

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Ильшат Ринатович Мухаметзянов

Должность: директор

Дата подписания: 13.07.2023 14:34:25

Уникальный идентификатор документа: 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»
(КНИТУ-КАИ)
Чистопольский филиал «Восток»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ
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.

ЗАДАНИЕ

Определить параметры зубчатого венца мелкомодульного прямозубого колеса и заполнить таблицу параметров зубчатого венца, предложенную преподавателем. Все значения в таблицу вписать в миллиметрах.

Исходные данные

Модуль, число зубьев, угол наклона зуба, исходный контур, коэффициент смещения исходного контура, степень точности по ГОСТ 9178-81, число зубьев второго колеса $z_2 = 20$, коэффициент смещения исходного контура второго колеса $x_2 = 0$, угол профиля исходного производящего контура $\alpha = 20^\circ$, зацепление внешнее.

Порядок выполнения контрольной работы

1. Рассчитать диаметр делительной окружности d колеса;
2. Рассчитать межосевое расстояние a передачи;
3. Определить допуск радиального биения зубчатого венца F_r ;
4. Определить диаметр измерительного ролика D_p , верхнее и нижнее предельное отклонение;
5. Рассчитать размер по роликам M_a , верхнее и нижнее предельное отклонение размера по роликам;
6. Рассчитать число зубьев в длине общей нормали z_w ;
7. Рассчитать длину общей нормали W , верхнее и нижнее предельное отклонение длины общей нормали;
8. Определить допуск на шаг по основной окружности f_{pb} ;
9. Определить нормы контакта по высоте и по длине зуба;
10. Определить гарантированный боковой зазор $j_{n \min}$ и предельные отклонения на межосевое расстояние j_a .

Работа выполняется на двойных листах и сдается вместе с заполненной таблицей параметров предложенной преподавателем.

Определение параметров зубчатого венца мелкомодульного прямозубого колеса

Таблица параметров зубчатого венца, состоит из двух частей.

Первая часть содержит основные данные для изготовления: модуль по ГОСТ 9563-60; число зубьев z ; угол наклона зуба β ; исходный контур (при $m < 1$ мм – ГОСТ 9587-81, при $m \geq 1$ мм – ГОСТ 13755-81); коэффициент смещения исходного контура x ; степень точности по соответствующему стандарту (при $m < 1$ мм степень точности по ГОСТ 9178-81, при $m \geq 1$ мм – ГОСТ 1643-81).

Вторая часть – данные для контроля и справочные данные: размер по роликам M_a с предельными отклонениями; диаметр измерительных роликов D_p с предельными отклонениями; длина общей нормали W с предельными отклонениями; число зубьев в длине общей нормали z_w ; допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r ; допуск на шаг по основной окружности f_{pb} ; нормы контакта зубьев по высоте и по длине в %;

диаметр делительной окружности d ; межосевое расстояние a с предельными отклонениями; гарантированный боковой зазор $j_{n\min}$;

Выбор степени точности

Показатели точности (допуски) цилиндрических зубчатых передач и колес регламентируются ГОСТами. 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 (А, В, С, ...), и виды допусков на боковые зазоры (a, b, c, \dots).

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

Для зубчатых колес с $m \geq 1$ мм установлено шесть видов сопряжений колес в передаче (А, В, С, D, Е, Н) и восемь видов допуска на боковой зазор (x, y, z, a, b, c, d, h).

Сопряжения вида В 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 Н и Е соответствует вид допуска на боковой зазор h , а видам сопряжений А, В, С, D – виды допуска a, b, c, d соответственно.

Для зубчатых колес с $m < 1$ мм передач с нерегулируемым и регулируемым расположением осей устанавливается пять видов сопряжений (D, Е, F, G, Н) и четыре вида допуска на боковой зазор (e, f, g, h), при этом видам сопряжений D и Е соответствует вид допуска на боковой зазор e , а видам сопряжений F, G, Н – виды допусков f, g, h соответственно.

Для нерегулируемых мелко модульных передач установлено пять классов отклонений межосевого расстояния, обозначаемых в порядке точности римскими цифрами от II до VI, для передач с $m \geq 1$ мм – шесть классов отклонений, обозначаемых цифрами от I до VI.

Гарантированный боковой зазор в каждом сопряжении обеспечивается при соблюдении предусмотренных классов отклонений межосевого расстояния. В передачах с $m \geq 1$ мм сопряжениям Н и Е соответствует II класс отклонений межосевого расстояния, сопряжениям D, C, B, A – классы III, IV, V, VI соответственно. В мелко модульных передачах сопряжению Н соответствует II класс отклонений межосевого расстояния, сопряжениям G, F, E, D – классы II, IV, V, VI соответственно.

Виды сопряжений в зависимости от нормы плавности, а также соответствующие им виды допуска и классы отклонения межосевого расстояния для колес с $m < 1$ мм приведены в таблице 1.

Пример

ГОСТ 9178-81 7-7-8-Df/IV – цилиндрическая передача 7 степени по нормам кинематической точности, 7 – по нормам плавности работы, 8 – по нормам контакта зубьев, видом сопряжения D, видом допуска на боковой зазор f и IV классом отклонений межосевого расстояния.

Определение допуска радиального биения зубчатого венца

Контроль колеса по нормам кинематической точности (первая цифра в графе степень точности) предусматривает измерение радиального биения зубчатого венца. Допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r для колес с $m < 1$ мм определяется по таблице 2.

Определение диаметра измерительного ролика

D_p – диаметр ролика (шарика). Рекомендуется принимать $D_p \approx (1,68...1,9)m$. В заданных пределах диаметр ролика, а также верхние и нижние предельные отклонения на диаметр роликов (шариков) должны соответствовать сортаменту роликов (шариков) производимых промышленностью (таблица 12 и 13).

Пример

$$m = 0,7, D_p = (1,68...1,9) \cdot 0,7 = (1,176...1,33) \text{ мм.}$$

Окончательно принимаем по таблице 12 и 13 ближайшее значение $D_p = 1 \pm 0,01$ мм.

Определение размера по роликам для прямозубых колес с внешними зубьями и диаметра измерительного ролика

Размер по роликам для колеса с внешними зубьями может быть вычислен по формулам:

для колеса с четным числом зубьев

$$M_a = d_p + D_p;$$

для колеса с нечетным числом зубьев

$$M_a = d_p \cos \frac{90^\circ}{z} + D_p,$$

где d_p – диаметр окружности зубчатого колеса, проходящей через центр ролика

$$d_p = \frac{\cos \alpha_w}{\cos \alpha_p} m z,$$

α_p – угол профиля в точке на окружности зубчатого колеса, проходящей через центр ролика (эвольвентный угол, соответствующий указанной окружности).

$$\text{inv } \alpha_p = \text{inv } \alpha_w + \frac{D_p}{z m \cos \alpha_w} - \frac{0,5\pi - 2x_1 \text{tg} \alpha_w}{z},$$

где угол α_w – угол зацепления находится из соотношения

$$\text{inv } \alpha_w = \text{inv } \alpha + \frac{2(x_1 + x_2) \text{tg} \alpha}{z_1 + z_2},$$

x_1 и x_2 – коэффициенты смещения исходного контура колес.

Значения углов в зависимости от значения инволют приведены в таблице 11.

Предельные отклонения размера по роликам устанавливаются в «тело» детали, т. е. принимаются со знаком «←» для колес с внешними зубьями. Верхнее отклонение $E_{Ms} = E_{Hs}$, где E_{Hs} – верхнее отклонение высоты до постоянной хорды для колес с $m < 1$ мм принимается по таблице 3. Нижнее предельное отклонение $E_{Mi} = E_{Hs} - T_H$,

где T_H – допуск на смешение исходного контура для колес с $m < 1$ мм определяется по таблице 4.

Примечание. Нижнее отклонение всегда меньше чем верхнее.

Определение длины общей нормали и числа зубьев в длине общей нормали

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

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

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

Верхнее предельное отклонение длины общей нормали $E_{Wms} = E_{Ws}(I) + E_{Ws}(II)$, где $E_{Ws}(I)$ и $E_{Ws}(II)$ для колес с $m < 1$ мм определяется по таблице 5 и 6 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 7.

Примечание. Нижнее отклонение всегда меньше чем верхнее.

Определение допуска на шаг по основной окружности и норм контакта

Допуск на шаг по основной окружности f_{pb} для колес с $m < 1$ мм принимается по таблице 8.

Определение норм контакта по высоте и по длине зуба

Нормы контакта задают в процентах пятно контакта. Определяется пятно контакта по высоте и по длине зуба. Нормы контакта принимаются в соответствии с таблицей 9.

Определение предельных отклонений на межосевое расстояние и гарантированный боковой зазор

Предельные отклонения на межосевое расстояние j_a и гарантированный боковой зазор $j_{n \min}$ определяются по таблице 10.

Приложение

Пример таблицы параметров зубчатого венца мелкомодульного
прямозубого колеса с внешними зубьями

Модуль	m	0,7	
Число зубьев	z	136	
Угол наклона зуба	β	0	
Исходный контур	—	ГОСТ 9587-81	
Коэффициент смещения исходного контура	x	0	
Степень точности по ГОСТ9178-81	—	7-7-8-Df/IV	
Размер по роликам	M_a	$96,11_{-0,150}^{-0,090}$	
Диаметр измерительных роликов	D_p	1	
Длина общей нормали	W	$33,348_{-0,093}^{-0,072}$	
Число зубьев в длине общей нормали	z_w	16	
Допуск на радиальное биение зубчатого венца	F_r	0,036	
Допуск на шаг по основной окружности	f_{pb}	$\pm 0,011$	
Нормы контакта	по высоте	%	40
	по длине	%	50
Диаметр делительной окружности	d	95,2	
Межосевое расстояние	a	$54,6 \pm 0,035$	
Гарантированный боковой зазор	$j_{n \min}$	0,046	

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

Вид сопряжения	D		E		F	G	H
	0,1...0,5	Свыше 0,5 до 1	0,1...0,5	Свыше 0,5 до 1	0,1...1		
Модуль m , 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	e	e	e	e	f	g	h
Класс отклонения межосевого расстояния	VI	VI	V	V	IV	III	II

Таблица 2. Нормы кинематической точности (показатели F_r и F_p) зубчатых передач при $m < 1$ мм.

Степень точности	Обозначение	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	F_r	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
	F_p	От 0,1 до <1,0	10	11	12	14	16	19	22	25	30
6	F_r	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
	F_p	От 0,1 до <1,0	16	17	19	22	25	30	36	40	45
7	F_r	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
	F_p	От 0,1 до <1,0	22	24	26	30	35	42	50	56	63
8	F_r	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
	F_p	От 0,1 до <1,0	32	34	38	42	50	60	70	80	90

F_r – допуск на радиальное биение зубчатого колеса;
 F_p – допуск на накопленную погрешность шага зубчатого колеса

Таблица 3. Нормы бокового зазора зубчатых передач при $m < 1$ мм. (Показатели E_{Hs} для зубчатых колёс с внешними зубьями; E_{Hi} - для зубчатых колёс с внутренними зубьями)

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
		МКМ						
H	3...7	5	6	7	8	9	11	13
G	3...6	12	14	16	18	22	25	28
	7	16	18	20	22	26	28	30
	8	22	24	26	28	30	32	34
F	3...6	18	22	26	30	35	40	45
	7	22	24	28	32	36	42	48
	8	26	30	34	38	42	45	53
	9	36	40	45	48	53	55	60
	10	48	53	55	60	60	63	70
E	3...7	28	32	38	45	53	60	70
	8	35	40	45	50	55	63	75
	9	42	48	55	60	63	70	80
	10	55	60	63	70	75	80	90
	11	70	75	80	85	90	100	110
	12	100	105	110	118	120	125	130
D	3...7	40	55	60	70	80	90	110
	8	50	55	60	70	80	95	118
	9	55	60	70	80	90	100	120
	10	63	70	80	90	100	105	125
	11	80	85	95	105	110	120	140
	12	105	110	118	125	132	150	160

Таблица 4. Нормы бокового зазора (T_H - допуск на смещение исходного контура) передач при $m < 1\text{мм}$

Вид допуска бокового зазора	Допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r , мкм															
	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	Св. 160
	МКМ															
h	14	16	18	20	25	30	34	40	50	60	70	90	110	140	170	190
g	16	18	20	22	28	32	38	45	53	67	75	100	120	150	190	210
f	18	20	22	25	30	36	42	50	60	70	85	110	130	160	200	230
e	20	22	25	30	34	40	48	56	70	80	100	125	150	190	240	260

Таблица 5. Нормы бокового зазора (показатели $-E_{W_s}$ или $+E_{W_i}$ слагаемое l для определения и $-E_{W_{ms}}$ или $+E_{W_{mi}}$) передач при $m < 1\text{мм}$

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 6. Нормы бокового зазора (слагаемое II для определения и $-E_{Wms}$ или $+E_{Wmi}$) передач при $m < 1\text{ мм}$, 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 7. Нормы бокового зазора (T_{Wm} – допуск на среднюю длину общей нормали), при $m < 1\text{ мм}$.

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

Таблица 8. Допуск на шаг по основной окружности f_{pb}

Степень точности по нормам плавности	Модуль m , мм	f_{pb} , мкм
7	От 0,1 до 0,5	± 10
	Св. 0,5 до $< 1,0$	± 11
8	От 0,1 до 0,5	± 14
	Св. 0,5 до $< 1,0$	± 16

Таблица 9. Нормы контакта зубьев в передаче. Пятна контакта по высоте и по длине

Степень точности по нормам контакта	Обозначение	%
4	Пятно контакта	По высоте не менее 50, по длине не менее 70
5		По высоте не менее 50, по длине не менее 70
6		По высоте не менее 50, по длине не менее 70
7		По высоте не менее 40, по длине не менее 50
8		По высоте не менее 40, по длине не менее 50
9		По высоте не менее 25, по длине не менее 30

Таблица 10. Нормы бокового зазора (показатели $j_{n\min}$, j_a), при $m < 1$ мм

Вид сопряжения	Класс отклонений межосевого расстояния	Обозначения	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									
<i>H</i>	<i>II</i>	$j_{n\min}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>G</i>	<i>II...III</i>		6	8	9	11	13	15	18	20	23	25
<i>F</i>	<i>II...IV</i>		9	11	13	16	19	22	25	29	32	36
<i>E</i>	<i>II...V</i>		15	18	21	25	30	35	40	46	52	57
<i>D</i>	<i>II...VI</i>		22	27	33	39	46	54	63	72	81	89
<i>H...D</i>	<i>II</i>	j_a	±8	±9	±11	±14	±16	±18	±20	±22	±25	±28
<i>G...D</i>	<i>III</i>		±11	±14	±16	±20	±22	±28	±30	±35	±40	±45
<i>F...D</i>	<i>IV</i>		±18	±22	±25	±32	±35	±45	±50	±55	±60	±70
<i>E...D</i>	<i>V</i>		±30	±36	±40	±50	±60	±70	±80	±90	±100	±110
<i>D</i>	<i>VI</i>		±45	±55	±63	±80	±90	±110	±120	±140	±160	±180

Таблица 12. Сортамент шариков из стали ШХ, поставляемых в виде свободных деталей

Диаметр шарика		Степень точности по ГОСТ 3722-60	Масса 1000 шт., г.	Число шт. в 1 кг.	Диаметр шарика		Степень точности по ГОСТ 3722-60	Масса 1000 шт., г.	Число шт. в 1 кг.
мм	дюймы				мм	дюймы			
0,68	—	II-IV	1,64	610000	2,5	—	I-IV	64	15625
1	—	I-V	4	250000	3	—	I-IV	62,80	15950
1,588	1/16	I-V	16	62500	3,5	—	III-IV	174	5747
2	—	0-IV	32,6	30300	3,969	5/32	0-IV	250	4000
2,381	3/32	I-IV	55	18181					

Таблица 13. Допускаемые отклонения от номинальных диаметров шариков группы Н

Наименование	Номинальный диаметр, мм							
	свыше		до		свыше		до	
	0,8		3		3		6	
Допускаемое отклонение, мм	±0,01		±0,025		±0,05			