

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.П.КОРОЛЕВА

**ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ
И КОНТРОЛЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

Утверждено ученым советом института
в качестве методических указаний
к лабораторной работе

Куйбышев 1982

В методических указаниях изложены основные положения стандарта на допуски зубчатых колес и передач, рассмотрены нормы точности и виды сопряжения, описана измерительная аппаратура и дана методика измерения параметров, по которым устанавливается точность зубчатого колеса.

Методические указания предназначены для студентов, изучающих курс "Взаимозаменяемость, стандартизация и тех. измерения".

Составители: Ф.И. У р ы в с к и й, В.И. Д е п и л и н,
И.Г. Д о п о в

Рецензенты: А.В. Т а р а с о в, В.А. К р а в ч е н к о

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СТАНДАРТА
НА ДОПУСКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

ГОСТ 1643-72 распространяется на эвольвентные цилиндрические зубчатые передачи внешнего и внутреннего зацепления с прямозубыми, косозубыми и шевронными зубчатыми колесами с делительным диаметром до 6300 мм, модулем зубьев от 1 до 56 мм и с исходным контуром зубчатых колес по ГОСТ 13755-68.

В зависимости от величины допустимых погрешностей параметров зубчатых колес и передач стандартом устанавливается в порядке убывания 12 степеней точности: с I-й по 12-ю. Для колес I-й и 2-й степеней точности, которые являются перспективными, допуски и предельные отклонения не регламентируются.

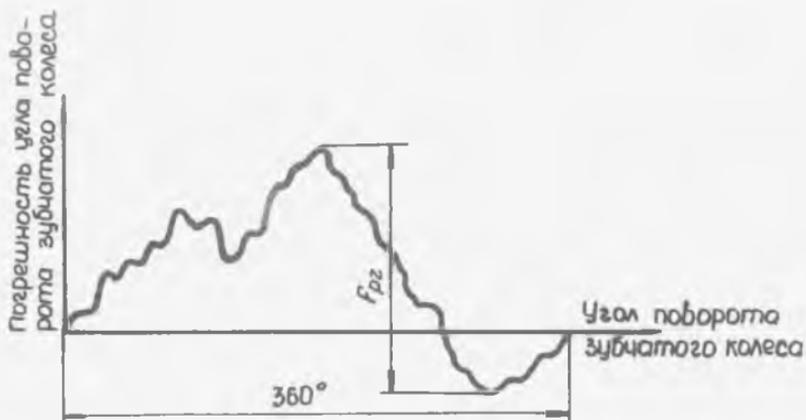
Для каждой степени точности зубчатых колес и передач устанавливаются нормы: кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев. Показатели кинематической точности зубчатых колес представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

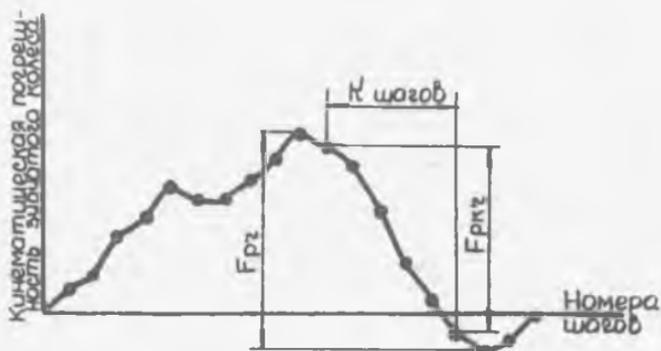
Показатели кинематической точности	Обозначения		Определения	Примечание
	показателя	допуск. величин		
Наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса	F'_{Lz}	F'_L	Наибольшая погрешность угла поворота зубчатого колеса, ведомого точным зубчатым колесом, в пределах одного оборота на его рабочей оси	рис. 1
Накопленная погрешность "К" шагов	F_{PKz}	F_{PK}	Кинематическая погрешность зубчатого колеса при нормальном его повороте на "К" целых угловых шагов ($K=2+z/2$)	рис. 2
Накопленная погрешность шага по зубчатому колесу	F_{Pz}	F_P	Наибольшая алгебраическая разность значений накопленных погрешностей, найденных для всех значений "К" в пределах от 2 до $Z/2$	рис. 2

Показатели кинематической точности	Обозначения		Определения	Примечание
	показателя	допуск величин		
Радиальное биение зубчато- го венца	F_{zz}	F_z	Наибольшая разность расстояний от рабочей оси зубчатого колеса до делительной прямой элемента нормального исходного контура, условно наложенного на профиль зубьев колес	рис. 3
Колебание длины общей нормали	V_{Wz}	F_W	Разность между наибольшей и наименьшей действительными длинами общей нормали в одном зубчатом колесе	рис. 4
Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса	F_{iz}''	F_i''	Разность между наибольшим и наименьшим действительными межосевыми расстояниями при беззазорном зацеплении и повороте на полный оборот колеса	рис. 5
Погрешность обката	F_{cz}	F_c	Составляющая кинематической погрешности зубчатого колеса, определяемая при вращении его на технологической оси и при исключении циклических погрешностей зубцовой частоты и кратных ей более высоких частот	

Норма кинематической точности устанавливается по первому или второму и третьему показателям. Однако в зависимости от наличия измерительных средств и производственных условий изготовления зубчатых колес стандарт разрешает устанавливать норму кинематической точности по результатам измерения комплекса отдельных показателей.



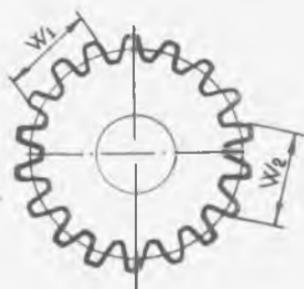
Р и с. 1. График кинематической погрешности зубчатого колеса



Р и с. 2. Накопленная погрешность "K" шагов F_{pkz} по зубчатому колесу



Р и с. 3. Радиальное биение зубчатого венца

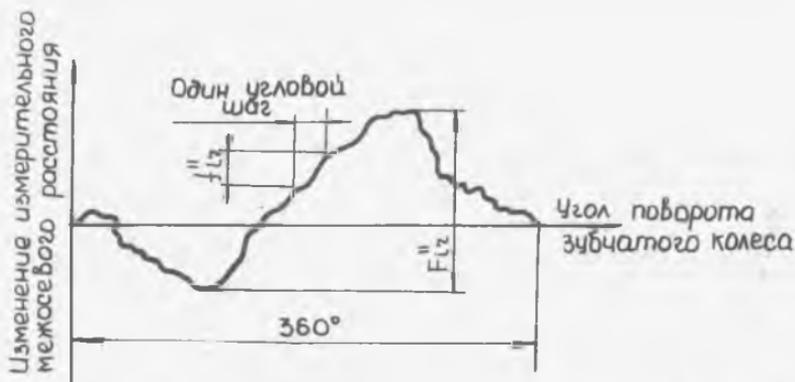


$$V_{Wz} = W_1 - W_2$$

W_1 - наибольшая действительная
длина общей нормали

W_2 - наименьшая действительная
длина общей нормали

Р и с. 4. Колебание длины общей нормали

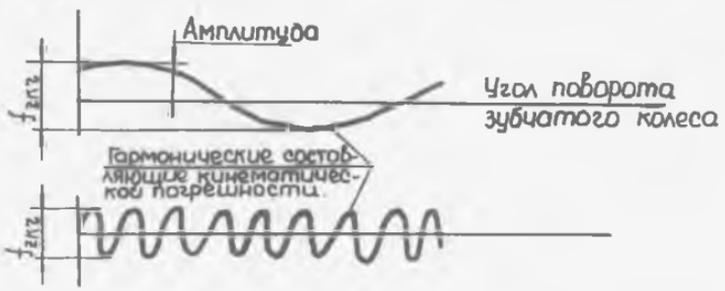
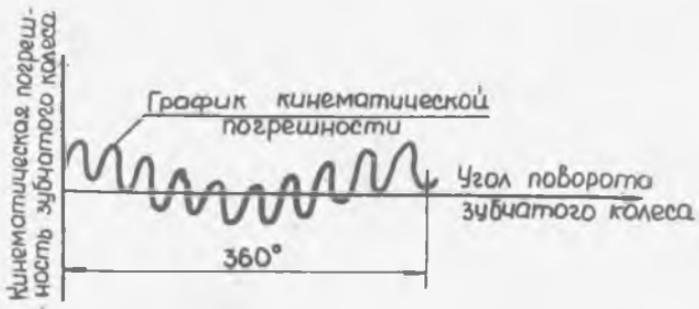


Р и с. 5. Колебание измерительного межосевого расстояния

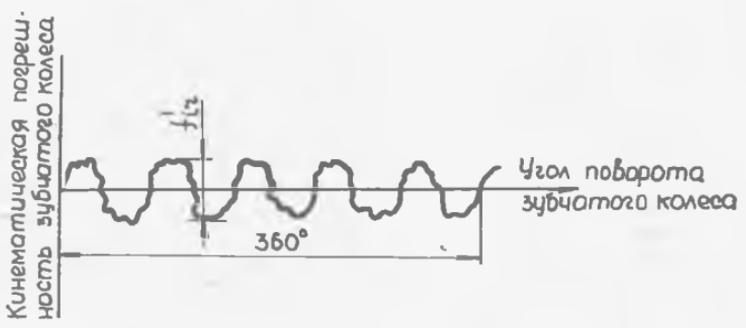
Показатели плавности работы представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Показатели плавности работы	Обозначения		Определения	Примечание
	показателя	допуск. величин		
Циклическая погрешность зубчатого колеса	$f_{z\kappa z}$	$f_{z\kappa}$	Удвоенная амплитуда гармонической составляющей кинематической погрешности зубчатого колеса	рис. 6
Местная кинематическая погрешность	$f'_i z$	f'_i	Наибольшая разность между местными соседними экстремальными (минимальными и максимальными) значениями кинематической погрешности зубчатого колеса в пределах его оборота	рис. 7
Отклонение шага - углового	f_{ptz}	$+f_{pt}$ $-f_{pt}$	Кинематическая погрешность зубчатого колеса при его повороте на один номинальный угловой шаг	
Отклонение шага зацепления	$f_{p\beta z}$	$+f_{p\beta}$ $-f_{p\beta}$	Разность между действительным и номинальным шагами зацепления	рис. 8
Погрешность профиля зуба	f_{fz}	f_f	Расстояние по нормали между двумя номинальными торцевыми профилями, между которыми размещается действительный профиль зуба	рис. 9
Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе	$f''_i z$	f''_i	Разность между действительными межосевыми расстояниями при беззазорном зацеплении и повороте колеса на один зуб	рис. 5



Р и с. 6. Циклическая погрешность зубчатого колеса



Р и с. 7. Местная кинематическая погрешность



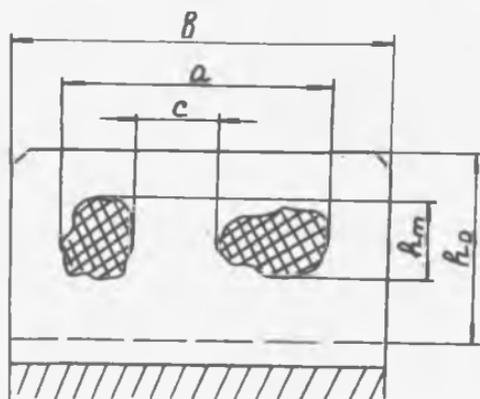
Р и с. 8. Отклонение шага зацепления



Р и с. 9. Погрешность профиля зуба

Норма плавности зубчатого колеса устанавливается по показателям f_{zkr} и f_{iz} . Одновременно стандарт разрешает устанавливать норму плавности по результатам измерения комплекса отдельных показателей плавности работы.

Показателем, определяющим контакт зубьев в передаче, является суммарное пятно контакта — часть активной боковой поверхности зуба зубчатого колеса, на которой располагаются следы прилегания его к зубьям парного зубчатого колеса после вращения собранной передачи при легком торможении, обеспечивающем непрерывное контактирование обоих зубчатых колес.



Р и с. 10. Пятно контакта

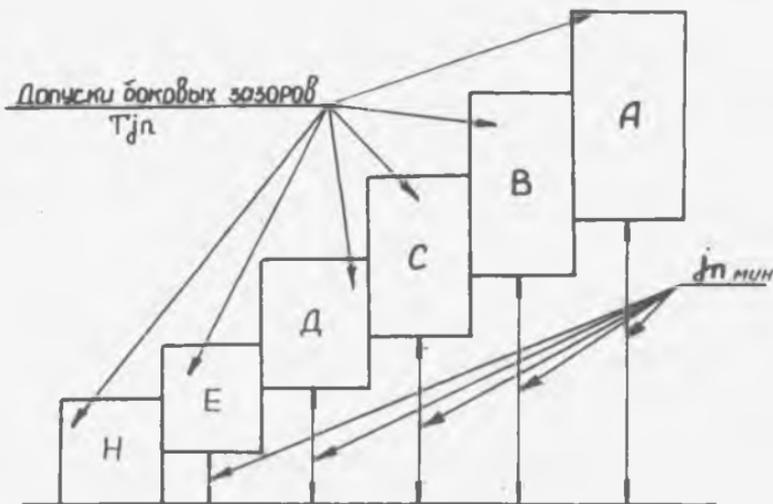
зубчатых колес и передаточных пар разных степеней точности. При этом нормы плавности могут быть не более чем на две степени точнее или на одну степень грубее нормы кинематической точности; нормы контакта зубьев могут назначаться по любым степеням, более точным, чем нормы плавности.

Для создания нормальных условий смазки, компенсации погрешностей изготовления, монтажа, температурной деформации, снижения шума стандартом предусматривается зазор между зубьями сопряженных колес в передаче. Зазор определяется в сечении, перпендикулярном направлению зубьев, в плоскости, касательной к основным цилиндрам. На рис. 11 даны виды сопряжений зубчатых колес.

В зависимости от величины гарантированного бокового зазора

Норма контакта характеризуется отношением расстояния между крайними точками следов прилегания (за вычетом разрывов, превышающих величину модуля) к полной длине зуба $(\frac{a-c}{B} 100\%)$, а по высоте зуба — отношением средней высоты пятна прилегания по всей длине зуба к рабочей высоте зуба $(\frac{h_m}{h_p} 100\%)$, (рис. 10).

Стандарт допускает комбинирование норм кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев



Р и с. II. Боковой зазор и виды сопряжений зубчатых колес

$j_{n \text{ мин}}$ устанавливаются шесть видов сопряжений зубчатых колес в передаче *A, B, C, D, E, H* и восемь видов допусков на боковой зазор, обозначаемых в порядке его возрастания буквами: *h, d, c, b, a, z, y, x*. Видам сопряжений *H* и *E* соответствует вид допуска на боковой зазор *h*, а видам сопряжений *D, C, B, A* — виды допуска *d, c, b, a* соответственно. Нормы бокового зазора и соответствие между видом сопряжения и видом допуска на боковой зазор разрешается изменять, используя при этом и виды допуска *z, y, x*.

Условное обозначение точности изготовления зубчатых колес включает степень точности и вид сопряжения, например, 7-С ГОСТ 1643-72. Такое колесо не должно иметь отклонений параметров, превышающих нормы кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев по 7-й степени точности. Оно должно иметь вид сопряжения *C* и допуска на боковой зазор *c*.

При комбинировании норм разных степеней точности и изменении соответствия между видом сопряжения и видом допуска на боковой зазор условное обозначение точности включает степень точности по каждой норме, вид сопряжения и вид допуска.

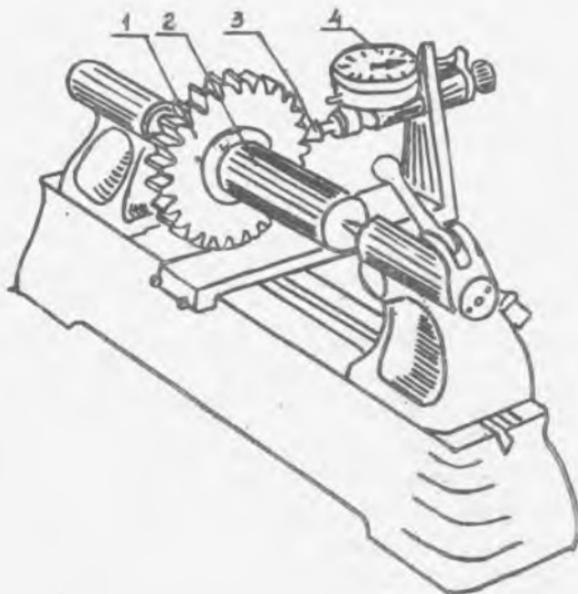
Пример условного обозначения точности передачи со степенью 8— по нормам кинематической точности, со степенью 7— по нормам плавности работы, со степенью 6— по нормам контакта зубьев, с видом сопряжения колес *B* и видом допуска на боковой зазор *a* : 8 - - 7 - 6 - *Ba* ГОСТ 1643-72.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА

I. Определение кинематической точности колеса

Кинематическая точность зубчатого колеса может быть оценена измерением радиального биения зубчатого венца F_{z2} и колебания длины общей нормали V_{Wz} .

Радиальное биение измеряется на биенимере (рис. 12). Проверяемое зубчатое колесо 1, плотно посаженное на коническую оправку 2, устанавливается в центрах прибора. Согласно модулю проверяемого колеса, выбирается нукный измерительный наконечник 3, ко-



Р и с. 12. Схема измерения на биенимере

торый с помощью цангового зажима закрепляется на измерительном стержне прибора. Измерительный наконечник вводится во впадину между зубьями до соприкосновения с боковыми профилями двух соседних зубьев колеса. Дается натяжение пружине индикатора 4 на I-2 оборота стрелки, после чего шкала индикатора ставится на нуль. Впадина, в которую установлен наконечник, отмечается на одном из торцов колеса. После этого измерительный наконечник поочередно вводится во все впадины колеса, записываются показания индикатора с учетом знака отклонения стрелки от нуля. Заканчивается измерение на отмеченной впадине, где стрелка снова должна показывать нуль.

Вследствие того, что угол при вершине конического измерительного наконечника равен удвоенному углу зацепления колеса ($\beta = 2\alpha_{зац}$), касание зубьев с наконечником всегда происходит по постоянным хордам и разность между наибольшим и наименьшим показаниям индикатора соответствует величине радиального биения зубчатого венца.

Длина общей нормали W есть расстояние AB между разноименными эвольвентами по линии, касательной к основной окружности (рис. 13).

Номинальное значение общей нормали определяется по формуле

$$W = m \cos \alpha_d \left[\frac{\pi}{2} (2n-1) + z \operatorname{inv} \alpha_d \right],$$

где m — модуль зубчатого колеса;

z — число зубьев колеса;

$\operatorname{inv} \alpha_d$ — инволюта угла исходного контура (при

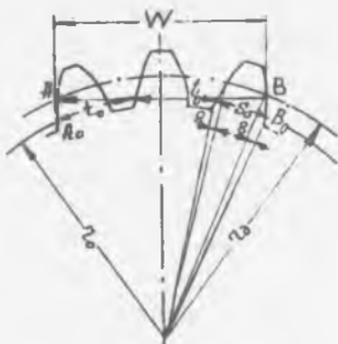
$\alpha_d = 20^\circ$, $\operatorname{inv} \alpha_d = 0,014904$);

α_d — угол исходного контура (равный углу зацепления);

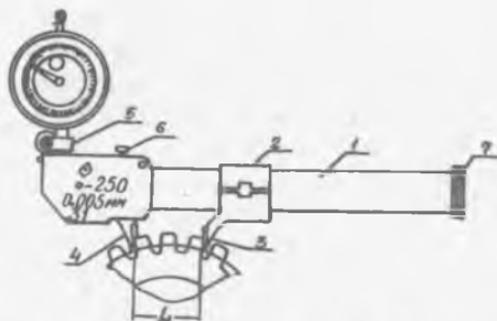
n — число зубьев, охватываемых при измерении.

Число зубьев подсчитывается по формуле $n = 0,111z + 0,5$ и округляется до ближайшего целого.

Длина общей нормали измеряется с помощью нормалемера (рис. 14). Прибор настраивается следующим образом.



Р и с. 13. Длина общей нормали



Р и с. 14. Измерение длины общей нормали нормалемером

Из штанги I вынимается ключ 7 и вставляется в отверстие разрезной втулки 2. Поворотом ключа на 90° втулка 2 разжимается и перемещается так, чтобы между измерительными губками 3 и 4 остался минимальный зазор. Ключ 7 вынимается из отверстия втулки, благодаря чему губка 3 закрепляется на штанге I. В прибор вставляется индикатор и при натя-

ге в I оборот стрелка закрепляется винтом 5. Затем измерительная губка 3 с помощью ключа отодвигается от губки 4.

Прибор устанавливают на зубчатом колесе так, чтобы между измерительными губками помещалось найденное число зубьев. Подвижная губка 3 перемещается в направлении губки 4 до соприкосновения их с профилями зубьев колеса, о чем свидетельствует начало вращения стрелки индикатора, и далее до тех пор, пока стрелка индикатора не сделает 2 полных оборота. В этом положении ключ вынимается из втулки 2 и ставится на место в штангу I. Покачивая нормалемер относительно измеряемого колеса, находят наименьшее показание индикатора, и поворотом шкалы настраивают индикатор на нуль. Нажимом на кнопку арретира 6 измерительные губки разводятся и прибор снимается с зубьев. Группу зубьев, по которой производилась настройка нормалемера, необходимо отметить. Путем ряда измерений этой группы зубьев нужно убедиться в том, что прибор стабильно показывает нуль, и только после этого приступить к измерениям.

Измерения производятся по всей окружности колеса, при этом записываются показания индикатора с учетом знака. Из всех полученных значений выбирают наибольшее ΔW_{H0} и наименьшее ΔW_{HM} . Разность этих значений и есть колебание длины общей нормали:

$$VW_z = \Delta W_{H0} - \Delta W_{HM}.$$

После измерения величины радиального биения F_{2z} и колебания длины общей нормали VW_z определяется степень кинематической точности зубчатого колеса путем сравнения полученных вели-

чин с допусками F_2 и VW , приведенными в табл. 3. Для этого по таблице находят такую степень точности, для которой $F_2 \geq F_{22}$; $VW \geq VW_2$.

Т а б л и ц а 3

Степень точности	Обозначения	Модуль m , мм	Диаметр делительной окружности, мкм			
			До 50	Св. 50 до 125	Св. 125 до 280	Св. 280 до 560
3	F_i'	От 1 до 10	см. примечание			
	F_2	Св. 2 до 3,55	6	7	9	11
	VW	Св. 3,55 до 6	6	8	10	12
	F_c	От 1 до 10	3	5	7	10
4	F_i'	От 1 до 10	см. примечание			
	F_2	Св. 2 до 3,55	9	11	14	18
	VW	Св. 3,55 до 6	10	12	15	19
	F_c	От 1 до 10	5	7	11	16
5	F_i'	От 1 до 16	см. примечание			
	F_2	Св. 2 до 3,55	14	18	22	28
	VW	Св. 3,55 до 6	15	19	24	30
	F_i''	От 1 до 16	7	11	17	26
	F_2	Св. 2 до 3,55	20	25	30	40
	F_c	Св. 3,55 до 6	21	26	34	42
6	F_i'	От 1 до 16	см. примечание			
	F_2	Св. 2 до 3,55	22	28	36	45
	VW	Св. 3,55 до 6	24	30	38	48
	F_i''	От 1 до 16	11	17	26	40
	F_2	Св. 2 до 3,55	30	40	50	63
	F_c	Св. 3,55 до 6	34	43	53	67
6	F_i'	От 1 до 16	см. примечание			
	F_2	Св. 2 до 3,55	22	28	36	45
	VW	Св. 3,55 до 6	24	30	38	48
	F_c	От 1 до 16	11	17	26	40
6	F_i''	Св. 2 до 3,55	30	40	50	63
	F_2	Св. 3,55 до 6	34	43	53	67
	F_i'	От 1 до 16	14	17	26	40
	F_c	От 1 до 16	14	17	26	40

Степень точности	Обозначения	Модуль m , мм	Диаметр делительной окружности, мкм			
			до 50	Св. 50 до 125	Св. 125 до 280	Св. 280 до 560
7	F_i'	От I до 25	см. примечание			
	F_2	Св. 2 до 3,55	32	40	50	63
	V_w	Св. 3,55 до 6	34	42	53	67
	F_i''	От I до 25	15	24	36	56
	F_i''	Св. 2, до 3,55	45	56	70	90
	F_c	Св. 3,55 до 6	48	60	75	95
8	F_i'	От I до 25	15	24	36	56
	F_i'	От I до 56	см. примечание			
	F_2	Св. 2 до 3,55	40	50	63	80
	F_2	Св. 3,55 до 6	42	53	67	85
	V_w	Св. 25 до 40	-	-	110	130
	F_i''	От I до 56	19	30	45	70
9	F_i''	Св. 2 до 3,55	56	70	90	110
	F_i''	Св. 3,55 до 6	60	75	95	120
	F_c	От I до 56	19	30	45	70
	F_2	Св. 2 до 3,55	50	63	80	100
		Св. 3,55 до 6	53	67	85	105
		Св. 40 до 56	-	-	-	200
F_i''	Св. 2 до 3,55	70	90	110	140	
	Св. 3,55 до 6	75	95	120	150	
10	F_2	Св. 2 до 3,55	63	75	100	125
		Св. 3,55 до 6	67	80	105	130
	F_i''	Св. 2 до 3,55	90	105	140	175
		Св. 3,55 до 6	95	110	150	180
11	F_2	Св. 2 до 3,55	80	95	125	150
		Св. 3,55 до 6	80	105	130	160
	F_i''	Св. 2 до 3,55	110	130	170	210
		Св. 3,55 до 6	120	150	180	220

Степень точности	Обозначения	Модуль m , мм	Диаметр делительной окружности, мкм			
			До 50	Св. 50 до 125	Св. 125 до 280	Св. 280 до 560
I2	F_2	Св. 2 до 3,55	95	120	150	190
		Св. 3,55 до 6	105	130	160	200
	F_i''	Св. 2 до 3,55	130	170	210	260
		Св. 3,55 до 6	150	180	220	280

Примечание. $F_i'' = F_p + f_f$; F_p назначается в зависимости от степени точности по нормам кинематической точности; f_f назначается в зависимости от степени точности по нормам плавности.

2. Определение степени плавности работы колеса

Степень плавности работы колеса может быть оценена путем измерения отклонения шага зацепления $f_{p\beta z}$ и погрешности профиля зуба f_{fz} .

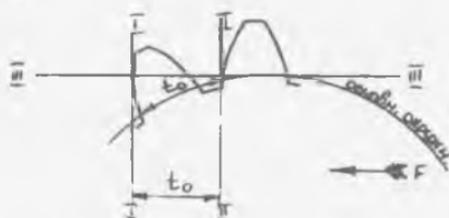
Шаг зацепления t_0 — это расстояние между одноименными соседними эвольвентами, измеренное по дуге основной окружности или любой касательной к основной окружности, оно определяется по формуле

$$t_0 = \pi m \cos \alpha_d,$$

где $\alpha_d = 20^\circ$; $t_0 = 2,951 m$.

Измерение шага зацепления может быть выполнено на инструментальном микроскопе. Для этого штриховую сетку угломерной головки устанавливают в положение 0° , при этом продольное и поперечное перемещения стола будут совпадать с направлением взаимно перпендикулярных линий сетки.

Измеряемое колесо кладется на столик микроскопа или устанавливается на специальной оправке так, чтобы вертикальная линия оку-



Р и с. 15. Схема измерения шага зацепления на инструмен- тальном микроскопе

лярной голожки являлась касательной к эвольвенте зуба (рис. 15), причем точка касания должна лежать ближе к наружной окружности, но не на закругленной части вершины зуба. Тогда горизонтальная линия в поле зрения окуляра будет линией, касательной к основной окружности. Для этого положения (положение I-I) за-

писывается отсчет по микровинту продольного перемещения и столик переводится так, чтобы вертикальная линия окулярной головки стала касательной к профилю следующего зуба (положение II-II). Записывается новый отсчет по микровинту продольного перемещения. Разность двух отсчетов и будет действительной величиной шага зацепления.

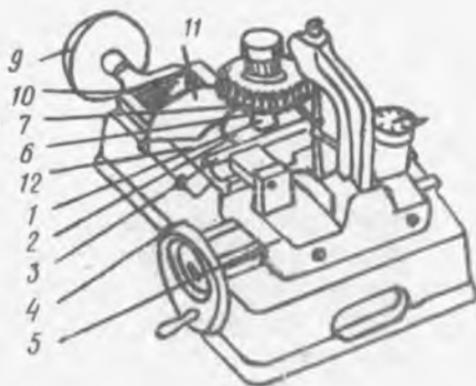
Измерив один шаг, зубчатое колесо поворачивают вокруг оси и измеряют следующий шаг. После измерения по всей окружности колеса выбирают наибольшее $t_{0нб}$ и наименьшее $t_{0нм}$ значения и определяют действительные отклонения

$$+f_{p\beta} = t_{0нб} - t_0; \quad -f_{p\beta} = t_{0нм} - t_0.$$

Погрешность эвольвентного профиля зуба может быть измерена с помощью эвольвентомера МИЗ (рис. 16) со сменным диском, диаметр которого должен быть равен диаметру основной окружности проверяемого колеса

$$d_0 = d_j \cos \alpha_j.$$

Перед измерением прибор настраивают так, чтобы при "нулевом" показании индикатора вершина измерительного наконечника лежала на одной вертикальной линии с точкой касания обкаточного диска 2 и линейки 3. Эта настройка производится следующим образом.



Р и с. 16. Общий вид эвольвентомера

На оправку I эвольвентомера ставят диск 2 нужного диаметра и закрепляют его гайкой.

С помощью маховичка 4 каретку 5 приводят в положение, при котором риска на каретке совместится с риской на станине. Между диском 2 и линейкой 3 зажимают настроечный шаблон. Освободив измерительный наконечник 7 в цанговом зажиме 6, выставляют его так, чтобы при повороте вершина касалась плоскости диска. В этом положении измерительный наконечник закрепляют цанговым зажимом. Затем шаблон закрепляют на оправке I так, чтобы вершина измерительного наконечника опиралась на радиальную плоскость шаблона.

Путем ряда поворотов установочного шаблона находят такое его положение, при котором перемещение каретки I2 не вызывает отклонения стрелки индикатора. Поворотом шкалы устанавливают индикатор на "нуль". Это положение индикатора (с учетом показания малой стрелки) соответствует исходному положению измерительного наконечника перед началом измерения.

При измерении на оправку I, где установлен обкаточный диск 2, ставят проверяемое колесо, указатель совмещают с нулем шкалы II. Маховичком 9 перемещают каретку I2 до соприкосновения обкаточного диска с линейкой 3, а затем до полного сжатия пружины I0, следя при этом, чтобы измерительный наконечник 7 свободно вошел во впадину проверяемого колеса. Поворотом проверяемого колеса индикатор устанавливает в исходное положение (полученное при настройке по шаблону), а колесо закрепляют на оправке гайкой, после чего приступают к измерениям.

Вращая маховичок 4, перемещают каретку 5, а вместе с ней линейку 3. При этом диск 2 вместе с проверяемым колесом будет катиться по линейке без скольжения и, следовательно, каждая точка рабочей плоскости линейки будет описывать относительно основной окружности проверяемого колеса эвольвенту. Так как при настройке прибора вершина измерительного наконечника была установлена на вертикальной линии, проходящей через точку начального контакта линейки с диском, она (вершина) также будет описывать эвольвенту. Если профиль проверяемого зуба имеет отклонение от теоретической эвольвенты, то индикатор покажет величину этого отклонения.

Погрешность профиля фиксируется через каждые 5° угла развернутости φ , который отсчитывается по шкале II. Для наглядности



Р и с. 17. Схема построения действительного профиля зуба

На основании этих величин по табл. 4 устанавливается степень плавности измеряемого колеса.

по полученным данным строится действительный профиль зуба, полученный профиль сопоставляется с теоретическим (рис.17).

Разность между наибольшим и наименьшим отклонением действительного профиля от теоретической эвольвенты есть величина полной действительной погрешности профиля:

$$f_{fz} = f_{zHO} - f_{zHM}.$$

В результате измерения основного шага и погрешности эвольвентного профиля зуба получено: $+f_{pB}$; $-f_{pB}$ и f_{fz} .

Т а б л и ц а 4

Степень точности	Обозначения	Модуль m , мм	Модуль m , мм			
			до 50	Св. 50 до 125	Св. 125 до 280	Св. 280 до 560
3	f_i'	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	6 7	7 8	7 8	8 9
	f_{pB}	Св. 2 до 3,55 Св. 2 до 3,55	± 3 ± 3	± 3 ± 3	± 3 ± 3	± 3 ± 3
	f_{pt}	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	± 3 ± 3	± 3 ± 3	± 3 ± 3	± 3 ± 4
	f_f	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	4 4	4 4	4 5	5 5
	4	f_i'	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	9 10	10 11	11 12

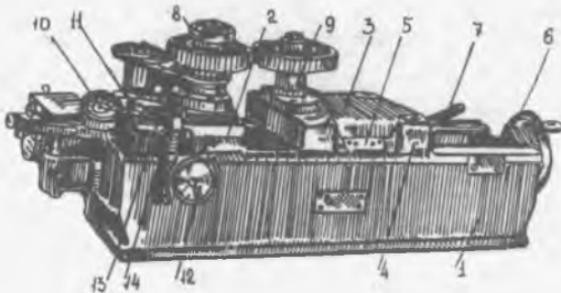
Степень точности	Обозначения	Модуль m , мм	До 50	Св. 50 до 125	Св. 125 до 280	Св. 280 до 560
4	$f_{p\delta}$	Св. 2 до 3,55	± 4	± 5	± 5	± 5
		Св. 3,55 до 6	± 5	± 5	± 5	± 6
	f_{pt}	Св. 2 до 3,55	± 4	± 5	± 5	± 5
		Св. 3,55 до 6	± 5	± 5	± 5	± 6
	f_f	Св. 2 до 3,55	5	5	5	6
		Св. 3,55 до 6	5	6	6	7
5	f_i^c	Св. 2 до 3,55	13	14	15	17
		Св. 3,55 до 6	15	16	17	19
	$f_{p\delta}$	Св. 2 до 3,55	± 7	± 7	± 8	± 8
		Св. 3,55 до 6	± 8	± 8	± 9	± 9
	f_{pt}	Св. 2 до 3,55	± 7	± 7	± 8	± 9
		Св. 3,55 до 6	± 8	± 8	± 9	± 9
	f_f	Св. 2 до 3,55	6	7	7	9
		Св. 3,55 до 6	7	8	8	10
	f_i^n	От 1 до 2	10	11	12	12
		Св. 2 до 3,55	11	11	12	13
	Св. 3,55 до 6	12	13	13	14	
6	f_i'	Св. 2 до 3,55	19	20	22	25
		Св. 3,55 до 6	22	22	24	28
	$f_{p\delta}$	Св. 2 до 3,55	± 11	± 11	± 12	± 13
		Св. 3,55 до 6	± 12	± 12	± 13	± 14
	f_{pt}	Св. 2 до 3,55	± 11	± 12	± 12	± 13
		Св. 3,55 до 6	± 12	± 13	± 13	± 14
	f_f	Св. 2 до 3,55	8	9	10	12
		Св. 3,55 до 6	10	10	11	13
	f_i^n	Св. 2 до 3,55	15	16	17	19
		Св. 3,55 до 6	17	18	19	20

Степень точности	Обозначения	Модуль m , мм	До 50	Св. 50 до 125	Св. 125 до 280	Св. 280 до 560
7	f_i'	Св. 2 до 3,55	26	28	32	36
		Св. 3,55 до 6	30	32	36	40
	$f_{pв}$	Св. 2 до 3,55	+15	+16	+17	+18
		Св. 3,55 до 6	+17	+18	+19	+20
	f_{pt}	Св. 2 до 3,55	+15	+16	+17	+18
		Св. 3,55 до 6	+17	+18	+19	+20
f_j	Св. 2 до 3,55	11	12	14	17	
	Св. 3,55 до 6	13	14	16	19	
f_i''	Св. 2 до 3,55	21	22	21	26	
	Св. 3,55 до 6	24	25	26	28	
8	f_i'	Св. 2 до 3,55	36	38	42	50
		Св. 3,55 до 6	42	45	48	56
	$f_{pв}$	Св. 2 до 3,55	+21	+22	+24	+26
		Св. 3,55 до 6	+24	+24	+26	+28
	f_{pt}	Св. 2 до 3,55	15	16	19	24
		Св. 3,55 до 6	18	19	22	28
f_j	Св. 2 до 3,55	30	32	34	38	
	Св. 3,55 до 6	34	36	38	40	
9	f_{pt}	Св. 2 до 3,55	+30	+32	+34	+38
		Св. 3,55 до 6	+34	+36	+38	+40
	f_i''	Св. 2 до 3,55	38	40	42	45
		Св. 3,55 до 6	42	45	48	50
Св. 3,55 до 6	42	45	48	50		
	10	f_{pt}	Св. 2 до 3,55	+42	+45	+48
Св. 3,55 до 6			+45	+50	+53	+56
f_i''		Св. 2 до 3,55	48	50	56	60
		Св. 3,55 до 6	53	56	60	63

Степень точности	Обозначение	Модуль m , мм	до 50	Св. 50 до 125	Св. 125 до 280	Св. 280 до 580
II	f_{pt}	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	± 60 ± 67	± 63 ± 71	± 67 ± 75	± 75 ± 80
	f_i''	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	60 67	63 71	67 75	75 80
I2	f_{pt}	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	± 85 ± 95	± 90 ± 100	± 95 ± 105	± 105 ± 110
	f_i''	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	75 85	80 90	85 95	95 100

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМЫ КОНТАКТА ЗУБЬЕВ

Как уже отмечалось, контакт зубьев может характеризоваться размерами пятна контакта зубьев сопряженных колес по высоте и ширине зубьев. Величина пятна контакта определяется по следам прилегания боковой поверхности зубьев к зубьям измерительного колеса при взаимной их обкатке на приборе комплексного двухпрофильного контроля КПД-300 (рис. 18).



Р и с. 18. Общий вид межцентромера КПД-300

Измерительное колесо с числом зубьев Z_1 , надевают на оправку 8 плавающего суппорта 2 и с помощью рукоятки 12 отводят в крайнее левое положение до упора. Суппорт 3 отводят вправо и на оправку 9 надевают измеряемое колесо с числом зубьев Z_2 , предварительно обезжирив и вычистив боковые поверхности зубьев.

По формуле $A = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2}$ определяют номинальную величину межцентрового расстояния. Вращая маховичок 6, в зацепление вводят измеряемое колесо с измерительным до тех пор, пока конус 5 суппорта 3 и линейка не покажут номинальную величину межцентрового расстояния. В этом положении суппорт 3 закрепляется с помощью зажима 7. При легком торможении измерительного колеса его поворачивают на 2-3 оборота в правую, а затем в левую сторону. После снятия измеряемого колеса с прибора на правой и левой сторонах зуба просматривают пятна контакта и выбирают зуб с наименьшим пятном контакта.

С помощью штангенциркуля измеряют размеры отпечатка и определяют относительную величину пятна контакта:

$$\frac{h_m}{h_p} 100\% \quad \text{и} \quad \frac{a-c}{b} 100\% ,$$

- где h_m - средняя высота пятна контакта, мм;
 b - длина зуба колеса;
 h_p - рабочая высота зуба для некоррегированных колес ($h_p = 2m$);
 a - расстояние по длине зуба между крайними точками пятна контакта, мм;
 c - величина разрыва пятна контакта, учитывается при $c \geq m$; если $c < m$, то принимается $c = 0$.

Степень точности зубчатого колеса по норме контакта зубьев определяется с помощью табл. 5.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА СОПРЯЖЕНИЯ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА

Характер сопряжения колес (A, B, C, D, E, H) в зацеплении определяется величиной гарантированного бокового зазора.

С целью утонения зуба и создания таким образом бокового зазора исходный контур смещают от его номинального положения в толо

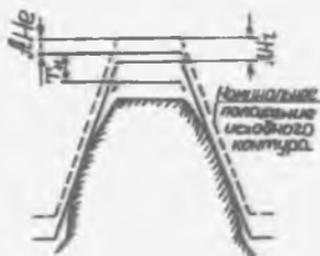
Степень точности	Параметр	Размерность	Допускаемые значения
3	Суммарное пятно контакта	в процентах	по высоте не менее 65 по длине не менее 95
4	То же		по высоте не менее 60 по длине не менее 90
5	—"		по высоте не менее 55 по длине не менее 80
6	—"		по высоте не менее 50 по длине не менее 70
7	—"		по высоте не менее 45 по длине не менее 60
8	—"		по высоте не менее 30 по длине не менее 40
9	—"		по высоте не менее 20 по длине не менее 25

колеса. Для каждого вида сопряжения ГОСТом предусматриваются наименьшее смещение исходного контура AN_e и допуск на величину смещения T_H (рис. 19).

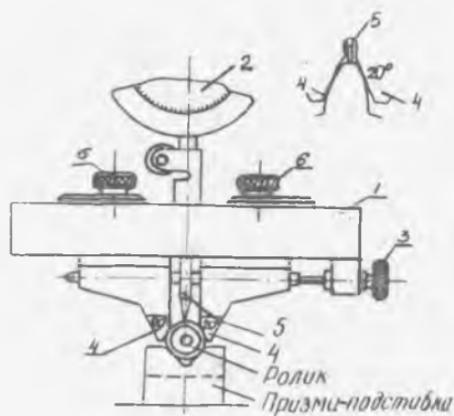
Для обеспечения определенного характера сопряжения необходимо, чтобы смещение исходного контура AN_2 было не менее наименьшего предписанного AN_e и не более суммы ($AN_e + T_H$):

$$AN_e \leq AN_2 \leq AN_e + T_H.$$

Величина смещения исходного контура измеряется с помощью тангенциального зубомера (рис. 20). Перед измерением зубомер настраивается на номинальное положение исходного контура по специальному установочному роликку, диаметр которого зависит от модуля измеряе-



Р и с. 19. Смещение исходного контура



Р и с. 20. Настройка тангенциального зубомера

После того как измерительный стержень упрется в ролик и стрелка индикатора совершит два полных оборота, индикатор закрепляют и поворотом шкалы устанавливают на нуль. Путем ряда пробных установок на ролик необходимо убедиться в стабильности показаний прибора и только после этого можно приступить к измерениям.

Пронумеровав зубья колеса, зубомер накладывают на первый зуб и, покачивая его, определяют максимальное отклонение стрелки индикатора. Это отклонение и является величиной радиального смещения исходного контура $АН_2$ от его номинального положения, если окружность выступов не имеет радиального биения и диаметр ее выполнен точно по номинальному размеру. Так как при измерении окружность выступов зубьев является базой, то ее радиальное биение и погрешность диаметра вносят соответствующие ошибки в показания зубомера, которые должны быть учтены.

Действительная величина смещения исходного контура может быть вычислена по формуле

$$АН_2 = АН_{2\text{ изм}} - \frac{\Delta D_e}{2} - e_B$$

где $АН_{2\text{ изм}}$ - измеренная величина смещения исходного контура;

ΔD_e - отклонение действительного диаметра окружности выступов зубьев колеса от его номинального размера $\Delta D_e = D_{e\text{д}} - D_e$,

ного колеса. Установочный ролик помещают на призму - подставку и с помощью винта 3 прибор настраивают так, чтобы измерительные губки 4 примерно в середине своей рабочей (скошенной) поверхности касались ролика. В этом положении измерительные губки закрепляются с помощью гаек 6. В отверстие корпуса I вставляется индикатор 2, снабженный удлиненным измерительным стержнем 5. После того как измерительный стержень упрется в ролик и стрелка индикатора

$D_{ед}$ - получается измерением с помощью микрометра

$$D_e = m(z + 2);$$

e_z - радиальное смещение окружности выступов для измеряемого зуба.

Практически можно считать, что радиальные смещения окружности выступов у диаметрально противоположных зубьев равны по абсолютной величине и противоположны по знаку, поэтому e_z определяют следующим образом. В центре биенимера устанавливается оправка с измеряемым колесом. Измерительный стержень индикатора с некоторым натягом ставят на окружность выступов зуба (желательно с наибольшим радиальным смещением) и поворотом шкалы индикатора настраивают на нуль. Далее зубчатое колесо поворачивают на 180° и определяют показание индикатора на диаметрально противоположном зубе. В этом положении шкалу индикатора поворачивают так, чтобы стрелка показала половину зафиксированного отклонения. Это и есть действительное смещение зуба. После такой настройки индикатор при постановке его измерительного стержня на любой зуб будет сразу показывать радиальное смещение e_z этого зуба.

Результаты измерения $AH_{2\text{изм}}$, ΔD_e и e_z по всей окружности колеса регистрируют в протоколе.

Из всех полученных значений $AH_{2\text{изм}}$ выбирают наименьшее и наибольшее и по ним рассчитывают $AH_{2\text{нм}}$ и $AH_{2\text{нб}}$, учитывая величину e_z соответствующих зубьев и ΔD_e . Для степени точности, которая была найдена по нормам плавности, устанавливают вид сопряжения (табл. 6). При этом необходимо для данной степени точности найти такой вид сопряжения, для которого $AH_e \leq AH_{2\text{нм}}$.

Вид допуска на боковой зазор определяется по табл. 7 в зависимости от величины радиального биения зубчатого венца F_{2z} , при этом необходимо выполнение условия

$$T_H \geq AH_{2\text{нб}} - AH_{2\text{нм}}.$$

Пример. Измерением зубчатого колеса с $D = 100$ мм, $m = 4$ получили: $F_{2z} = 42$, $V_{Wz} = 21$, $+f_{p\beta z} = +20$, $-f_{p\beta z} = -10$, $f_{\beta z} = 21$ мкм, суммарное пятно контакта по высоте равно 46, по длине - 55%; $AH_{2\text{нм}} = 110$, $AH_{2\text{нб}} = 190$ мкм. Необходимо определить нормы точности, вид сопряжения и вид допуска бокового зазора.

Т а б л и ц а 6

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавности	Св. 80 до 125	Св. 125 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
H	3-6	14	16	18	20	22	25
	7	15	18	20	22	25	28
E	3-6	35	40	46	52	57	63
	7	40	45	50	56	63	70
D	3-6	55	63	70	80	90	100
	7	60	70	80	90	100	110
	8	65	75	85	100	110	120
C	3-6	85	100	115	130	140	155
	7	95	110	125	140	150	170
	8	105	120	140	160	170	190
	9	110	130	150	170	180	200
B	3-6	140	160	185	210	230	250
	7	150	170	200	230	250	270
	8	170	190	220	250	280	300
	9	180	200	240	280	300	320
	10	200	220	260	300	320	360
A	3-6	220	250	290	320	360	400
	7	240	280	320	360	400	440
	8	260	300	340	380	420	480
	9	280	320	360	420	480	530
	10	300	340	400	450	530	600
	11	320	380	420	480	560	670
	12	360	420	480	560	630	710

По табл. 3 находим такую степень кинематической точности зубчатого колеса, для которой $F_2 \geq F_{2z}$, $V_w \geq V_{wz}$. Измеренное колесо отвечает норме кинематической точности 7-й степени.

По табл. 4 устанавливаем норму плавности колеса. При этом необходимо, чтобы $+f_{p\beta} \geq +f_{p\beta z}$; $-f_{p\beta} \geq -f_{p\beta z}$; $f_z \geq f_{z z}$.

Такому условию соответствует норма плавности 8-й степени.

По табл. 5 определяем, что норма контакта зубьев соответствует 8-й степени.

Т а б л и ц а 7

Вид сопряжения	Вид допуска бокового зазора	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
<i>H, E</i>	<i>h</i>	120	140	170	220	260	340	420	500
<i>D</i>	<i>d</i>	150	180	220	280	340	420	530	630
<i>C</i>	<i>c</i>	200	220	280	360	420	530	670	850
<i>B</i>	<i>b</i>	240	280	360	420	530	670	850	1060
<i>A</i>	<i>a</i>	300	360	450	560	670	850	1060	1320
—	<i>z</i>	360	450	560	680	850	1060	1320	1600
—	<i>y</i>	450	560	680	850	1060	1320	1600	2000
—	<i>x</i>	560	680	850	1060	1320	1600	2000	2500

По табл. 6 находим, что при 8-й степени по нормам плавности наименьшему смещению исходного контура $AN_{2HM} = 110$ мкм соответствует вид сопряжения *C*.

Из табл. 7 видно, что разность между наибольшим и наименьшим смещениями исходного контура, равная 80 мкм при радиальном биении зубчатого венца $F_{ZZ} = 42$ мкм, меньше допуска *C* на смещение исходного контура, т.е.

$$AN_{2H\delta} - AN_{2HM} < TH$$

$$190 - 110 < 110.$$

Таким образом, после всех измерений установлено, что колесо, параметры которого приведены в примере, соответствует нормам 7-8-8-С ГОСТ 1643-72.

Л и т е р а т у р а

- Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Машиностроение, 1975.
- Зябрева Н.Н., Перельман Е.И., Шегал М.Ц. Пособие к решению задач по курсу "Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения". М.: Высшая школа, 1977.

Справочник по производственному контролю в машиностроении/
Под ред. А.К. Кутай. Л.: Машиностроение, 1974.
Допуски и посадки. Справочник/ Под ред. В.Д. Мяткова. Л.:
Машиностроение, 1978.
Стандарты СЭВ, государственные стандарты.

Составители: Федор Прокофьевич Урывский,
Василий Иванович Лепилин,
Иван Григорьевич Попов

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ
И КОНТРОЛЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Редактор Э. Г р я з н о в а
Техн.редактор Н. К а л е н ю к
Корректор Н. К у п р и я н о в а

Подписано в печать 28.10.82г. Формат 60x84^I/16.
Бумага оберточная белая. Оперативная печать.
Усл.п.л. I,86. Уч.-изд.л. I,8. Тираж 500 экз.
Заказ № 5356 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени С.П.Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Областная типография имени В.П.Мяги,
г. Куйбышев, ул. Венцека, 60.