

**САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА**

**ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ,  
СТАНДАРТИЗАЦИЯ  
И КОНТРОЛЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

*Методические указания к лабораторной работе*

Составители: *И. Г. Попов, Ю. А. Шабалин*

УДК 621.753

**Взаимозаменяемость, стандартизация и контроль зубчатых колес:** Метод. указания к лабораторной работе /Самар. гос. аэрокосм. ун-т; *И. Г. Попов, Ю. А. Шабалин*. Самара, 1995. 32 с.

Приведены основные положения стандарта на допуски зубчатых колес и передач, рассмотрены нормы точности и виды сопряжения, описаны измерительные приборы и инструменты, а также изложена методика измерения параметров, по которым устанавливается точность зубчатого колеса.

Предназначены для студентов, изучающих курс "Метрология, взаимозаменяемость, стандартизация и управление качеством". Подготовлены на кафедре резания, станков и режущих инструментов.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева

Рецензент доц. Н. Д. Проничев

\* \* \*

**Ц е л ь р а б о т ы:** знакомство с основными положениями стандарта на допуски зубчатых колес; изучение методики измерения основных параметров, определяющих точность зубчатого колеса; ознакомление со способами и приборами, которые применяют для измерения этих параметров.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СТАНДАРТА НА ДОПУСКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

ГОСТ 1643-81 "Передачи зубчатые цилиндрические" распространяется на эвольвентные цилиндрические зубчатые колеса и зубчатые передачи внешнего и внутреннего зацепления с прямыми, косозубыми, а также шевронными зубчатыми колесами с делительным диаметром до 6300 мм, модулем зубьев от 1 до 55 мм и исходным контуром по ГОСТ 13755-81.

В зависимости от величины допустимых погрешностей параметров зубчатых колес и передач стандартом устанавливается 12 степеней точности: с 1-й (самой высокой) по 12-ю (самую низкую). Колеса 1-й и 2-й степеней точности являются перспективными, поэтому допуски и предельные отклонения для них еще не определены.

Для каждой степени точности зубчатых колес и передач устанавливаются нормы: кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев зубчатых колес в передаче.

*Показатели кинематической точности зубчатых колес приведены в табл. 1.*

Показатели кинематической точности зубчатых колес

Показатели кинематической точности	Обозначения		Определения	Примечание
	показателя	допуск. величины		
Наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса	$F'_{i_r}$	$F'_i$	Наибольшая алгебраическая разность значений кинематической погрешности зубчатого колеса в пределах его полного оборота	Рис. 1
Кинематическая погрешность зубчатого колеса на $k$ шагах	$F'_{i_{kr}}$	$F'_{i_k}$	Разность между действительным и номинальным (расчетным) углами поворота зубчатого колеса на рассматриваемом числе зубьев $k$	Рис. 1
Накопленная погрешность $k$ шагов	$F_{P_{kr}}$	$F_{P_k}$	Наибольшая разность дискретных значений кинематической погрешности зубчатого колеса при номинальном его повороте на $k$ целых угловых шагов	Рис. 2
Накопленная погрешность шага зубчатого колеса	$F_{Pr}$	$F_P$	Наибольшая алгебраическая разность значений накопленных погрешностей в пределах зубчатого колеса	Рис. 2
Радиальное биение зубчатого венца	$F_{rr}$	$F_r$	Разность действительных предельных положений исходного контура в пределах зубчатого колеса	Рис. 3

Показатели кинематической точности	Обозначения		Определения	Примечание
	показателя	допуск. величины		
Колебание длины общей нормали	$F_{vwr}$	$F_{vw}$	Разность между наибольшей и наименьшей действительными длинами общей нормали в одном и том же зубчатом колесе	Рис. 4
Колебание измерительного межцентрового расстояния за оборот колеса	$F_{ir}''$	$F_i''$	Разность между наибольшим и наименьшим действительными межосевыми расстояниями при двухпрофильном зацеплении и повороте колеса на полный оборот	Рис. 5
Погрешность обката	$F_{cr}$	$F_c$	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	$F_{cr}$ может определяться как погрешность кинематической цепи деления зубообрабатывающего станка

Норма кинематической точности устанавливается по одному из показателей  $F_{ir}, F_{pr}, F_{ir}'', F_{rr}$  или одному из комплексов показателей  $F_{pr}$  и  $F_{pkr}$ ;  $F_{cr}$  и  $F_{rr}$ ;  $F_{vwr}$  и  $F_{rr}$ ;  $F_{vwr}$  и  $F_{ir}''$ ;  $F_{cr}$  и  $F_{ir}''$ .

Показатели плавности работы зубчатых колес приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели плавности работы зубчатых колес

Показатели плавности работы	Обозначения		Определения	Примечание
	показателя	допуск. величины		
Циклическая погрешность зубчатого колеса	$f_{zkr}$	$f_{zk}$	Удвоенная амплитуда гармонической составляющей кинематической погрешности зубчатого колеса	Рис. 6
Циклическая погрешность зубцовой частоты зубчатого колеса	$f_{z zr}$	$f_{zz}$	Циклическая погрешность зубчатого колеса с частотой повторений, равной частоте входа зубьев в зацепление	
Местная кинематическая погрешность зубчатого колеса	$f'_{ir}$	$f'_i$	Наибольшая разность между местными соседними экстремальными (минимальными и максимальными) значениями кинематической погрешности зубчатого колеса в пределах его оборота	Рис. 7
Отклонение шага	$f_{ptr}$	$+f_{pt}$ $-f_{pt}$	Кинематическая погрешность зубчатого колеса при его повороте на один номинальный угловой шаг	$f_{ptr} = (\varphi_z - \frac{2\pi}{z}) \cdot r$ Рис. 2
Разность шагов	$f_{V ptr}$	$f_{V pt}$	Разность между двумя отклонениями шагов в любых участках зубчатого колеса	

Показатели плавности работы	Обозначения		Определения	Примечание
	показателя	допуск. величины		
Отклонение шага зацепления	$f_{pbr}$	$+f_{pb}$ $-f_{pb}$	Разность между действительным и номинальным шагами зацепления	Рис. 8
Погрешность профиля зуба	$f_{fr}$	$f_f$	Расстояние по нормали между двумя номинальными торцевыми профилями, между которыми размещается действительный профиль зуба	Рис. 9
Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе	$f_{ir}''$	$f_i''$	Разность между действительными межосевыми расстояниями при беззазорном зацеплении и повороте колеса на один зуб	Рис. 5

Норма плавности работы зубчатого колеса устанавливается по показателям  $f_{zkr}$ ,  $f_{ir}'$  и  $f_{ir}''$ . Одновременно стандарт разрешает устанавливать норму плавности по результатам измерения комплексов отдельных показателей плавности работы  $f_{pbr}$  и  $f_{fr}$  или  $f_{pbr}$  и  $f_{ptr}$ .

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.

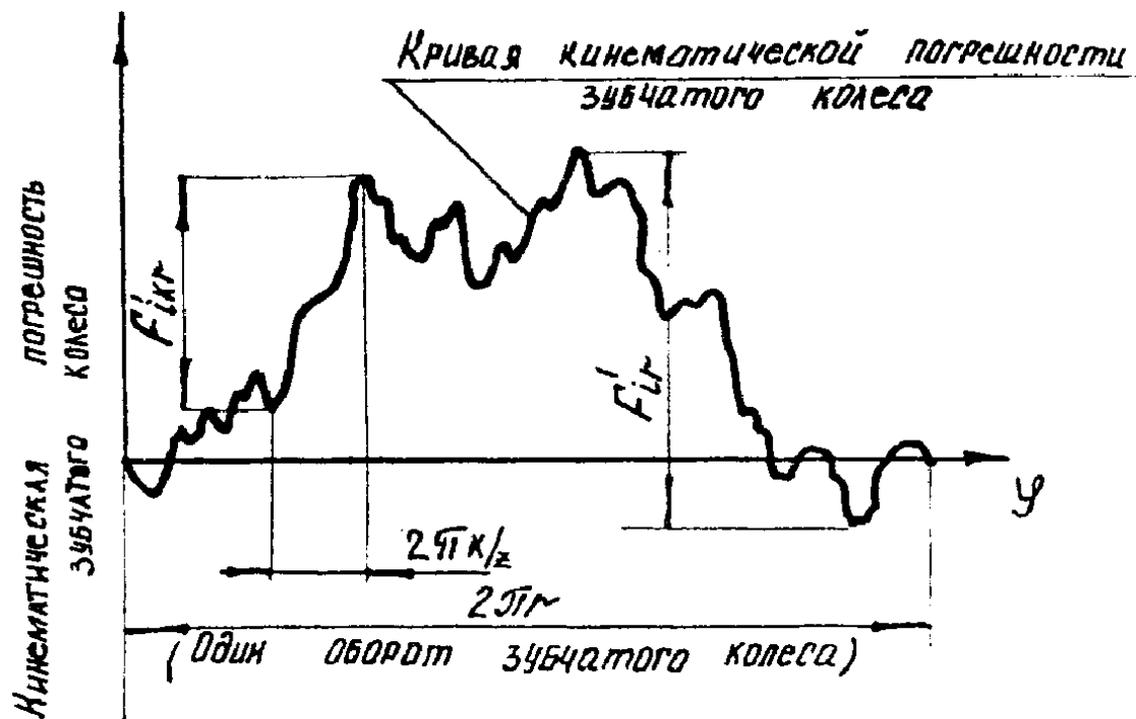


Рис. 1:  $\varphi$  — угол поворота зубчатого колеса;  $r$  — радиус делительной окружности зубчатого колеса;  $k$  — количество шагов, на которых определяется погрешность;  $F_{ir}$  — наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса;  $F_{ikr}$  — кинематическая погрешность з. к. на  $k$  шагах

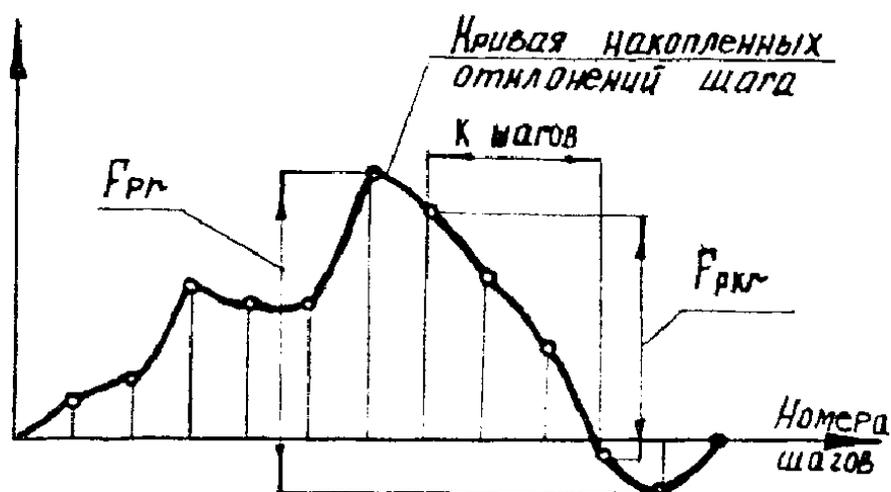


Рис. 2:  $F_{pr}$  — накопленная погрешность шага з. к.;  $F_{prk}$  — накопленная погрешность на  $k$  шагах;  $k$  — число целых угловых шагов ( $k \geq 2$ )

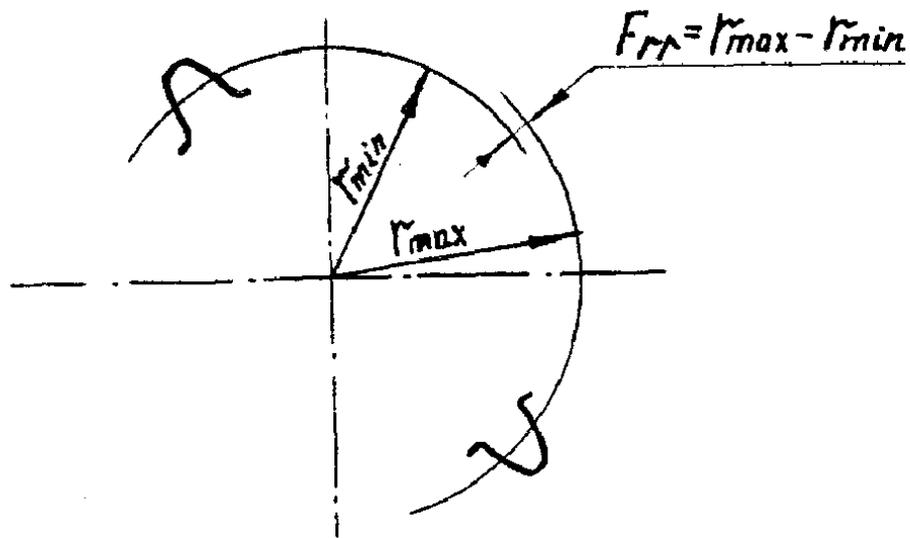


Рис. 3:  $F_{rr}$  — радиальное биение зубчатого колеса

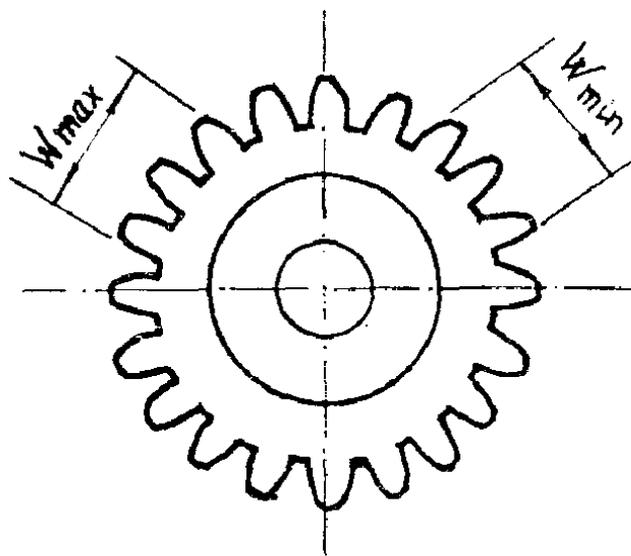


Рис. 4:  $F_{vwr}$  — колебание длины общей нормали

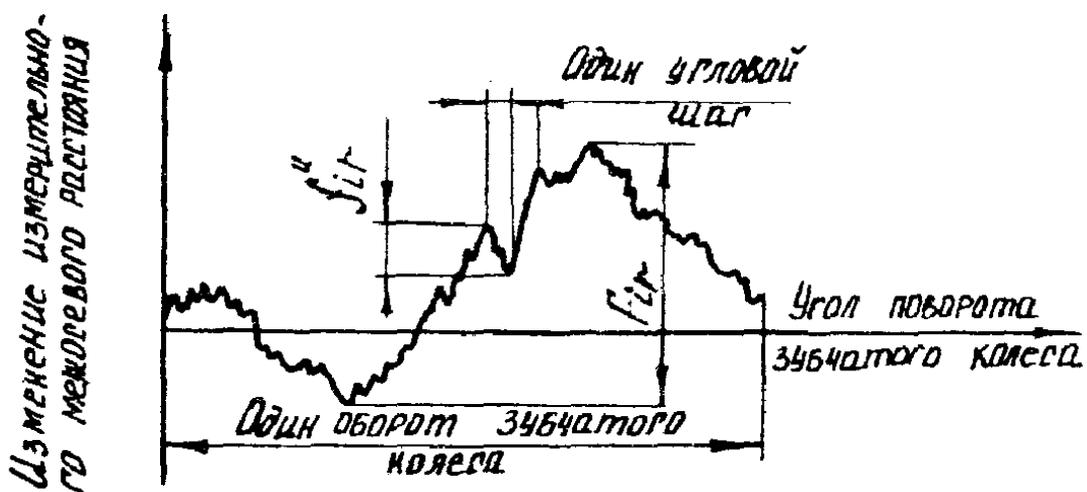


Рис. 5: колебание измерительного межосевого расстояния:

$F''_{ir}$  — за один оборот з. к.;  $f''_{ir}$  — на одном зубе

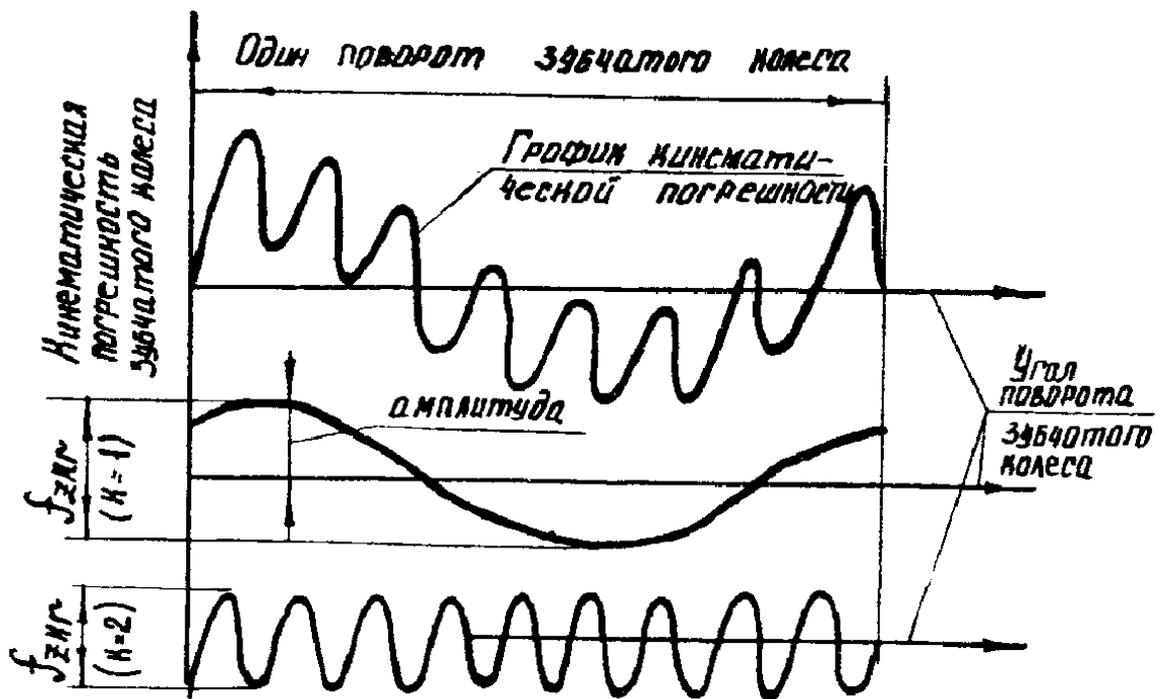


Рис. 6:  $f_{zkp}$  — циклическая погрешность з. к. при разных значениях частоты  $k$

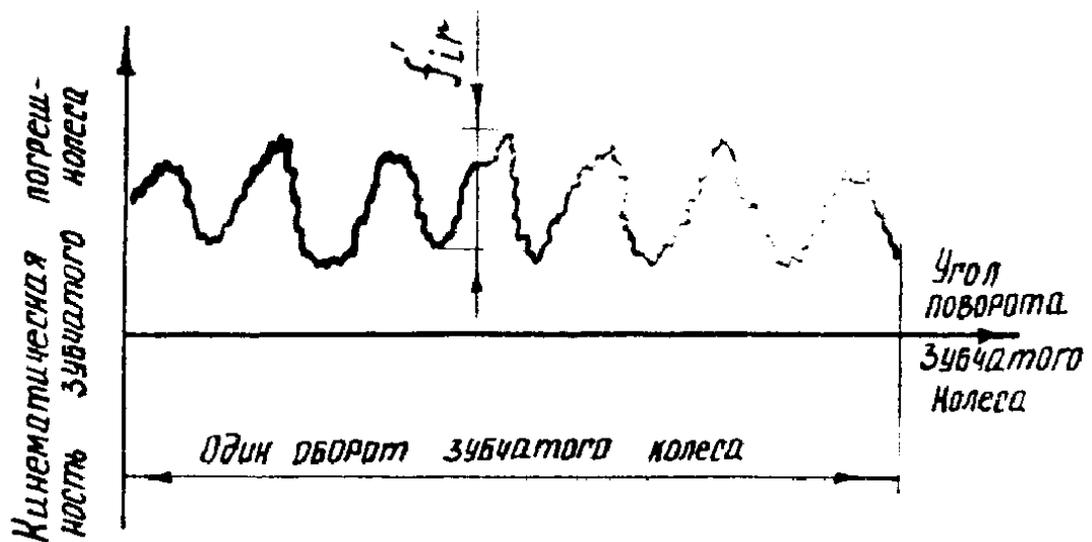


Рис. 7:  $f'_{ir}$  — местная кинематическая погрешность з. к.

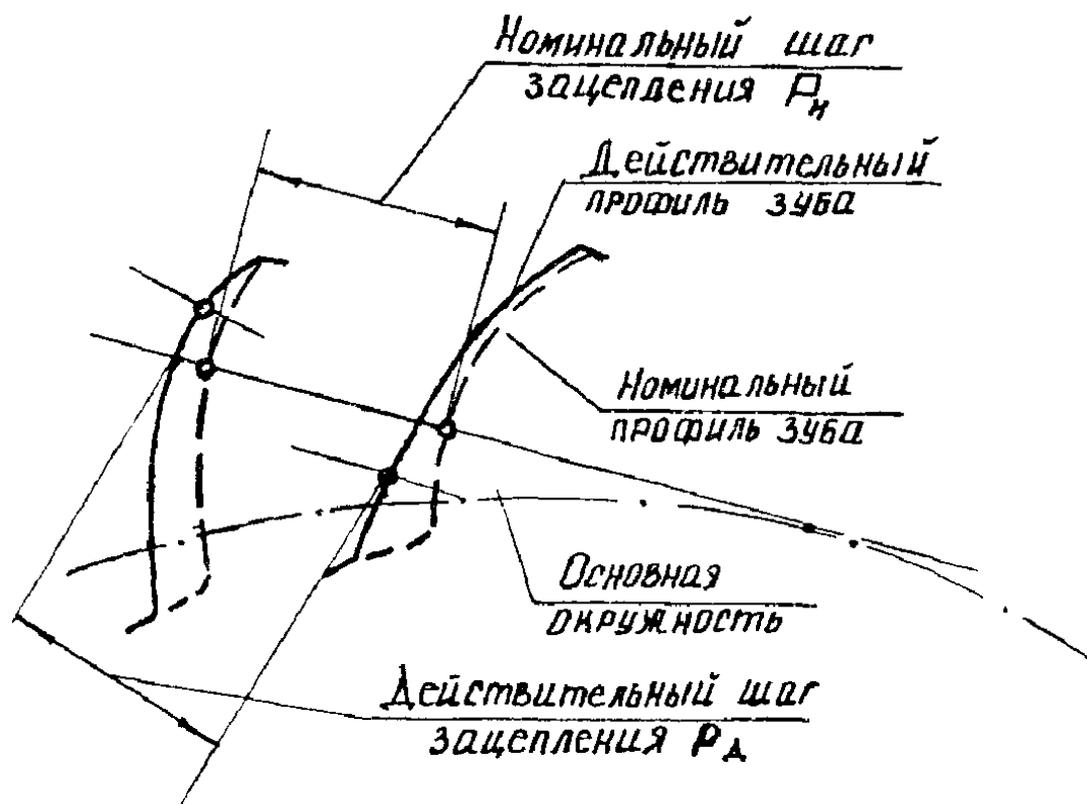


Рис. 8:  $f_{pbr} = (P_D - P_H)$  — отклонение шага зацепления

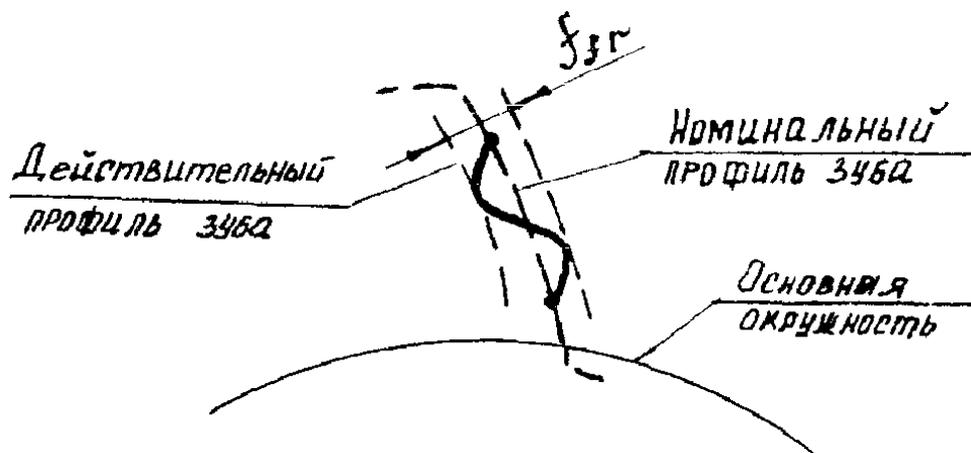


Рис. 9:  $f_{fr}$  — погрешность профиля зуба

Норма контакта характеризуется (рис. 10) отношением расстояния между крайними точками следов прилегания (за вычетом разрывов, превышающих величину модуля) к полной длине зуба

$\left( \frac{a-c}{b} \cdot 100\% \right)$ , а по высоте зуба — отношением высоты пятна

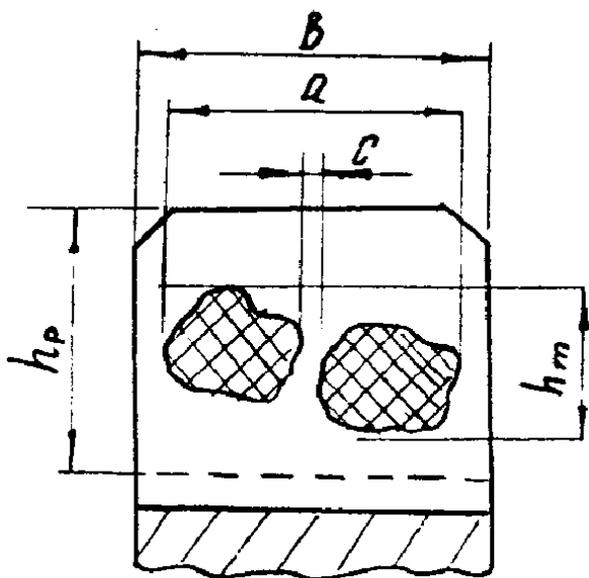


Рис. 10:  $\frac{a-c}{b} \cdot 100\%$  — относительные размеры пятна контакта по длине зуба, при  $c > m$ ,  
 где  $m$  — модуль в мм;  $\frac{h_m}{h_p} \cdot 100\%$   
 — относительные размеры пятна контакта по высоте зуба

прилегания по всей длине зуба к рабочей высоте зуба  $\left( \frac{h_m}{h_p} \cdot 100\% \right)$ .

Стандарт допускает комбинирование норм кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев зубчатых колес и передач разных степеней точности. При этом нормы плавности могут быть не более чем на две степени точнее или на одну степень грубее норм кинематической точности, а нормы контакта зубьев могут назначаться по любым степеням, более точным и на степень грубее, чем нормы плавности.

Для создания нормальных условий работы зубчатой пары (смазки, компенсации погрешностей изготовления и монтажа, температурной деформации) стандартом предусматривается зазор между зубьями сопряженных колес в передаче. Зазор определяется в сечении, перпендикулярном направлению зубьев (рис. 11), в плоскости, касательной к основным цилиндрам.

На рис. 12 представлены виды сопряжения зубчатых колес. В зависимости от величины гарантированного бокового зазора ( $j_{n \min}$ ) устанавливаются шесть видов сопряжений зубчатых колес в передаче *A, B, C, D, E, H* (вид сопряжения *A* обеспечивает наибольшие боковые зазоры, *H* — наименьшие, вплоть до нуля) и восемь видов допусков на боковой зазор, обозначаемых в порядке его уменьшения буквами: *x, y, z, a, b, c, d, h*. Видам сопряжений *H* и *E* соответствует вид допуска на боковой зазор, а видам сопряжений *D, C, B, A* — виды допуска *d, c, b, a* соответственно. 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*.

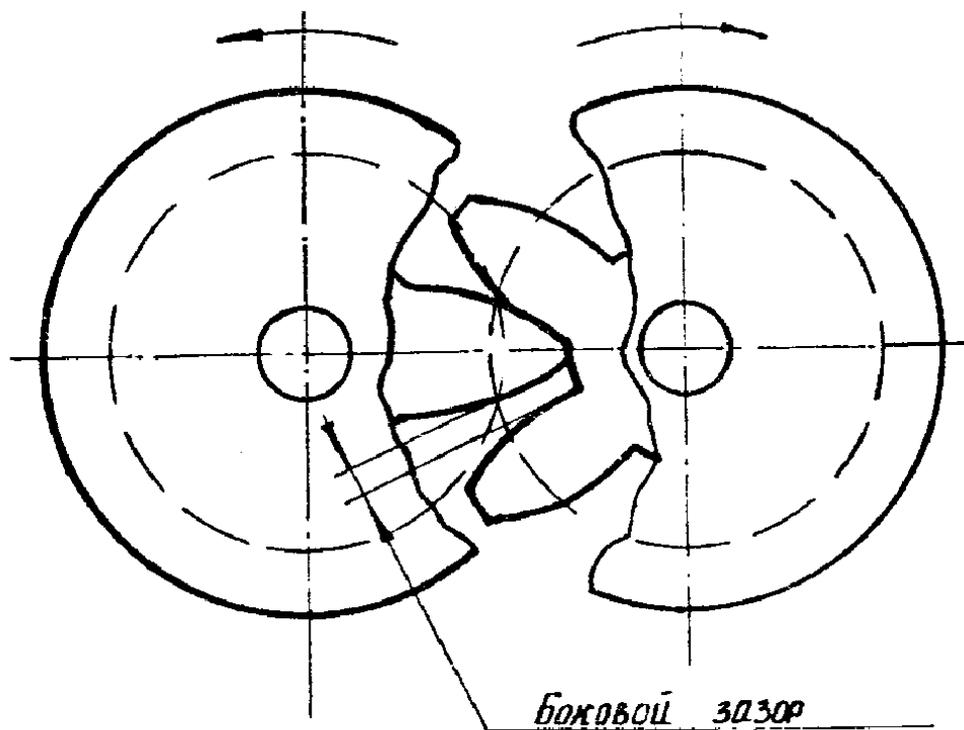


Рис. 11. Боковой зазор в сопряжении зубчатых колес

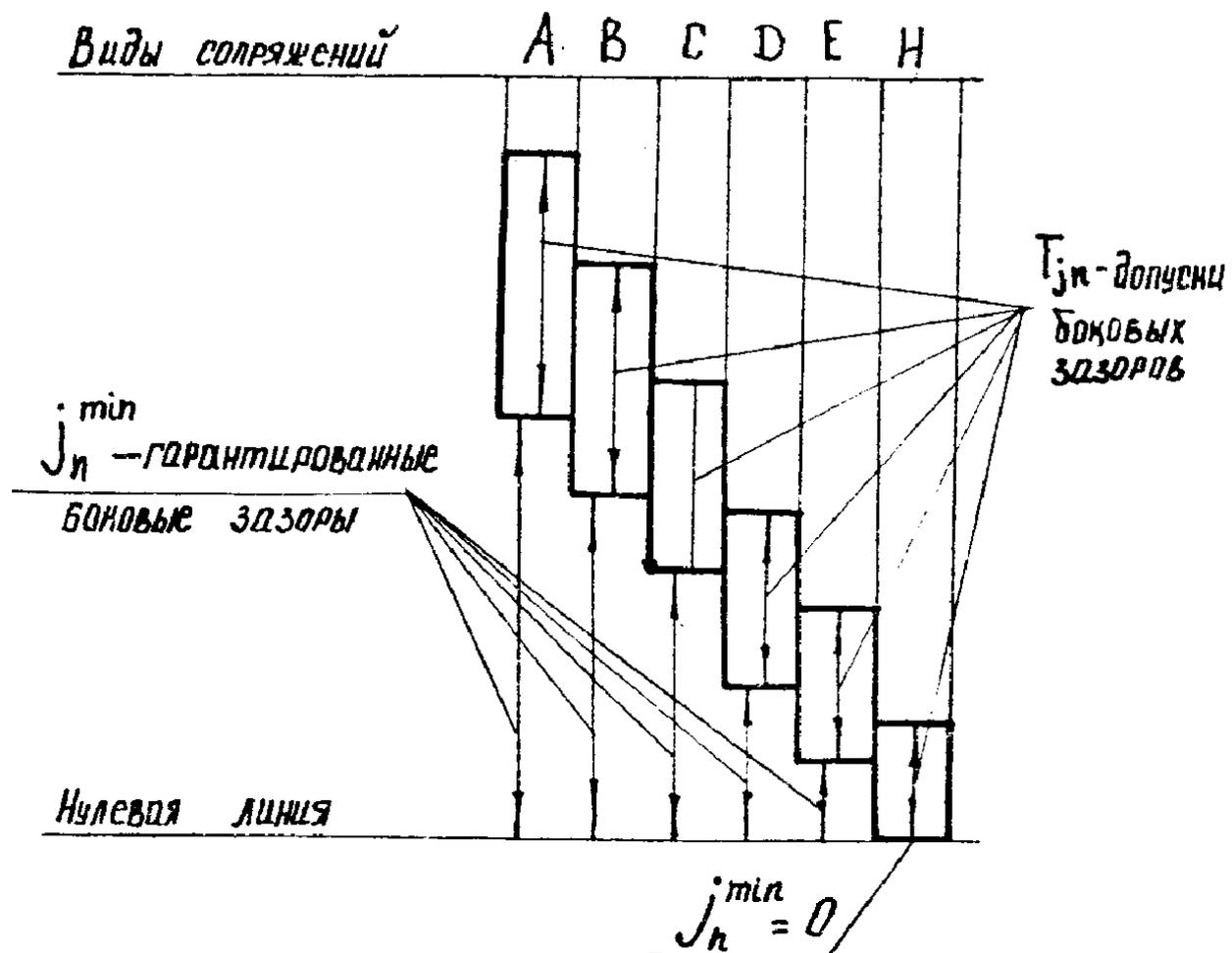


Рис. 12. Виды сопряжений и гарантированные боковые зазоры

*Условное обозначение точности изготовления зубчатых колес* включает в себя степень точности и вид сопряжения, например: 7-С ГОСТ 1643-81. Такое колесо не должно иметь отклонений параметров, превышающих нормы кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев по 7-й степени точности, вид сопряжения С и допуск на боковой зазор с.

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

*Пример условного обозначения точности зубчатого колеса* со степенью 8 — по нормам кинематической точности, со степенью 7 — по нормам плавности работы, со степенью 6 — по нормам контакта зубьев, с видом сопряжения В и видом допуска на боковой зазор а:

8—7—6—Ва ГОСТ 1643-81.

## ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА

### *Определение кинематической точности колеса*

Кинематическая точность зубчатого колеса, как предусмотрено ГОСТ 1643-81, может быть оценена комплексом показателей  $F_{rr}$  (радиальное биение зубчатого венца) и  $F_{VWr}$  (колебание длины общей нормали).

*Радиальное биение* измеряется на биениемере (рис. 13). Контролируемое зубчатое колесо 1, плотно посаженное на коническую оправку 2, устанавливается в центрах прибора. В соответствии с модулем контролируемого колеса выбирается нужный измерительный наконечник 3, который с помощью цангового зажима закрепляется на измерительном стержне прибора. Наконечник вставляется во впадину между зубьями и под действием пружины плотно прижимается к боковым (эвольвентным) профилям зубьев колеса. Дается предварительное натяжение пружине индикатора 4 на один-два оборота большой стрелки индикатора часового типа, после чего шкала индикатора поворотом корпуса устанавливается на нуль. Впадина, в которую вставлен наконечник, отмечается на торце колеса. Затем измерительный наконечник поочередно вставляется во все впадины зубчатого колеса и отклонения большой стрелки от нуля с учетом знака записываются в протокол измерения. Заканчивается измерение на отмеченной впадине, в которой стрелка индикатора должна опять встать на нуль.

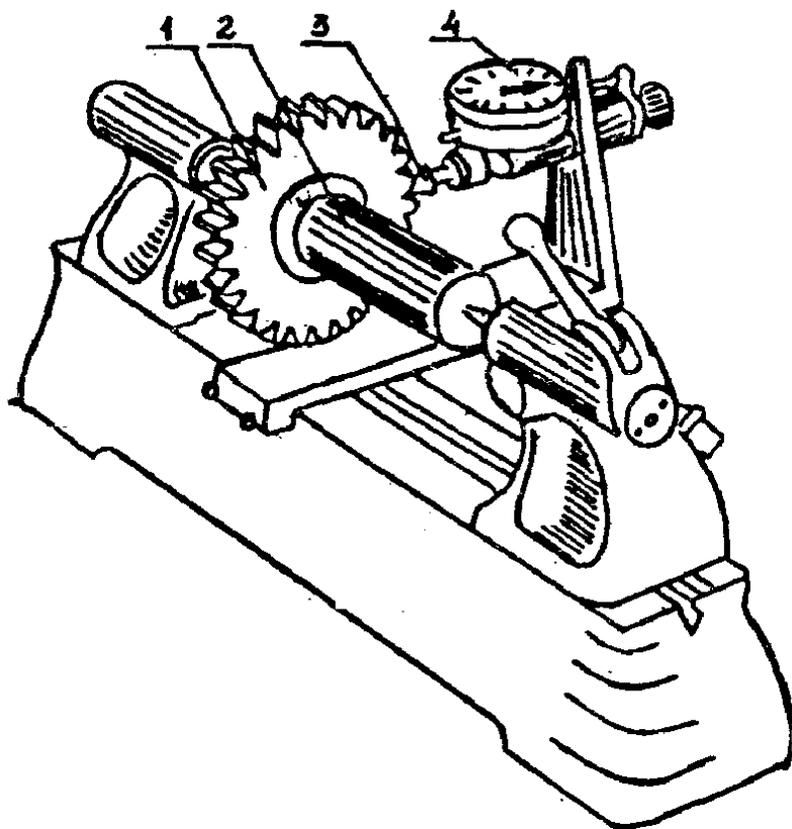


Рис. 13. Схема измерения на биениемере

Так как угол при вершине конического измерительного наконечника равен удвоенному углу зацепления колеса ( $B = 2\alpha_{\partial}$ ), касание наконечника с зубьями всегда происходит по постоянным хордам, поэтому разность между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора соответствует величине радиального биения зубчатого колеса.

Длина общей нормали есть расстояние  $AB$  между разноименными эвольвентами по прямой, касательной к основной окружности зубчатого колеса (рис. 14).

Номинальное значение общей нормали определяется по формуле

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

где  $m$  — модуль зубчатого колеса;

$z$  — число зубьев колеса;

$\operatorname{inv} \alpha_{\partial}$  — инволюта угла исходного контура;

$\alpha_{\partial}$  — угол исходного контура (равный углу зацепления);

$n = 0,111 z + 0,5$  — число зубьев, охватываемых при измерении (округляется до целого).

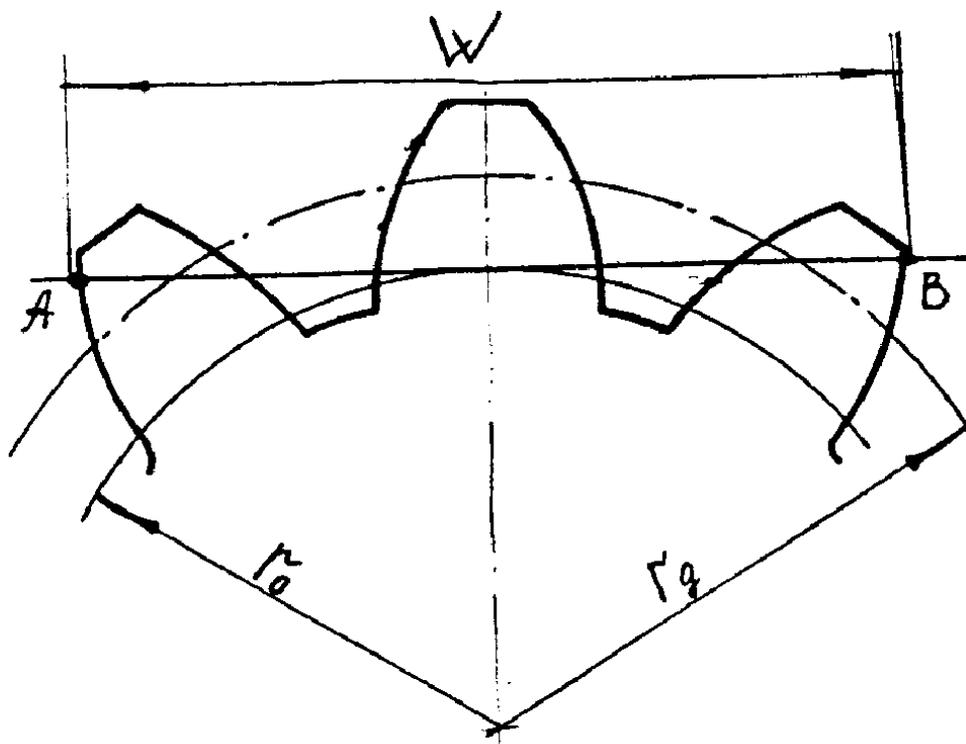


Рис. 14. Длина общей нормали

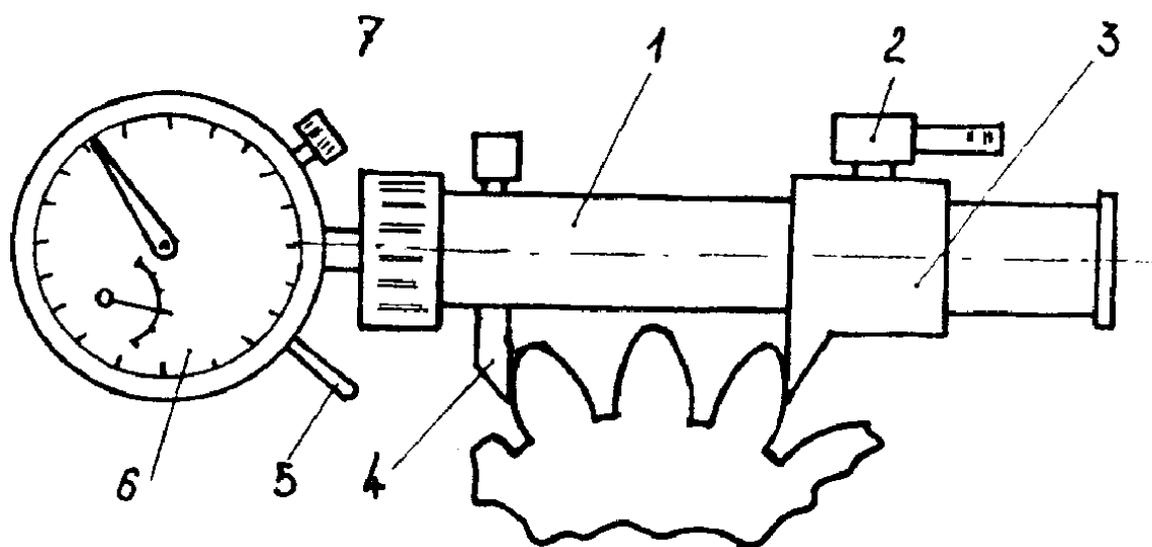


Рис. 15. Измерение длины общей нормали нормалеммером

Длина общей нормали измеряется с помощью нормалеммера (рис. 15), на штанге 1 которого установлены условно-неподвижная губка 3 и подвижная губка 4, соединенная с индикатором часового типа 6. Губка 3 при измерении длины общей нормали остается неподвижной, при настройке она может передвигаться посредством рычага 2. Рычаг 5 выводит индикатор из соединения с губкой 4. Винт 7 служит для точной установки большой стрелки индикатора на нуль.

Измерение производится в такой последовательности. Прибор и зубчатое колесо устанавливаются на приспособлении так, чтобы между измерительными губками помещалось найденное число зубьев. Губка 3 перемещается в направлении губки 4 до соприкосновения их с профилями зубьев колеса, о чем свидетельствует начало вращения большой стрелки индикатора, далее дается нажатие 1,5—2 оборота большой стрелки. Покачивая нормалеммер относительно измеряемого колеса, находят наименьшее отклонение стрелки индикатора и поворотом винта 7 устанавливают ее на нуль. Нажимом на рычаг арретира 5 индикатор выводится из контакта с подвижной губкой 4, затем рычагом 5 губки выводятся из контакта с зубьями зубчатого колеса. Группу зубьев, по которой производилась настройка, необходимо отметить. Несколькими измерениями этой группы зубьев необходимо убедиться в стабильности показаний нормалеммера, после чего приступают к измерениям.

Измерения производятся по всей окружности колеса, через каждый зуб, при этом записываются показания индикатора с учетом знака. Из всех полученных параметров выбирают их максимальное  $W_{\max}$  и минимальное  $W_{\min}$ . Разность этих значений и есть наибольшее колебание длины общей нормали:

$$F_{vwr} = W_{\max} - W_{\min}.$$

После измерения величины радиального биения  $F_{rr}$  и колебания длины общей нормали  $F_{vwr}$  определяется степень кинематической точности зубчатого колеса путем сравнения полученных величин с допусками  $F_r$  и  $F_{vw}$ , приведенными в табл. 3. Для этого по таблице находят такую степень точности, для которой

$$F_r \geq F_{rr} \text{ и } F_{vw} \geq F_{vwr}$$

## Норма кинематической точности

Степень точности	Обозначение показателя	Модуль $m$ , мм	Делительный диаметр до 125 мм
			Значение допуска, мкм
3	$F_i'$	От 1 до 10	см. примечание
	$F_r$	Св. 2 до 3,55	7
	$F_{vw}$	Св. 3,55 до 6	8
	$F_c$	От 1 до 10	5
4	$F_i'$	От 1 до 10	см. примечание
	$F_r$	Св. 2 до 3,55	11
	$F_{vw}$	Св. 3,55 до 6	12
	$F_c$	От 1 до 10	7
5	$F_i'$	От 1 до 16	см. примечание
	$F_r$	Св. 2 до 3,55	18
	$F_{vw}$	Св. 3,55 до 6	19
	$F_i''$	От 1 до 16	11
	$F_c$	Св. 2 до 3,55	25
6	$F_i'$	Св. 3,55 до 6	26
	$F_i''$	От 1 до 16	11
	$F_i'$	От 1 до 16	см. примечание
	$F_r$	Св. 2 до 3,55	28
	$F_{vw}$	Св. 3,55 до 6	30
7	$F_i'$	От 1 до 16	17
	$F_r$	Св. 2 до 3,55	40
	$F_{vw}$	Св. 3,55 до 6	43
	$F_i''$	От 1 до 16	17
	$F_c$	От 1 до 16	17
7	$F_i'$	От 1 до 25	см. примечание
	$F_r$	Св. 2 до 3,55	40
	$F_{vw}$	Св. 3,55 до 6	42
	$F_i''$	От 1 до 25	24
	$F_c$	Св. 2 до 3,55	56
7	$F_i'$	Св. 3,55 до 6	60
	$F_i''$	От 1 до 25	24
	$F_c$	От 1 до 25	24
	$F_i'$	От 1 до 25	см. примечание
	$F_r$	Св. 2 до 3,55	40

Степень точности	Обозначение показателя	Модуль $m$ , мм	Делительный диаметр до 125 мм
			Значение допуска, мкм
8	$F_i'$	От 1 до 56	см. примечание
	$F_r$	Св. 2 до 3,55	50
		Св. 3,55 до 6	53
		Св. 25 до 40	-
	$F_{vw}$	От 1 до 56	30
$F_i''$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	70 75	
9	$F_r$	Св. 2 до 3,55	63
		Св. 3,55 до 6	67
		Св. 40 до 56	-
	$F_i''$	Св. 2 до 3,55	90
		Св. 3,55 до 6	95
10	$F_r$	Св. 2 до 3,55	75
		Св. 3,55 до 6	80
	$F_i''$	Св. 2 до 3,55	105
		Св. 3,55 до 6	110
11	$F_r$	Св. 2 до 3,55	95
		Св. 3,55 до 6	105
	$F_i''$	Св. 2 до 3,55	130
		Св. 3,55 до 6	150
12	$F_r$	Св. 2 до 3,55	120
		Св. 3,55 до 6	130
	$F_i''$	Св. 2 до 3,55	170
		Св. 3,55 до 6	180

### Определение степени плавности работы зубчатого колеса

Степень плавности работы зубчатого колеса в соответствии с ГОСТ 1643-81 может быть оценена комплексом показателей  $f_{pbr}$  (отклонение шага зацепления по основной окружности) и  $f_{fr}$  (погрешность профиля зуба).

*Шаг зацепления*  $P_0$  — это расстояние между одноименными соседними эвольвентами, измеренное по дуге основной окружности или любой касательной к основной окружности.

Шаг зацепления определяется по формуле

$$P_0 = \pi \cdot m \cos \alpha_d,$$

где  $\alpha_d = 20^\circ$ ,

тогда

$$P_0 = 2,951 m.$$

Измерение шага зацепления производится на инструментальном микроскопе.

Настройка микроскопа заключается в следующем. Градусную шкалу угломерной головки устанавливают на  $0^\circ$ , при этом продольное и поперечное перемещения стола будут совпадать с направлениями соответственно горизонтальной и вертикальной штриховых линий в окуляре.

Измеряемое колесо кладется на столик микроскопа или устанавливается на специальной оправке так, чтобы вертикальная штриховая линия в окуляре проходила касательно к эвольвенте зуба (рис. 16), 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, см. рис. 16) записывается отсчет по микровинту продольного перемещения и столик винтом продольного перемещения переводится так, чтобы вертикальная линия окуляра стала касательной к одноименному профилю следующего зуба (положение II—II, см. рис. 16). 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 всех шагов по окружности колеса выбирают их максимальное  $P_0^{\max}$  и минимальное  $P_0^{\min}$  значения и определяют действительные отклонения:

$$+f_{pbr} = P_0^{\max} - P_0,$$

$$-f_{pbr} = P_0^{\min} - P_0.$$

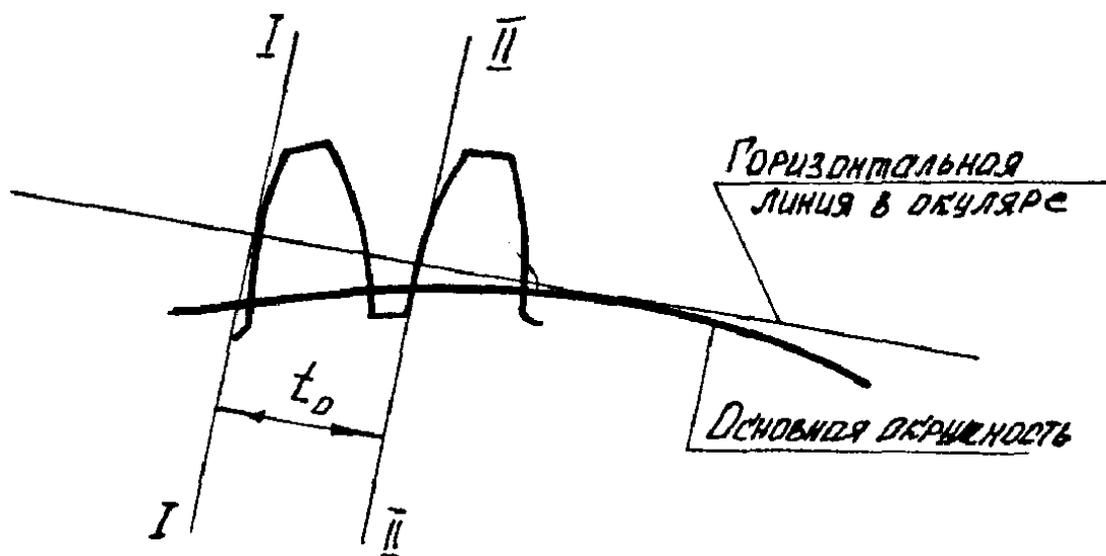


Рис. 16. Измерение основного шага зацепления на инструментальном микроскопе

Погрешность эвольвентного профиля зуба может быть измерена с помощью эвольвентомера МИЗ (рис. 17) со сменным диском, диаметр которого должен быть равен диаметру основной окружности проверяемого колеса.

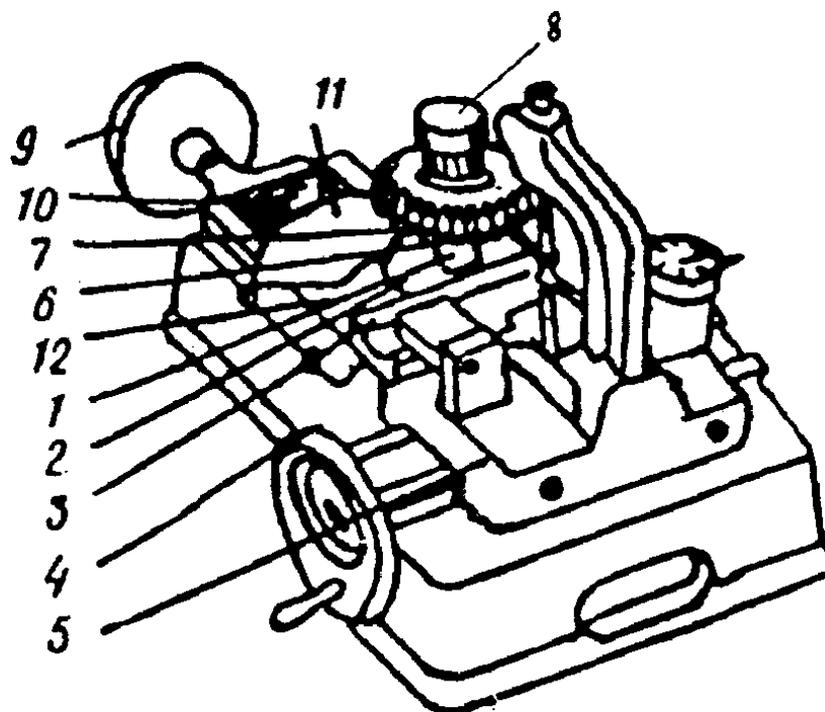


Рис. 17. Общий вид эвольвентомера

Перед измерением прибор настраивают так, чтобы при "нулевом" показании индикатора вершина измерительного наконечника лежала на одной вертикальной линии с точкой касания обка-

точного диска 2 и линейки 3. Эта настройка производится следующим образом.

На оправку 1 эвольвентомера ставят диск 2 нужного диаметра и закрепляют его гайкой 8.

С помощью маховика 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 1 так, чтобы вершина измерительного наконечника опиралась на радиальную плоскость шаблона.

Путем ряда поворотов установочного шаблона находят такое его положение, при котором перемещение каретки 12 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 1, где установлен обкаточный диск 2, ставят проверяемое колесо и указатель совмещают с нулем шкалы 11. Маховичком 9 перемещают каретку 12 до соприкосновения обкаточного диска с линейкой 3, а затем до полного сжатия пружины 10, следя при этом, чтобы измерительный наконечник 7 свободно вошел во впадину проверяемого колеса. Поворотом проверяемого колеса индикатор устанавливают 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  $5^\circ$  угла развернутости  $\varphi$ , который отсчитывается по шкале 11. Для наглядности по полученным данным строится действительный профиль зуба, затем полученный профиль сопоставляется с теоретическим (рис. 18).

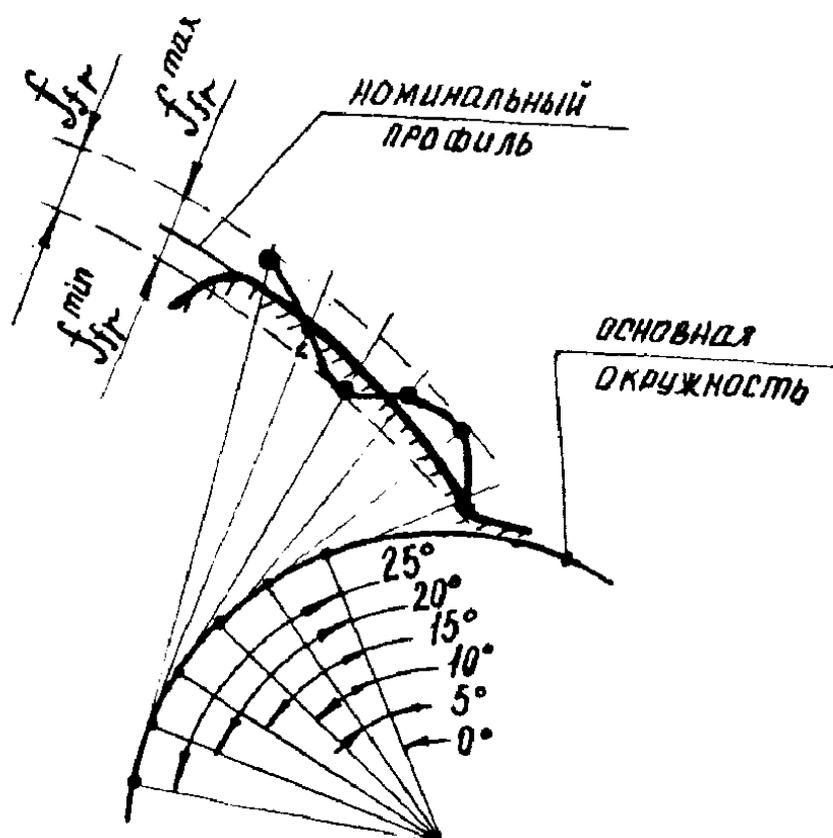


Рис. 18. Схема построения действительного профиля зуба

Разность между максимальным и минимальным отклонениями действительного профиля от теоретической эвольвенты есть величина полной действительной погрешности профиля:

$$f_{fr} = f_{fr}^{max} - f_{fr}^{min}.$$

В результате измерения основного шага и погрешности эвольвентного профиля зуба получено:

$$+f_{pbr}; -f_{pbr} \text{ и } f_{fr}.$$

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

## Нормы плавности работы

Степень точности	Обозначение показателя	Модуль $m$ , мм	Делительный диаметр до 125 мм
			Величина допуска, мкм
3	$f_i'$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	7 8
	$f_{pb}$	Св. 2 до 3,55 Св. 2 до 3,55	$\pm 3$ $\pm 3$
	$f_{pt}$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	$\pm 3$ $\pm 3$
	$f_f$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	4 4
4	$f_i'$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	10 11
	$f_{pb}$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	$\pm 5$ $\pm 5$
	$f_{pt}$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	$\pm 5$ $\pm 5$
	$f_f$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	5 6
5	$f_i'$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	14 16
	$f_{pb}$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	$\pm 7$ $\pm 8$
	$f_{pt}$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	$\pm 7$ $\pm 8$
	$f_f$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	7 8
		От 1 до 2	11
	$f_i''$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	11 13
6	$f_i'$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	20 22
	$f_{pb}$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	$\pm 11$ $\pm 12$
	$f_{pt}$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	$\pm 12$ $\pm 13$
	$f_f$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	9 10
		Св. 2 до 3,55	16
	$f_i''$	Св. 2 до 3,55 Св. 3,55 до 6	16 18

Степень точности	Обозначение показателя	Модуль $m$ , мм	Делительный диаметр до 125 мм
			Величина допуска, мкм
7	$f_i'$	Св. 2 до 3,55	28
		Св. 3,55 до 6	32
	$f_{pb}$	Св. 2 до 3,55	$\pm 16$
		Св. 3,55 до 6	$\pm 18$
	$f_{pt}$	Св. 2 до 3,55	$\pm 16$
		Св. 3,55 до 6	$\pm 18$
$f_f$	Св. 2 до 3,55	12	
	Св. 3,55 до 6	14	
$f_i''$	Св. 2 до 3,55	22	
	Св. 3,55 до 6	25	
8	$f_i'$	Св. 2 до 3,55	38
		Св. 3,55 до 6	45
	$f_{pb}$	Св. 2 до 3,55	$\pm 22$
		Св. 3,55 до 6	$\pm 24$
	$f_{pt}$	Св. 2 до 3,55	16
		Св. 3,55 до 6	19
$f_f$	Св. 2 до 3,55	32	
	Св. 3,55 до 6	36	
9	$f_{pt}$	Св. 2 до 3,55	$\pm 32$
		Св. 3,55 до 6	$\pm 36$
	$f_i''$	Св. 2 до 3,55	40
		Св. 3,55 до 6	45
10	$f_{pt}$	Св. 2 до 3,55	$\pm 45$
		Св. 3,55 до 6	$\pm 50$
	$f_i''$	Св. 2 до 3,55	50
		Св. 3,55 до 6	56
11	$f_{pt}$	Св. 2 до 3,55	$\pm 63$
		Св. 3,55 до 6	$\pm 71$
	$f_i''$	Св. 2 до 3,55	63
		Св. 3,55 до 6	71
12	$f_{pt}$	Св. 2 до 3,55	$\pm 90$
		Св. 3,55 до 6	$\pm 100$
	$f_i''$	Св. 2 до 3,55	80
		Св. 3,55 до 6	90

## 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 двух-профильного контроля КПД-300 (рис. 19).

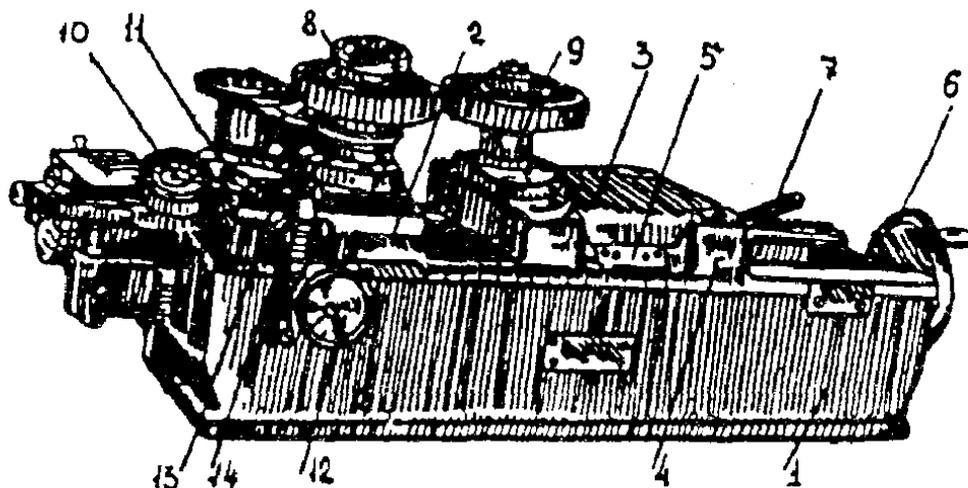


Рис. 19. Общий вид межцентромера КПД-300

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 нониус 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:

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

где  $h_m$  — средняя высота пятна контакта;

$b$  — длина зуба колеса;

$h_p$  — рабочая высота зуба для некоррегированных колес ( $h_p = 2m$ );

$a$  — расстояние по длине зуба между крайними точками пятна контакта;

$c$  — 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.

Таблица 5

Нормы контакта зубьев

Степень точности	Параметр	Размерность	Допускаемые значения
3	Суммарное пятно контакта	%	по высоте не менее 65 по длине не менее 95
4	- " -	- " -	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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА СОПРЯЖЕНИЯ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА

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

С целью уменьшения толщины зуба относительно ее номинального значения и создания таким образом бокового зазора исходный контур (зуборезный инструмент) смещают от его номинального положения в тело (в сторону оси вращения) колеса. Для каждого вида сопряжения предусматриваются (рис. 20) наименьшее дополнительное смещение исходного контура ( $E_{Hs}$ ) и допуск на величину этого смещения ( $T_H$ ).

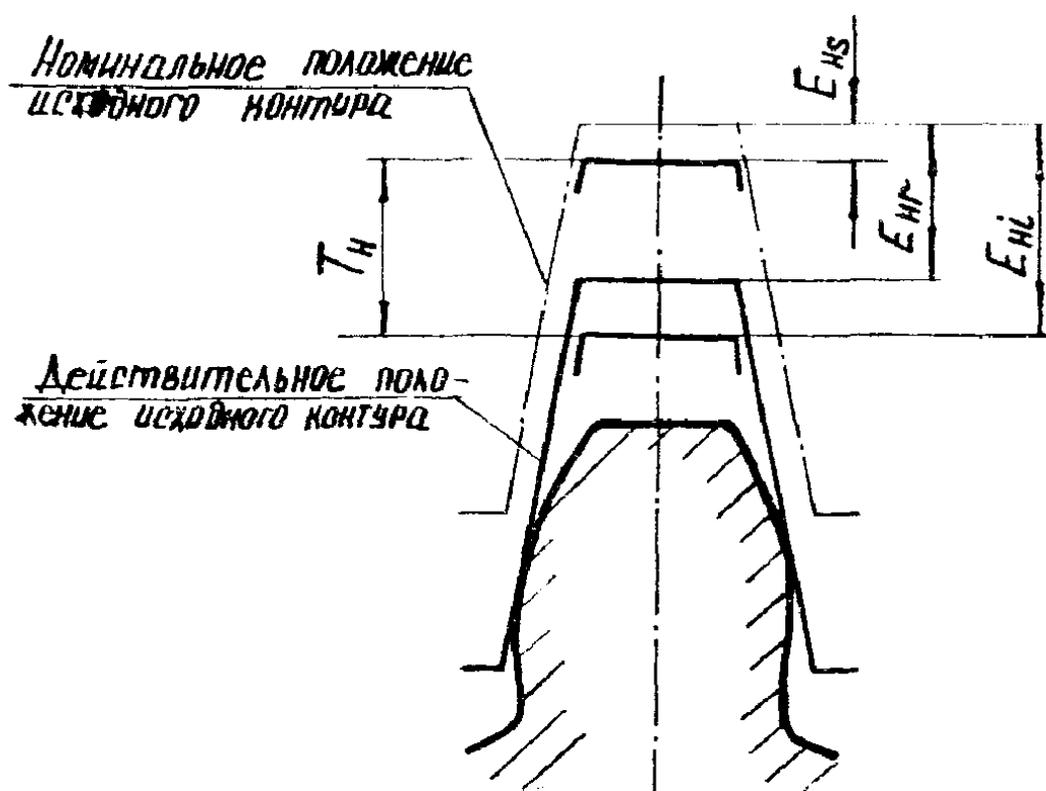


Рис. 20.  $E_{Hr}$  — фактическое дополнительное смещение исходного контура;

$T_H$  — допуск на смещение исходного контура;  $E_{Hs}$  — наименьшее дополнительное смещение исходного контура (верхнее отклонение);

$E_{Hi}$  — наибольшее дополнительное смещение исходного контура  
(нижнее отклонение)

Для обеспечения определенного характера сопряжения необходимо, чтобы дополнительное смещение исходного контура

( $E_{Hr}$ ) было не менее предписанного наименьшего ( $E_{Hs}$ ) и не более суммы ( $E_{Hs} + E_H$ ), т. е.  $E_{Hs} \leq E_{Hr} \leq E_{Hs} + E_H$ .

Величина смещения исходного контура измеряется с помощью тангенциального зубомера. Перед измерением зубомер настраивается на номинальное положение исходного контура по специальному установочному ролику, диаметр которого зависит от модуля измеряемого колеса (см. рис. 21). Установочный ролик помещают на призму-подставку и с помощью винта 3 прибор настраивают так, чтобы измерительные губки 4 примерно серединами своих рабочих поверхностей касались ролика. В этом положении измерительные губки закрепляются гайками 6. В отверстие корпуса 1 вставляется индикатор 2, снабженный удлиненным измерительным стержнем 5.

После того как измерительный стержень упрется в ролик и большая стрелка индикатора сделает два полных оборота, индикатор закрепляют винтом 7 и поворотом шкалы устанавливают на нуль. Путем ряда пробных установок на ролик необходимо убедиться в стабильности показаний прибора.

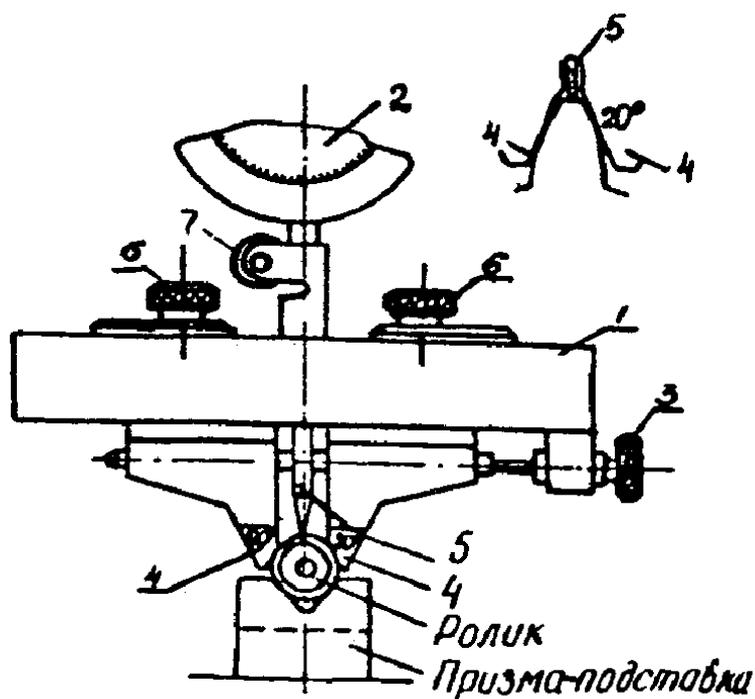


Рис. 21. Настройка тангенциального зубомера

Пронумеровав зубья колеса, зубомер накладывают на первый зуб и, покачивая его, определяют максимальное отклонение стрелки индикатора. Это отклонение и является величиной дополнительного смещения исходного контура ( $E_{Hr}$ ) от его номинального положения, если окружность выступов не имеет радиального биения и диаметр ее выполнен точно по номинальному размеру. Однако, так как радиальное биение окружности выступов зубьев, которая является базой, и погрешность ее диаметра вносят соответствующие ошибки в показания зубомера, то эти ошибки должны быть учтены.

Действительная величина дополнительного смещения исходного контура может быть вычислена по формуле

$$E_{Hr} = E_{Hr \text{ изм}} - \frac{\Delta D_e}{2} - e_z;$$

где  $E_{Hr \text{ изм}}$  — измеренная величина дополнительного смещения исходного контура;

$\Delta D_e$  — отклонение действительного диаметра окружности выступов зубьев колеса от его номинального размера;

$$\Delta D_e = D_{e\partial} - D_e;$$

$D_{e\partial}$  — диаметр зубчатого колеса, получаемый измерением с помощью микрометра,

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

$e_z$  — радиальное смещение окружности выступов для измеряемого зуба.

На практике можно считать, что радиальные смещения окружностей выступов у диаметрально противоположных зубьев равны по абсолютной величине и противоположны по знаку, поэтому величину  $e_z$  определяют следующим образом. В центры биения устанавливается оправка с контролируемым колесом. Измерительный стержень индикатора с некоторым натягом ставят на окружность выступов зуба (желательно с наибольшим радиальным смещением) и поворотом шкалы индикатор настраивают на нуль. Далее зубчатое колесо поворачивают на  $180^\circ$  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  $E_{Hr \text{ изм}}$ ,  $\Delta D_e$  и  $e_z$  по всей окружности колеса регистрируют в протоколе.

Из всех полученных значений  $E_{Hr \text{ изм}}$  выбирают минимальное и максимальное и по ним рассчитывают  $E_{Hr}^{\min}$  и  $E_{Hr}^{\max}$ , учитывая величину  $e_z$  соответствующих зубьев и  $\Delta D_e$ . 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

$$E_{Hs} \leq E_{Hr}^{\min}.$$

Вид допуска на боковой зазор определяют (табл. 7) в зависимости от величины радиального биения зубчатого венца  $F_r$ , при этом необходимо выполнение условия

$$T_H \geq E_{Hr}^{\max} - E_{Hr}^{\min}.$$

Т а б л и ц а 6

Нормы бокового зазора (показатель  $E_{Hs}$  мкм)

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавности	Делительный диаметр, мм	
		Св. 80 до 125	Св. 125 до 180
<i>H</i>	3-6	14	16
	7	15	18
<i>E</i>	3-6	35	40
	7	40	45
<i>D</i>	3-6	55	63
	7	60	70
	8	65	75
	3-6	85	100
<i>C</i>	7	95	110
	8	105	120
	9	110	130
	3-6	140	160
	7	150	170
<i>B</i>	8	170,	190
	9	180	200
	10	200	220
	3-6	220	250
	7	240	280
	8	260	300
	9	280	320
<i>A</i>	10	300	340
	11	320	380
	12	360	420

Нормы бокового зазора ( $T_H$  — допуск на смещение исходного контура, мкм)

Вид сопряжения	Вид допуска бокового зазора	Допуск на радиальное биение зубчатого венца $F_r$ , мкм							
		Св. 80	Св. 100	Св. 125	Св. 160	Св. 200	Св. 250	Св. 320	Св. 400
		до 100	до 125	до 160	до 200	до 250	до 320	до 400	до 500
$H, E$	$h$	120	140	170	220	260	340	420	500
$D$	$d$	150	180	220	280	340	420	530	630
$C$	$c$	200	220	280	360	420	530	670	850
$B$	$b$	240	280	360	420	530	670	850	1060
$A$	$a$	300	360	450	560	670	850	1060	1320
-	$x$	360	450	560	680	850	1060	1320	1600
-	$y$	450	560	680	850	1060	1320	1600	2000
-	$z$	560	680	850	1060	1320	1600	2000	2500

Пример. Измерение зубчатого колеса с  $D = 100$  мм,  $m = 4$  мм получили:  $F_{rr} = 42$  мкм;  $F_{vw} = 21$  мкм;  $+f_{pbr} = +20$  мкм;  $-f_{pbr} = -10$  мкм;  $f_{fr} = 21$  мкм, суммарное пятно контакта по высоте — 46%, по длине — 55%;  $E_{Hr}^{\min} = 110$  мкм;  $H_{Hr}^{\max} = 190$  мкм.

Необходимо определить нормы точности, вид сопряжения и вид допуска бокового зазора.

По табл. 3 находим такую степень кинематической точности зубчатого колеса, для которой  $F_r \geq F_{rr}$  и  $F_{vw} \geq F_{vw}$ . Измеренное колесо отвечает норме кинематической точности 7-й степени.

По табл. 4 устанавливаем норму плавности зубчатого колеса. При этом необходимо, чтобы

$$+f_{pb} \geq +f_{pbr}; -f_{pb} \geq -f_{pbr}; f_f \geq f_{fr}.$$

Такому условию соответствует норма плавности 8-й степени.

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

По табл. 6 находим, что при 8-й степени по нормам плавности наименьшему смещению исходного контура  $E_{Hr}^{\min} = 110$  мкм соответствует вид С.

Из табл. 7 определяем, что разность между наибольшим и наименьшим смещением исходного контура, равная 80 мкм при радиальном биении зубчатого венца  $F_{rr} = 42$  мкм, меньше допуска  $s$  на смещение исходного контура, т. е.  $E_{Hr}^{\max} - E_{Hr}^{\min} < T_H$ , или  $190 - 110 < 110$ .

Таким образом, после всех измерений установлено, что колесо, параметры которого приведены в примере, соответствует нормам 7—8—8—С ГОСТ 1643-81.

### **Библиографический список**

1. Я к у ш е в А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Машиностроение, 1990.
2. З я б р е в а Н. Н., П е р е л ь м а н Е. И., Ш е г а л М. Ц. Пособие к решению задач по курсу "Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения". М.: Высш. шк., 1977.
3. Допуски и посадки: Справочник / Под ред. В. Д. Мягкова. Л.: Машиностроение, 1978.
4. ГОСТ 1643-81. Передачи зубчатые цилиндрические.

## **ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И КОНТРОЛЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

**Составители: Попов Иван Григорьевич,  
Шабалин Юрий Александрович**

Редактор Г. А. Усачева  
Техн. редактор Г. А. Усачева  
Корректор Т. И. Щелокова

Подписано в печать 27.03.96. Формат 60x84 1/16.  
Бумага писчая. Печать офсетная. Усл.печ.л. 1,86.  
Усл.кр.-отт. 1,98. Уч.-изд.л. 2,0.  
Тираж 200 экз. Заказ **98**.

Самарский государственный аэрокосмический университет  
им. академика С. П. Королева.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического  
университета. 443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.