

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»**

**ИЗМЕРЕНИЕ  
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ  
НА РЫЧАЖНО-МЕХАНИЧЕСКИХ  
И ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ**

**Методические указания**

**САМАРА 2005**

Составители: Д.Л. Скуратов, В.Н. Трусов

УДК 621.753

**Измерение геометрических параметров деталей на рычажно-механических и оптико-механических приборах:** Метод. указания /Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. Д.Л. Скуратов, В.Н. Трусов. Самара, 2005. 29 с.

Приведены конструкции и описаны принципы работы некоторых рычажно-механических и оптико-механических приборов. На примере контроля гладких калибров, типы и конструкции которых содержатся в методических указаниях, изложен относительный метод измерения деталей.

Предназначены для студентов очного и очно-заочного обучения факультетов № 1, 2, 3, 4. Подготовлены на кафедре механической обработки материалов.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева».

Рецензент профессор, д.т.н. Н.Д.Проничев

*Ц е л ь р а б о т ы:* ознакомление с устройством и принципом работы рычажно-механических (миниметра, микрокатора) и оптико-механического (вертикального оптиметра) приборов, освоение относительного метода измерения деталей на примере контроля гладких калибров.

## **1. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА РАБОТЫ РЫЧАЖНО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ**

Для измерения с высокой точностью геометрических параметров деталей невозможно использовать широко применяемые в машиностроении штангенинструменты и микрометры, так как цена деления нониусных шкал у первых составляет 0,1 или 0,05 мм, а цена деления барабанчика у вторых 0,01 мм. В связи с этим для точного контроля размеров деталей весьма часто используют рычажно-механические и оптико-механические приборы, к которым относятся миниметры, микрокаторы и вертикальные оптиметры. Данные приборы применяют, как правило, для измерения по относительному методу, то есть для измерения методом сравнения с мерой, что обусловлено малыми показаниями шкал приборов {1}.

При относительном методе измерения прибор настраивается на нуль по блоку концевых мер (плиток). Заменяв блок плиток измеряемой деталью, по шкале определяют искомое  $\Delta X$ .

Для определения действительного размера детали  $X$  необходимо к размеру блока плиток  $A$  прибавить или отнять от него (в зависимости от направления смещения стрелки или нулевого штриха) полученное отклонение:

$$X = A \pm \Delta X .$$

## 1.1. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА РАБОТЫ МИНИМЕТРА И МИКРОКАТОРА

Миниметр и микрокатор – это рычажно-механические измерительные приборы, преобразующие малые отклонения размеров изделий в удобные для отсчета перемещения стрелки по шкале.

Конструкция миниметра, схема которого представлена на рис. 1,

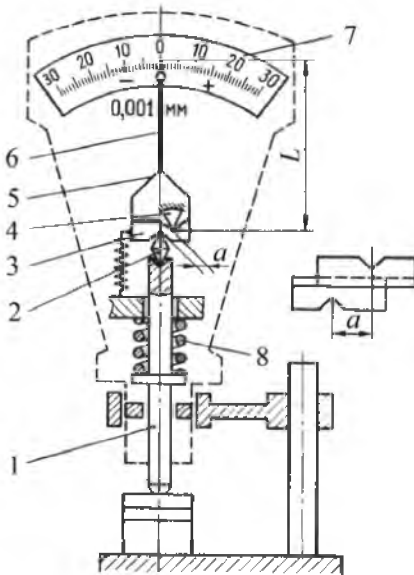


Рис. 1. Схема миниметра

основана на применении неравноплечего рычага. Малым плечом  $a$  является расстояние между подвижной 2 и неподвижной 4 ножевыми опорами, которые входят в V – образные вырезы составной призмы 3. Большим плечом является расстояние  $L$  от конца стрелки 6 до опорного ножа 4. Измерительный стержень 1 прибора через качающуюся опору 2 связан с призмой 3, которая может поворачиваться вокруг острия неподвижной опоры 4. При этом происходит поворот рамки 5 и связанной с ней стрелки 6 относительно шкалы 7. Измерительная сила создается пружиной 8, она равна 400 сН.

Передаточное отношение или увеличение миниметра определяется по формуле  $K = L/a$ .

На рис. 2 представлен общий вид миниметра со стойкой типа С-II. На гильзу миниметра 8 надет арретир 6 для отвода измерительного наконечника 5. Гильза зажимается винтом 7 в разрезной муфте кронштейна 9, который перемещается по колонке при вращении кольца 11 и зажимается винтом 10. Колонка запрессована в устойчивое основание 12, на котором расположен предметный столик 4. Горизонтальное положение столика устанавливают вращением микровинтов 3. В вертикальном направлении столик перемещают в пределах нескольких миллиметров вращением гайки 1 микрометрического механизма и фиксируют винтом 2.

Установка прибора на нуль производится следующим образом: блок из концевых мер, собранный на необходимый размер притирается к предметному столику 4, при этом винт 2 должен быть ослаблен; после этого вращая кольцо 11, кронштейн опускают до соприкосновения измерительного наконечника 5 с верхней измерительной поверхностью блока, и в этом положении кронштейн закрепляют винтом 10. Точная установка стрелки прибора в нулевое положение производится гайкой 1, после чего столик закрепляется винтом 2.

Схема пружинной измерительной головки ИГП – микрокатора приведена на рис. 3. Микрокаторы применяют для высокоточных относительных измерений размеров, а также отклонений форм изделий со стойками С-I и С-II и приспособлениями, имеющими присоединительный размер 28 мм.

В качестве чувствительного элемента в микрокаторах (см. рис. 3, а) используется специальная ленточная пружина 2, завитая спирально от середины в разные стороны и закрепленная по концам на плоских пружинах. К середине пружины приклеена стрелка 3. Перемещение измерительного стержня 7 вызывает изменение длины пружины 2 и поворот ее средней части. Смещение стрелки относительно шкалы прибора пропорционально перемещению измерительного стержня. Преимущества пружинных передач: высокая чувствительность ленточных пружин, обеспечивающая большую точность измерений; отсутствие внешнего трения и минимальная разность прямого и обратного хода.

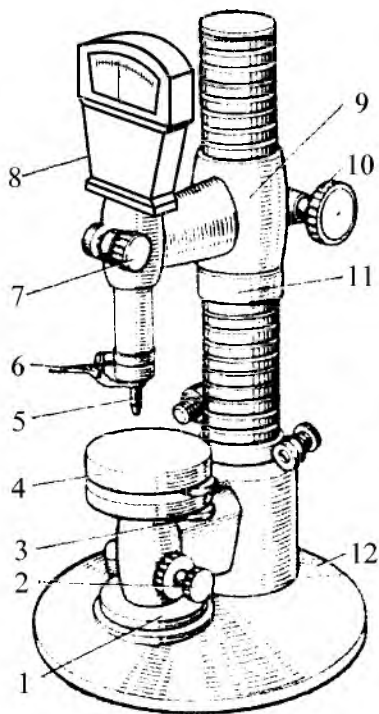


Рис. 2. Общий вид микрометра со стойкой

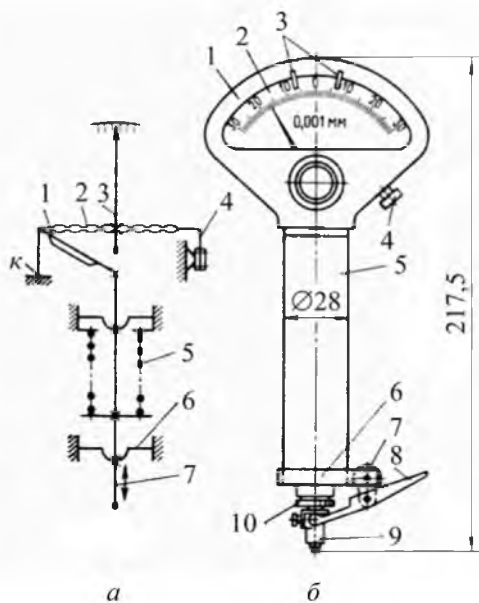


Рис. 3. Пружинная измерительная головка ИГП – микрокатор: а – схема; б – внешний вид

Пружинная передача микрокатора (рис. 3, б) закреплена в корпусе 1, к которому присоединена гильза 5. Положение шкалы 2 регулируется в пределах  $\pm 5$  делений винтом 4 для установки прибора на нуль. Указатели 3 поля допуска перемещаются рычажками, расположенными на задней стороне корпуса. На конце гильзы с помощью хомута 6, зажимаемого винтом 7, установлен арретир 8, соединенный с измерительным наконечником 9 со сферической поверхностью. Фиксатором 10 измерительный стержень зажимают при транспортировании.

Основные параметры пружинных измерительных головок (микрокаторов) различных типов приведены в табл. 1.

Выпускают также микрокаторы ИГПУ и ИГПР с уменьшенным и регулируемым измерительным усилием, ИГПГ с герметизированным корпусом и ИГПВ виброустойчивые.

Методика настройки микрокаторов по блоку концевых мер и методика измерения размеров деталей аналогичны используемым при работе с миниметрами.

Как видно из рис. 3, а, ленточная пружина 2 закреплена на угольнике 1 и консольной пружине 4, установленной на угловом выступе. Изменяя положение пружины 4 с помощью винтов, которыми она крепится к выступу, регулируют натяжение ленточной пружины и устанавливают прибор на нуль. Измерительный стержень 7 подвешен на мембранах 6 и жестко связан с угольником 1. Перемещение стержня вызывает поворот угольника вокруг точки к и растяжение пружины. Измерительное усилие создается пружиной 5.

*Т а б л и ц а 1*

*Основные параметры микрокаторов различных типов*

Тип головки	Цена деления шкалы, мкм	Диапазон измерений мкм	Допускаемая погрешность на любом участке шкалы, мкм		Размах показаний в делениях шкалы
			Число делений		
			До 30	Св. 30	
01 ИГП	0,1	$\pm 4$	0,1	0,15	$\frac{1}{3}$
02 ИГП	0,2	$\pm 6$	0,15	0,2	
05 ИГП	0,5	$\pm 15$	0,25	0,4	
1 ИГП	1	$\pm 30$	0,4	0,6	$\frac{1}{4}$
2 ИГП	2	$\pm 60$	0,8	1,2	
5 ИГП	5	$\pm 150$	2,0	3,0	
10 ИГП	10	$\pm 300$	3,0	5,0	

## 1.2. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ОПТИМЕТРА

Оптиметр предназначается главным образом для измерений наружных и внутренних размеров методом сравнения с концевыми мерами, калибрами или деталями образцами, но может также с успехом применяться в качестве индикатора для проверок различных установок, требующих высокой точности измерений.

Устройство прибора основано на сочетании принципов автоколлимации и оптического рычага.

Конструктивно оптиметр представляет собой коленчатую металлическую трубку, внутри которой установлены измерительная головка с колебательной системой зеркала и оптические детали автоколлимационной системы.

Оптическая схема измерительной трубки оптиметра с окулярным отсчетом показана на рис. 4, а. Световой поток от внешнего источника света А, отразившись от зеркала 3, через призму 2 полного внутреннего отражения освещает шкалу, нанесенную на левой стороне

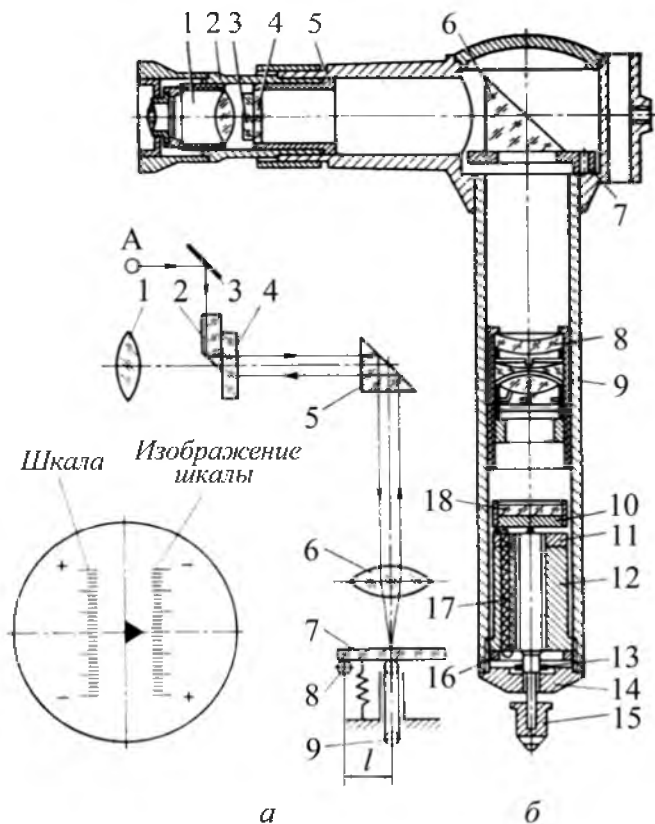


Рис. 4. Трубка окулярного оптиметра:  
*а* – схема; *б* – устройство

окулярной сетки 4, которая находится в фокальной плоскости объектива 6. Сеткой называется стеклянная пластина, на которой различными способами нанесены деления шкалы. Призма 5 поворачивает ход лучей на  $90^\circ$  и позволяет придать трубке удобную форму колена. Световой поток проходит через объектив и, отразившись от зеркала 7, дает автоколлимационное обратное изображение шкалы в правой части окулярной сетки, на которой нанесен указатель. То есть принцип автоколлимации – это свойство объектива превращать пучок расходящихся лучей, исходящих из точечного источника света, расположенного в фокусе объектива, в пучок параллельных лучей, который после отра-



жения зеркалом собирается в том же фокусе объектива. Увеличенное изображение шкалы наблюдается через окуляр 1 оптиметра. Зеркало 7 прижимается двумя пружинами к шарикам 8 и измерительному стержню 9.

Если плоскость зеркала 7 располагается перпендикулярно главной оптической оси (такое положение зеркало принимает при настройке оптиметра по блоку плиток), то исходная шкала и ее изображение будут находиться на одном уровне по вертикали, и нулевой штрих изображения шкалы будет совпадать с указателем.

Если при измерении окажется, что размер детали отличается от размера блока концевых мер, то измерительный стержень 9 переместится вверх или вниз, зеркало при этом отклонится на некоторый угол  $\alpha$  и изображение шкалы сместится по вертикали относительно указателя.

Величина смещения будет соответствовать отклонению действительного размера детали от размера блока концевых мер, по которому был настроен оптиметр.

Для того, чтобы преобразовать малые перемещения измерительного стержня в значительные перемещения изображения шкалы, в конструкции оптиметра используется принцип оптического рычага: малым плечом рычага является расстояние  $l$  от точки опоры качающегося зеркала 7 до оси измерительного стержня 9, большим – фокусное расстояние объектива  $f$ .

В оптиметрах фокусное расстояние  $f = 200$  мм, а длина механического рычага  $l = 5$  мм, что обеспечивает передаточное отношение  $S = 2f/l = 2 \cdot 200/5 = 80$ . Шкала оптиметра имеет число делений  $n = 200$  с интервалом делений  $a = 0,08$  мм. Цена деления  $C = a/S = 0,08/80 = 0,001$  мм. Увеличение окуляра  $z = \times 12$  обеспечивает удобное наблюдение шкалы. Видимый интервал деления шкалы составляет  $a' = az = 0,08 \cdot 12 = 0,96$  мм. Пределы измерений по шкале  $\pm Cn/2 = \pm 0,001 \cdot 200/2 = \pm 0,1$  мм.

Все детали трубки оптиметра собирают и устанавливают в коленообразной трубке (рис. 4, б). Измерительный стержень с наконечником 15 и зеркало 18, установленное на основании 10, собирают на втулке, которая закрепляется в трубке гайкой 16 с наружной резьбой. Основание 10 прижимается пружиной 17 к шарикам на шайбе 11 и

стержню. Шайба 13 ограничивает ход стержня, упираясь в крышку 14. Линзы 8 объектива собраны в трубке 9. Призма 6 установлена на плате 7. Окулярная сетка 4, на которой фотографическим путем нанесены шкалы и указатель, и осветительная призма 3 закреплены в тубусе 5, который тремя радиальными винтами укреплен во втулке 2. На втулку с помощью многоходовой резьбы навинчивается окуляр 1, что позволяет регулировать четкость изображения шкалы.

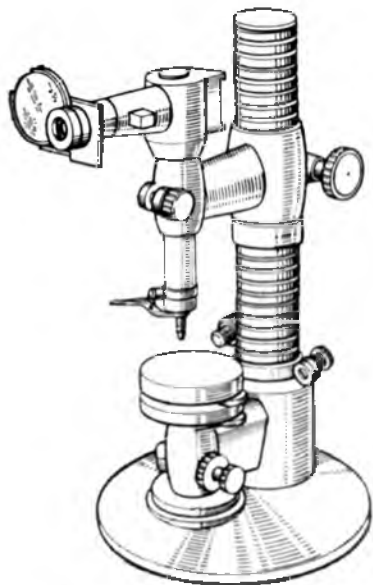


Рис. 5. Вертикальный оптиметр

плоскопараллельных концевых мер, диаметров гладких калибр-пробок, резьбовых калибров, шариков и проволоки, толщины тонких листов и т.п. Порядок настройки прибора и измерений такой же, как и для миниметров и микрокаторов.

## **2. ГЛАДКИЕ КАЛИБРЫ И ИХ ИЗМЕРЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ РЫЧАЖНО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ**

### **2.1. ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ КАЛИБРОВ**

В условиях производства, особенно крупносерийного и массового, для контроля годности деталей, размеры которых выполнены с допусками по 6... 17 квалитетам, широко используют предельные калиб-

ры. Преимуществом метода контроля размеров деталей предельными калибрами по сравнению с существующими методами измерений является его высокая производительность, простота и экономичность.

Калибры - это бесшкальные контрольные инструменты, с помощью которых проверяют размеры гладких цилиндрических, конусных, резьбовых и шлицевых деталей, глубин и высот выступов, а также расположение поверхностей. В отличие от приборов и универсальных измерительных инструментов, снабженных отсчетными устройствами (шкалой), калибры не позволяют определить действительное значение контролируемого размера, а лишь устанавливают, находится ли данный размер в границах поля допуска. Поскольку поле допуска ограничено двумя предельными размерами, то для контроля детали необходимо иметь два калибра, один из которых позволяет установить выходит ли действительный размер детали за наибольший, а второй – за наименьший предельный размер.

Такие калибры называются **предельными**. В зависимости от формы контролируемых деталей калибры подразделяются на гладкие, резьбовые, шлицевые и т.п.

Комплект гладких рабочих предельных калибров для контроля размеров цилиндрических деталей состоит из проходного ПР и непроходного НЕ калибров (рис. 6).

Для контроля размеров отверстий применяют калибры-пробки (см. рис. 6, а). Назначение проходной пробки ПР - отсеивание всех деталей с размером меньше  $D_{\min}$ . Если калибр ПР в отверстие не входит, то это означает брак, но исправимый; отверстие требует до-

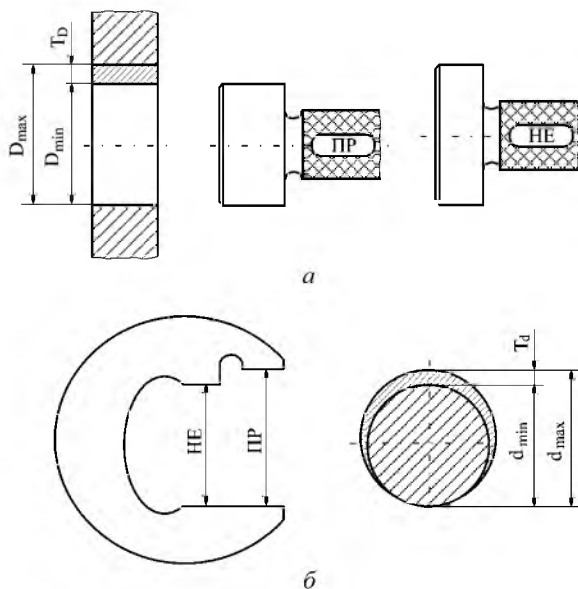


Рис. 6. Схемы контроля гладкими предельными калибрами отверстия (а) и вала (б)

полнительной обработки. Назначение непроходной пробки НЕ - отсеивание всех деталей с размером больше  $D_{\max}$ . Если в отверстие входит калибр НЕ, то это означает неисправимый брак. Деталь считается годной, то есть размеры отверстия лежат в заданных пределах, если проходная пробка под действием собственного веса или усилия примерно равного ему входит в контролируемое отверстие, а непроходная пробка в него не входит.

Внешне проходная пробка от непроходной отличается меньшей высотой.

Основные типы калибр-пробок для контроля отверстий показаны на рис. 7 [2].

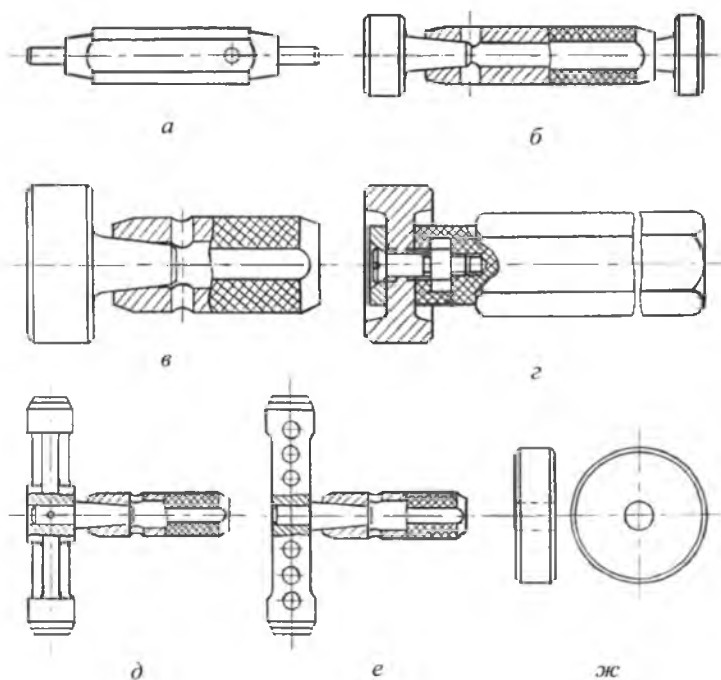


Рис. 7. Основные типы калибр-пробок для контроля отверстий и контрольный калибр к скобам: *а* – пробка двухсторонняя со вставками ( $D = 1...6$  мм); *б* – пробка двухсторонняя со вставками ( $D = 3...50$  мм); *в* – пробка проходная (непроходная) со вставками ( $D = 52...75$  мм); *г* – пробка штампованная проходная (непроходная) с насадками ( $D = 52...100$  мм); *д* – пробка проходная (непроходная) неполная ( $D = 102(75)...160$  мм); *е* – пробка проходная (непроходная) неполная ( $D = 102(75)...300$  мм); *ж* – шайба полная ( $D = 18...100$  мм)

Для контроля размеров валов применяют калибр-скобы (см. рис. 6, б). Назначение проходной скобы ПР - отсеивание всех деталей с размером больше  $d_{\max}$ . Если вал не проходит через калибр-скобу ПР, то имеет место исправимый брак; вал требует дополнительной обработки. Назначение непроходной скобы НЕ - отсеивание всех деталей с размером меньше  $d_{\min}$ . Контролируемый вал является неисправимым браком, если он проходит в калибр-скобу НЕ. Вал считается годным, то есть его размеры лежат в заданных пределах, если при усилии приложенном к калибру, и примерно равным его весу, вал проходит через проходную калибр-скобу и не проходит через непроходную.

Конструкции калибр-скоб приведены на рис. 8 [2].

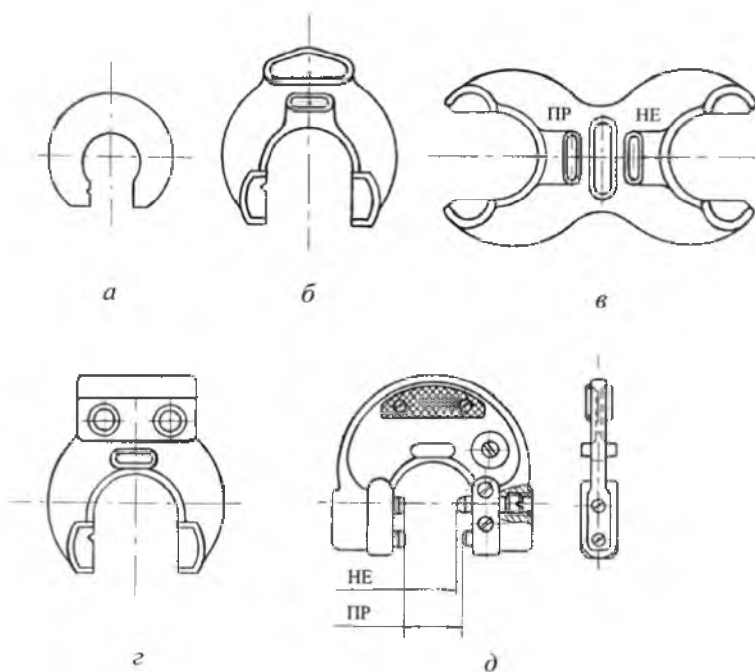


Рис. 8. Основные типы калибр-скоб для контроля валов: а – скоба односторонняя ( $D = 1 \dots 180$  мм); б – скоба штампованная односторонняя ( $D = 3 \dots 50$  мм); в – скоба штампованная двухсторонняя ( $D = 3 \dots 100$  мм); г – скоба с ручкой штампованная односторонняя ( $D = 50 \dots 170$  мм); д – скоба односторонняя регулируемая (диапазон регулируемых размеров от 0 до 340 мм)

По назначению калибры разделяют на рабочие и контрольные.

Рабочие калибры (ПР, НЕ) применяются для контроля размеров детали.

Контрольные калибры (К-ПР, К-НЕ, К-И) предназначаются для контроля размеров скоб в процессе их изготовления и эксплуатации, а также для установки регулируемых скоб на размер: калибр К-ПР применяется для контроля рабочей проходной скобы; калибр К-НЕ – для контроля непроходной скобы при ее изготовлении (в годные скобы эти калибры должны входить под собственным весом); с помощью калибра К-И контролируется износ проходной скобы (скоба считается изношенной, если в нее входит калибр К-И).

Контрольные калибры для пробок не предусмотрены, так как контроль пробок в процессе изготовления и эксплуатации легко осуществляется с помощью универсальных приборов (миниметра, микрокатора, оптиметра и др.).

Гладкие нерегулируемые калибры должны изготавливаться в соответствии с требованиями ГОСТ 2015-84 (некоторые из которых приведены ниже), а гладкие регулируемые калибр-скобы – с требованиями ГОСТ 2216-84. Основные требования к калибрам: высокая точность изготовления, большая жесткость при малой массе, износоустойчивость, коррозионная стойкость, стабильность рабочих размеров, удобство в работе.

Вставки и насадки калибр-пробок должны изготавливаться из стали марки Х по ГОСТ 5959-80 или ШХ15 по ГОСТ 801-78. Допускается изготовление вставок и насадок для калибров всех видов, кроме неполных калибр-пробок, получаемых штамповкой, из стали марок У10А или У12А по ГОСТ 1435-90, для калибров диаметром более 10 мм – из стали марок 15 или 20 по ГОСТ 1050-88.

Корпусы калибр-скоб, не имеющие отдельных губок, и губки составных калибр-скоб должны изготавливаться из стали марок 15 или 20 по ГОСТ 1050-88. Допускается их изготовление из стали марок У8А, У10А или У12А по ГОСТ 1435-90. Корпуса калибр-скоб, имеющие отдельные губки, должны изготавливаться из стали марок 35 или 40 по ГОСТ 1050-88.

Твердость измерительных поверхностей калибров должна быть в пределах 57...65 HRC<sub>3</sub> (для инструментальных, углеродистых и легированных сталей применяется закалка, для малоуглеродистых – цементация на глубину не менее 0,5 мм с последующей закалкой).

Рабочие поверхности, поверхности заходных и выходных фасок калибр-пробок всех видов для диаметров от 1 до 100 мм, кроме листовых и неполных калибр-пробок, должны иметь хромовое или другое износостойкое покрытие.

Шероховатость рабочих поверхностей калибров должна соответствовать значениям, указанным в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

*Шероховатость рабочих поверхностей калибров*

Вид калибра	Квалитет контролируемого изделия	Параметр шероховатости $Ra$ по ГОСТ 2789-73, мкм, для диаметров	
		от 0,1 до 100 мм	св. 100 до 360 мм
Калибр-пробка	6	0,04	0,08
	7-9	0,08	0,16
	10-12	0,16	
Калибр-скоба	6-9	0,08	0,16
	10-12	0,16	
Контрольный калибр	6-9	0,04	0,08

При маркировке на калибр наносят: номинальный размер детали, для контроля которого предназначен калибр; буквенное обозначение поля допуска изделия, на рабочих калибрах; величину предельных отклонений изделия в миллиметрах; тип калибра (например, ПР, НЕ, К-И) и товарный знак завода изготовителя.

## **2.2. РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ГЛАДКИХ КАЛИБРОВ И ИХ ИЗМЕРЕНИЕ**

Для того чтобы проходные ПР и непроходные НЕ калибры выполняли указанные функции необходимо определенным образом рассчитать их исполнительные размеры. Под исполнительными размерами калибра понимают размеры, проставляемые на его рабочем чертеже и содержащие номинальный размер и предельные отклонения.

В основу расчета гладких калибров положены предельные размеры контролируемых деталей [3]. Так, в основу расчета непроходных калибров положены: наибольший предельный размер отверстия

$D_{\max}$  – для калибров-пробок и наименьший предельный размер вала  $d_{\min}$  – для калибров-скоб, а в основу расчета проходных калибров – наименьший предельный размер отверстия  $D_{\min}$  – для калибров-пробок и наибольший предельный размер вала  $d_{\max}$  – для калибров-скоб.

На рис. 9 и 10 даны схемы расположения полей допусков гладких калибров для номинальных размеров до 180 мм.

Как видно из рис. 9 и 10, поле допуска на неточность изготовления непроходных пробок ( $H$ ) располагается симметрично относительно размера  $D_{\max}$ , а непроходных скоб ( $H_1$ ) – симметрично размера  $d_{\min}$ . В тоже время поле допуска на неточность изготовления проходных пробок ( $H$ ) располагается не симметрично относительно размера  $D_{\min}$  и смещено внутрь поля допуска отверстия на величину  $Z$ . Поле допуска на неточность изготовления проходных скоб ( $H_1$ ) располагается не симметрично относительно размера  $d_{\max}$  и смещено внутрь поля допуска вала на величину  $Z_1$ . Указанное различие в расположении полей допусков непроходных и проходных калибров связано с тем, что в процессе контроля проходные калибры изнашиваются, в связи с чем им необходимо обеспечить достаточный срок службы. Поэтому для проходных калибров устанавливается определенный допуск на износ, граница которого определяется координатой  $Y$  для калибров-пробок и  $Y_1$  для калибров-скоб и выходит за пределы поля допуска на изготовление детали при контроле валов и отверстий выполненных по 6...8 квалитетам (см. рис. 9). При контроле валов и отверстий, изготовленных по 9...17 квалитетам, граница износа проходных пробок совпадает с  $D_{\min}$ , а проходных скоб с  $d_{\max}$ , то есть величины  $Y = Y_1 = 0$  (см. рис. 10).

Схемы полей допусков гладких калибров для номинальных размеров свыше 180 мм приведены в ГОСТ 24853-81. Расположение полей допусков калибров, предназначенных для контроля отверстий и валов с размерами свыше 180 мм, отличается от расположения полей допусков калибров, используемых для контроля подобных деталей с размерами до 180 мм, смещением допуска непроходных калибров и границы износа проходных калибров внутрь поля допуска детали на величину  $\alpha$  – для калибров-пробок и  $\alpha_1$  – для калибров-скоб. Это связано с тем, что с увеличением размеров деталей погрешность



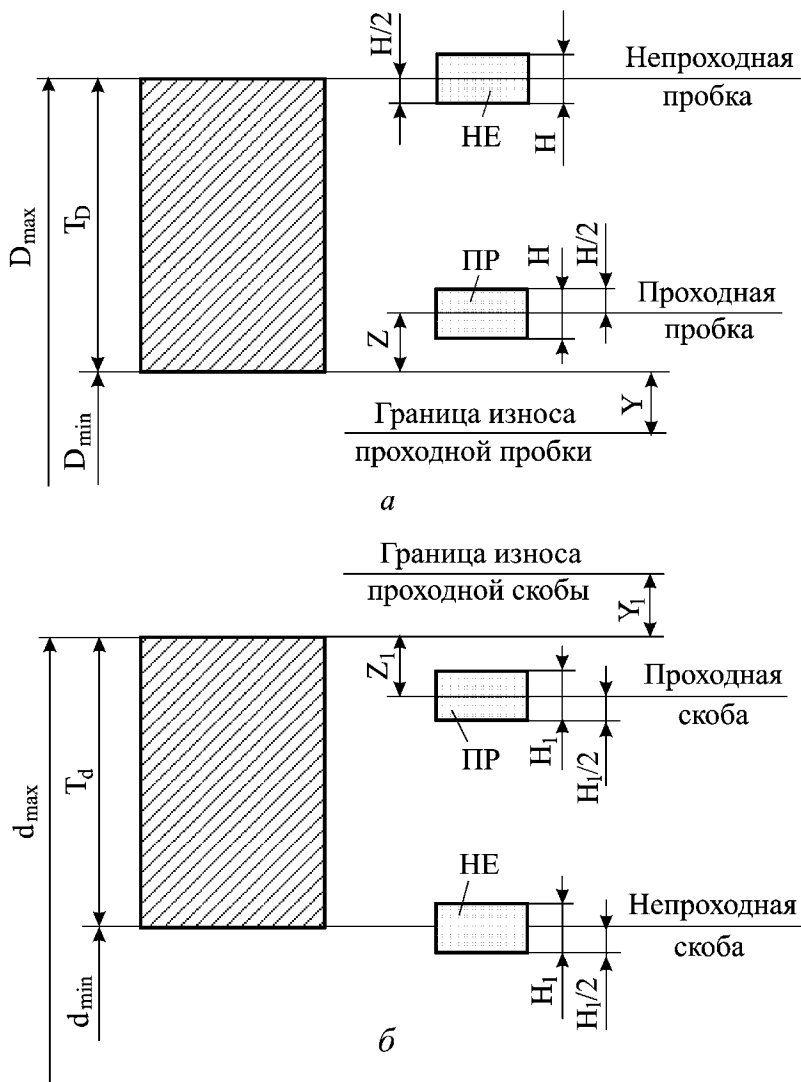


Рис. 9. Схемы расположения полей допусков гладких калибров для контроля отверстий (а) и валов (б) с номинальными размерами до 180 мм и допуском изготовления по IT6-IT8

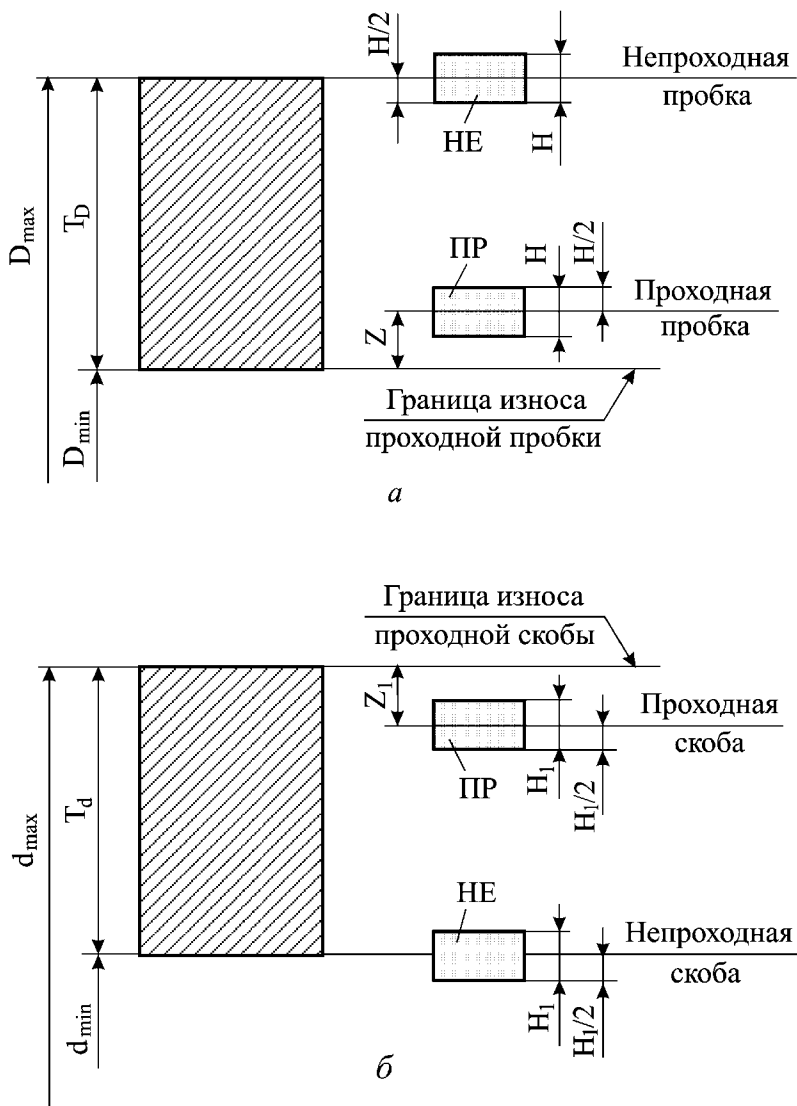


Рис. 10. Схемы расположения полей допусков гладких калибров для контроля отверстий (а) и валов (б) с номинальными размерами до 180 мм и допуском изготовления по IT9-IT17

контроля калибрами увеличивается и главным образом за счет появления значительных упругих деформаций контрольных инструментов.

Допуски и отклонения калибров в зависимости от качества и номинального размера контролируемой детали установлены ГОСТ 24853-81.

Для расчета исполнительных размеров калибр-пробок по табл. 3 определяются величины  $H, Z$  и  $Y$ , а для расчета калибр-скоб соответственно величины  $H_1, Z_1$  и  $Y_1$ . Формулы для определения исполнительных размеров рабочих калибров приведены в табл. 4.

Поясним методику расчета исполнительных размеров гладких предельных калибров, предназначенных для контроля отверстия и вала, сопрягающихся по посадке  $\varnothing 60 E9/k6$ .

1. По таблицам ГОСТ 25347-82 для номинального размера 60 мм (интервал размеров от 50 до 80 мм) определяем значения основного отверстия E ( $EI = 60$  мкм) и вала k ( $ei = 2$  мкм).

2. Для номинального размера 60 мм определяем допуски на изготовление отверстия и вала:

$$\text{отверстие} - IT9 = 74 \text{ мкм};$$

$$\text{вал} - IT6 = 19 \text{ мкм}.$$

3. Определяем второе предельное отклонение отверстия и вала:

$$\varnothing 60E9 (EI = 60 \text{ мкм}) ES = EI + IT9 = 60 + 74 = 134 \text{ мкм};$$

$$\varnothing 60k6 (ei = 2 \text{ мкм}) es = ei + IT6 = 2 + 19 = 21 \text{ мкм}.$$

4. Строим схему полей допусков для посадки  $\varnothing 60 E9/k6$  (рис. 11).

5. Определяем предельные размеры сопрягаемых деталей, то есть отверстия и вала:

$$D_{\min} = D + EI = 60 + 0,060 = 60,060 \text{ мм};$$

$$D_{\max} = D + ES = 60 + 0,134 = 60,134 \text{ мм};$$

$$d_{\min} = d + ei = 60 + 0,002 = 60,002 \text{ мм};$$

$$d_{\max} = d + es = 60 + 0,021 = 60,021 \text{ мм}.$$

6. По табл. 3 для номинального размера 60 мм и квалитетов 9-го (отверстие) и 6-го (вал) определяем числовые значения отклонений и допусков гладких калибров:

$$\text{для калибров-пробок: } H = 5 \text{ мкм}, Y = 0, Z = 13 \text{ мкм};$$

$$\text{для калибров-скоб: } H_1 = 5 \text{ мкм}, Y_1 = 3 \text{ мкм}, Z_1 = 4 \text{ мкм}.$$

Таблица 3

## Допуски и отклонения калибров

Квалитеты допусков деталей	Обозначения допусков и отклонения калибров	Интервалы размеров, мм												Допуск на форму калибра			
		До	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400		Св. 400 до 500		
		1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10		12	15	
6	Z	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10	12	13	15	IT1 IT2
	Y	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10	12	13	15	
	$\alpha, \alpha_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Z <sub>1</sub>	1,5	2	2,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	Y <sub>1</sub>	1,5	1,5	2	2,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	H	1,2	1,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	2,5	2	
7	Z	2	2,5	3	4	5	6	7	8	10	12	13	15	16	18	20	IT2 IT3
	Z <sub>1</sub>	2	2,5	3	4	5	6	7	8	10	12	13	15	16	18	20	
	Y	2	2,5	3	4	5	6	7	8	10	12	13	15	16	18	20	
	Y <sub>1</sub>	1,5	1,5	2	2,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	$\alpha, \alpha_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	H, H <sub>1</sub>	2	2,5	3	4	5	6	7	8	10	12	13	15	16	18	20	
8	Z	3	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	20	IT2 IT3	
	Z <sub>1</sub>	3	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	20		
	Y	3	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	20		
	Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
	$\alpha, \alpha_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
	H, H <sub>1</sub>	2	2,5	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20		20

Квалитеты допусков деталей	Обозначения допусков и отклонения калибров	Интервалы размеров, мм													Допуск на форму калибра
		До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	
		Допуски и отклонения, мкм													
9	Z, Z <sub>1</sub>	5	6	7	8	9	11	13	15	18	21	24	28	32	IT2 IT3
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	α, α <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	7	9	
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	
	H <sub>1</sub>	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	
10	Z, Z <sub>1</sub>	5	6	7	8	9	11	13	15	18	24	27	32	37	IT2 IT3
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	α, α <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	9	11	14	
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	
	H <sub>1</sub>	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	
11	Z, Z <sub>1</sub>	10	12	14	16	19	22	25	28	32	40	45	50	55	IT4
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	α, α <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	15	15	20	
	H, H <sub>1</sub>	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	
	Z, Z <sub>1</sub>	10	12	14	16	19	22	25	28	32	45	50	65	70	
Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
α, α <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	20	30	35		
H, H <sub>1</sub>	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27		
Z, Z <sub>1</sub>	20	24	28	32	36	42	48	54	60	80	90	100	110	IT5	
Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
α, α <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	35	45	55		
H, H <sub>1</sub>	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63		

21

22

Квалитеты допусков деталей	Обозначения допусков и отклонения калибров	Интервалы размеров, мм													Допуск на форму калибра
		До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	
		Допуски и отклонения, мкм													
14	Z, Z <sub>1</sub>	20	24	28	32	36	42	48	54	60	100	110	125	145	IT5
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	α, α <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	55	70	90	
	H, H <sub>1</sub>	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	
	Z, Z <sub>1</sub>	40	48	56	64	72	80	90	100	110	170	190	210	240	
Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
α, α <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	90	110	140		
H, H <sub>1</sub>	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63		
Z, Z <sub>1</sub>	40	48	56	64	72	80	90	100	110	210	240	280	320	IT5	
Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
α, α <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110	140	180	220		
H, H <sub>1</sub>	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63		

7. Строим схему расположения полей допусков для калибров-пробок и калибров-скоб (см. рис. 4).

Таблица 4

Формулы для определения исполнительных размеров рабочих калибров

Калибр		Номинальный размер изделия, мм			
		до 180		св. 180 до 500	
		Размер	Допуск	Размер	Допуск
Для отверстия	Проходная сторона новая	$D_{\min} + Z$	$\pm \frac{H}{2}$	$D_{\min} + Z$	$\pm \frac{H}{2}$
	Проходная сторона изношенная	$D_{\min} - Y$	—	$D_{\min} - Y + \alpha$	—
	Непроходная сторона	$D_{\max}$	$\pm \frac{H}{2}$	$D_{\max} - \alpha$	$\pm \frac{H}{2}$
Для вала	Проходная сторона новая	$d_{\max} - Z_1$	$\pm \frac{H_1}{2}$	$d_{\max} - Z_1$	$\pm \frac{H_1}{2}$
	Проходная сторона изношенная	$d_{\max} + Y_1$	—	$d_{\max} + Y_1 - \alpha_1$	—
	Непроходная сторона	$d_{\min}$	$\pm \frac{H_1}{2}$	$d_{\min} + \alpha_1$	$\pm \frac{H_1}{2}$

Примечание. При подсчете исполнительных размеров калибров (наибольших для отверстий и наименьших для валов) необходимо пользоваться следующими правилами округления:  
 округление размеров рабочих калибров (наибольших для отверстий и наименьших для валов) для изделий квалитетов 15-17 следует производить до целого микрометра;  
 для изделий квалитетов 6-14 размеры калибров следует округлять до величин, кратных 0,5 мкм, при этом допуск на калибры сохраняется;  
 размеры, оканчивающиеся на 0,25 и 0,75 мкм, следует округлять до величин, кратных 0,5 мкм, в сторону уменьшения допуска изделия.

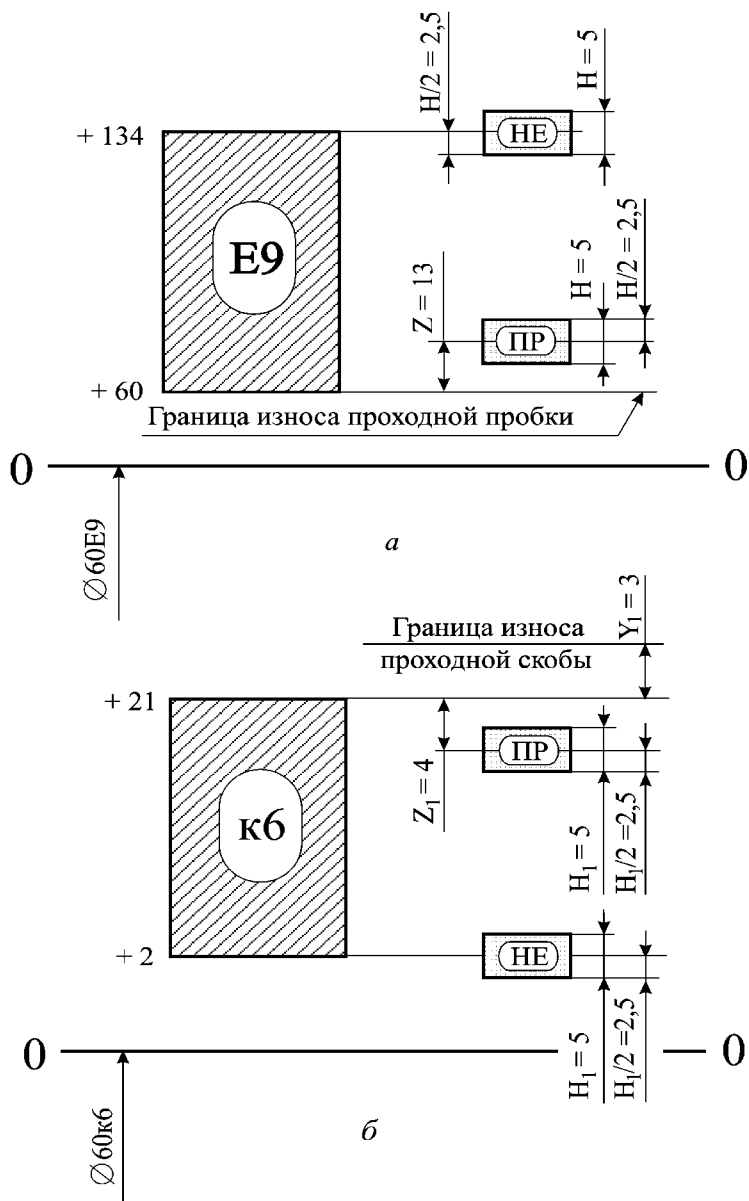


Рис. 11. Расположение полей допусков гладких калибров, предназначенных для контроля отверстия и вала, сопрягающихся по посадке  $\text{Ø}60\text{E}9/\text{k}6$ :  
*a* – для отверстия  $\text{Ø}60\text{E}9$ , *б* -  $\text{Ø}60\text{k}6$

8. Используя формулы табл. 4 определяем исполнительные размеры калибров-пробок и калибров-скоб:

исполнительные размеры калибров-пробок

$$PP_{\text{новый}} = (D_{\text{min}} + Z) \pm H/2 = (60,060 + 0,013) \pm 0,0025 = 60,073 \pm 0,0025 \text{ мм};$$

$$PP_{\text{изн.}} = D_{\text{min}} - Y = 60,060 - 0 = 60,060 \text{ мм};$$

$$HE = D_{\text{max}} \pm H/2 = 60,134 \pm 0,0025 \text{ мм},$$

исполнительные размеры калибров-скоб

$$PP_{\text{новый}} = (d_{\text{max}} - Z_1) \pm H_1/2 = (60,021 - 0,004) \pm 0,0025 = 60,017 \pm 0,0025 \text{ мм};$$

$$PP_{\text{изн.}} = d_{\text{max}} + Y_1 = 60,021 + 0,003 = 60,024 \text{ мм};$$

$$HE = d_{\text{min}} \pm H_1/2 = 60,002 \pm 0,0025 \text{ мм}.$$

Прибор (миниметр, микрокатор или вертикальный оптиметр) настраивается на нуль по блоку концевых мер, размер которого равен предельному размеру отверстия. Калибр-пробка измеряется в нескольких сечениях по схеме, изображенной на рис. 12. Действительный размер калибра определяется как алгебраическая сумма размера блока и среднего отклонения, полученного в результате измерений.

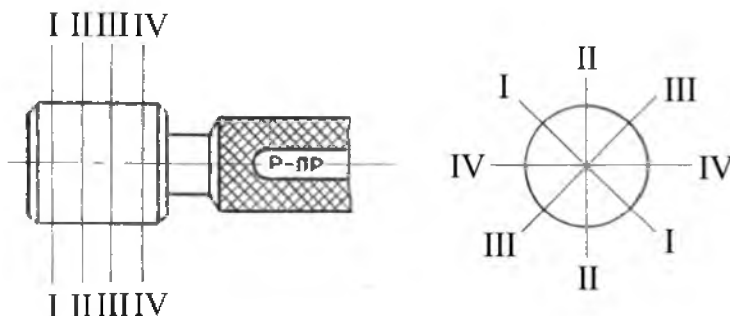


Рис. 12. Схема измерения калибр-пробки

### 2.3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Результаты показаний измерительных приборов, а также результаты измерений действительных размеров проходной и непроходной калибр-пробок заносятся в таблицы отчета (приложение).

На основании сравнения действительных размеров проходной и непроходной пробок с соответствующими допустимыми предельными



размерами по ГОСТ 24853-81 делается вывод о годности калибра. Калибр будет годен в том случае, если его действительные размеры будут располагаться в пределах поля допуска на изготовление нового калибра. Если действительный размер пробки ПР меньше его наименьшего размера, но укладывается в поле допуска на износ, а размер пробки НЕ находится в пределах поля допуска, то калибр считается частично изношенным.

Отчет должен содержать также схему прибора, который был использован при проведении измерений, эскиз калибра-пробки с исполнительными размерами, схему расположения полей допусков калибров и расчет их исполнительных размеров.

### **Контрольные вопросы**

1. Объяснить назначение проходной и непроходной калибр-пробок.
2. Объяснить назначение проходной и непроходной калибр-скоб.
3. Дать характеристику относительного метода измерения.
4. Рассказать об устройстве миниметра и его настройке на измерения.
5. Рассказать об устройстве микрокатора и его настройке на измерения.
6. Рассказать об устройстве оптиметра и его настройке на измерения.
7. Для чего предназначены контрольные калибры.
8. Какими свойствами должны обладать предельные калибры.
9. Какие параметры наносятся на калибры при их маркировке.
10. Какие размеры положены в основу проходных и непроходных калибров.
11. Объяснить, почему у проходных калибров, предназначенных для контроля валов и отверстий, изготовленных по 6-8 квалитетам точности, граница поля допуска на износ выходит за пределы поля допуска на изготовление детали.
12. Рассказать об особенностях расположения полей допусков гладких предельных калибров с исполнительными размерами свыше 180 мм.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Основы метрологии и технические измерения: Учеб. пособие / И.Г. Попов, Д.Л. Скуратов, Ю.А. Шабалин; Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1997. 64 с.

2. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М. Машиностроение, 1986. 456 с.

3. Основы взаимозаменяемости в авиастроении: Учеб. пособие / Е.В. Бурмистров, В.И. Лепилин, А.Н. Первышин и др.; Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2002. 104 с.

Кафедра  
механической обработки  
материалов

Студент \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

**ОТЧЕТ**  
по лабораторной работе  
**Измерение геометрических параметров деталей**  
**на рычажно-механических и оптико-механических приборах**

1. Схема прибора

2. Эскиз калибра-пробки

3. Результаты измерения калибра-пробки Р-ПР

Направление измерения	Величина отклонения от нулевого значения, мкм				Среднее арифметическое 8 величин отклонений, мкм	Размер блока концевых мер длины, мм	Действительных размер калибра, мм
	1	2	3	4			
Продольное							
Поперечное							

#### 4. Результаты измерения калибра-пробки Р-НЕ

Направление измерения	Величина отклонения от нулевого значения, мкм				Среднее арифметическое 8 величин отклонений, мкм	Размер блока концевых мер длины, мм	Действительных размер калибра, мм
	1	2	3	4			
Продольное							
Поперечное							

#### 5. Схема расположения полей допусков калибров

#### 6. Расчеты исполнительных размеров калибров

#### 7. Заключение о годности калибра

*Преподаватель* \_\_\_\_\_

*Учебное издание*

**ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ДЕТАЛЕЙ НА РЫЧАЖНО-МЕХАНИЧЕСКИХ  
И ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ**

*Методические указания к лабораторной работе*

Составители: *Скуратов Дмитрий Леонидович,  
Трусов Владимир Николаевич*

Редактор

Компьютерная верстка Д.Л. Скуратова

Подписано в печать 2005 г. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. . Усл. кр.-отт. . Уч.- изд.л. .

Тираж 500 экз. Заказ . Арт.

Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования «Самарский государственный  
аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева».  
443086 Самара, Московское шоссе, 34

---

РИО государственного образовательного учреждения высшего  
профессионального образования «Самарский государственный  
аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева»,  
443001 Самара, ул. Молодогвардейская, 151.