеса, мкм

Степень кинематической точности	Диаметры валов d , мм					
	до 55		55...80		свыше 80	
	$l_{ст}/d \leq 1$	$l_{ст}/d > 1$	$l_{ст}/d \leq 1$	$l_{ст}/d > 1$	$l_{ст}/d \leq 1$	$l_{ст}/d > 1$
6 и 7	20	30	30	45	40	60
8 и 9	30	45	40	60	50	75

Допуск торцевого биения (\Leftarrow) относится к поверхности бурта вала. Базой для контроля этого допуска служит общая ось вала, образуемая двумя опорными цилиндрическими поверхностями. Поэтому соединительная линия рамки допуска торцевого биения (\Leftarrow) не должна быть продолжением размерной линии, при этом соединительные линии рамок баз, определяющих общую ось, должны быть продолжением размерных линий диаметров опорных цилиндров.

ф) упорный бурт вала шкивов, полумуфт, звездочек

В зависимости от окружной скорости деталей на валу, по таблице 2.9. определяется допуск торцевого биения (\Leftarrow) упорного бурта вала, к которому примыкают шкивы, полумуфты, звездочки при подключении другого устройства.

Таблица 2.9. Допуск торцевого биения упорного бурта вала, к которому примыкают шкивы, полумуфты, звездочки, мкм

Окружная скорость деталей, расположенных на валу, м/с	до 5	5...8	8...12
Допуск на торцевое биение, мкм	60	50	40

Допуск торцевого биения (\Leftarrow) относится к поверхности бурта вала. Базой для контроля этого допуска служит общая ось вала, образуемая двумя опорными цилиндрическими поверхностями. Поэтому соединительная линия рамки допуска торцевого биения (\Leftarrow) не должна быть продолжением размерной линии, при этом соединительные линии рамок баз, определяющих общую ось, должны быть продолжением размерных линий диаметров опорных цилиндров.

г) поверхности шпоночных пазов

Для обеспечения более равномерного контакта рабочих поверхностей шпоночного паза ступицы и шпонки назначают допуск параллельности (Π) и симметричности (\wedge). Численные значения допусков параллельности и симметричности расположения можно принять согласно следующим рекомендациям, соответственно.

$$T \approx 0,5IT_{\text{шп}}, T = 2IT_{\text{шп}},$$

где $IT_{\text{шп}}$ – допуск ширины шпоночного паза принимают по ГОСТ 23360-78. ([Справочник конструктора-приборостроителя. Детали и механизмы приборов /В.Л. Соломахо и др. Минск: Высшая школа, 1990. – 440 с.] стр. 82). Значение допуска симметричности (\wedge) указывается в диаметральном выражении символом T .

5. Указание шероховатости поверхностей вала

Шероховатость – совокупность микронеровностей поверхности с малыми шагами по отношению к их высоте (< 50) в пределах базовой длины (0,01 ÷ 25 мм).

ГОСТ 2.309-73 устанавливает обозначения шероховатости поверхностей и правила нанесения их на чертежах изделий.

Для оценки шероховатости используются шесть критериев. Значения этих критериев должны соответствовать ГОСТ 2789-73, который устанавливает числовые значения параметров и общие указания по установлению требований к шероховатости поверхности, а также перечень параметров и типов направлений неровностей.

Наиболее часто используется критерий оценки по Ra (среднеарифметическому отклонению профиля). Значения этого параметра на чертежах задаются в микронах.

Параметры шероховатости поверхности назначаются в зависимости от требований, предъявляемых к этой поверхности (назначения поверхности).

Для предварительного выбора значений высотных параметров можно использовать соотношение между значениями параметров и допусками IT размеров в зависимости от точности соединения (таблица 2.10).

Таблица 2.10. Рекомендуемые значения шероховатости Ra в зависимости от допуска на размер IT

Точность соединения	Значения шероховатости Ra , мкм
Нормальная	$Ra \leq 50IT$
Повышенная	$Ra \leq 25IT$
Высокая	$Ra \leq 12,5IT$

В таблице 2.10. значения допуска на размер IT подставляется в мм и полученные при этом значения округляют до стандартных по ГОСТ 2789-73.

Ниже приведена рекомендуемая шероховатость на возможные участки и поверхности вала.

а) торцевые и посадочные (опорные) поверхности для базирования подшипников качения

Для посадочных и торцовых поверхностей под подшипник параметр Ra задается по ГОСТ 3325-85 ([Справочник конструктора-приборостроителя. Детали и механизмы приборов /В.Л. Соломахо и др. Минск: Высшая школа, 1990. – 440 с.] стр. 158 табл. 2.68). В таблице 2.11 даны предельные значения параметра Ra для диаметров поверхностей до 80 мм.

Таблица 2.11. Рекомендуемые значения шероховатости Ra для посадочных и торцовых поверхностей подшипников качения

Поверхности	Класс точности подшипников			
	0	6 и 5	4	2
	Значения шероховатости Ra , мкм			
Посадочные поверхности валов	1,25	0,63	0,32	0,16
Посадочные поверхности корпусов	1,25	0,63	0,63	0,32
Опорные торцы заплечиков валов и корпусов	2,5	1,25	1,25	0,63

б) посадочные (несущие) поверхности валов

Шероховатость посадочных (несущих) поверхностей валов под зубчатыми и червячными колесами, полумуфтами, шкивами, звездочками рекомендуется принимать по таблице 2.11 полагая точность соединения нормальной. Полученные при этом значения округляют до стандартных по ГОСТ 2789-73.

с) поверхность вала в районе манжетного и сальникового уплотнения

Шероховатость поверхностей под манжетные уплотнения назначают $Ra \approx 0,8 \div 2,5$ мкм, под сальниковые уплотнения – поверхность необходимо полировать во избежание быстрого износа уплотнения и назначать шероховатость $Ra < 0,1$ мкм.

d) поверхности шпоночных пазов

Шероховатость боковых поверхностей шпоночных пазов устанавливаются стандартами на шпонки в зависимости от качества допуска на размер и номинально посадочного диаметра. Согласно ГОСТ 23360-78 и ГОСТ 24071-97 для допуска по 9 качеству и номинальном диаметре до 50 мм шероховатость боковых поверхностей шпоночных пазов $Ra = 3,2$ мкм. Для дна шпоночного паза $Ra = 6,3$ мкм.

e) неотчетственные поверхности вала

Шероховатость неотчетственных поверхностей вала, т.к. он является относительно точным изделием принимается не ниже $Ra = 6,3$ мкм.

Это значение можно указать только один раз в верхнем правом углу чертежа совместно с условным обозначением (\surd). При этом размеры и толщина линий знака в обозначении шероховатости, вынесенном в правый верхний угол чертежа, должны быть приблизительно в 1,5 раза больше, чем в обозначениях, нанесенных на изображении. Такая форма записи будет означать, что для всех поверхностей с неуказанной шероховатостью на изображении детали, шероховатость принимается $Ra = 6,3$ мкм.

6. Указание технических требований на вал

В технических требованиях (ТТ) на вал указываются обычно требования к механическим свойствам материала, покрытию детали и размерам ее элементов, например.

1. HB 220...250.
2. Покрытие: хим. окс.
3. Общие допуски по ГОСТ 30893.1: $H12$, $h12$, $\pm IT12/2$.
4. Неуказанные радиусы не более 0,1 мм.
5. Возможна замена материала на равноценный по механическим свойствам.

Пункт 1 задает допуск на твердость детали, которая должна быть не ниже, чем принята в расчетах на прочность.

Пункт 2 задает требования к покрытию детали и если это покрытие имеет значимую толщину, то следующим пунктом нужно сделать запись «Размеры на чертеже с учетом покрытия».

Пункт 3 задает величину допуска на размеры вала с неуказанным допуском.

В пункте 4 указан максимальный радиус скругления (например, радиус между буртами вала и цилиндрическими поверхностями), который допустим в местах установки на вал других деталей.

Пункт 5 допускает замену материала вала при отсутствии этого материала.

РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

По результатам выполнения лабораторной работы необходимо подготовиться к устному опросу. Лабораторная работа засчитывается после устной защиты/групповой дискуссии. При защите студент должен формулировать ответы на вопросы по теме лабораторной работы. При подготовке к защите лабораторной работы рекомендуется продумать ответы на вопросы для самоконтроля, приведенные в методических указаниях.

Защита проходит при наличии у студента выполненного им рабочего чертежа вала, а также необходимых расчетов и пояснений к ним.

Все расчеты и пояснения, если необходимо, выполняются на двойных тетрадных листах. Чертеж выполняется аккуратно карандашом или на компьютере с соблюдением требований ЕСКД.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что называют валом и чем он отличается от оси?
2. По каким признакам классифицируют валы? Раскройте каждую классификацию.
3. Какое назначение имеют поверхности ступеней в вашей конструкции? Какие поверхности несущие и опорные?

4. В каком случае на виде сверху шпоночного паза, можно увидеть прямоугольник, а в каком случае прямоугольник со скруглениями и почему.
5. Какие масштабы установлены ГОСТом?
6. Что такое допуск на размер?
7. Что называется верхним и нижним предельным отклонением?
8. Что такое посадка, какие виды посадок и систем существуют?
9. В чем особенность выбора и назначения посадок подшипников качения?
10. Что такое допуск формы и отклонение формы?
11. Что такое допуск расположения и отклонение расположения?
12. Как на чертеже обозначаются допуски формы и расположения, относящиеся к поверхностям и к осям?
13. Какие допуски формы и расположения поверхностей, а также для чего указываются на чертеже вала?
14. Что такое шероховатость поверхности и в чем причины её возникновения?
15. Какие параметры шероховатости существуют и как их контролируют?
16. Как на чертеже вала указывается шероховатость части поверхностей?
17. Какая шероховатость поверхностей и для чего указывается на чертеже вала?
18. Как на чертеже вала указываются допуски на размеры низкой точности, повторяющиеся многократно? Приведите пример.
19. Что указывают в технических требованиях на вал?
20. Для чего необходимо ограничивать неуказанные радиусы скруглений на валу и каковы причины возникновения этих радиусов?