

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского  
“Харьковский авиационный институт”

## **ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ**

Учебное пособие по лабораторному  
практикуму

Харьков «ХАИ» 2018

УДК 621.002:006.015.3:621.713(076.5)

В 40

Наведено опис лабораторних робіт з дисципліни «Взаємозамінність і стандартизація» за розділами: вимірювання розмірів деталей інструментами, похибки і допуски форми розташування поверхонь, статистичні методи контролю якості продукції, розрахунки розмірних ланцюгів методами максимуму-мінімуму і ймовірнісним, контроль деталей гладкими калібрами. Висвітлено теоретичні частини з розрахунковими формулами, порядок виконання робіт, а також подано додатки, що містять бланки звітів і довідкову інформацію.

Для студентів механічних спеціальностей.

Коллектив авторов:

М. К. Князев, Ю. А. Невешкин, А. В. Онопченко, А. А. Горбачов

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. В. Н. Доля,

канд. техн. наук, доц. Н. Ф. Савченко

**Взаимозаменяемость** и стандартизация [Текст] : учеб. пособие  
В40 по лаб. практикуму / М. К. Князев, Ю. А. Невешкин, А. В. Онопченко,  
А. А. Горбачов. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского  
«Харьков. авиац. ин-т», 2018. – 100 с.

ISBN 978-966-662-601-4

Приведено описание лабораторных работ по дисциплине «Взаимозаменяемость и стандартизация» по разделам: измерение размеров деталей инструментами, погрешности и допуски формы и расположения поверхностей, статистические методы контроля качества продукции, расчеты размерных цепей методами максимума-минимума и вероятностным, контроль деталей гладкими калibraми. Изложены теоретические основы с расчетными формулами, а также представлены приложения, которые содержат бланки отчетов и справочную информацию.

Для студентов механических специальностей.

Ил. 29. Табл. 4. Библиогр.: 25 назв.

УДК 621.002:006.015.3:621.713(076.5)

© Коллектив авторов, 2018

© Национальный аэрокосмический  
университет им. Н. Е. Жуковского

«Харьковский авиационный институт», 2018

ISBN 978-966-662-601-4

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

### Цель работы:

1. Изучить методику указания размеров, допусков, отклонений.
2. Научиться определять на основе стандартов допуски, основные отклонения, предельные отклонения по заданному рекомендуемому полю допуска.
3. Изучить виды измерений.
4. Научиться выполнять измерения штангенциркулем, индикатором часового типа, микрометром.

### Размеры

В соответствии со стандартом любой внутренний элемент детали, в том числе и некруглый, называется «отверстие» (охватывающая поверхность) и любой наружный элемент, в том числе и некруглый, называется «вал» (охватываемая поверхность).

Размеры элементов детали указывают в конструкторской и технологической документации. Стандарт определяет три вида размеров: размер отверстия ( $D, L$ ), размер вала ( $d, l$ ) и размер элементов, не относящихся к валам и отверстиям (не валы и не отверстия),  $b, c$  (рис. 1.1).

Так как невозможно точно выполнить значение размера (например, 50,000000000000...), то размеры на чертежах задают в некотором диапазоне, ограниченном двумя предельными размерами: **наименьшим предельным размером** и **наибольшим предельным размером**:  $D_{min}...D_{max}$ ;  $d_{min}...d_{max}$ ;  $b_{min}...b_{max}$ . Эти пределы определяют допустимые колебания действительных размеров и допустимую погрешность их выполнения. Действительный размер, получаемый при изготовлении, должен находиться между этими предельными размерами или равен одному из них.

Более удобно задавать предельные размеры номинальным размером  $b_{nom}$  и двумя предельными отклонениями (верхним  $\Delta S$  и нижним  $\Delta l$ )

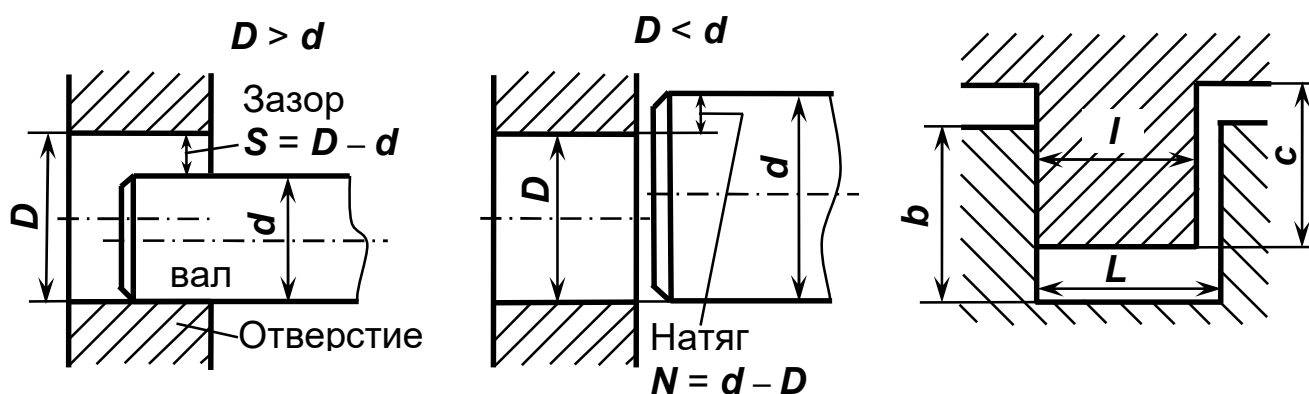


Рис. 1.1. Виды размеров:  $D, L$  – размеры отверстий;  $d, l$  – размеры валов;  $b, c$  – размеры элементов, не относящихся к отверстиям и валам

$b = b_{nom} \frac{\Delta S}{\Delta I}$ . Верхнее предельное отклонение символизирует наибольший предельный размер, а нижнее предельное отклонение – наименьший предельный размер, например  $50_{-0,3}^{+0,6}$ . Такая форма записи размеров на чертежах более удобна при указании размеров на чертежах, поэтому ее широко используют.

Предельные отклонения могут быть положительными (+), отрицательными (–) или равными нулю.

Наибольший и наименьший предельные размеры вычисляют по формулам

$$b_{max} = b_{nom} + \Delta S; \quad b_{min} = b_{nom} + \Delta I. \quad (1.1)$$

Пример получения предельных размеров  $50_{-0,3}^{+0,6}$ :

– наибольший предельный размер  $b_{max} = b_{nom} + \Delta S = 50,0 + (+0,6) = 50,6$  мм;

– наименьший предельный размер  $b_{min} = b_{nom} + \Delta I = 50,0 + (-0,3) = 49,7$  мм.

Разность между двумя предельными размерами называется **допуском** (допустимая погрешность выполнения действительного размера):

$$\text{для отверстия } T_D = D_{max} - D_{min}; \quad \text{для вала } T_d = d_{max} - d_{min}. \quad (1.2)$$

Пример нахождения величины допуска:

$$T_b = b_{max} - b_{min} = 50,6 - 49,7 = 0,9 \text{ мм.}$$

Допуск имеет положительную величину, потому что максимальный размер всегда больше, чем минимальный.

Для обозначения различных видов размеров используют такие символы: прописные буквы – для отверстий  $D = D_{nom} \frac{ES}{EI}$ ; строчные – для валов  $d = d_{nom} \frac{es}{ei}$ ; прописные и строчные – для других элементов детали  $L = L_{nom} \frac{\Delta S}{\Delta I}$ ,  $l = l_{nom} \frac{\Delta s}{\Delta i}$ .

Размеры отверстия часто обозначают в форме записи размера *основного отверстия*  $D = D_{min}^{+TD}$  с номинальным размером, равным наименьшему размеру  $D_{nom} = D_{min}$ , верхним отклонением, равным допуску с плюсом  $ES = +T_D$ , и нижним отклонением, равным нулю  $EI = 0$  (не пишется), например  $49,7^{+0,9}$  ( $= 50_{-0,3}^{+0,6}$ ). При этом максимальный и минимальный предельные размеры не изменяются, т. е. 50,6 и 49,7 мм.

Размеры вала задают в форме записи размера *основного вала*  $d = (d_{max})_{-Td}$  с номинальным размером, равным наибольшему размеру  $d_{nom} = d_{max}$ , верхним отклонением, равным нулю  $es = 0$  (не пишется), и нижним отклонением, равным допуску со знаком минус  $ei = -T_d$ , например  $50,6_{-0,9}$  ( $= 50_{-0,3}^{+0,6}$ ). Наибольший и наименьший предельные размеры остаются теми же, т. е. 50,6 и 49,7 мм.

Размеры других элементов указывают в виде  $b = b_{nom} \pm (T_b / 2)$  с номинальным размером, равным среднему размеру

$$b_m = (b_{max} + b_{min})/2, \quad (1.3)$$

верхним отклонением, равным половине допуска со знаком плюс  $\Delta S = +T_b/2$ , и нижним отклонением, равным половине допуска со знаком минус  $\Delta I = -T_b/2$  (симметричные отклонения), например  $50,15^{+0,45}_{0,45} = 50,15 \pm 0,45 (= 50^{+0,6}_{-0,3})$ . Наибольший и наименьший предельные размеры – 50,6 и 49,7 мм.

Возможны и другие формы записи размеров с двумя положительными или двумя отрицательными предельными отклонениями, например:  $49,5^{+1,1}_{+0,2}$  или  $51^{-0,4}_{-1,3}$ . При этом наибольший и наименьший предельные размеры остаются неизменными, т. е. 50,6 и 49,7 мм.

Допуски, верхнее и нижнее предельные отклонения стандартизированы с учетом величины номинального размера и качества (степени) точности.

Посадки (см. рис. 1.1) в соединениях отверстия и вала зависят от их размеров и могут быть трех типов: с зазором (размер отверстия больше размера вала  $D > d$ ); с натягом (размер отверстия меньше размера вала  $D < d$ ); переходные (возможны как натяги, так и зазоры).

*Действительные размеры  $x$*  устанавливают после обработки детали. Их получают в результате измерения с помощью специальных измерительных приборов.

Качество детали определяют годностью действительного размера, который должен находиться в диапазоне между заданными наибольшим и наименьшим размерами:

$$x \leq d_{min}; \quad x \geq d_{max}.$$

Действительное отклонение  $\Delta x$  – это разность между действительным (измеренным) размером  $x$  и указанным на чертеже номинальным размером  $d_{nom}$ :

$$\Delta x = x - d_{nom}.$$

Отклонение  $\Delta x$  может быть положительным при  $x > d_{nom}$ , отрицательным при  $x < d_{nom}$  или равным нулю при  $x = d_{nom}$ .

### Измерения

*Измерение* – это определение значения физического параметра с помощью специальных измерительных средств, например, линейки, штангенциркуля, микрометра, т. е. измерительных устройств с градуированной шкалой.

*Действительный размер* – это размер, установленный путем измерения с допускаемой погрешностью.

**Погрешность измерения** (неточность) – это отклонение результата измерения  $x$  от истинного значения измеряемого параметра  $d$ . Зависит от точности измерительного оборудования. При этом точность считывания и округления показаний со шкалы, как правило, равна половине деления шкалы (0,5 дел.) измерительного прибора.

**Величина погрешности** – разность между действительным (измеренным) значением  $x$  и истинным значением параметра  $d$ :  $\Delta x = x - d$ .

Существуют различные виды погрешностей:

**Систематические** – называются погрешности, которые постоянны по абсолютной величине и знаку или изменяются по определенному закону, зависящему от неслучайных факторов. Так как величина погрешности и знак известны, то этот вид погрешностей устраняется с помощью поправок  $c$ .

**Поправка  $c$**  – значение параметра, аналогичное измеренному, добавленное к значению, полученному при измерении в целях исключения систематической погрешности:  $x_c = x + c$ .

**Случайные** – погрешности, непостоянные по абсолютной величине и знаку, возникающие при изготовлении и измерении и зависящие от случайных факторов.

**Промахи** или **грубые ошибки** – погрешности, значительно превышающие ожидаемые систематические или случайные погрешности при определенных условиях измерений.

**Прямое измерение** – это измерение, при котором желаемое значение параметра получают непосредственно (путем считывания с измерительного инструмента), например, размер длины – с помощью штангенциркуля или микрометра.

**Косвенное измерение** – это измерение, когда желаемое значение параметра рассчитывают по известной зависимости между этим параметром и параметрами, полученными из экспериментальных данных. Например, площадь прямоугольника определяют путем умножения измеренных значений длины и ширины.

**Относительное измерение** – это измерение, при котором отклонение размера находят от выбранной единицы измерения или эталонной детали, например, с помощью индикаторной головки, настроенной на размер посредством блока плиток (концевых мер длины).

## Измерительные приспособления и инструменты

**Штангенциркули с нониусом** – широко распространенные измерительные инструменты, используемые в машиностроении. Их применение объясняется простотой конструкции и надежностью. Эти инструменты необходимы для измерения линейных размеров методом прямого считывания (рис. 1.2). Нониусные инструменты включают в себя высотомеры, глубиномеры, штангенциркули для зубьев шестерен и штангенциркули.

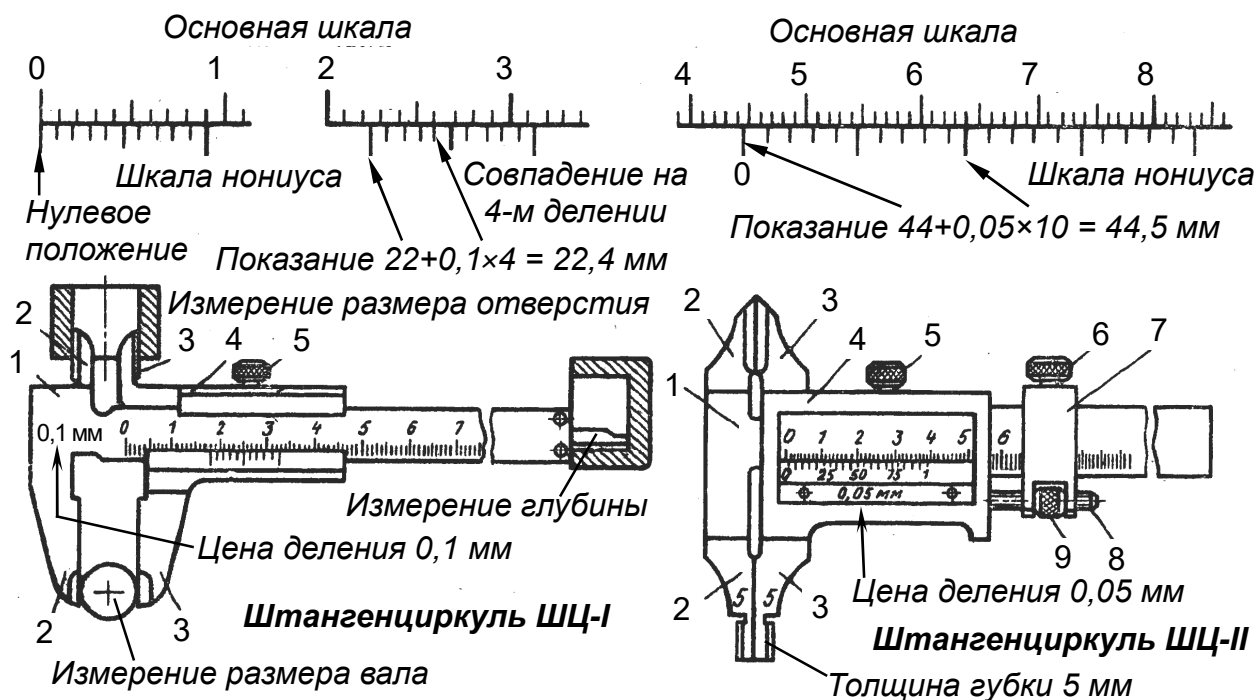


Рис. 1.2. Конструкции штангенциркулей и выполнение измерений:

1 – штанга со шкалой; 2 – неподвижная губка; 3 – подвижная губка;  
4 – рамка; 5 – винт; 6 – винт; 7 – бегунок; 8 – винт; 9 – гайка

Высотомеры предназначены для измерения высот и для разметки. Они имеют цену деления от 0,05 до 0,1 мм (выгравировано на инструменте) и пределы измерения до 2500 мм.

Штангенциркули состоят из основной шкалы и шкалы нониуса (см. рис. 1.2). Основная шкала имеет разметку в миллиметрах, но значения выгравированы в сантиметрах, поэтому они должны быть переведены в миллиметры.

Нулевая отметка (первая отметка) на шкале нониуса показывает количество целых миллиметров вдоль основной шкалы (см. рис. 1.2).

Шкала нониуса показывает доли миллиметра в десятых (0,1 мм/дел.), пятисотых (0,05 мм/дел.) или двадцатипятитысячных (0,025 мм/дел.) миллиметра.

Шкала нониуса имеет меньший отрезок (9 мм) для 10 делений (см. на рис. 1.2 нулевое положение для штангенциркуля ШЦ-I) и 20 делений для штангенциркуля типа ШЦ-II на отрезке 39 мм.

При выполнении измерений итоговое показание представляет собой сумму показаний основной шкалы и шкалы нониуса.

Например, для штангенциркуля типа ШЦ-I (см. рис. 1.2) нулевая отметка (первая отметка) на шкале нониуса показывает количество целых миллиметров – 22 мм. Небольшой отрезок между отметкой 22 мм на основной шкале и нулевой отметкой на шкале нониуса составляет доли миллиметра. Значение этой доли определяется по шкале нониуса. *Совпадение одной из отметок шкалы нониуса с отметкой на основной шкале показывает количество делений на шкале нониуса.* В этом случае коли-

чество делений на шкале нониуса равно 4. Его необходимо умножить на цену деления 0,1 мм/дел. (для штангенциркуля типа ШЦ-I). Таким образом, результат измерения

$$22 \text{ мм} + 0,1 \text{ мм/дел.} \times 4 \text{ дел.} = 22,4 \text{ мм.}$$

Штангенциркуль типа ШЦ-II имеет более высокую точность измерения из-за меньшего значения цены деления 0,05 мм/дел. В примере, показанном на рис. 1.2, результат измерения

$$44 \text{ мм} + 0,05 \text{ мм/дел.} \times 10 \text{ дел.} = 44,5 \text{ мм.}$$

При измерении размеров валов (охватываемых поверхностей) с помощью штангенциркуля считывание выполняют непосредственно, т. е. прямым измерением.

При измерении размеров отверстий (охватывающих поверхностей) штангенциркулем типа ШЦ-II к показаниям следует добавить толщины губок 2 и 3 (см. рис. 1.2), поскольку внешние (не внутренние) поверхности их контактируют с измеряемой поверхностью отверстия. Например, если считать показание штангенциркуля типа ШЦ-II результатом измерения диаметра отверстия, то получим

$$44 \text{ мм} + 0,05 \text{ мм/дел.} \times 10 \text{ дел.} + (5 \text{ мм} + 5 \text{ мм}) = 54,5 \text{ мм.}$$

Толщина губок может быть выгравирована на каждой губке отдельно (см. рис. 1.2) или общая толщина губок может быть показана на одной из них.

Штангенциркули типа ШЦ-II также оснащены бегунком 7 (см. рис. 1.2) для более точного позиционирования измерительных губок при выполнении измерений. Винт 6 используют для фиксации положения бегунка, а винт 8 и гайку 9 – для смещения рамки 4 с подвижной губкой 3 для обеспечения надежного контакта между губками и измеряемой поверхностью.

Штангенциркули типа ШЦ-I оснащены линейкой, связанной с подвижной рамкой 4 для измерений глубины (см. рис. 1.2).

Точность измерительного инструмента равна половине цены деления, точность штангенциркуля типа ШЦ-I –  $0,1/2 = 0,05$  мм, а точность штангенциркуля типа ШЦ-II –  $0,05/2 = 0,025$  мм.

**Микрометр** (рис. 1.3) предназначен для прямого измерения размеров наружных (охватываемых) поверхностей в диапазоне от 0 до 25 мм и для относительных измерений с применением блока концевых мер длины в больших диапазонах размеров.

Микрометр состоит из скобы 9 (см. рис. 1.3), оснащенной с одной стороны неподвижной пятой 1. С другой стороны в отверстие скобы запрессован барабан 8. При вращении шпиндель 2 перемещается вдоль резьбы. Он имеет два участка – гладкий и с резьбой. На правом конце шпинделя находится коническая поверхность для колпачка 5 и наконечника 7. Микрометр оснащен храповым механизмом 6 для обеспечения постоянной силы прижатия к объекту при измерении. При необходимости шпиндель 2



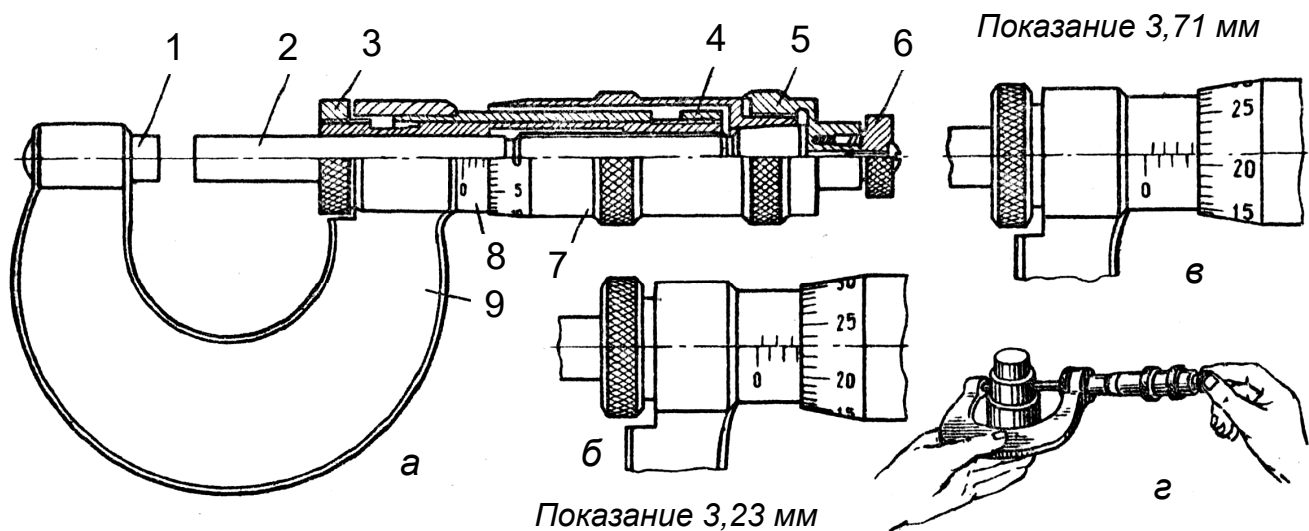


Рис. 1.3 – Конструкция микрометра и измерения: а – конструкция микрометра; б – показание 3,23 мм; в – показание 3,71 мм; г – способ применения; 1 – пятка; 2 – шпindelь; 3 – контргайка; 4 – гайка; 5 – колпачок; 6 – храповой механизм; 7 – наконечник; 8 – барабан; 9 – скоба

фиксируют с помощью цангового механизма и контргайки 3. Цанговый механизм применяют также для компенсации износа резьбы за счет затяжки гайки 4.

Быстрое вращение шпинделя выполняют наконечником 7, а медленное перемещение с калибрующей силой зажима – храповым механизмом 6 (см. рис. 1.3, г).

Считывание осевого перемещения шпинделя в полных оборотах выполняют по шкалам, выгравированным вдоль барабана 8 с ценой деления 0,5 мм (равной шагу резьбы). Барабан имеет две шкалы (верхнюю и нижнюю) с ценой деления 1 мм, смещенные на 0,5 мм относительно друг друга (см. рис. 1.3, б, в). Торец наконечника 7 показывает результат измерения вдоль этих шкал с точностью 0,5 мм.

Доли полумиллиметра считывают с круглой шкалы, выгравированной на левом конце наконечника 7. Круглая шкала имеет 50 отметок с ценой деления 0,01 мм/дел. Прямая линия вдоль шкал барабана служит нулевой отметкой для круглой шкалы наконечника.

Например, на рис. 1.3, б микрометр показывает 3 мм по нижней шкале барабана и 23 деления по круглой шкале наконечника:

$$3 \text{ мм} + 0,01 \text{ мм/дел.} \times 23 \text{ дел.} = 3,23 \text{ мм,}$$

а на рис. 1.3, в – 3 мм по нижней шкале барабана, 0,5 мм по верхней шкале и 21 деление вдоль круглой шкалы наконечника:

$$3 \text{ мм} + 0,5 \text{ мм} + 0,01 \text{ мм/дел.} \times 21 \text{ дел.} = 3,71 \text{ мм.}$$

Точность микрометра составляет  $0,01/2 = 0,005$  мм. Это означает, что человеческий глаз может определить положение нулевой отметки шкалы барабана между двумя отметками круглой шкалы.

Микрометры изготавливают нескольких типоразмеров, которые отли-

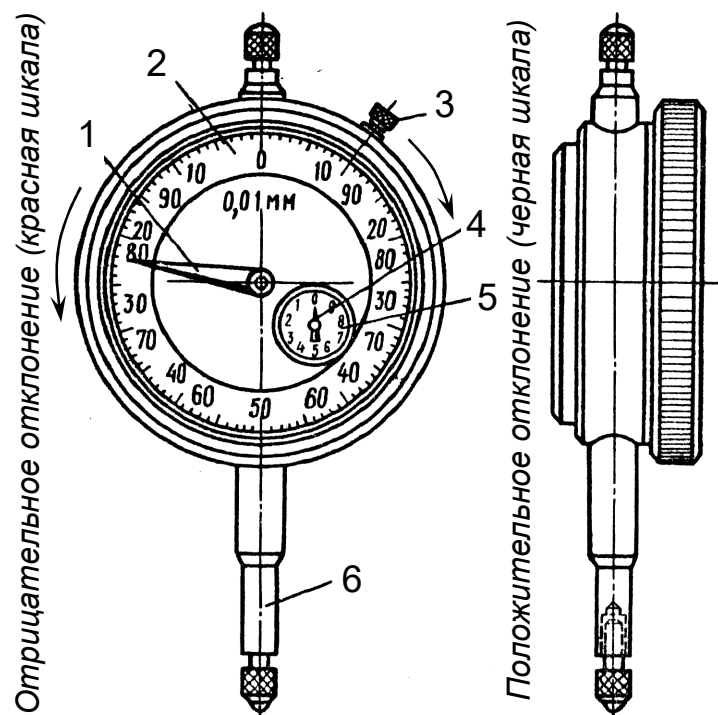
чаются пределом измерения. Скоба микрометра соответствует максимальному измеряемому размеру, ступенчато изменяемому через каждые 25 мм до предела 300 мм, а затем – через каждые 100 мм.

Измерительное перемещение шпинделя равно 25 мм для всех типов микрометров. Микрометры с пределом измерения более 300 мм имеют сменную или регулируемую пяту, что позволяет разделить диапазон 100 мм на интервалы, кратные 25 мм (например, 300...325 мм, 325...350 мм и т. д. для микрометра с пределами 300...400 мм).

**Индикаторы часового типа** (рис. 1.4) используют для прямых и относительных измерений линейных размеров, отклонений формы и расположения поверхностей. Их изготавливают для различных диапазонов измерения с разными диаметрами шкалы при одинаковой цене деления 0,01 мм/дел.

В типовой конструкции индикатора часового типа ножка 6 (см. рис. 1.4) соединена с зубчатой рейкой, которая находится в зацеплении с шестернями малого модуля, связанными с большой 1 и маленькой 4 стрелками. При выполнении измерений ножка перемещается вместе с рейкой, последняя вращает шестерни и стрелки.

Большой циферблат имеет шкалу со 100 делениями. Значение цены деления – 0,01 мм/дел. Таким образом, когда большая стрелка совершает один полный оборот, изменение размера составляет 1 мм. Большой циферблат имеет две шкалы. Черная шкала с числовыми значениями, увеличивающимися по часовой стрелке, показывает положительные отклонения (увеличение измеряемого размера); красная шкала с числовыми значениями, увеличивающимися против часовой стрелки, – отрицательные отклонения (уменьшение размера).



Маленький циферблат 5 с маленькой стрелкой 4 показывает количество целых миллиметров. Он имеет 10 делений и показывает диапазон прямых измерений (от 0 до 10 мм) и диапазон отклонений для относительных измере-

Рис. 1.4. Конструкция индикатора часового типа: 1 – большая стрелка; 2 – циферблат, содержащий 100 делений (0,01 мм/дел.); 3 – винт; 4 – маленькая стрелка; 5 – циферблат, содержащий 10 делений (1 мм/дел.); 6 – ножка

ний (от  $-5$  до  $+5$  мм).

Большой циферблат 2 может поворачиваться вокруг оси большой стрелки 1. Эту возможность используют для настройки индикатора на нулевую отметку.

**Порядок настройки индикатора часового типа для относительных измерений** состоит из следующих шагов (рис. 1.5):

а) установка блока *концевых мер длины* или эталонной детали на стол измерительного прибора, регулирование высоты индикатора для обеспечения надежного контакта между ножкой и поверхностью выбранной единицы измерения  $d$ ;

б) установка нулевой отметки шкалы напротив стрелки путем вращения циферблата в нужном направлении. Нуль шкалы будет равен размеру  $d$  при дальнейших измерениях. Вращать циферблат (шкалу) больше не нужно;

в) измерение детали включает в себя определение отклонения стрелки от нулевой отметки. Показание (отклонение)  $\Delta x$  может быть положительным «+», если размер детали  $x$  больше, чем выбранная мера  $d$ , или отрицательным «-», если размер детали  $x$  меньше. Если деталь круглая, то нужно сделать несколько колебаний детали влево и вправо, чтобы уловить максимальное отклонение стрелки от нулевой отметки. Действительный (измеренный) размер детали вычисляют по формуле

$$x = d + \Delta x.$$

**Концевые меры длины** представляют собой призматические детали

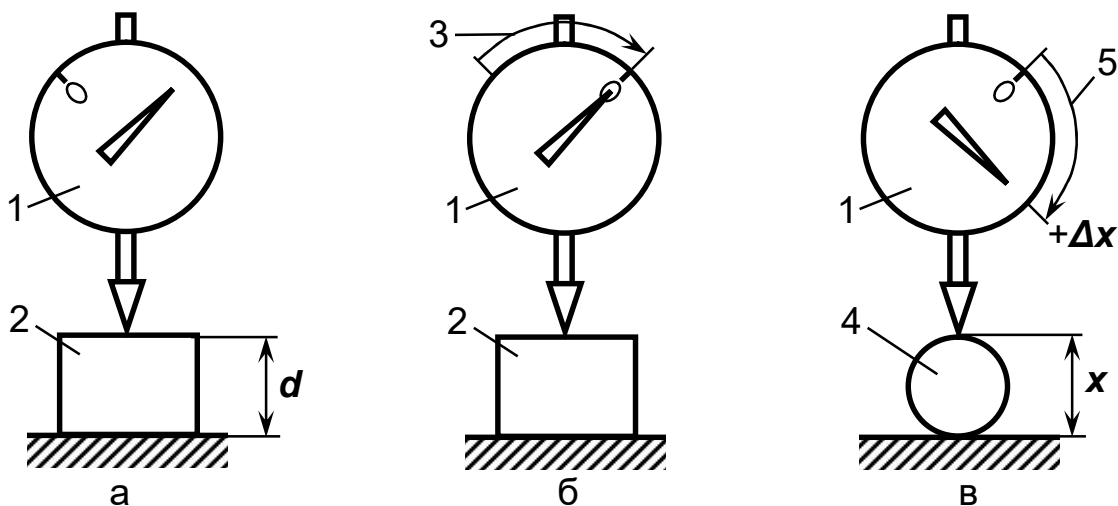


Рис. 1.5. Настройка индикатора часового типа для относительных измерений:

- а – установка индикатора на блоке или эталонной детали;
- б – установка нулевой отметки шкалы против стрелки; в – измерение детали;
- 1 – индикатор часового типа; 2 – блок концевых мер длины или эталонная деталь;
- 3 – вращение циферблата с установкой на нуль; 4 – измеряемая деталь;
- 5 – отклонение (положительное) по отношению к выбранной мере

из закаленной стали, изготовленные с высокой точностью по длине, плоскостности и параллельности. Их используют при относительных измерениях линейных размеров. Более подробно они описаны в лабораторной работе № 7.

### Порядок выполнения работы

1. Изучить виды размеров и способы их задания по конструкторской документации.

2. Ознакомиться со стандартом, устанавливающим допуски и основные отклонения в зависимости от номинального размера и качества точности, и стандартом, определяющим предельные отклонения для рекомендуемых полей допусков.

Найти предельные отклонения (верхнее и нижнее) для размеров вала и отверстия с рекомендуемыми полями допусков, заданные преподавателем. Рассчитать предельные размеры (наибольший и наименьший), величину допуска и средний размер по формулам (1.1) – (1.3).

В расчетах необходимо учитывать, что стандарт устанавливает отклонения со знаком (+ или –) и их значения в микрометрах (мкм). Значения отклонений нужно преобразовать в миллиметры: **1 мкм = 0,001 мм**.

Расчеты выполнить на отдельном листе бумаги или в конспекте лекций и представить преподавателю на проверку.

3. Изучить виды измерений и типы погрешностей, возникающих при измерениях.

4. Изучить конструкцию штангенциркуля с нониусом, способы проведения измерений вала, отверстия, глубины. Выполнить несколько измерений размеров детали, предложенной преподавателем. Сообщить свои результаты преподавателю.

5. Изучить конструкцию микрометра, способ определения показателей микрометра.

6. Изучить конструкцию индикатора часового типа, способ настройки индикатора для относительных измерений. Настроить индикатор часового типа для измерений отклонений круглых поверхностей.

## СУММАРНЫЕ ДОПУСКИ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

### Цель работы:

1. Приобрести навыки измерения полного радиального биения, полного торцового биения и биения в заданном направлении.
2. Приобрести навыки использования стандартов для определения допусков формы и расположения.
3. Изучить правила обозначения допусков формы и расположения геометрических элементов.

### Отклонения формы и расположения

Форма деталей, используемых в машиностроении, представляет собой комбинацию простых геометрических поверхностей и поверхностей двойной кривизны. Получить идеальную форму и относительное расположение поверхностей в производственных процессах невозможно. Поэтому точность геометрических параметров деталей характеризуется не только точностью размеров, но и точностью формы и относительного расположения поверхностей.

Существует три типа геометрических допусков формы и расположения, которые применяют для обозначения на чертежах: *допуск формы*, *допуск расположения* и *суммарный допуск формы и расположения*. Стандарт устанавливает 16 *степеней точности* для каждого типа допуска формы и расположения поверхностей, а также *уровни относительной геометрической точности* в зависимости от соотношения между допуском на размер и допусками формы и расположения поверхностей. Такими уровнями являются: А – *нормальная* геометрическая точность (допуск формы и расположения поверхностей приблизительно равен 60 % допуска на размер); В – *повышенная* геометрическая точность (40 % допуска на размер); С – *высокая* относительная геометрическая точность (25 % допуска на размер). Допуски формы цилиндрических поверхностей приблизительно равны 30, 20 и 12 % допуска на размер соответственно уровням А, В и С, так как допуск формы ограничивает отклонения радиуса, а допуск на размер – отклонения диаметра поверхности.

На чертежах допускается указывать допуски формы и расположения поверхностей допуском на размер.

Стандарт определяет специальные символы для обозначения допусков формы и относительного расположения поверхностей (табл. 2.1).

**Отклонение формы** – это отклонение формы реального (действительного) элемента (поверхности, линии) от номинальной (идеальной) формы, которая оценивается наибольшим расстоянием от точек действительного элемента до касательного элемента по нормали. Численные значения допусков формы находят в зависимости от степени точности (рис. 2.1).

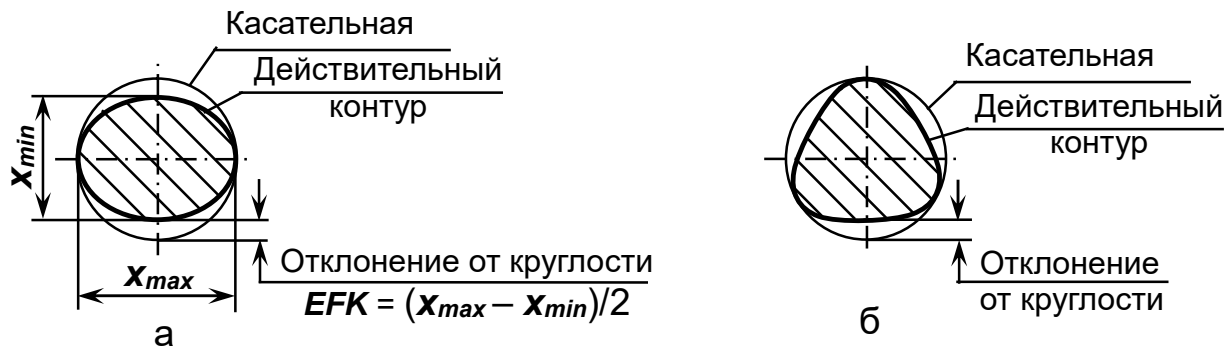
Таблица 2.1

## Отклонения и допуски формы, профиля и расположения поверхностей

Наименование отклонения	Наименование допуска	Обозначение допуска
<b>Отклонения и допуски формы</b>		
Отклонение от прямолинейности <b>EFL</b>	Допуск прямолинейности <b>TFL</b>	—
Отклонение от плоскостности <b>EFT</b>	Допуск плоскостности <b>TFT</b>	
Отклонение от круглости <b>EFK</b>	Допуск круглости <b>TFK</b>	
Отклонение от цилиндричности <b>EFZ</b>	Допуск цилиндричности <b>TFZ</b>	
Отклонение от профиля продольного сечения <b>EFP</b>	Допуск профиля продольного сечения <b>TFP</b>	
<b>Отклонения и допуски расположения</b>		
Отклонение от параллельности <b>EPA</b>	Допуск параллельности <b>TPA</b>	
Отклонение от перпендикулярности <b>EPR</b>	Допуск перпендикулярности <b>TPR</b>	
Отклонение от наклона <b>EPN</b>	Допуск наклона <b>TPN</b>	
Отклонение от соосности <b>EPC</b>	Допуск соосности <b>TPC</b>	
Отклонение от симметричности <b>EPS</b>	Допуск симметричности <b>TPS</b>	
Позиционное отклонение <b>EPP</b>	Позиционный допуск <b>TPP</b>	
Отклонение от пересечения осей <b>EPX</b>	Допуск пересечения осей <b>TPX</b>	
<b>Суммарные отклонения и допуски формы и расположения поверхностей</b>		
Радиальное биение <b>ECR</b>	Допуск радиального биения <b>TCR</b>	
Торцовое биение <b>ECA</b>	Допуск торцового биения <b>TCA</b>	
Биение в заданном направлении <b>ECD</b>	Допуск биения в заданном направлении <b>TCD</b>	
Полное радиальное биение <b>ECTR</b>	Допуск полного радиального биения <b>TCTR</b>	
Полное торцовое биение <b>ECTA</b>	Допуск полного торцового биения <b>TCTA</b>	
Отклонение от формы заданного профиля <b>ECL</b>	Допуск формы заданного профиля <b>TCL</b>	
Отклонение от формы заданной поверхности <b>ECL</b>	Допуск формы заданной поверхности <b>TCL</b>	

**Отклонение расположения** – это отклонение действительного расположения рассматриваемого элемента от его номинального расположения (см. табл. 2.1). Номинальное расположение – это расположение, определяемое номинальными линейными и угловыми размерами.

Для оценки точности расположения поверхностей, как правило, указывают базовый элемент.



Отклонение от профиля продольного сечения  $EFP = (X_{max} - X_{min})/2$

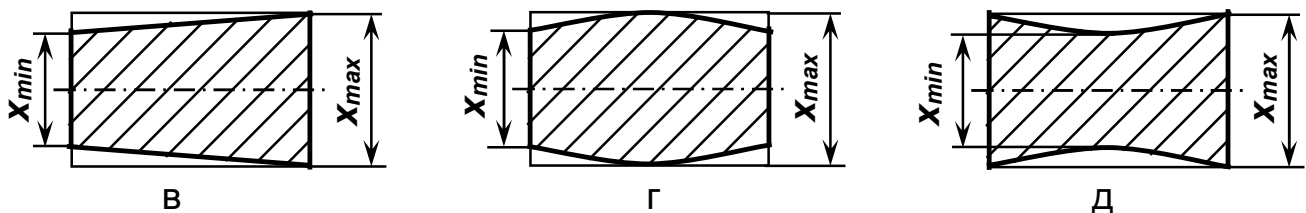


Рис. 2.1. Частные виды отклонений формы: а – овальность; б – огранка; в – конусность; г – бочкообразность; д – седлообразность

**Базовый элемент (элемент, определяющий положение)** – элемент детали (точка, линия, поверхность), который используют для координации положения другого элемента детали. На чертежах базовые элементы обозначают большими буквами в прямоугольных рамках с треугольником и соединяющей линией.

Численные значения допусков расположения устанавливают в зависимости от степени точности.

**Суммарное отклонение формы и расположения** – отклонение, вызванное суммарным влиянием отклонения формы и отклонения расположения рассматриваемой поверхности относительно базового элемента (см. табл. 2.1).

Суммарные отклонения формы и расположения поверхности включают в себя (рис. 2.2):

**Торцовое биение** – разность максимального и минимального расстояний от точек действительной торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси на заданном диаметре  $d$  или любом (в том числе максимальном) диаметре, если его значение не задано. Биение состоит из погрешности плоской формы и погрешности перпендикулярности плоско-

сти к базовой оси вращения (см. рис. 2.2, а).

*Полное торцовое биение* – разность максимального и минимального расстояний от точек всей действительной торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси. Включает в себя отклонение от плоскостности рассматриваемой поверхности и отклонение от перпендикулярности относительно базовой оси.

*Радиальное биение* – разность максимального и минимального расстояний от точек действительной поверхности вращения до базовой оси (оси базовой поверхности или общей оси) в любом поперечном сечении,

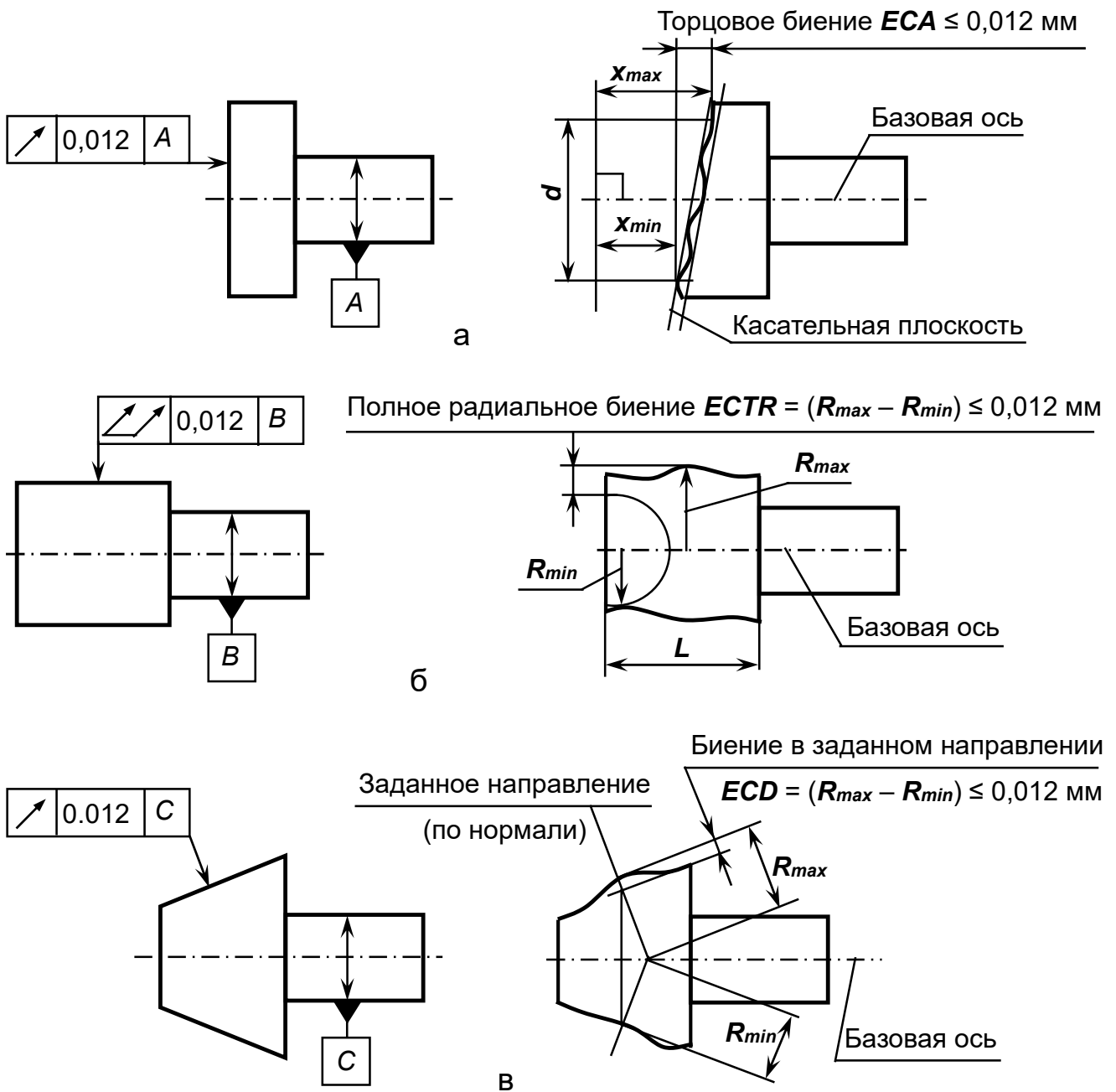


Рис. 2.2. Обозначения суммарных допусков формы и расположения на чертежах (слева) и схемах (справа): а – торцовое биение; б – полное радиальное биение; в – биение в заданном направлении



перпендикулярном базовой оси. Включает в себя отклонение от круглости рассматриваемого профиля и отклонение его центра относительно базовой оси.

*Полное радиальное биение* – разность максимального  $R_{max}$  и минимального  $R_{min}$  расстояний от точек всей действительной поверхности вращения до базовой оси вдоль заданной длины поверхности. Включает в себя отклонение от цилиндричности рассматриваемой поверхности и отклонение от соосности относительно базовой оси (см. рис. 2.2, б).

*Допуск биения (изменение смещения) в заданном направлении* – разность максимального  $R_{max}$  и минимального  $R_{min}$  расстояний от точек действительной поверхности вращения до базовой оси (оси базовой поверхности или общей оси) в любой конической части под углом к базовой оси (см. рис. 2.2, в).

Другие суммарные отклонения приведены в табл. 2.1.

### Порядок выполнения работы

1. Проанализировать схему установки детали в центрах контрольного приспособления на базовые центровые отверстия. Выявить обозначенные поверхности, подлежащие проверке (см. Приложение А.2.1).

2. Измерить максимальные диаметры торцов  $H$ ,  $I$  и диаметр конической поверхности  $K$  в средней части, диаметр круглых сечений  $C-C$ ,  $D-D$ ,  $E-E$  с помощью штангенциркуля. Записать результаты в таблицу, столбец «Диаметр, мм» (см. Приложение А.2.1).

3. Сделать отметку карандашом напротив одного из восьми отверстий, чтобы обозначить начальную точку для восьми измерений.

4. Ослабить гайки на штативе и установить индикатор по нормали (перпендикулярно) к плоской поверхности торца  $H$  около кромки максимального диаметра. Затянуть гайки штатива для обеспечения надежного контакта ножки индикатора и измеряемой поверхности. Поворотом детали установить первое отверстие (положение  $0^\circ$ ) по сделанной карандашом отметке.

5. Установить «0» на шкале индикатора путем вращения циферблата до положения большой стрелки (см. рис. 1.5). Нулевое отклонение напечатано в таблице отчета в строке « $H$ », столбец « $0^\circ$ » (см. Приложение А.2.1).

6. Повернуть деталь на  $45^\circ$ , остановить на следующем отверстии и снять показания индикатора. Черная шкала индикатора показывает положительные отклонения (увеличение размера), а красная – отрицательные (уменьшение размера) (см. рис. 1.4).

7. Записать показания с соответствующим знаком («+» или «–») в таблицу отчета в строку « $H$ », столбец « $45^\circ$ » (см. Приложение А.2.1).

8. Повернуть деталь еще на  $45^\circ$  (суммарное значение  $90^\circ$ , угловое положение третьего отверстия). Записать показания в таблицу отчета в строку « $H$ », столбец « $90^\circ$ ».

9. Повторить действия по пп. 6 и 7 для остальных точек (135, 180, 225, 270, 315°) по угловым положениям соответствующих отверстий. Записать показания индикатора в таблицу отчета в строку «**H**».

10. Ослабить гайки на штативе и установить индикатор по торцу **I** (перпендикулярно) около кромки максимального диаметра относительно отметки (первое отверстие, положение 0°). Затянуть гайки. Установить «0» на шкале индикатора.

11. Выполнить семь измерений с вращением через 45° (останавливаясь напротив каждого отверстия). Записать результаты в соответствующие ячейки строки «**I**» таблицы отчета.

12. Установить индикатор до контакта с конической поверхностью **K** по нормали к поверхности в средней части относительно отметки (первое отверстие, положение 0°). Установить «0» на шкале индикатора. Выполнить семь измерений и записать результаты в соответствующие ячейки строки «**K**» таблицы отчета.

13. Установить индикатор до контакта с цилиндрической поверхностью в сечении **C-C** относительно отметки (первое отверстие, положение 0°). Установить «0» на шкале индикатора. Выполнить семь измерений и записать результаты в соответствующие ячейки строки «**C-C**» таблицы отчета.

14. Повторить действия п. 13 для сечения **D-D**.

15. Установить индикатор до контакта с цилиндрической поверхностью (наименьший диаметр) в сечении **E-E** (около конического элемента) относительно отметки (первое отверстие, положение 0°). Установить «0» на шкале индикатора. Выполнить семь измерений и записать результаты в соответствующие ячейки строки «**E-E**» таблицы отчета.

16. Повторить действия п. 15 для среднего **F-F** и правого **G-G** сечений.

17. Выбрать максимальное и минимальное значения отклонений (с учетом знака) из строки «**H**» и рассчитать биение по формуле

$$EC = \Delta x_{max} - \Delta x_{min}.$$

Записать результат в столбец «Биение, мм» в строку «**H**».

18. Рассчитать биение по п. 17 для строк «**I**», «**K**», «**C-C**», «**D-D**», «**E-E**», «**F-F**», «**G-G**» таблицы отчета (см. Приложение А.2.1). Записать результаты в столбец «Биение, мм» в соответствующие строки.

19. Рассчитать *полное радиальное биение* цилиндрической поверхности наименьшего диаметра. Для этого нужно выбрать максимальное и минимальное значения из трех строк: **E-E**, **F-F**, **G-G**. Записать результат в столбец «Биение, мм».

20. Используя исходные данные (кавалитет точности и относительную геометрическую точность) и табл. А.2.2.1 (см. Приложение А.2.2), определить *степень точности формы*. Записать степень точности на странице 1 отчета.

21. Определить допуски торцового биения по табл. А.2.2.2, допуски биения в заданном направлении, радиального биения и полного радиального биения по табл. А.2.2.3 (см. Приложение А.2.2), используя номинальные значения диаметров (по результатам измерения) и степень точности. Перевести значения допусков из микрометров в миллиметры ( $1000 \text{ мкм} = 1 \text{ мм}$ ). Записать результаты в столбец «Допуск биения, мм».

22. Сделать выводы о годности поверхностей («годная» или «негодная») путем сравнения значений биения и допусков на биение. Зачеркните знак « $\leq$ », если неравенство неверно (см. Приложение А.2.1).

23. Сделать общий вывод о качестве детали в целом. Если один из параметров (одна поверхность) негодный, то вся деталь признается негодной.

24. Указать допуски биения в пустых ячейках рамок на конструкторском эскизе детали (см. Приложение А.2.1).

25. Используя результаты измерений, изобразить действительные контуры окружностей в сечении **D-D** (наибольший диаметр) и в сечении **G-G** (наименьший диаметр) в отчете. Примеры показаны на рис. 2.3.

26. Выполнить анализ составляющих радиального биения для сечений **D-D** и **G-G**.

27. Поставить подпись и представить отчет преподавателю для проверки и сдачи.

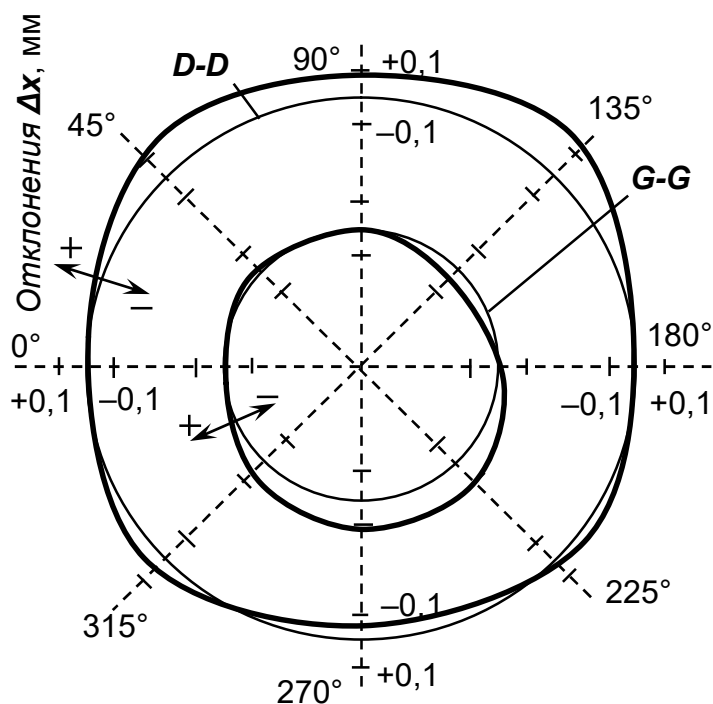


Рис. 2.3. Примеры профилей действительных поверхностей относительно номинальных окружностей: огранка и отклонение от соосности (эксцентриситет) в сечении **D-D**; овальность и эксцентриситет в сечении **G-G**

# ОТЧЕТ

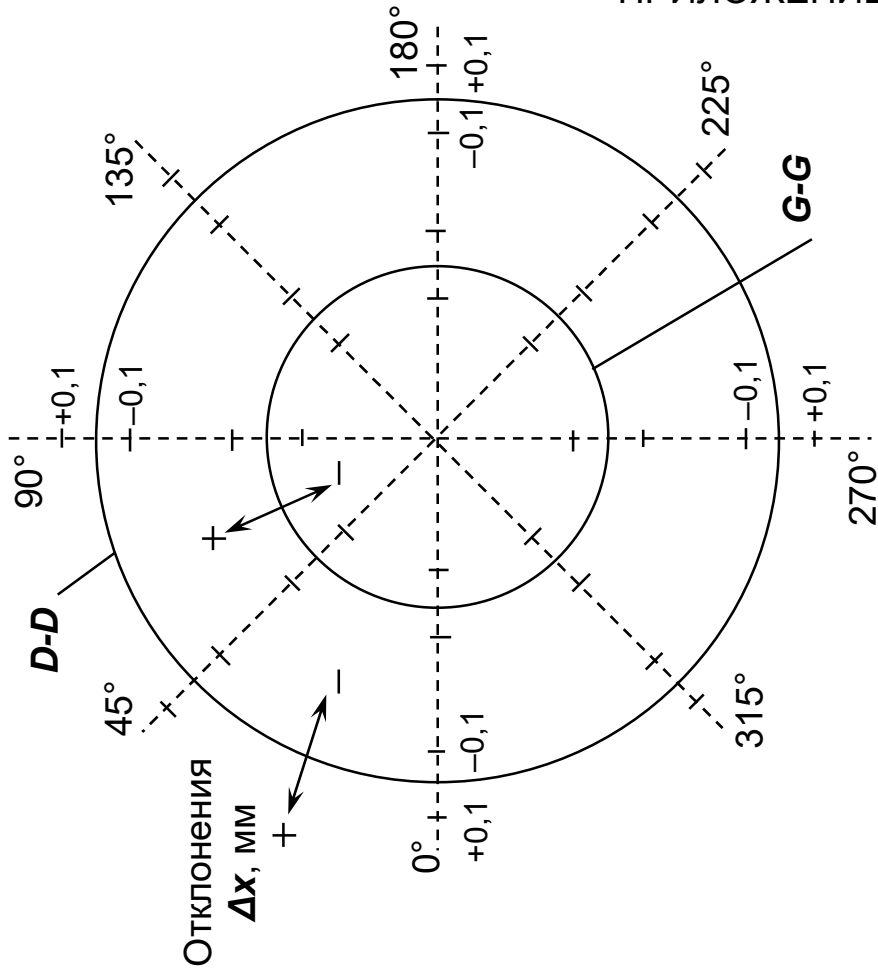
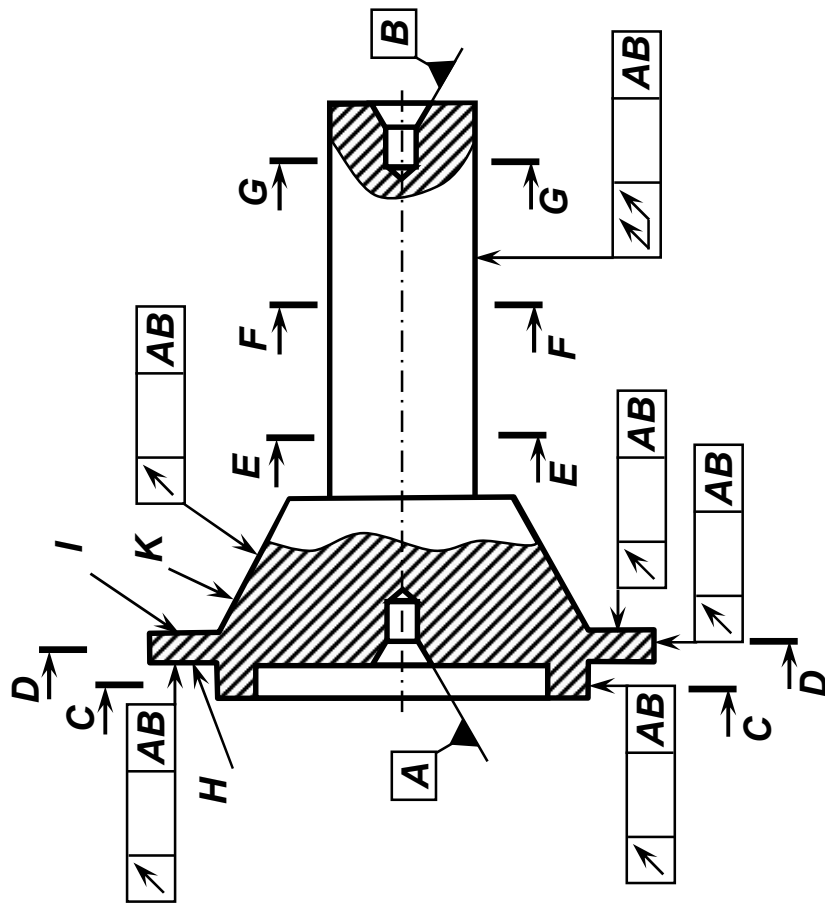
о лабораторной работе № 2 «Суммарные допуски формы и расположения поверхностей»

Студент \_\_\_\_\_ Группа № \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Исходные данные:

1. Деталь изготовлена по 12-му *квалитету точности*
2. Уровень относительной геометрической точности A

Построить профили действительных поверхностей относительно номинальных окружностей в сечениях **D-D** и **G-G**



С учетом исходных данных суммарные допуски формы и расположения соответствуют \_\_\_\_\_ степени точности. Определить и записать допуски биения в рамках на эскизе детали

Результаты измерений и расчетов

Поверхность, сечение	Диаметр, мм	Отклонение $\Delta x$ , мкм, при угловом положении								Биеение, мм, $ES = \Delta x_{max} - \Delta x_{min}$	Допуск биения $TS$ , мм	Качество поверхности
		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°			
<b>H</b>		0								$ECA = \dots \leq$		
<b>I</b>		0								$ECA = \dots \leq$		
<b>K</b>		0								$ECD = \dots \leq$		
<b>C-C</b>		0								$ECR = \dots \leq$		
<b>D-D</b>		0								$ECR = \dots \leq$		
<b>E-E</b>		0								$ECR = \dots \leq$		
<b>F-F</b>		0								$ECR = \dots \leq$		
<b>G-G</b>		0								$ECR = \dots \leq$		
<b>E-E, F-F, G-G</b>		Для расчета суммарного радиального биения выбрать $\Delta x_{max}$ и $\Delta x_{min}$ из строк <b>E-E, F-F, F-F</b>								$ECTR = \dots \leq$		

Общий вывод. Деталь является качественной (некачественной) по \_\_\_\_\_ качеству точности, так как форма и расположение поверхностей соответствую(т не соответствую(т)) допускам \_\_\_\_\_ степени точности. (Вычеркнуть ненужные слова и поставить нужные номера)

Выполнил студент \_\_\_\_\_

Принял преподаватель \_\_\_\_\_

ПРИЛОЖЕНИЕ А.2.2

Допуски торцового биения, полного торцового биения, радиального биения и полного радиального биения

Таблица А.2.2.1

Допуски цилиндрических поверхностей в зависимости от класса точности (ГОСТ 636-77)

Квалитет точности размера	Относительная геометрическая точность			Квалитет точности размера	Относительная геометрическая точность		
	А	В	С		А	В	С
	Степень точности формы				Степень точности формы		
4	3	2	1	9	8	7	6
5	4	3	2	10	9	8	7
6	5	4	3	11	10	9	8
7	6	5	4	12	11	10	9
8	7	6	5				

Таблица А.2.2.2

Допуски параллельности, перпендикулярности, наклона, торцового биения и полного торцового биения (ГОСТ 636-77)

Интервал номинальных размеров, мм, свыше – до включительно	Степень точности											
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	микрометр						мм					
До 10	2,5	4	6	10	16	25	40	60	0,1	0,16	0,25	0,4
10 – 16	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
16 – 25	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
25 – 40	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
40 – 63	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
63 – 100	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
100 – 160	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
160 – 250	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
250 – 400	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5
400 – 630	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3
630 – 1000	25	40	60	100	160	250	400	600	1	1,6	2,5	4
1000 – 1600	30	50	80	120	200	300	500	800	1,2	2	3	5

**Примечание.** Номинальный диаметр принимают как длину нормализованного участка для допуска параллельности, перпендикулярности и наклона или как заданный диаметр, к которому относится торцовое биение. Если заданная длина или заданный диаметр не описаны, то номинальный диаметр понимают как длину всей рассматриваемой поверхности (для допусков параллельности плоской поверхности – длина ее большей стороны) или как наибольший диаметр торцовой поверхности.

Таблица А.2.2.3

Допуски радиального биения, полного радиального биения, соосности, симметричности, пересечения осей в диаметральной направленности (ГОСТ 636-77)

Интервал номинальных размеров, мм, свыше – до включительно	Степень точности											
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	микрометр								мм			
До 10	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
10 – 16	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
16 – 25	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
25 – 40	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
40 – 63	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
63 – 100	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5
100 – 160	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3
160 – 250	25	40	60	100	160	250	400	600	1	1,6	2,5	4
250 – 400	30	50	80	120	200	300	500	800	1,2	2	3	5
400 – 630	40	60	100	160	250	400	600	1000	1,6	2,5	4	6
630 – 1000	50	80	120	200	300	500	800	1200	2	3	5	8
1000 – 1600	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2,5	4	6	10

**Примечания:**

1. При определении допусков радиального биения и полного радиального биения номинальный диаметр рассматриваемой поверхности понимают как номинальный размер. При выборе допусков соосности, симметричности, пересечения осей номинальный диаметр этой поверхности вращения или номинальный диаметр между поверхностями, создающими симметричный элемент, принимают как номинальный размер. Если базовый элемент не указан, то допуск определяют по элементу с большим размером.

2. Для установления допусков на радиус значения допуска, полученные из таблиц (см. Приложение А.2.2), необходимо разделить на 2.

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПАРТИИ ДЕТАЛЕЙ

### Цель работы:

1. Изучить статистический метод, основанный на законе распределения случайных величин (законе Гаусса) при изготовлении партии деталей.
2. Приобрести навыки обработки результатов измерений со случайными погрешностями, использования метода расчета количества брака.
3. Оценить правильность подбора и точность настройки станка для обеспечения качества партии деталей.

### Общие сведения

При обработке деталей на металлорежущих станках возникает большое количество факторов, которые неизбежно вызывают погрешности изготовления деталей. Это приводит к появлению разных действительных размеров деталей в одной партии, обработанной на одном станке при неизменных параметрах настройки станка. В инженерной практике часто требуется выполнить анализ стабильности и точности применяемого технологического процесса.

Известно, что при обработке деталей возникают два типа погрешностей (ошибок) – систематические и случайные.

*Систематические погрешности* – это погрешности, которые постоянны по величине и знаку или изменяются по определенному закону под действием неслучайных факторов: неточность настройки оборудования, отклонение рабочей температуры, износ режущих инструментов и т. п. Во многих случаях причины систематических ошибок могут быть выявлены и устранены, например, путем настройки положения режущего инструмента.

*Случайные погрешности* – появляются при изготовлении и измерении, непостоянны по величине и знаку и зависят от случайных факторов: неравномерный припуск по поверхностям заготовки, вибрации при механической обработке, изменение механических свойств рабочего материала, отклонение силы резания и т. п. В общем случае ни один из этих факторов не является доминирующим. Характерный признак случайных погрешностей – вариация значений, принимаемых ими в повторных опытах.

Для оценки влияния случайных ошибок и определения точности партии деталей обычно используют статистический метод.

Для небольшого количества деталей разброс  $\nu$  всех действительных (измеренных) размеров  $x_i$  необходим для сравнения с заданным допуском  $T_d$  и для того, чтобы сделать вывод о качестве небольшой партии деталей.

Для оценки качества большого количества деталей применяют методы математической статистики. Обычно измеряют не все детали, а неко-



торое репрезентативное количество деталей (выборка деталей) из всей партии. Измеренные (действительные) размеры  $x_i$  распределены по закону Гаусса под воздействием нескольких случайных факторов. В производственной практике инженеры-технологи сталкиваются с такими характерными случаями относительного положения заданного допуска  $T_d$  и доверительного интервала  $\omega$  (рис. 3.1).

При правильном выборе станка (см. рис 3.1, а) доверительный интервал  $\omega$  меньше допуска ( $\omega < T_d$ ), процесс хорошо настроен, совмещен, средние значения доверительного интервала и допуска совпадают ( $x_m = d_m$ ), все изготовленные детали годные, т. е. размеры  $x_i$  находятся между наибольшим и наименьшим предельными размерами ( $d_{max}$  и  $d_{min}$ ).

Если точность станка низкая (см. рис. 3.1, б), то доверительный интервал фактических размеров будет шире, чем допуск ( $\omega > T_d$ ), и брак возможен при действительных размерах  $x_i > d_{max}$  и  $x_i < d_{min}$ . Такое оборудование необходимо заменить другим, более точным (и более дорогим) станком для обеспечения 100 %-го качества деталей.

Оборудование для технологической операции может быть очень точным (см. рис. 3.1, в) и обеспечивать значительно меньший доверительный интервал, чем допуск ( $\omega \ll T_d$ ). Такое оборудование выбрано неправильно. Его следует использовать для более точных операций. Для этой операции изготовления (см. рис. 3.1, в) оно должно быть заменено оборудованием более низкой точности (и более низкой стоимости).

Если станок не настроен должным образом, т. е. погрешность установки  $\mu$  (см. рис. 3.1, г) режущего инструмента слишком велика, то появится некоторое количество бракованных деталей, хотя доверительный интервал меньше допуска ( $\omega < T_d$ ). Этот процесс следует настроить (перенастроить положение режущего инструмента), а именно совместить центр

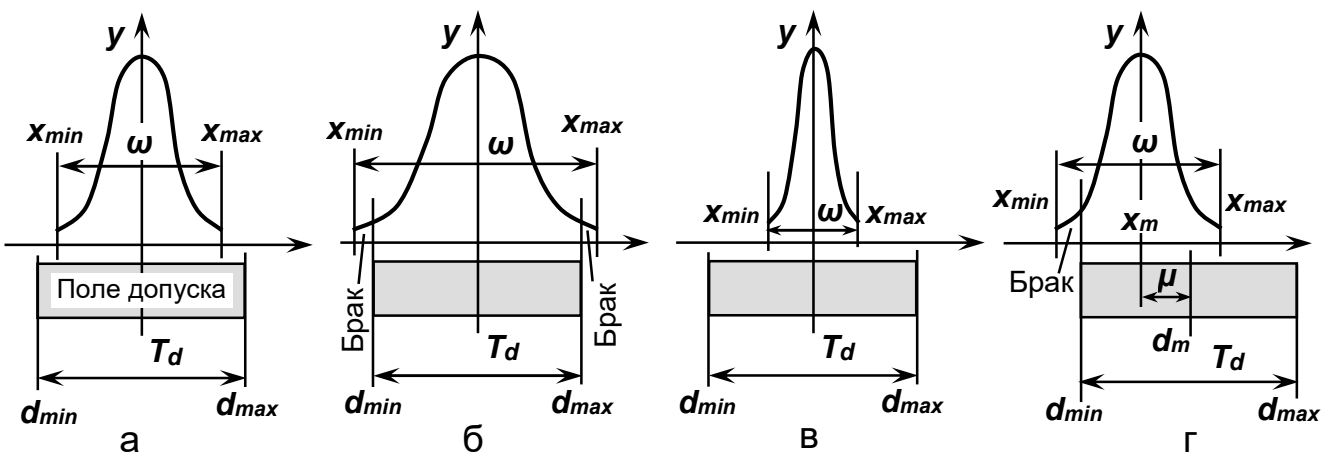


Рис. 3.1. Характерные случаи расположения кривой распределения относительно заданного поля допуска

группирования кривой распределения  $x_m$  со значением среднего настроечного размера  $d_m$  и таким образом исключить брак.

Лабораторная работа посвящена оценке точности (качества) партии деталей, состоящей из  $N = 200$  цилиндрических деталей  $d = 16_{-0,7}$ . В крупносерийном производстве измерение всех деталей в партии является очень дорогой операцией. Поэтому, зная, что действительные размеры распределены по закону Гаусса, измерения проводят только для некоторого количества деталей (выборки). В нашем случае оценивают точность партии  $N = 200$  деталей на основе измерений и обработки результатов измерений для выборки из  $n = 50$  деталей. Выборка из 50 деталей подчиняется гауссовому закону распределения случайных величин, подобно партии из 200 деталей, поэтому теоретическую кривую, построенную на основе выборочных измерений, можно использовать для оценки точности всей партии из 200 деталей.

**Первое задание** – построить теоретическую кривую Гаусса  $y = f(\Delta x)$  (рис. 3.2) и изучить ее основные свойства:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta x^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.1)$$

где  $\Delta x = (x_i - x_m)$  – абсолютное отклонение измеренного значения  $x_i$  от центра группирования;  $x_m$  – центр группирования измеренных значений (среднее арифметическое);  $\sigma$  – стандартное отклонение;  $e$  – основание натурального логарифма.

Среднее арифметическое  $x_{nm}$  находят из ограниченного количества измерений ( $n = 50$ ). Оно немного отличается от  $x_{Nm}$ , рассчитанного из 200 измерений. Предполагается, что центр группирования или среднее арифметическое  $\bar{x}$  (при  $n \rightarrow \infty$ ) приблизительно равно  $\bar{x} \approx x_{Nm} \approx x_{nm} = x_m$ :

$$x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (3.2)$$

Поэтому значения  $x_{Nmax}$  и  $x_{Nmin}$  не выбирают из партии 200 деталей, а вычисляют из теоретического закона распределения.

Для этих и дальнейших расчетов  $x_m$  принимают как *истинный размер* (размер детали после обработки).

Стандартное отклонение  $\sigma$  принимают равным среднеквадратичной погрешности для достаточно большого количества  $n$  измерений:

$$\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} S_n, \quad S_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2}. \quad (3.3)$$

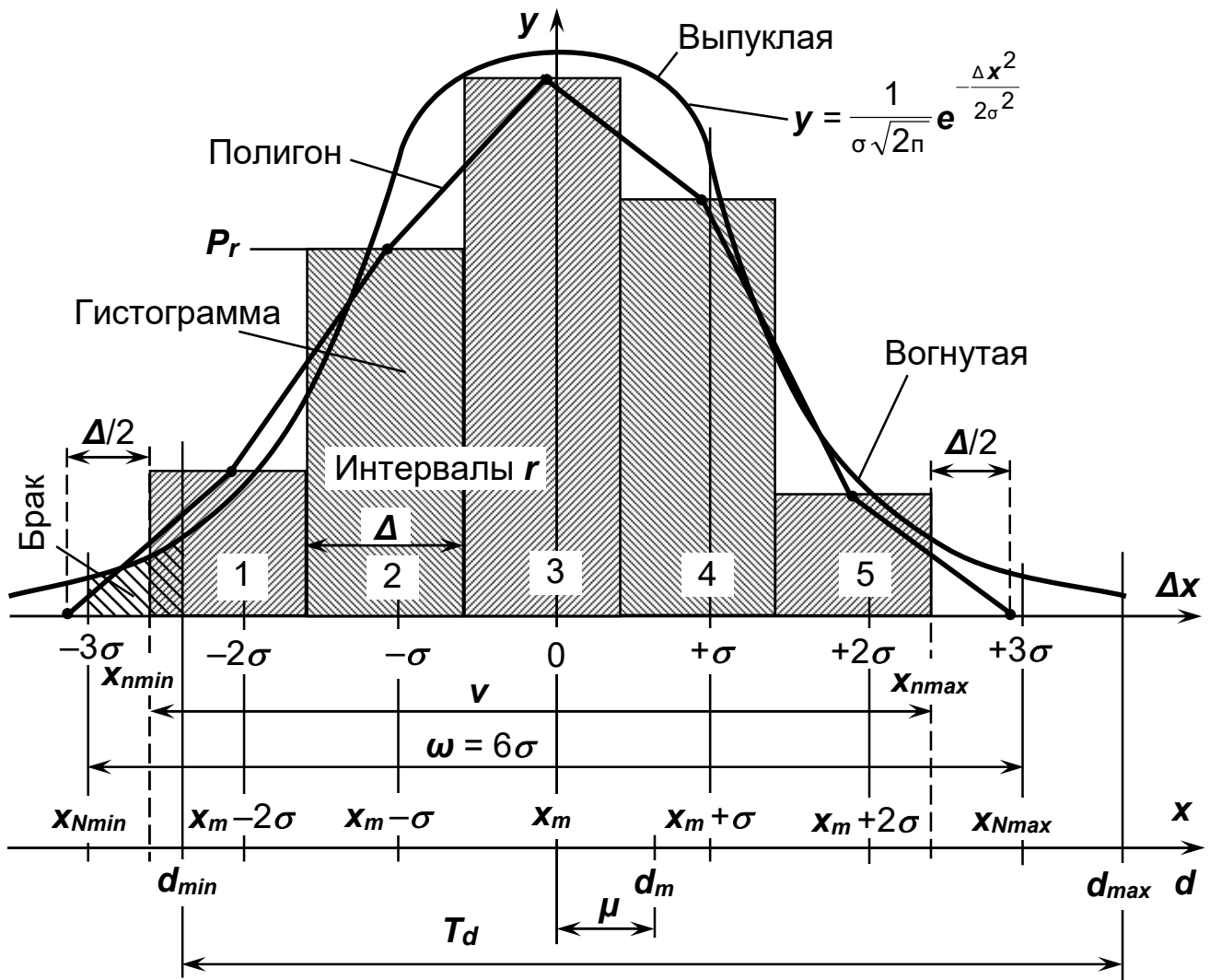


Рис. 3.2. Построение теоретической кривой на основе результатов измерений, гистограммы и полигона распределения измеренных значений и поля допуска

Теоретическая кривая  $y = f(\Delta x)$  (см. рис. 3.2) построена на основе измеренных значений (экспериментальных данных), т. е. она может описать действительное распределение измеренных размеров.

Для построения кривой значения плотности вероятности распределения  $y(\Delta x)$  обычно вычисляют в характеристических точках кривой  $x_N(z) = x_m + z\sigma$ . Здесь максимальное и минимальное значения соответствуют предельным точкам доверительного интервала  $\omega = 6\sigma$  (см. рис. 3.2):

$$x_{Nmax} = x_m + 3\sigma \quad \text{и} \quad x_{Nmin} = x_m - 3\sigma. \quad (3.4)$$

Площадь под кривой  $y(\Delta x)$  соответствует доверительной вероятности  $P_\alpha = 0,9973$ , т. е. 99,73 % размеров полученных деталей (почти 100 %) попадают в доверительный интервал  $\omega = 6\sigma$ . Риск того, что размер детали выходит за пределы доверительного интервала, составляет всего лишь  $P_\beta = 0,27\%$  (процент риска).

**Второе задание** – убедиться в том, что практическое распределение действительных (измеренных) размеров  $x_i$  приблизительно соответствует теоретической кривой  $y = f(\Delta x)$ . Практическое распределение обычно отображается в виде гистограммы и полигона.

Разброс (размах) действительных размеров  $v = (x_{nmax} - x_{nmin})$  делят на нечетное число равных интервалов, например на 5 интервалов с шириной  $\Delta = v/5$ . Геометрически размах  $v$  делят на 5 равных интервалов  $\Delta$  и строят вертикальные линии (см. рис 3.2). Относительную частоту (плотность вероятности)  $P_r$  действительных размеров в каждом интервале вычисляют по формуле и строят гистограмму

$$P_r = \frac{m_r}{n \Delta}, \quad (3.5)$$

где  $m_r$  – количество действительных размеров, попадающих в  $r$  интервал.

Средние точки на вершинах столбцов гистограммы соединены ломаной линией. Чтобы завершить полигон распределения, в левую и правую части гистограммы добавляют два полуинтервала со значением  $P_r = 0$  (см. рис 3.2). Можно сделать заключение об относительном соответствии экспериментального полигона и теоретической кривой. Это означает, что дальнейший анализ точности 200 деталей может быть выполнен на основе теоретической кривой с вычисленными значениями  $x_{Nmax}$ ,  $x_{Nmin}$  и доверительным интервалом  $\omega = 6\sigma$ .

**Третье задание** – нанести на график заданное поле допуска с вертикальными линиями, соответствующими значениям  $d_{max}$  и  $d_{min}$ , отмеченными на оси  $d$  (см. рис 3.2).

Относительное положение  $x_{Nmax}$  и  $x_{Nmin}$ ,  $d_{max}$  и  $d_{min}$ , значения доверительного интервала  $\omega = 6\sigma$  и допуска  $T_d$  – это данные для заключения о правильности выбора точности станка и наладки процесса обработки.

Некоторое количество бракованных деталей может быть обнаружено (см. рис. 3.2), если один или два предела доверительного интервала выйдут за пределы допуска:  $x_{Nmax} > d_{max}$  и/или  $x_{Nmin} < d_{min}$ . Количество брака может быть рассчитано с использованием нормированной функции Лапласа

$$\Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \frac{z^2}{2} dz, \quad (3.6)$$

где  $z = \Delta x/\sigma$ .

Процент брака – это разница значений функции

$$P_{\beta 1} = \Phi_0(3) - \Phi_0(z_d), \quad (3.7)$$

где  $\Phi_0(3)$  – значение функции, соответствующей  $+3\sigma$  или  $-3\sigma$  (для площади под кривой  $\Phi_0(-3) = \Phi_0(+3)$ );

$$z_d = (d_{max} - x_m) / \sigma, \text{ если } x_{Nmax} > d_{max} \quad (3.8)$$

$$\text{или } z_d = (x_m - d_{min}) / \sigma, \text{ если } x_{Nmin} < d_{min}. \quad (3.9)$$

### Порядок выполнения работы

1. Настроить измерительное устройство для измерения валов диаметром 16h15<sub>(-0,7)</sub>. Используя концевые меры длины (7 + 8 = 15 мм), установить циферблат индикатора на “0”, обозначающий 15 мм настроечного размера (выбранной единицы измерения), т. е. при относительном измерении определяют не действительный размер каждого вала, а отклонение от настроечного блока размером 15 мм. В этом случае любое отклонение указателя индикатора показывает положительное отклонение, так как все измеряемые детали больше 15 мм. Например, показание индикатора – +0,465, действительный размер – (15,0 + (+0,465)) = 15,465 мм. При цене деления шкалы 0,01 мм/дел. прибор измеряет с точностью 0,005 мм (половина деления шкалы).

2. Измерить диаметры 50 деталей с точностью 0,005 мм. Записать результаты  $x_i$  в табл. Б.3.1.1 отчета (см. Приложение Б.3.1).

3. **При использовании карманного калькулятора.** Вычислить  $\sum x_i$ ,  $x_i^2$ ,  $\sum x_i^2$ ,  $x_m$ ,  $\sigma$  и записать результаты в табл. Б.3.1.1 отчета. Использовать формулы, представленные в отчете (см. Приложение Б.3.1) для расчетов  $x_m$  и  $\sigma$ .

Выбрать и записать максимальный  $x_{nmax}$  и минимальный измеренные размеры  $x_{nmin}$  в отчет (см. табл. Б.3.1.1 и Б.3.1.2).

Затем вычислить значения размаха  $v = (x_{nmax} - x_{nmin})$  и ширины интервалов  $\Delta = v / 5$ . Записать результаты в табл. Б.3.1.2 отчета.

Вычислить значения границ интервалов по формулам, приведенным в табл. Б.3.1.2 отчета, и записать их.

Присвоить номер интервала для каждого измеренного значения в табл. Б.3.1.1 отчета, посчитать частоту  $m_r$  (количество размеров, попадающих в каждый интервал) и записать в табл. Б.3.1.2 в строку «Частота  $m_r$  ( $\sum m_r = n = 50$ )». Проверить условие  $\sum m_r = n = 50$ , чтобы избежать ошибок.

Рассчитать относительную частоту  $P_r$  (параметр, подобный функции  $y(\Delta x)$ ) для каждого интервала по формуле (3.5), приведенной в табл. Б.3.1.2. Записать результаты.

Вычислить и записать значения  $x_N(z) = x_m + z\sigma$ ,  $\omega = 6\sigma$  и  $y(\Delta x)$  на рисунке кривой Гаусса в отчете (см. Приложение Б.3.1).

Для определения значений  $x_N(z)$  использовать формулы, приведен-

ные в отчете, и уравнения (3.4) при  $z$ , равном  $-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$ .

Найти значения  $y(\Delta x)$  с помощью уравнения

$$y(z) = \frac{t(z)}{\sigma}, \quad (3.10)$$

где  $t(z)$  – нормированная функция Лапласа.

Для нахождения значения функции  $t(z)$  при аргументе  $z$ , равном  $-1,0; 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0$ , использовать Приложение Б.3.2. Обратить внимание, что  $t(-1,0) = t(+1,0)$ .

**При использовании программируемого калькулятора или компьютера.** Внести 50 измеренных значений в вычислительное устройство и определить статистические параметры.

Записать в табл. Б.3.1.1 отчета среднее арифметическое значение  $x_m$ , стандартное отклонение  $\sigma$ , а в табл. Б.3.1.1 и Б.3.1.2 – максимальный  $x_{nmax}$  и минимальный размеры  $x_{nmin}$ .

Записать значения  $x_N(z) = x_m + z\sigma$ ,  $\omega = 6\sigma$  и  $y(\Delta x)$  на рисунке отчета при аргументе  $z$ , равном  $-1,0; 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0$ .

Значение  $y(0)$  показывает первое свойство кривой Гаусса:  $y = y_{max}$  при  $\Delta x = 0$  (см. Приложение Б.3.1); равенство  $y(+1\sigma) = y(-1\sigma)$  – симметрию кривой Гаусса; значение  $y(0,5\sigma)$  – выпуклость кривой Гаусса в диапазоне  $-\sigma \leq \Delta x \leq +\sigma$ ; значение  $y(1,5\sigma)$  – вогнутость кривой Гаусса при  $\Delta x < -\sigma$  и  $\Delta x > +\sigma$ .

Значение  $y(21\sigma)$  указывает, что кривая асимптотически стремится к нулю ( $y \rightarrow 0$ ) при  $\Delta x \rightarrow \pm \infty$ .

Записать значения размаха  $v$ , ширины одного интервала  $\Delta$  и границ интервалов в табл. Б.3.1.2 отчета.

В компьютерной программе отсортировать измеренные значения размеров и посчитать частоту  $m_r$  (количество размеров, попадающих в каждый интервал). Внести значения частоты  $m_r$  в соответствующие ячейки компьютерной программы, записать значения  $m_r$  и относительной частоты  $P_r$  в табл. Б.3.1.2 отчета.

4. Построить на рисунке отчета гистограмму распределения измеренных значений диаметров, используя данные табл. Б.3.1.2

Для этого сначала нанести вертикальные линии, соответствующие границам интервалов. Положение вертикальных линий определяют приблизительно, ориентируясь на значения  $x_N(z)$ , уже указанные на рисунке отчета.

Нанести значения  $P_r$  для каждого интервала (см. рис. 3.2), ориентируясь на уже имеющиеся на рисунке отчета значения  $y(\Delta x)$ . Добавить два полуинтервала (№ 0, 6) с левой и правой сторон гистограммы со значени-

ями относительной частоты  $P_0 = P_6 = 0$ . Закончить построение гистограммы штриховкой столбцов.

Поставить средние точки на вершинах всех столбцов гистограммы, соединить их ломаной линией – полигоном.

Сравнить полигон, построенный по данным измерения 50 деталей, с теоретической кривой Гаусса и сделать вывод о возможности использования закона распределения Гаусса для оценки качества всех деталей в партии ( $N = 200$ ). Написать заключение и внести в отчет п. 5.

Показать размах  $v$  и записать значение на размерной линии, указав ее на рисунке отчета (см. Приложение Б.3.1) между вертикальными линиями  $x_{nmax}$  и  $x_{nmin}$  (см. рис. 3.2).

5. Построить с помощью масштаба осей  $x$  и  $d$  (значения  $x_N(z)$ ,  $x_m$ ,  $x_{nmax}$ ,  $x_{nmin}$ ) вертикальные линии на рисунке отчета (см. Приложение Б.3.1), которые приблизительно соответствуют значениям  $d_{max}$ ,  $d_m$  и  $d_{min}$  (см., например, рис. 3.2), и нанести значение допуска  $T_d$ . Определить значение погрешности настройки станка на операцию по формуле

$$\mu = |d_m - x_m| \quad (3.11)$$

и записать в вывод отчета п. 4.

6. Вычислить, используя формулы (3.7) и (3.8) или (3.9), процент брака  $P_{\beta 1}$ , если таковой имеется. Для этого применить значения нормированной функции Лапласа  $\Phi_0(z)$  в Приложении Б.3.2.

7. Сделать общий вывод о качестве партии из 200 деталей на основе статистического анализа выборки из 50 деталей (см. отчет Приложение Б.3.1). Учесть *общие сведения* (см. рис. 3.1), приведенные в этом описании.

8. Завершить отчет, поставить свою подпись и представить его преподавателю.

ОТЧЕТ

о лабораторной работе № 3 «Оценка качества партии деталей»

Студент \_\_\_\_\_ Группа № \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Исходные данные:

1. Детали – валы диаметром  $\varnothing 16h15_{(-0,7)}$
2. Процент риска  $P_\beta = 0,27 \%$
3. Доверительная вероятность  $P_\alpha = 0,9973$
4. Доверительный интервал  $\omega = 6\sigma$
5. Количество деталей в партии  $N = 200$
6. Количество деталей в выборке  $n = 50$

Заданные параметры:

- Номинальный размер вала  $d = 16$  мм  
 Поле допуска h15. Квалитет 15  
 Основное отклонение h (верхнее отклонение  $es = 0$ )  
 Нижнее отклонение  $ei = -700$  мкм  
 Среднее отклонение  $em = -350$  мкм  
 Допуск на диаметр вала  $T_d = 700$  мкм  
 Наибольший предельный размер  $d_{max} = 16,0$  мм  
 Наименьший предельный размер  $d_{min} = 15,3$  мм  
 Средний размер  $d_m = 15,650$  мм

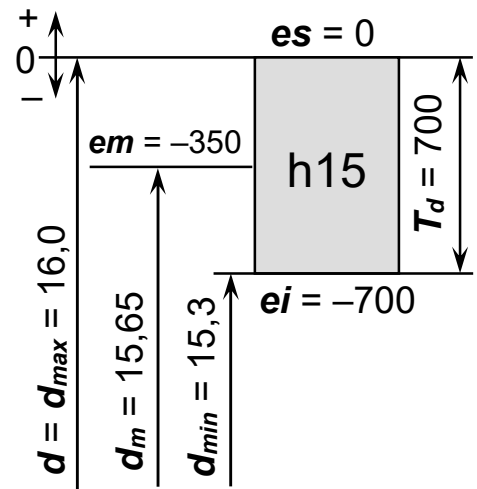


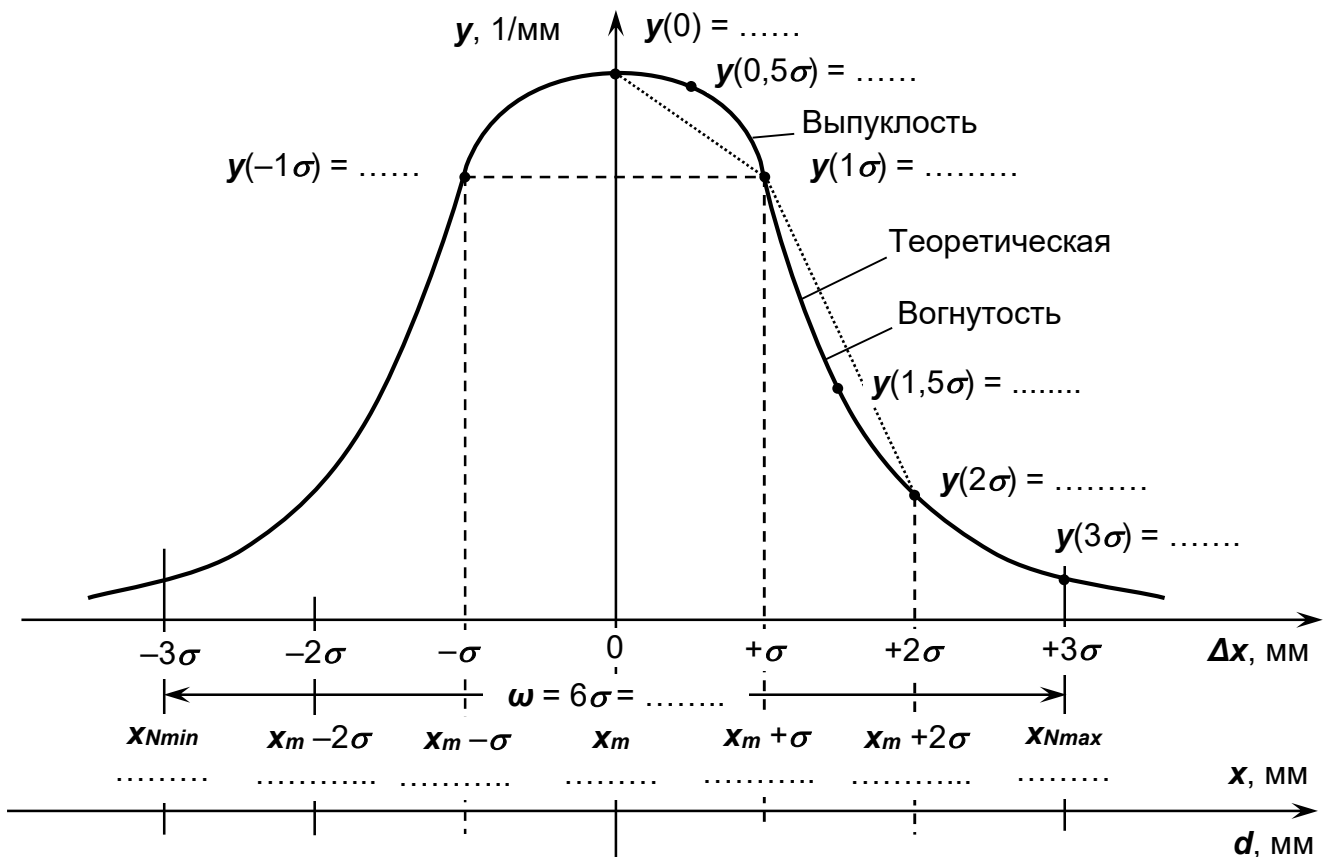
Таблица Б.3.1.1

Результаты измерений и обработки

Но- мер детал- ли	$x_i$	$x_i^2$	Номер интер- вала	Но- мер детал- ли	$x_i$	$x_i^2$	Номер интер- вала	Но- мер детал- ли	$x_i$	$x_i^2$	Номер интер- вала
1				18				35			
2				19				36			
3				20				37			
4				21				38			
5				22				39			
6				23				40			
7				24				41			
8				25				42			
9				26				43			
10				27				44			
11				28				45			
12				29				46			
13				30				47			
14				31				48			
15				32				49			
16				33				50			
17				34							
$x_{nmax} =$								$\sum x_i =$	$\sum x_i^2 =$	$n = 50$	
$x_{nmin} =$								$x_m =$	$\sigma =$	$\sum m_r = 50$	

$$x_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \sigma \approx S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2 / n}{n-1}}$$





Размах  $v = x_{Nmax} - x_{Nmin} = \dots$  мм. Ширина интервала  $\Delta = v/5 = \dots$  мм.

Таблица Б.3.1.2

Определение средней плотности распределения

Интервал $r$	1	2	3	4	5
Границы интервалов начиная с $x_{Nmin} = \dots$	$x_{Nmin} + \Delta = \dots$	$x_{Nmin} + 2\Delta = \dots$	$x_{Nmin} + 3\Delta = \dots$	$x_{Nmin} + 4\Delta = \dots$	$x_{Nmax} = \dots$
Частота $m_r$ ( $\sum m_r = n = 50$ )					
Относительная частота $P_r = \frac{m_r}{n \Delta}$					

Общий вывод о годности деталей:

- Партия из 200 деталей годная (негодная), поскольку доверительный интервал  $\omega$  не выходит (выходит) за поле допуска  $h15$ :  $x_{Nmin} > d_{min}$  ( $x_{Nmin} < d_{min}$ ) и/или  $x_{Nmax} < d_{max}$  ( $x_{Nmax} > d_{max}$ ).
- Выбор токарного станка:
  - $\omega \leq T_d$  – станок выбран правильно для операции и позволяет обеспечить заданную точность;
  - $\omega > T_d$  – станок выбран неправильно и должен быть заменен на более точный;
  - $\omega \ll T_d$  – станок должен быть заменен на менее точный и менее дорогой.
- Процент брака  $P_{\beta 1} = (\Phi_0(3) - \Phi_0(z_d)) \cdot 100\% = (0,49865 - \dots) \cdot 100\% = \dots\%$ , где  $z_d = (d_{max} - x_m)/\sigma = \dots$  (если  $x_{Nmax} > d_{max}$ ) или  $z_d = (x_m - d_{min})/\sigma = \dots$  (если  $x_{Nmin} < d_{min}$ );  $\Phi_0(z_d) = \dots$
- Чтобы исключить систематическую ошибку  $\mu = |d_m - x_m| = \dots$  мм, необходимо настроить положение режущего инструмента на значение в сторону увеличения (уменьшения) размера. Это позволит (не позволит) получить годные детали.
- Эмпирическое распределение похоже (не похоже) на теоретическое. Закон распределения выбран верно (неверно).

Выполнил студент \_\_\_\_\_ Принял преподаватель \_\_\_\_\_

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.3.2

Числовые значения интегральной функции Лапласа  $\Phi_0(z)$   
и нормированной функции  $t(z)$

$$\Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz; \quad t(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$$

<b>z</b>	<b>t(z)</b>	<b>Φ<sub>0</sub>(z)</b>	<b>z</b>	<b>t(z)</b>	<b>Φ<sub>0</sub>(z)</b>	<b>z</b>	<b>t(z)</b>	<b>Φ<sub>0</sub>(z)</b>
<b>0,00</b>	0,39894	0,0000	<b>0,36</b>	0,3739	0,1406	<b>0,72</b>	0,3079	0,2642
<b>0,01</b>	0,39892	0,0040	<b>0,37</b>	0,3725	0,1443	<b>0,73</b>	0,3056	0,2673
<b>0,02</b>	0,39886	0,0080	<b>0,38</b>	0,3712	0,1480	<b>0,74</b>	0,3034	0,2703
<b>0,03</b>	0,39876	0,0120	<b>0,39</b>	0,3697	0,1517	<b>0,75</b>	0,3011	0,2734
<b>0,04</b>	0,39862	0,0160	<b>0,40</b>	0,3683	0,1554	<b>0,76</b>	0,2989	0,2764
<b>0,05</b>	0,39844	0,0199	<b>0,41</b>	0,3668	0,1591	<b>0,77</b>	0,2966	0,2794
<b>0,06</b>	0,39822	0,0239	<b>0,42</b>	0,3653	0,1628	<b>0,78</b>	0,2943	0,2823
<b>0,07</b>	0,39797	0,0279	<b>0,43</b>	0,3637	0,1664	<b>0,79</b>	0,2920	0,2852
<b>0,08</b>	0,39767	0,0319	<b>0,44</b>	0,3621	0,1700	<b>0,80</b>	0,2897	0,2881
<b>0,09</b>	0,39733	0,0359	<b>0,45</b>	0,3605	0,1736	<b>0,81</b>	0,2874	0,2910
<b>0,10</b>	0,3970	0,0398	<b>0,46</b>	0,3589	0,1772	<b>0,82</b>	0,2850	0,2939
<b>0,11</b>	0,3965	0,0438	<b>0,47</b>	0,3572	0,1808	<b>0,83</b>	0,2827	0,2967
<b>0,12</b>	0,3961	0,0478	<b>0,48</b>	0,3555	0,1844	<b>0,84</b>	0,2803	0,2995
<b>0,13</b>	0,3956	0,0517	<b>0,49</b>	0,3538	0,1879	<b>0,85</b>	0,2780	0,3023
<b>0,14</b>	0,3951	0,0557	<b>0,50</b>	0,3521	0,1915	<b>0,86</b>	0,2756	0,3051
<b>0,15</b>	0,3949	0,0596	<b>0,51</b>	0,3503	0,1950	<b>0,87</b>	0,2732	0,3078
<b>0,16</b>	0,3939	0,0636	<b>0,52</b>	0,3485	0,1985	<b>0,88</b>	0,2709	0,3106
<b>0,17</b>	0,3932	0,0675	<b>0,53</b>	0,3467	0,2019	<b>0,89</b>	0,2685	0,3133
<b>0,18</b>	0,3925	0,0714	<b>0,54</b>	0,3448	0,2054	<b>0,90</b>	0,2661	0,3159
<b>0,19</b>	0,3918	0,0753	<b>0,55</b>	0,3429	0,2088	<b>0,91</b>	0,2639	0,3186
<b>0,20</b>	0,3910	0,0793	<b>0,56</b>	0,3410	0,2123	<b>0,92</b>	0,2613	0,3212
<b>0,21</b>	0,3902	0,0832	<b>0,57</b>	0,3391	0,2157	<b>0,93</b>	0,2589	0,3238
<b>0,22</b>	0,3894	0,0871	<b>0,58</b>	0,3372	0,2190	<b>0,94</b>	0,2565	0,3264
<b>0,23</b>	0,3885	0,0910	<b>0,59</b>	0,3352	0,2224	<b>0,95</b>	0,2541	0,3289
<b>0,24</b>	0,3876	0,0948	<b>0,60</b>	0,3332	0,2257	<b>0,96</b>	0,2516	0,3315
<b>0,25</b>	0,3867	0,0987	<b>0,61</b>	0,3312	0,2291	<b>0,97</b>	0,2492	0,3340
<b>0,26</b>	0,3857	0,1026	<b>0,62</b>	0,3292	0,2324	<b>0,98</b>	0,2468	0,3365
<b>0,27</b>	0,3847	0,1064	<b>0,63</b>	0,3271	0,2257	<b>0,99</b>	0,2444	0,3389
<b>0,28</b>	0,3836	0,1103	<b>0,64</b>	0,3251	0,2389	<b>1,00</b>	0,2420	0,3413
<b>0,29</b>	0,3825	0,1141	<b>0,65</b>	0,3230	0,2422	<b>1,01</b>	0,2396	0,3438
<b>0,30</b>	0,3814	0,1179	<b>0,66</b>	0,3209	0,2454	<b>1,02</b>	0,2371	0,3461
<b>0,31</b>	0,3802	0,1217	<b>0,67</b>	0,3187	0,2486	<b>1,03</b>	0,2347	0,3485
<b>0,32</b>	0,3790	0,1255	<b>0,68</b>	0,3166	0,2517	<b>1,04</b>	0,2323	0,3508
<b>0,33</b>	0,3778	0,1293	<b>0,69</b>	0,3144	0,2549	<b>1,05</b>	0,2299	0,3531
<b>0,34</b>	0,3765	0,1331	<b>0,70</b>	0,3123	0,2580	<b>1,06</b>	0,2275	0,3554
<b>0,35</b>	0,3752	0,1368	<b>0,71</b>	0,3101	0,2611	<b>1,07</b>	0,2251	0,3577

Продолжение приложения Б.3.2

<b>z</b>	<b>t(z)</b>	<b><math>\Phi_0(z)</math></b>	<b>z</b>	<b>t(z)</b>	<b><math>\Phi_0(z)</math></b>	<b>z</b>	<b>t(z)</b>	<b><math>\Phi_0(z)</math></b>
<b>1,08</b>	0,2227	0,3599	<b>1,58</b>	0,1145	0,4429	<b>2,16</b>	0,0387	0,4846
<b>1,09</b>	0,2203	0,3621	<b>1,59</b>	0,1127	0,4441	<b>2,18</b>	0,0371	0,4854
<b>1,10</b>	0,2179	0,3643	<b>1,60</b>	0,1109	0,4452	<b>2,20</b>	0,0355	0,4861
<b>1,11</b>	0,2155	0,3665	<b>1,61</b>	0,1092	0,4463	<b>2,22</b>	0,0339	0,4868
<b>1,12</b>	0,2131	0,3686	<b>1,62</b>	0,1074	0,4474	<b>2,24</b>	0,0325	0,4875
<b>1,13</b>	0,2108	0,3708	<b>1,63</b>	0,1057	0,4484	<b>2,26</b>	0,0310	0,4881
<b>1,14</b>	0,2083	0,3729	<b>1,64</b>	0,1040	0,4495	<b>2,28</b>	0,0297	0,4887
<b>1,15</b>	0,2059	0,3794	<b>1,65</b>	0,1023	0,4505	<b>2,30</b>	0,0283	0,4893
<b>1,16</b>	0,2036	0,3770	<b>1,66</b>	0,1006	0,4515	<b>2,32</b>	0,0270	0,4898
<b>1,17</b>	0,2012	0,3790	<b>1,67</b>	0,0989	0,4525	<b>2,34</b>	0,0258	0,4904
<b>1,18</b>	0,1989	0,3810	<b>1,68</b>	0,0973	0,4535	<b>2,36</b>	0,0246	0,4909
<b>1,19</b>	0,1965	0,3830	<b>1,69</b>	0,0957	0,4545	<b>2,38</b>	0,0235	0,4913
<b>1,20</b>	0,1942	0,3849	<b>1,70</b>	0,0940	0,4554	<b>2,40</b>	0,0224	0,4918
<b>1,21</b>	0,1919	0,3869	<b>1,71</b>	0,0925	0,4561	<b>2,42</b>	0,0213	0,4922
<b>1,22</b>	0,1895	0,3888	<b>1,72</b>	0,0909	0,4573	<b>2,44</b>	0,0203	0,4927
<b>1,23</b>	0,1872	0,3907	<b>1,73</b>	0,0893	0,4582	<b>2,46</b>	0,0194	0,4931
<b>1,24</b>	0,1849	0,3925	<b>1,74</b>	0,0878	0,4591	<b>2,48</b>	0,0184	0,4934
<b>1,25</b>	0,1826	0,3944	<b>1,75</b>	0,0863	0,4599	<b>2,50</b>	0,0175	0,4938
<b>1,26</b>	0,1804	0,3962	<b>1,76</b>	0,0848	0,4608	<b>2,52</b>	0,0167	0,4941
<b>1,27</b>	0,1781	0,3980	<b>1,77</b>	0,0833	0,4616	<b>2,54</b>	0,0158	0,4945
<b>1,28</b>	0,1758	0,3997	<b>1,78</b>	0,0818	0,4625	<b>2,56</b>	0,0151	0,4948
<b>1,29</b>	0,1736	0,4015	<b>1,79</b>	0,0804	0,4633	<b>2,58</b>	0,0143	0,4951
<b>1,30</b>	0,1714	0,4032	<b>1,80</b>	0,0790	0,4641	<b>2,60</b>	0,0136	0,4953
<b>1,31</b>	0,1691	0,4049	<b>1,81</b>	0,0775	0,4649	<b>2,62</b>	0,0129	0,4956
<b>1,32</b>	0,1669	0,4066	<b>1,82</b>	0,0761	0,4656	<b>2,64</b>	0,0122	0,4959
<b>1,33</b>	0,1647	0,4082	<b>1,83</b>	0,0748	0,4664	<b>2,66</b>	0,0116	0,4961
<b>1,34</b>	0,1626	0,4099	<b>1,84</b>	0,0734	0,4671	<b>2,68</b>	0,0110	0,4963
<b>1,35</b>	0,1604	0,4115	<b>1,85</b>	0,0721	0,4678	<b>2,70</b>	0,0104	0,4965
<b>1,36</b>	0,1582	0,4131	<b>1,86</b>	0,0707	0,4686	<b>2,72</b>	0,0099	0,4967
<b>1,37</b>	0,1561	0,4147	<b>1,87</b>	0,0694	0,4693	<b>2,74</b>	0,0093	0,4969
<b>1,38</b>	0,1539	0,4162	<b>1,88</b>	0,0691	0,4699	<b>2,76</b>	0,0088	0,4971
<b>1,39</b>	0,1518	0,4177	<b>1,89</b>	0,0669	0,4706	<b>2,78</b>	0,0084	0,4973
<b>1,40</b>	0,1497	0,4192	<b>1,90</b>	0,0656	0,4713	<b>2,80</b>	0,0079	0,4974
<b>1,41</b>	0,1476	0,4207	<b>1,91</b>	0,0644	0,4719	<b>2,82</b>	0,0075	0,4976
<b>1,42</b>	0,1456	0,4222	<b>1,92</b>	0,0632	0,4726	<b>2,84</b>	0,0071	0,4977
<b>1,43</b>	0,1435	0,4236	<b>1,93</b>	0,0620	0,4732	<b>2,86</b>	0,0067	0,4979
<b>1,44</b>	0,1415	0,4251	<b>1,94</b>	0,0608	0,4738	<b>2,88</b>	0,0063	0,4980
<b>1,45</b>	0,1394	0,4265	<b>1,95</b>	0,0596	0,4744	<b>2,90</b>	0,0060	0,4981
<b>1,46</b>	0,1374	0,4279	<b>1,96</b>	0,0584	0,4750	<b>2,92</b>	0,0056	0,4982
<b>1,47</b>	0,1354	0,4292	<b>1,97</b>	0,0573	0,4756	<b>2,94</b>	0,0053	0,4984
<b>1,48</b>	0,1334	0,4306	<b>1,98</b>	0,0562	0,4761	<b>2,96</b>	0,0050	0,4985
<b>1,49</b>	0,1315	0,4319	<b>1,99</b>	0,0551	0,4767	<b>2,98</b>	0,0047	0,4986
<b>1,50</b>	0,1295	0,4332	<b>2,00</b>	0,0540	0,4772	<b>3,00</b>	0,0044	0,49865
<b>1,51</b>	0,1276	0,4345	<b>2,02</b>	0,519	0,4783	<b>3,20</b>	0,0024	0,49931
<b>1,52</b>	0,1257	0,4357	<b>2,04</b>	0,0498	0,4793	<b>3,40</b>	0,0012	0,49966
<b>1,53</b>	0,1238	0,4370	<b>2,06</b>	0,0478	0,4803	<b>3,60</b>	0,0006	0,499841
<b>1,54</b>	0,1219	0,4382	<b>2,08</b>	0,0459	0,4812	<b>3,80</b>	0,0003	0,499928
<b>1,55</b>	0,1200	0,4394	<b>2,10</b>	0,0440	0,4821	<b>4,00</b>	0,00013	0,499968
<b>1,56</b>	0,1182	0,4406	<b>2,12</b>	0,0422	0,4830	<b>4,50</b>	0,000016	0,499997
<b>1,57</b>	0,1163	0,4418	<b>2,14</b>	0,0404	0,4838	<b>5,00</b>	0,0000015	0,499997

## ЗАВИСИМЫЙ ДОПУСК РАСПОЛОЖЕНИЯ

### Цель работы:

1. Рассмотреть зависимый допуск в сравнении с независимым.
2. Приобрести навыки выбора допусков расположения на основе точностных расчетов с учетом влияния отклонений расположения на собираемость, точность и другие функциональные показатели сборочного узла.
3. Изучить метод преобразования позиционного допуска в предельные отклонения размеров-координат.
4. Выполнить теоретические расчеты зависимого и независимого допусков, которые определяют расположение отверстий для крепежных изделий, сравнить их с действительными размерами изготовленных деталей и определить качество.

### Общие сведения

**Допуск расположения** – это разность предельных допускаемых отклонений действительного положения рассматриваемого элемента от номинального положения.

Номинальное положение элемента определяется номинальными линейными и угловыми размерами (рис. 4.1). Символы для обозначения различных допусков расположения представлены в табл. 2.1 лабораторной работы № 2.

Для обозначения точности расположения поверхностей, как правило, на чертежах указывают *базы*.

**База (базовый элемент)** – это элемент детали (точка, линия, поверхность), который используют для координирования положения других элементов детали. На чертежах базы обозначают заглавными буквами украинского или латинского алфавита в прямоугольных рамках, треугольником и соединительной линией между ними.

Числовые значения допусков расположения устанавливают в зависимости от **степени точности**.

Действительное отклонение расположения определяют по отношению к поверхности, прилегающей к действительной поверхности. Таким образом, *отклонения формы* исключают из рассмотрения при анализе *отклонений расположения* (см. рис. 4.1, а).

Размеры в рамках (см. рис. 4.1, в) имеют допуски, значения которых устанавливают позиционным допуском оси отверстия. Действительные отклонения  $\Delta x$  и  $\Delta y$  размеров  $x$  и  $y$  появились из-за отклонения действительной оси отверстия от его номинального положения.

**Независимый допуск** – это допуск  $T_{min}$ , величина которого постоянна для всех изделий, изготовленных по одному и тому же чертежу,

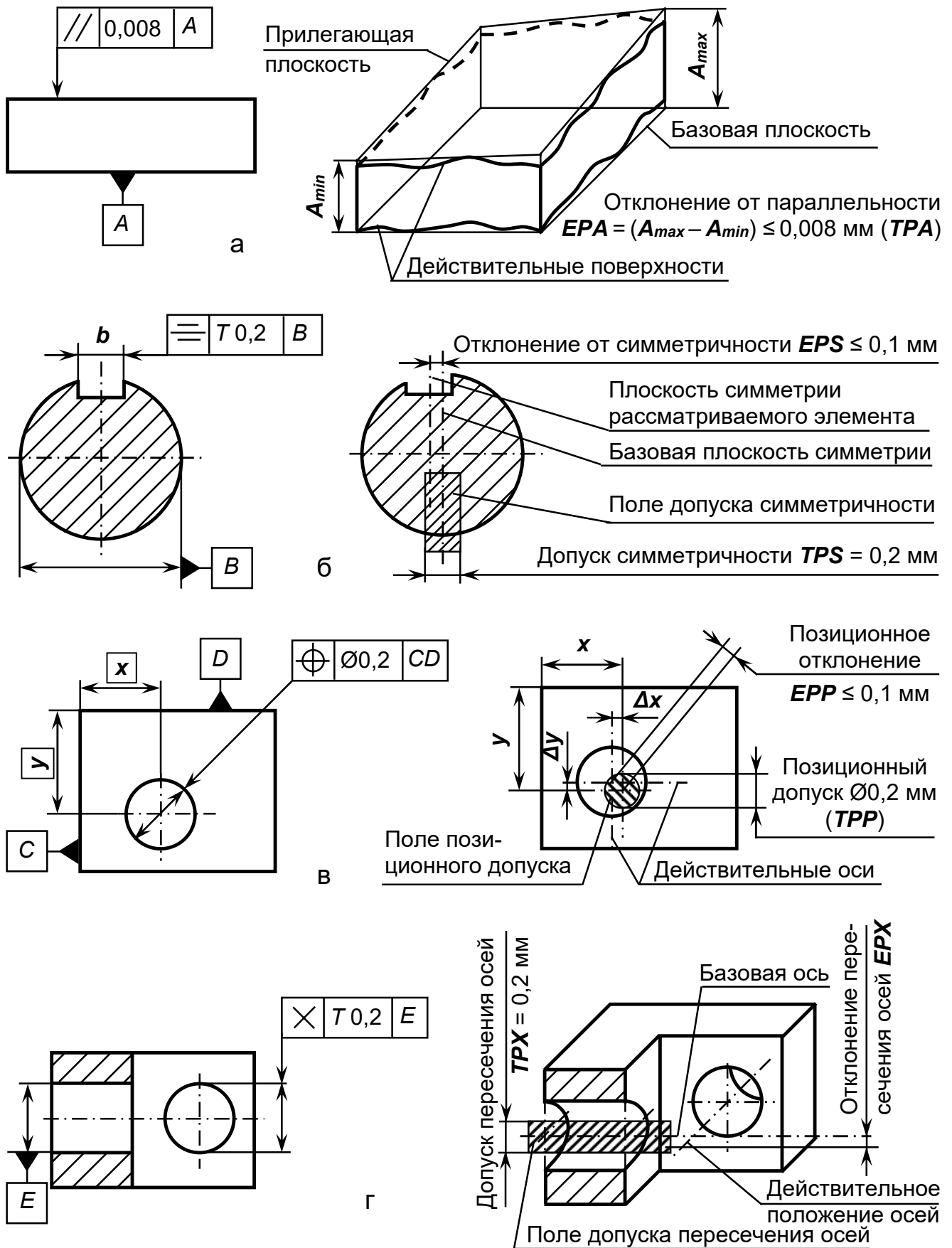


Рис. 4.1. Обозначения допусков расположения на чертежах и схемах для отклонений: а – от параллельности; б – симметричности; в – позиции; г – пересечения осей

и не зависит от действительных размеров рассматриваемого элемента.

**Зависимый допуск** – это допуск положения или формы  $T_{dep}$ , величина которого изменяется в зависимости от действительных размеров рассматриваемого элемента и/или от базового элемента по условию максимума материала (максимального предельного размера вала или минимального предельного размера отверстия):

$$T_{dep} = T_{min} + T_{ad}, \quad (4.1)$$

где  $T_{min}$  – постоянная составляющая зависимого допуска, *указанная в чертеже*;  $T_{ad}$  – дополнительная составляющая зависимого допуска, *зависящая от действительных размеров рассматриваемых элементов изделия*.

*Зависимые допуски расположения экономически более выгодны в производстве и сборке, чем независимые. Они позволяют использовать менее точные, но более экономичные методы обработки и технологическое оборудование.*

Как правило, зависимые допуски рекомендуют для элементов тех деталей, которые участвуют в сборке с зазором. В этом случае позиционные допуски рассчитывают из условия гарантированного (минимального) зазора. Если этот зазор увеличивается (что происходит, когда действительные размеры сопрягаемых элементов отклоняются от условия максимума материала), то позиционный допуск увеличивается (что допускается зависимым допуском).

Зависимые допуски назначают для элементов отверстий, валов и таких характеристик, как позиционный допуск, соосность, симметричность, пересечение осей (см. рис. 4.1), перпендикулярность осей и перпендикулярность оси и плоскости. Зависимые допуски указывают на изображениях деталей, чертежах или записывают в технических требованиях.

Существуют два метода указания предельных отклонений для позиции осей отверстий.

1. *Позиционные допуски осей отверстий* (рис. 4.2, а, б). Это предпочтительный способ для числа отверстий более двух. В этом случае поле допуска представляет собой цилиндр возможных положений оси действительного отверстия. Таким образом, линейные и угловые отклонения разграничивают совместно.

2. *Предельные отклонения размеров* (см. рис. 4.2, в, г), которые определяют положение осей отверстий в ортогональной или полярной системе координат.

Зависимые допуски указывают на чертежах буквой М в кружочке (см. рис. 4.2) или записывают в технических требованиях.

Размеры в рамках (см. рис. 4.2, а, б) – это размеры с допусками, значения которых определяют позиционным допуском для осей отверстий.

Существует зависимость между двумя способами при указании предельных отклонений расположения осей отверстий.

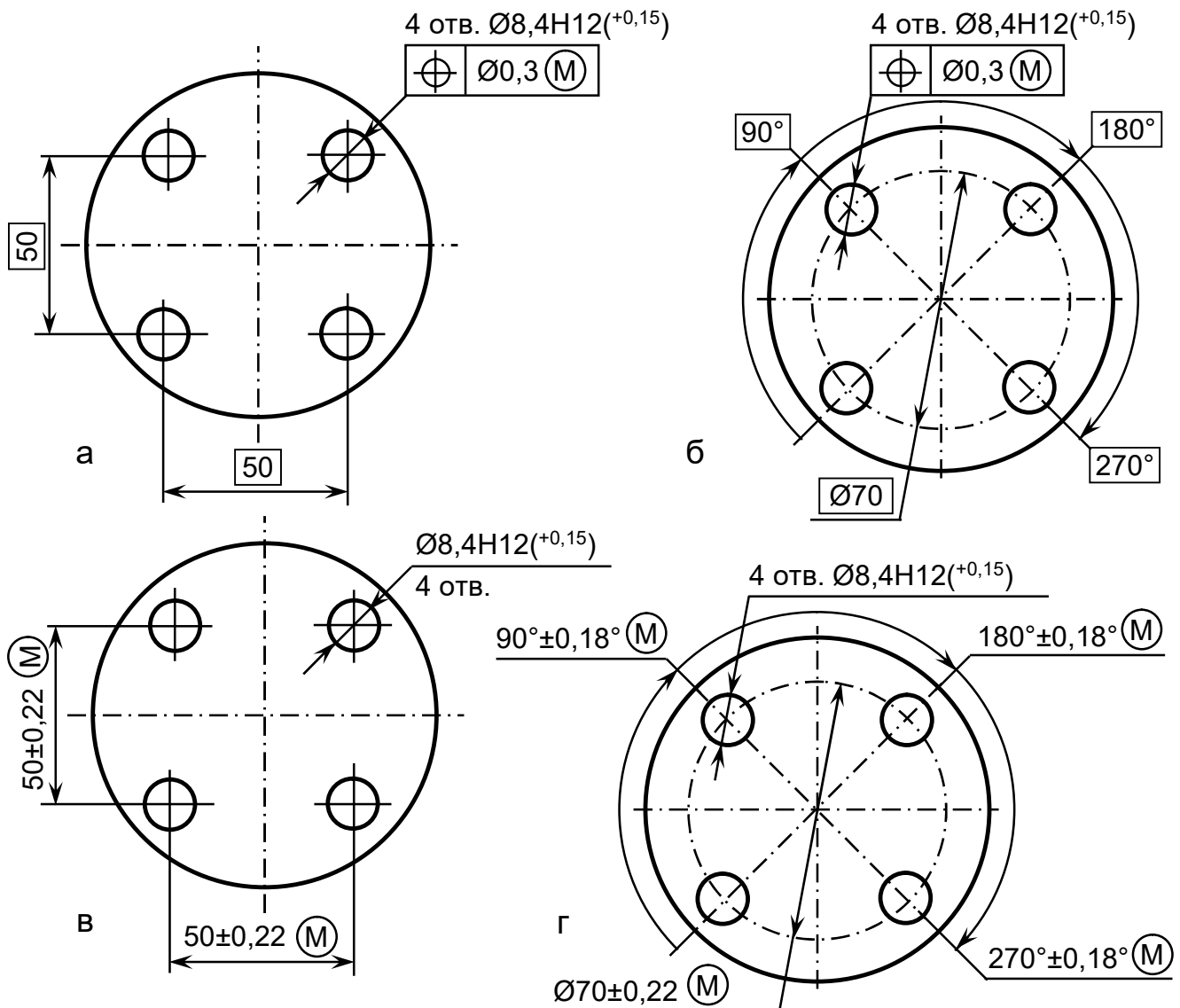


Рис. 4.2. Способы указания предельных отклонений для положения осей отверстий: а – позиционные допуски в ортогональной системе координат; б – позиционные допуски в полярной системе координат; в – предельные отклонения размеров-координат в ортогональной системе; г – предельные отклонения размеров-координат в полярной системе

Позиционные допуски можно преобразовать в предельные отклонения координатных размеров. На рис. 4.3, а показаны допуски по осям  $x$  и  $y$ , когда они равны ( $T_x = T_y$ ). Поэтому площадь допустимых положений действительной оси отверстия представляет собой квадрат.

В этой работе принято нестандартное обозначение позиционного допуска  $TPP = T_p$  (см. рис. 4.1, в) для сокращения записи и рассмотрена ситуация, когда позиционный допуск зависимый, т. е.  $T_p = T_{dep}$ .

При любом способе указания предельных отклонений положения сначала определяют минимальную величину позиционного допуска  $T_{min}$  (см. формулу (4.1)) в расчете на диаметр (см. рис. 4.3,  $\varnothing T_p$ ).

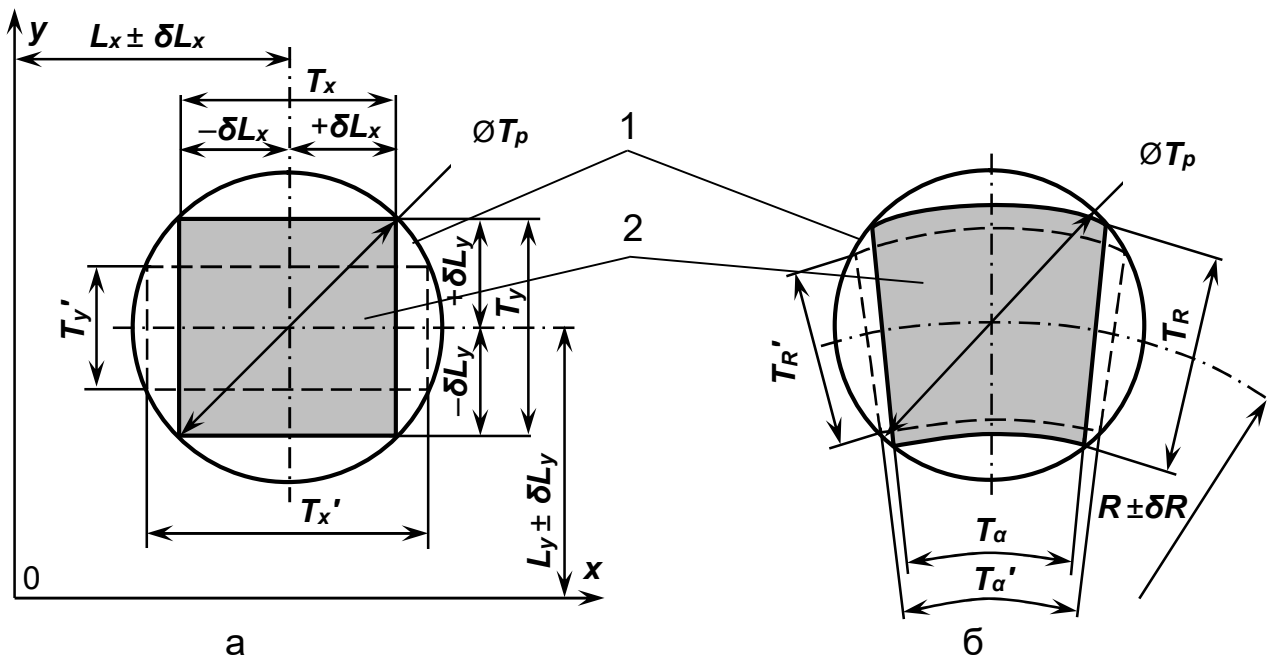


Рис. 4.3. Схема преобразования позиционных допусков в предельные отклонения размеров-координат в ортогональной (а) и полярной (б) системах координат:  
 1 – площадь допустимых положений действительной оси отверстия, ограниченная окружностью (проекция цилиндра);  
 2 – площадь допустимых положений действительной оси отверстия по осям координат

Позиционный допуск  $T_{min}$  зависит от вида соединения (А или Б), минимального расчетного зазора  $S_{des}$  для крепежной детали и степени использования этого зазора для компенсации отклонений положений осей.

Типы соединений показаны на рис. 4.4.

Для соединений *типа А* (соединения болтами, заклепками, когда зазоры есть в обеих сопрягаемых деталях, см. рис. 4.4, а) позиционный допуск определяют по формуле

$$T_{min} = S_{des}. \quad (4.2)$$

Для соединений *типа Б* (соединения винтами, шпильками, штифтами, когда зазор есть только в одной детали, см. рис. 4.4, б) и для соединений типа А с центрирующими элементами (см. рис. 4.4, в) позиционный допуск рассчитывают как

$$T_{min} = 0,5 S_{des}. \quad (4.3)$$

Существует два способа определения расчетного зазора  $S_{des}$ .

**Первый способ** – для определения степени использования минимального зазора для компенсации отклонений положения осей применяют коэффициент  $K$ :

$$S_{des} = K S_{min}, \quad (4.4)$$

где  $S_{min}$  – гарантированный (минимальный) диаметральный зазор для кре-



пежной детали, установленный стандартом (см. Приложение В.4.1).

Коэффициент  $K$  равен 1,0 или 0,8 для соединений, которым не нужна регулировка относительного положения деталей, и 0,8 или 0,6 (или даже меньшие значения) для соединений, которым нужна регулировка относительного положения деталей.

**Второй способ** (более подробный анализ) – расчетный зазор  $S_{des}$  для диаметра при условии полной взаимозаменяемости определяют по формуле

$$S_{des} = S_{min} - S_{adj} - T_{perp} - T_c, \quad (4.5)$$

где  $S_{adj}$  – минимальный радиальный зазор между сквозными отверстиями и крепежными деталями для последующей регулировки относительного положения деталей или для облегчения сборки;  $T_{perp}$  – суммарный допуск перпендикулярности осей отверстий к опорным плоскостям во всех соединяемых деталях;  $T_c$  – допуск соосности для ступенчатых крепежных деталей или/и ступенчатых отверстий.

Постоянная (независимая) часть  $T_{min}$  зависимого допуска может быть равной нулю (указанной на чертеже как нуль). В этом случае величина позиционного зависимого допуска  $T_{dep}$  формируется только вследствие дополнительного допуска  $T_{ad}$ , т. е. допусков размеров рассматриваемых элементов.

**Дополнительную часть  $T_{ad}$**  зависимого допуска рассчитывают по геометрическим формулам с учетом разницы между действительными размерами сопрягаемых элементов (например, болтов и отверстий) и их размерами по условию максимума материала (максимальный предельный

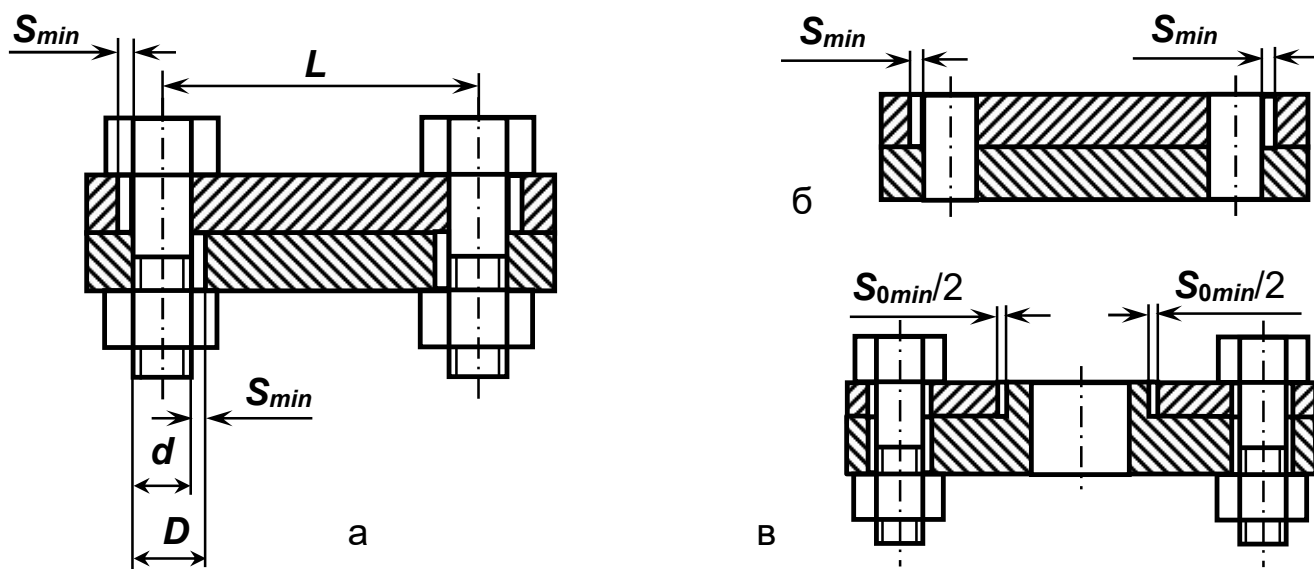


Рис. 4.4. Типы соединений в сборочных узлах: а – с зазором в отверстиях в обеих соединяемых деталях без регулировочных элементов (тип А); б – с зазором в отверстиях одной детали (тип Б); в – с зазором в отверстиях в обеих соединяемых деталях (тип А) с центрирующим элементом

размер валов и минимальный предельный размер отверстий).

### Порядок выполнения работы

1. Сборочный узел состоит из трех прямоугольных пластин (детали № 1, 2, 3) с четырьмя отверстиями  $\varnothing 62H12^{(+0,3)}$  и одним центральным отверстием диаметром  $\varnothing 40H10^{(+0,1)}$ ; одной круглой детали (деталь № 4) с четырьмя отверстиями  $\varnothing 62H12^{(+0,3)}$  и центральным выступом диаметром  $\varnothing 40h10_{(-0,1)}$ ; четырех круглых пробок диаметром  $\varnothing 60h10_{(-0,16)}$ , которые имитируют крепежные детали (см. Приложение В.4.1).

Отверстия диаметром  $\varnothing 62H12^{(+0,3)}$  пронумерованы римскими цифрами (I, II, III, IV).

Пластину № 1 соединяют с другими деталями по типу А без центрирующего элемента (см. рис. 4.4, а), а пластины № 2, 3 – с круглой деталью № 4 по типу А (см. рис. 4.4, в) с центрирующими элементами в виде центральных отверстий  $\varnothing 40H10$  и центрального выступа (вала)  $\varnothing 40h10_{(-0,1)}$  на детали № 4.

2. Определить значения составляющих элементов зависимого позиционного допуска  $T_{dep}$  по формулам (4.1), (4.2) и (4.5), используя условия сборки узлов вида А и Приложение В.4.2 ( $S_{min}$  для 1-й серии размеров). Минимальный радиальный зазор для регулировки  $S_{adj} = 0$ , так как последняя не предусмотрена. Допуски перпендикулярности  $T_{perp} = 0$  и соосности  $T_c = 0$ , так как пластины тонкие, а отверстия гладкие, неступенчатые. Записать значения  $S_{min}$ ,  $S_{des}$ ,  $T_{min}$  в табл. В.4.1.1 отчета и допуск  $T_{min}$  (независимую часть зависимого допуска) в рамки позиционного допуска для четырех отверстий на эскизах деталей (см. Приложение В.4.1).

3. Выполнить измерения действительных размеров по схеме, показанной на рис. 4.5, и определить отклонения от номинальных размеров, указанных на эскизах деталей.

3.1. Измерить для всех деталей действительные размеры  $D_i$  отверстий I, II, III, IV, центрального отверстия  $D_0$  деталей № 1, 2, 3 и выступа (вала)  $d_0$  детали № 4.

Рассчитать действительные отклонения  $\Delta D_i$ ,  $\Delta D_0$  и  $\Delta d_0$  по формуле

$$\Delta D = D_i - D_{nom},$$

где  $D_i$  – измеренное значение размера;  $D_{nom}$  – номинальное значение размера.

Записать значения в табл. В.4.1.1 отчета (см. Приложение В.4.1). Сделать выводы о точности (качестве) отверстий и вала: «+» – качественный (точный) размер; «–» – брак неисправимый; «±» – брак, который можно исправить повторной обработкой (брак исправимый).

3.2. Измерить отрезки  $l_x'$  и  $l_y'$  (рис. 4.5) и рассчитать действительные координатные размеры  $l_x$  и  $l_y$  оси центрального отверстия от базовых поверхностей для деталей № 2 и 3 по формулам

$$l_x = l_x' + D_0/2 \text{ и } l_y = l_y' + D_0/2,$$

где  $D_0$  – номинальный размер центрального отверстия,  $D_0 = 40$  мм.

Записать результаты в табл. В.4.1.3 отчета.

3.3. Измерить межцентровые расстояния между отверстиями I, II, III, IV,  $D_0$  и валом  $d_0$  в деталях № 1, 2, 3, 4 по схеме (см. рис. 4.5) и записать значения в табл. В.4.1.4 отчета. Для расчетов использовать формулы (непрямые измерения):

- $L_{xi} = (g + h)/2$ , где  $g$  и  $h$  – размеры, измеренные вдоль оси  $x$  (по два результата на каждую деталь в строках табл. В.4.1.4 « $L_{x1}$ » и « $L_{x2}$ » между отверстиями IV–I и III–II);
- $L_{yi}$  – подобно формуле для  $L_{xi}$ , но с размерами  $g$  и  $h$ , измеренными вдоль оси  $y$  (по два результата на каждую деталь в строках табл. В.4.1.4 « $L_{y1}$ » и « $L_{y2}$ » между отверстиями IV–III и I–II);
- $D_{\delta i} = (e + f)/2$ , где  $e$  и  $f$  – размеры, измеренные по диагоналям (по два результата на каждую деталь в строках табл. В.4.1.4 « $D_{\delta 1}$ » и « $D_{\delta 2}$ » между отверстиями IV–II и I–III);
- $R_{\delta i} = (a + b)/2$ , где  $a$  и  $b$  – размеры, измеренные в радиальном направлении от центрального отверстия к каждому из четырех отверстий (по четыре результата на каждую деталь № 2, 3, 4 в строках табл. В.4.1.4 « $R_{\delta 1}$ », « $R_{\delta 2}$ », « $R_{\delta 3}$ » и « $R_{\delta 4}$ » между центральным отверстием  $D_0$  (или валом  $d_0$ ) и отверстиями I, II, III, IV).

4. Рассчитать отклонения действительных размеров от номинального по формуле

$$\Delta_i = AD - ND,$$

где  $AD$  – действительный (измеренный) размер параметров  $L_{xi}$ ,  $L_{yi}$ ,  $L_{xi}$ ,  $L_{yi}$ ,  $D_{\delta i}$  или  $R_{\delta i}$ ;  $ND$  – номинальный размер параметров  $L_{xi}$ ,  $L_{yi}$ ,  $L_{xi}$ ,  $L_{yi}$ ,  $D_{\delta i}$  или  $R_{\delta i}$ .

Внести результаты в табл. В.4.1.3 и В.4.1.4 отчета. Отклонения записать со знаком «+» или «-».

5. Рассчитать дополнительную часть  $T_{ад}$  зависимого допуска по сле-

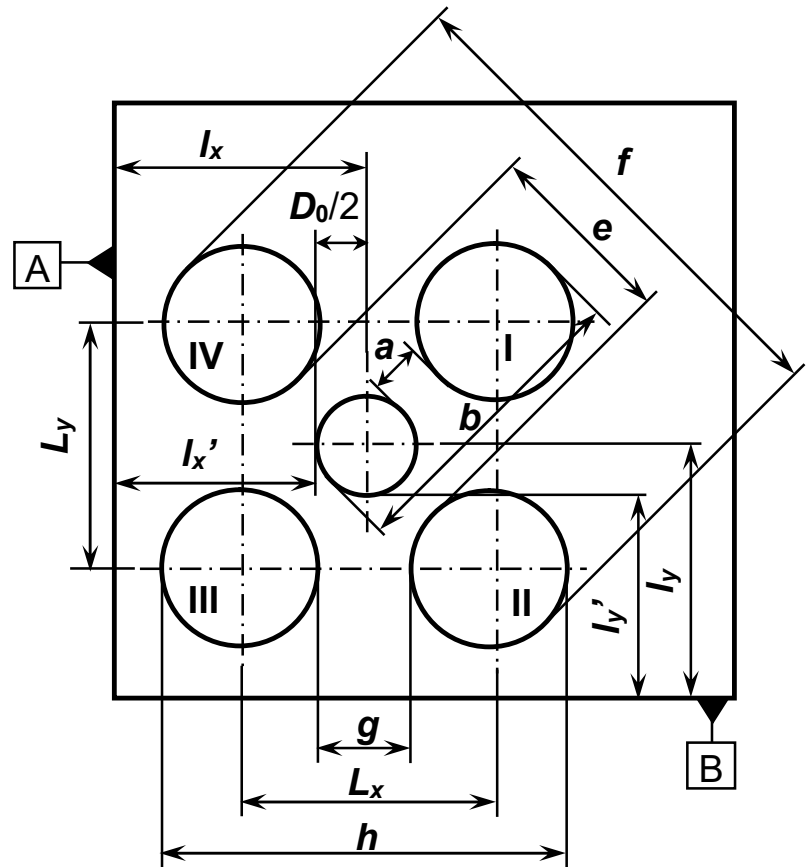


Рис. 4.5. Схема выполнения измерений элементов деталей: I, II, III, IV – номера отверстий

дующим формулам и записать значения в табл. В.4.1.4 отчета:

- для строки « $L_{x1}$ »: 
$$T_{ad} = (\Delta D_I + \Delta D_{IV}) / 2,$$

где  $\Delta D_I$  и  $\Delta D_{IV}$  – действительные отклонения диаметров отверстий от номинального, которые появились при их производстве (см. табл. В.4.1.1 отчета);

- для строки « $L_{x2}$ »: 
$$T_{ad} = (\Delta D_{II} + \Delta D_{III}) / 2,$$

где  $\Delta D_{II}$  и  $\Delta D_{III}$  – действительные отклонения диаметров отверстий из табл. В.4.1.1 отчета;

- для строки « $L_{y1}$ »: 
$$T_{ad} = (\Delta D_I + \Delta D_{II}) / 2;$$

- для строки « $L_{y2}$ »: 
$$T_{ad} = (\Delta D_{IV} + \Delta D_{III}) / 2;$$

- для строки « $D_{\delta 1}$ »: 
$$T_{ad} = (\Delta D_I + \Delta D_{III}) / 2;$$

- для строки « $D_{\delta 2}$ »: 
$$T_{ad} = (\Delta D_{IV} + \Delta D_{II}) / 2;$$

- для четырех строк « $R_{\delta i}$ » деталей № 2 и 3:

$$T_{ad-i} = (\Delta D_i + \Delta D_0) / 2,$$

где  $\Delta D_i$  – действительные отклонения диаметров отверстий при их производстве для отверстий I, II, III и IV;  $\Delta D_0$  – действительные отклонения диаметров центральных отверстий в деталях № 2, 3 из табл. В.4.1.1 отчета;

- для четырех строк « $R_{\delta i}$ » для детали № 4:

$$T_{ad-i} = (\Delta D_i + \Delta d_0) / 2,$$

где  $\Delta d_0$  – действительное отклонение диаметра выступа (вала) на детали № 4 из табл. В.4.1.1 отчета (см. Приложение В.4.1).

**Примечание.** Если действительное отклонение превышает предельное отклонение, то для расчетов нужно использовать величину соответствующего предельного отклонения.

6. Рассчитать значения зависимого позиционного допуска для всех четырех деталей и всех строк табл. В.4.1.4 отчета по формуле (4.1)

$$T_{dep-i} = T_{min} + T_{ad-i}$$

и записать результаты в табл. В.4.1.4.

7. Рассчитать предельные отклонения координатных размеров по формулам, приведенным в табл. 4.1, которые служат преобразованием позиционных допусков в предельные отклонения размеров-координат (рис. 4.6). Обратит внимание на наличие центрирующих элементов (центральных отверстий и выступа – базы С), уменьшающих предельные отклонения вдвое. Записать результаты расчетов в табл. В.4.1.4 (см. Приложение В.4.1) в соответствующие строки и колонки по номерам деталей.

8. Сделать выводы о точности расположения отверстий в табл. В.4.1.4. Если даже одно из действительных отклонений  $\Delta_i$  параметров  $L_{xi}$ ,  $L_{yi}$ ,  $D_{\delta i}$  или  $R_{\delta i}$  выходит за границы предельных отклонений, деталь признают некачественной (бракованной).

Формулы для расчета предельных отклонений  $\pm T/2$   
размеров-координат

Наименование строки в табл. В.4.1.4 отчета	Деталь № 1 (без базы С)	Детали № 2, 3, 4 (с базой С)
Строки $L_{xi}$ и $L_{yi}$	$\pm (0,7 \cdot T_{dep})$	$\pm (0,35 \cdot T_{dep})$
Строки $D_{\delta i}$	$\pm (1,0 \cdot T_{dep})$	$\pm (0,5 \cdot T_{dep})$
Строки $R_{\delta i}$	—	$\pm (0,35 \cdot T_{dep})$

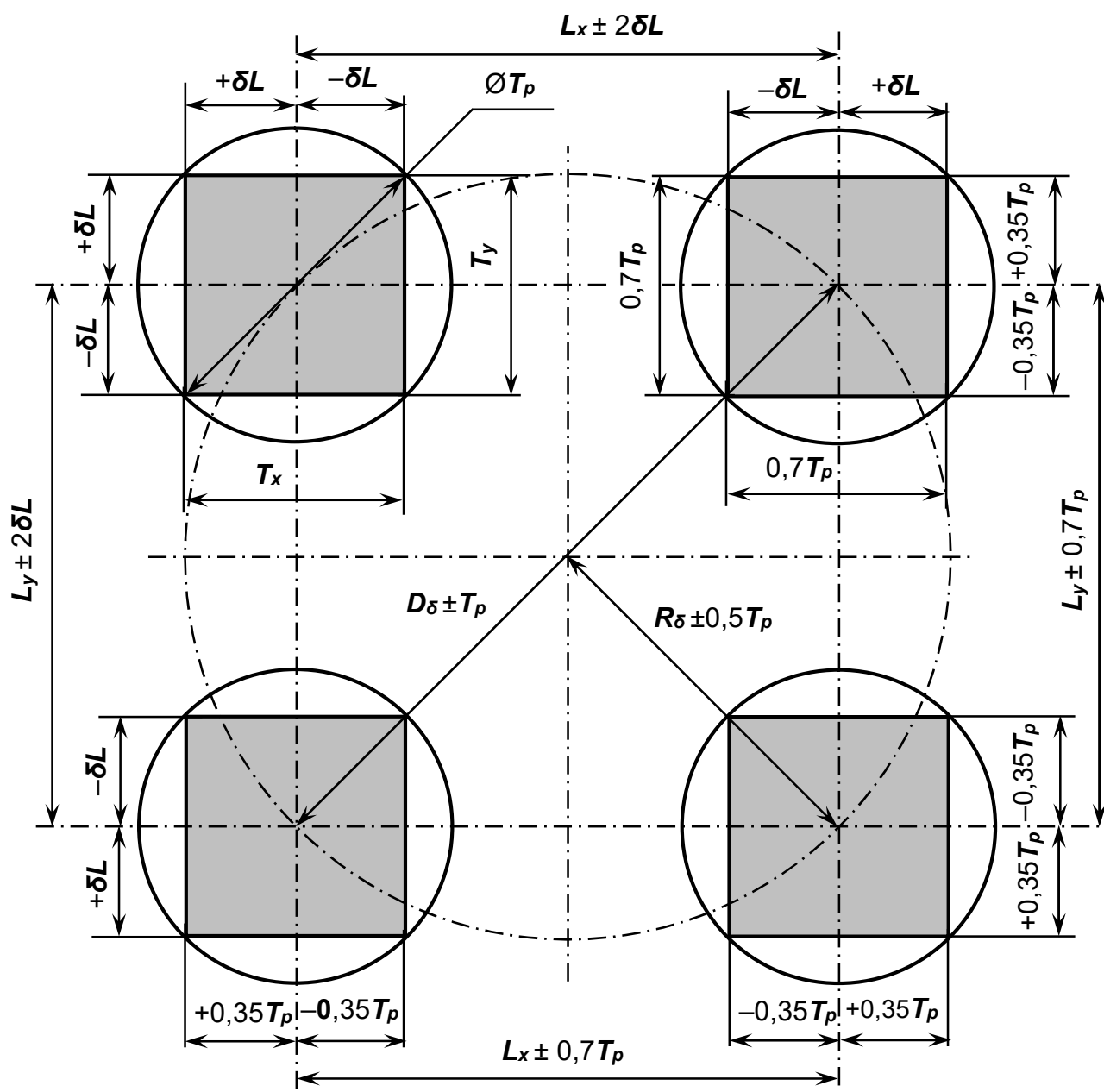


Рис. 4.6. Схема преобразования позиционных допусков  $T_p$  в предельные отклонения координатных размеров для четырех отверстий

9. Сделать выводы и записать их в табл. В.4.1.5 отчета о качестве отверстий по диаметру, качестве деталей по расположению отверстий, собираемости и качестве сборки в целом, а также предложить рекомендации для повторной обработки отверстий, если она возможна, с помощью символов: «+» – качественная деталь; «–» – брак неисправимый; «±» – брак исправимый (качества можно достичь повторной обработкой).

10. Рассчитать зависимый позиционный допуск для оси центрального отверстия  $\varnothing 40H10$  в деталях № 2 и 3 (тип соединения А). Для этого определить минимальную (независимую) часть  $T_{0min}$  позиционного допуска  $T_{0min} = S_{0des}$  (см. выражение (4.2)). Расчетный зазор  $S_{0des}$  можно вычислить по формуле (4.5) при значениях  $S_{adj} = 0$ , если регулировка относительного положения деталей не предусмотрена,  $T_{perp} = 0$  и  $T_c = 0$ , так как детали тонкие и отверстия не ступенчатые, а гладкие. Рассчитать минимальный зазор  $S_{0min}$  для посадки  $\varnothing 40H10/h10$  между отверстиями  $\varnothing 40H10^{(+0,1)}$  в деталях № 2, 3 и выступом (валом)  $\varnothing 40h10_{(-0,1)}$  на детали № 4:

$$S_{0min} = D_{0min} + d_{0max},$$

где  $D_{0min}$  – минимальный предельный диаметр центрирующего отверстия;  $d_{0max}$  – максимальный предельный диаметр центрирующего вала.

Записать постоянную часть  $T_{0min}$  зависимого допуска для положения центрального отверстия  $\varnothing 40H10$  на эскизе деталей № 1, 2, 3 (см. Приложение В.4.1) (два координатных размера  $100 \text{ (M)} \dots$ ).

Использовать допуск  $T_{D0}$  отверстий  $\varnothing 40H10^{(+0,1)}$  и допуск  $T_{d0}$  вала  $\varnothing 40h10_{(-0,1)}$  для расчета *максимального дополнительного допуска*

$$T_{0ad} = (T_{D0} + T_{d0})/2 .$$

Рассчитать зависимый позиционный допуск для осей центральных отверстий  $\varnothing 40H10$  для деталей № 2, 3:

$$T_{0dep} = T_{0min} + T_{0ad}.$$

Определить предельные отклонения координатных размеров для оси центрального отверстия  $\varnothing 40H10$ , используя выражение  $\pm(0,7 \cdot T_{0dep})$ , и записать их в колонку «Предельные отклонения» табл. В.4.1.3 отчета для деталей № 2, 3. Сравнить действительные отклонения (см. табл В.4.1.3) с рассчитанными предельными отклонениями и сделать выводы о качестве действительных размеров словами «да» или «нет» в последней колонке табл. В.4.1.3.

11. Завершить оформление отчета, поставить подпись и представить отчет преподавателю для сдачи лабораторной работы.

# ОТЧЕТ

## о лабораторной работе № 4 “Зависимый допуск расположения”

Студент \_\_\_\_\_ Группа № \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Таблица В.4.1.1

Номинальные размеры, мм	Действительные размеры элементов детали №, мм				Действительное отклонение $\Delta D_i$ элементов детали №, мм				Поле допуска и предельные отклонения	Вывод о качестве элемента детали №:			
	1	2	3	4	1	2	3	4		1	2	3	4
$D_0 = 40$									H10 (+0,1)				
$d_0 = 40$									h10 (-0,1)				
$D_I = 62$									H12 (+0,3)				
$D_{II} = 62$									H12 (+0,3)				
$D_{III} = 62$									H12 (+0,3)				
$D_{IV} = 62$									H12 (+0,3)				

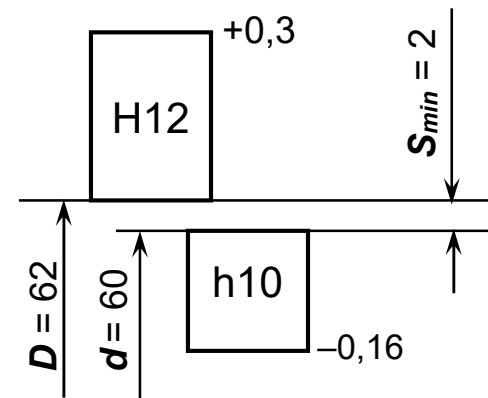


Таблица В.4.1.2

$d$	$\text{Ø}60h10(-0,16)$
$S_{des}$	
$S_{min}$	
$T_{min}$	

Таблица В.4.1.3

Номинальный координатный размер центрирующего элемента (база C), мм		Действительный размер, мм	Действительное отклонение	$\pm(0,7 \cdot T_{отдп})$	Качество центрирующего элемента
$I_x =$	$I_y =$				
100		$I_{x2}$			
		$I_{x3}$			
100		$I_{y2}$			
		$I_{y3}$			

ПРИЛОЖЕНИЕ В.4.1

47

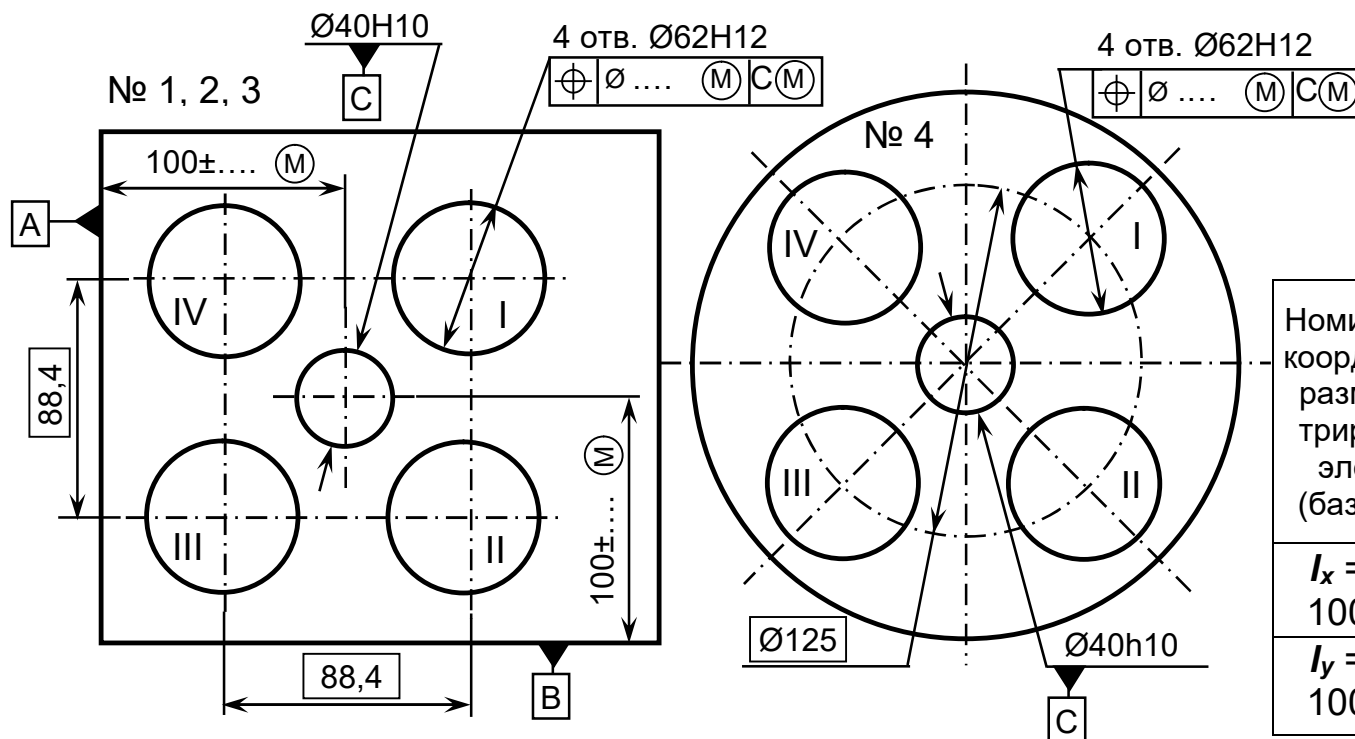


Таблица В.4.1.4

Размер номинального положения, мм	Действительные размеры положения детали №, мм				Действительные отклонения размеров $\Delta_i$ детали №, мм				Дополнительный и зависимый допуски, мм								Предельные отклонения размеров $\pm T/2$ , мм				
									$T_{ad}$				$T_{dep}$								
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
$L_x = 88,4$	$L_{x1}$																	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	$L_{x2}$																	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
$L_y = 88,4$	$L_{y1}$																	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	$L_{y2}$																	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
$D_\delta = 125$	$D_{\delta1}$																	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	$D_{\delta2}$																	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
$R_\delta = 62,5$	$R_{\delta1}$																		$\pm$	$\pm$	$\pm$
	$R_{\delta2}$																		$\pm$	$\pm$	$\pm$
	$R_{\delta3}$																		$\pm$	$\pm$	$\pm$
	$R_{\delta4}$																		$\pm$	$\pm$	$\pm$
Вывод о качестве детали № по точности положения отверстий: («+» – качество; «-» – брак)									$T_{ad.max} =$				$T_{dep} = T_{min} + T_{ad}$				$-T/2 \leq \Delta_i \leq +T/2$				

48

Таблица В.4.1.5

Номер детали	Качество деталей по точности размеров отверстий $\text{Ø}62\text{H}12$				Качество деталей по точности расположения отверстий	Рекомендации к повторной обработке отверстий	Выводы о собираемости узла (а) и качестве детали в целом (б)	
	I	II	III	IV			(а)	(б)
1								
2								
3								
4								
Примечания	Выводы из табл. В.4.1.1				Выводы из табл. В.4.1.4	«+» – качество; «-» – брак; «±» – брак, исправимый повторной обработкой	«+» – собирается; «-» – не собирается; «±» – собирается после обработки	«+» – качество; «-» – брак; «±» – брак, исправимый повторной обработкой

Выполнил студент \_\_\_\_\_

Принял преподаватель \_\_\_\_\_



Диаметры сквозных отверстий  $D$  для крепежных деталей ( $d$ )  
и минимальные (гарантированные) зазоры  $S_{min}$  по ГОСТ 11284-75

Диаметр крепежной детали $d$ , мм	Диаметры сквозных отверстий и минимальные (гарантированные) зазоры, мм					
	1-я серия		2-я серия		3-я серия	
	$D$	$S_{min}$	$D$	$S_{min}$	$D$	$S_{min}$
1,0	1,2	0,2	1,3	0,3	—	—
1,2	1,4	0,2	1,5	0,3	—	—
1,4	1,6	0,2	1,7	0,3	—	—
1,6	1,7	0,1	1,8	0,2	2,0	0,4
2,0	2,2	0,2	2,4	0,4	2,6	0,6
2,5	2,7	0,2	2,9	0,4	3,1	0,6
3,0	3,2	0,2	3,4	0,4	3,6	0,6
4,0	4,3	0,3	4,5	0,5	4,8	0,8
5,0	5,3	0,3	5,5	0,5	5,8	0,8
6,0	6,4	0,4	6,6	0,6	7,0	1,0
7,0	7,4	0,4	7,6	0,6	8,0	1,0
8,0	8,4	0,4	9,0	1,0	10,0	2,0
10,0	10,5	0,5	11,0	1,0	12,0	2,0
12,0	13,0	1,0	14,0	2,0	15,0	3,0
14,0	15,0	1,0	16,0	2,0	17,0	3,0
16,0	17,0	1,0	18,0	2,0	19,0	3,0
18,0	19,0	1,0	20,0	2,0	21,0	3,0
20,0	21,0	1,0	22,0	2,0	24,0	4,0
22,0	23,0	1,0	24,0	2,0	26,0	4,0
24,0	25,0	1,0	26,0	2,0	28,0	4,0
27,0	28,0	1,0	30,0	3,0	32,0	5,0
30,0	31,0	1,0	33,0	3,0	35,0	5,0
33,0	34,0	1,0	36,0	3,0	38,0	5,0
36,0	37,0	1,0	39,0	3,0	42,0	6,0
39,0	40,0	1,0	42,0	3,0	45,0	6,0
42,0	43,0	1,0	45,0	3,0	48,0	6,0
45,0	46,0	1,0	48,0	3,0	52,0	7,0
48,0	50,0	2,0	52,0	4,0	56,0	8,0
52,0	54,0	2,0	56,0	4,0	62,0	10,0
56,0	58,0	2,0	62,0	4,0	66,0	10,0
60,0	62,0	2,0	66,0	4,0	70,0	10,0

## РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ. ПОЛНАЯ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ

### Цель работы:

1. Приобрести навыки в построении и анализе размерных цепей.
2. Изучить метод максимума-минимума для решения уравнений сборочных размерных цепей при условии полной взаимозаменяемости.

### Теоретические сведения

Для правильной работы машин и механизмов необходимо, чтобы составные детали и их поверхности занимали определенное положение относительно друг друга в соответствии с конструктивным назначением.

**Размерная цепь** – это система взаимосвязанных размеров, которые определяют относительное расположение поверхностей одной или нескольких деталей и создают замкнутый контур.

Размеры, включенные в размерную цепь, называют **звеньями**. На схемах их обозначают заглавными буквами с индексами, например  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_\Sigma$  (рис. 5.1).

**Звенья размерной цепи** подразделяют:

- на исходные  $[A_\Sigma]$ ;
- замыкающие  $A_\Sigma$ ;

- составляющие: увеличивающие  $\vec{A}_2$ , уменьшающие  $\overleftarrow{A}_1$ ,  $\overleftarrow{A}_3$ .

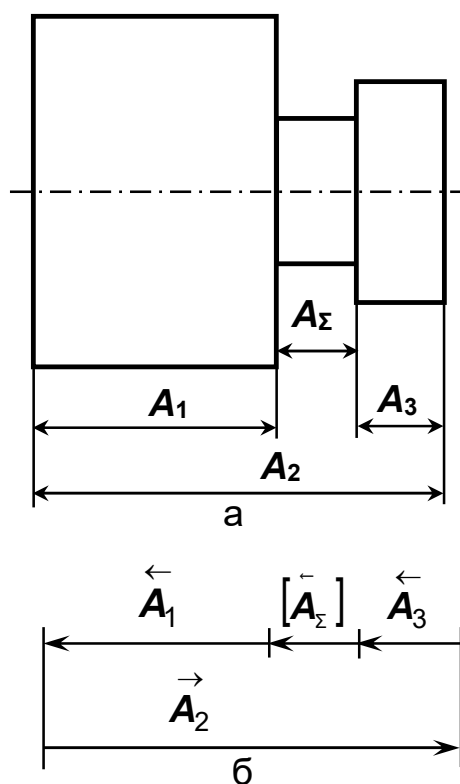


Рис. 5.1. Эскиз детали (а) и схема размерной цепи (б)

**Составляющие звенья** (увеличивающие и уменьшающие) – это звенья размерных цепей, изменение их приводит к изменению замыкающего звена  $A_\Sigma$ , но не может и не должно изменять исходное звено  $[A_\Sigma]$ . **Увеличение увеличивающего звена приводит к увеличению замыкающего звена, а увеличение уменьшающего звена – к уменьшению замыкающего звена.**

Исходное и замыкающее звенья всегда уменьшающие (отрицательные) в уравнениях. При построении схемы размерной цепи звеньям присваивают стрелки по направлению обхода замкнутого контура (см. рис. 5.1,б). Звенья, направленные слева направо, – увеличивающие, а звенья, направленные справа налево, – уменьшающие. Например, на рис. 5.1, б стрелки звеньев образуют замкнутую цепь с направлением

обхода против часовой стрелки. В этой цепи только одно звено  $\vec{A}_2$  – увеличивающее, а все остальные  $\overleftarrow{A}_1$ ,  $[\overleftarrow{A}_\Sigma]$ ,  $\overleftarrow{A}_3$  – уменьшающие.

Увеличивающим звеньям в исходном уравнении присваивают знак «+», а уменьшающим – «-».

**Исходное звено**  $[A_\Sigma]$  – это звено, к которому предъявляют основное требование по точности, определяющее качество изделия. Поэтому точность составляющих звеньев согласовывают с точностью исходного звена при решении *прямой задачи*. Исходное звено задают в виде номинального размера с полем допуска и/или предельными отклонениями. Термин «исходное звено» используют в конструкторских и технологических (проектировочных) расчетах.

При решении *обратной задачи* величины всех составляющих звеньев *известны*, а исходное звено получают последним в цепи как результат выполнения составляющих звеньев. Поэтому его называют **замыкающим звеном**  $A_\Sigma$ . Термин «замыкающее звено» применяют в поверочных расчетах.

Анализ и расчет размерных цепей – обязательный этап разработки и производства машин, обеспечивающий выполнения требований взаимозаменяемости, снижения трудозатрат на производство изделий, повышения качества.

Суть расчета размерных цепей заключается в определении номинальных размеров, допусков и предельных отклонений для всех звеньев цепи при выполнении требований, предъявляемых к конструкции или технологии.

К основным условиям размерных цепей относится **уравнение замкнутости размерной цепи**

$$A_\Sigma = \sum_1^m \vec{A}_j - \sum_1^n \overleftarrow{A}_q, \quad (5.1)$$

где  $\vec{A}_j$  – увеличивающие звенья;  $\overleftarrow{A}_q$  – уменьшающие звенья;  $m$  – количество увеличивающих звеньев;  $n$  – количество уменьшающих звеньев.

Например, уравнение для цепи, изображенной на рис. 5.1, б,

$$0 = \vec{A}_2 - \overleftarrow{A}_1 - \overleftarrow{A}_3 - [\overleftarrow{A}_\Sigma];$$

$$[\overleftarrow{A}_\Sigma] = \vec{A}_2 - (\overleftarrow{A}_1 + \overleftarrow{A}_3)$$

или в виде скалярных величин

$$[A_\Sigma] = A_2 - A_1 - A_3.$$

Второе основное условие размерных цепей – неравенство

$$[T_\Sigma] \geq \sum_{i=1}^{m+n} T_i, \quad (5.2)$$

т. е. **сумма допусков составляющих звеньев не должна превышать допуска исходного звена.**

При решении обратной задачи допуск замыкающего звена равен сумме допусков составляющих звеньев:

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{m+n} T_i. \quad (5.3)$$

При расчетах размерных цепей решают два типа задач.

1. **Прямая задача состоит в определении допусков и предельных отклонений составляющих звеньев.** Номинальные размеры составляющих звеньев известны из прочностных или других расчетов. Основные отклонения составляющих звеньев назначают для основного отверстия –  $H$ , основного вала –  $h$ , для остальных размеров – симметричные отклонения –  $js$  ( $\pm IT_n/2$ ). Для согласования предельных отклонений из всех составляющих звеньев выбирают одно компенсирующее  $A_x$ . Его предельные отклонения в общем случае будут отличаться от предельных отклонений основных деталей.

*Исходными данными* прямой задачи являются параметры исходного звена  $[A_{\Sigma}]$ : номинальный размер; предельные отклонения; квалитет точности; допуск. Прямую задачу решают при выполнении *проектировочных* расчетов.

2. **Обратная задача заключается в определении номинального размера, предельных отклонений и допуска замыкающего звена  $A_{\Sigma}$ .** При этом параметры всех составляющих звеньев известны (исходные данные). Уравнение замкнутости размерной цепи будет таким же, как и для прямой задачи. Обратную задачу решают при выполнении *поверочных* расчетов.

По окончании расчетов сравнивают параметры исходного и замыкающего звеньев. Решение считают правильным, когда выполнены следующие условия:

$$A_{\Sigma min} \geq [A_{\Sigma min}], \quad A_{\Sigma max} \leq [A_{\Sigma max}], \quad (5.4)$$

т. е. предельные размеры замыкающего звена не выходят за пределы исходного звена.

### Порядок расчетов размерных цепей

1. Строят размерную цепь на основании чертежа детали или сборочного чертежа узла.

2. Выявляют исходное звено  $[A_{\Sigma}]$  и определяют его параметры: номинальный размер  $[A_{\Sigma nom}]$ ; предельные отклонения (верхнее  $[\Delta S_{\Sigma}]$ , нижнее  $[\Delta I_{\Sigma}]$ ); допуск  $[T_{\Sigma}]$ ; среднее отклонение  $[\Delta m_{\Sigma}]$ .

3. Находят составляющие звенья  $A_i$  (увеличивающие и уменьшающие).

4. Записывают по схеме уравнение размерной цепи (уравнение замкнутости). Номинальные размеры  $A_{i, nom}$  всех составляющих звеньев известны. Их величины можно проверить по уравнению замкнутости при

подстановке только номинальных значений размеров.

5. Определяют из составляющих звеньев *зависимое звено*  $A_x$  исходя из условия минимальных затрат на производство. Как правило, это деталь небольших размеров и простой формы.

6. Выбирают метод и способ обеспечения заданной точности исходного звена, которые позволяют рассчитать допуски  $T_i$  и определить предельные отклонения  $\Delta S_i$ ,  $\Delta I_i$  составляющих звеньев  $A_i$  (решение прямой задачи). Допуски и отклонения (поля допусков) принимают в соответствии со стандартами и проверяют по условию (5.2).

7. Выполняют поверочный расчет – рассчитывают предельные отклонения замыкающего звена  $\Delta S_\Sigma$  (верхнее) и  $\Delta I_\Sigma$  (нижнее), его предельные размеры  $A_{\Sigma min}$  и  $A_{\Sigma max}$  (решение обратной задачи).

8. Сравнивают предельные размеры замыкающего звена с пределами исходного звена [ $A_{\Sigma min}$ ] и [ $A_{\Sigma max}$ ] по условиям (5.4).

### Способы обеспечения заданной точности

В практике используют два способа обеспечения заданной точности исходного звена: а) равных допусков и б) равных квалитетов точности.

**Способ равных допусков** имеет короткий алгоритм расчетов и более простые расчетные формулы. Его применяют, когда величины составляющих звеньев близки по номинальным значениям. Для звеньев с большой разницей в размерах этот способ дает большую разницу в точности при равных допусках: низкая точность для коротких звеньев и завышенная – для длинных звеньев.

**Способ равных квалитетов точности** учитывает влияние номинального размера на допуск путем определения соответствующего (одного) квалитета точности для всех (почти всех) составляющих звеньев. Способ предполагает более сложный алгоритм расчетов, но позволяет установить примерно равную точность всех составляющих звеньев.

### Расчеты размерных цепей методом максимума-минимума (метод полной взаимозаменяемости)

Допуск для каждого составляющего звена  $A_i$  рассчитывают по выбранному способу.

**Способ равных допусков.** Среднюю величину допуска  $T_{mi}$ , равную для всех составляющих звеньев, рассчитывают по формуле

$$T_{mi} = \frac{[T_\Sigma]}{m+n}, \quad (5.5)$$

где  $[T_\Sigma]$  – допуск исходного звена;  $i$  – номер составляющего звена;  $m$  – количество увеличивающих звеньев;  $n$  – количество уменьшающих звеньев.

По найденному значению допуска  $T_{mi}$  и номинальному значению звена  $A_{i.nom}$  подбирают ближайшее меньшее стандартное значение допуска с

определением качества точности.

Затем выбирают зависимое звено  $A_x$  и назначают основные отклонения размеров на другие составляющие звенья.

Дальнейшие расчеты выполняют по методике способа равных квалитетов, изложенной ниже.

**Способ равных квалитетов точности.** Допуск для каждого составляющего звена вычисляют по формуле

$$T = i a,$$

где  $i$  – единица допуска (зависит от величины номинального размера);  $a$  – число единиц допуска (устанавливают уровнем точности).

В соответствии с этим способом из стандарта выбирают значения единицы допуска  $i_i$  для каждого составляющего звена  $A_i$  по его номинальной величине. Средний уровень точности (кавалитет точности) для всех составляющих звеньев определяется средней расчетной величиной числа

$$a_{m-c} = \frac{[T_{\Sigma}]}{\sum_{i=1}^{m+n} i_i}. \quad (5.6)$$

По величине  $a_{m-c}$  принимают ближайшее стандартное число  $a_m$  и соответствующий **кавалитет точности**, равный для всех составляющих звеньев. Допуск  $T_i$  для каждого составляющего звена  $A_i$  выбирают из стандарта.

Приемлемую величину допусков  $T_i$  проверяют по соотношению

$$T_{\Sigma} \leq [T_{\Sigma}], \quad (5.7)$$

где  $T_{\Sigma}$  – допуск замыкающего звена.

При необходимости выполняют коррекцию, назначая более высокий или низкий номер квалитета на одно-два звена и таким образом увеличивая или уменьшая допуск замыкающего звена  $T_{\Sigma}$ .

Допуск замыкающего звена рассчитывают по формуле (5.3)

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{m+n} T_i.$$

Назначают основные отклонения для составляющих звеньев  $A_{i.nom}$  (за исключением звена  $A_{x.nom}$ ) в зависимости от вида размера: **для отверстий** основное отклонение  $H$ , **для валов** основное отклонение  $h$ , **для других** –  $js$ .

**Поле допуска** получают путем сочетания назначенного основного отклонения и известного номера квалитета.

Предельные отклонения для каждого составляющего звена  $A_{i.nom}$  (за исключением зависимого звена  $A_x$ ) определяют из стандарта по полю допуска и рассчитывают среднее отклонение

$$\Delta m_i = (\Delta S_i + \Delta I_i) / 2, \quad (5.8)$$

где  $\Delta S_i$  – верхнее предельное отклонение размера составляющего звена;  $\Delta I_i$  – нижнее предельное отклонение.

Среднее отклонение  $\Delta m_x$  зависимого звена  $A_x$  определяют так:

$$[\Delta m_x] = \sum_{j=1}^m \Delta \vec{m}_j - \sum_{q=1}^n \Delta \overleftarrow{m}_q, \quad (5.9)$$

где  $[\Delta m_x]$  – среднее отклонение исходного звена  $[A_x]$ ;  $\Delta \vec{m}_j$  и  $\Delta \overleftarrow{m}_q$  – средние отклонения увеличивающих и уменьшающих звеньев.

Среднее отклонение  $\Delta m_x$  может быть в группе  $m$  увеличивающих или в группе  $n$  уменьшающих звеньев. Его величину с учетом знаков отклонений рассчитывают по одной из формул:

$$\Delta m_x = [\Delta m_x] + \sum_{q=1}^n \Delta \overleftarrow{m}_q - \sum_{j=1}^{m-1} \Delta \vec{m}_j;$$

$$\Delta m_x = \sum_{j=1}^m \Delta \vec{m}_j - \sum_{q=1}^{n-1} \Delta \overleftarrow{m}_q - [\Delta m_x].$$

Используя номинальное значение  $A_{xnom}$  и принятый квалитет точности, в стандарте подбирают поле допуска со средним отклонением  $\Delta m_{ST} = (\Delta S_{ST} + \Delta I_{ST}) / 2$ , наиболее близким к расчетному  $\Delta m_x$ .

Таким образом, завершают проектировочный расчет (решение прямой задачи), в результате которого становятся известными поля допусков (предельные отклонения) всех составляющих звеньев.

Правильность решения прямой задачи определяют поверочным расчетом (решением обратной задачи).

Для этого рассчитывают среднее отклонение замыкающего звена  $\Delta m_x$  с использованием принятого стандартного значения  $\Delta m_{ST}$  для зависимого звена. Среднее отклонение замыкающего звена  $\Delta m_x$  должно быть близким по величине среднему отклонению исходного звена  $[\Delta m_x]$ :

$$\Delta m_x = \sum_{j=1}^m \Delta \vec{m}_j - \sum_{q=1}^n \Delta \overleftarrow{m}_q \rightarrow [\Delta m_x]. \quad (5.10)$$

Предельные отклонения и предельные значения замыкающего звена вычисляют по следующим формулам:

$$\Delta S_x = \Delta m_x + 0,5T_x; \quad \Delta I_x = \Delta m_x - 0,5T_x; \quad (5.11)$$

$$A_{xmax} = A_{xnom} + \Delta S_x; \quad A_{xmin} = A_{xnom} + \Delta I_x, \quad (5.12)$$

где  $\Delta S_x$  и  $\Delta I_x$  – верхнее и нижнее предельные отклонения замыкающего звена;  $A_{xnom}$  – номинальный размер замыкающего звена, равный номинальному размеру исходного звена  $[A_{xnom}]$ .

Если полученные величины удовлетворяют условиям (5.4)

$$A_{xmax} \leq [A_{xmax}] \quad \text{и} \quad A_{xmin} \geq [A_{xmin}],$$

то расчет считают законченным с известными параметрами для всех составляющих звеньев.

Если одно из этих условий не удовлетворено, то расчет повторяют с момента определения допуска (назначения качества точности) составляющих звеньев с такой оптимизацией, чтобы выполнялись условия (5.4) и (5.7) при максимально допустимой величине допуска  $T_{\Sigma}$  замыкающего звена.

При расчете размерных цепей методом максимума-минимума учитывают только предельные отклонения составляющих звеньев и исходного звена. Этот метод обеспечивает полную взаимозаменяемость деталей и сборочных узлов. Он экономически эффективен при изготовлении изделий низкой точности или с малым числом звеньев в размерной цепи. В других случаях допуски могут быть очень жесткими (маленькими), а изделия – сложными и дорогими в производстве.

### Порядок выполнения работы

1. Проанализировать сборочный узел и размерную цепь, изображенные на рис. 5.2 (см. Приложение Г.5.1). Исходное уравнение размерной цепи

$$0 = A_3 + A_4 - A_1 - A_2 - [A_{\Sigma}].$$

Обратить внимание на направление стрелок, полученных при обходе размерной цепи по направлению исходного звена (всегда уменьшающего) для выявления увеличивающих и уменьшающих составляющих звеньев.

Уравнение замкнутости записывают относительно исходного (замыкающего) звена, componя группы увеличивающих и уменьшающих составляющих звеньев, разделенных знаком «–»:

$$[A_{\Sigma}] = (A_3 + A_4) - (A_1 + A_2). \quad (5.13)$$

2. Разобрать узел и измерить штангенциркулем звенья размерной цепи  $A_1, A_2, A_3, A_4$ . Собрать узел и измерить размер замыкающего звена  $A_{\Sigma}$ . Записать действительные (измеренные) величины в таблицу отчета (см. Приложение

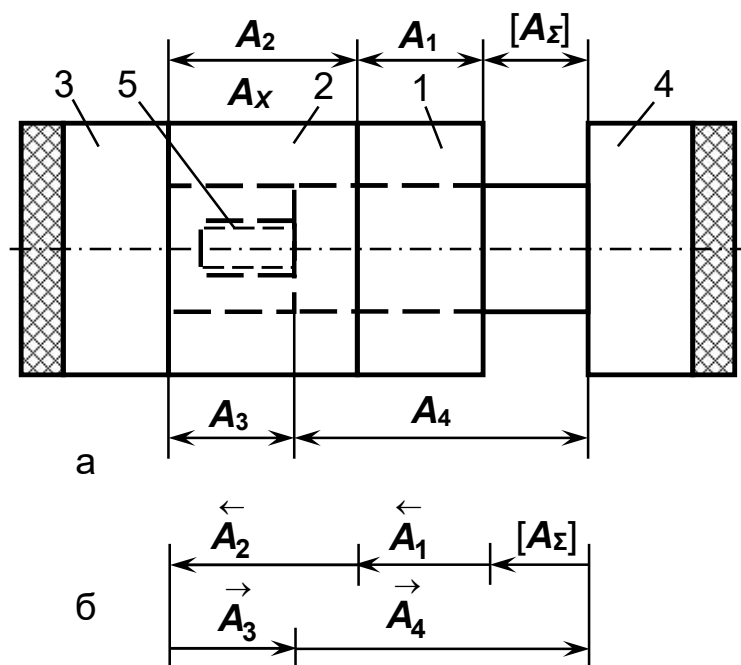


Рис. 5.2. Эскиз сборочного узла (а) и схема размерной цепи (б): 1, 2 – втулки; 3, 4 – ступенчатые валы; 5 – резьбовое соединение



ние Г.5.1) в строку « $A_{ri}$ , мм».

3. Округлить действительные размеры  $A_1, A_2, A_3, A_4$  до величин, кратных 0,5 мм, и записать в таблицу отчета (см. Приложение Г.5.1) в строку «Номинальный размер, мм» в соответствующие колонки.

4. Рассчитать номинальное значение исходного звена  $[A_{\Sigma nom}] = A_{\Sigma nom}$  по уравнению замкнутости цепи (5.13) и записать значение в колонки «Исходное звено  $[A_{\Sigma}]$ » и «Замыкающее звено  $A_{\Sigma}$ » таблицы отчета (см. Приложение Г.5.1).

5. Записать номинальные значения звеньев на эскизе на первой странице отчета (см. Приложение Г.5.1).

6. Определить допуск и предельные отклонения исходного звена  $[A_{\Sigma}]$  по его номинальному размеру и заданному полю допуска **H11** из табл. 5.1 и стандарта. Записать полученные значения на эскизе и в таблицу отчета (см. Приложение Г.5.1).

Таблица 5.1

Стандартные соотношения между основными интервалами размеров, единицами допуска, числом единиц допуска, квалитетами точности и допусками

№ п/п	Основные интервалы размеров, мм, свыше – до включительно	Единица допуска, $i$ , мкм	Квалитеты точности							
			5	6	7	8	9	10	11	12
			Допуск $T$ , мкм							
1	1 – 3	0,55	4	6	10	14	25	40	60	100
2	3 – 6	0,73	5	8	12	18	30	48	75	120
3	6 – 10	0,90	6	9	15	22	36	58	90	150
4	10 – 18	1,08	8	11	18	27	43	70	110	180
5	18 – 30	1,31	9	13	21	33	52	84	130	210
6	30 – 50	1,56	11	16	25	39	62	100	160	250
7	50 – 80	1,86	13	19	30	46	74	120	190	300
8	80 – 120	2,17	15	22	35	54	87	140	220	350
9	120 – 180	2,52	18	25	40	63	100	160	250	400
Число единиц допуска		$a$	7	10	16	25	40	64	100	160
Допуск		$T = a i$	$7i$	$10i$	$16i$	$25i$	$40i$	$64i$	$100i$	$160i$

7. Указать на схеме заданных параметров на первой странице отчета **заданные параметры исходного звена:**

- **отклонения:** предельные верхнее  $[ES_{\Sigma}]$  и нижнее  $[EI_{\Sigma}]$ , выбранные из стандарта; рассчитанное среднее  $[\Delta m_{\Sigma}]$  в микрометрах (мкм) со своими знаками. Среднее отклонение рассчитать по формуле

$$[\Delta m_{\Sigma}] = \frac{|ES_{\Sigma}| + |EI_{\Sigma}|}{2},$$

- **предельные размеры**: максимальный  $[A_{\Sigma max}]$  и минимальный, равный номинальному  $[A_{\Sigma min}] = [A_{\Sigma nom}]$ , допуск  $[T_{\Sigma}]$  в миллиметрах:

$$[A_{\Sigma max}] = [A_{\Sigma nom}] + [ES_{\Sigma}]; \quad [A_{\Sigma min}] = [A_{\Sigma nom}] + [EI_{\Sigma}] = [A_{\Sigma nom}] + 0 = [A_{\Sigma nom}];$$

$$[T_{\Sigma}] = [A_{\Sigma max}] - [A_{\Sigma min}] = [ES_{\Sigma}] - [EI_{\Sigma}].$$

В расчетах нужно учитывать, что

$$1 \text{ мкм} = 0,001 \text{ мм}, \quad 1 \text{ мм} = 1000 \text{ мкм}.$$

8. Рассчитать по **способу равных допусков** средний допуск  $T_{mi}$ , равный для всех составляющих звеньев, по формуле (5.5) (см. Приложение Г.5.1, колонка «Формулы» в бланке отчета) и записать допуски в строку « $[T_{\Sigma}]$ ,  $T_{mi}$ , мкм» в соответствующие колонки таблицы отчета (см. Приложение Г.5.1).

В работе не предусмотрено продолжение вычислений по способу равных допусков. В дальнейшем выполняют подбор стандартных допусков и полей допусков по алгоритму, аналогичному способу равных квалитетов точности.

9. Выбрать по **способу равных квалитетов точности** из табл. 5.1 стандартные значения единицы допуска  $i_i$  по номинальным значениям звеньев  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$  и записать их в строку «Единица допуска  $i_i$ , мкм» таблицы отчета (см. Приложение Г.5.1).

10. Рассчитать сумму единиц допуска  $\Sigma i_i$  и среднее число  $a_{m-c}$  по формуле (5.6) и записать результаты в таблицу отчета (см. Приложение Г.5.1).

11. Подобрать с учетом табл. 5.1 ближайшее к расчетному стандартное число  $a_{m-ST}$  и определить соответствующий ему квалитет точности. Записать результаты в колонку «Формулы» и в строку «Квалитет точности».

Квалитет точности будет одинаковым для всех составляющих звеньев *при первой итерации*. В последующем (второй итерации) квалитет точности одного или двух звеньев может быть уменьшен или увеличен для того, чтобы изменить их допуски  $T_i$  и, соответственно, допуск замыкающего звена  $T_{\Sigma}$ .

12. Выбрать из табл. 5.1 допуски  $T_i$  для каждого составляющего звена по квалитету точности и номинальному размеру. Записать значения в строку «Допуск, мкм» таблицы отчета (см. Приложение Г.5.1).

13. Рассчитать допуск замыкающего звена  $T_{\Sigma}$  по формуле (5.3). Сравнить значение с величиной допуска исходного звена  $[T_{\Sigma}]$ .

Если условие  $T_{\Sigma} \leq [T_{\Sigma}]$  удовлетворено, продолжить выполнение алгоритма со следующего пункта.

Если  $T_{\Sigma} > [T_{\Sigma}]$ , нужно уменьшить номер квалитета одного или двух составляющих звеньев и найти новые значения допусков, чтобы выполнить условие  $T_{\Sigma} \leq [T_{\Sigma}]$ .

Если  $T_{\Sigma} \ll [T_{\Sigma}]$ , нужно увеличить номер квалитета одного или двух составляющих звеньев и найти новые значения допусков, чтобы  $T_{\Sigma} \rightarrow [T_{\Sigma}]$  и выполнялось условие  $T_{\Sigma} \leq [T_{\Sigma}]$ .

14. Назначить основные отклонения для составляющих звеньев  $A_1$ ,  $A_3$ ,  $A_4$ , используя рекомендации: для размеров отверстий  $H$ , для размеров валов  $h$  и для размеров других элементов  $js$ .

Записать назначенные основные отклонения и поля допусков в соответствующие строки таблицы отчета (см. Приложение Г.5.1).

Составляющее звено  $A_2$  выбрано в качестве компенсирующего звена  $A_X$  (см. рис. 5.2), чтобы согласовать расположение полей допусков всех звеньев цепи. Основное отклонение и поле допуска для  $A_2$  пока не известны.

15. Выбрать из стандарта верхние и нижние отклонения для составляющих звеньев  $A_1$ ,  $A_3$ ,  $A_4$  (исключая  $A_X$ ), используя их поля допусков и номинальные размеры. Записать значения в строки « $\Delta S (ES, es)$ , мкм» и « $\Delta I (EI, ei)$ , мкм».

16. Рассчитать средние отклонения  $\Delta m_j$  для звеньев  $A_1$ ,  $A_3$ ,  $A_4$  (исключая  $A_X$ ) по формуле (5.8) и записать их в строку « $\Delta m (EM, em)$ , мкм».

17. Рассчитать среднее отклонение зависимого звена  $A_X$  ( $A_2$ ) по формуле (5.9) ( $A_2$  уменьшающее звено)

$$\Delta m_X = \sum_{j=1}^m \Delta m_j - \sum_{q=1}^{n-1} \Delta m_q - [\Delta m_{\Sigma}].$$

Учитывать знаки отклонений!

Использовать первую страницу отчета для записи вычислений.

18. Выбрать из стандарта поле допуска со средним отклонением, наиболее близким к расчетной величине  $\Delta m_{2ST} \rightarrow \Delta m_X$ . Для нахождения поля допуска необходимо использовать вид размера зависимого звена (вал), величину  $\Delta m_X$ , номер квалитета, номинальное значение  $A_{2nom}$  и формулу (5.8). Записать выбранное поле допуска и его параметры на первой странице отчета.

19. Рассчитать среднее отклонение  $\Delta m_{\Sigma}$  замыкающего звена с помощью стандартного отклонения  $\Delta m_{2ST}$  по формуле (5.10) и записать в отчет (см. Приложение Г.5.1).

20. Рассчитать предельные отклонения замыкающего звена  $\Delta S_{\Sigma}$  и  $\Delta I_{\Sigma}$  по соотношениям (5.11) и предельные размеры  $A_{\Sigma max}$  и  $A_{\Sigma min}$  по условию (5.12), учитывая  $A_{\Sigma nom} = [A_{\Sigma nom}]$ .

Расчеты отклонений  $\Delta S_{\Sigma}$  и  $\Delta I_{\Sigma}$  выполняют в микрометрах, а  $A_{\Sigma max}$  и  $A_{\Sigma min}$  – в миллиметрах. Поэтому значения отклонений нужно преобразовать в миллиметры (1 мкм = 0,001 мм).

21. Построить на первой странице отчета схему поля допуска (рамку) **замыкающего звена**, используя рассчитанные отклонения  $\Delta S_{\Sigma}$  и  $\Delta I_{\Sigma}$ , относительно поля допуска исходного звена (заданных параметров). Указать

параметры замыкающего звена: верхнее  $\Delta S_{\Sigma}$  и нижнее  $\Delta I_{\Sigma}$  предельные отклонения; среднее отклонение  $\Delta m_{\Sigma}$ ; максимальный  $A_{\Sigma max}$  и минимальный  $A_{\Sigma min}$  предельные размеры; допуск  $T_{\Sigma}$ .

22. Сравнить рассчитанные параметры замыкающего звена с заданными параметрами исходного звена. Решение задачи считают правильным, если выполнены следующие условия:

- для верхних отклонений  $\Delta S_{\Sigma} \leq [ES_{\Sigma}]$ ;
- для нижних отклонений  $\Delta I_{\Sigma} \geq [EI_{\Sigma}]$ ;
- максимальных предельных размеров  $A_{\Sigma max} \leq [A_{\Sigma max}]$ ;
- минимальных предельных размеров  $A_{\Sigma min} \geq [A_{\Sigma min}]$ .

**Если условия не соблюдены**, повторить алгоритм расчетов начиная с п. 11 с корректированием качества точности и допуска выбранного составляющего звена.

Если условия выполнены, продолжить оформление отчета.

23. Построить на первой странице отчета схему поля допуска (рамку) **зависимого звена**  $A_2$  и записать параметры на схемах всех составляющих звеньев  $A_1, A_2, A_3, A_4$ : поле допуска в буквенно-цифровом обозначении; номинальный размер; верхнее, среднее и нижнее отклонения.

24. Рассчитать максимальные  $A_{imax}$  и минимальные  $A_{imin}$  предельные размеры всех составляющих звеньев по известным формулам (см. колонку «Формулы» таблицы отчета (см. Приложение Г.5.1)). Записать предельные значения всех звеньев в строки « $A_{imax}$ , мм» и « $A_{imin}$ , мм».

25. Сравнить величины действительных (измеренных) размеров  $A_{ri}$  составляющих звеньев с их расчетными предельными значениями  $A_{imax}$  и  $A_{imin}$ . Для обеспечения качества должны выполняться следующие условия:

$$A_{imin} \leq A_{ri} \quad \text{и} \quad A_{ri} \leq A_{imax}.$$

Сделать вывод о соответствии условиям качества: символ «+» – для качественных размеров и символ “–” для некачественных.

26. Записать в отчет (см. Приложение Г.5.1) конструкторские размеры составляющих звеньев  $A_1, A_2, A_3, A_4$  в комбинированной форме: номинальный размер; поле допуска; предельные отклонения, мм, в круглых скобках.

27. Проверить правильность заполнения отчета, поставить подпись, подготовиться к защите отчета и представить его преподавателю.

ОТЧЕТ  
о лабораторной работе № 5  
Размерные цепи. Полная взаимозаменяемость

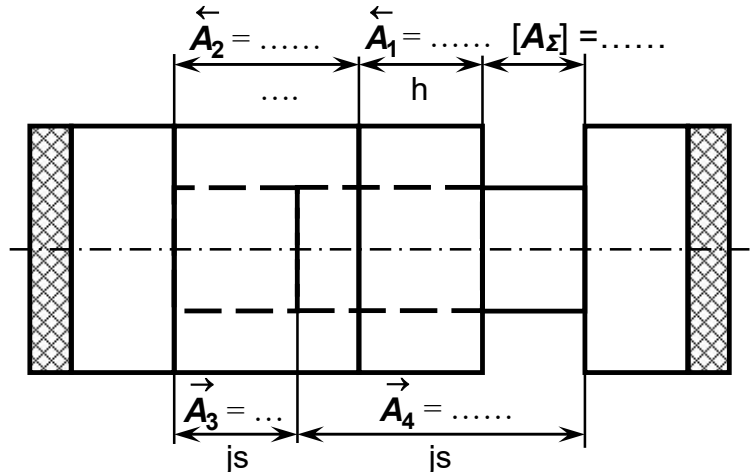
Студент \_\_\_\_\_ Группа № \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Расчет методом  
максимума-минимума

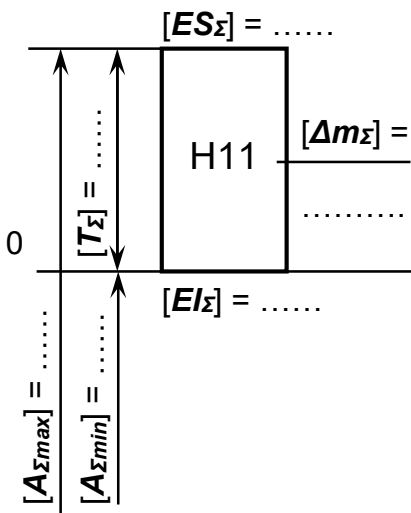
Исходные данные:

$[A_{\Sigma}] = \dots\dots H11(+0, \dots\dots)$

$A_2 = A_X$  – зависимое звено



Заданные параметры



Рассчитанные параметры

$\Delta S_{\Sigma} = \dots\dots$

$\Delta m_{\Sigma} = \dots\dots$

$\Delta I_{\Sigma} = \dots\dots$

$T_{\Sigma} = \dots\dots$

$A_{\Sigma min} = \dots\dots$

$A_{\Sigma max} = \dots\dots$

$[\Delta m_{\Sigma}] = (\Delta m_3 + \Delta m_4) - (\Delta m_1 + \Delta m_2)$

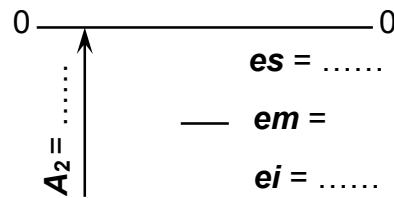
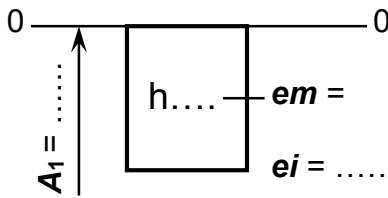
$\dots\dots = (0 + 0) - (\dots\dots + \Delta m_2)$

$\Delta m_2 = \dots\dots$

Ближайшее стандартное поле допуска  $\dots\dots$

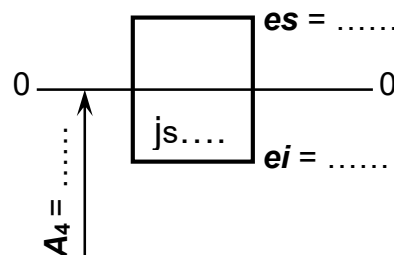
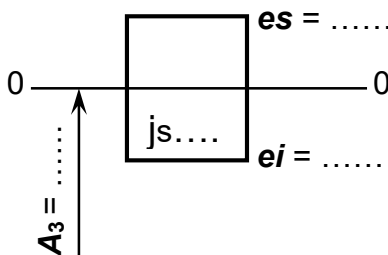
$es = \dots\dots ei = \dots\dots$

$\Delta m_{2ST} = \dots\dots$



Поверочный расчет параметров замыкающего звена  $A_{\Sigma}$ :

$\Delta m_{\Sigma} = (0+0) - (\dots\dots + \dots\dots) = \dots\dots$



$\Delta S_{\Sigma} = \Delta m_{\Sigma} + 0,5T_{\Sigma} = \dots\dots \text{МКМ}$

$\Delta I_{\Sigma} = \Delta m_{\Sigma} - 0,5T_{\Sigma} = \dots\dots \text{МКМ}$

$A_{\Sigma max} = A_{\Sigma nom} + \Delta S_{\Sigma} = \dots\dots \text{ММ}$

$A_{\Sigma min} = A_{\Sigma nom} + \Delta I_{\Sigma} = \dots\dots \text{ММ}$

Результаты расчетов по методу максимума-минимума (полная взаимозаменяемость)

Параметры	Исходное звено $[A_{\Sigma}]$	Составляющие звенья				Замы- кающее звено $A_{\Sigma}$	Формулы
		уменьшающие $n$	увеличивающие $m$				
Номинальный размер, мм		$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$		$[A_{\Sigma}] = (A_3 + A_4) - (A_1 + A_2)$
$[T_{\Sigma}]$ , $T_{mi}$ , мкм		а) способ равных допусков					$T_{mi} = [T_{\Sigma}] / (m + n)$
Единица допуска $i_i$ , мкм	—	б) способ равных квалитетов точности					$i_i = \dots\dots\dots; a_{m-c} = \sum T_{\Sigma} / \sum i_i = \dots\dots\dots$
Квалитет точности	11					—	$a_{m-ST} = \dots; \text{КВАЛИТЕТ ТОЧНОСТИ} \dots\dots$
Допуск, мкм							$T_{\Sigma} = \sum T_i; T_{\Sigma} \leq [T_{\Sigma}]$
Основное отклонение	H	h	js	js	js	—	H – для отверстий; h – для валов; js – для других (исключая $A_2 = Ax$ )
Поле допуска	H11						
$\Delta S (ES, es)$ , мкм	+ .....	0	+ .....	+ .....	+ .....	.....	$\Delta m_2 = (\Delta m_3 + \Delta m_4) - \Delta m_1 - [\Delta m_{\Sigma}]$
$\Delta I (EI, ei)$ , мкм	0	- .....	- .....	- .....	- .....	.....	$\Delta m_2 = (0+0) - (\dots\dots) - (\dots\dots) = \dots\dots$
$\Delta m(EM, em)$ , мкм			0	0	0		$\Delta m_j = (\Delta S_j + \Delta I_j) / 2$
$A_{imax}$ , мм							$A_{imax} = A_{inom} + \Delta S_j$
$A_{imin}$ , мм							$A_{imin} = A_{inom} + \Delta I_j$
$A_{ri}$ , мм	—						Измеренные размеры
Выводы о качестве размеров							“+” – действительный размер звена находится между $A_{imin}$ и $A_{imax}$ ; “–” – некачественный размер

Общий вывод. Полная взаимозаменяемость обеспечивается при таких конструкторских размерах деталей:

$A_1 = \dots\dots\dots ( )$ ;  $A_2 = \dots\dots\dots ( )$ ;  $A_3 = \dots\dots\dots ( )$ ;  $A_4 = \dots\dots\dots ( )$

Выполнил студент \_\_\_\_\_ Принял преподаватель \_\_\_\_\_

## РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ. НЕПОЛНАЯ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ

### Цель работы:

1. Закрепить навыки в построении и анализе размерных цепей.
2. Изучить вероятностный метод для решения уравнений сборочных размерных цепей при условии неполной взаимозаменяемости.

### Расчет размерных цепей вероятностным методом (неполная взаимозаменяемость)

Существуют два вида взаимозаменяемости: полная (функциональная) и неполная (ограниченная).

**Полная взаимозаменяемость** – это взаимозаменяемость, при которой все виды параметров обеспечиваются с точностью, позволяющей выполнять безпригоночную сборку (или замену при ремонте) любых независимо изготовленных деталей для получения окончательных изделий, т. е. детали могут быть произведены независимо в нескольких различных цехах (предприятиях, городах, странах) и собраны в сборочный узел на другом предприятии.

Наряду с полной взаимозаменяемостью допускается **неполная взаимозаменяемость**, включающая в себя следующие виды: групповая взаимозаменяемость (селективная сборка); сборка на основании вероятностных расчетов; сборка с регулировкой размеров или положения отдельных деталей; сборка с подгонкой (доработкой) одной из нескольких деталей в сборочном узле. Неполная взаимозаменяемость доказала свою экономическую эффективность для большого количества звеньев размерной цепи и их высокой точности.

В этой работе рассмотрен способ сборки на основе вероятностных расчетов.

**Вероятностный метод**, используемый для расчетов размерных цепей в условиях неполной взаимозаменяемости, позволяет расширить (увеличить) допуски составляющих звеньев и тем самым снизить затраты на производство отдельных деталей сборочного узла (рис. 6.1). Однако при сборке возможен брак из-за неблагоприятного сочетания размеров деталей. В большинстве случаев вероятностный метод – экономически более выгодный по сравнению с

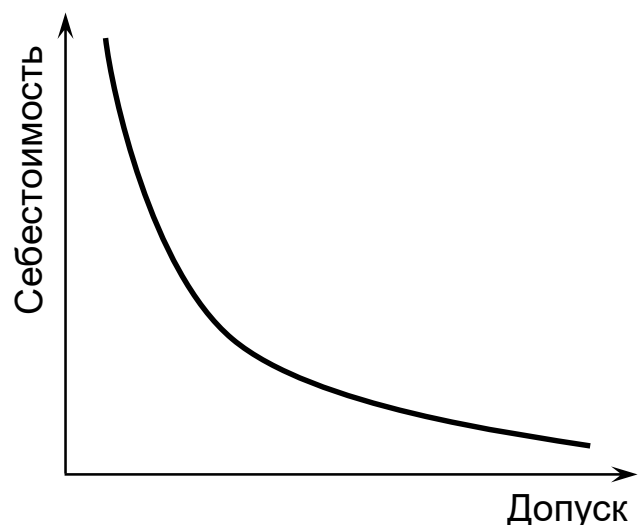


Рис. 6.1. Влияние точности на себестоимость производства

методом максимума-минимума, когда размерная цепь включает в себя большое количество звеньев.

Основы теории размерных цепей и алгоритмы решения их уравнений способами равных допусков и равных квалитетов и методом максимума-минимума изложены в описании лабораторной работы № 5 «Размерные цепи. Полная взаимозаменяемость».

Алгоритм расчета начинают с построения схемы размерной цепи на основе чертежа детали или сборочного чертежа узла.

Затем устанавливают параметры исходного звена  $[A_{\Sigma}]$ : номинальный размер  $[A_{\Sigma \text{НОМ}}]$ ; поле допуска; предельные отклонения  $\Delta S_{\Sigma}$  и  $\Delta I_{\Sigma}$ ; среднее отклонение  $[\Delta m_{\Sigma}]$ ; допуск  $[T_{\Sigma}]$ .

Выявляют составляющие звенья  $A_i$ : – увеличивающие  $A_j$  и уменьшающие  $A_q$ . Номинальные размеры составляющих звеньев  $A_{i\text{-НОМ}}$  известны из конструкторских расчетов.

Записывают уравнение размерной цепи (уравнение замкнутости)

$$[A_{\Sigma}] = \sum_1^m \vec{A}_j - \sum_1^n \vec{A}_q, \quad (6.1)$$

по которому можно проверить номинальные размеры звеньев цепи.

Для решения уравнения (6.1) выбирают способ, обеспечивающий *определение значений составляющих звеньев* и их точности, гарантирующих заданную точность исходного звена. В ходе решения такой **прямой задачи** каждому составляющему звену присваивают определенное поле допуска по стандартам.

Затем при решении **обратной задачи** (поверочном расчете) вычисляют параметры замыкающего звена  $A_{\Sigma}$  и сравнивают их с параметрами исходного звена  $[A_{\Sigma}]$ . Решение (поля допусков составляющих звеньев) считают правильным, если параметры замыкающего звена согласуются с параметрами исходного звена.

Допуск каждого составляющего звена  $T_{mi}$  рассчитывают вероятностным методом в соответствии с выбранным способом.

**Способ равных допусков** применяют, когда номинальные размеры составляющих звеньев примерно равны. *Среднюю величину* допуска  $T_{mi}$  для каждого составляющего звена рассчитывают по формуле

$$T_{mi} = \frac{[T_{\Sigma}]}{\sqrt{m+n}}, \quad (6.2)$$

где  $[T_{\Sigma}]$  – допуск исходного звена;  $i$  – номер составляющего звена;  $m$  – количество увеличивающих звеньев;  $n$  – количество уменьшающих звеньев.

Используя  $T_{mi}$ , каждому звену  $A_i$  присваивают ближайшую меньшую стандартную величину допуска  $T_i$  и определяют квалитет точности. Дальнейшие расчеты выполняют так же, как и способом равных квалитетов точности.



**Способ равных квалитетов точности** сложный, но более гибкий, он подходит для различных номинальных размеров составляющих звеньев, потому что их допуски зависят от размера звена, которые рассчитывают по известной формуле

$$T = a i,$$

где  $a$  – число единиц допуска (функция уровня точности);  $i$  – единица допуска (функция размера).

На основе этого способа из стандарта выбирают единицы допуска  $i_i$  для каждого составляющего звена  $A_i$  по его номинальному размеру  $A_{iном}$ . С помощью вероятностного метода средний уровень точности для всех составляющих звеньев рассчитывают как среднее число единиц допуска

$$a_{m-c} = \frac{[T_{\Sigma}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} i_i^2}}. \quad (6.3)$$

Затем по значению  $a_{m-c}$  выбирают **ближайшее стандартное** значение числа  $a_{m-ST}$  и определяют соответствующий **квалитет точности ITn**. Из стандарта выбирают допуск  $T_i$  для каждого составляющего звена  $A_i$  по его номинальному размеру  $A_{iном}$  и установленному квалитету точности **ITn**.

Затем проверяют правильность нахождения допусков и при необходимости корректируют допуски. Допуск замыкающего звена  $T_{\Sigma}$  должен быть близким  $T_{\Sigma} \rightarrow [T_{\Sigma}]$ , но не превышать допуски исходного звена:

$$T_{\Sigma} \leq [T_{\Sigma}]. \quad (6.4)$$

В вероятностном методе допуск замыкающего звена

$$T_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} T_i^2}. \quad (6.5)$$

Коррекцию выполняют путем назначения меньшего **ITn-1** или большего **ITn+1** номера квалитета точности и, следовательно, меньшего или большего допуска одному-двум составляющим звеньям.

Затем выбирают **зависимое** составляющее звено  $A_x$  для согласования полей допусков всех составляющих звеньев.

Назначают основные отклонения для составляющих звеньев  $A_{i.ном}$  (за исключением звена  $A_{x.ном}$ ) в зависимости от вида размера: **для отверстий** основное отклонение – **H**, **для валов** основное отклонение – **h**, **для других** – **js**.

**Поле допуска** получают сочетанием назначенного основного отклонения и известного номера квалитета.

Предельные отклонения для каждого составляющего звена  $A_{i.ном}$  (за исключением зависимого звена  $A_x$ ) определяют из стандарта по полю допуска и рассчитывают среднее отклонение

$$\Delta m_i = (\Delta S_i + \Delta I_i)/2, \quad (6.6)$$

где  $\Delta S_i$  – верхнее предельное отклонение размера составляющего звена;  $\Delta I_i$  – нижнее предельное отклонение.

Среднее отклонение  $\Delta m_x$  зависимого звена  $A_x$  находят так:

$$[\Delta m_\Sigma] = \sum_{j=1}^m \overset{\rightarrow}{\Delta m_j} - \sum_{q=1}^n \overset{\leftarrow}{\Delta m_q}, \quad (6.7)$$

где  $[\Delta m_\Sigma]$  – среднее отклонение исходного звена  $[A_\Sigma]$ ;  $\overset{\rightarrow}{\Delta m_j}$  и  $\overset{\leftarrow}{\Delta m_q}$  – средние отклонения увеличивающих и уменьшающих звеньев.

Среднее отклонение  $\Delta m_x$  может быть в группе  $m$  увеличивающих звеньев или в группе  $n$  уменьшающих звеньев. Его величину с учетом знаков отклонений вычисляют по одной из формул:

$$\Delta m_x = [\Delta m_\Sigma] + \sum_{q=1}^n \overset{\rightarrow}{\Delta m_q} - \sum_{j=1}^{m-1} \overset{\leftarrow}{\Delta m_j};$$

$$\Delta m_x = \sum_{j=1}^m \overset{\rightarrow}{\Delta m_j} - \sum_{q=1}^{n-1} \overset{\leftarrow}{\Delta m_q} - [\Delta m_\Sigma].$$

Используя номинальное значение  $A_{\Sigma ном}$  и принятый квалитет точности, в стандарте подбирают поле допуска со средним отклонением  $\Delta m_{ST} = (\Delta S_{ST} + \Delta I_{ST}) / 2$ , наиболее близким к расчетному  $\Delta m_x$ .

Таким образом, завершают проектировочный расчет (решение прямой задачи), в результате которого становятся известными поля допусков (предельные отклонения) всех составляющих звеньев.

Правильность решения прямой задачи определяют поверочным расчетом (решением обратной задачи).

Для этого находят среднее отклонение замыкающего звена  $\Delta m_\Sigma$  с помощью принятого стандартного значения  $\Delta m_{ST}$  для зависимого звена. Среднее отклонение замыкающего звена  $\Delta m_\Sigma$  должно быть близким по величине среднему отклонению исходного звена

$$\Delta m_\Sigma = \sum_{j=1}^m \overset{\rightarrow}{\Delta m_j} - \sum_{q=1}^n \overset{\leftarrow}{\Delta m_q} \rightarrow [\Delta m_\Sigma]. \quad (6.8)$$

Предельные отклонения и предельные значения замыкающего звена рассчитывают так:

$$\Delta S_\Sigma = \Delta m_\Sigma + 0,5T_\Sigma; \quad \Delta I_\Sigma = \Delta m_\Sigma - 0,5T_\Sigma; \quad (6.9)$$

$$A_{\Sigma max} = A_{\Sigma ном} + \Delta S_\Sigma; \quad A_{\Sigma min} = A_{\Sigma ном} + \Delta I_\Sigma, \quad (6.10)$$

где  $\Delta S_\Sigma$  и  $\Delta I_\Sigma$  – верхнее и нижнее предельные отклонения замыкающего звена;  $A_{\Sigma ном}$  – номинальный размер замыкающего звена, равный номинальному размеру исходного звена  $[A_{\Sigma ном}]$ .

Если рассчитанные величины удовлетворяют условиям

$$A_{\Sigma max} \leq [A_{\Sigma max}] \quad \text{и} \quad A_{\Sigma min} \geq [A_{\Sigma min}], \quad (6.11)$$

расчет считают законченным с известными параметрами для всех составляющих звеньев.

Если одно из этих условий не выполнено, расчет повторяют с момента определения допуска (назначения качества точности) составляющих звеньев с такой оптимизацией, чтобы выполнялись условия (6.4) и (6.11) при максимально допустимой величине допуска  $T_{\Sigma}$  замыкающего звена.

### Порядок выполнения работы

1. Выполнить анализ сборочного узла, представленного на первой странице бланка отчета (см. Приложение Д.6.1).

2. Разобрать узел и измерить *составляющие звенья* размерной цепи (размеры)  $A_1, A_2, A_3, A_4$ . Собрать узел и измерить действительную величину *замыкающего звена*  $A_{\Sigma}$ . Записать действительные (измеренные) размеры в таблицу отчета (см. Приложение Д.6.1) в строку « $A_{ri}$ , мм» в соответствующие колонки  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_{\Sigma}$  (допускается скопировать из отчета о лабораторной работе № 5).

3. Округлить действительные размеры  $A_{r1}, A_{r2}, A_{r3}, A_{r4}$  с точностью 0,5 мм и записать округленные значения в строку «Номинальный размер, мм» таблицы отчета (см. Приложение Д.6.1) в соответствующие колонки (допускается скопировать из отчета о лабораторной работе № 5).

4. Рассчитать номинальный размер  $[A_{\Sigma nom}]$  исходного звена по уравнению замкнутости цепи (6.1) (см. также колонку «Формулы» в таблице отчета Приложения Д.6.1) и записать полученный результат в строку «Номинальный размер, мм» в колонки «Исходное звено  $[A_{\Sigma}]$ » и «Замыкающее звено  $A_{\Sigma}$ » (допускается скопировать из отчета о лабораторной работе № 5).

5. Записать номинальные размеры звеньев на эскизе сборочного узла на первой странице отчета.

6. Определить допуск исходного звена  $[A_{\Sigma}]$  по его номинальному значению и полю допуска Н11 из табл. 5.1 и рассчитать другие параметры исходного звена (допускается скопировать из отчета о лабораторной работе № 5).

7. На схеме *заданных параметров* на первой странице отчета указать **заданные параметры исходного звена** (допускается скопировать из отчета о лабораторной работе № 5):

- **отклонения**: предельные верхнее  $[ES_{\Sigma}]$  и нижнее  $[EI_{\Sigma}]$ , выбранные из стандарта; рассчитанное среднее  $[\Delta m_{\Sigma}]$  в микрометрах (мкм) со своими знаками. Среднее отклонение рассчитать по формуле

$$[\Delta m_{\Sigma}] = \frac{|ES_{\Sigma}| + |EI_{\Sigma}|}{2},$$

- **предельные размеры**: максимальный  $[A_{\Sigma max}]$  и минимальный, равный номинальному  $[A_{\Sigma min}] = [A_{\Sigma nom}]$ , допуск  $[T_{\Sigma}]$  в миллиметрах:

$$[A_{\Sigma max}] = [A_{\Sigma ном}] + [ES_{\Sigma}]; \quad [A_{\Sigma min}] = [A_{\Sigma ном}] + [EI_{\Sigma}] = [A_{\Sigma ном}] + 0 = [A_{\Sigma ном}];$$

$$[T_{\Sigma}] = [A_{\Sigma max}] - [A_{\Sigma min}] = [ES_{\Sigma}] - [EI_{\Sigma}].$$

В расчетах нужно учитывать, что:

$$1 \text{ мкм} = 0,001 \text{ мм}; \quad 1 \text{ мм} = 1000 \text{ мкм}.$$

8. Рассчитать с помощью **способа равных допусков** средний допуск  $T_{mi}$ , равный для всех составляющих звеньев, по формуле (6.2) (см. Приложение Д.6.1, колонка «Формулы» в бланке отчета) и записать допуски в строку « $[T_{\Sigma}]$ ,  $T_{mi}$ , мкм» в соответствующие колонки таблицы отчета (см. Приложение Д.6.1).

В этой работе не предусмотрено продолжение вычислений с использованием способа равных допусков. В дальнейшем выполняют подбор стандартных допусков и полей допусков по алгоритму, аналогичному способу равных квалитетов точности.

9. Выбрать из табл 5.1 на основе **способа равных квалитетов точности** стандартные значения единицы допуска  $i_i$  по номинальным значениям звеньев  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$  и записать их в строку «Единица допуска  $i_i$ , мкм» (см. Приложение Д.6.1) (допускается скопировать из отчета о лабораторной работе № 5).

10. Рассчитать сумму квадратов единиц допуска  $\sum i_i^2$  и среднее число  $a_{m-c}$  по формуле (6.3) (см. колонку «Формулы») и записать результаты в отчет (см. Приложение Д.6.1).

11. Выбрать из табл. 5.1 ближайшее к расчетному стандартное число  $a_{m-ST}$  и определить соответствующий ему квалитет точности. Записать результаты в колонку «Формулы» и в строку «Квалитет точности» в колонки составляющих звеньев  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$ .

Квалитет точности будет одинаковым для всех составляющих звеньев *при первой итерации*. В последующем (второй итерации) квалитет точности одного или двух звеньев может быть уменьшен или увеличен для того, чтобы изменить их допуски  $T_i$  и, соответственно, допуск замыкающего звена  $T_{\Sigma}$ .

12. Выбрать из табл. 5.1 допуски  $T_i$  для каждого составляющего звена  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$  по квалитету точности и номинальному размеру. Записать значения в строку «Допуск, мкм» (см. Приложение Д.6.1).

13. Рассчитать допуск *замыкающего* звена  $T_{\Sigma}$  по формуле (6.5). Сравнить значение с величиной допуска *исходного* звена  $[T_{\Sigma}]$ .

Если условие  $T_{\Sigma} \leq [T_{\Sigma}]$  соблюдено, продолжить выполнение алгоритма со следующего пункта.

Если  $T_{\Sigma} > [T_{\Sigma}]$ , то нужно уменьшить номер квалитета одного или двух составляющих звеньев и найти новые значения допусков, чтобы выпол-

нить условие  $T_{\Sigma} \leq [T_{\Sigma}]$ .

Если  $T_{\Sigma} \ll [T_{\Sigma}]$ , нужно увеличить номер квалитета одного или двух составляющих звеньев и найти новые значения допусков, чтобы  $T_{\Sigma} \rightarrow [T_{\Sigma}]$  и выполнялось условие  $T_{\Sigma} \leq [T_{\Sigma}]$ .

14. Назначить основные отклонения для составляющих звеньев  $A_1, A_3, A_4$ , используя рекомендации: для размеров отверстий –  $H$ , для размеров валов –  $h$ , для размеров других элементов –  $js$ .

Записать назначенные основные отклонения и поля допусков в соответствующие строки (см. Приложение Д.6.1).

Составляющее звено  $A_2$  выбрано в качестве компенсирующего звена  $A_X$  (см. Приложение Д.6.1), чтобы согласовать расположение полей допусков всех звеньев цепи. Для него основное отклонение и поле допуска пока неизвестны.

15. Выбрать из стандарта верхние и нижние отклонения для составляющих звеньев  $A_1, A_3, A_4$  (исключая  $A_X$ ), используя их поля допусков и номинальные размеры. Записать значения в строки « $\Delta S (ES, es)$ , мкм» и « $\Delta I (EI, ei)$ , мкм».

16. Рассчитать средние отклонения  $\Delta m_i$  для звеньев  $A_1, A_3, A_4$  (исключая  $A_X$ ) по формуле (6.6) и записать их в строку « $\Delta m (EM, em)$ , мкм».

17. Рассчитать среднее отклонение зависимого звена  $A_X (A_2)$  из формулы (6.7) ( $A_2$  уменьшающее звено)

$$\Delta m_X = \sum_{j=1}^m \overset{\rightarrow}{\Delta m_j} - \sum_{q=1}^{n-1} \overset{\leftarrow}{\Delta m_q} - [\Delta m_{\Sigma}].$$

Учитывать знаки отклонений!

Использовать первую страницу отчета для записи вычислений.

18. Выбрать из стандарта поле допуска со средним отклонением, наиболее близким к расчетной величине  $\Delta m_{2ST} \rightarrow \Delta m_X$ . Для нахождения поля допуска необходимы вид размера зависимого звена (вал), величина  $\Delta m_X$ , номер квалитета, номинальное значение  $A_{2НОМ}$  и формула (6.6). Записать выбранное поле допуска и его параметры на первой странице отчета.

19. Рассчитать среднее отклонение  $\Delta m_{\Sigma}$  замыкающего звена с помощью стандартного отклонения  $\Delta m_{2ST}$  по формуле (6.8) на первой странице отчета.

20. Рассчитать предельные отклонения замыкающего звена  $\Delta S_{\Sigma}$  и  $\Delta I_{\Sigma}$  по формулам (6.9) и предельные размеры  $A_{\Sigma max}$  и  $A_{\Sigma min}$  по уравнениям (6.10), учитывая  $A_{\Sigma ном} = [A_{\Sigma ном}]$ .

Расчеты отклонений  $\Delta S_{\Sigma}$  и  $\Delta I_{\Sigma}$  выполняют в микрометрах, а  $A_{\Sigma max}$  и  $A_{\Sigma min}$  – в миллиметрах. Поэтому значения отклонений нужно преобразовать в миллиметры (1 мкм = 0,001 мм).

21. Построить на первой странице отчета схему поля допуска (рамку) **замыкающего звена**, используя рассчитанные отклонения  $\Delta S_{\Sigma}$  и  $\Delta I_{\Sigma}$ , относительно поля допуска исходного звена (заданных параметров). На схеме указать параметры замыкающего звена: верхнее  $\Delta S_{\Sigma}$  и нижнее  $\Delta I_{\Sigma}$

предельные отклонения; среднее отклонение  $\Delta m_{\Sigma}$ ; максимальный  $A_{\Sigma max}$  и минимальный  $A_{\Sigma min}$  предельные размеры; допуск  $T_{\Sigma}$ .

22. Сравнить рассчитанные параметры замыкающего звена с заданными параметрами исходного звена. Решение задачи считают правильным, если выполнены следующие условия:

- для верхних отклонений  $\Delta S_{\Sigma} \leq [ES_{\Sigma}]$ ;
- для нижних отклонений  $\Delta I_{\Sigma} \geq [EI_{\Sigma}]$ ;
- для максимальных предельных размеров  $A_{\Sigma max} \leq [A_{\Sigma max}]$ ;
- для минимальных предельных размеров  $A_{\Sigma min} \geq [A_{\Sigma min}]$ .

**Если условия не соблюдены**, повторить алгоритм расчетов (начиная с п. 11) с корректированием качества точности и допуска выбранного составляющего звена (вторая итерация).

Если условия выполнены, продолжить оформление отчета.

23. Построить на первой странице отчета схему поля допуска (рамку) **зависимого звена  $A_2$**  и записать параметры на схемах всех составляющих звеньев  $A_1, A_2, A_3, A_4$ : поле допуска в буквенно-цифровом обозначении; номинальный размер; верхнее, среднее и нижнее отклонения.

24. Рассчитать максимальные  $A_{imax}$  и минимальные  $A_{imin}$  предельные размеры всех составляющих звеньев по известным формулам (см. колонку «Формулы» в таблице отчета). Записать предельные значения всех звеньев в строки « $A_{imax}$ , мм» и « $A_{imin}$ , мм».

25. Сравнить величины действительных (измеренных) размеров  $A_{ri}$  составляющих звеньев с их расчетными предельными значениями  $A_{imax}$  и  $A_{imin}$ . Для обеспечения качества должны выполняться такие условия:

$$A_{imin} \leq A_{ri} \quad \text{и} \quad A_{ri} \leq A_{imax}.$$

Сделать вывод о соответствии условиям качества: символ «+» – для качественных размеров, символ «-» – для некачественных.

26. Записать на второй странице отчета конструкторские размеры составляющих звеньев  $A_1, A_2, A_3, A_4$  в комбинированной форме: номинальный размер, поле допуска, предельные отклонения, мм, в круглых скобках.

27. Сравнить допуски (качества точности) составляющих звеньев, полученные методами максимума-минимума и вероятностным.

28. Проверить правильность заполнения отчета, поставить подпись, подготовиться к защите отчета и представить его преподавателю.

ОТЧЕТ  
о лабораторной работе № 6  
Размерные цепи. Неполная взаимозаменяемость

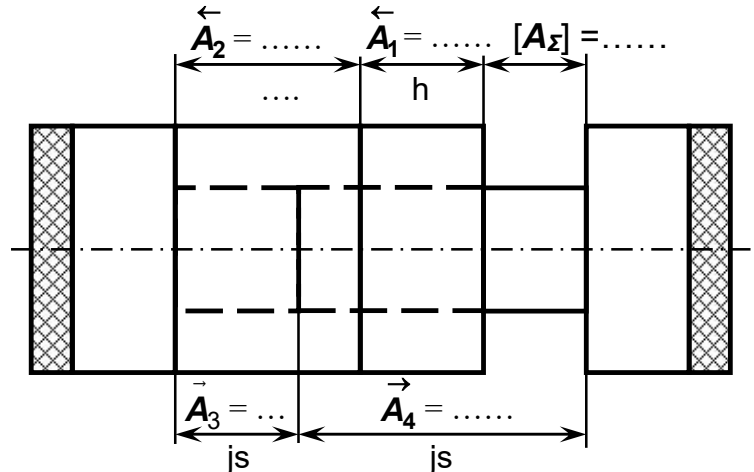
Студент \_\_\_\_\_ Группа № \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Расчет вероятностным методом

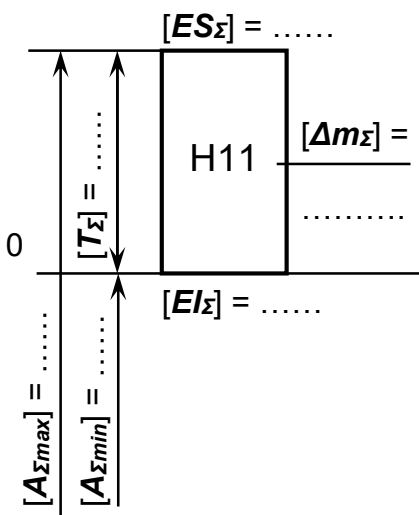
Исходные данные:

$[A_{\Sigma}] = \dots \dots H11(+0, \dots \dots)$

$A_2 = A_X$  – зависимое звено



Заданные параметры:



$\Delta S_{\Sigma} = \dots \dots$

$\Delta m_{\Sigma} = \dots \dots$

$\Delta I_{\Sigma} = \dots \dots$

Рассчитанные параметры:

$[\Delta m_{\Sigma}] = (\Delta m_3 + \Delta m_4) - (\Delta m_1 + \Delta m_2)$

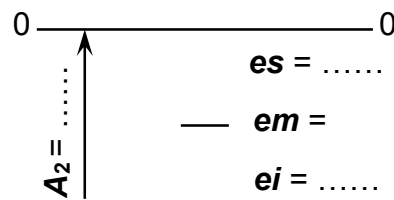
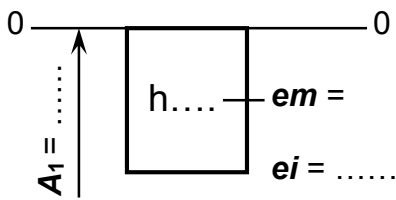
$\dots \dots = (0 + 0) - (\dots \dots + \Delta m_2)$

$\Delta m_2 = \dots \dots$

Ближайшее стандартное поле допуска  $\dots \dots$

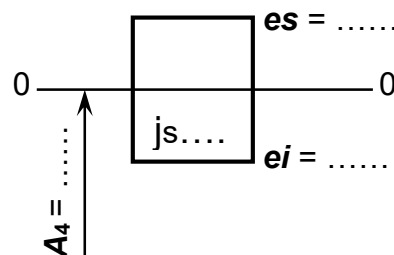
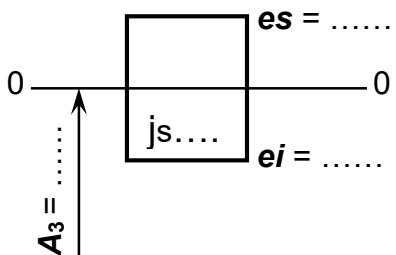
$es = \dots \dots \quad ei = \dots \dots$

$\Delta m_{2ST} = \dots \dots$



Проверочный расчет параметров замыкающего звена  $A_{\Sigma}$ :

$\Delta m_{\Sigma} = (0+0) - (\dots \dots + \dots \dots) = \dots \dots$



$\Delta S_{\Sigma} = \Delta m_{\Sigma} + 0,5T_{\Sigma} = \dots \dots \text{ МКМ}$

$\Delta I_{\Sigma} = \Delta m_{\Sigma} - 0,5T_{\Sigma} = \dots \dots \text{ МКМ}$

$A_{\Sigma max} = A_{\Sigma nom} + \Delta S_{\Sigma} = \dots \dots \text{ ММ}$

$A_{\Sigma min} = A_{\Sigma nom} + \Delta I_{\Sigma} = \dots \dots \text{ ММ}$

Результаты расчетов по вероятностному методу (неполная взаимозаменяемость)

Параметры	Исходное звено $[A_{\Sigma}]$	Составляющие звенья				Замы-кающее звено $A_{\Sigma}$	Формулы
		уменьшающие $n$	увеличивающие $m$				
Номинальный размер, мм		$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$		$[A_{\Sigma}] = (A_3 + A_4) - (A_1 + A_2)$
$[T_{\Sigma}]$ , мкм		а) способ равных допусков					$T_{mi} = [T_{\Sigma}] / \sqrt{m + n}$
Единица допуска $i_i$ , мкм	—	б) способ равных квалитетов точности				$i_i^2 = \dots$ ;	$a_{m-ST} \sqrt{\sum T_{\Sigma}} / \sqrt{\sum i_i^2} = \dots$
Квалитет точности	11					—	$a_{m-ST} = \dots$ ; квалитет точности.....
Допуск, мкм							$T_{\Sigma} = \sqrt{\sum T_i^2}$ ; $T_{\Sigma} \leq [T_{\Sigma}]$
Основное отклонение	H	h	js	js	js	—	H – для отверстий; h – для валов; js – для других (исключая $A_2 = Ax$ )
Поле допуска	H11						
$\Delta S (ES, es)$ , мкм	+ .....	0	+ .....	+ .....	+ .....	.....	$\Delta m_2 = (\Delta m_3 + \Delta m_4) - \Delta m_1 - [\Delta m_{\Sigma}]$
$\Delta I (EI, ei)$ , мкм	0	- .....	- .....	- .....	- .....	.....	$\Delta m_2 = (0+0) - (\dots) - (\dots) = \dots$
$\Delta m(EM, em)$ , мкм			0	0	0		$\Delta m_j = (\Delta S_j + \Delta I_j)/2$
$A_{imax}$ , мм							$A_{imax} = A_{inom} + \Delta S_j$
$A_{imin}$ , мм							$A_{imin} = A_{inom} + \Delta I_j$
$A_{ri}$ , мм	—						Измеренные размеры
Выводы о качестве размеров							“+” – действительный размер звена находится между $A_{imin}$ и $A_{imax}$ ; “–” – некачественный размер

Общий вывод. Полная взаимозаменяемость обеспечивается при таких конструкторских размерах деталей:

$A_1 = \dots$  ( );  $A_2 = \dots$  ( );  $A_3 = \dots$  ( );  $A_4 = \dots$  ( )

Выполнил студент \_\_\_\_\_ Принял преподаватель \_\_\_\_\_



## КАЛИБРЫ-СКОБЫ. НАСТРОЙКА РЕГУЛИРУЕМЫХ СКОБ

### Цель работы:

1. Изучить конструкции калибров-скоб.
2. Изучить методику составления контрольного калибра в виде блока концевых мер длины для проверки и настройки калибра-скобы.

### Конструкции калибров-скоб

Основная характеристика качества изделий – точность размеров, указанная на чертеже детали. Качество изготовленной детали подтверждается проверкой ее размеров. Для этого в условиях серийного производства необходимы *рабочие калибры*: для размеров отверстий – *пробки*, для размеров валов – *скобы* или *кольца*. Контрольные калибры в виде пробок применяют для проверки рабочих калибров-скоб. Контркалибры для рабочих калибров пробок не используют.

*Гладкий рабочий калибр-скоба* – это инструмент для проверки деталей, который копирует геометрические элементы деталей, определяемые заданными линейными размерами.

Нерегулируемой скобой проверяют только один заданный размер элемента детали. На рис. 7.1 показаны несколько вариантов конструкций скоб и контрольных калибров.

Конструкция калибров-скоб с регулируемыми пределами (рис. 7.2) обеспечивает возможность настройки в некотором диапазоне размеров. Настраивают размеры калибра (проходной и непроходной пределы) с помощью двух винтов 4 с мелкой резьбой для обеспечения точности. Фиксированные положения вставок 2 гарантируют затяжкой зажимных винтов 3.

Для проверки каждого размера детали необходимы два рабочих калибра – проходной и непроходной. Оба калибра могут быть объединены в одну конструкцию. В этом случае инструмент имеет проходную и непроходную стороны или соответствующие элементы инструмента.

Проходной калибр-скоба (ПР) имеет размер, соответствующий проходному пределу  $d_{max}$  (максимуму материала) для детали вал, а непроходной – пределу  $d_{min}$  (минимуму материала).

Нерегулируемые калибры-скобы применяют для проверки размеров по 6 качеству точности и более, а регулируемые – для проверки размеров по 9 качеству точности и более.

*Деталь считается качественной*, если она проходит через *проходной калибр* (ПР) под действием силы тяжести или силы, примерно равной ей, и не проходит через *непроходной калибр* (НП) по проверяемой поверхности. В этом случае действительный размер детали находится между заданными предельными размерами.

*Рабочие калибры* (ПР) и (НП) предназначены для проверки готовых деталей (после их изготовления).

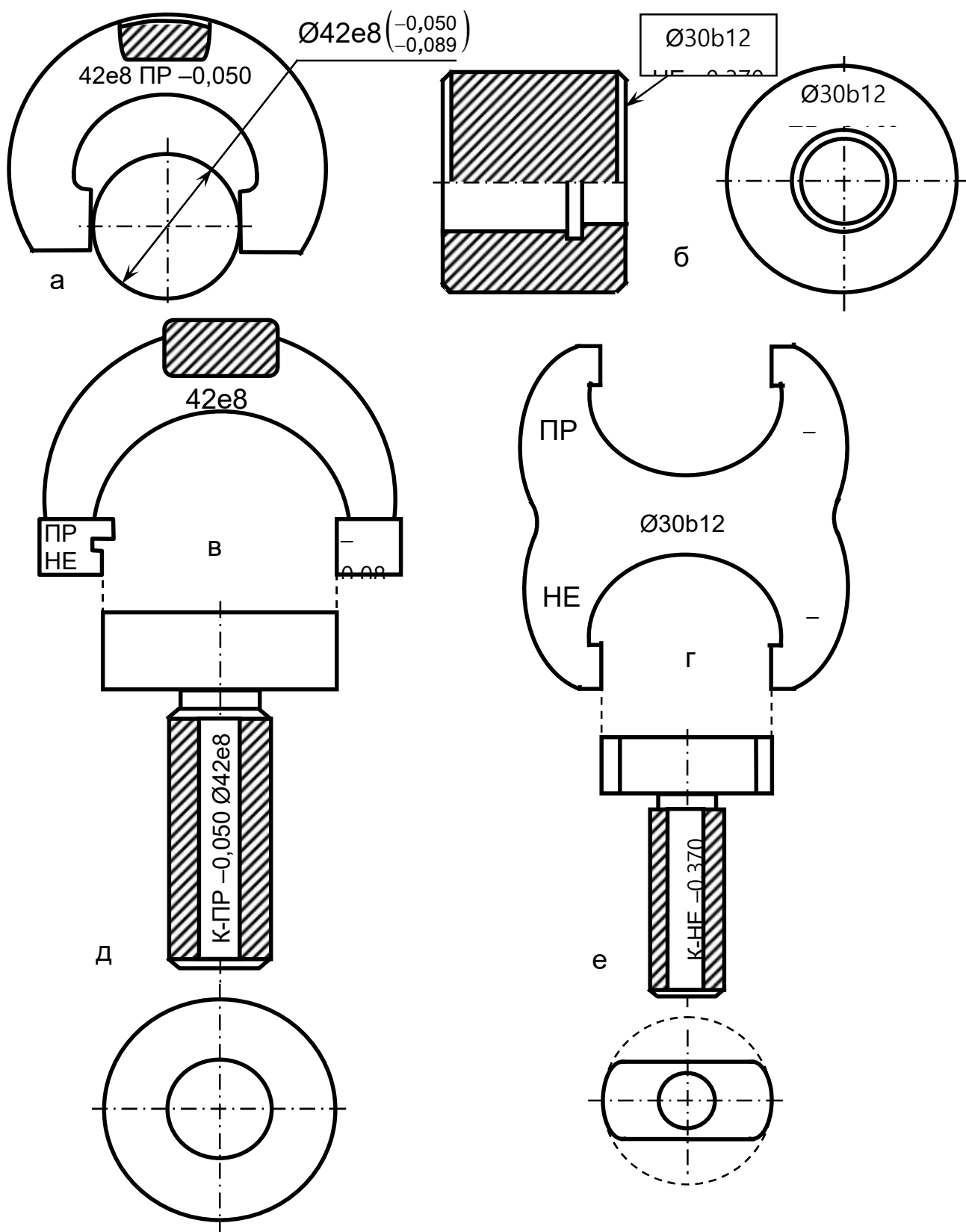


Рис. 7.1. Конструкции рабочих и контрольных калибров: а – однопредельный односторонний рабочий калибр-скоба с проверяемой деталью (вал); б – двухпредельный односторонний рабочий калибр в форме кольца; в – двухпредельный односторонний рабочий калибр-скоба; г – двухпредельный двухсторонний рабочий калибр-скоба; д – контрольный калибр в форме вала (пробки); е – контрольный калибр в форме усеченного вала

Эти калибры используют контролеры и рабочие. Контролеры также применяют частично изношенные проходные калибры и новые непроходные калибры.

Представители заказчика используют инспекционные калибры для проверки деталей. Такие калибры не изготавливают специально для этих целей; обычно это частично изношенные проходные и новые непроходные калибры.

**Контрольные калибры** (контркалибры) К-ПР и К-НЕ необходимы для настройки рабочих регулируемых калибров на определенные размеры и для проверки рабочих нерегулируемых калибров-скоб (ПР) и (НЕ). Контрольные калибры износа (К-И) применяют для проверки рабочих калибров (ПР). Контркалибры имеют форму валов или усеченных валов (см. рис. 7.1, д, е).

В условиях мелкосерийного производства целесообразно заменить контрольные калибры на концевые меры длины или использовать универсальные измерительные инструменты.

### Допуски гладких калибров

Стандарт ГОСТ 24853-81 устанавливает допуски для изготовления и износа калибров, предназначенных для проверки валов и отверстий размерами до 500 мм с допусками по квалитетам точности от 6 до 17.

Основные факторы, влияющие на применение измерительного инструмента, – это погрешности самого прибора, концевых мер длины, базирования, термические и т. д.

Погрешности измерения влияют на результаты измерений, которые оценивают по следующим параметрам:

- М – количество ошибочно принятых деталей с размерами, не соответствующими пределам допуска;
- N – количество ошибочно непринятых деталей с размерами, соответствующими пределам допуска;
- С – вероятность размеров, не соответствующих пределам допуска среди ошибочно принятых деталей.

Параметры М, N, С зависят от точности измерения.

Конструктор должен учитывать влияние погрешностей измерения на

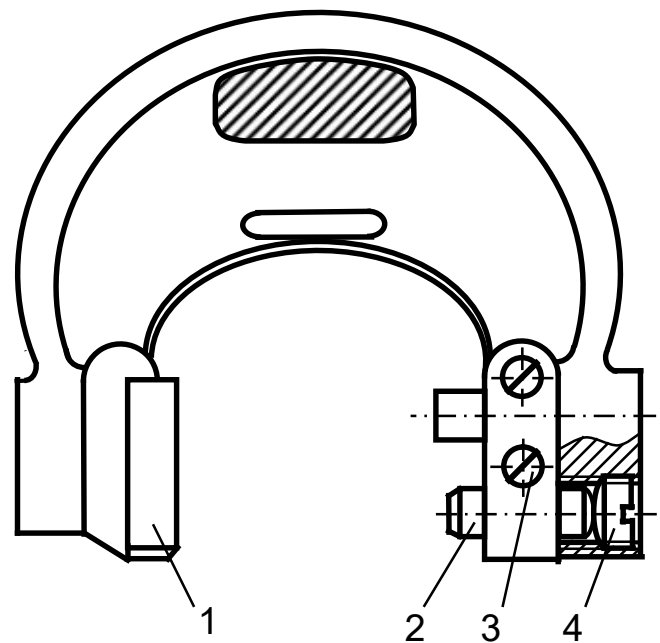


Рис. 7.2. Конструкция регулируемого калибра-скобы: 1 – губка; 2 – вставка; 3 – зажимной винт; 4 – регулировочный винт

показатели сборки и эксплуатации изделия, особенно для критических соединений, при определении допусков размеров для деталей и посадок.

Система допусков гладких калибров устанавливает следующие допуски для изготовления калибров:  $H$  – допуск рабочего калибра-пробки;  $H_1$  – допуск рабочего калибра-скобы;  $H_P$  – допуск контрольного калибра (контркалибра).

На рис. 7.3 показан пример расположения полей допусков для проверки деталей валов  $\varnothing 30h12$ . Допуски рабочих проходных калибров-скоб (ПР) смещены к центру поля допуска детали на величину  $Z_1$ , т. е. **средний размер рабочего проходного калибра (ПР)** рассчитывают по формуле

$$D_{ПРm} = d_{max} - Z_1. \quad (7.1)$$

Наибольший и наименьший предельные размеры ПР скобы:

$$D_{ПРmax} = D_{ПРm} + H_1/2; \quad D_{ПРmin} = D_{ПРm} - H_1/2. \quad (7.2)$$

Допуск износа  $Y_1$  указывают для рабочего проходного калибра-скобы (ПР) в дополнение к производственному допуску  $H_1$ . Для всех размеров (от 1 до 500 мм) деталей с качеством точности до 8-го износ проходного калибра может превышать верхний предел допуска детали на величину  $Y_1$  (см. рис. 7.3):

$$D_{ПР-и} = d_{max} + Y_1. \quad (7.3)$$

Для деталей с качеством точности от 9 до 17 износ рабочего проходного калибра ограничивается проходным пределом ( $Y_1 = 0$ ):

$$D_{ПР-и} = d_{max}.$$

Поля допусков *непроходных калибров (НЕ)* расположены симметрично относительно непроходного предела для деталей размерами до 180 мм:

$$D_{HEm} = d_{min}; \quad (7.4)$$

$$D_{HEmax} = d_{min} + H_1 / 2; \quad D_{HEmin} = d_{min} - H_1 / 2. \quad (7.5)$$

Для размеров более 180 мм поле допуска непроходного калибра (НЕ) также смещается к центру поля допуска детали на величину  $\alpha_1$  (на рис. 7.3 не показана), создавая таким образом так называемую «зону безопасности», которая компенсирует погрешности проверки деталей валов размерами более 180 мм.

Смещение полей допусков калибров к центру поля допуска детали гарантирует получение качественных деталей в пределах указанных полей допусков.

Допуск  $H_P$  для изготовления контрольных калибров (контркалибров) гораздо меньший, чем допуск на рабочие калибры. *Средние размеры контркалибров* совпадают со средними размерами рабочих калибров и границей износа (см. рис. 7.3):

$$d_{к-ПРm} = D_{ПРm}; \quad d_{к-HEm} = D_{HEm}; \quad d_{к-иm} = D_{ПР-и}.$$

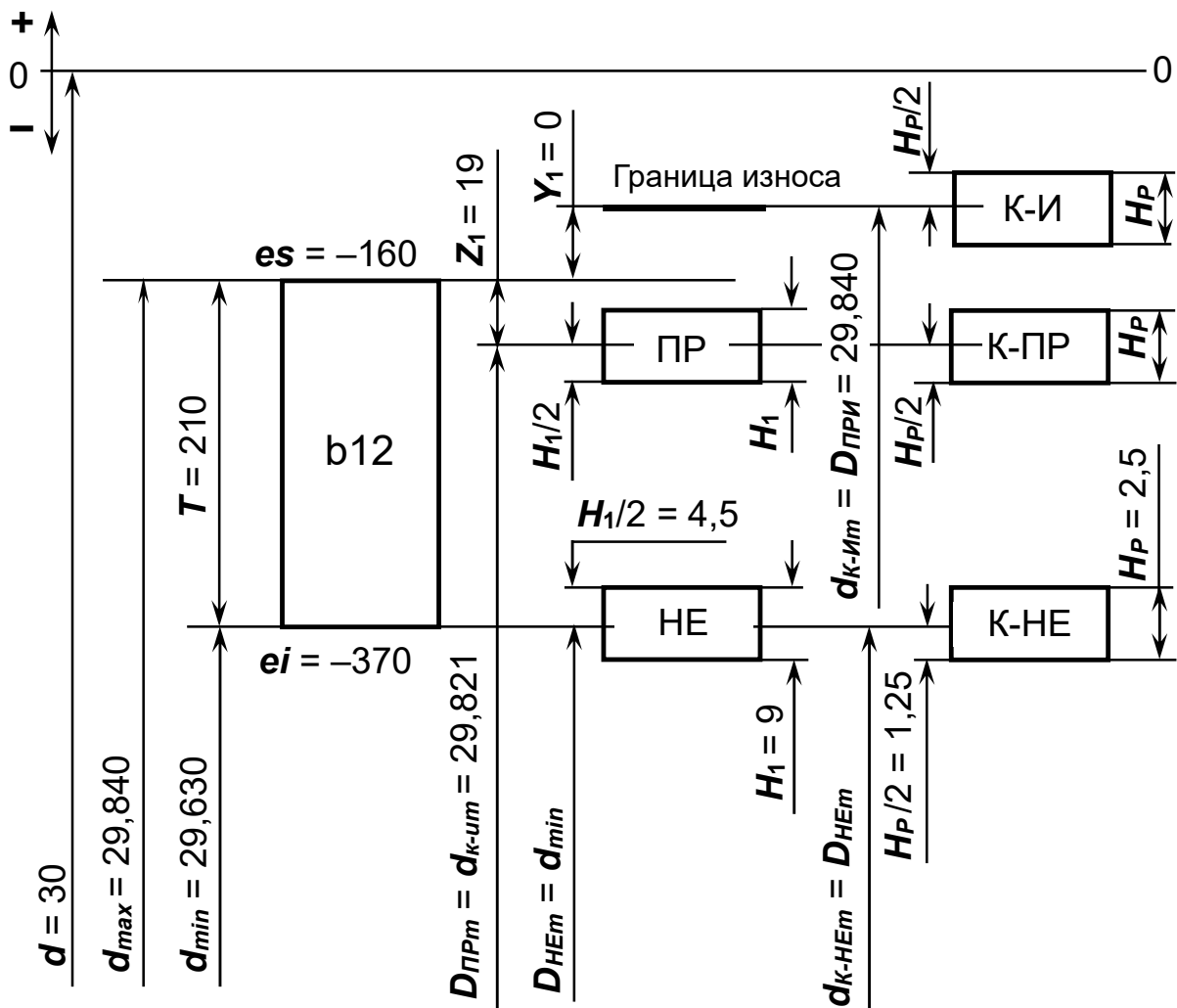


Рис. 7.3. Схема расположения полей допусков рабочих калибров-скоб для проверки деталей валов размером  $\text{Ø}30\text{b}12$  и полей допусков контрольных калибров для проверки рабочих калибров-скоб

Таким образом, *максимальный и минимальный предельные размеры контрольных калибров* рассчитывают по формулам (см. рис. 7.3):

- для контрольного проходного калибра (К-ПР):

$$d_{\text{К-ПРmax}} = d_{\text{К-ПРm}} + H_P/2; \quad d_{\text{К-ПРmin}} = d_{\text{К-ПРm}} - H_P/2; \quad (7.6)$$

- для контрольного непроходного калибра (К-НЕ):

$$d_{\text{К-НЕmax}} = d_{\text{К-НЕm}} + H_P/2; \quad d_{\text{К-НЕmin}} = d_{\text{К-НЕm}} - H_P/2; \quad (7.7)$$

- для контрольного калибра износа (К-И):

$$d_{\text{К-Иmax}} = d_{\text{К-Иm}} + H_P/2; \quad d_{\text{К-Иmin}} = d_{\text{К-Иm}} - H_P/2. \quad (7.8)$$

### Плоскопараллельные концевые меры длины

Концевые меры длины представляют собой параллелепипеды с плоскими взаимно параллельными измерительными поверхностями, выполненные из закаленной стали (рис. 7.4, а).

Концевые меры длины изготавливают и поставляют в наборах, которые дают возможность подбора пакета (блока) различных мер длины для любого потребного размера (см. рис. 7.4, б). В машиностроении наиболее распространены комплект № 1, содержащий 83 концевые меры длины (плитки), и комплект № 3, состоящий из 112 плиток.

*Номинальный размер* концевой меры длины – это средняя длина  $l$  (см. рис. 7.4, а), т. е. длина перпендикулярной линии, проведенной от одной измеряемой поверхности к другой. Значение номинальной длины представлено на одной из измеряемых поверхностей плитки размером 5,5 мм и менее или выгравировано на вспомогательной поверхности плитки, если ее размер более 5,5 мм.

Свойство сцепления (притираемости) концевых мер появляется при скольжении одной плитки вдоль измерительной поверхности другой при некотором нажатии (см. рис. 7.4, в). Сцепление обусловлено молекулярным притяжением поверхностей с малой шероховатостью ( $R_z \leq 0,063$  мкм) и небольшими отклонениями плоскостности при наличии тонкого слоя смазки. Толщина масляной пленки на поверхности плитки составляет 0,02 мкм после промывки в бензине. Абсолютное обезжиривание или покрытие толстым слоем смазки предотвращает сцепление плиток.

Концевые меры изготавливают из сталей или твердых сплавов в четырех основных **классах** точности (0, 1, 2 и 3 по мере убывания точности). Концевые меры дополнительных классов точности 00 и 01 выполняют по соглашению между заказчиком и изготовителем. Класс точности концевых мер определяется значениями отклонений средней длины и плоскостности измерительных поверхностей, а также качеством эффекта сцепления, а класс точности комплекта мер длины – самым грубым классом точности плитки, включенной в комплект.

Помимо классов точности установлены 5 **разрядов** точности (1, 2, 3, 4, 5 в порядке убывания точности) для повышения точности концевых мер при их использовании в качестве контрольных калибров. Разряды точности концевых мер определяются точностью их сертификации, т. е. погрешностями действительных (измеренных) размеров средних длин относительно их номинальных значений. Каждый комплект концевых мер длины имеет аттестат.

*При использовании концевых мер по классу точности* их размеры устанавливаются как номинальные. В этом случае погрешность их изготовления не учитывают. Она равна сумме отклонений средних длин мер, применяемых в блоке, но расчеты значительно упрощаются.

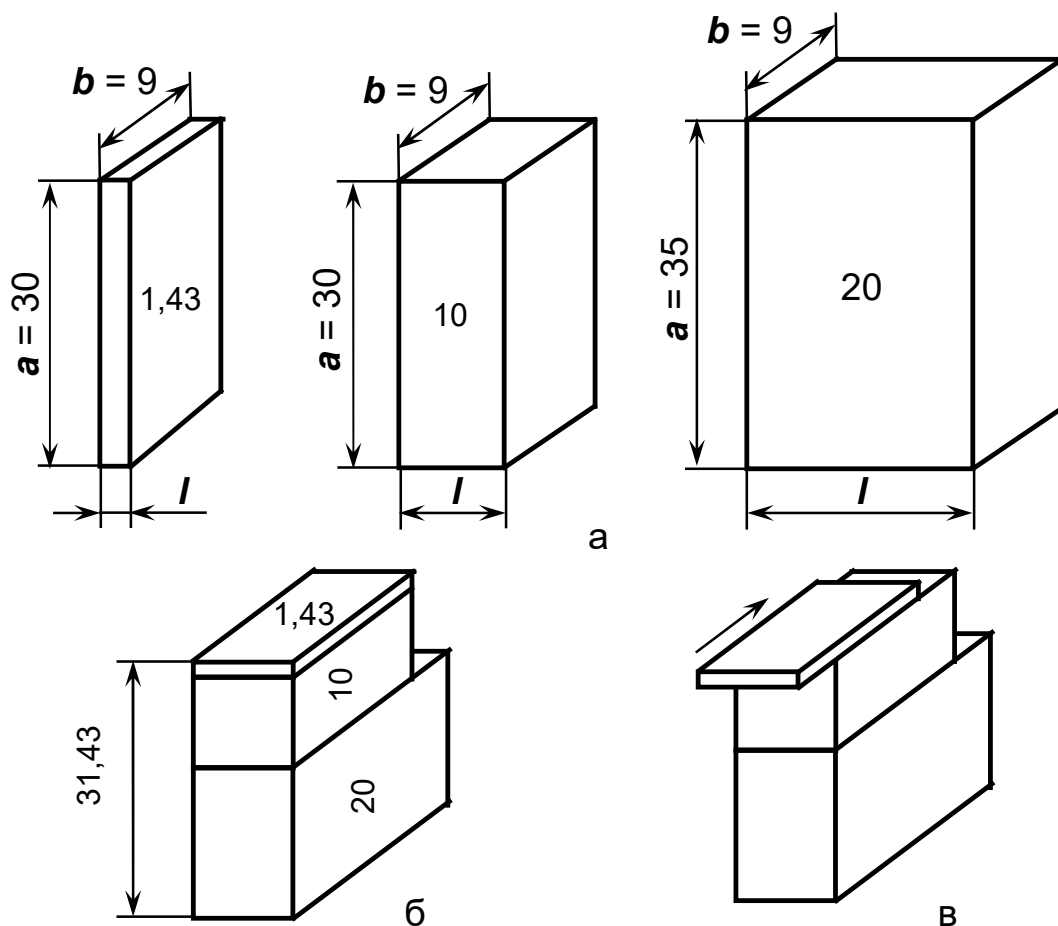


Рис. 7.4. Типовые концевые меры длины: размеры концевых мер (а); блок концевых мер (б); скольжение плитки вдоль поверхности другой плитки (в): **a** – высота концевой меры; **b** – ширина; **l** – средняя длина

При использовании концевых мер по разряду (аттестату) их размеры равны фактическим размерам (согласно приложению к аттестату), что повышает точность измерения. В этом случае погрешность измерения включает в себя не погрешности изготовления плиток, а погрешности их измерения. Это позволяет увеличить точность измерения с помощью блока плиток в 2–4 раза, но делает вычисления более сложными из-за дополнительных расчетов фактических размеров всех плиток в блоке.

Рекомендуется набирать блок плиток для указанного размера из минимального количества плиток, чтобы снизить общую погрешность блока, включая погрешности его плиток.

При наборе блока необходимо учитывать только те размеры плиток, которые находятся в определенном комплекте. Не рекомендуется составлять блок из более чем пяти плиток.

Размер первой плитки должен совпадать с последней или двумя последними значащими цифрами (отличными от нуля) собираемого размера. Затем размер первой плитки вычитают из собираемого размера, а

вторую плитку выбирают относительно последней или двух последних значащих цифр оставшегося размера. Размер второй плитки вычитают из остатка и аналогично подбирают третью и другие плитки.

Лучше выбрать вторую плитку так, чтобы оставшийся размер имел значения десятых долей миллиметра – 5 или 0. Это уменьшит количество плиток в блоке и, следовательно, общую погрешность.

Пример подбора блока концевых мер длины для размера 29,795 мм приведен в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Подбор концевых мер длины для размера 29,795 мм

Расчет размеров концевых мер длины, мм	Номинальные размеры концевых мер в блоке, мм	Отклонение каждой меры от номинального размера, мм	Действительный размер меры по аттестату, мм
— 29,795 — 1,005	1,005	– 0,0002	1,0048
— 28,79 — 1,29	1,29	– 0,0003	1,2897
— 27,5 — 7,5	7,5	+ 0,0001	7,5001
— 20 — 20	20	– 0,0002	19,9998
0 = 0	$\Sigma = 29,795$	$\Sigma = - 0,0006$	$\Sigma = 29,7944$

Затем действительный размер блока сравнивают с предельными размерами контрольного калибра и делают вывод о возможности применения блока для проверки или настройки рабочего калибра, т. е. его использования в качестве контрольного калибра.

### Порядок выполнения работы

1. Прочитать на калибре-скобе исходные данные (номинальный диаметр контролируемой детали-вала и поле допуска) и внести в строку «Исходные данные» отчета (см. Приложение Е.1). Записать также номинальный размер, поле допуска, буквенный символ основного отклонения и номер качества точности размера детали.

2. Определить из стандарта по известному полю допуска верхнее и нижнее предельные отклонения номинального размера детали и записать в строку «Исходные данные» в круглых скобках. Перевести стандартные отклонения из микрометров в миллиметры (1 мкм = 0,001 мм). При записи учитывать знаки отклонений.



3. Записать верхнее **es** и нижнее **ei** предельные отклонения в микрометрах в соответствующие ячейки исходных данных. Рассчитать и записать величину допуска в микрометрах:  $T_d = es - ei$ .

4. Рассчитать и записать наибольший и наименьший предельные размеры детали в миллиметрах:  $d_{max} = d_{nom} + es$ ;  $d_{min} = d_{nom} + ei$ .

5. Записать параметры детали на схеме полей допусков.

6. Найти допуски и параметры, определяющие положения допусков калибров,  $Z_1$ ,  $Y_1$ ,  $H_1$ ,  $H_P$  по стандарту и записать их в микрометрах в колонке справа и на схеме полей допусков.

7. Рассчитать средние размеры рабочих калибров  $D_{ПРm}$ ,  $D_{HEm}$  и износа проходного калибра  $D_{ПР-И}$  в миллиметрах по формулам (7.1), (7.3), (7.4) и записать их на схеме (1 мкм = 0,001 мм):

$$D_{ПРm} = d_{max} - Z_1; \quad D_{HEm} = d_{min}; \quad D_{ПР-И} = d_{max} + Y_1.$$

8. Вычислить наибольший (max) и наименьший (min) предельные размеры рабочих калибров-скоб проходного (ПР) и непроходного (HE) по формулам (7.2) и (7.5) в миллиметрах (1 мкм = 0,001 мм). Записать результаты расчетов в табл. Е.7.1.1 отчета (см. Приложение Е.7.1):

$$D_{ПРmax} = D_{ПРm} + H_1 / 2; \quad D_{ПРmin} = D_{ПРm} - H_1 / 2;$$
$$D_{HEmax} = d_{min} + H_1 / 2; \quad D_{HEmin} = d_{min} - H_1 / 2.$$

Размер изношенного проходного калибра  $D_{ПР-И}$  рассчитан ранее.

9. Записать средние размеры контрольных калибров в табл. Е.7.1.2 отчета:  $d_{К-ПРm} = D_{ПРm}$ ,  $d_{К-HEm} = D_{HEm}$ ,  $d_{К-Иm} = D_{ПР-И}$ . Вычислить наибольший и наименьший предельные размеры контрольных калибров К-ПР, К-HE и К-И по формулам (7.6), (7.7), (7.8) в миллиметрах (1 мкм = 0,001 мм) и записать результаты в табл. Е.7.1.2:

$$d_{К-ПРmax} = d_{К-ПРm} + H_P / 2; \quad d_{К-ПРmin} = d_{К-ПРm} - H_P / 2;$$
$$d_{К-HEmax} = d_{К-HEm} + H_P / 2; \quad d_{К-HEmin} = d_{К-HEm} - H_P / 2;$$
$$d_{К-Иmax} = d_{К-Иm} + H_P / 2; \quad d_{К-Иmin} = d_{К-Иm} - H_P / 2.$$

10. Округлить средние размеры контрольных калибров до значений, кратных 0,005 мм (5 мкм). Комплект концевых мер № 1 (см. Приложение Е.7.2) обеспечивает точность 0,005 мм при составлении блока, поэтому третья десятичная цифра после десятичной запятой должна быть 5 или 0. Округлить размеры в направлении середины поля допуска детали (вала), т. е. с увеличением среднего размера калибра К-HE и уменьшением среднего размера калибров К-ПР и К-И. Округленные средние размеры записать в табл. Е.7.1.2 в качестве принятых размеров для контроля.

Скопировать принятые размеры в табл. Е.7.1.3 отчета (см. Приложение Е.7.1).

11. Рассчитать блоки концевых мер для принятых размеров. Сделать расчеты в табл. Е.7.1.3 отчета, используя в качестве примера расчеты, представленные в табл. 7.1. Номинальные размеры концевых мер, мм, и их отклонения, мкм, выбрать из аттестата (см. Приложение Е.7.2). Скопировать действительные размеры блоков К-ПР, К-НЕ и К-И из табл. Е.7.1.3 в соответствующие столбцы табл. Е.7.1.2 отчета.

12. Сравнить действительные размеры блоков с предельными размерами (наибольшим и наименьшим) контрольных калибров (К-ПР, К-НЕ, К-И) и сделать первый вывод относительно возможности применения блока для проверки и настройки соответствующего рабочего калибра (ПР, НЕ) и проверки границы износа проходного калибра (ПР-И).

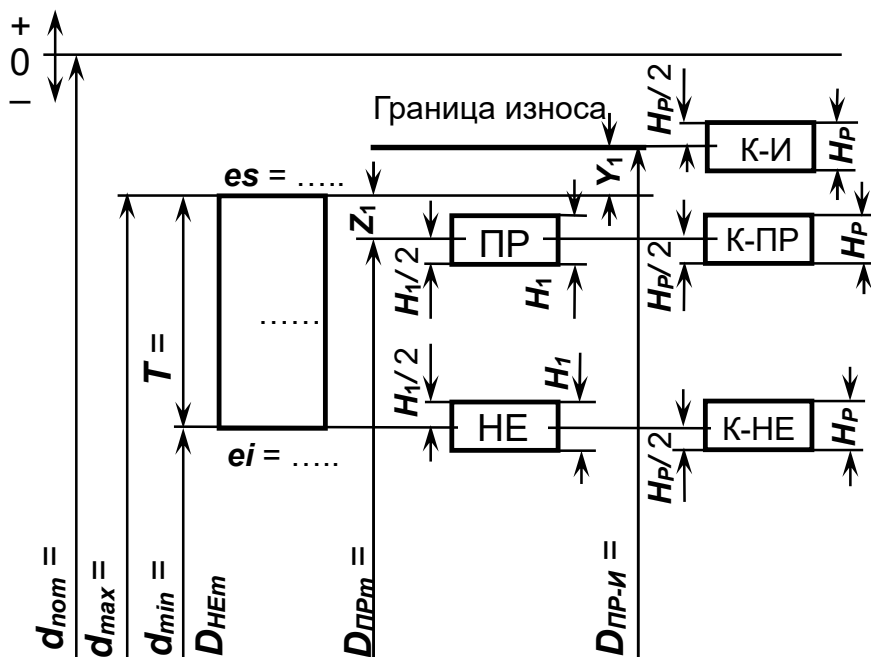
13. Сделать второй вывод о способности блоков (контрольных калибров) проходить через проходной (ПР) и непроходной (НЕ) рабочие калибры. При этом следует учитывать относительные положения полей допусков рабочих и контрольных калибров. Если контрольный калибр (К-И) проходит через проходной рабочий калибр (ПР), то последний нельзя использовать для проверки деталей.

14. Завершить оформление отчета, поставить подпись и представить отчет преподавателю для сдачи лабораторной работы.

**ОТЧЕТ**  
о лабораторной работе № 7  
«Калибры-скобы. Настройка регулируемых скоб»

Студент \_\_\_\_\_ Группа № \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Исходные данные:  $\varnothing$  \_\_\_\_\_ ( ) Номинальный диаметр детали  $d_{ном} =$  \_\_\_\_\_ мм  
 Поле допуска \_\_\_\_\_ Допуск  $T_d =$  \_\_\_\_\_ мкм Предельные размеры:  
 Основное отклонение \_\_\_\_\_ Верхнее отклонение  $es =$  \_\_\_\_\_ мкм  $d_{max} =$  \_\_\_\_\_ мм  
 Квалитет точности \_\_\_\_\_ Нижнее отклонение  $ei =$  \_\_\_\_\_ мкм  $d_{min} =$  \_\_\_\_\_ мм



Допуски и параметры, определяющие положения допусков калибров:

$Z_1 =$  \_\_\_\_\_ мкм  
 $Y_1 =$  \_\_\_\_\_ мкм  
 $H_1 =$  \_\_\_\_\_ мкм  
 $H_P =$  \_\_\_\_\_ мкм

Таблица Е.7.1.1

Калибры-скобы	Предельные размеры, мм	
	max	min
ПР		
ПР-И		—
НЕ		

Таблица Е.7.1.2

Размеры контрольных калибров, мм	Калибры		
	К-ПР	К-НЕ	К-И
Наибольший			
Наименьший			
Средний			
Принятый для контроля (средний округленный до 0,005 мм)			
Действительный размер блока ( $\Sigma$ из табл. Е.7.1.3)			
Выводы:	1. _____ 2. _____	1. _____ 2. _____	1. _____ 2. _____

**ПРИМЕЧАНИЯ:**

1. Действительный размер блока (не) находится в поле допуска контрольного калибра (К-ПР, К-НЕ, К-И). Вывод. Подобранный блок концевых мер может быть (не может быть) использован для проверки и настройки рабочего калибра.
2. Контрольный калибр (К-ПР, К-НЕ, К-И) должен (не должен) проходить через соответствующий качественный рабочий калибр-скобу (ПР, НЕ).

Таблица Е.7.1.3

Подбор блоков концевых мер длины для использования  
в качестве контрольных калибров

Принятый размер контрольного калибра, мм	Расчет размеров концевых мер, мм	Номинальные размеры концевых мер в блоке, мм	Отклонение каждой концевой меры от номинального размера, мм	Действительный размер концевой меры по аттестату, мм
К-ПР .....	—			
	—			
	—			
	—			
	= 0			
			$\Sigma =$	$\Sigma =$
К-НЕ .....	—			
	—			
	—			
	—			
	= 0			
			$\Sigma =$	$\Sigma =$
К-И .....	—			
	—			
	—			
	—			
	= 0			
			$\Sigma =$	$\Sigma =$

**Примечание.** Начните набор блока с наименьшей плитки с наименьшим значением разряда (отличным от нуля) после десятичной точки.

Сделайте выводы в табл. Е.7.1.2.

Выполнил студент \_\_\_\_\_ Принял преподаватель \_\_\_\_\_

Результаты периодических измерений плоскопараллельных  
концевых мер длины

(Аттестат комплекта № 1)

Номи- нальный размер, мм	Действи- тельное отклоне- ние, мкм	Номи- нальный размер, мм	Действи- тельное отклоне- ние, мкм	Номи- нальный размер, мм	Действи- тельное отклоне- ние, мкм
0,5	- 0,3	1,26	- 0,4	1,9	- 0,4
1,005	- 0,2	1,27	- 0,1	2	- 0,3
1	+ 0,1	1,28	+ 0,2	2,5	- 0,1
1,01	- 0,4	1,29	- 0,3	3	- 0,2
1,02	- 0,2	1,3	- 0,5	3,5	+ 0,1
1,03	- 0,1	1,31	- 0,1	4	- 0,3
1,04	- 0,3	1,32	- 0,2	4,5	- 0,2
1,05	+ 0,2	1,33	+ 0,1	5	- 0,2
1,06	- 0,1	1,34	- 0,3	5,5	- 0,1
1,07	- 0,4	1,35	- 0,2	6	- 0,4
1,08	+ 0,1	1,36	+ 0,3	6,5	- 0,1
1,09	- 0,3	1,37	- 0,4	7	- 0,2
1,1	- 0,2	1,38	- 0,3	7,5	+ 0,1
1,11	+ 0,1	1,39	- 0,1	8	- 0,3
1,12	- 0,3	1,4	- 0,1	8,5	- 0,2
1,13	- 0,2	1,41	- 0,2	9	- 0,4
1,14	- 0,4	1,42	- 0,1	9,5	- 0,1
1,15	- 0,2	1,43	- 0,3	10	- 0,3
1,16	+ 0,3	1,44	+ 0,1	20	- 0,2
1,17	- 0,4	1,45	- 0,4	30	- 0,2
1,18	- 0,1	1,46	- 0,2	40	- 0,1
1,19	- 0,3	1,47	- 0,3	50	- 0,3
1,2	- 0,2	1,48	+ 0,2	60	+ 0,1
1,21	- 0,1	1,49	- 0,1	70	- 0,2
1,22	+ 0,3	1,5	- 0,3	80	- 0,3
1,23	- 0,2	1,6	+ 0,1	90	- 0,1
1,24	+ 0,1	1,7	- 0,2	100	- 0,2
1,25	- 0,3	1,8	- 0,3		

## КОНТРОЛЬ КАЛИБРОВ-ПРОБОК

### Цель работы:

1. Изучить конструкцию и принцип работы вертикального оптиметра ОВО-1.
2. Приобрести практические навыки работы на оптиметре.
3. Проверить рабочие калибры-пробки ПР и НЕ, измерив на вертикальном оптиметре.

### Конструкция вертикального оптиметра ОВО-1

Вертикальный оптиметр относится к группе оптико-механических измерительных приборов, предназначенных для линейных измерений внешних размеров с помощью метода сравнения, основанного на сравнении измеренного размера с мерой, необходимой для воспроизведения измеренного размера. Повышенная точность измерения обеспечивается вследствие комбинации механического привода и оптического автоколлимационного устройства.

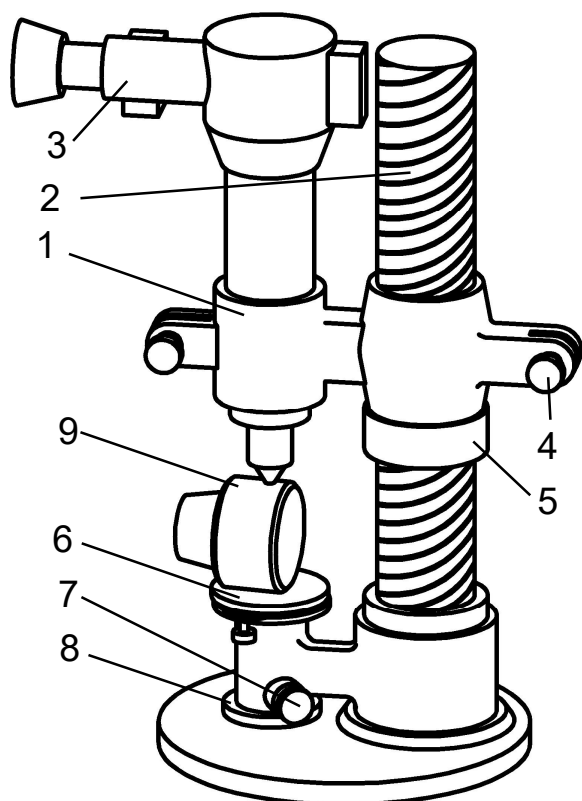


Рис. 8.1. Общий вид оптиметра ОВО-1: 1 – кронштейн; 2 – стойка; 3 – трубка оптиметра; 4 – винт; 5 – резьбовое кольцо; 6 – предметный столик; 7 – винт; 8 – гайка; 9 – измеряемый образец

Трубка оптиметра 3 (рис. 8.1) крепится к вертикальной резьбовой стойке 2 с кронштейном 1, который перемещается вдоль стойки путем поворота опорного резьбового кольца 5 и фиксируется в необходимом положении с помощью винта 4. Предметный столик 6 расположен на опорной стойке. Он перемещается по вертикали посредством вращения гайки 8 и фиксируется в необходимом положении винтом 7 относительно высоты образца 9.

Автоколлимационная трубка обладает свойством объектива (множества линз) превращать пучок расходящихся лучей, исходящих из точечного источника света, в пучок параллельных лучей, который отражается от плоского зеркала в той же фокальной плоскости объектива.

В конструкции трубки, показанной на рис. 8.2, лучи, исходящие от внешнего источника света, направляются призмой 2 на стеклянную пластину 3 со шкалой и знаком указателя. Шкала

расположена в общей фокальной плоскости объектива 5 и окуляра (монокля) 1 и смещена немного от главной оптической оси.

Пройдя шкалу, луч попадает на призму 4 и, повернув, проходит через объектив 5. Выйдя из объектива параллельно оптической оси, он отражается от зеркала 6 и возвращается в фокальную плоскость объектива со смещением в горизонтальном направлении относительно главной оптической оси в сторону, противоположную смещению шкалы. Горизонтальное смещение используют для того, чтобы наблюдать изображение шкалы отдельно от самой шкалы. При этом сама шкала со стороны окуляра прикрыта шторкой и наблюдатель видит в окуляр только изображение шкалы и указатель.

В оптиметре используют принцип оптического рычага (рис. 8.3). Малым плечом рычага является расстояние  $a$  от оси опоры качающегося зеркала 6 до оси измерительного стержня 7 (см. рис. 8.2), большим – фокусное расстояние объектива  $F$ .

Вертикальное перемещение измерительного стержня 7 на величину  $s$  вызывает поворот зеркала 6 на некоторый угол  $\alpha$ . Падающие лучи, параллельные главной оптической оси, отражаются от зеркала под углом  $2\alpha$  (см. рис. 8.3).

Из рис. 8.3 очевидны следующие формулы:

- перемещение измерительного стержня

$$s = a \operatorname{tg} \alpha;$$

- смещение автоколлимационного изображения шкалы

$$t = F \operatorname{tg}(2\alpha);$$

- передаточное отношение автоколлимационной трубки

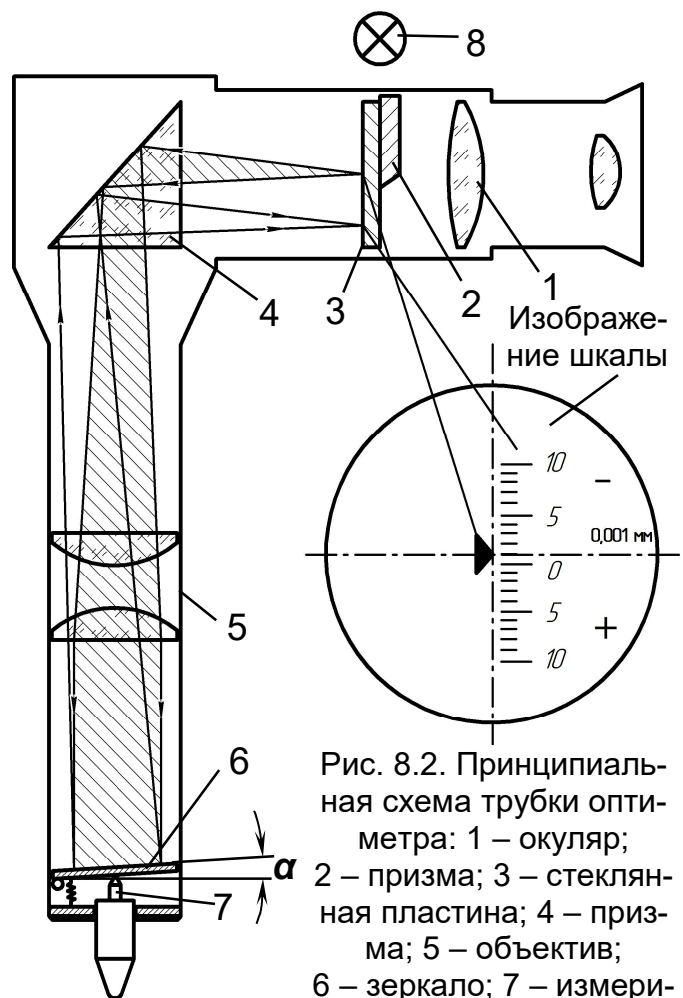


Рис. 8.2. Принципиальная схема трубки оптиметра: 1 – окуляр; 2 – призма; 3 – стеклянная пластина; 4 – призма; 5 – объектив; 6 – зеркало; 7 – измерительный стержень; 8 – источник света

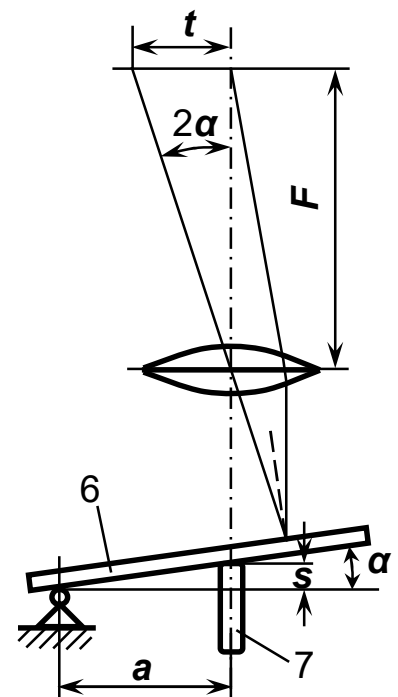


Рис. 8.3. Принципиальная схема оптического рычага оптиметра

$$K_A = \frac{t}{s} = \frac{F \operatorname{tg}(2\alpha)}{a \operatorname{tg}\alpha} \approx \frac{F 2\alpha}{a \alpha} = \frac{2F}{a}.$$

Принимая во внимание фокусное расстояние  $F = 200$  мм и  $a = 5$  мм, коэффициент передачи  $K_A = 80$ .

Увеличение окуляра составляет  $K_O = 12$  X. Следовательно, общее передаточное отношение оптиметра

$$K = K_A K_O = 960.$$

Для обеспечения цены деления шкалы  $j = 1$  мкм интервал деления шкалы  $C = 0,08$  мкм. С учетом увеличения окуляра видимый интервал  $C_{\text{вид}} = 0,08 \cdot 12 = 0,96$  мкм, что вполне приемлемо для точности измерений. При наличии 200 делений на шкале с ценой деления 1 мкм диапазон показаний составит от  $-0,1$  до  $+0,1$  мм, а общий диапазон измерений, определяемый высотой подъема трубки над предметным столом, находится в пределах от 0 до 180 мм. Измерительная сила – 2 Н (ньютон), предельные погрешности измерений – от 0,07 до 0,3 мкм.

### Допуски гладких калибров-пробок

Важная характеристика качества деталей машин – точность размеров, указанная на чертеже детали. Качество изготовленной детали подтверждается проверкой ее размеров. Для этого в условиях серийного производства используют следующие калибры: для размеров элементов детали вида отверстие – *пробки*, для размеров элементов вида вала – *скобы* или *кольца*.

**Гладкий калибр-пробка** – это контрольный инструмент, который копирует геометрические параметры детали, определяемые указанными линейными размерами.

Нерегулируемый калибр проверяет только один заданный размер элемента детали. На рис. 8.4 показаны варианты конструкций калибров-скоб. Для проверки каждого размера необходимо два калибра – проходной и непроходной. Они могут объединяться в одной конструкции. В этом случае инструмент имеет проходную и непроходную стороны или соответствующие элементы инструмента.

Проходной калибр-пробка (ПР) имеет размер, соответствующий проходному пределу  $d_{\min}$  отверстия (максимум материала). Непроходной калибр-пробка (НЕ) имеет размер, соответствующий непроходному пределу  $d_{\max}$  (минимум материала).

Деталь считается годной, если она *проходит* через проходной калибр (ПР) под действием силы тяжести или силы, приблизительно ей равной, и *не проходит* через непроходной калибр (НЕ) по контролируемой поверхности. В этом случае действительный размер детали находится между заданными предельными размерами детали.

**Рабочие калибры** (ПР и НЕ) предназначены для проверки готовых



деталей (после их изготовления). Эти калибры используют рабочие и контролеры. Последние применяют частично изношенные калибры ПР (ранее использовавшиеся рабочими) и новые калибры НЕ.

Представители заказчика используют приемные калибры для проверки деталей. Специально эти калибры не изготавливают, обычно это частично изношенные (ПР) и новые калибры (НЕ).

В стандарте ГОСТ 24853-81 указаны допуски на изготовление и износ калибров, предназначенных для проверки валов и отверстий с размерами до 500 мм и допусками с 6-го по 17-й квалитет.

Основные факторы, влияющие на применимость измерительного инструмента: погрешности самого инструмента; концевых мер длины; базирования; термические и т. д.

При определении допусков на размеры для деталей и приспособлений конструктор должен учитывать влияние погрешностей измерений на собираемость и показатели работы изделия, особенно для ответственных соединений.

Система допусков для гладких калибров устанавливает следующие допуски на изготовление:  $H$  – допуск рабочего калибра-пробки;  $H_1$  – допуск рабочего калибра-скобы;  $H_P$  – допуск контрольного калибра (контркалибра).

На рис. 8.5 показан пример расположения полей допусков рабочих калибров для проверки отверстий  $\varnothing 30B12$ . Допуски рабочих проходных калибров (ПР) смещены внутрь поля допуска детали на величину  $Z$ , т. е. **средний размер** рабочего проходного калибра рассчитывают так:

$$d_{ПРm} = D_{min} + Z. \quad (8.1)$$

Наибольший и наименьший предельные размеры *новой* проходной пробки:

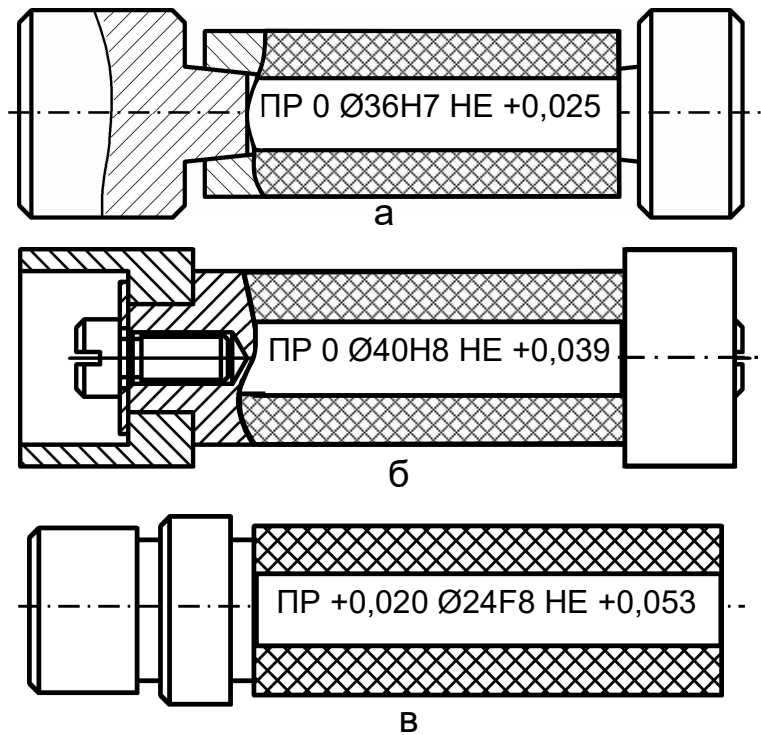


Рис. 8.4. Конструкции рабочих калибров-пробок:  
а – двухсторонний двухпредельный рабочий калибр-пробка с конусообразными сборочными элементами;  
б – двухсторонний двухпредельный рабочий калибр-пробка с винтовыми сборочными элементами;  
в – цельный двухпредельный односторонний рабочий калибр-пробка

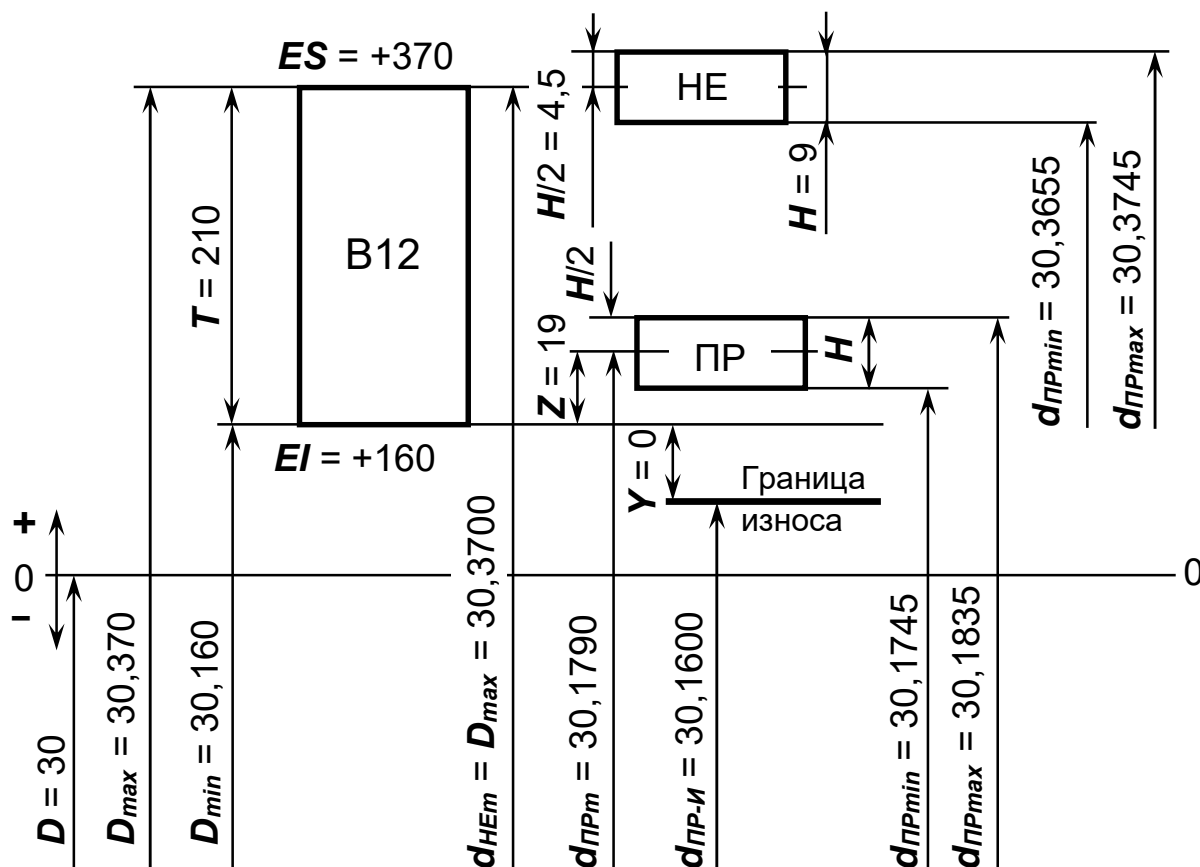


Рис. 8.5. Схема расположения полей допусков рабочих калибров-пробок для проверки деталей-отверстий размером Ø30B12

$$d_{PRmax} = d_{PRm} + H/2; \quad d_{PRmin} = d_{PRm} - H/2. \quad (8.2)$$

Допуск на износ  $Y$  установлен для рабочих проходных калибров-пробок в дополнение к допуску на изготовление  $H$ . Для всех размеров деталей (от 1 до 500 мм) с качеством до 8-го износ калибра ПР может превышать нижний предел допуска детали на значение  $Y$  (см. рис. 8.5):

$$d_{PR-и} = D_{min} - Y. \quad (8.3)$$

Для деталей с качествами от 9-го до 17-го износ рабочих проходных калибров-пробок (ПР) ограничен проходным пределом ( $Y = 0$ ):

$$d_{PR-и} = D_{min}.$$

Поля допусков непроходных калибров (HE) располагаются симметрично относительно непроходного предела для размеров до 180 мм:

$$d_{HEm} = D_{max}; \quad (8.4)$$

$$d_{HEmax} = d_{HEm} + H/2; \quad d_{HEmin} = d_{HEm} - H/2. \quad (8.5)$$

Для размеров более 180 мм поле допуска непроходного калибра (HE) также смещается внутрь поля допуска детали на значение  $\alpha$  (на рис. 8.5 не показано), создавая так называемую "зону безопасности", которая компенсирует ошибки проверки отверстий размерами более 180 мм.

Смещение полей допусков калибров внутрь поля допуска детали гарантирует получение годных деталей в пределах заданных полей допусков.

### Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию и принцип работы вертикального оптиметра ОВО-1.

2. Изучить конструкцию двухстороннего двухпредельного калибра-пробки (см. рис. 8.4).

3. Расшифровать обозначение калибра-пробки. Определить и записать исходные данные проверяемого отверстия в бланк отчета (см. Приложение Ж.8.1).

Пользуясь стандартом, определить верхнее и нижнее предельные отклонения. Рассчитать предельные размеры контролируемого отверстия и записать в отчет:  $D_{max} = D_{nom} + ES$ ;  $D_{min} = D_{nom} + EI$ .

В стандарте предельные отклонения  $ES$ ,  $EI$  приведены в микрометрах. Для расчета предельных размеров детали-отверстия необходимо их преобразовать в миллиметры: 1 мкм = 0,001 мм.

4. Выбрать подходящую схему полей допусков на отверстие и калибры в соответствии с индивидуальным заданием и записать исходные данные.

5. Найти параметры калибров  $Z$ ,  $Y$ ,  $H$  из стандарта в соответствии с индивидуальным заданием и записать их в отчет в микрометрах (см. Приложение Ж.8.1).

6. Вычислить средние размеры рабочих калибров:  $d_{ПРm}$  нового проходного ПР,  $d_{ПР-и}$  изношенного проходного ПР-И и  $d_{НЕm}$  непроходного НЕ по формулам (8.1), (8.3), (8.4), записать их значения (см. Приложение Ж.8.1):

$$d_{ПРm} = D_{min} + Z; \quad d_{ПР-и} = D_{min} - Y; \quad d_{НЕm} = D_{max}.$$

В стандарте параметры  $Z$ ,  $Y$ ,  $H$  приведены в микрометрах. Для расчета размеров пробок необходимо их преобразовать в миллиметры: 1 мкм = 0,001 мм.

7. Определить предельные размеры новых рабочих калибров (ПР) и (НЕ) по формулам (8.2) и (8.5) и записать результаты в таблицу отчета (см. Приложение Ж.8.1):

$$\begin{aligned} d_{ПРmax} &= d_{ПРm} + H / 2; & d_{ПРmin} &= d_{ПРm} - H / 2; \\ d_{НЕmax} &= d_{НЕm} + H / 2; & d_{НЕmin} &= d_{НЕm} - H / 2. \end{aligned}$$

8. Выбрать для измерения рабочих калибров-пробок их номинальные размеры для подбора блоков концевых мер длины. Рекомендуется принять соответствующие предельные размеры отверстия в качестве номинальных размеров: наименьший предельный размер  $D_{min}$  – для калибра ПР и наибольший предельный размер  $D_{max}$  – для калибра (НЕ). Записать номинальные размеры в отчет (см. Приложение Ж.8.1).

9. Составить из плоскопараллельных концевых мер блок размером,

равным принятому номинальному размеру калибра (ПР). Меры плотно притереть одну к другой. Блок не следует составлять больше чем из трех-четырёх мер. Записать результаты в отчет (см. Приложение Ж.8.1).

10. Отвинтить в соответствии с указаниями преподавателя фиксирующий винт 4 (см. рис. 8.1), вращая опорное резьбовое кольцо 5, поднять кронштейн 1 с трубкой оптиметра 3 вверх, чтобы между поверхностью предметного стола и измерительным наконечником свободно помещался блок концевых мер. (Оптиметр обычно настроен на измерения).

11. Переместить блок концевых по поверхности предметного стола так, чтобы центр верхней меры совпадал с измерительным наконечником без контакта с ним.

12. Настроить оптиметр на измерение. Наблюдая в окуляр и поднимая наконечник фиксатором, добиться поворотом осветительного зеркала хорошей освещенности шкалы. Поворотом диоптрийного кольца окуляра обеспечить четкую видимость штрихов шкалы.

В соответствии с инструкциями преподавателя освободить стопорный винт подъема столика 7 (см. рис. 8.1), перевести, вращая гайку 8, столик в нижнее положение. Затем вращением опорного кольца 5 опустить кронштейн трубки оптиметра до соприкосновения измерительного наконечника с верхней плоскостью блока мер. Момент касания будет замечен по движению изображения шкалы в поле зрения окуляра. Кронштейн следует опускать плавно, не допуская удара наконечника о блок. Продолжая опускать кронштейн, вращением кольца 5 установить нулевой штрих изображения шкалы приблизительно напротив неподвижного указателя. После этого закрепить кронштейн стопорным винтом 4. Окончательно установить шкалу на нуль путем подъема столика, вращая гайку 8. Закрепить столик стопорным винтом 7. Проверить нулевую установку прибора, приподнимая и опуская наконечник два-три раза с помощью фиксатора. В случае смещения шкалы настроить прибор вновь.

Приподняв фиксатором наконечник, снять со столика блок и, не разбирая, отложить его в сторону.

13. Отсоединить калибры от ручки.

Измерить калибр (ПР), прокатывая его по столику оптиметра под измерительным наконечником, наблюдая при этом в окуляр движение шкалы. Наибольшее смещение нулевой метки шкалы относительно неподвижного указателя соответствует отклонению измеряемого размера от размера блока.

Измерить пробки в двух поперечных сечениях А-А и Б-Б, расположенных на расстоянии не менее 1 мм от края фаски или закругления (рис. 8.6). В каждом сечении выполнить по два измерения во взаимно перпендикулярных плоскостях В-В и Г-Г.

Показания оптиметра со своими знаками записать в отчет (см. Приложение Ж.8.1) в колонку «Действительное отклонение  $\delta$ , мкм, измеренное». Снять калибр (ПР) с предметного столика.

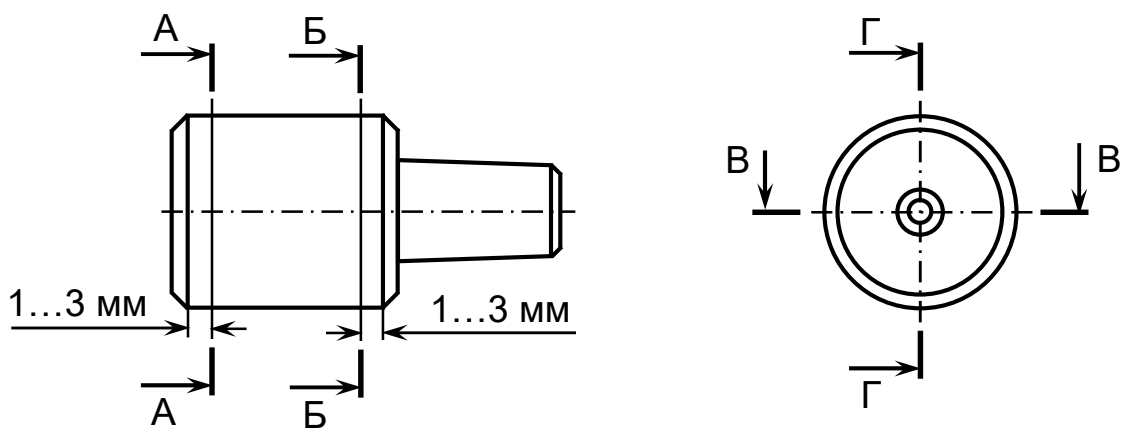


Рис. 8.6. Сечения для измерений действительных размеров калибров-пробок

14. Проверить нулевую установку оптиметра. Для этого фиксатором поднять измерительный наконечник и установить на столик блок концевых мер, по которому производилась настройка. Конечную величину смещения нулевой метки шкалы с соответствующим знаком (плюс или минус) записать в отчет (см. Приложение Ж.8.1) в колонку «Смещение «0» оптиметра, мкм, конечное».

Нарушение настройки прибора может произойти вследствие температурных деформаций или по другим причинам. Если такое нарушение есть (систематическая ошибка измерений), то все показания должны быть скорректированы в соответствии с формулами:

- среднее смещение нуля  $См. ср = (0 + См. кон.) / 2$ , где **См. кон.** – конечное смещение нулевой метки шкалы;
- скорректированное отклонение  $\delta_n = \delta_u - См. ср$ , где  $\delta_u$  – измеренное отклонение.

Для точного определения знака поправки нужно учитывать знаки смещения и измеренного отклонения размера. Для этого рекомендуется составить схему, аналогичную показанной на второй странице отчета (см. Приложение Ж.8.1).

Записать значения среднего смещения и скорректированных действительных отклонений в отчет (см. Приложение Ж.8.1).

15. Определить действительные размеры  $x$  калибра (ПР) как алгебраическую сумму номинального размера контрольного блока  $d$  и каждого скорректированного действительного отклонения  $\delta$ :

$$x = d + \delta.$$

Результаты записать в отчет (см. Приложение Ж.8.1).

16. Вычислить действительные отклонения размеров пробки в поперечном и продольном сечениях. В продольных сечениях В-В и Г-Г конусность определяют по формуле (см. лаб. работу № 2, рис. 2.1)

$$\Delta x = (x_{max} - x_{min}) / 2,$$

где  $x_{max}$  и  $x_{min}$  – наибольшее и наименьшее значения, выбранные из результатов измерений в сечениях А-А и Б-Б из соответствующих строк (В-В или Г-Г) (см. Приложение Ж.8.1).

Например, запись «В-В (А-А и Б-Б)» означает, что анализ выполняют вдоль продольного сечения В-В, значения  $x_{max}$  и  $x_{min}$  выбирают из столбцов «А-А» и «Б-Б» строки «В-В», результат записывают в столбец «Отклонение формы, мм, в продольном сечении», строка «В-В».

В поперечных сечениях А-А и Б-Б овальность находят по той же формуле, где  $x_{max}$  и  $x_{min}$  – наибольшее и наименьшее значения, выбранные из результатов измерений в сечениях В-В и Г-Г из соответствующих столбцов (А-А или Б-Б) (см. Приложение Ж.8.1).

Например, запись «А-А (В-В и Г-Г)» означает, что анализ выполняют вдоль поперечного сечения А-А, значения  $x_{max}$  и  $x_{min}$  выбирают из столбцов «В-В» и «Г-Г» строки «А-А», результат записывают в столбец «Отклонение формы, мм, в поперечном сечении», строка «А-А».

Записать значения конусности и овальности  $\Delta x$  в отчет.

17. Повторить пп. 8–16 для непроходного калибра (НЕ). Записать результаты в отчет.

18. Выбрать наибольшее  $x_{max}$  и наименьшее  $x_{min}$  значения среди четырех действительных размеров калибра-пробки (ПР) (см. Приложение Ж.8.1). Вычислить разброс по формуле

$$v = x_{max} - x_{min}.$$

Записать результат в отчет.

Выполнить те же действия для калибра-пробки (НЕ).

19. Сравнить разброс фактических размеров  $v$  и значение допуска  $H$ . Для годных калибров разброс не должен превышать допуск на изготовление:

$$v \geq H.$$

Сделать вывод о выполнении этого условия, обведя кружок вокруг подходящего слова «Да» или «Нет».

20. Сравнить действительные наибольшие  $x_{max}$  и наименьшие  $x_{min}$  размеры с предельными значениями  $d_{max}$  и  $d_{min}$ , рассчитанные по стандарту.

Сделать вывод о годности калибров-пробок (ПР) и (НЕ). Действительные размеры  $x_{max}$  и  $x_{min}$  должны удовлетворять условиям

$$x_{max} \geq d_{max}; \quad x_{min} \leq d_{min}.$$

Конусность и овальность не должны превышать величины допуска.

Используя примечания, приведенные в отчете, сделать выводы и выбрать подходящий вариант заключения (см. Приложение Ж.8.1).

21. Завершить отчет, поставить подпись и представить отчет преподавателю.

ОТЧЕТ

о лабораторной работе № 8 «Контроль калибров-пробок»

Студент \_\_\_\_\_ Группа № \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

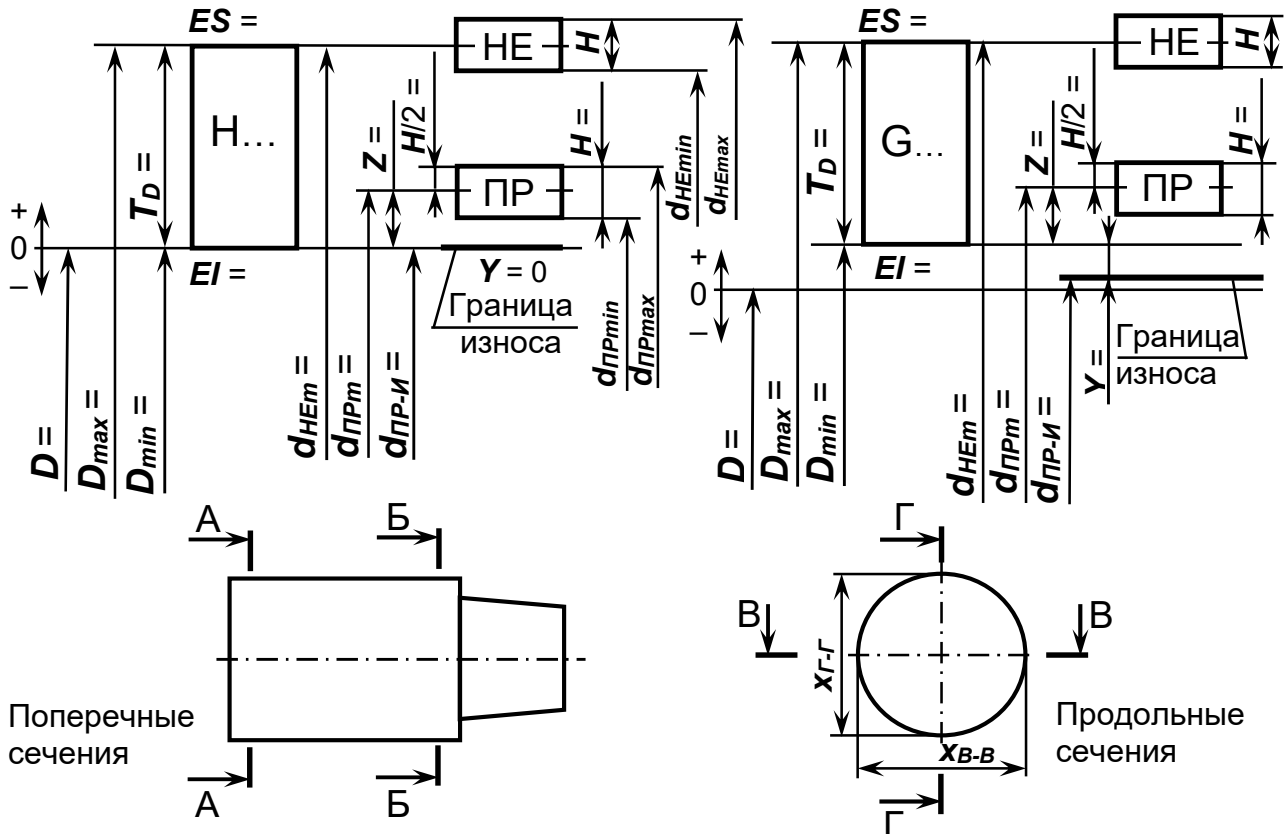
Исходные данные: Отверстие  $\varnothing$  \_\_\_\_\_ ( ) Номинальный диаметр  $D =$  \_\_\_\_\_ мм

Поле допуска \_\_\_\_\_ Допуск  $T_D =$  \_\_\_\_\_ мкм Предельные размеры:

Основное отклонение \_\_\_\_\_ Верхнее отклонение  $ES =$  \_\_\_\_\_ мкм  $D_{max} =$  \_\_\_\_\_ мм

Квалитет точности \_\_\_\_\_ Нижнее отклонение  $EI =$  \_\_\_\_\_ мкм  $D_{min} =$  \_\_\_\_\_ мм

Параметры калибров:  $Z =$  \_\_\_\_\_ мкм;  $Y =$  \_\_\_\_\_ мкм;  $H =$  \_\_\_\_\_ мкм;  $1 \text{ мкм} = 0,001 \text{ мм}$



Параметры рабочих калибров-пробок и результаты вычислений

Калибр-пробка	Размеры, мм				Точность, мм		Выводы	
	Предельные		Действительные		Действительная	Заданная		
	$d_{max}$	$d_{min}$	$x_{max}$	$x_{min}$	$v = x_{max} - x_{min}$	$H$		
ПР					$v = \dots \geq H = \dots$	Да	Нет	1 2
ПР-И	—							3 4
НЕ					$v = \dots \geq H = \dots$	Да	Нет	1 2 3 4

**Примечания:** 1. Калибр годный. 2. Рабочий калибр годный, но не новый, подлежит переводу в приемный калибр 3. Рабочий калибр негодный, брак исправимый. 4. Рабочий калибр негодный, брак неисправимый. (Нужное обвести кружком).

Поле рассеяния действительных размеров калибров ПР и НЕ указать на схеме пунктирной линией.

## Результаты измерений и обработки

Номинальный размер калибра пробки, мм	Номинальные размеры концевых мер, мм = Размер блока $d$ , мм	Смещение «0» оптиметра, мкм (со знаком)			Сечение			Отклонение формы, мм		
		на-чальное	ко-нечное	сред-нее	А-А	Б-Б				
						Действительное отклонение $\delta$ , мкм (со знаком)		Действительный размер пробки $x = d + \delta$ , мм (с поправкой)		в продольном сечении (кonusность)
		измеренное	с поправкой	с поправкой		А-А	Б-Б			
ПР	.....				0	В-В			В-В (А-А и Б-Б):	А-А (В-В и Г-Г):
	+.....								$\Delta x = (x_{max} - x_{min})/2 =$	$\Delta x = (x_{max} - x_{min})/2 =$
.....	+.....					Г-Г			Б-Б (В-В и Г-Г):	$\Delta x = (x_{max} - x_{min})/2 =$
НЕ	.....				0	В-В			В-В (А-А и Б-Б):	А-А (В-В и Г-Г):
	+.....								$\Delta x = (x_{max} - x_{min})/2 =$	$\Delta x = (x_{max} - x_{min})/2 =$
.....	+.....					Г-Г			Б-Б (В-В и Г-Г):	$\Delta x = (x_{max} - x_{min})/2 =$
	= .....					Г-Г			$\Delta x = (x_{max} - x_{min})/2 =$	

$-$  — См. ср.      0      Измеренное отклонение  $+\delta_u$       +      Вычислить разброс четырех измерений калибра ПР  
 $V = x_{max} - x_{min} = \dots\dots\dots - \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$  мм



Отклонение с поправкой  $\delta_n = \delta_u - \text{См. ср.}$ ;       $V = x_{max} - x_{min} = \dots\dots\dots - \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$  мм

$\text{См. ср.} = (0 + \text{См. кон.}) / 2$ . Например,  $\delta_n = +16 - (-4) = 20$  мкм      Записать результаты и сделать выводы

Выполнил студент \_\_\_\_\_      Принял преподаватель \_\_\_\_\_



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Желєзна, А. М. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань : навч. посіб. / А. М. Желєзна, В. А. Кирилович. – Київ : Кондор, 2004. – 796 с.
2. Basics of Interchangeability: Manual to Laboratory Works / M. K. Knyazyev, V. O. Dyadin, M. O. Kurin, O. O. Gorbachov. – Kharkiv: National Aerospace University named after M. Ye. Zhukovsky “Kharkiv Aviation Institute”, 2013. – 84 p.
3. Анухин, В. И. Допуски и посадки : учеб. пособие. / В. И. Анухин. – СПб. : Питер, 2007. – 207 с.
4. Якушев, А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения : учеб. для вузов / А. И. Якушев, Л. Н. Воронцов, Н. М. Федотов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1987. – 352 с.
5. Болдин, Л. А. Основы взаимозаменяемости и стандартизации в машиностроении : учеб. пособие для вузов / Л. А. Болдин. – М. : Машиностроение, 1984. – 272 с.
6. Допуски и посадки : справочник. В 2 ч. Ч. 1 / В. Д. Мягков, М. А. Палей, А. Б. Романов, В. А. Брагинский. – М. : Машиностроение, 1983. – 543 с.
7. Допуски и посадки : справочник. В 2 т. Ч. 2 / В. Д. Мягков, М. А. Палей, А. Б. Романов, В. А. Брагинский. – М. : Машиностроение, 1983. – 448 с.
8. Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении и приборостроении : справочник. В 2 т. Т. 1. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 263 с.
9. Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении и приборостроении : справочник. В 2 т. Т. 2. Контроль деталей. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 208 с.
10. Капашин, С. А. Штангенинструменты. Приемы измерения деталей / С. А. Капашин. – Харьков : ХАИ, 1991. – 12 с.
11. Трофимов, К. Б. Гладкий микрометр. Приемы измерения деталей / К. Б. Трофимов, А. В. Огнев. – Харьков : ХАИ, 1980. – 14 с.
12. Трофимов, К. Б. Проверка индикатора часового типа / К. Б. Трофимов. – Харьков : ХАИ, 1981. – 13 с.
13. Трунов, Д. М. Плоскопараллельные концевые меры длины. Установка регулируемой скобы на размер / Д. М. Трунов. – Харьков : ХАИ, 1979. – 17 с.
14. Трофимов, К. Б. Калибры-скобы. Контроль размеров валов / К. Б. Трофимов. – Харьков : ХАИ, 1993. – 14 с.
15. Трофимов, К. Б. Измерение гладких калибров (пробок) / К. Б. Трофимов. – Харьков : ХАИ, 1980. – 12 с.
16. Основні норми взаємозамінності. Єдина система допусків та посадок. Терміни та визначення. Позначення і загальні норми. ДСТУ 2500-94. – Введ. вперше; чинний з 1995-07-01. – Київ : Держстандарт України,

1995. – 30 с.

17. ГОСТ 25347-82. Основные нормы взаимозаменяемости. ЕСДП. Поля допусков и рекомендуемые посадки. – Введ. 01.07.1983. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 60 с.
18. Допуски і посадки за системою ISO. Ч. 1. Основи допусків, відхилів та посадок. ДСТУ ISO 286-1–2002. – Введ. вперше; чинний з 2003-10-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2003. – 42 с.
19. Допуски і посадки за системою ISO. Ч. 2. Таблиці квалітетів стандартних допусків і граничних відхилів отворів і валів. ДСТУ ISO 286-2:2002. – Введ. вперше; чинний з 03-10-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2003. – 47 с.
20. ГОСТ 24853-81. Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Допуски. – Введ. впервые 01.01.1983. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 7 с.
21. ГОСТ 2015-84. Калибры гладкие нерегулируемые. Технические требования. – Взамен ГОСТ 2015-69; введ. 01.01.1985. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 5 с.
22. Когут, М. С. Основи взаємозамінності, стандартизації, сертифікації, акредитації та технічні вимірювання : підруч. / М. С. Когут. – Львів : Світ, 2008. – 528 с.
23. Базієвський, С. Д. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання : підруч. / С. Д. Базієвський, В. Ф. Дмитрик. – Київ : Слово, 2004. – 504 с.
24. Гаврилук, В. І. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання : навч. посіб. для студентів механічних та машинобудівних спеціальностей / В. І. Гаврилук, М. Л. Кукляк. – Київ : УМК ВО, 1990. – 216 с.
25. Саранча, Г.А. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения : учеб. / Г. А. Саранча. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 264 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Технические измерения и измерительные приборы .....	3
Лабораторная работа № 2. Суммарные допуски формы и расположения поверхностей .....	13
Лабораторная работа № 3. Оценка качества партии деталей.....	24
Лабораторная работа № 4. Зависимый допуск расположения.....	36
Лабораторная работа № 5. Размерные цепи. Полная взаимозаменяемость .....	50
Лабораторная работа № 6. Размерные цепи. Неполная взаимозаменяемость .....	63
Лабораторная работа № 7. Калибры-скобы. Настройка регулируемых скоб .....	73
Лабораторная работа № 8. Контроль калибров-пробок .....	86
Библиографический список .....	97

Навчальне видання

**Князєв Михайло Климович**  
**Невешкін Юрій Олександрович**  
**Онопченко Антон Віталійович**  
**Горбачов Олексій Олександрович**

## **ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ І СТАНДАРТИЗАЦІЯ**

(Російською мовою)

Редактор В. І. Філатова

Зв. план, 2018

Підписано до друку 18.05.2018

Формат 60×84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 5,5. Обл.-вид. арк. 6,25. Наклад 100 пр. Замовлення 175. Ціна вільна

---

Видавець і виготовлювач

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Видавничий центр «ХАІ»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

[izdat@khai.edu](mailto:izdat@khai.edu)

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів  
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001