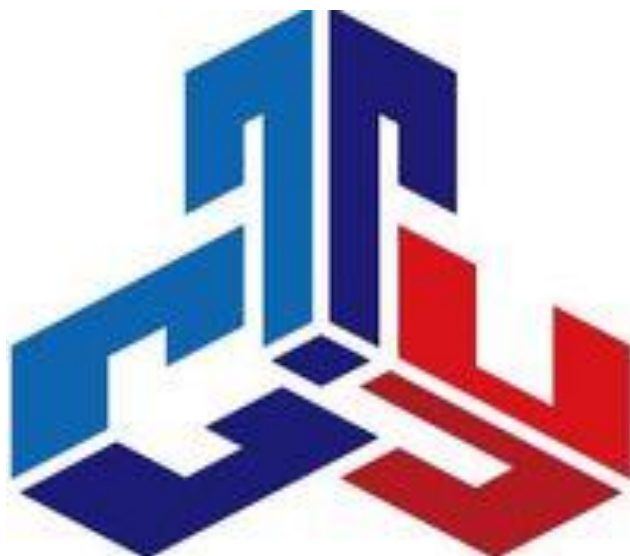


**СОВРЕМЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



**МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ**

Практикум для студентов-бакалавров  
технических специальностей и направлений

Рязань, 2018 г.

УДК 658.562:006.83  
ББК658.516 (065)  
М54

**Метрология, стандартизация и сертификация, -** Практикум для студентов технических специальностей и направлений /сост. Егоров А.Г., Паршков А.В., Фроловский М.Ю.

Совр. техн. универ-т. – Рязань, 2018. – 30 с., – 50 экз.

*Рецензент: к.т.н., доцент кафедры «МТД» Рязанского института (филиала) Университета Машиностроения Строилов Ю.Ф*

Практикум содержит необходимые теоретические сведения и задания для проведения практических и лабораторных занятий по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация».

Предназначен для студентов технических специальностей и направлений всех форм обучения, обучающихся в СТИ.

УДК 658.562:006.83  
ББК658.516 (065)  
М54

© А.Г. Егоров, А.В.Паршков, М.Ю.Фроловский  
© Современный технический университет, 2018

## Практическое занятие № 1

### Выбор средств измерения и контроля размеров деталей

#### 1 Общие сведения

Основными факторами, определяющими выбор средств измерения, являются: тип производства; конструктивные особенности и размеры контролируемых деталей; допускаемая погрешность измерения, нормированная стандартами.

Погрешности измерения неизбежны и зависят от погрешностей измерительного средства, метода измерения, установочной меры и установки по ней прибора, условий измерений и других факторов.

Погрешность измерения  $\Delta x$  – это разность между результатом измерения  $X_g$  и истинным значением измеряемой величины  $X$ , т.е.  $\Delta X = X_d - X$ .

Допускаемой погрешностью измерения  $\delta$  называется предельное значение погрешности измерения, которое может быть допущено при определении действительного размера для оценки соответствия его допускаемым предельным размерам,.

Допускаемая погрешность измерения  $\delta$  должна быть незначительной по сравнению с допуском контролируемого параметра изделия  $T$  (IT).

Для измерения линейных размеров до 500 мм ГОСТ 8.051-81 устанавливает значения допускаемой погрешности измерения  $\delta$  в зависимости от допуска на изготовление изделия  $T$  (IT), номинального размера и качества (таблице 1).

Установленные стандартом допускаемые погрешности измерений  $\delta$  включают в себя как случайные, так и не учтенные систематические погрешности, т.е. все составляющие, зависящие от измерительных средств, установочных мер, температурных колебаний, базирования и т.д. При этом случайная погрешность измерения не должна превышать 0,6 от нормированной допускаемой погрешности измерения  $\delta$  и принимается равной  $2\delta$ , т.е. с доверительной вероятностью 0,954, где  $\delta$  – значение среднего квадратического отклонения по-

грешности измерения.

Измерительное средство следует выбирать так, чтобы предельная погрешность измерения ( $\pm \Delta \text{lim}$ ), являющаяся нормированным метрологическим показателем данного измерительного средства, не превышала допускаемой погрешности измерения  $\delta$ , т.е.  $\pm \Delta \text{lim} = \delta$ .

Таблица 1 – Допускаемые погрешности измерений  $\delta$  (мкм) в зависимости от допусков Т или IT по ГОСТ 8.051-81

Номинальные размеры, мм	К в а л и т е т ы							
	2	3	4	5	6	7	8	9
	IT $\delta$	IT $\delta$	IT $\delta$	IT $\delta$	IT $\delta$	IT $\delta$	IT $\delta$	IT $\delta$
Св. I до 3	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0 I,8	10,0	14,0	25,0
	0,4	0,8	1,0	1,4		3,0	3,0	6,0
" 3 до 6	1,5	2,5	4,0	5,0	8,0 2,0	12,0	18,0	30,0
	0,6	1,0	1,4	1,6		3,0	4,0	8,0
" 6 до 10	1,5	2,5	4,0	6,0	9,0 2,0	15,0	22,0	36,0
	0,6	1,0	1,4	2,0		4,0	5,0	9,0
" 10 до 18	2,0	3,0	5,0	8,0	11,0	1,8	27,0	43,0
	0,8	1,2	1,6	2,8	3,0	5,0	7,0	10,0
" 18 до 30	2,5	4,0	6,0	9,0	13,0	21,0	33,0	52,0
	1,0	1,4	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	12,0
" 30 до 50	2,5	4,0	7,0	11,0	1,6 5,0	25,0	39,0	62,0
	1,0	1,4	2,4	4,0		7,0	10,0	16,0
" 50 до 80	3,0	5,0	8,0	13,0	19,0	30,0	46,0	74,0
	1,2	1,8	2,8	4,0	5,0	9,0	12,0	18,0
" 80 до 120	4,0	6,0	10,0	15,0	22,0	35,0	54,0	87,0
	1,6	2,0	3,0	5,0	6,0	10,0	12,0	20,0
" 120 до 180	5,0	8,0	12,0	18,0	25,0	40,0	63,0	100,0
	2,0	2,8	4,0	6,0	7,0	12,0	16,0	30,0
" 180 до 250	7,0	10,0	14,0	20,0	29,0	46,0	72,0	115,0
	2,8	4,0	5,0	7,0	8,0	12,0	18,0	30,0
" 250 до 315	8,0	12,0	16,0	23,0	32,0	52,0	81,0	130,0
	3,0	4,0	5,0	8,0	10,0	14,0	20,0	30,0
" 315 до 400	9,0	13,0	18,0	25,0	36,0	57,0	89,0	140,0
	3,0	5,0	6,0	9,0	10,0	18,0	24,0	40,0
" 400 до 500	10,0	15,0	20,0	27,0	40,0	63,0	97,0	155,0
	4,0	5,0	6,0	9,0	12,0	18,0	26,0	40,0

Номинальные размеры , мм	К в а л и т е т ы							
	2	3	4	5	6	7	8	9
	IT δ	IT δ	IT δ	IT δ	IT δ	IT δ	IT δ	IT δ
Св. I до 3	40,0 8,0	60,0 12,0	100,0 20,0	140,0 30,0	250,0 50,0	400,0 80,0	600,0 120,0	
" 3 до 6	48,0 10,0	75,0 16,0	120,0 30,0	180,0 40,0	300,0 60,0	480,0 100,0	750,0 160,0	
" 6 до 10	58,0 12,0	90,0 18,0	150,0 30,0	220,0 50,0	360,0 80,0	580,0 120,0	900,0 200,0	
" 10 до 18	70,0 14,0	110,0 30,0	180,0 40,0	270,0 60,0	430,0 90,0	700,0 140,0	1100,0 240,0	
" 18 до 30	84,0 18,0	130,0 30,0	210,0 50,0	330,0 70,0	520,0 120,0	840,0 180,0	1300,0 280,0	
" 30 до 50	100,0 20,0	160,0 40,0	250,0 50,0	390,0 80,0	620,0 140,0	1000,0 200,0	1600,0 320,0	
" 50 до 80	120,0 30,0	190,0 40,0	300,0 60,0	460,0 100,0	740,0 160,0	1200,0 240,0	1900,0 400,0	
" 80 до 120	160,0 40,0	250,0 50,0	400,0 80,0	630,0 140,0	1000,0 200,0	1600,0 320,0	2500,0 440,0	
" 120 до 180	160,0 40,0	250,0 50,0	400,0 80,0	630,0 140,0	1000,0 200,0	1600,0 320,0	2500,0 500,0	
" 180 до 250	185,0 40,0	290,0 60,0	460,0 100,0	720,0 160,0	1150,0 240,0	1850,0 380,0	2900,0 600,0	
" 250 до 315	210,0 50,0	320,0 70,0	520,0 120,0	810,0 180,0	1300,0 260,0	2100,0 440,0	3200,0 700,0	
" 315 до 400	230,0 50,0	360,0 80,0	570,0 120,0	890,0 180,0	1400,0 280,0	2300,0 460,0	3600,0 800,0	
" 400 до 500	250,0 50,0	400,0 80,0	630,0 140,0	970,0 200,0	1550,0 320,0	2500,0 500,0	4000,0 800,0	

Чем ближе значение предельной погрешности измерительного средства ( $\pm \Delta \lim$ ) к значению допускаемой погрешности измерения  $\delta$ , тем менее трудоемким и более дешевым будет измерение.

Предельные погрешности ( $\pm \Delta \lim$ ) основных измерительных инструментов и приборов, установленные расчетным и экспериментальным путем, приводятся в таблице 2 и 3 соответственно для измерения наружных и внутренних размеров.

Сравнение предельной погрешности средства измерения ( $\pm \Delta \lim$ ) с до-

пускаемой погрешностью измерения  $\delta$  производится без учета знака  $\Delta \text{lim}$ .

Значения размеров, полученных при измерении с погрешностью, не превышающей допускаемую погрешность измерения, принимаются за действительные.

При проведении приемочного контроля изделий серийного и массового производства погрешности измерений, являясь случайными величинами, неизбежно приводят к рассеянию результатов измерений и влияют на качество контроля.

Влияние погрешности измерения на те размеры, которые находятся ближе к центру группирования, будет сказываться только на их перераспределении внутри поля допуска. Влияние погрешности измерения на те размеры, которые находятся близко к границам поля допуска, приведет к тому, что часть годных деталей (их истинные размеры находятся в пределах поля допуска) будет забракована, а часть деталей, истинные размеры которых находятся за пределами поля допуска, будет принята как годная (рисунок1).

Таблица 2 – Предельные погрешности средств измерений для наружных размеров

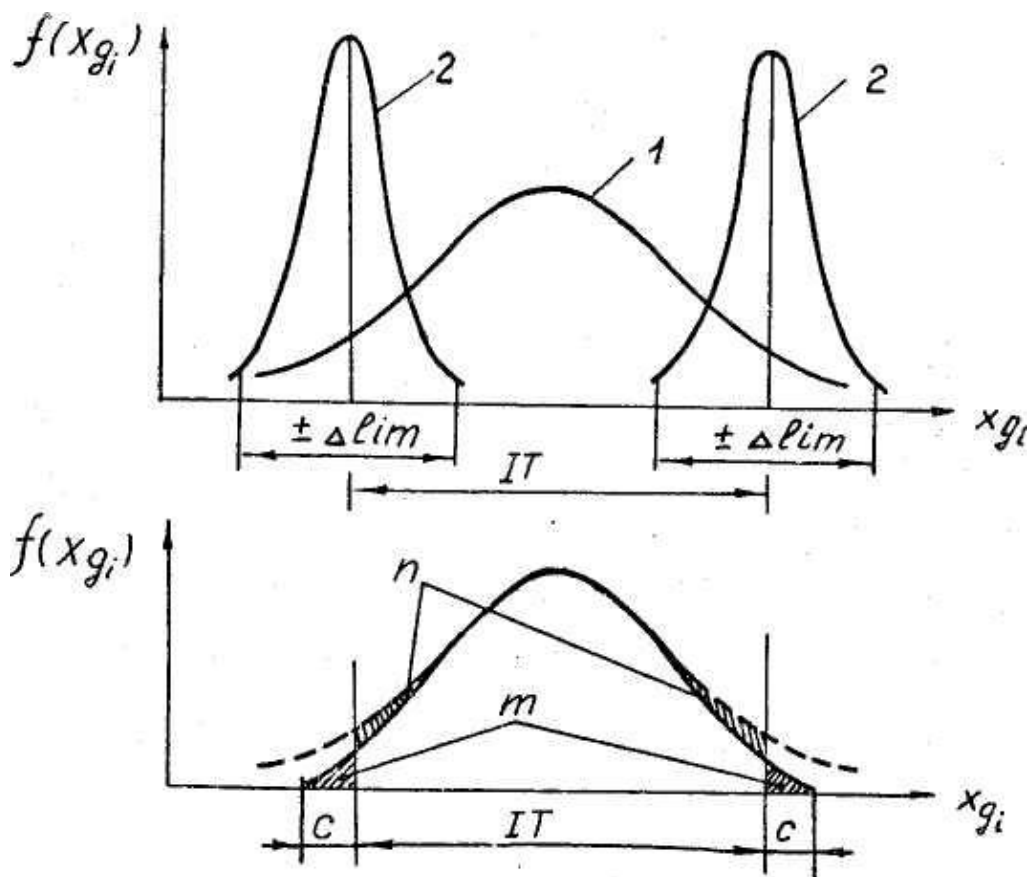
Средства измерения	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм						
	до 10	св.10 до 50	св.50 до 80	св.80 до 120	св.120 до 180	св.180 до 250	св.250 до 500
Штангенциркули с ценой деления шкалы нониуса 0,1 мм.	150	150	200	200	200	200	250
Штангенциркули с ценой деления шкалы нониуса 0,05мм.	100	100	100	100	100	100	100
Диапазон размеров, мм	до 25	св.25 до 50	св.50 до 75	св.75до 100	св.100 до 112	св.112 до 150	св.150 до 175
Микрометры гладкие (типа МК); при работе находятся в руках	5	5	5	5	10	10	10
Диапазон размеров, мм	1-3	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80
Индикаторы часового типа (ИЧ и ИТ) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения от 2 до 10 мм, класс точности 1	15	15	15	15	16	16	18

По ГОСТ 8.051-61 влияние погрешностей измерения оценивается параметрами:

$m$  – количество деталей в процентах от общего количества измеренных, имеющих размеры, выходящие за предельные размеры и принятые в числе годных (неправильно принятые);

$n$  – количество деталей в процентах от общего количества измеренных, имеющих размеры, не превышающие предельные размеры и забракованные (неправильно забракованные);

$C$  – вероятностная предельная величина выхода размера за предельные размеры у неправильно принятых деталей.



1 – нормальный закон распределения размеров деталей  $X_{gi}$  ;

2 – нормальный закон распределения погрешности измерений

Рисунок 1 – Влияние погрешностей измерения на распределение размеров контролируемых деталей

Для различных законов распределения погрешностей измерения и при распределении контролируемых размеров по нормальному закону значения параметров  $m$ ,  $n$ ,  $C$  определяются по графикам стандарта ГОСТ 8.051-81 в зависимости от относительной погрешности измерения  $A_{мет}(\delta)$  и от относительной точности изготовления ИТ/  $\delta_{тех}$ ; ИТ – допуск на изготовление контролируемого параметра, мкм;  $\delta_{тех}$  - среднее квадратическое отклонение погрешности изготовления, мкм.

Относительная погрешность измерения определяется по формуле

$$A_{мет}(\delta) = \delta / IT \cdot 100\%$$

где  $\delta$  – среднее квадратическое отклонение погрешности измерения, мкм.

Если точность технологического процесса не известна, то параметры  $m$ ,  $n$ ,  $C/IT$  определяются по таблице 4 в зависимости от  $A_{мет}(\delta)$ , значения которого приводятся для различных квалитетов по ГОСТ 8.051-81 в таблице 3.

Таблица 3 – Относительная погрешность измерения

Квалитет	$A_{мет}(\delta), \%$
2-7	16
8, 9	12
10 и грубее	10

Таблица 4 – Предельные значения параметров  $m, n, C/IT$

$A_{мет}(\delta), \%$	$m, \%$	$n, \%$	$C/IT$
1,6	от 0,37 до 0,39	от 0,7 до 0,75	0,01
3	" 0,87 " 0,9	" 1,2 " 1,3	0,03
5	" 1,6 " 1,7	" 2,0 " 2,25	0,06
8	" 2,6 " 2,8	" 3,4 " 3,7	0,1
10	от 3,1 до 3,5	от 4,5 до 4,75	0,14
12	- 3,75 "4,1	" 5,4 " 5,8	0,17
16	" 5,0 " 5,4	" 7,8 " 8,25	0,25

Примечания: Предельные значения параметров  $m$ ,  $n$ ,  $C/IT$  учитывают влияние только случайной составляющей погрешности измерения. Первые значения  $m$  и  $n$  соответствуют распределению погрешностей измерения по нормальному закону; вторые – по закону равной вероятности.



Тот же стандарт предусматривает два способа установления приемочных границ с учетом погрешностей измерения.

Первый способ: приемочные границы устанавливаются совпадающими с предельными размерами.

Второй способ: приемочные границы смещаются внутрь относительно предельных размеров (внутри поля допуска) и вводится, таким образом, производственный допуск, но при этом происходит, уменьшение допуска на изготовление. Поэтому применение первого способа предпочтительнее.

Пример. Выбрать средство измерения для контроля вала размером  $\varnothing 85n7$  и определить параметры  $m$ ,  $n$ ,  $C$ .

По ГОСТ 25347-82 находим предельные отклонения для вала размером  $\varnothing 85n7$ :  $ES +58$  мкм;  $Ei = +23$  мкм.

Определяем допуск:  $T = 35$  мкм.

По таблице 1 в графе "номинальные размеры" находим интервал размеров св.80 до 120, в который входит номинальный размер контролируемого вала, и для 7-го качества этого интервала ( $IT 7 = 35$  мкм) устанавливаем допускаемую погрешность измерения  $\delta = 10$  мкм.

Для выбора средства измерения по таблице 2 для интервала размеров св.80 до 120 мм подбираем такое значение  $\Delta_{lim}$ , которое было бы равно или меньше  $\delta = 10$  мкм.

Для данного примера такому условию удовлетворяет микрометр гладкий (тип МК) для измерений наружных размеров изделий; цена деления шкалы – 0,01 мм; диапазон измерений – 25 мм; пределы измерений 75-100 мм; предельная погрешность измерения  $\pm \Delta_{lim} = 6$  мкм.

Поскольку неизвестны среднее квадратическое отклонение погрешности измерения  $\sigma$  и относительная точности изготовления  $IT/\sigma$  тех, по таблице 4 для 7-го качества определяем  $A_{мет}(\delta) = 16\%$ .

Принимаем нормальный закон распределения погрешности измерений, поэтому по таблице 5 берем первые значения  $m$ ,  $n$  и  $C/IT$ .

$m = 5\%$ , т.е. из 100 проверенных деталей 5 бракованных попадут в число

ГОДНЫХ;

$n = 7,8\%$ , т.е. из 100 проверенных деталей около 8 годных будут признаны бракованными;  $-0,25$ , откуда  $C = 0,25 - IT7 = 0,25 - 35 \gg 8,75$  мкм.

Это значит, что среди годных деталей может оказаться до 5% неправильно принятых деталей с вероятностными предельными отклонениями:

$$ES + c = +58 + 8,75 = +66,75 \text{ мкм,}$$

$$Ei - c = +23 - 8,75 = +14,25 \text{ мкм.}$$

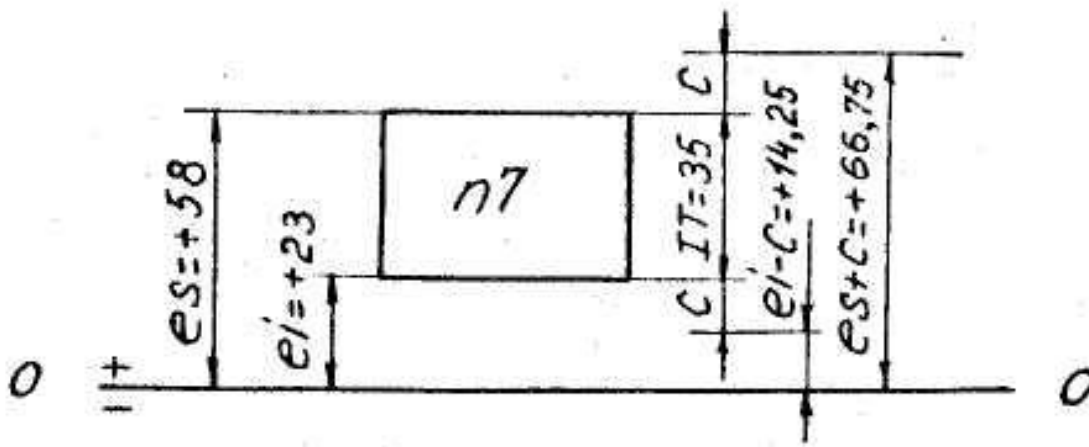


Рисунок 2 – Схема поля допуска для вала  $\Phi 85n7$

## 2 Описание измерительных средств и их применение

### 2.1 Штангенинструменты

К основным штангенинструментам относятся штангенциркули (рисунок 3), штангенглубиномеры, штангенрейсмусы, штангензубомеры. Все эти инструменты предназначены для абсолютного метода измерений линейных размеров, а также для воспроизведения размеров при разметке деталей. Отсчетным устройством в штангенинструментах являются основная шкала и нониус. Нониус – это дополнительная шкала, позволяющая отсчитывать дробные доли интервала делений основной шкалы.

Штангенинструменты изготавливают с величиной отсчета по нониусу 0,1; 0,05 и 0,02 мм.

Основные шкалы имеют интервал между штрихами 1 или 0,5 мм. Отсчеты целых и половины миллиметров делают по основной шкале от нуля основной шкалы до нониусного нуля. Доли миллиметра снимают по нониусной шкале, отсчитывая число отрезков от нониусного нуля до риски, наиболее точно совпадающей с риской основной шкалы. Полученное число отрезков умножают на величину отсчета по нониусу и результат складывают с величиной, полученной по основной шкале. Примеры отсчетов приведены на рисунке 4.

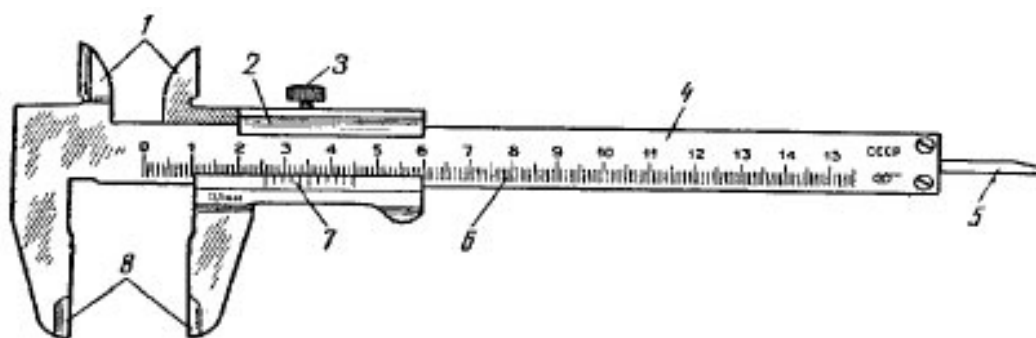


Рисунок 3 – Штангенциркуль

Штангенциркуль (рисунок 3) предназначен для измерения наружных и

внутренних размеров детали.

Основной частью штангенциркуля является штанга 4, на которой нанесена миллиметровая шкала 5. Неподвижная губка жестко скреплена (или составляет одно целое) со штангой и называется "губкой штанги". Измерительная поверхность губки строго перпендикулярна продольным граням штанги. Подвижная губка 8 и рамка 2 представляют одно целое.

На рамке 2 нанесена нониусная линейка 7 со шкалой. Зажимной винт 3 служит для закрепления рамки на штанге в требуемом положении.



Рисунок 4 – Шкала штанги и нониус

При измерении наружных размеров штангенциркулем деталь зажимается между внутренними поверхностями губок 8 (рисунок 3).

При измерении внутренних размеров измерительные поверхности губок 1 приводятся в соприкосновение со стенками отверстия.

Измерение производится следующим образом.

При отstopоренном зажимном винте 3 (рисунок 3) измерительные поверхности инструмента приводятся в неплотное соприкосновение с поверхно-

стями измеряемой детали. После установки инструмента производится отсчет по шкале, как показано на рисунке 4.

В соответствии с ГОСТ 166-73 штангенциркули изготавливаются четырех типов: ШЦ-1, ШЦТ-1, ШЦ-П, ШЦ-Ш.

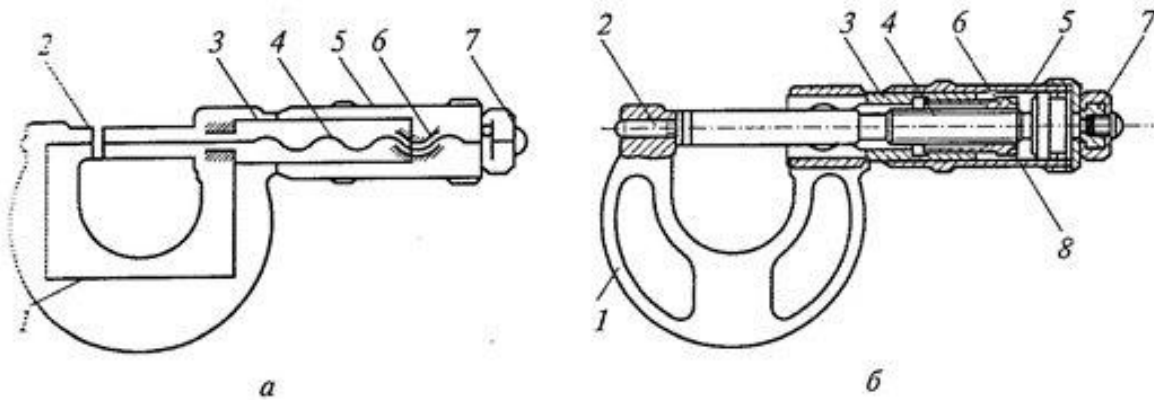
## 2.2 Микрометрические инструменты

К наиболее распространенным микрометрическим инструментам относятся микрометры для измерения наружных размеров деталей, микрометрические глубиномеры и микрометрические нутромеры.

В основе устройства всех микрометрических инструментов лежит принцип действия винтовой пары (винт-гайка), которая позволяет преобразовывать вращательное движение винта в поступательное. Винт 4 (рисунки 5), жестко связанный с барабаном 5, вращается в резьбе трубки – стебля 3, запрессованного в гнезде скобы 1 и выполняющего роль неподвижной гайки. Винт 4 оканчивается торцевой измерительной поверхностью, против которой в противоположном гнезде скобы закреплена параллельная неподвижная пятка 2, правый торец которой служит второй измерительной поверхностью.

Винт, изготавливаемый с высокой точностью, называется микрометрическим. При вращении барабана 5 микрометрический винт 4 переместится вдоль оси на величину  $l$ , которая прямо пропорциональна шагу резьбы  $P$  и числу оборотов  $n$ , т.е.  $l = P \cdot n$ .

Поскольку шаг резьбы у всех микрометрических инструментов принят равным 0,5 мм, то при одном полном обороте винта он переместится в осевом направлении на величину шага резьбы, т.е. на 0,5 мм ( $l = 0,5$  мм).

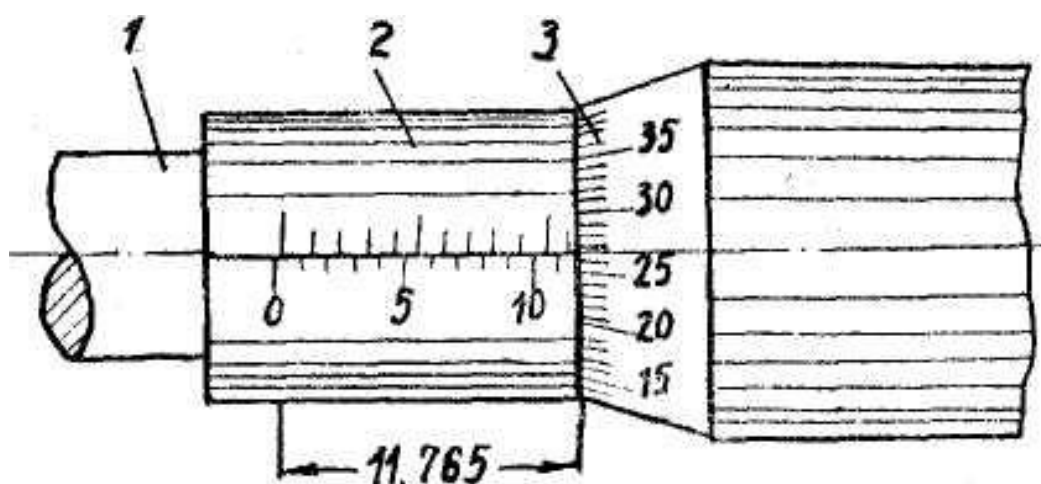


а — кинематическая схема; б — принципиальная схема; 1 — корпус; 2 — неподвижная пятка; 3 — стемпель; 4 — микрометрический винт; 5 — барабан; 6 — гайка микрометрической пары; 7 — устройство стабилизации усилия измерений (трещотка); 8 — контргайка

Рисунок 5 – Микрометр гладкий

Гладкие микрометры типа МК (ГОСТ 6507-78) (рисунок 5) выпускаются с различными пределами измерения: от 0 до 300 мм с диапазоном показаний шкалы 25 мм, а также 300...400. 400... 500 и 500... 600 мм. Предельная погрешность микрометров зависит от верхних пределов измерения и может составлять от  $\pm 3$  мкм для микрометров МК-25 до  $\pm 50$  мкм — для микрометров МК-500. Выпускаются микрометры с цифровым отсчетом всего результата измерения. Отсчетное устройство в таких микрометрах действует по механическому принципу.

Отсчетное устройство микрометрических инструментов (рисунок б) состоит из двух шкал: продольной 2, нанесенной на стемпеле, и круговой 3, нанесенной на конусной (скошенной) поверхности барабана.



1 – микрометрический винт; 2 – продольная шкала на стебле; 3 – круговая шкала на конусной поверхности барабана

Рисунок 6 – Отсчетное устройство микрометрических инструментов

Продольная шкала имеет два ряда штрихов, один из которых расположен над продольной чертой стебля, а другой – под чертой. Каждый ряд продольной шкалы имеет деление 1 мм, но верхний ряд штрихов сдвинут относительно нижнего на размер шага винта, т.е. на 0,5 мм. Таким образом, оба ряда штрихов образуют одну продольную шкалу с ценой деления 0,5 мм. Каждое деление продольной шкалы соответствует величине продольного перемещения микрометрического винта и жестко скрепленного с ним барабана за один их полный оборот. Целое число миллиметров отсчитывается по основной шкале (с пронумерованными через каждые 5 мм штрихами), а половины миллиметров – по вспомогательной. Указателем является скошенный край барабана.

Круговая шкала б (рисунок 6) барабана обычно имеет 50 делений, следовательно, поворот барабана с микрометрическим винтом на одно деление относительно продольной черты стебля будет соответствовать величине  $l - P/n = 0,5/50 = 0,01$  мм. Эта величина и является ценой деления микрометрического измерительного инструмента.

По круговой шкале отсчитываются десятые и сотые доли миллиметра. Указателем служит продольная черта (риска), нанесенная на стебле.

Для определения размера проверяемой детали производят отсчеты по

двум шкалам (продольной и круговой) и суммируют их. Пример отсчета показан на Рисунок 6. Отсчет по микрометру будет равен  $11,5 + 0,265 = 11,765$  (третий десятичный знак берется на глаз). На рисунке 7 даны примеры отсчетов по шкалам микрометра.

В соответствии с ГОСТ 6507-60 нашей промышленностью выпускаются гладкие микрометры типа МК со следующими пределами измерения: 0-25; 25-50; 50-75; 75-100; 100-125; 125-150; 150-175; 175-200; 200-225; 225-250; 250-275; 275-300; 300-400; 400-500; 500-600 мм. Различаются они размерами скобы.

При измерении деталей микрометром (рисунок 5) его держат в руках или закрепляют в специальной стойке за скобу 1. Перед началом измерений проверяют нулевую установку инструмента. Для этого у микрометров с пределами измерения 0-25 мм, вращая микрометрический винт 4 за головку трещотки 7, свести измерит тельные поверхности до соприкосновения. Вращение прекратить после двух-трех щелчков трещотки. В этом положении скошенный край барабана 5 должен расположиться у нулевого штриха продольной шкалы стебля 3 (причем сам штрих должен быть полностью виден), а нулевой штрих шкалы барабана 5 совпадать с продольной чертой (риской) стебля. Если совпадение не произойдет, то при сведенных измерительных поверхностях застопорить микрометрический винт стопором 8 и поворотом установочного колпачка (гайки) 6 высвободить от него жестко связанный с ним барабан 5, повернуть его до совпадения нулевого штриха круговой шкалы с продольной риской стебля 3. После этого снова закрепить барабан поворотом колпачка (гайки) 6 и отжать стопор 8.



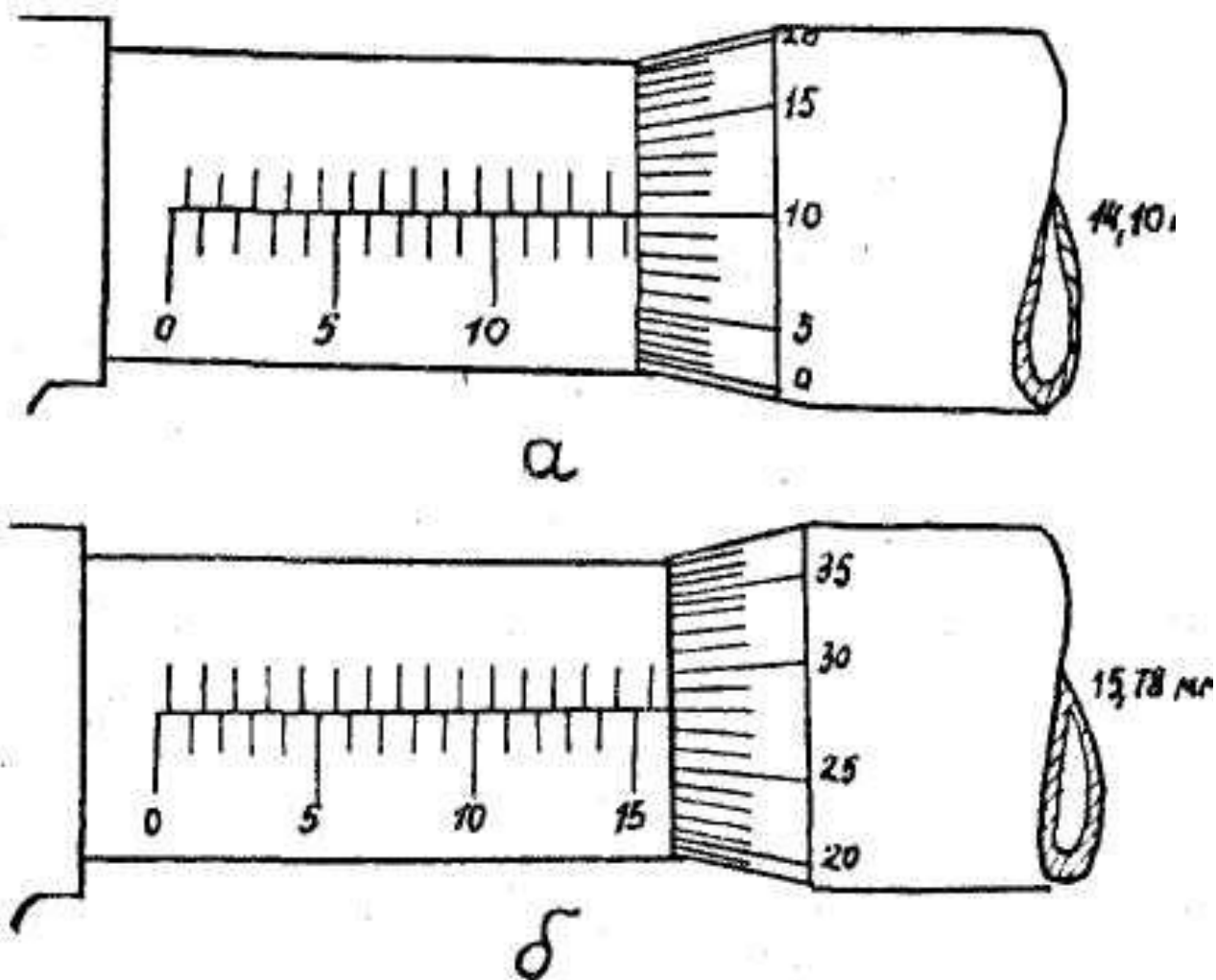


Рисунок 7 – Примеры отсчетов по шкалам микрометра

Проверка нулевой установки микрометров с пределами измерения 25-5 мм производится в том же порядке, но между измерительными поверхностями зажимается (также вращением трещотки 7) специальная установочная или обычная плоскопараллельная концевая мера размером, равным нижнему пределу измерения микрометра, т.е. 25 мм. Нулевым штрихом продольной шкалы стебля 3 в данном случае служит штрих, соответствующий 25 мм. К нему и должен непосредственно примыкать (или почти совпадать) скошенный край барабана 5 при нулевой настройке.

После установки прибора на нуль путем вращения головки трещотки 7 измеряемую деталь зажимают между измерительными поверхностями микро-

метрического винта 4 и пятки 2. После трех щелчков трещотки вращение головки 7 прекращают и снимают отсчеты по шкалам микрометра.

Измерение микрометром следует производить, пользуясь всегда трещоткой. Использование барабана для подвинчивания микрометрического винта недопустимо.

Не следует пользоваться микрометром с застопоренным микрометрическим винтом. Если это в некоторых случаях необходимо, то не следует прилагать усилий для надвигания микрометра на измеряемую деталь.

### **2.3 Индикатор часового типа**

Наиболее распространенным рычажно-механическим измерительным прибором является индикатор часового типа (рисунок 8). Он применяется для измерения размеров и отклонений формы (овальность, конусность и др.) и взаимного расположения поверхностей изделий. Действие индикатора основано на преобразовании поступательного перемещения измерительного штока во вращательное движение стрелки, осуществляемое с помощью передаточного механизма. Таким механизмом служит зубчатая передача (рисунок 9).

На измерительном штоке 9 нарезана зубчатая рейка с шагом  $t$ , находящаяся в зацеплении с малым колесом 7. На оси колеса 7 закреплено колесо 6, которое сцеплено с малым колесом 5, несущим на оси стрелку 2. Полный оборот стрелки 2 соответствует перемещению измерительного штока на 1 мм. Шкала разделена на 100 делений. Следовательно, цена деления шкалы равна 0,01 мм.

Для отсчета числа полных оборотов стрелки 2, т.е. количества целых миллиметров, служит стрелка I, установленная на оси колеса 7, и малая шкала с ценой деления 1 мм. Волосок 4, находящийся на оси дополнительного большого зубчатого колеса 3, служит для устранения мертвого хода, который влиял бы на устойчивость показаний стрелки 2 при возвратно-поступательном движении измерительного штока. Волосок нельзя установить непосредственно на оси зубчатого колеса 5, так как при большом числе оборотов он будет поврежден.

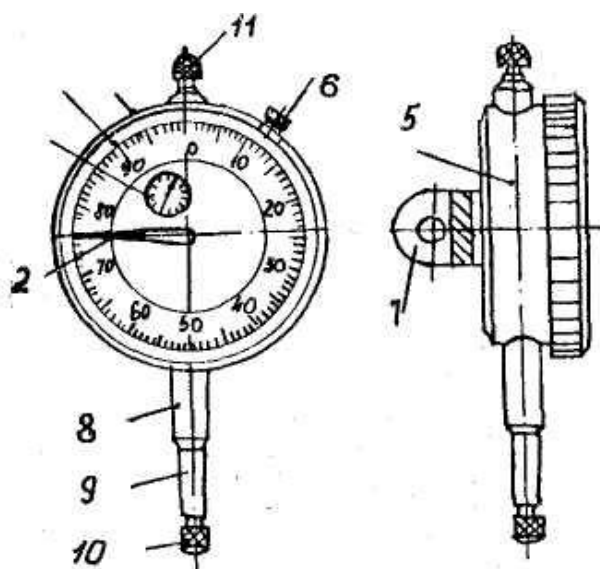


Рисунок 8 – Индикатор часового типа

Измерительная сила создается предварительно растянутой винтовой пружиной 8. Ее величина не должна выходить за пределы 80-200 г (80г – при начальном и 200г – при конечном положениях измерительного штока).

В торец измерительного штока 9 (рисунок 8), установленного в гильзе 8, ввинчивается измерительный наконечник 10. В него впрессован закаленный стальной шарик. Прижимая шарик к проверяемой детали, пружина 8 (Рисунок 9) создает касание наконечника индикатора с поверхностью детали. Шкала 3 (рисунок 8) индикатора вместе с ободком 4 может быть повернута относительно корпуса 5 так, чтобы против большой стрелки 2 можно было установить любое деление шкалы 3. Ободок 4 крепится при помощи стопора 6.

В соответствии с ГОСТ 577-68 отечественная промышленность выпускает индикаторы типа ИЧ нормальные и малогабаритные. Нормальные индикаторы имеют пределы измерения 0-5 и 0-10 мм, малогабаритные – 0-2 и 0-3. Цена деления шкалы 0,01 и 0,002мм.

При измерении индикатором часового типа его закрепляют в держателе универсального штатива и настраивают на нуль. Для этого на измерительный столик универсального штатива устанавливают блок концевых мер определенного размера, соответствующего номинальному размеру измеряемой детали.

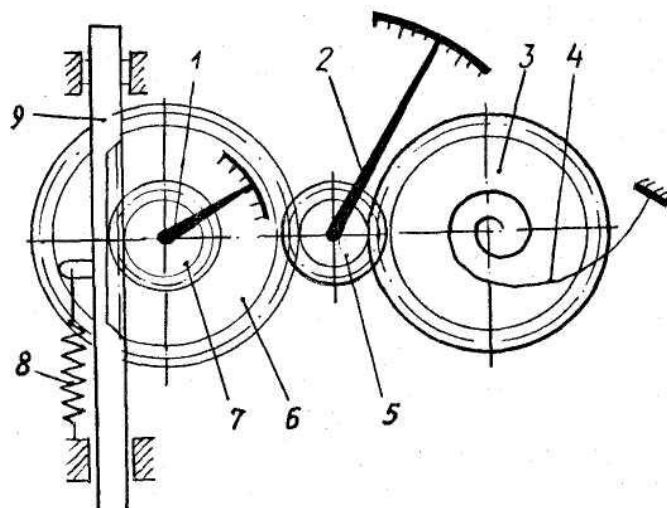


Рисунок 9 – Схема индикатора часового типа

Измерительный шток индикатора приводится в соприкосновение с поверхностью верхней концевой меры блока концевых мер. Индикатор при этом должен иметь натяг примерно один оборот, т.е. малая стрелка указателя полных оборотов должна стоять на первом делении. Это обеспечивает возможность определения как положительных, так и отрицательных отклонений размера блока плиток. Круговую шкалу индикатора с помощью рифленого ободка поворачивают так, чтобы нулевое деление ее совпало с положением большой стрелки. Затем снимают блок плиток, несколько приподнимая измерительный стержень за его головку 11 (рисунок 8), с тем, чтобы уменьшить износ плиток и поверхности измерительного стержня. После этого устанавливают на поверхность столика измеряемую деталь и опускают измерительный стержень. Стрелка 1 указателя полных оборотов должна при этом находиться примерно в том же положении, что и при установке по блоку концевых мер. По величине отклонения большой стрелки от нуля судят о действительном размере детали.

Например, индикатор был установлен на нуль по блоку концевых мер размером 45 мм. После установки измеряемой детали большая стрелка не дошла до нулевого положения на 12 делений. Цена деления индикаторной головки равна 0,01 мм. Следовательно, действительный размер детали на 0,12 мм

меньше размера блока концевых мер:  $45,0 - 0,12 = 44,88$  мм. Если большая стрелка перешла нулевое положение, например, на 10 делений, т.е. на 0,1мм, то действительный размер детали равен  $45,0 + 0,1 = 45,10$  мм.

### 3 Содержание работы

Выбор универсальных измерительных инструментов и контроль линейных размеров деталей.

#### 3.1 Задание по работе

Ознакомиться с выбором средств измерения, устройством универсальных измерительных инструментов (штангенциркулей, микрометров, индикаторов и др.), правилами пользования ими и выполнить два задания:

1 Выбрать необходимые для измерения деталей измерительные инструменты и определить параметры  $m$ ,  $n$ ,  $C$

2 Произвести измерение размеров деталей с последующим заключением о их годности.

3 Перечень инструментов и принадлежностей, необходимых для выполнения работы:

- детали для измерения и их чертежи;
- измерительные средства: штангенциркуль, микрометр, индикатор.

#### 3.3 Порядок выполнения задания 1

Пользуясь таблицами допусков ГОСТ 25347-82, найти предельные отклонения и допуски измеряемых размеров.

По номинальному размеру детали, качеству и найденному допуску определить значение допускаемой погрешности измерений  $\Delta$ , пользуясь таблице1, (ГОСТ 8.051-81).

Выбрать для каждого размера средство измерения, пользуясь для этого таблице2 или таблице3 и соотношением  $\Delta_{lim}=S$

Результаты выбора средств измерения внести в соответствующую таблицу журнала лабораторных работ.

Определить параметры  $m$ ,  $n$ ,  $C$  для каждого выбранного измерительного средства.

### 3.4 Порядок выполнения задания 2

По описанию ознакомиться с принципом работы выбранного измерительного средства и приемами работы с ним.

Измерить деталь выбранным измерительным средством. Измерение производить в 3-х сечениях детали (в двух крайних и среднем) и в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

По действительным размерам измеренных деталей определить наибольшие абсолютные отклонения формы как в продольном, так и в поперечном сечениях деталей.

Дать заключение о годности детали, сравнив её действительные размеры со стандартными предельными размерами и отклонения формы с допуском размера. Деталь годна, если ее действительные размеры находятся между наибольшим и наименьшим предельными размерами или равны им, а отклонения формы не превышают величины допуска на размер.

Построить схему полей допусков на заданные размеры.

#### 4 Вопросы для самопроверки

- 1 Что называется номинальным, предельным и действительным размером?
- 2 Что называется допуском размера?
- 3 Что называется посадкой?
- 4 На какие группы делятся посадки?
- 5 Что называется основным отклонением?
- 6 Что называется основным валом и основным отверстием?
- 7 Какие поля допусков образуют посадки с натягом, посадки с зазором, переходные посадки?
- 8 Сколько квалитетов установлено для размеров до 500 мм?
- 9 Как выбрать измерительное средство для измерения какой-либо детали?
- 10 Как производится настройка измерительных средств на нуль?
- 11 Каковы метрологические характеристики приборов, используемых в работе?
- 12 Что называется погрешностью измерения?
- 13 Как влияет погрешность измерения на результаты контроля деталей?



## Практическое занятие № 2

### Контроль резьбовых деталей

#### 1 Общие сведения

Наряду с гладкими цилиндрическими соединениями в современном машиностроении широко применяются резьбовые соединения. Достаточно сказать, что свыше 60% всех деталей современных машин имеют резьбу. Наиболее распространенными являются цилиндрические крепежные резьбы, служащие для крепления деталей. К ним относятся метрические резьбы с крупными шагами для диаметров от 0,25 до 68 мм и с мелкими шагами для диаметров от 1 до 600 мм. Диаметры и шаги метрических резьб нормализованы ГОСТ 8724-81. Профиль и основные размеры метрических резьб нормированы соответственно ГОСТ 9150-81 и ГОСТ 24705-81 и показаны на Рисунке 1. Утолщенной линией показан номинальный профиль, общий для болта и гайки. Профиль имеет угол при вершине  $\alpha = 60^\circ$  и плоские срезы вершин и впадин резьбы, равные у гайки и у болта,

В соответствии с ГОСТ 24705-81 значения диаметров резьбы вычисляются по следующим формулам:

$$D_2 = D - 2 \cdot \frac{3}{8}H = D - 0,649519053P ;$$

$$d_2 = D - 2 \cdot \frac{3}{8}H = d - 0,649519053P ;$$

$$D_1 = D - 2 \cdot \frac{5}{8}H = D - 1,082531755P ;$$

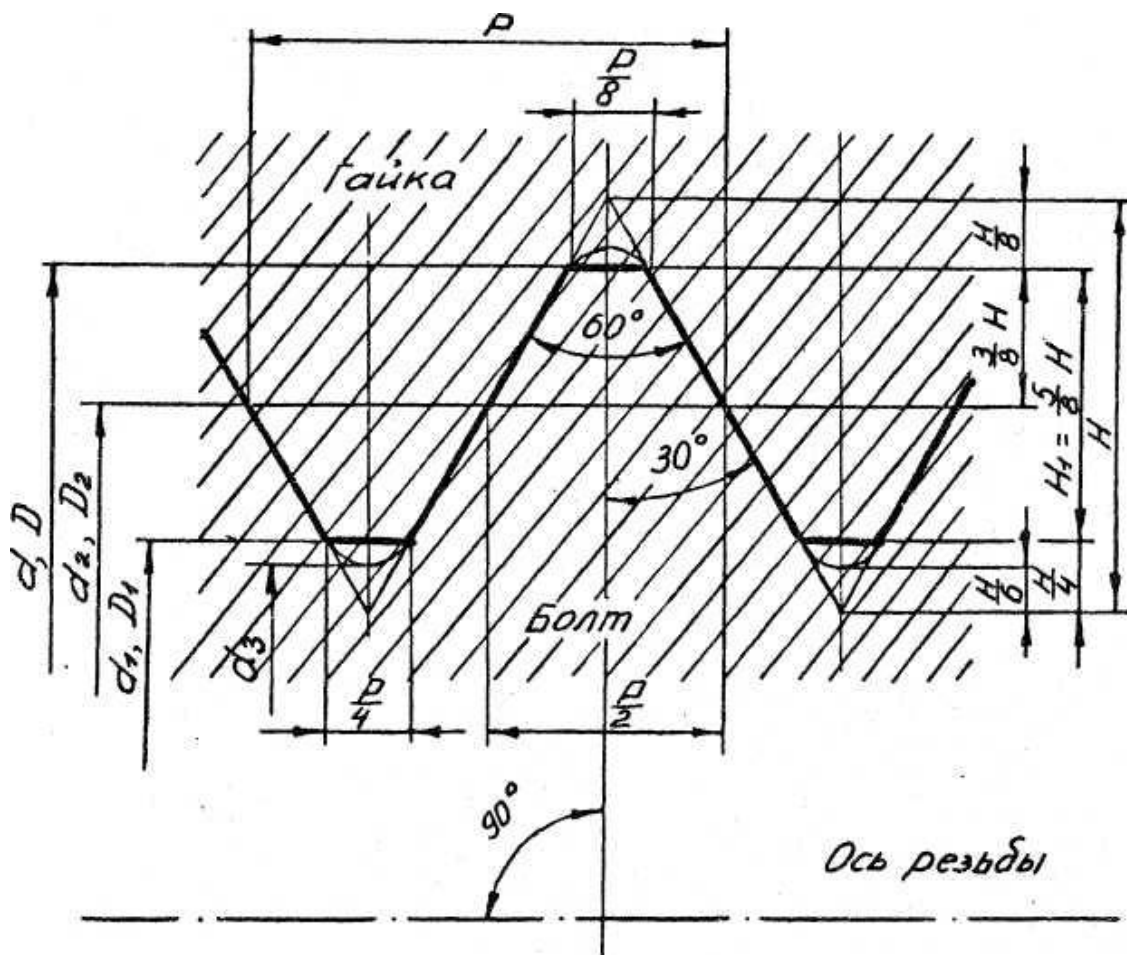
$$d_1 = d - 2 \cdot \frac{5}{8}H = d - 1,082531755P .$$

К числу основных параметров резьбы относятся наружный, средний и внутренний диаметры резьбы, шаг и угол профиля.

Допуски и предельные отклонения стандартами предусматриваются не на все основные размеры (параметры) резьбы, а лишь на средний, внутренний и наружный диаметры.

Поскольку резьба должна сопрягаться только по сторонам резьбового профиля, то основным параметром, определяющим точность и характер (посад-

ку) резьбового соединения, является средний диаметр резьбы. На этот диаметр прежде всего и устанавливается допуск. Допуски на наружный и внутренний диаметры построены так, чтобы обеспечить гарантированный зазор и исключить возможность защемления по вершинам и впадинам резьбы.



$d$  – наружный диаметр наружной резьбы (болта);  $D$  – наружный диаметр внутренней резьбы (гайки);  $d_2$  – средний диаметр болта;  $D_2$  – средний диаметр гайки;  $d_1$  – внутренний диаметр болта;  $D_1$  – внутренний диаметр гайки;  $d_3$  – внутренний диаметр болта по дну впадины;  $P$  – шаг резьбы;  $H$  – высота исходного треугольника,  $H = 0,8660254 P$ ;  $H_1$  – рабочая высота профиля,  $H_1 = 1 \frac{5}{8} H = 0,5412659 P$ ;  $R$  – номинальный радиус закругления впадины болта,  $R = H/5 = 0,1443376 P$

Рисунок 1 – Профиль и основные размеры метрической резьбы

Отклонения и допуски на шаг резьбы и половину угла профиля, влияю-

щие на взаимозаменяемость, стандартами в отдельности не нормируются. Возможные их погрешности компенсируются допуском на средний диаметр. При наличии погрешности шага или погрешности половины угла профиля у резьбы болта или гайки свинчивание последних достигается путем изменения среднего диаметра резьбы в процессе обработки деталей (увеличивается средний диаметр резьбы гайки или уменьшается средний диаметр резьбы болта).

Предельные отклонения диаметров наружных и внутренних резьб в посадках с зазором нормированы ГОСТ 16093-83.

Отклонения отсчитываются от номинального профиля резьбы в направлении, перпендикулярном оси резьбы. Положение поля допуска диаметра резьбы определяется основным отклонением (верхним  $e_s$  для наружной резьбы и нижним  $E_I$  для внутренней) и обозначается буквой латинского алфавита – строчной для наружной резьбы и прописной для внутренней.

ГОСТ 16093-81 установлены следующие основные отклонения: для наружной резьбы (болта) –  $d, e, f, g, h$ ; для внутренней резьбы (гайки) –  $E, F, G, H$ .

Основные отклонения  $E$  и  $F$  установлены только для специального применения при значительных толщинах слоя защитного покрытия.

Положения полей допусков относительно номинального профиля, показанного утолщенной линией, приведены на рис.2 для наружной резьбы и на рисунке 3 для внутренней.

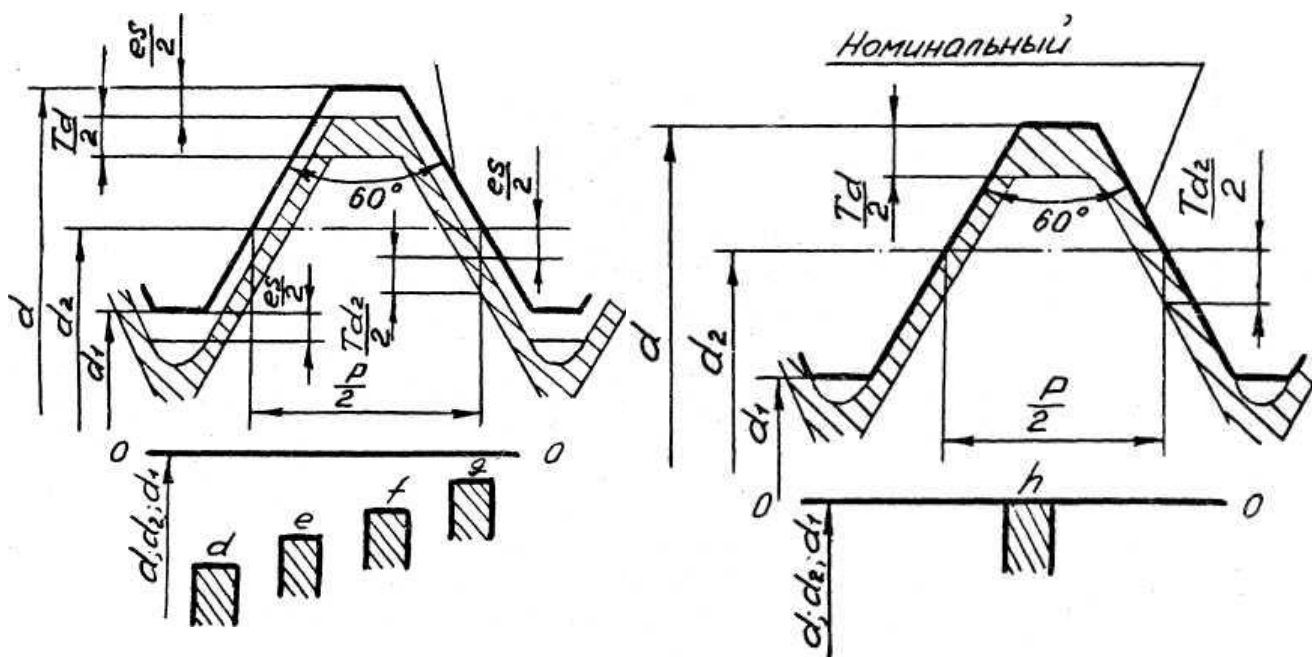
Допуски диаметров резьбы определяются степенями точности обозначаемыми цифрами ГОСТ 16093-81. Установлены следующие степени точности (таблица1).

Таблица 1

Вид резьбы	Диаметр резьбы	Степени точности
Наружная резьба	$d$	4; 6; 8.
	$d_2$	3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10.
Внутренняя резьба	$D_2$	4; 5; 6; 7; 8; 9.
	$D_1$	4; 5; 6; 7; 8.

Примечание: Степени точности 10 для среднего диаметра наружной резьбы и 9 для среднего диаметра внутренней резьбы предусмотрены только для резьб на деталях из пласт-

масс.

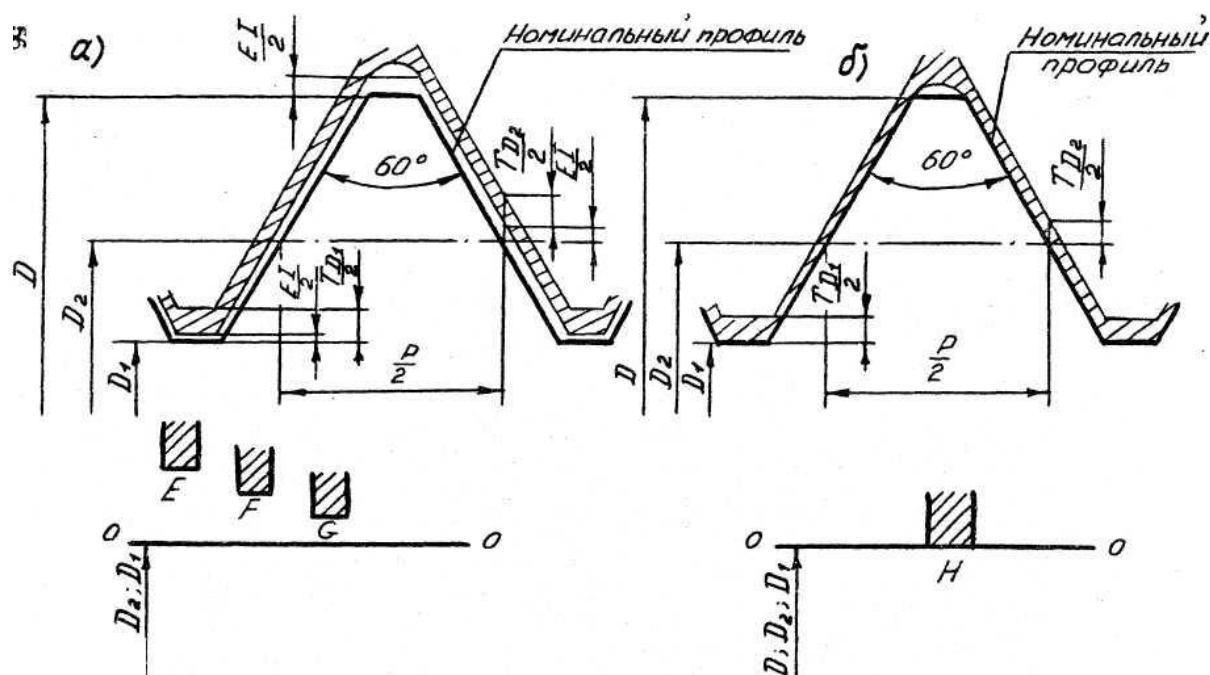


а – с основными отклонениями  $d, e, f, g$ ; б-с основным отклонением  $h$ ;  $d$  – номинальный наружный диаметр;  $d_2$  – номинальный средний диаметр;  $d_1$  – номинальный внутренний диаметр

Рисунок 2 – Положение полей допусков наружной резьбы

Допуски для диаметров  $d_1$  и  $\phi$  не установлены.

Длины свинчивания подразделяются на три группы: короткие  $S$  (менее  $2,24d_{0,2}$ ), нормальные  $N$  (от  $2,24P d_{0,2}$  до  $6,7P d_{0,2}$ ) длинные  $L$  (более  $6,7P d_{0,2}$ ).



а – с основными отклонениями E, F, G ; б – с основным отклонением H.

D – номинальный наружный диаметр; D2 – номинальный средний диаметр; D1 – номинальный внутренний диаметр

Рисунок 3 – Положение полей допусков внутренней резьбы

Поле допуска диаметров резьбы по ГОСТ 16093-81 образуется сочетанием допуска, определяемого степенью точности и основного отклонения. Поэтому обозначение поля допуска диаметра резьбы состоит из цифры, обозначающей степень точности, и буквы, обозначающей основное отклонение. Например, 6h , 6g -для наружной резьбы (болта); 6H, 6G – для внутренней резьбы (гайки).

Поле допуска резьбы образуется сочетанием поля допуска среднего диаметра с полем допуска диаметра выступов (диаметров d или D<sub>1</sub>). Обозначение поля допуска резьбы состоит из обозначения поля допуска среднего диаметра, помещаемого на первом месте, и обозначения поля допуска диаметра выступов, помещаемого на втором месте. Например, 7g6g – для наружной резьбы (болта); 5H6H – для внутренней резьбы (гайки), где в первом случае 1д – поле допуска диаметра d<sub>2</sub> и 6g – поле допуска диаметра d ; во втором случае 5H – поле до-

пуска диаметра  $D_2$  и 6H – поле допуска диаметра  $D_1$ .

Если обозначение поля допуска диаметра выступов ( $d$  для наружной резьбы или  $D_1$  для внутренней резьбы) совпадает с обозначением поля допуска среднего диаметра, то оно в обозначении поля допуска резьбы не повторяется. Например, 6g- для наружной резьбы; 6H – для внутренней.

Обозначение поля допуска резьбы должно следовать за обозначением размера резьбы.

Примеры обозначения резьбы:

-с крупным шагом наружной резьбы (болта): M12-6g ; внутренней резьбы (гайки): M12-6H;

-с мелким шагом наружной резьбы (болта) M12x1-6g ; внутренней резьбы (гайки): M12x1-6H;

-левой резьбы наружной резьбы (болта): M12x1 LH-6g ; внутренней резьбы (гайки): M12x1 LH-6H. Длина свинчивания  $N$  в условном обозначении резьбы не указывается.

Длина свинчивания, к которой относится допуск резьбы, должна быть указана в обозначении резьбы в следующих случаях:

- 1) если она относится к группе L ;
- 2) если она относится к группе S , но меньше, чем вся длина резьбы.

Пример обозначения резьбы с длиной свинчивания, отличающейся от нормальной 30,

M12-7g6g-30

где 30 – длина свинчивания, мм.

Посадка резьбовых деталей обозначается дробью, в числителе которой указывают обозначение поля допуска внутренней резьбы (гайки), а в знаменателе – обозначение поля допуска наружной резьбы (болта).

Например:

M12-6H/6g ;

M12x1-6H/6g;

M12x1-H-6H/6g

В зависимости от требований, предъявляемых к точности резьбового соединения, поля допусков наружной и внутренней резьбы установлены в трех классах точности: точном, среднем и грубом. Распределение их по классам приведено в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Класс точности	Длина свинчивания								
	S		N			L			
	Поле допуска наружной резьбы								
Точный		(3h4h)				4g 4h			(5h4h)
Средний	5g6g	(5h6h)	6d	6eg		6g 6g			(7h6h)
Грубый							(8h)*	(9g8g)	

\*Только для резьбы с шагом  $P \geq 0,8$  мм. Для резьбы с шагом  $P < 0,8$  мм применять поле допуска 8h6h .

Таблица 3

Класс точности	Длина свинчивания					
	S		N		L	
	Поле допуска внутренней резьбы					
Точный		4H		4H5H 5H		6H
Средний	(5CV	5H	6G		(7G)	7H
Грубый			1G	7H	(8G)	8H

Примечания к таблице 2 и 3.

- 1 Поля допусков, заключенные в рамки, следует применять предпочтительно.
- 2 Применение полей допусков, заключенных в скобки, следует по возможности ограничить.
- 3 При длинах свинчивания S и L допускается применять поля допусков, установленные для длин свинчивания N.
- 4 В обоснованных случаях допускается применять поля допусков резьбы, образованные иными сочетаниями полей допусков среднего диаметра и диаметров выступов резьбы из числа приведенных в таблице 2 и 3, например:
  - для наружной резьбы (болта) – 4h6h; 8h6h;
  - для внутренней резьбы (гайки) – 5H6H.

Поля допусков, не предусмотренные в таблице 2 и 3, являются специальными. Их применение допускается только в технически и экономически обоснованных случаях, если применение полей допусков по таблице 2 и 3 не могут обеспечить требования, предъявляемые к изделию.



## 2 Методы и средства контроля резьбовых деталей

Для контроля резьбовых деталей используют два метода: комплексный и дифференцированный (поэлементный). При первом методе контроль резьбы осуществляется комплексно, т.е. измерением ряда параметров одновременно; при втором – поэлементно, т.е. измерением каждого параметра в отдельности. При комплексном контроле величина каждой из погрешностей основных параметров резьбы, взятая в отдельности, остается неизвестной, а устанавливается только, что сумма их находится в поле допуска на всей длине свинчивания. Таким образом, этот метод сводится к измерению приведенного среднего диаметра резьбы, включающего диаметральные компенсации погрешностей шага и половины угла профиля. Комплексный метод применяется в основном при контроле резьбовых деталей, предназначенных для неподвижных соединений (крепёжные и другие резьбы).

Комплексный метод контроля осуществляется в основном при помощи резьбовых калибров. Для контроля внутренней резьбы (гаек) служат резьбовые пробки (рисунок 4), а для контроля наружной резьбы (болтов) – резьбовые кольца (рисунок 5) или скобы (рисунок 6).

Резьбовая пробка (рисунок 4), как и гладкая, имеет две стороны – проходную (ПР) и непроходную (НЕ). Резьбовые кольца (рисунок 5) представляют собой комплект из двух калибров: проходного кольца (ПР) и непроходного кольца (НЕ). Резьбовые скобы (Рисунок 6) состоят из корпуса, двух парных проходных роликов и двух парных непроходных роликов. Все ролики легко вращаются на валиках и имеют нарезку в виде кольцевых витков. Первая пара роликов устанавливается на проходной размер, вторая – на непроходной.

Проходные резьбовые калибры служат для проверки диаметров: у наружной резьбы (болта) – среднего  $d_2$  и внутреннего  $d_1$ , а у внутренней резьбы (гайки) – среднего  $D_2$  и наружного  $D_1$ .



Рисунок 4 – Предельные резьбовые пробки



Рисунок 5 – Резьбовое кольцо

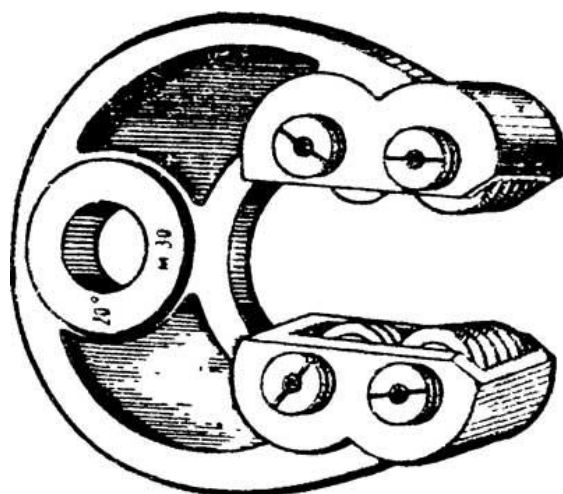


Рисунок 6 – Резьбовая скоба

Одновременно ими проверяется наличие диаметральной компенсации погрешностей шага и половины угла профиля. Таким образом, проходные калибры предназначены для контроля приведенного среднего диаметра  $d_{2пр}$  или  $D_{2пр}$  резьбы. Проходной калибр должен свободно свинчиваться с резьбой проверяемой детали по всей длине резьбы.

Непроходные резьбовые калибры служат для контроля лишь собственно среднего диаметра  $d_2(D_2)$  резьбы. Непроходной калибр либо совсем не должен свинчиваться с резьбой проверяемой детали, либо может свинчиваться с ней не более чем на два оборота.

Проходные резьбовые калибры должны иметь полный профиль резьбы и длину, равную длине свинчивания (т.е. являются прототипом детали), а непроходные калибры – укороченный профиль (т.е. уменьшенную высоту профиля) и малое число витков (от 2,5 до 3). Таким путем за счет меньшей высоты профиля уменьшается влияние погрешностей угла профиля, а за счет малого числа витков - влияние погрешности шага на контроль собственно среднего диаметра резьбы.

Свинчивание проходных калибров с резьбой проверяемой детали свидетельствует о том, что средний диаметр резьбы не выходит за установленный предельный размер с учетом имеющейся ошибки шага и угла профиля. Несвинчивание непроходных резьбовых калибров с контролируемой резьбой свидетельствует о том, что собственно средний диаметр внутренней резьбы (гайки) не больше, а наружной резьбы (болта) не меньше установленного предельного, размера.

Проверка диаметра  $D_1$  внутренней резьбы (гаек) и диаметра  $d$  наружной резьбы (болтов) осуществляется не резьбовыми, а обычными гладкими калибрами, соответственно предельными пробками и скобами.

Дифференцированный (поэлементный) метод контроля резьбы применяется для контроля резьбовых деталей высокой точности (резьбовых калибров, резьбонарезных инструментов и др.). Контроль осуществляется при помощи универсальных и специализированных измерительных приборов.

### 3 Измерение среднего диаметра резьбы

Для измерения собственно среднего диаметра  $d_2$  резьбы могут быть использованы резьбовые микрометры, обычные микрометры, с тремя проволочками и инструментальные микроскопы. Наиболее распространены относительно грубые измерения среднего диаметра резьбовыми микрометрами и точные измерения методом трех проволочек.

Резьбовой микрометр (Рисунок 7,а) отличается от обычного микрометра наличием в пятке 2 и в конце микрометрического винта 6 глухих отверстий, в которых расположены опорные шарики. В эти отверстия вводят специальные измерительные вставки: призматическую 3 в пятку 2 и коническую 4 в микрометрический винт 5. Рабочий угол призматической вставки 3 соответствует углу профиля витка проверяемой резьбы, угол же конической вставки 4 соответствует углу профиля впадины резьбы.

Вставки к резьбовому микрометру прилагаются парными, т.е. комплектом, для того чтобы можно было проверять резьбы с различными шагами.

При измерении резьбы поверхности вставок приводят в соприкосновение с поверхностями витков резьбы, как показано на Рисунок 7,б. Микрометр в этом случае дает отсчеты собственно среднего диаметра резьбы. Погрешность при измерениях достигает 0,1 и даже 0,15 мм.

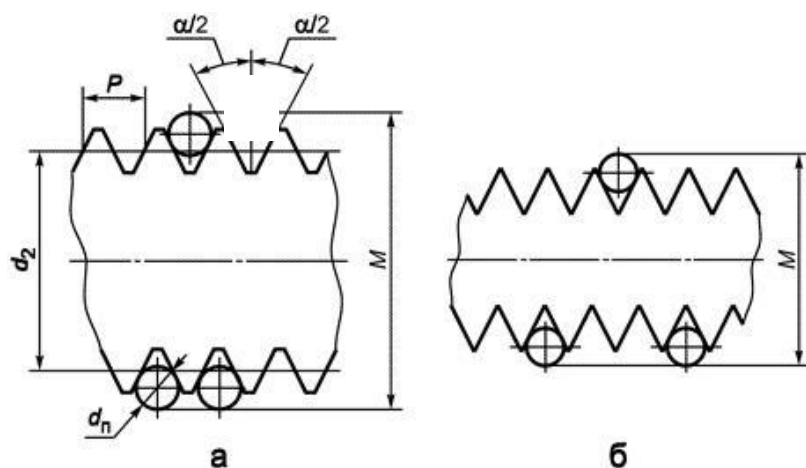


Рисунок 7 – Измерение среднего диаметра резьбы методом трех проволочек

Измерение собственно среднего диаметра резьбы методом трех проволо-

чек является одним из самых распространенных и точных методов. Этот метод заключается в том, что во впадины резьбы, как показано на Рисунок 7а, закладываются три проволоочки одинакового диаметра. Проволочки располагаются между собой параллельно: две с одной стороны детали и третья – с другой.

При измерении среднего диаметра калибров-пробок с шагом резьбы менее 0,5 мм вторая и третья проволоочки, работающие в паре, могут быть заложены не в соседние впадины. В этом случае они должны располагаться симметрично относительно оси первой проволоочки (рисунок 7б).

При помощи измерительных средств (гладкого микрометра, оптиметра) определяется размер  $M$  между линиями, касательными к внешним точкам проволочек и параллельными оси резьбы. По размеру  $M$  подсчитывается собственно средний диаметр резьбы по формуле

$$d_{2\text{изм}} = M - 3 \cdot d_{\text{пр}} + 0,866 P,$$

где  $d_{2\text{изм}}$  – действительный средний диаметр резьбы мм;

$M$  – результат измерения, мм;

$d_{\text{пр}}$  – диаметр проволочек мм;

$P$  – шаг резьбы, мм.

На точность измерения среднего диаметра существенное влияние оказывает выбор диаметра проволочек. Для устранения влияния на результат измерений погрешностей угла профиля рекомендуется пользоваться проволочками наивыгоднейшего диаметра, при котором точки касания  $A$  (Рисунок 7) проволочек со сторонами профиля резьбы совпадают с точками пересечения среднего диаметра с этими же сторонами/

Проволочки изготавливаются из инструментальной стали и согласно ГОСТ 2475-88 разделяются по точности на два класса: 0-й и 1-й. Допуски на изготовление составляют 0,5 мкм для 0-го класса и 1 мкм для 1-го.

При измерении методом трех проволочек определение размера  $M$  обычно производится при помощи гладкого микрометра.

## 4 Измерение шага резьбы

Простейшим средством контроля шага резьбы являются резьбовые шаблоны (рисунок 8). Они представляют собой стальные пластинки, собранные в наборы, с зубьями равного шага, но одинакового угла профиля. Резьбовые шаблоны предназначены в основном для определения номинального шага наружной резьбы. Номинальный шаг резьбы определяется путем поочередного наложения пластинок на резьбу детали. Наиболее подходящей будет пластинка, при которой шаги совпадают. Величина шага маркируется на каждой пластинке.

Набором пластинок для проверки метрических резьб состоят из 20 шаблонов с шагом от 0,4 до 6 мм.

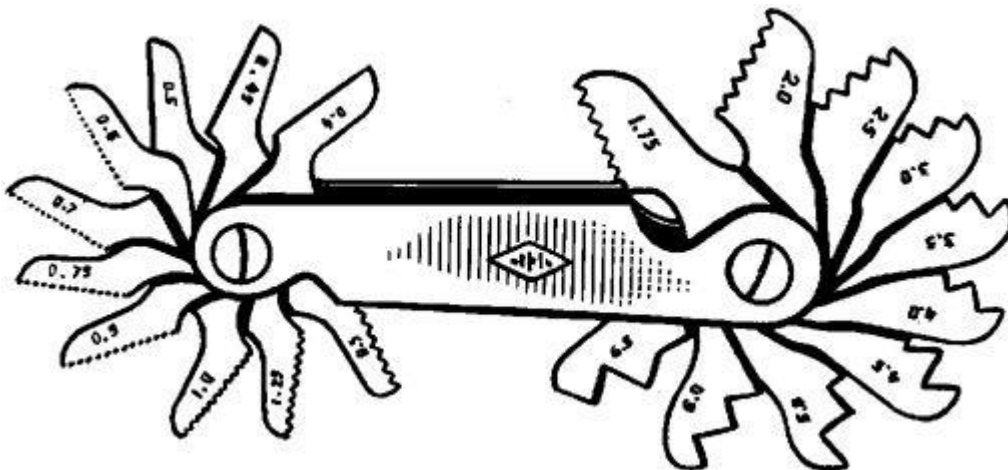


Рисунок 8 – Резьбовые шаблоны

Наиболее совершенными и надежными средствами контроля шага и половины угла профиля резьбы являются оптические приборы – универсальный и инструментальные микроскопы.

## 5 Вопросы для самопроверки

1. Какие элементы резьбы имеют наибольшее значение для правильной

свинчиваемости резьбового соединения?

2. Что входит в обозначение резьбы на чертежах?

3. Какие основные отклонения для наружной и внутренней резьбы установлены ГОСТом 16093-81?

4. Что называется погрешностью шага, погрешностью половины угла профиля резьбы и какое влияние они оказывают на свинчивание резьбовых деталей?

5. Как и чем измеряются основные элементы резьбы?

6. Каковы метрологические характеристики измерительных средств, применяемых в работе?

7. Какие методы измерений используются при измерении элементов резьбы?

## **Практическое занятие № 3**

### **Контроль зубчатых колес**

#### **1 Общие сведения**

Зубчатые передачи являются ответственными звеньями машин и механизмов, определяющими качество, надежность и долговечность их работы.

Для качественной работы зубчатой передачи необходимо обеспечить:

- кинематическую точность, т.е. согласованность углов поворотов ведущего и ведомого колес передачи;
- плавность работы, т.е. ограничение циклических погрешностей, многократно повторяющихся за один оборот колеса (резкие местные изменения отклонений углов поворота колеса);
- контакт зубьев, т.е. такое прилегание зубьев по длине и высоте, при котором нагрузка от одного зуба к другому передается по контактными линиями, максимально использующим всю активную поверхность зуба;
- боковой зазор для устранения заклинивания зубьев при работе и ограничения мертвых ходов в передаче.

Показатели точности должны не только регламентировать точность отдельного колеса, но и определять эксплуатационные параметры всей передачи, соответствующие условиям работы и функциональным требованиям к передаче. Поэтому точностные требования к передачам необходимо устанавливать исходя из их назначения, что учитывалось при разработке системы допусков для эвольвентных цилиндрических зубчатых передач.

По ГОСТ 1643-81 для зубчатых колес и передач установлено двенадцать степеней точности, обозначаемых в порядке убывания точности цифрами от 1 до 12. Степени точности 1-2 оставлены для будущего развития (допуски на эти степени пока не установлены).



Для каждой степени точности установлены нормы кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев колес и передач. Независимо от степени точности зубчатых колес и передач стандартом предусмотрены нормы бокового зазора.

Нормы точности и нормы бокового зазора на зубчатые колеса и передачи характеризуются различными показателями, одни из которых являются комплексными, т.к. учитывают влияние целого ряда отдельных погрешностей; другие - поэлементными, т.к. учитывают влияние только одной погрешности.

Выполнение требований каждого вида норм может контролироваться проверкой в производстве комплексных показателей или нескольких поэлементных показателей. Для этого в стандарте приводятся комплексы контроля, включающие или один комплексный, или несколько поэлементных показателей.

Выбор того или иного комплекса контроля зависит от назначения и точности зубчатых колес и передач, их размеров, объема и условий производства и других факторов.

Нормы кинематической точности ограничивают кинематическую погрешность передачи и кинематическую погрешность колеса.

Кинематической погрешностью зубчатого колеса называют разность между действительным и номинальным (расчетным) углами поворота зубчатого колеса на его рабочей оси, ведомого точным (измерительным) колесом при номинальном взаимном положении осей вращения этих колес: ее выражают в линейных величинах длиной дуги делительной окружности.

Кинематическая точность важна для отсчетных передач, которые входят в состав точных кинематических цепей измерительных приборов (часы, индикаторы часового типа, рычажно-зубчатые измерительные головки), счетно-решающих механизмов, следящих систем, делительных механизмов приспособлений, станков и т.п. Такие передачи имеют малый модуль и работают при малых нагрузках и скоростях.

Для контроля кинематической точности колес установлено девять ком-

плексов показателей (таблице 1), из которых в данной работе используется комплекс из двух поэлементных показателей: колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса  $F_{ir}$  и колебание длины общей нормали за оборот зубчатого колеса  $F_{vwr}$ .

Нормы плавности работы ограничивают такие параметры колес и передач, которые также влияют на кинематическую точность, но проявляются многократно за один оборот колеса, т.е. один или несколько раз на одном зубе. Эти требования имеют

наибольшее значение для передач, работающих на больших скоростях (зубчатые передачи коробок скоростей, редукторов турбин, двигателей и т.п.). Передача должна работать бесшумно и без вибраций, что может быть достигнуто при минимальных погрешностях формы и взаимного расположения поверхностей зубьев.

Для оценки плавности работы колес установлены комплексы контролируемых показателей (таблице 2) с различными значениями коэффициента осевого перекрытия  $E_b$  (таблице 4), из которых в данной работе используется один поэлементный показатель: колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе  $f_{ir}$ .

Нормы контакта устанавливают требования к таким параметрам колес и передач, которые определяют полноту контакта активных профилей боковых поверхностей зубьев сопрягаемых колес. Требования к контакту имеют особое значение для силовых передач (зубчатые передачи клеток прокатных станов, подъемно-транспортных механизмов и др.).

Для оценки контакта зубьев в передаче установлены комплексы показателей, представленных в таблице 3. В данной работе контроль зубчатого колеса по нормам контакта не производится.

Нормы бокового зазора устанавливают требования к таким параметрам колес и передач, которые влияют на величину зазора по нерабочим профилям зубьев в зубчатой передаче.

Боковой зазор  $j_n$  (рисунок 1) есть зазор между зубьями сопряженных ко-

лес в передаче, обеспечивающий свободный поворот одного из колес (в пределах этого зазора) при неподвижном втором колесе.

Величина бокового зазора обеспечивается радиальным смещением исходного контура рейки (зуборезного инструмента) в направлении к центру заготовки от его номинального положения в тело зубчатого колеса. При смещении исходного контура происходит уменьшение толщины зуба, что обеспечивает боковой зазор.

Боковой зазор в передаче необходим для устранения возможности заклинивания при нагреве передачи, обеспечения условий протекания смазки, компенсации погрешностей изготовления и монтажа.

Основным показателем бокового зазора является гарантированный боковой зазор  $j_{min}$  (наименьший зазор, который получается при выполнении требований, указанных в стандарте).

Таблица 1 – Показатели кинематической точности

№ комплекса	Комплексы показателей нормы, кинематической точности	Обозначение показателя точности	Степени точности
Для колеса			
1	Наибольшая кинематическая погрешность колеса	Fir	3-8
2	Накопленная погрешность шага зубчатого колеса и накопленная погрешность шагов.	Fpr, Fprk	3-6
3	Накопленная погрешность шага зубчатого колеса.	Fpr	7-8
4	Погрешность обката и радиальное биение зубчатого венца	Fcr, Frr	3-8
5	Колебание длины общей нормали и радиальное биение зубчатого венца	Fvwr, Frr	3-8

№комплекса	Комплексы показателей нормы , кинематической точности	Обозначение по- казателя точности	Степени точности
6	Колебания длины общей норма- ли и измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса.	Fvwr , Fir	5-8
7	Погрешность обката и колеба- ние измерительного межосевого расстояния.	Fcr , Fir	5-8
8	Колебание измерительного ме- жосевого расстояния	Fir	9-12
9	Радиальное биение зубчатого венца	Frr	9-12
Для передачи			
1	Наибольшая кинематическая по- грешность зубчатой передачи	Fior	3-8

Таблица 2 – Показатели плавности работы

№комплекса	Комплексы показателей нормы плавности работы	Обозначение показателя точ- ности	Степень точности
Зубчатое колесо передачи с величиной $E_b$ , менее указанной в таблице 4			
1	Местная кинематическая погрешность зубчатого колеса	$F_{ir}^1$	3-8
2	Циклическая погреш- ность зубцовой частоты зубчатого колеса	$F_{zxr}$	3-8
3	Отклонение шага зацеп- ления и погрешность профиля зуба	$F_{pbr} , F_{fr}$	3-8
4	Отклонение шага зацеп- ления и отклонение зуб- чатого колеса передачи с любым $E_b$	$F_{pbr} , F_{ptr}$	3-8

№комплекса	Комплексы показателей нормы плавности работы	Обозначение показателя точности	Степень точности
5	Колебания измерительного межосевого расстояния на одном зубе	$F_{ir}^2$	9-12
6	Отклонение шага зацепления	$F_{pbr}$	9-12
7	Отклонения шага	$F_{it}$	9-12
Зубчатое колесо передачи с величиной $E_b$ , большей или равной указанной в таблице 4			
1.	Циклическая погрешность зубчатого колеса	$F_{zkr}$	3-8
2.	Отклонение шага	$F_{ptr}$	5-8
Зубчатая передача с величиной $E_b$ , менее указанной в таблице 4			
I.	Местная кинематическая погрешность	$F_{ior}^1$	3-8
2.	Циклическая погрешность зубцовой передачи	$F_{zzor}$	3-8
Зубчатая передача с величиной $E_b$ большей или равной указанной в таблице 4			
I.	Циклическая погрешность передачи	$F_{zkor}$	3-8

Таблица 3 – Показатели контакта зубьев

№ комплек-са	Комплексы показателей нормы контакта зубьев	Обозначение показателя точности	Степени точности
Зубчатое колесо передачи с величиной $E_b <$ менее указанной в табл. 4			
1	Погрешность направления зуба	$F_{br}$	3-12
2	Суммарная погрешность контактной линии	$F_{kr}$	3-12
3	Отклонение основных шагов по нормали и суммарная погрешность контактной линии	$F_{pxnr}, F_{kr}$	3-9

№ комплек-са	Комплексы показателей нормы контакта зубьев	Обозначение показателя точности	Степени точности
4	Отклонение основных шагов по нормали и отклонение шага зацепления.	$F_{p\text{хнr}}, F_{p\text{br}}$	3-9
Зубчатая передача			
1	Непараллельность осей и перекос осей	$F_{\text{хr}}, F_{\text{yr}}$	3-12
2	Суммарное пятно контакта	-	3-11
3	Мгновенное пятно контакта	-	3-11

Таблица 4 – Граничные значения коэффициента перекрытия

Степени точности по нормам контакта	3	4	5	6	7	8
Граничные значения номинального коэффициента осевого перекрытия $E_b$	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	

Таблица 5 – Показатели, обеспечивающие гарантированный боковой зазор

№ комплекса	Комплексы показателей	Обозначение показателя точности	Степени точности
Для колеса			
1	Наименьшее дополнительное смещение исходного контура и допуск на дополнительное смещение исходного контура	$E_{ms}, T$	3-12
2	Предельное отклонение измерительного межосевого расстояния	$E_{\text{asr}}^2, E_{\text{air}}^2$	3-12
3	Наименьшее отклонение средней длины общей нормали и допуск на среднюю длину общей нормали	$E_{\text{wms}}, T_{\text{wn}}$	3-9

№ комплекса	Комплексы показателей	Обозначение показателя точности	Степени точности
4	Наименьшее отклонение толщины зуба и допуск на толщину зуба	$E_{cs}, T_c$	3-12
Для передачи			
1	Гарантированный боковой зазор	$J_{n \min}$	3-12
2	Предельные отклонения межосевого расстояния	$f_a$	3-12

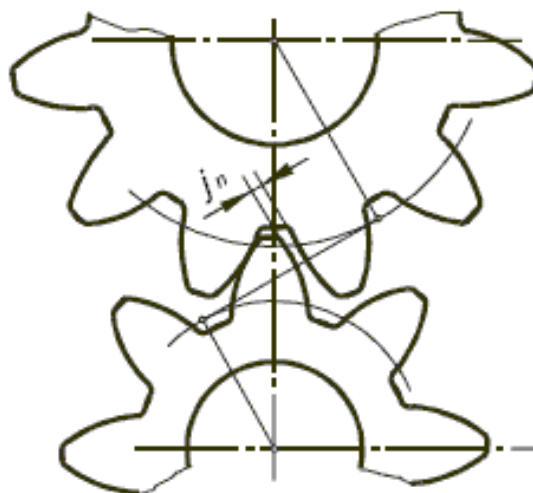


Рисунок 1 – Боковой зазор  $j_n$  в зубчатой передаче

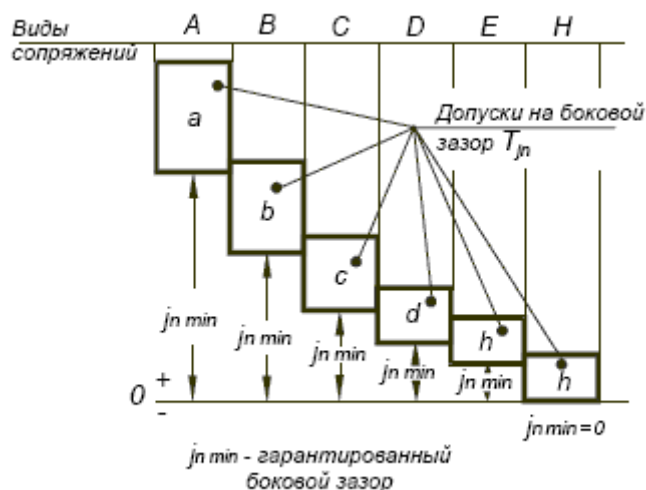


Рисунок 2 – Виды сопряжений и гарантированные боковые зазоры

Для удовлетворения требований различных отраслей промышленности предусмотрено шесть видов сопряжений, определяющих различную величину  $J_{n \min}$  : A, B, C, D, E, H (рисунок 2), а также установлено 6 видов допуска  $T_{jn}$  на боковой зазор: a, b, c, d, h. Обозначения даны в порядке убывания величины бокового зазора и допуска на него. Видам сопряжения H и E соответствует вид допуска на боковой зазор, видам сопряжений A, B, C, D – вид допуска соответственно a, b, c, d. Допускается изменять соответствие между видом сопряжения и видом допуска.

Для цилиндрических зубчатых передач устанавливается шесть классов отклонений межосевого расстояния (1, 2, 3, 4, 5, 6). Видам сопряжений H, E соответствует 2 класс, видам сопряжений D, C, B, A – соответственно 3, 4, 5, 6 классы. Указанное соответствие можно изменять.

Условное обозначение точности цилиндрических зубчатых передач содержит необходимую информацию для изготовления и контроля. Особенности условного обозначения точности зубчатых передач рассматриваются на следующих примерах.

Условное обозначение цилиндрической зубчатой передачи 7-С ГОСТ 1643-81 определяет: степень точности 7 по всем трем нормам (кинематическая точность, плавность и контакт зубьев) и вид сопряжения C, которому соответ-



ствует вид допуска на боковой зазор  $C$ , а также класс отклонений межосевого расстояния  $1U$ .

Условное обозначение цилиндрической зубчатой передачи 8-7-6-B-  $CL$  ГОСТ 1643-81 определяет: степень точности (8-по нормам кинематической точности, 7 - по нормам плавности, 6 - по нормам контакта зубьев); вид сопряжения  $B$ ; вид допуска на боковой зазор  $CL$  при соответствии вида сопряжения и класса отклонений межосевого расстояния (5класс).

Условное обозначение цилиндрической зубчатой передачи 7-СЙ./У-128 ГОСТ 1643-81 определяет: степень точности 7 по всем трем нормам, вид сопряжения  $C$ , вид допуска на боковой зазор  $a$ , класс отклонений межосевого расстояния  $U$  при наименьшем гарантированном боковом зазоре  $J_{\min}$  128 мкм (класс отклонений межосевого расстояния не соответствует виду сопряжения).

## 2 Приборы для контроля зубчатых колес

В массовом и крупносерийном производствах качество зубчатых колес часто проверяют в плотном двухпрофильном зацеплении с измерительным зубчатым колесом на приборах, называемых межцентромерами.

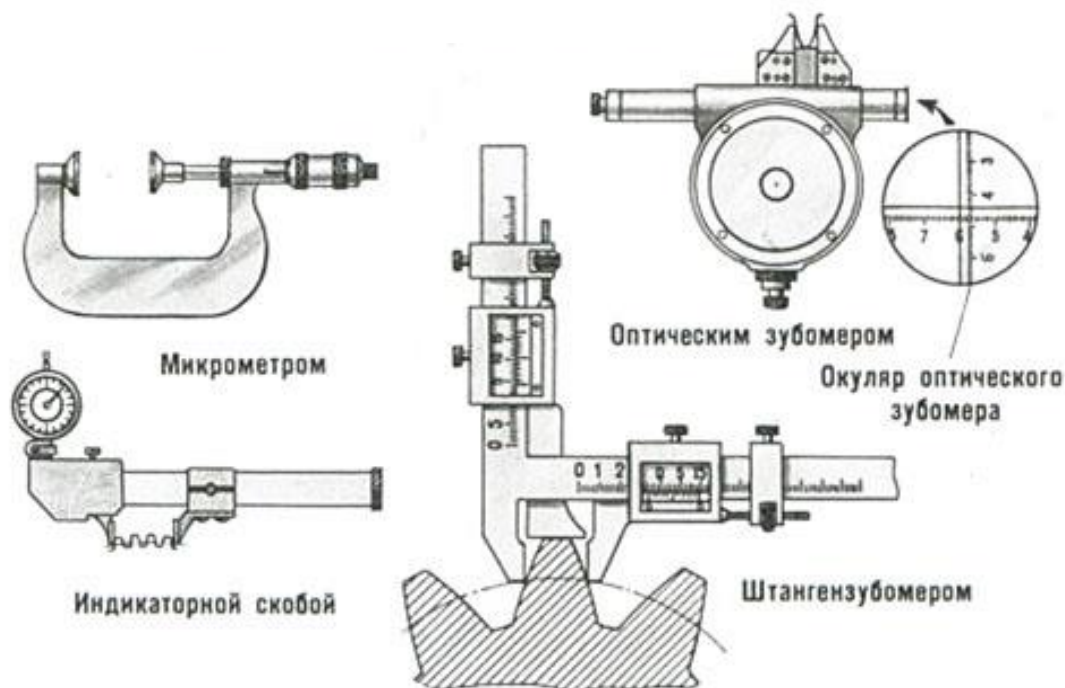


Рисунок 3 – Методы контроля зубчатых колес

Распространение этого вида контроля объясняется простотой конструкции межцентромеров и высокой производительностью контроля. Такой контроль позволяет выявить колебания измерительного межосевого расстояния (относительно его номинального значения) за оборот проверяемого колеса  $F_{itr}$  и при повороте на один зуб  $f_{ir}$ . При этом контроле можно установить отклонения межосевого расстояния: верхнее -  $E_{asr}$  и нижнее -  $E_{air}$ . Двухпрофильную проверку колес обычно дополняют контролем колебания длины общей нормали  $f_{vwr}$ .

В практической деятельности контроль зубчатого колеса осуществляется



Определение длины общей нормали в зависимости от требуемой точности измерений возможно производить различными средствами, например микрометром зубомерным, штангенциркулем или нормалеммером.

Формула расчета номинальной длины общей нормали

$$W = m \cdot (1,476 \cdot (2 \cdot n - 1) + 0,01367 \cdot z),$$

где  $n$  - число зубьев охватываемых длиной общей нормали  $n = z/9$ , (полученное значение  $n$  округляется до ближайшего большего целого значения);

$z$  – число зубьев венца колеса;

$m$  – модуль нормальный  $m = d_a / (z + 2)$ ;

$d_a$  – действительный наружный диаметр колеса.

Исходные данные:  $z = 70$ ,  $d_a = 143,8$  мм

Расчетные формулы:

$$n = z/9 = 70/9 = 7,78 \approx 8$$

$$m = d_a / (z+2) = 143,8 / (70 + 2) = 1,99 \approx 2 \text{ мм}$$

(округляется до ближайшего стандартного значения).

Номинальная длина общей нормали

$$W = m(1,476(2n - 1) + 0,01367z).$$

$$W = 2(1,476(2 \cdot 8 - 1) + 0,01367 \cdot 70) = 46,19 \text{ мм},$$

Колебание длины общей нормали определяется по выражению

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



Рисунок 5 – Общий вид микрометра зубомерного

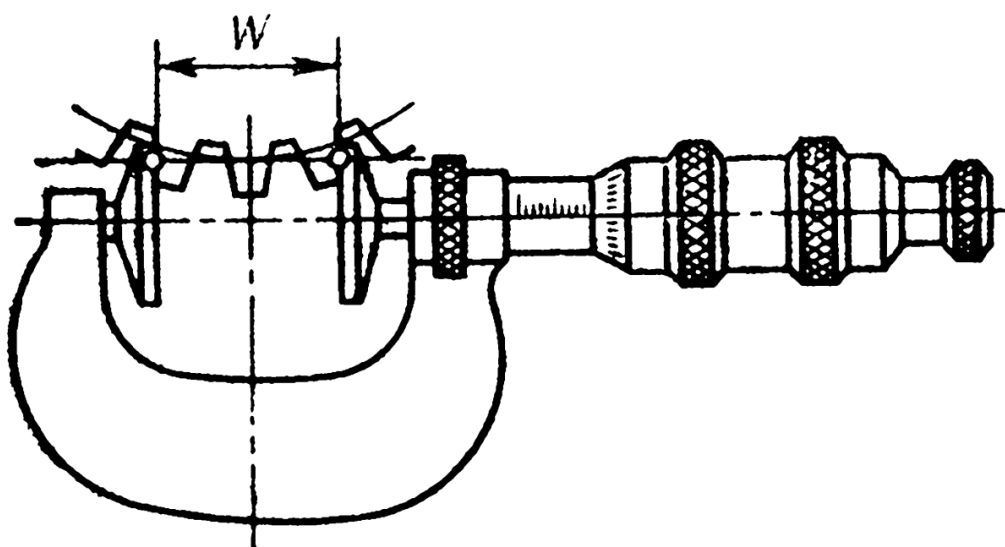


Рисунок 6 – Схема измерения микрометром зубомерным

### **3 Содержание лабораторной работы**

Измерение показателей точности цилиндрического зубчатого колеса и заключение о его годности по нормам кинематической точности, плавности работы и бокового зазора.

#### **3.1 Задание по работе**

Проконтролировать цилиндрическое зубчатое колесо заданной точности и дать заключение о годности колеса по нормам кинематической точности, плавности работы и бокового зазора.

Для этого необходимо:

- изучить устройство, принцип действия и порядок проведения измерений на межцентромере и нормалемере;
- установить метрологические характеристики применяемых приборов;
- установить исходные данные измеряемого колеса и показатели для контроля;
- установить табличные значения показателей норм кинематической точности, плавности и бокового зазора для заданной точности измеряемого зубчатого колеса;
- произвести измерения при помощи микрометра зубомерного и построить график колебаний длины общей нормали; установить действительное значение показателя кинематической точности;
- сделать заключение о годности контролируемого зубчатого колеса по показателям кинематической точности, плавности и бокового зазора.

#### **3.2 Перечень приборов и принадлежностей**

В работе используются:

- микрометр зубомерный;
- эталонное зубчатое колесо;
- контролируемое зубчатое колесо.

## Порядок выполнения задания

Исходные данные для измерения зубчатого колеса включают: модуль  $m$ , число зубьев  $z$ , делительный диаметр  $d$  зубчатого колеса, который определяется по формуле  $d = m \cdot z$ , измерительное межосевое расстояние  $a_w$ .

Для степеней точности 6...9 при использовании микрометра зубомерного контроль зубчатых колес целесообразно производить по следующим показателям:

кинематическая точность:

- $F_{vwr}$  - колебание длины общей нормали; плавность работы;
- $f_{ir}$  - колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе; боковой зазор передачи;
- $E_{asr}$  - верхнее отклонение измерительного межосевого расстояния;
- $E_{air}$  - нижнее отклонение измерительного межосевого расстояния.

Допустимые значения норм точности выбранных показателей устанавливаются ГОСТ 1643-81.

Метрологические характеристики микрометра зубомерного включают: цену деления шкалы, диапазон показаний шкалы, пределы измерений. Они устанавливаются студентом при изучении шкал приборов и записываются в журнал лабораторных работ.

#### **4 Вопросы для самоконтроля**

- 1 Сколько степеней точности установлено для зубчатых колес?
- 2 Что называется боковым зазором и как он нормируется?
- 3 Какие вида сопряжений предусмотрены для зубчатых колес и чем они отличаются?
- 4 Что называется длиной общей нормали?
- 5 б. По каким нормам точности производится контроль зубчатого колеса?
- 6 Какими измерительными средствами производится контроль зубчатого колеса и каковы их метрологические характеристики?



## Список литературы

- 1 Метрология, стандартизация и сертификация на транспорте / Иванов И.А., Урушев С.В., и др. – М.: Академия, 2013. – 336 с.
- 2 Метрология, стандартизация и сертификация на транспорте / Аристов А.И. и др. – М.: Академия, 2013. – 416 с.
- 3 Основы метрологии, стандартизации, сертификации и контроля качества / Гончаров А.А., Копылов В.Д. – М.: Академия, 2013. – 272 с.
- 4 Проектирование технологической оснастки / Блюмштейн В.Ю., Клепцов А.А. – СПб: Лань, 2011. – 224 с.
- 5 Проектирование технологической оснастки в машиностроении / Тарабрин О.И., Абызов А.П., Ступко В.Б. – СПб: Лань, 2013. – 304 с.

Интернет ресурсы:

1. <http://metrologu.ru/>
2. <http://standard.gost.ru/>
3. <http://www.metrob.ru/>

Подписано в печать 18.04.18. Формат 84x108/32  
Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Бумага мелованная. Усл. Печ. л. – 1,58  
Тираж 50 экз.

Издательство Современного технического университета  
390048, г. Рязань, ул. Новоселов, 35А.  
(4912) 300630, 30 08 30