

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра технологии машиностроения

Составители  
В. Ю. Блюменштейн  
А. А. Клепцов

## **ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

### **Методические указания к лабораторным работам**

Рекомендованы учебно-методическими комиссиями  
направлений подготовки

15.03.01 Машиностроение,  
15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств,  
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств  
в качестве электронного издания  
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2019

Рецензенты:

Махалов М. С., доцент кафедры технологии машиностроения

Смирнов А. Н., профессор кафедры технологии машиностроения

**Блюменштейн Валерий Юрьевич**

**Клепцов Александр Алексеевич**

**Основы технологии машиностроения:** методические указания к лабораторным работам [Электронный ресурс]: для обучающихся направлений подготовки 15.03.01 Машиностроение, 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств всех форм обучения / сост. В. Ю. Блюменштейн, А. А. Клепцов; КузГТУ.– Электрон. дан. – Кемерово, 2019.– Систем. требования : Pentium IV ; ОЗУ 8 Мб ; Windows 95 ; мышь. – Загл. с экрана.

В методических указаниях изложены основные цели и порядок выполнения лабораторных работ по дисциплине «Основы технологии машиностроения».

© КузГТУ, 2019

© Блюменштейн В. Ю.,  
Клепцов А. А.,  
составление, 2019

# Лабораторная работа №1

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ

### ВВЕДЕНИЕ

В ходе любого технологического процесса участвует большое количество факторов – станки, приспособления, инструмент, заготовки, рабочая среда.

Степень влияния факторов постоянно меняется, причем не существует возможности контролировать эти изменения постоянно. В результате детали, изготовленные на настроенном станке, имеют различные показатели точности. Так, каждая деталь, обработанная в партии на настроенном станке, будет иметь свой размер, и в партии деталей, обработанных на настроенном станке, будет иметь место разброс размеров в пределах некоторого диапазона. Это явление получило название рассеивания характеристик качества изделий.

Таким образом, размер каждой детали получается, как случайная величина. Это дает возможность изучать явления рассеивания характеристик качества изделий методами математической статистики.

### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – изучение методики и получение практических навыков исследования точности технологической операции механической обработки деталей методами математической статистики и определение характеристик рассеивания размеров в партии деталей.

Содержание работы включает в себя:

- построение практической кривой рассеивания размеров в партии деталей;
- определение характеристик практической кривой рассеивания размеров в партии деталей и их оценку;
- определение вероятного количества исправимого и неисправимого брака при обработке партии деталей на настроенном оборудовании.

### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Кривая рассеивания размеров в партии деталей представляет собой зависимость частоты (вероятности) появления размера в зависимости от его величины и показывает характер распределения размеров в партии. Вид и форма кривой рассеивания определяется количеством и характером факторов, влияющих на точность обработки.

Математическое описание кривой рассеивания размеров называется законом распределения размеров в партии деталей. При различных условиях и точности механической обработки рассеивание размеров обработанных деталей подчиняется различным законам распределения. При об-

работке деталей на настроенных станках размеры деталей после обработки чаще всего распределяются по нормальному закону (закону Гаусса), представленному на рис. 1.

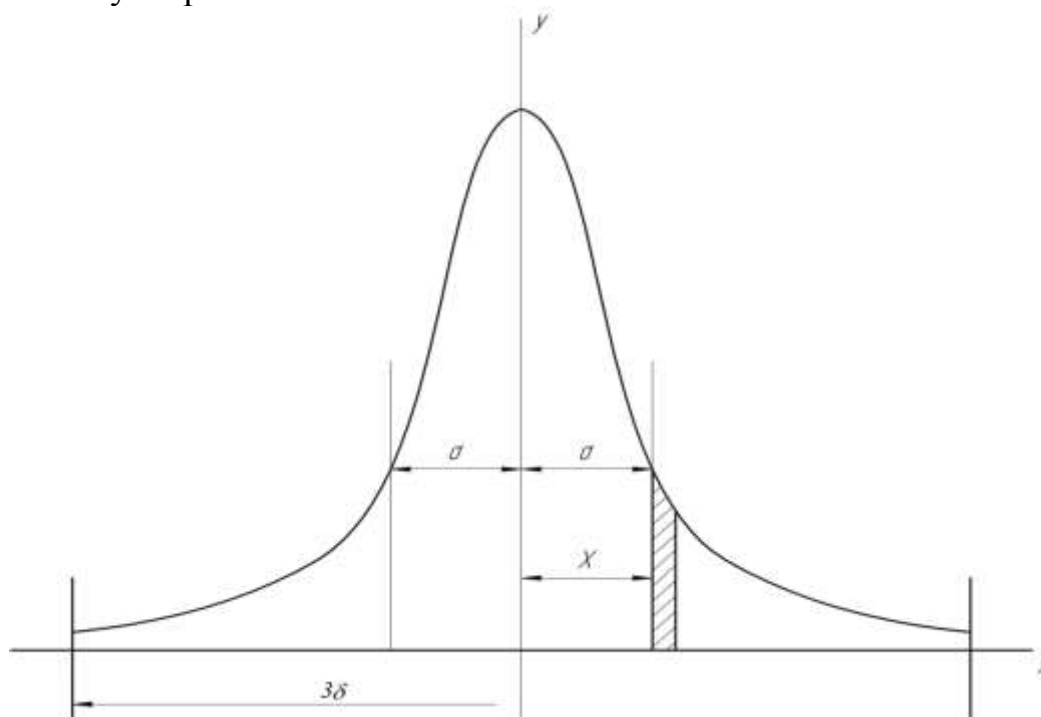


Рис. 1 Теоретическая кривая нормального распределения

Закон нормального распределения будет наблюдаться в случае выполнения следующих условий:

- достаточно большой объем выборки;
- случайные величины ( $x_i$ ) не зависят друг от друга;
- степень влияния случайных факторов равноценна.

Закон нормального распределения описывается выражением

$$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}},$$

где  $Y$  – вероятность появления случайной величины (размера детали после обработки)  $x$ ;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение размеров в партии деталей;  $\bar{x}$  – среднее арифметическое значение размеров в партии деталей.

Согласно этому закону большая часть размеров в партии деталей группируется около среднего арифметического значения размеров, и вероятность получения деталей с крайними размерами снижается по мере отклонения размера от среднего арифметического значения. Площадь графика (рис. 1) на расстоянии  $X$  от оси ординат (заштрихована) определяет в процентном отношении количество деталей, попадающих своими размерами в этот интервал.

Максимальная ордината кривой с абсциссой  $x = \bar{x}$ , определяется по формуле  $Y_{max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,6}{\sigma}$ . На расстоянии  $\pm\sigma$  от оси ординат кривая име-

ет две точки перегиба с ординатами  $Y = \frac{Y_{max}}{\sqrt{e}} \approx \frac{0,4}{\sigma}$ . Величина среднеквадратического отклонения  $\sigma$  является мерой рассеивания размеров относительно их среднего арифметического значения и характеризует форму кривой распределения. Чем больше величина  $\sigma$ , тем более пологая кривая распределения, тем больше рассеивание размеров в партии деталей и, тем самым, ниже точность операции механической обработки.

Кривая нормального распределения асимптотически приближается к оси абсцисс с обеих сторон от оси ординат. При практических расчетах обычно рассматривается участок кривой, ограниченный диапазоном изменения случайной величины  $x = \pm 3\sigma$  ( $6\sigma$ ). При этом 0,54 % случайных величин (размеров), по 0,27% с каждой стороны от оси ординат, выходят за эту область.

В результате действия большого количества случайных и систематических факторов в ходе обработки практическая (и, соответственно, теоретическая) кривая рассеивания размеров может иметь форму, значительно отличающуюся от кривой нормального распределения. Центр группирования размеров при этом может быть смещен относительно середины поля допуска размеров (рис. 2). Если поле рассеивания размеров  $\omega$  превышает допуск  $T_x$  на размер, это свидетельствует о появлении брака при обработке. Вероятное количество брака определяется площадью участков  $q_1$  и  $q_2$  кривой рассеивания, ограниченных наибольшим  $x_{нб}$  и наименьшим  $x_{нм}$  предельными размерами после обработки (рис. 2).

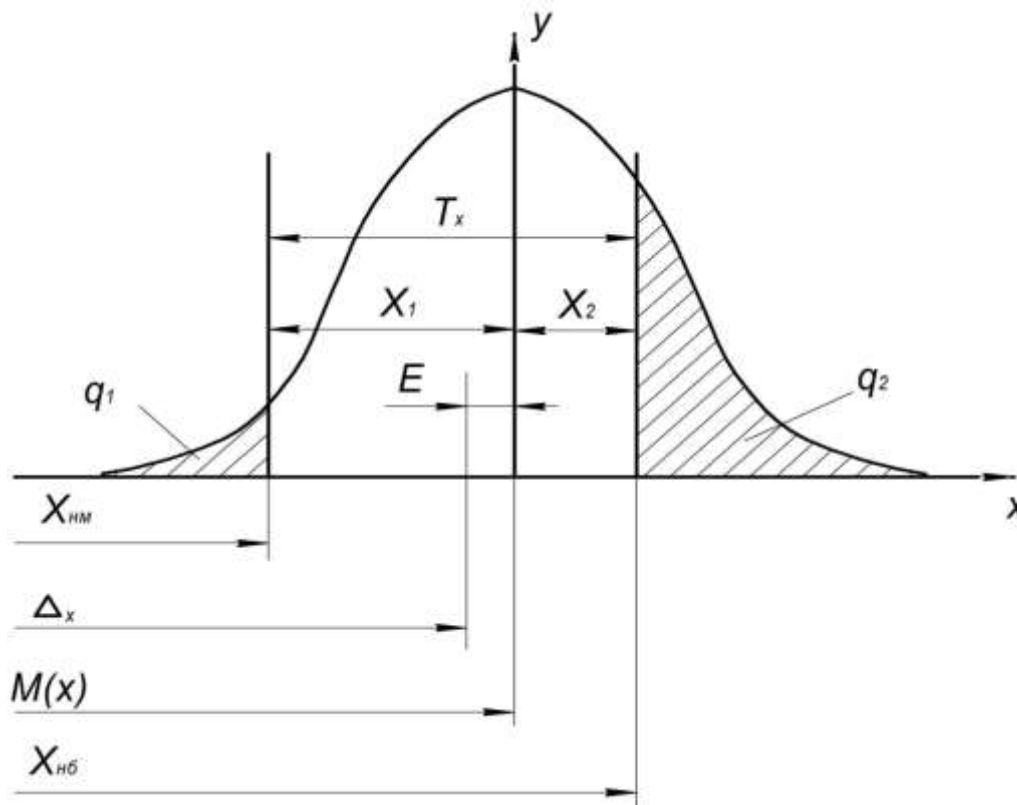


Рис. 2. Вероятное количество брака в партии деталей

При этом брак может быть исправимым и неисправимым. Исправимым брак считается в том случае, если размер детали может быть изменен механической обработкой детали путем снятия с нее слоя материала. Если для изменения размера детали требуется нанесение дополнительного слоя материала (наплавкой или другими методами), брак считается неисправимым. Так, для валов исправимым считается брак деталей, попавших своими размерами в интервал  $q_2$ , неисправимым – для деталей, попавших своими размерами в интервал  $q_1$ . Для размеров отверстий наоборот исправимым считается брак деталей с размерами в интервале  $q_1$ , неисправимым – для отверстий, попавших своими размерами в интервал  $q_2$ .

Площадь левого заштрихованного участка  $q_1$

$$q_1 = 0,5 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_{\text{нм}}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Площадь правого заштрихованного участка  $q_2$

$$q_2 = 0,5 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_{\text{нб}}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Эти интегралы обычно представляют в форме известной функции Лапласа  $\Phi(z)$ . На практике вероятность получения брака (площади участков  $q_1$  и  $q_2$ ) определяются следующим образом:

$$q_1 = 0,5[1 - \Phi(z_1)], \quad q_2 = 0,5[1 - \Phi(z_2)].$$

Параметр  $z$  представляет собой нормированный параметр распределения, или коэффициент риска, и определяется по формулам:

$$z_1 = x_{\text{нм}}/\sigma, \quad z_2 = x_{\text{нб}}/\sigma,$$

где  $x_{\text{нм}}$  и  $x_{\text{нб}}$  – наименьший и наибольший предельные допустимые размеры деталей.

Значения функции  $\Phi(z)$  приведены в табл. 2 приложения.

### 3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, МАТЕРИАЛЫ

При выполнении лабораторной работы используются:

- партия деталей (валиков) в количестве 80–100 штук, обработанная на настроенном токарном станке;
- микрометр рычажный МР с пределами измерения 0–25 мм с ценой деления 0,002 мм ГОСТ 4381–80;
- набор плоскопараллельных концевых мер длины для настройки микрометра рычажного.

### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Ознакомиться с исходными данными выполнения технологической операции механической обработки партии деталей и требованиями к точности получаемого размера.

4.2. Провести измерение размеров обработанных деталей партии или использовать для выполнения работы данные, приведенные в табл. 1 приложения.

4.3. Построить практическую кривую распределения размеров в партии деталей.

Построение практической кривой рассеивания размеров производится следующим образом.

1. Обрабатывается партия деталей на настроенном станке. Например, токарный станок настроен на обработку валиков диаметром 64,90 мм. Обработана партия в количестве 51 детали. В теории вероятностей партия называется «выборка». У каждой детали в партии измеряется размер – диаметр. Предположительно, в партии деталей разброс диаметров получился в пределах от 64,80 до 65,05 мм.

2. По полученным данным определяется общее поле рассеивания:

$$\omega = D_{max} - D_{min}.$$

В примере  $\omega = 65,05 - 64,80 = 0,25$  мм.

3. Поле рассеивания делится на несколько равных интервалов  $I$ .

Количество интервалов выбирается в зависимости от общего количества изделий, так, чтобы в каждый интервал попало достаточное количество измеренных величин.

Результаты измерений и деления на интервалы сводятся в таблице 1, представленной ниже.

Таблица 1

Результаты измерений и деления на интервалы

Интервалы, мм	Количество деталей, попадающих своими размерами в данный интервал, шт.
64,80–64,85	3
64,85–64,90	9
64,90–64,95	20
64,95–65,00	17
65,00–65,05	2

На основании этой таблицы строится график (рис. 3).

По горизонтальной оси откладываются величины интервалов, по вертикальной оси – количество деталей, попадающих своими размерами в каждый интервал. Полученный набор колонок называется «гистограмма». Для устранения проблем, связанных со сравнением масштабов гистограмм различных параметров, удобнее по вертикальной оси откладывать не количество деталей, а *вероятность* появления размера каждой детали в заданном интервале:

$$p(x_i) = n(x_i)/N,$$

где  $n(x_i)$  – количество деталей, попадающих своими размерами  $x_i$  в интервал  $i$ ;  $N$  – общее количество деталей в партии – объем выборки.

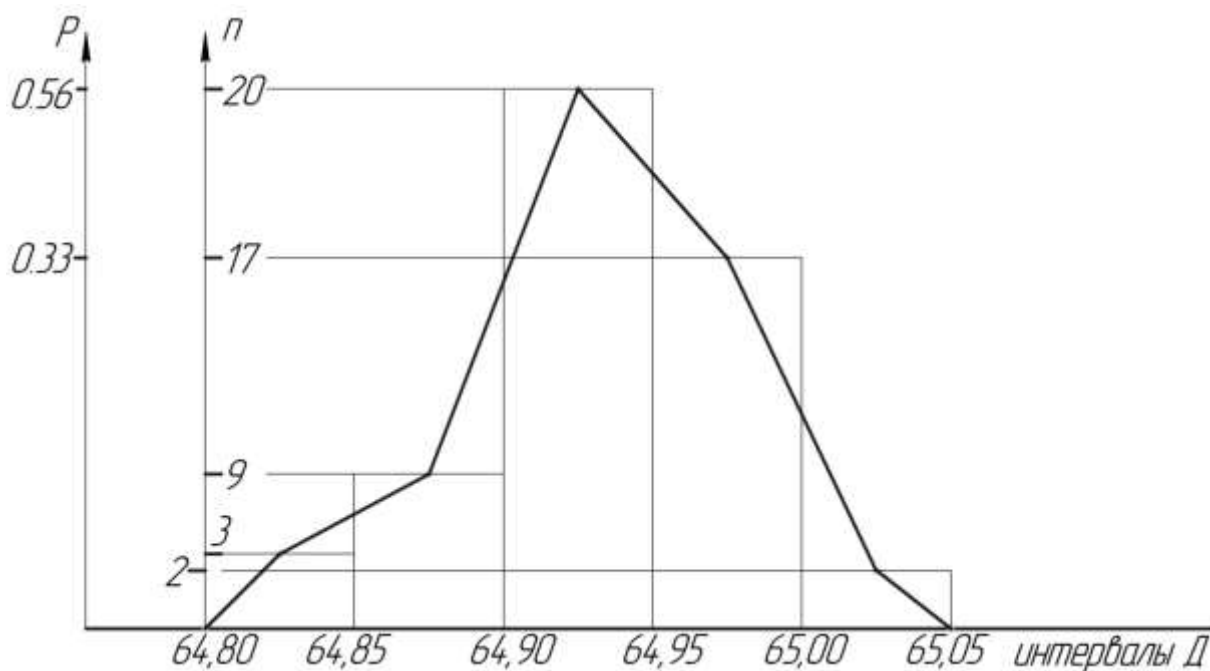


Рис. 3 Практическая кривая рассеивания размеров

Если соединить прямыми линиями середины прямоугольников, получится ломаная кривая, которая называется «полигон». Это и есть практическая кривая рассеивания размеров. Если увеличивать число деталей в выборке и сокращать величину интервалов, ломаная кривая фактического распределения перейдет в плавную кривую теоретического распределения, которая может быть описана математическим уравнением:

$$p = \varphi(x).$$

Эта зависимость называется законом распределения, или законом рассеивания случайной величины.

4.4. Рассчитать статистические характеристики практической кривой распределения.

Характеристиками кривой рассеивания служат:

1. Математическое ожидание случайной величины. В технологии машиностроения его называют центром группирования.

Центром группирования или центром рассеивания случайной величины называется ее среднее значение, около которого располагаются в основном все ее остальные значения.

Центр группирования практической кривой рассеивания

$$M(x) = \sum_{i=1}^l x_i \cdot p(x_i),$$

где  $x_i$  – текущее значение случайной величины (размера), или значение середины каждого интервала  $i$ ;  $p(x_i)$  – вероятность появления величины  $x_i$  в интервале  $i$ .

2. Среднеквадратическое отклонение – мера рассеивания случайной величины  $x$  относительно центра группирования.



Для практической кривой рассеивания среднее квадратическое отклонение определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^l [x_i - M(x)]^2 \cdot p(x_i)}.$$

Расчет статистических характеристик практической кривой распределения удобнее вести в виде таблицы. Пример расчетной таблицы приведен в приложении.

4.4. На графике практического распределения размеров построить кривую нормального распределения по пяти характерным точкам.

Координаты пяти точек для построения кривой нормального распределения:  $x_1 = -3\sigma$ ;  $x_2 = -\sigma$ ;  $x_3 = 0$ ;  $x_4 = \sigma$ ;  $x_5 = 3\sigma$ ;  $y_1 = 0$ ;  $y_2 = 0,24\sigma$ ;  $y_3 = 0,4\sigma$ ;  $y_4 = 0,24\sigma$ ;  $y_5 = 0$ .

4.5. Определить проценты исправимого и неисправимого брака. Исходные данные для выполнения работы взять по результатам измерения размеров в партии деталей, либо в табл. 1 приложения.

## 5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Результаты выполнения работы должны быть оформлены в соответствии с требованиями к текстовым документам по ГОСТ 2.105-2002.

В отчете должны быть определены:

- исходные данные для выполнения работы в табличной форме, содержащие результаты измерения размеров реальных деталей в партии или размеры, взятые из таблицы 1 приложения. При этом номер варианта для каждого студента выбирается преподавателем;
- результаты расчета характеристик практической кривой распределения;
- графики практической и теоретической кривых распределения размеров с указанием границ допуска на размер и площадей исправимого и неисправимого брака;
- результаты расчета количества исправимого и неисправимого брака;
- выводы по результатам анализа точности технологической операции.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солонин С. И. Статистические методы в технологии машиностроения: учеб. пособие. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 2016.
2. Солонин И. С. Математическая статистика в технологии машиностроения. – Москва: Машиностроение, 1972. – 216 с.
3. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / под ред. В. С. Корсакова. – Москва: Машиностроение, 1977. – 414 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1

Номера вариантов и размеры деталей

Интервалы размеров	Форма поверхности и ее размеры, мм									
	Вал $\varnothing 16_{-0,12}$					Отверстие $\varnothing 16^{+0,12}$				
	Количество деталей в размерных группах, шт.									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
15,84–15,86	4	2	3	–	1	–	–	–	–	–
15,86–15,88	4	3	3	2	3	–	–	–	–	–
15,88–15,90	8	11	5	4	9	–	–	–	–	–
15,90–15,92	21	27	13	8	25	–	–	–	–	–
15,92–15,94	24	33	22	26	24	–	–	–	–	–
15,94–15,96	18	16	26	20	15	–	–	–	–	–
15,96–15,98	14	8	18	18	13	–	–	3	–	–
15,98–16,00	6	3	7	12	8	2	4	5	–	1
16,00–16,02	1	–	3	8	2	6	7	11	8	5
16,02–16,04	–	–	–	2	–	13	11	17	15	8
16,04–16,06	–	–	–	–	–	19	17	23	27	16
16,06–16,08	–	–	–	–	–	24	23	21	31	25
16,08–16,10	–	–	–	–	–	26	22	12	14	23
16,10–16,12	–	–	–	–	–	7	10	6	5	12
16,12–16,14	–	–	–	–	–	3	4	2	2	5
16,14–16,16	–	–	–	–	–	–	2	–	–	3

Таблица 2

Значения функции Лапласа  $\Phi(z)$

$z$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$\Phi(z)$	0,0000	0,0797	0,1585	0,2358	0,3108	0,3829	0,4515	0,5161	0,5763

$z$	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
$\Phi(z)$	0,6319	0,6827	0,7287	0,7699	0,8064	0,8385	0,8664	0,8904	0,9109

$z$	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
$\Phi(z)$	0,9281	0,9426	0,9545	0,9643	0,9722	0,9786	0,9836	0,9876	0,9907

$z$	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
$\Phi(z)$	0,9931	0,9949	0,9963	0,9973	0,99806	0,99862	0,99903	0,99933	0,99953

Таблица 3

Таблица для расчета характеристик практической кривой распределения

Середина интервала ( $x_i$ )	Кол-во деталей $n(x_i)$	Вероятность $p(x_i) = n(x_i)/N$	$x_i \cdot p(x_i)$	$x_i - M(x)$	$[x_i - M(x)]^2$	$[x_i - M(x)]^2 \cdot p(x_i)$

$$M(x) = \sum_{i=1}^l x_i \cdot p(x_i)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^l [x_i - M(x)]^2 \cdot p(x_i)}$$

## **Лабораторная работа №2**

### **СБОРКА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ**

### **ПО МЕТОДУ ГРУППОВОЙ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ**

#### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Целью работы является ознакомление с одним из методов достижения заданной точности замыкающего звена – методом групповой взаимозаменяемости и получение практических навыков сборки шарикового радиального подшипника № 6305.

Задачи лабораторной работы:

- ознакомление с методом групповой взаимозаменяемости и принципами построения номограммы подборки радиальных шариковых подшипников при рассортировке колец на группы при сборке подшипников;
- ознакомление с принципами контроля колец и тел качения при рассортировке на группы;
- контроль геометрических размеров наружных и внутренних колец и тел качения и селекция деталей по группам;
- обеспечение собираемости по результатам расчетов и измерений;
- сборка подшипника и ознакомление с методикой контроля радиального зазора.

#### **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Размерные цепи отражают объективные размерные связи в конструкции машины, в технологических процессах изготовления ее деталей и сборки, при измерении [1]. Эти связи возникают в соответствии с условием и принятым решением конструкторской, технологической задачи или задачи измерения.

Чертежом подшипника регламентирована конструкторская размерная цепь – размерная цепь, определяющая величину радиального зазора. При изготовлении шариковых радиальных подшипников возникает технологическая задача – в процессе механической обработки деталей и сборки обеспечить получение заданной конструктором величины этого радиального зазора.

Одним из важных факторов, влияющих на долговечность радиальных подшипников, является радиальный зазор в них, который определяется как средняя величина нескольких измерений суммарного смещения в плоскости, перпендикулярной к оси подшипника. Такое смещение может претерпевать одно из колец подшипника (другое кольцо подшипника неподвижное) при его вращении в различных угловых направлениях как относительно вращаемого, так и неподвижного кольца и при различных угловых положениях комплекта тел качения относительно колец подшипника. Оптимальные значения радиального зазора для определенных условий эксплуатации подшипника позволяют обеспечить рациональное распре-

ление нагрузки между телами качения, необходимое смещение вала и корпуса в радиальном направлении, а также улучшить и повысить стабильность виброакустических характеристик, снизить потери на трение.

Различают три вида радиальных зазоров: начальный, посадочный и рабочий. Начальный зазор определяют и назначают в процессе конструирования подшипника исходя из его эксплуатационных характеристик. Посадочный зазор всегда меньше начального в связи с деформациями колец в радиальном направлении после установки подшипника на рабочее место. При работе подшипникового узла и установившемся температурном режиме образуется рабочий зазор, который может быть больше или меньше посадочного в зависимости от схемы установки подшипников, воспринимаемой нагрузки и перепада температур вала и корпуса.

В качестве метода достижения заданной точности замыкающего звена (радиального зазора) используется метод групповой взаимозаменяемости (селективной сборки), при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается путем включения в размерную цепь составляющих звеньев, принадлежащих к соответственным группам, на которые они предварительно рассортированы.

Особенностью метода является то, что детали соединяются на сборке без пригонки и регулировки. Расчетное значение допусков размеров составляющих звеньев (желобов колец) увеличивается в несколько раз до экономически целесообразных производственных допусков. После изготовления детали (кольца и тела качения) рассортировываются по значениям действительных размеров на ряд групп в пределах расчетного допуска. При сборке соединяют детали соответствующих (одинаковых) групп для получения размера замыкающего звена в заданных пределах.

К числу преимуществ метода следует отнести возможность достижения высокой точности замыкающего звена при экономически целесообразных производственных допусках размеров составляющих звеньев.

Недостатки метода: увеличение незавершенного производства; дополнительные затраты на проверку и сортировку деталей; некоторое усложнение сборки и хранения деталей до сборки;

При селективной сборке расчет размерной цепи выполняют обычно методом максимума-минимума, для которого характерны [1–5]

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^I TA_i \quad (1)$$

где  $TA_{\Delta}$  и  $TA_i$  – допуски на замыкающее и составляющие звенья размерной цепи;  $i$  – номер составляющего звена;  $I$  – общее число составляющих звеньев размерной цепи.

Число групп  $n_{гр}$ , на которые рассортировываются детали, обработанные с экономически приемлемыми допусками, определяется при заданном допуске  $TA_{\Delta}$  исходного звена по формуле (с округлением до целого числа)

$$n_{\text{гр}} = \frac{\sum_{i=1}^I TA_i}{TA_{\Delta}} \quad (2)$$

Обычно  $n_{\text{гр}}$  принимают в пределах от 2 до 5 и лишь в отдельных случаях (производство подшипников).  $n_{\text{гр}} > 10 - 15$ .

Допуск составляющего размера (групповой допуск) в пределах группы равен

$$(TA_i)_{\text{гр}} = TA_i / n_{\text{гр}} \quad (3)$$

и, как следует из (2) и (3),

$$\sum_{i=1}^I (TA_i)_{\text{гр}} = TA_{\Delta} \quad (4)$$

При решении размерной цепи методом групповой взаимозаменяемости рекомендуется соблюдать равенство сумм допусков увеличивающих и уменьшающих звеньев.

На рис. 1 приведены эскиз и схема четырехзвенной размерной цепи радиального однорядного подшипника качения.

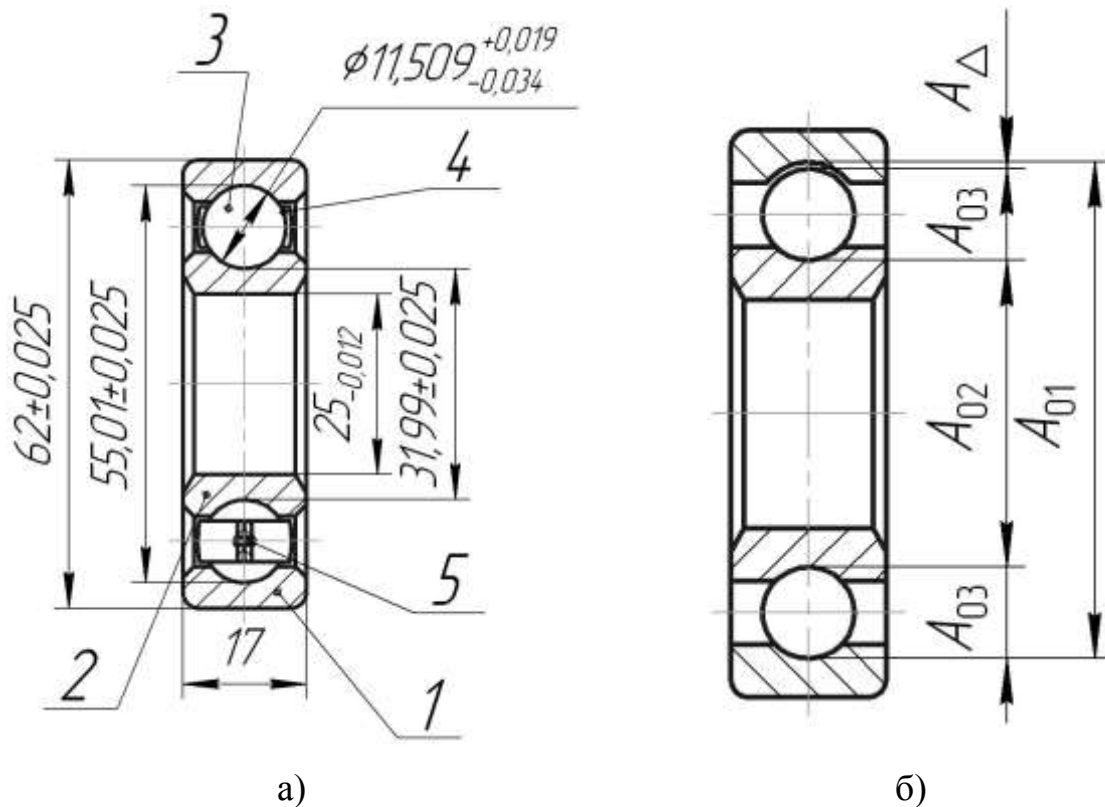


Рис. 1. Эскиз (а) и схема (б) размерной цепи радиального подшипника качения № 6305: 1 и 2 – наружное и внутренне кольцо соответственно; 3 – тело качения (шарик); 4 – полусепараторы; 5 – заклепка

Таким образом, задача заключается в сортировке (селекции) на группы при заданных допусках составляющих звеньев подшипника № 6305:

$$A_{01} = 55,009 \pm 0,025 \text{ мм}; A_{02} = 31,991 \pm 0,025 \text{ мм};$$

$$A_{03} = 11,509^{+0,019}_{-0,034} \text{ мм}.$$

Величина замыкающего звена (радиального зазора) составляет:

$$A_{\Delta} = 0_{+0,010}^{+0,024} \text{ мм, т.е., } A_{\Delta max} = 0,024 \text{ мм } A_{\Delta min} = 0,010 \text{ мм.}$$

### 3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, МАТЕРИАЛЫ

3.1. В лабораторной работе применяются:

- 1) 50 штук наружных колец, 50 штук внутренних колец и 400 штук шариков диаметром подшипника № 6305;
- 2) приборы для измерения диаметров дорожки качения наружных и внутренних колец мод. УД-1В (2 шт.);
- 3) прибор для измерения диаметра шариков мод. 262-2М;
- 4) измерительные микрокаторные головки типа 1ИГП с ценой деления 0,001 мм (3 шт.);
- 5) ложный сепаратор подшипника;
- 6) прибор для измерения радиального зазора шарикового радиально-го подшипника мод. Р123;
- 7) линейка для разбивки веера наружных и внутренних колец подшипников.

3.2. Прибор для измерения диаметра дорожки качения наружного и внутреннего кольца мод. УД-1В

На приборе реализован относительный метод измерений.

Прибор смонтирован в чугунном корпусе 1, на котором укреплена предметная плита 2 с пазами для упоров (рис. 2). Из трех упоров, служащих для измерения, два упора 3 неподвижные (переставные по размеру кольца), а третий 4 подвижный и укреплен на ползуне 5. Последний подвешен на пружинном параллелограмме и передает перемещение подвижного упора стержню измерительной головки 6. Предварительный натяг пружин ползуна и ограничение его перемещения осуществляется винтами, расположенными в задней части прибора.

Измерительная головка 7 закрепляется в корпусе прибора винтом 8. Установка стрелки измерительной головки на нуль шкалы производится винтом 9, который стопорится винтом 10. Тонкая регулировка производится микровинтом 11. Контактными наконечниками измерительных упоров 3 и 4 являются диски 12.

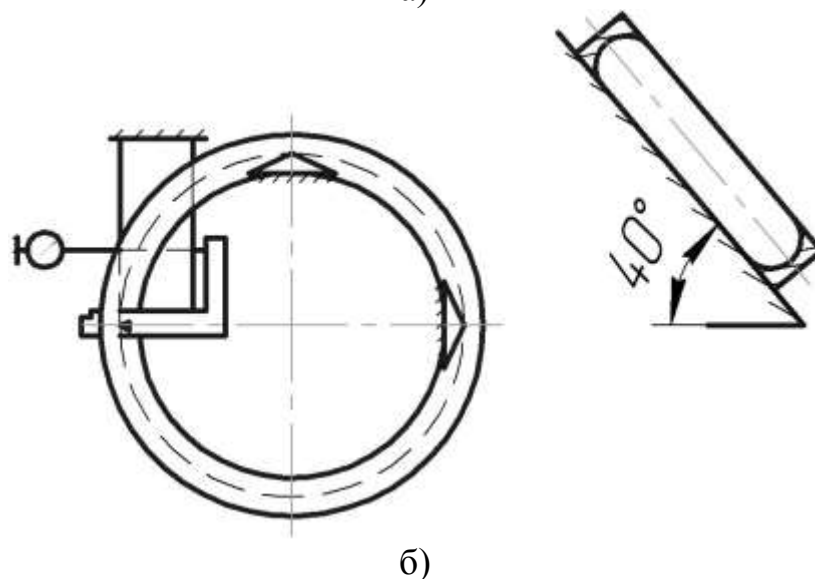
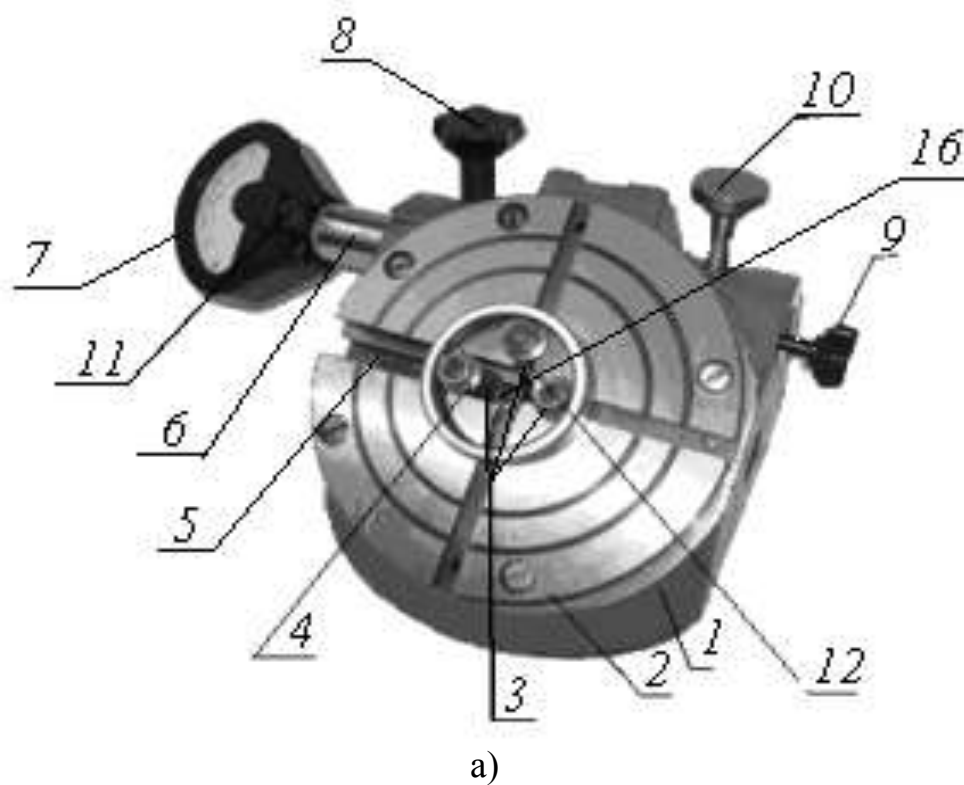


Рис. 2. Фото прибора УД-1В (а) и схема измерений (б) диаметра желоба наружного кольца подшипника

Для регулировки положения дисков на упорах по высоте служат сменные втулки 16. Упорами 3 и 4 производится контроль как внутреннего, так и наружного диаметра колец.

Контроль диаметров дорожки качения внутренних колец производится также на приборе мод. УД-1В (рис. 3). Отличие заключается в настройке двух неподвижных 3 и одного подвижного 4 упоров.



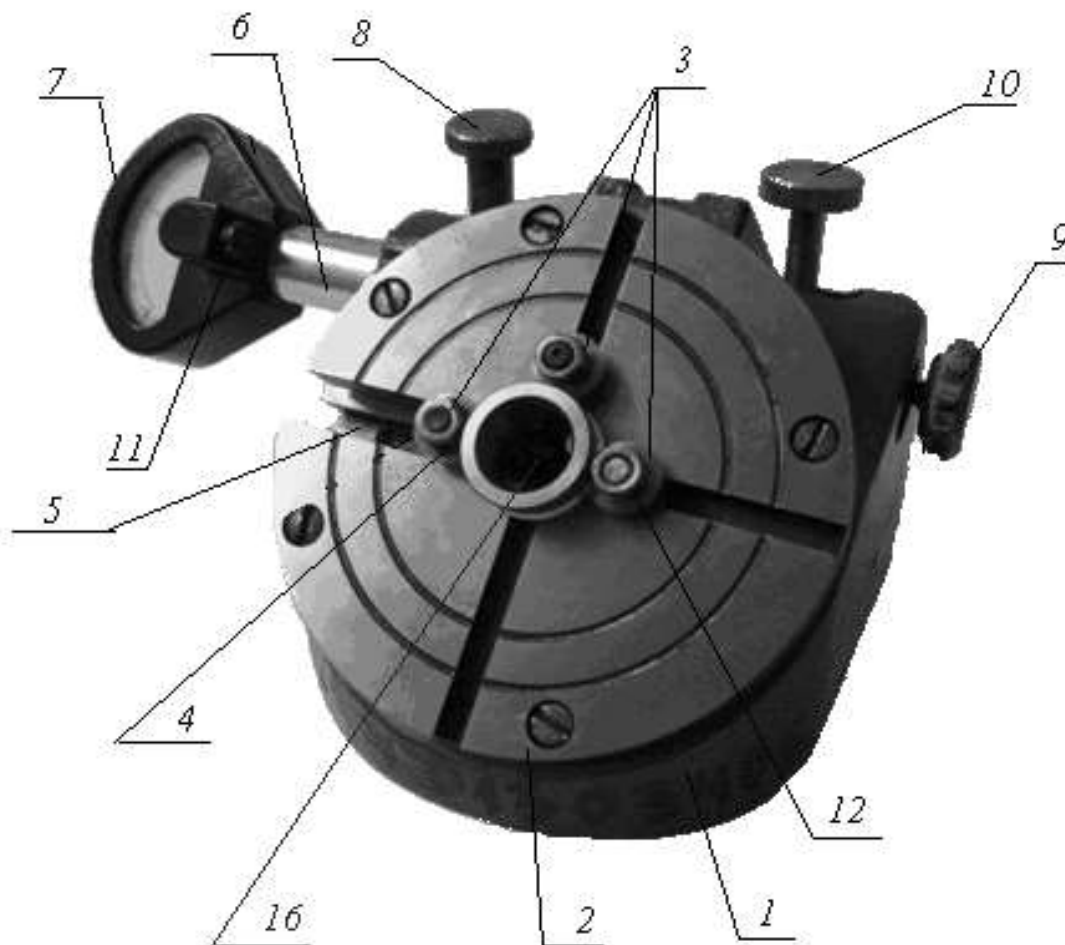


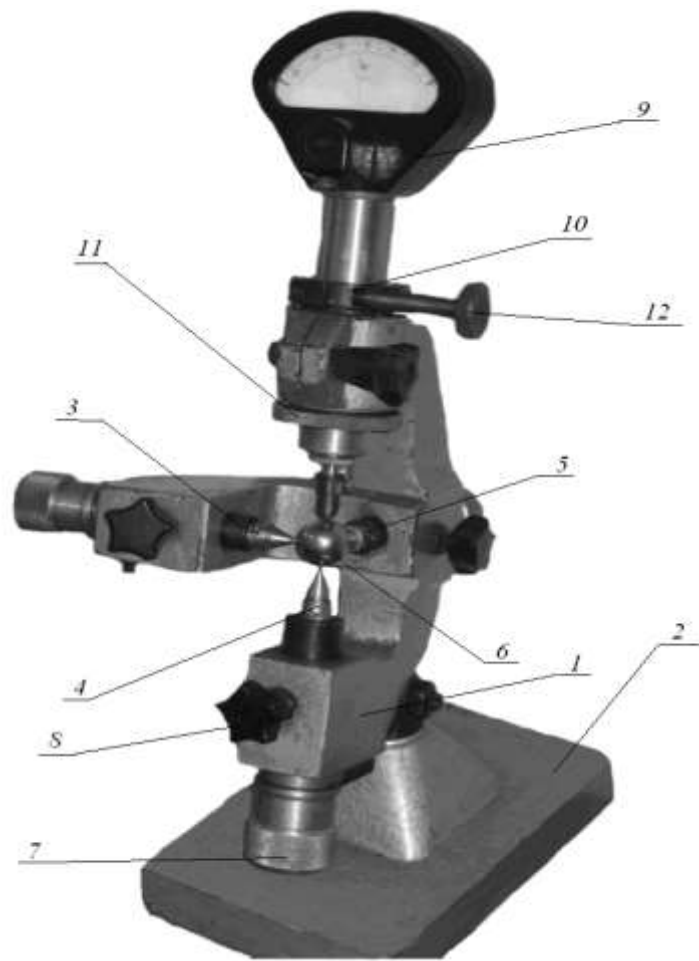
Рис. 3. Фото прибора УД-1В для измерения диаметра желоба внутреннего кольца подшипника

### 3.3. Прибор для измерения диаметра шариков мод. 262-2М

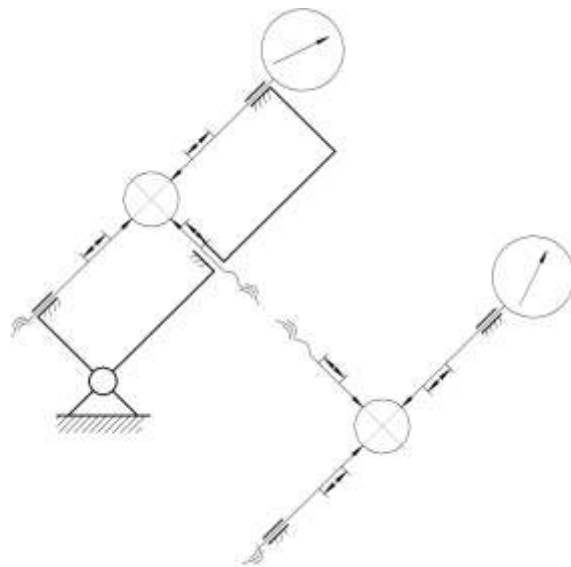
Прибор предназначен для измерения овальности и огранки шариков методом непосредственной оценки (рис. 4).

Прибор состоит из чугунного корпуса 1, шарнирно закрепленного на основании 2. В корпусе установлены три перемещающиеся пиноли – боковая 3, нижняя 4 и задняя 5, – служащие для установки шарика на измерительной позиции. Пиноли оснащены наконечниками, на которых базируется измеряемый шарик 6. Гайкой 7 пиноль перемещается в осевом направлении и фиксируется ее положение винтом 8. Оси пинолей взаимно перпендикулярны и пересекаются в одной точке.

В верхней части корпуса расположен узел микроподачи, служащий для тонкой настройки измерительной головки 9. Головка вставляется в подпружиненную втулку узла и зажимается винтом 10, находящимся на втулке. Втулка с измерительной головкой перемещается гайкой 11 и зажимается в кронштейне зажимной гайкой 12.



а)



б)

Рис. 4. Фото прибора 262-2М (а) и схема измерений (б) диаметра шарика подшипника

### 3.4. Прибор для измерения радиального зазора шарикового радиального подшипника мод. Р123

Радиальный внутренний зазор измеряют в соответствии с нормативным документом, утвержденным в установленном порядке, или на приборах по схемам, приведенным на рис. 5 (метод А) или рис. 6 (метод Б, реализован в приборе Р123) [6].

**Метод А** применим ко всем радиальным подшипникам (рис. 5).

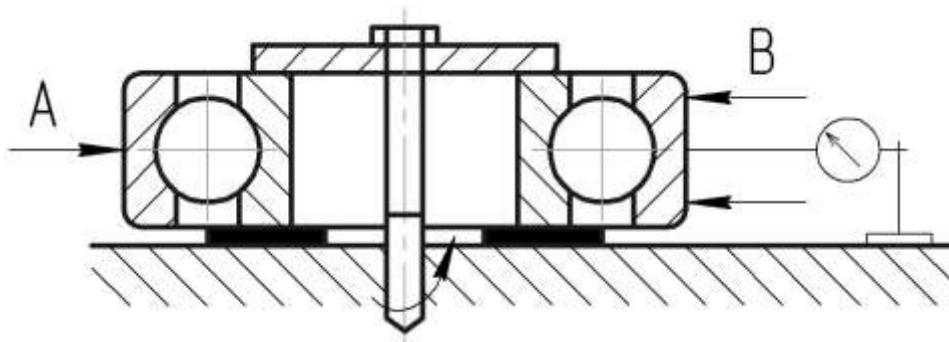


Рис. 5. Схема контроля радиального зазора подшипника по методу А

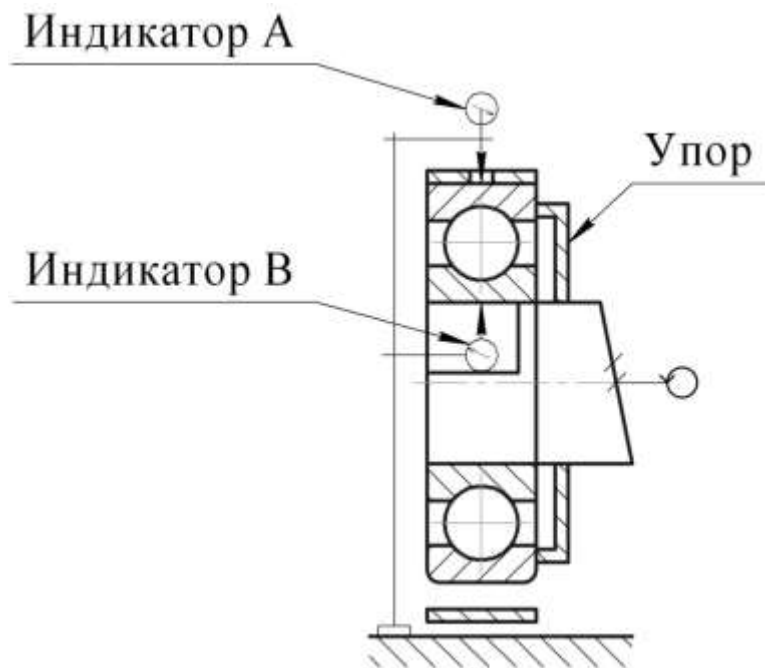


Рис. 6. Схема контроля радиального зазора подшипника по методу Б

Закрепить внутреннее кольцо собранного подшипника на поверочной плите с прокладкой, вставленной между внутренним кольцом и поверочной плитой. Установить наконечник измерителя на наружной поверхности внешнего кольца в плоскости середины дорожки качения. Удерживать наружное кольцо в контакте с опорой подшипника в направлении А, стараясь не поднимать противоположную сторону.

Неоднократно переместить наружное кольцо в данной точке вверх и вниз по оси и произвести колебание по окружности (с целью перемещения шариков в нижнюю часть дорожки качения) до тех пор, пока прибор не даст постоянное максимальное показание.

Скомпенсировать возможную некруглость наружного и внутреннего колец путем повторения одной и той же процедуры несколько раз в различных угловых положениях. Разность между минимальным и максимальным измеренными показаниями есть измеренный радиальный внутренний зазор. Среднее значение нескольких измерений есть радиальный внутренний зазор  $Gr$  подшипника.

**Метод Б** применим к желобным шариковым подшипникам, радиальным цилиндрическим и сферическим роликовым подшипникам (рис. 6). Поместить собранный подшипник на плотно подогнанную жесткую оправку. Установить прибор  $A$  по наружной поверхности наружного кольца в плоскости середины дорожки качения. Установить прибор  $B$  на поверхности отверстия внутреннего кольца в плоскости середины дорожки качения. Привести во вращение внутреннее кольцо и сместить наружное кольцо в радиальном направлении под измерительной нагрузкой, приблизительно составляющей 0,5 % базовой динамической грузоподъемности  $C_r$ , рассчитанной в соответствии с ГОСТ 18855–2013.

Записать средние показания приборов  $A$  и  $B$ . Изменить направление радиальной нагрузки и записать средние показания приборов  $A$  и  $B$ . Записать разности  $\Delta A$  и  $\Delta B$  между двумя сериями показаний. Повторить измерения дважды после каждого поворота кольца на  $120^\circ$  (всего три измерения). Радиальный внутренний зазор подшипника  $Gr$  есть среднее из трех измерений.

На чугунной станине прибора Р123 смонтированы узел крепления и механизм нагружения проверяемых подшипников (рис. 7). Проверяемый подшипник устанавливают на сменную оправку прибора и притягивают торцом внутреннего кольца к заплечику оправки посредством затяжного болта и разрезной шайбы. Наружное кольцо подшипника перемещают поочередно вверх и вниз при помощи грузов через рычаги и специальные чувствительные упоры. Управляют нагружением при помощи рукоятки, соединенной с кулачковым валиком, действующим на грузы через рычаги. Радиальный зазор определяют по отклонению стрелки измерительной головки, передающий рычаг которой во время измерения постоянно касается поверхности наружного диаметра подшипника.

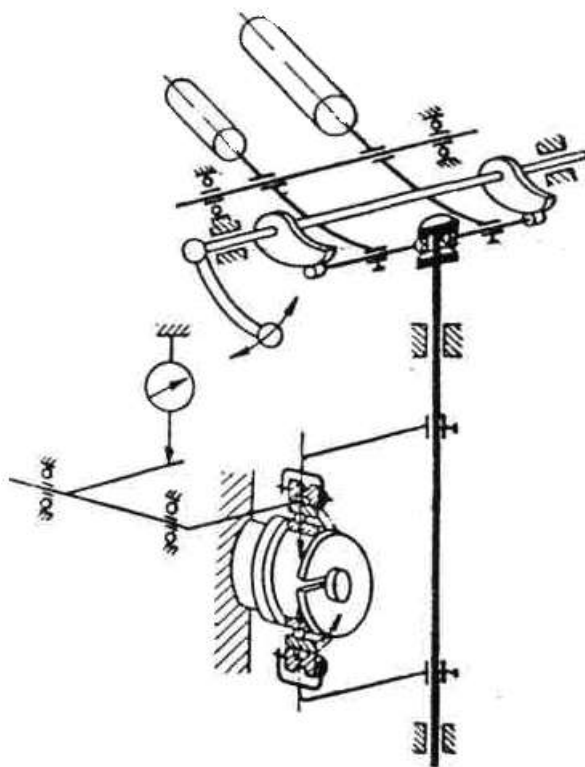


Рис. 7. Схема измерений радиального зазора подшипника прибором Р123

#### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Работа выполняется в соответствии с маршрутно-операционной картой шариковых радиальных подшипников (прил. 1). Наружные и внутренние кольца и тела качения (шарики) обработаны по действующему технологическому процессу в условиях ОАО «ППЗ-14» (г. Прокопьевск), выполнена антикоррозионная обработка колец. Ниже приведены только основные операции контроля и сборки (исключая предварительную сортировку, установку заклепок, окончательную сборку, промывку и другие).

1. Ознакомиться с методом групповой взаимозаменяемости и принципами построения номограммы подборки радиальных шариковых подшипников при рассортировке колец на группы при сборке подшипников.

2. Выполнить окончательную сортировку (селекцию) наружных колец по диаметру желоба на приборе УД-1В. Для измерения прибор настраивается по эталонному кольцу или кольцу из партии, аттестованному по контролируемым размерам, отмеченным сектором в направлении ползуна. В соответствии с размерами кольца подбирается набор сменных деталей, и устанавливаются упоры 3 в пазу плиты 2 и упор 4 ползуна 5 (рис. 2, а). Затем по установленному эталонному кольцу 14 упоры закрепляются в требуемом положении, дается натяг пружинам ползуна и регулируется величина его перемещения. На приборе закрепляется измерительная головка 7, стрелка ее устанавливается на «ноль» шкалы винтом 9, который стопорит-

ся винтом 10. После окончания наладки приступают к измерениям, для чего эталонное кольцо заменяют контролируемым. При измерении кольцо вращают рукой. Отклонение стрелки измерительной головки покажет величину отклонения диаметра дорожки качения кольца. Сортировка производится на группы размеров желобов  $A_{01}$  через 0,002 мм. Результаты измерений заносятся в протокол.

3. Выполнить окончательную сортировку (селекцию) внутренних колец по диаметру желоба на приборе УД-1В. Для измерения прибор настраивается по эталонному кольцу или кольцу из партии, аттестованному по контролируемым размерам, отмеченным сектором в направлении ползуна. В соответствии с размерами кольца подбирается набор сменных деталей, и устанавливаются упоры 3 в пазу плиты 2 и упор 4 ползуна 5 (рис. 3). Затем по установленному эталонному кольцу 14 упоры закрепляются в требуемом положении, дается натяг пружинам ползуна и регулируется величина его перемещения. На приборе закрепляется измерительная головка 7, стрелка ее устанавливается на «нуль» шкалы винтом 9, который стопорится винтом 10. После окончания наладки приступают к измерениям, для чего эталонное кольцо заменяют контролируемым. При измерении кольцо вращают рукой. Отклонение стрелки измерительной головки покажет величину отклонения диаметра дорожки качения кольца. Сортировка производится на группы размеров желобов  $A_{02}$  через 0,002 мм. Результаты измерений заносятся в протокол.

4. Выполнить укладку рассортированных колец по размерам в кассеты в порядке последовательности сортированных групп и в соответствии с линейкой для разбивки веера наружных и внутренних колец подшипника.

5. Выполнить окончательную сортировку (селекцию) шариков на приборе 262-2М. Для измерения овальности шариков измерительная головка 9 и пиноли 3, 4 и 5 оснащаются наконечниками. Установив на наконечники шарик, регулируют вылет пинолей так, чтобы центр шарика находился на оси измерения. Такому положению соответствует максимальное отклонение стрелки измерительной головки. После настройки прибора положение измерительной головки и пинолей должно быть зафиксировано. После наладки приступают к измерению шариков, установку которых на измерительную позицию производят плавно, без ударов. При измерении шарик вращают вручную вокруг его оси. Величина овальности определяется как разность наибольшего и наименьшего диаметров, измеренных в различных сечениях. Сортировка производится на группы размеров  $A_{03}$  через 0,001 мм. Результаты измерений заносятся в протокол.

7. Выполнить комплектовку наружных и внутренних колец с шариками без последнего. Для этого определить середину веера наружных и внутренних колец; исходя из этого по номограмме (прил. 2) подобрать партию шариков (7 шт.) с соответствующим диаметром. Установить наружное кольцо на поверхность стола, установить внутреннее кольцо в

наружное, после чего кольца сомкнуть. Взять шесть подобранных шариков, установить их между кольцами, сомкнуть внутренне кольцо с наружным и при помощи иглы распределить шарики равномерно по окружности. Установить ложный сепаратор.

8. Контроль радиального зазора и легкости вращения на приборе Р123. Для этого скомплектованный подшипник устанавливается на прибор и микрокаторной головкой с ценой деления 0,001 мм производится измерение радиального зазора.

9. Выполнить окончательную сборку, для чего извлечь ложный сепаратор и вставить в подшипник последний 7-й шарик. Для этого иглой разогнать шарики на одну половину окружности дорожек качения (рис. 8). Последний шарик вставлять внутрь желоба наружного кольца.

10. Далее выполняются операции 050-090 типового технологического процесса сборки шариковых радиальных подшипников (прил. 1).

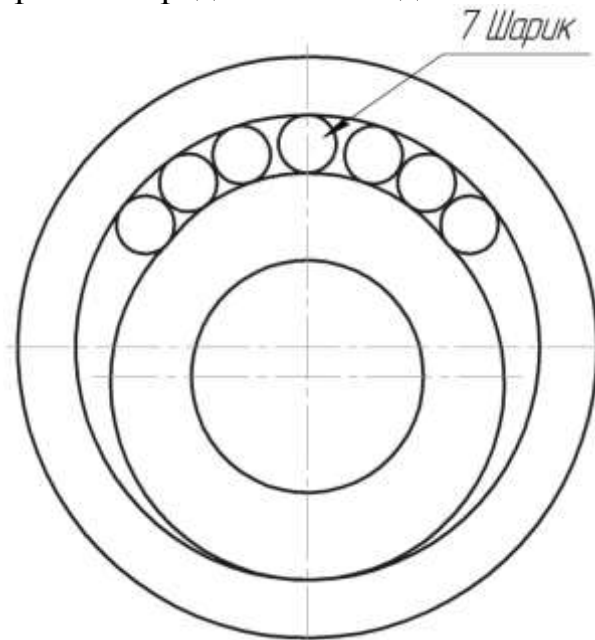


Рис. 8. Схема установки 7-го шарика

## 5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

При выполнении лабораторной работы следует придерживаться следующих правил.

1. Предварительно ознакомиться с устройством и принципом действия измерительных приборов.

2. Перед измерениями следует тщательно протирать измеряемые кольца и шарики.

3. Следует правильно устанавливать микрокаторную головку, не повреждая измерительный наконечник и индикатор.

4. Во избежание выхода из строя индикатора следует правильно произвести его настройку на «нуль», создав предварительный натяг.

5. Следует правильно без ударов устанавливать испытываемую деталь. При этом нагрузка при измерении не должна превышать допустимую.

6. После окончания эксперимента привести рабочее место в исходное состояние.

## 6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: цель и задачи работы, теоретические положения (кратко), перечень применяемых средств технологического оснащения.

Приводятся исходные параметры подшипника, результаты экспериментов заносятся в соответствующие графы табл. 1.

Таблица 1

Результаты контроля колец и тел качения

Номер или размерная группа	Диаметры дорожек качения колец (отклонения от номинала)		Номер или размерная группа тел качения	Диаметры тел качения (отклонения от номинала)
	наружных	внутренних		

Приводятся схемы измерений. Оценивается собираемость подшипников в соответствии с группами колец и тел качения.

Формулируется и записывается выводы по лабораторной работе.

При оформлении отчета следует придерживаться правил, регламентированных ГОСТ 2.105-95. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.

## 8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 50-635-87. Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей. – Москва: Издательство стандартов, 1987. – 44 с.

2. Солонин И. С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И. С. Солонин, С. И. Солонин. – Москва: Машиностроение, 1980. – 110 с.

3. Новиков М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов. – 5-е изд., испр. и доп. – Москва: Машиностроение, 1980. – 592 с., ил.

4. Допуски и посадки. Справочник: в 2-х ч. / В. Д. Мягков, М. А. Палей, А. Б. Романов, В. А. Брагинский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – Ч. 2. – 448 с., ил.



5. Зябрева Н. Н. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. Пособие к решению задач / Н. Н. Зябрева, Е. И. Перельман, М. Я. Шегал. – Москва: Высшая школа, 1977. – 208 с.

6. ГОСТ 520-2002. Подшипники качения. Общие технические условия.

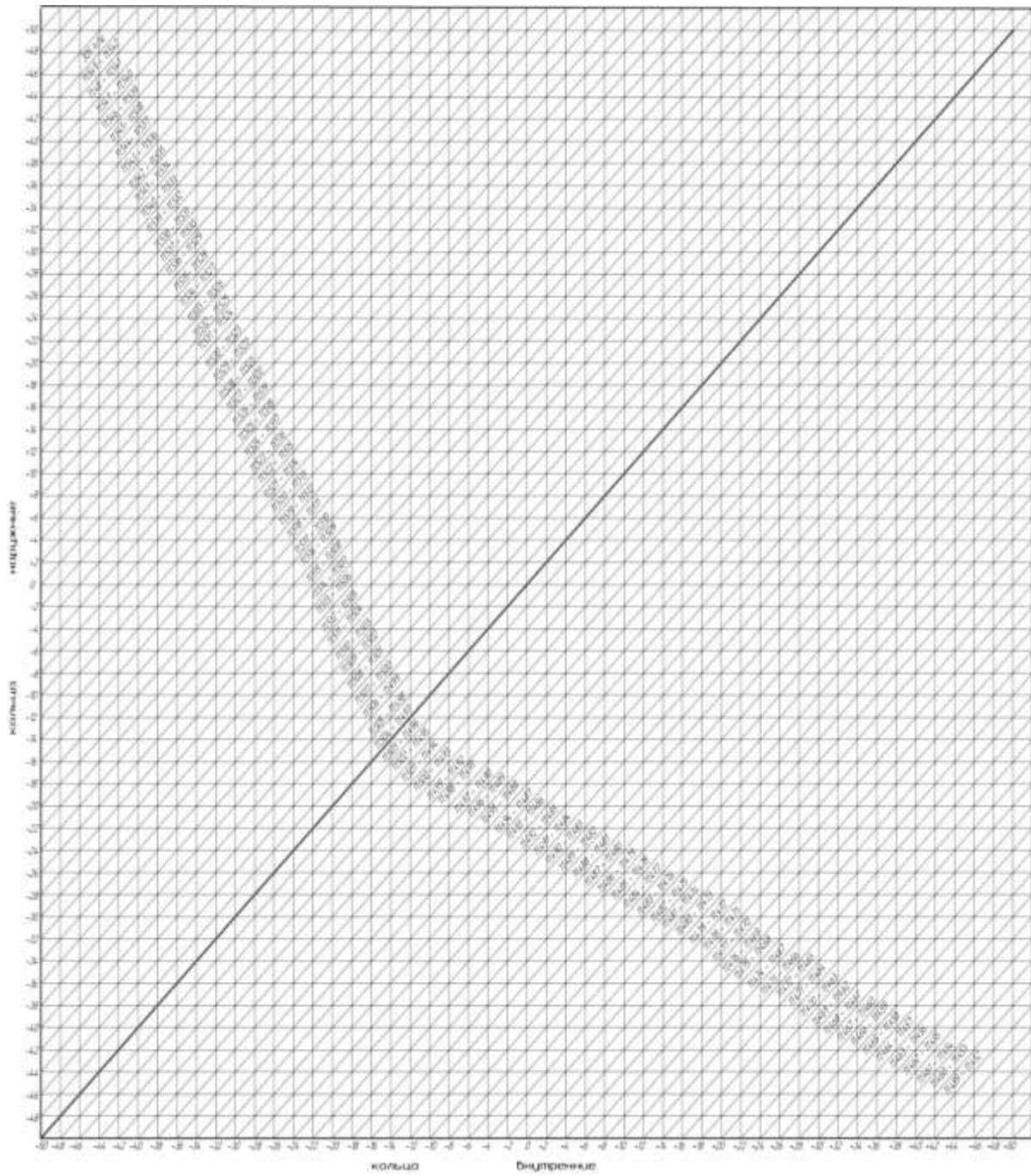
## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### **Типовой технологический процесс сборки шариковых радиальных подшипников**

- 005. Сортировать предварительно наружные кольца по диаметру желоба на группы через 0,01 мм. Прибор УД-1В, цена деления микрокаторной головки 0,01 мм.
- 010. Сортировать предварительно внутренние кольца по диаметру желоба на группы через 0,01 мм. Прибор УД-1В, цена деления микрокаторной головки 0,01 мм.
- 015. Сортировать окончательно наружные кольца по диаметру желоба на группы через 0,002 мм. Прибор УД-1В, цена деления микрокаторной головки 0,002 мм.
- 020. Сортировать окончательно внутренние кольца по диаметру желоба на группы через 0,002 мм. Прибор УД-1В, цена деления микрокаторной головки 0,002 мм.
- 025. Контроль сортировальных групп.
- 030. Подобрать шарики в соответствии с номограммой.
- 035. Комплектовать наружные и внутренние кольца с шариками (без последнего). Игла для разгонки шариков.
- 040. Разогнать шарики в подшипнике, наложить ложный сепаратор, измерить радиальный зазор. Прибор Р123, цена деления микрокаторной головки 0,001 мм; ложный сепаратор.
- 045. Вставить последний шарик. Приспособление для вставки шарика.
- 050. Вставить заклепки в полусепаратор. Полуавтомат для вставки заклепок.
- 055. Распределить шарики в подшипнике, наложить полусепаратор. Приспособление для разгонки шариков.
- 060. Наложить второй полусепаратор с заклепками.
- 065. Склепать подшипник. Пресс, специальный штамп.
- 070. Проверить качество клепки, легкость вращения. Эталонный подшипник.
- 075. Промыть собранный подшипник. Моечная машина.
- 080. Контроль уровня вибрации собранных подшипников. Прибор для контроля уровня вибрации ЛЦВ-2.
- 085. Консервация подшипников.
- 090. Упаковка подшипников.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Номограмма подбора радиального шарикового подшипника № 6305  
при рассортировке колец на группы через 0,002 мм  
с радиальным зазором 0,01–0,024 мм



# Лабораторная работа №3

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РАЗМЕРНОЙ НАСТРОЙКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

### 1. ЦЕЛЬ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Цель работы – изучение основных методов статической настройки технологической системы «станок – приспособление – инструмент – деталь» на размер обработки и исследование погрешностей настройки.

Содержание работы включает в себя:

- определение составляющих погрешности настройки технологической системы на получаемый размер методом пробных проходов и промеров, по эталонам, по партии пробных заготовок;
- настройку технологической системы на получаемый размер перечисленными методами и обработку заготовок;
- сопоставление расчетной величины погрешности статической настройки технологической системы с экспериментальными данными.

### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОТЫ

Настройкой (наладкой) технологической системы называется процесс первоначального установления требуемой точности положения и относительного движения исполнительных поверхностей инструмента и оборудования или приспособления с целью получения требуемой точности обрабатываемых деталей [1].

При настройке технологической системы методом регулирования рассматривается одна из двух задач:

- настройка для обработки одной детали, используемая в мелкосерийном и единичном производстве. При этом каждая деталь обрабатывается после новой настройки;
- настройка для обработки партии деталей, применяемая в серийном и массовом производстве, когда детали обрабатываются последовательно на предварительно настроенном станке.

В обоих случаях основным методом настройки является метод пробных проходов и промеров. При настройке для обработки партии деталей могут быть использованы методы настройки по эталону, или по ранее обработанной детали. При этом размер, к получению которого необходимо стремиться при настройке технологической системы, называется рабочим настроечным размером  $A_p$ .

Метод настройки по эталону (или по ранее обработанной детали) заключается в том, что режущий инструмент устанавливается на рабочий настроечный размер на выключенном станке с помощью специально изготовленного эталона, представляющего собой прототип детали, обрабатываемой на данной операции. Иногда в качестве эталона используется ранее обработанная на данной операции деталь.

Недостаток этого метода заключается в том, что при такой настройке не учитывается величина упругих деформаций технологической системы – величина упругого отжатия режущих кромок инструмента под действием меняющихся сил резания (так называемый размер динамической настройки  $A_d$  технологической системы).

При настройке методом пробных проходов и промеров настройку технологической системы производят в несколько этапов. Обрабатывается небольшой участок поверхности заготовки, замеряется полученный размер, который сравнивается с рабочим настроечным размером. По результатам сравнения вносится поправка в настройку технологической системы и обрабатывается новый участок поверхности заготовки. Вновь производится сравнение полученного размера с рабочим настроечным и определяется новая поправка в настройку. Процесс повторяется, пока не будет получен рабочий настроечный размер.

### 3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, МАТЕРИАЛЫ

При выполнении лабораторной работы используются:

- токарно-винторезный станок мод. 16К20Ф3;
- микрометр гладкий МК (0–25 мм) ГОСТ 6507–78;
- микрометр рычажный МР (0–25 мм с ценой деления 0,002 мм) ГОСТ 4381-80;
- резец 2103-0713 ГОСТ 20872–80;
- эталон детали;
- патрон 7100-0039 ГОСТ 2675–80;
- заготовки – валы  $\varnothing 28$  мм, длиной 120 мм из стали 45 ГОСТ 2590–2006 в количестве 20 шт.

### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Произвести настройку технологической системы для обработки одной детали в размер  $\varnothing 26_{-0,28}$  мм методом пробных проходов и промеров.

4.1.1. Определить рабочий настроечный размер

$$A_p = A_{cp} = (A^{нб} - A^{нм})/2, \quad (1)$$

где  $A^{нб}$  и  $A^{нм}$  – предельные размеры вала.

4.1.2. Установить в технологическую систему заготовку.

4.1.3. Настроить технологическую систему на рабочий настроечный размер  $A_p$  и режим обработки  $V = 100 \dots 150$  м/мин,  $S = 0,15 \dots 0,17$  мм/об.

4.1.4. Включить станок и сделать пробный рабочий ход длиной 5...7 мм.

4.1.5. Не изменяя настройки станка, отвести резец, выключить станок и произвести измерение диаметра обработанной поверхности гладким микрометром.

4.1.6. Ввиду упругого отжатия режущей кромки инструмента размер детали после обработки  $A_{изм1}$  получится больше первоначального рабочего настроечного размера  $A_p$  на величину размера динамической настройки технологической системы  $A_\delta$ .

4.1.7. Поправка к величине рабочего настроечного размера составляет

$$\Delta A_1 = (A_{изм1} - A_p)/2. \quad (2)$$

4.1.8. Настроить технологическую систему на размер статической настройки

$$A_{p1} = (A_p - \Delta A_1)/2. \quad (3)$$

4.1.9. Обработать следующий участок заготовки на тех же режимах. Измерить полученный размер и определить величину поправки ко второму рабочему настроечному размеру

$$\Delta A_2 = (A_{изм2} - A_{p1})/2. \quad (4)$$

4.1.10. Размер статической настройки для третьего этапа составит

$$A_{p2} = (A_{p1} - \Delta A_2)/2. \quad (5)$$

4.1.11. Процесс повторяется до получения рабочего настроечного размера, измеренного с доступной точностью.

4.1.12. На настроенном таким образом станке произвести обработку оставшейся части заготовки.

4.1.13. Замерить полученный после обработки действительный диаметр детали  $D$  рычажным микрометром и определить отклонение этого диаметра от рабочего настроечного размера  $A_{pi}$ , на который был настроен станок

$$A_n^0 = D - A_{pi}. \quad (6)$$

4.1.14. Определить погрешность настройки технологической системы по лимбу станка

$$\Delta_n = 2,4 \sqrt{\Delta_{изм}^2 + \Delta_{рег}^2}, \quad (7)$$

где  $\Delta_{рег}$  – погрешность регулирования (установки) резца на размер в поперечном направлении (табл.1 приложения);  $\Delta_{изм}$  – погрешность измерения наружных размеров (табл. 2 приложения).

4.2. Произвести настройку технологической системы по эталону.

4.2.1. Рассчитать предварительный диаметр эталона

$$D'_3 = (D^{нб} - D^{нм})/2, \quad (8)$$

где  $A^{нб}$  и  $A^{нм}$  – предельные размеры вала по чертежу (рис. 1).

4.2.2. Установить и закрепить эталон, изготовленный по предварительному размеру  $D'_3$  на станке.

4.2.3. Настроить станок на режим обработки, указанный в п.п. 4.1.3.

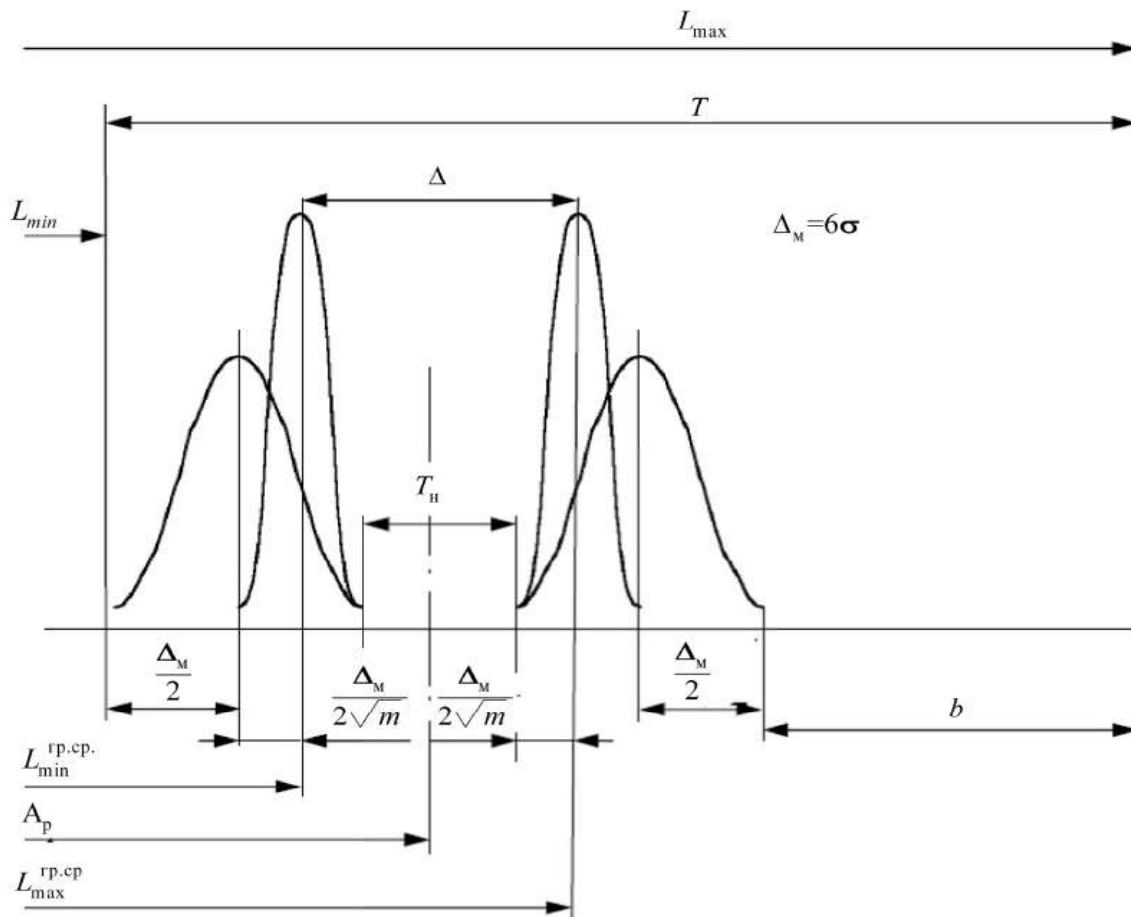


Рис. 1. Схема настройки технологической системы для обработки партии заготовок

4.2.4. Подвести резец, установленный в резцедержателе к эталону до касания его режущей кромки с поверхностью эталона.

4.2.5. Обработать на настроенном таким образом станке партию из десяти заготовок ( $N=10$ ).

4.2.6. Замерить диаметры обработанных деталей и по результатам измерения определить математическое ожидание размера

$$M(D) = \frac{\sum_{n=1}^N D_n}{N} \quad (9)$$

и среднее квадратическое отклонение размеров

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N [M(D) - D_n]^2}{N}}, \quad (10)$$

где  $D_n$  – диаметры обработанных деталей.

4.2.7. Определить рабочий настроечный размер технологической системы

$$A_p = D^{HM} + 3\sigma. \quad (11)$$

4.2.8. Рассчитать величину поправки к предварительному диаметру эталона

$$\Delta_{nonp} = M(D) - A_p. \quad (12)$$

4.2.9. Определить окончательный диаметр эталона

$$D_э = (D'_э - \Delta_{nonp}) \pm 0,5TЭ, \quad (13)$$

где  $TЭ$  – допуск на изготовление эталона, принимается в пределах (10–15)% от допуска на диаметр готовой детали (рис. 1).

4.2.10. Произвести настройку технологической системы по эталону, имеющему окончательный диаметр  $D_э$ , повторив действия п.п. 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4.

4.2.11. Обработать на настроенном таким образом станке одну деталь, измерить полученный диаметр  $D$  детали рычажным микрометром и определить отклонение этого диаметра от диаметра эталона  $D_э$

$$\Delta^э = D - D_э. \quad (14)$$

4.2.12. Определить погрешность настройки технологической системы по эталону

$$\Delta_n = 1,2 \sqrt{\Delta_{эм}^2 + \Delta_{рег}^2}, \quad (15)$$

где  $\Delta_{рег}$  – погрешность регулирования (установки) резца на размер в поперечном направлении (табл. 1 приложения);  $\Delta_{эм}$  – погрешность изготовления эталона и установки его на станке (принимается равной 0,02–0,04 мм).

4.3. Произвести настройку технологической системы методом пробных проходов и промеров для обработки партии деталей.

Обработка крупных партий заготовок на настроенных станках сопровождается достаточно интенсивным износом режущего инструмента, оказывающим заметное влияние на точность размеров деталей после обработки. В этом случае возникает задача рационального расположения возможного поля рассеивания размеров деталей, порождаемого совокупным действием случайных факторов, в поле допуска на размер, с целью использования части этого поля для компенсации размерного износа режущего инструмента.

На рис. 2 приведена схема определения рабочего настроечного размера при настройке технологической системы для обработки партии деталей типа валов (рассмотрен вариант обеспечения заданной точности охватываемых размеров – наружных диаметров шеек вала).

Схема настройки технологической системы построена таким образом, что часть общего поля  $T$  допуска на размер используется для компенсации погрешности настройки  $T_n$ , часть  $\Delta_m$  предназначается для компенсации погрешности, вызванной действием случайных факторов и часть  $b$  – для компенсации погрешности, вызываемой действием систематических факторов, например износом режущего инструмента.

Настройка технологической системы по рассматриваемой схеме выполняется в следующей последовательности.



4.3.1. Определить наименьшее предельное значение группового среднего размера

$$L_{min}^{sp.cp} = L_{min} \frac{\Delta_m}{2} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{m}}\right), \quad (16)$$

где  $L_{min}$  – наименьший предельный размер детали после обработки;  $\Delta_m$  – мгновенное поле рассеивания размеров деталей в процессе обработки, определяемое по данным табл. 3 приложения;  $m$  – число пробных заготовок, по которым будет производиться настройка технологической системы (принять  $m = 5$ ).

4.3.2. Вычислить минимальную необходимую по условиям выполнения данной операции величину допуска на погрешность настройки

$$T_n = 2,4 \sqrt{\Delta_{рег}^2 + \Delta_{изм}^2}, \quad (17)$$

где  $\Delta_{рег}$  – погрешность регулирования (установки) реза на размер в поперечном направлении (табл. 1 приложения);  $\Delta_{изм}$  – погрешность измерения наружных размеров (табл. 2 приложения).

4.3.3. Определить наибольшее предельное значение группового среднего размера

$$L_{max}^{sp.cp} = L_{min}^{sp.cp} + T_n. \quad (18)$$

4.3.4. Определить величину рабочего настроечного размера

$$A_p = (L_{max}^{sp.cp} + L_{min}^{sp.cp})/2. \quad (19)$$

4.3.5. Определить часть допуска  $b$ , предназначенную для компенсации систематической переменной погрешности размера деталей, вызванной износом режущего инструмента

$$b = T - \Delta_m \left(1 + \frac{1}{\sqrt{m}}\right) - T_n, \quad (20)$$

где  $T$  – допуск на размер детали (рис.1).

4.3.6. Настроить технологическую систему на рабочий настроечный размер  $A_p$  и режим обработки, указанный в п.п. 4.1.3, и обработать группу из пяти пробных деталей ( $M = 5$ ).

4.3.7. Замерить получившиеся диаметры деталей рычажным микрометром и определить среднее арифметическое значение размеров

$$L^{sp.cp} = \frac{\sum_{m=1}^M L_m}{M}, \quad (21)$$

где  $L_m$  – диаметры обработанных пробных деталей.

Если полученное значение  $L^{sp.cp}$  находится в интервале от  $L_{max}^{sp.cp}$  до  $L_{min}^{sp.cp}$  технологическая система настроена с достаточной точностью, и можно начинать обработку партии заготовок.

4.3.8. Если условие, указанное в п.п. 4.3.7 не выполняется, следует определить поправку к рабочему настроечному размеру

$$\Delta_{нопр} = (L^{sp.cp} - A_p)/2, \quad (22)$$

и внести ее с получившимся знаком в рабочий настроечный размер технологической системы, как это делалось при настройке системы методом пробных проходов и промеров (п.п. 4.1.8).

4.3.9. Повторить действия, указанные в п.п. 4.3.6, 4.3.7, т. е. произвести поднастройку технологической системы методом пробных проходов и промеров. Проверить выполнение условия, изложенного в п.п. 4.3.7.

4.3.10. Определить теоретическую величину погрешности настройки технологической системы

$$\Delta_n^T = 2,4 \sqrt{\Delta_{рег}^2 + \Delta_{изм}^2 + \Delta_{расч}^2}, \quad (23)$$

где  $\Delta_{рег}$  – погрешность регулирования (установки) резца на размер в поперечном направлении (табл. 1 приложения);  $\Delta_{изм}$  – погрешность измерения наружных размеров (табл. 2 приложения);  $\Delta_{расч}$  – погрешность метода расчета рабочего настроечного размера, определяемая из выражения

$$\Delta_{расч} = \Delta_m / \sqrt{m}. \quad (24)$$

4.3.11. Оценить точность технологической системы. Для этого в соответствии с требованиями ГОСТ 14467–70 рассчитать показатель уровня настройки по формуле

$$K_n = |L^{сп.сп} - A_p| / T, \quad (25)$$

где  $T$  – допуск на размер детали (рис.1), и сравнить его с предельно допустимым значением показателя уровня настройки, определяемым из выражения

$$K_{н.д} = (T - 6\sigma) / 2T. \quad (27)$$

Здесь  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение размеров в пробной партии деталей, определяемое по формулам (10) и (11).

При выполнении условия  $K_n \leq K_{н.д}$  настройка технологической системы может быть признана удовлетворительной.

## 5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Оформление отчета производится в соответствии требованиями ГОСТ 2.105-2002 «Общие требования к текстовым документам». Результаты измерений и расчетов оформляются в табличной форме. По результатам работы должны быть сделаны выводы о достоинствах и недостатках различных методов настройки технологических систем.

### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюменштейн В. Ю. Основы технологии машиностроения [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Клепцов / Кузбас. гос. техн. ун-т им Т.Ф. Горбачева – Кемерово, 2017. 310 с. <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90376&type=utchposob:common>

2. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. – Москва: Машиностроение, 2003. – Т. 1 / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – Москва, 2003.

3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. – Москва: Машиностроение, 2003. – Т. 2 / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – Москва, 2003.

4. Обработка металлов резанием: справочник технолога / под ред. А. А. Панова. – Москва: Машиностроение, 2004.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1

Величины погрешностей регулирования (установки) резца на размер  
в поперечном направлении при настройке станков токарной группы

Метод установки и контроля положения резца	$\Delta_{рез}$ , мкм
По лимбу с ценой деления в мм:	
0,01	5–10
0,02	10–15
0,03	10–30
0,05	15–30
0,1–0,5	30–70
По эталону:	
– резец закрепляется винтами резцедержателя после касания его режущих кромок с поверхностью эталона;	100–130
– резец, закрепленный в резцедержателе, подводится к эталону винтом поперечной подачи станка;	20–30
– то же, но с контролем положения резца с помощью бумажного щупа;	10–20
– то же, но с контролем положения резца с помощью металлического щупа.	7–10

Таблица 2

Предельные допустимые погрешности измерения наружных диаметров валов

Наименование измерительного средства	Интервалы размеров, мм						
	1–18	18–30	30–50	50–80	80–120	120–180	180–260
Предельные погрешности измерения, мкм							
Штангенциркули с отсчетом по нониусу с ценой деления: 0,1 мм 0,05 мм	150		160	170	190	200	
	80		90	100			
Микрометры гладкие при настройке на ноль по установочной мере	5,5	6,5	7,5	9,5	13	17	22

Таблица 3

Значения мгновенного поля рассеивания размеров при обработке заготовок на токарных и токарно-револьверных станках и автоматах

Размер, мм	Значения $\Delta_m$ , мкм							
	Токарные станки				Токарно-револьверные станки и автоматы			
	Жесткость технологической системы, кгс/мм			Средняя сила резания, кгс	Жесткость технологической системы, кгс/мм			Средняя сила резания, кгс
	400– 600	600– 1000	1000– 1500		600– 1000	1000– 1500	1500– 2000	
1–3	27	13	12	До 5	22	16	9	До 5
	28	14	13	5–10	24	17	10	5–12
	29	15	14	10–15	26	18	11	12–20
3–6	30	16	13	До 5	28	19	10	До 5
	31	17	14	5–10	30	20	11	5–12
	32	18	15	10–15	32	21	12	12–20
6–10	33	19	14	До 5	34	22	11	До 5
	34	20	15	5–10	36	23	12	5–12
	35	21	16	10–15	38	24	13	12–20
10–18	36	22	15	До 5	40	25	12	До 5
	37	23	16	5–10	42	26	13	5–12
	38	24	17	10–15	44	27	14	12–20
18–30	39	25	16	До 5	46	28	13	До 5
	40	26	17	5–10	48	29	14	5–12
	41	27	18	10–15	50	30	15	12–20
30–50	42	28	17	До 5	52	31	14	До 5
	43	29	18	5–10	54	32	15	5–12
	44	30	19	10–15	56	33	16	12–20
50–80	45	31	18	До 5	58	34	15	До 5
	46	32	19	5–10	60	35	16	5–12
	47	33	20	10–15	62	36	17	12–20
80–100	48	34	19	До 5	64	37	18	До 5
	49	35	20	5–10	66	38	19	5–12
	50	36	21	10–15	68	39	20	12–20

# **Лабораторная работа №4**

## **ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ ДЛЯ ПЕРВОЙ ОПЕРАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Целью работы является изучение методики и получение практических навыков выбора технологических баз для первой операции механической обработки деталей и анализа технологических размерных цепей при проектировании технологических процессов.

В результате выполнения работы студентом на основании расчета технологических размерных цепей должен быть произведен выбор технологических баз для первой операции механической обработки детали.

Исходные данные включают в себя чертеж детали с техническими требованиями, а также формулировку основной задачи, которая должна быть решена при обработке детали.

Исходные данные определяются приложением.

### **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Выбор технологических баз для первой операции является весьма ответственным этапом, определяющим качество детали после выполнения всего технологического процесса. Вместе с тем, выбор баз для первой операции представляет собой сложную задачу, так как ее решение предопределяется целью, которую технолог ставит при проектировании технологического процесса обработки детали.

Выбор технологических баз при обработке детали начинается с анализа служебного назначения детали и функций, выполняемых отдельными поверхностями, а также размерными связями между ними. В результате анализа определяются поверхности, являющиеся основными конструкторскими базами детали, поверхности, относительно которых задано положение большинства других поверхностей. Для достижения заданной точности размеров деталей наикратчайшим путем именно эти поверхности должны использоваться в качестве технологических баз на большинстве операций технологического процесса.

Поверхности, выбранные в качестве технологических баз для большинства операций механической обработки детали, как правило, обрабатываются на первой операции. При этом возникает задача выбора баз для первой операции, когда заготовка еще не имеет обработанных поверхностей. Обычно существует несколько вариантов базирования заготовки на первой операции механической обработки заготовки. Окончательный выбор того или иного варианта определяется задачей, поставленной технологом при изготовлении детали.

При выборе технологических баз для первой операции механической обработки заготовки принципиально решается одна из двух задач:

– обеспечение равномерного припуска на одной из обрабатываемых поверхностей заготовки с целью обеспечения на этой поверхности плотного равномерного слоя материала или получения равномерного припуска при обработке для исключения влияния технологической наследственности (копирования погрешности заготовки) и сокращения трудоемкости обработки заготовки;

– обеспечение положения обрабатываемых поверхностей деталей относительно необрабатываемых, заданного служебным назначением детали (получение равномерной толщины полок, стенок и т. п.)

Результат решения одной из выбранных задач обнаруживается не сразу после первой операции, а на последующих этапах механической обработки детали. Следовательно, избрав целью решение одной из перечисленных задач, необходимо найти то место в технологическом процессе, где намеченная схема базирования на первой операции проявит себя с интересующей технолога точки зрения. Следуя от этого места к началу обработки детали, а если необходимо, то и к чертежу заготовки, необходимо проанализировать путь решения выбранной задачи и оценить результаты решения.

Варианты базирования заготовки анализируются с помощью технологических размерных цепей, вскрывающих связь операций в образовании размера детали.

Выявление такого рода размерных связей рекомендуется начинать с операции, на которой завершается решение поставленной задачи. При этом возможны два случая:

– точность размера обеспечивается в пределах этой операции (если в качестве одной из технологических баз используется поверхность, от которой задан размер): в этом случае точность получаемого размера достигается с помощью размерной цепи технологической системы (станок - приспособление – инструмент – деталь) этой операции, и обеспечивается настройкой этой технологической системы;

– получаемый размер является замыкающим звеном размерной цепи (как правило, трехзвенной), в которой одним из составляющих звеньев является настроечный размер технологической системы, а другим – размер, полученный на одной из предшествующих операций. Рассматривая последний, как замыкающее звено размерной цепи, возникающей на предшествующей операции, можно встретить первый, либо второй случай.

Развитие размерных связей завершается операцией, на которой желаемый размер получается, как замыкающее звено размерной цепи технологической системы, или заготовки детали.

В заключение необходимо отметить, что при выполнении теоретического анализа возможных вариантов базирования заготовки на первой операции нельзя забывать о проблемах практической реализации анализируемых вариантов, так как сложность конструкции и низкая жесткость при-

способления, реализующего ту или иную схему базирования заготовки могут привести к значительной потере точности обработки. В этой связи наилучшим может оказаться вариант, выбранный не на основании теоретических расчетов, а более простые схемы базирования, обеспечивающие высокую жесткость установки заготовки.

### 3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В процессе обработки детали (рис. 1) должна быть решена задача обеспечения равномерного припуска в отверстии  $\varnothing 36^{+0,062}$ .

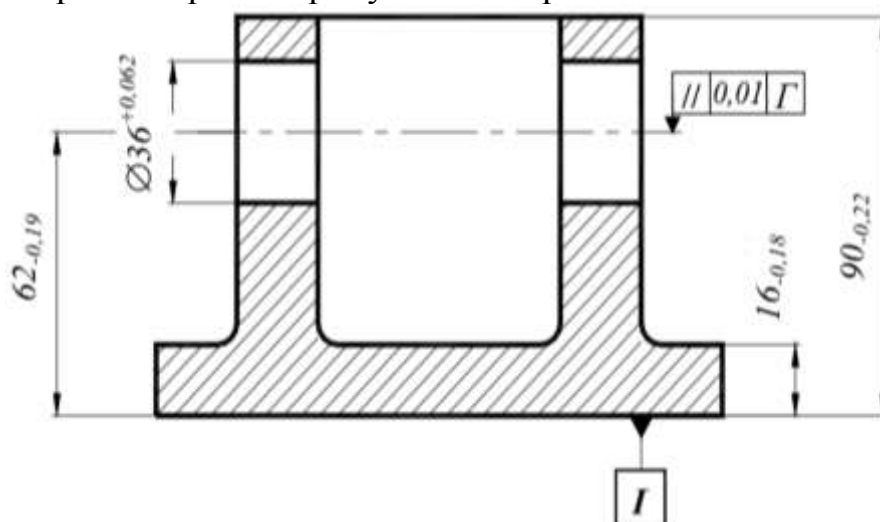


Рис. 1. Эскиз детали – постановка задачи

#### 3.1. Выбор технологических баз для обработки детали.

В качестве технологических баз для большинства операций выбираются основные конструкторские базы детали, либо поверхности, относительно которых задано положение наибольшего количества обрабатываемых поверхностей. В рассматриваемом примере (рис. 1) в качестве установочной технологической базы при растачивании отверстия  $\varnothing 36$ , получения размера  $90$  мм и толщины полки  $16$  мм целесообразно принять поверхность  $\Gamma$ , относительно которой задано большинство размеров и технических требований. Эта поверхность имеет достаточные габариты и протяженность, и удобна для базирования.

Схема базирования заготовки при обработке отмеченных поверхностей показана на рис. 2.



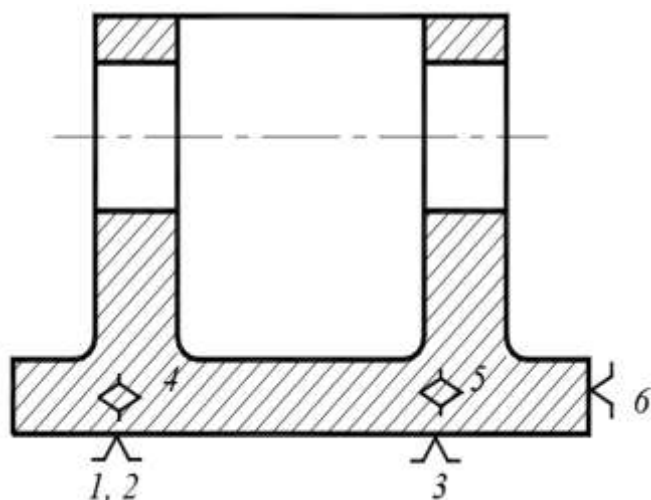


Рис. 2. Схема базирования детали для большинства операций

3.2. Определение технологической операции, на которой решается поставленная задача.

На этом этапе должна быть определена операция, при выполнении которой достигается решение поставленной задачи, а также построена технологическая размерная цепь, замыкающим звеном которой является размер, характеризующий результат решения поставленной задачи.

В рассматриваемом примере (рис. 1) неравномерность припуска под обработку проявится при растачивании отверстия  $\varnothing 36^{+0,062}$ .

При выбранной схеме базирования детали на расточной операции (рис.2.) неравномерность припуска проявится, как смещение оси отверстия в заготовке относительно оси вращения расточной оправки. При решении задачи в вертикальной плоскости это смещение характеризуется замыкающим звеном  $A_{\Delta}$  размерной цепи  $A$  (рис. 3), включающей два составляющих звена:

- $A_1$  – расстояние от оси отверстия 1 в заготовке до установочной технологической базы детали;
- $A_2$  – расстояние от оси вращения 11 расточной оправки до той же базирующей поверхности.

Номинальное значение размера  $A_{\Delta}$  равно нулю.

Неравномерность припуска при растачивании отверстия определяется погрешностью размера  $A_{\Delta}$ , представляющей собой сумму погрешностей размеров  $A_1$  и  $A_2$ :

$$\omega A_{\Delta} = \omega A_1 + \omega A_2$$

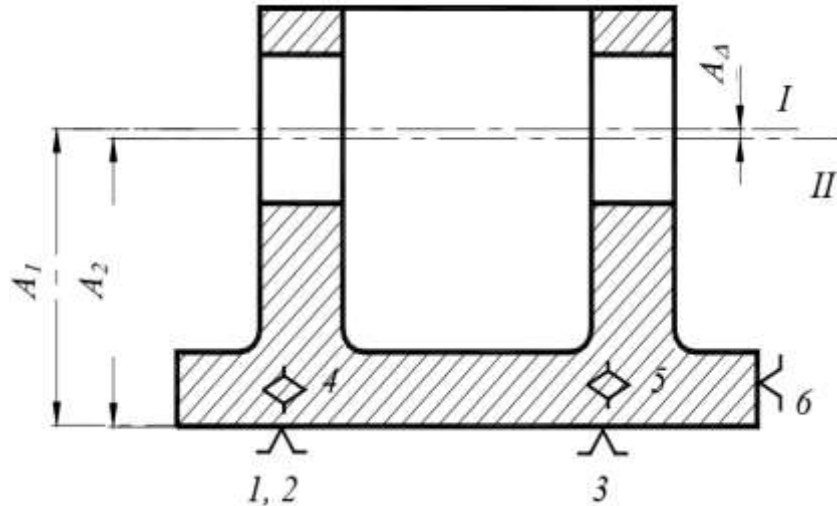


Рис. 3. Определение неравномерности припуска при растачивании отверстия

Размер  $A_2$  является размером настройки технологической системы, и его погрешность  $\omega A_2$  определяется точностью настройки расточного станка:

$$\omega A_2 = \omega_{\text{настр}}$$

Размер  $A_1$  получается при обработке базовой поверхности  $\Gamma$ , выполняемой на первой операции технологического процесса.

### 3.3. Анализ вариантов базирования детали на первой операции.

Обычно существует несколько возможных вариантов базирования заготовки на первой операции технологического процесса, на которой производится обработка базовых поверхностей для выполнения большинства операций по обработке всех других поверхностей.

При выборе схемы базирования для первой операции в качестве технологических баз необходимо выбирать поверхности, наиболее удобные для установки заготовки, поверхности, имеющие наибольшие габариты и протяженность. В максимальной степени необходимо придерживаться принципов совмещения и единства баз [1]. При построении схем базирования должны использоваться типовые варианты схем установки заготовок [2].

Для рассматриваемого примера проанализированы два варианта схем базирования заготовки на первой операции.

#### ВАРИАНТ 1.

В качестве установочной технологической базы при обработке поверхности  $\Gamma$  выбрана необрабатываемая поверхность полка (рис. 4).

При такой схеме базирования заготовки на первой операции размер  $A_1$  будет получаться, как замыкающее звено  $B_\Delta$  трехзвенной размерной це-

пи  $B$ , и погрешность размера  $A_1$  будет включать в себя погрешности размеров  $B_1$  и  $B_2$ :

$$\omega A_1 = \omega B_{\Delta} = \omega B_1 + \omega B_2$$

Составляющее звено  $B_2$  – это размер, выдерживаемый при обработке поверхности  $\Gamma$ . Его погрешность определяется точностью настройки станка, на котором выполняется первая операция:

$$\omega B_2 = \omega_{\text{настр.1}}$$

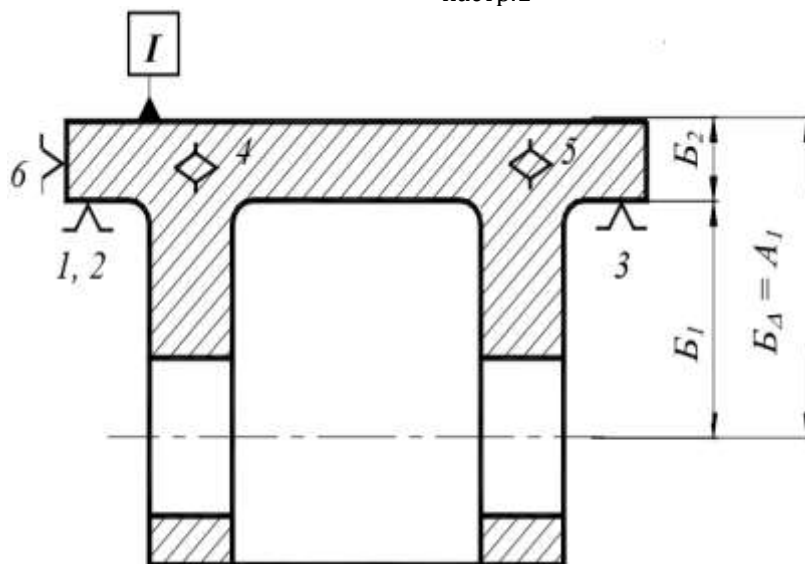


Рис. 4. Первый вариант базирования заготовки на первой операции

Звено  $B_1$  – размер, принадлежащий заготовке. Его точность обеспечивается в процессе получения заготовки и определяется простановкой размеров на чертеже заготовки:

$$\omega B_1 = \omega_{\text{заг.}}$$

Неравномерность припуска при растачивании отверстия

$$\omega A_{\Delta} = \omega A_1 + \omega A_2 = \omega A_2 + \omega B_1 + \omega B_2 = \omega_{\text{настр.}} + \omega_{\text{заг.}} + \omega_{\text{настр.1}}$$

Численные значения погрешностей могут быть найдены по таблицам экономической точности механической обработки и соответствующим стандартам на различные виды заготовок [3].

## ВАРИАНТ 2

При обработке поверхности  $\Gamma$  на первой операции используется двойная направляющая база – отверстие в заготовке, подлежащее впоследствии растачиванию (рис. 5).

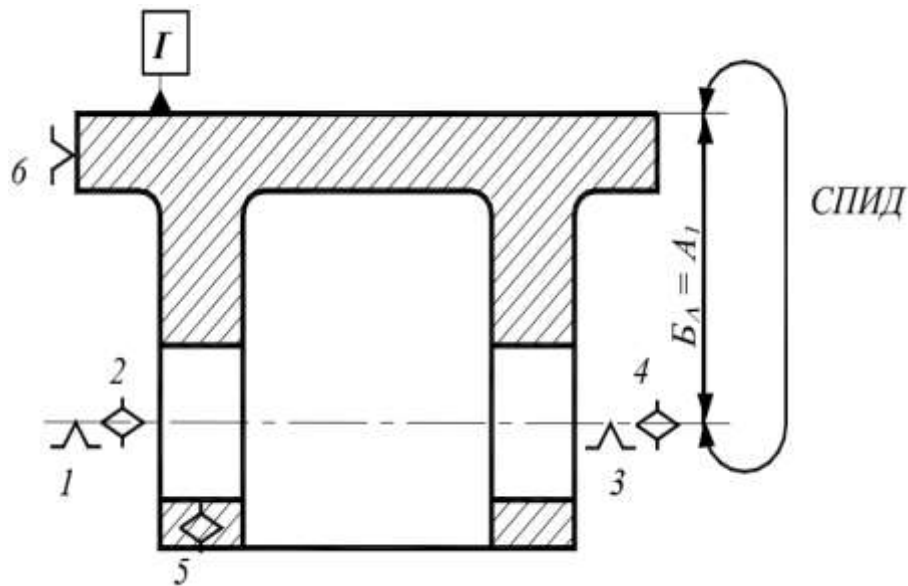


Рис. 5. Второй вариант базирования заготовки на первой операции

В этом случае размер  $A_1$  будет получен, как замыкающее звено  $B_\Delta$  размерной цепи технологической системы «станок – приспособление – инструмент – деталь», в которой предполагается выполнение первой операции, и погрешность размера  $A_1$  будет определяться исключительно точностью настройки технологической системы:

$$\omega A_1 = \omega_{\text{настр.1}}$$

Для этого варианта базирования неравномерность припуска при растачивании отверстия

$$\omega A_\Delta = \omega A_1 + \omega A_2 = \omega_{\text{настр.1}} + \omega_{\text{настр.1}}$$

## ВЫВОД

Сопоставляя величины  $\omega A_\Delta$  по обоим вариантам, очевидно, что второй вариант базирования заготовки на первой операции (рис. 5) предполагает более короткий путь достижения точности размера  $A_\Delta$  и позволяет полностью исключить влияние погрешности заготовки. Следовательно, этот вариант можно считать наиболее удачным решением поставленной задачи обеспечения равномерного припуска при растачивании отверстия  $\varnothing 36^{+0,062}$ .

## 4. ОФОРМЛЕНИЕ РАБОТЫ

Результаты выполнения лабораторной работы должны быть оформлены в соответствии с требованиями к текстовым документам по ГОСТ 2.105–2002 на листах формата А4.

В отчете о лабораторной работе должны быть приведены:

– задание – эскиз детали с техническими требованиями и задача, которую необходимо решить;

- обоснование выбранной схемы базирования при обработке большинства поверхностей заготовки;
  - схема базирования и описание технологической операции, в которой решается поставленная задача с построением технологической размерной цепи;
  - возможные варианты схем базирования заготовки на первой операции механической обработки;
  - анализ схем базирования заготовки на первой операции с построением технологических размерных цепей и выводом о наиболее целесообразном варианте базирования.
- Анализ должен быть проведен в развернутом виде с целью обеспечения возможности его проверки.

### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюменштейн В. Ю. Основы технологии машиностроения [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Клепцов; Кузбас. гос. техн. ун-т им Т. Ф. Горбачева – Кемерово, 2017. 310 с. <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90376&type=utchposob:common>
2. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. – Москва: Машиностроение, 2003. – Т. 1 / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – М., 2003.
3. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения. – Москва: Машиностроение, 1976.
4. ГОСТ 21495–76. Базирование и базы в машиностроении. – Москва: Изд-во стандартов, 1976.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Обеспечить равномерность припуска при растачивании отверстия  $\varnothing 22^{+0,033}$  (рис. 6).
2. Обеспечить точность размера  $30^{+0,16}$  при растачивании отверстия  $\varnothing 36^{+0,062}$  (рис. 6).
3. Обеспечить точность размера  $38^{+0,039}$  при растачивании отверстий  $\varnothing 36^{+0,062}$  и  $\varnothing 22^{+0,033}$  (рис. 6).
4. Обеспечить равномерность припуска в горизонтальной плоскости при растачивании отверстия  $\varnothing 200^{+0,072}$  (рис. 7).
5. Обеспечить симметричность отверстия  $\varnothing 200^{+0,072}$  относительно вертикальной оси корпуса (рис. 7).
6. Обеспечить равномерную толщину полок  $a$  корпуса (рис. 6).
7. Обеспечить равномерную толщину полок  $32_{-0,1}$  корпуса (рис. 7).
8. Обеспечить равномерность припуска в вертикальной плоскости при растачивании отверстия  $\varnothing 200^{+0,072}$  (рис. 7).
9. Обеспечить равномерность припуска при обработке поверхности Г (рис. 6).
10. Обеспечить равномерность припуска при обработке поверхности Г (рис. 7).

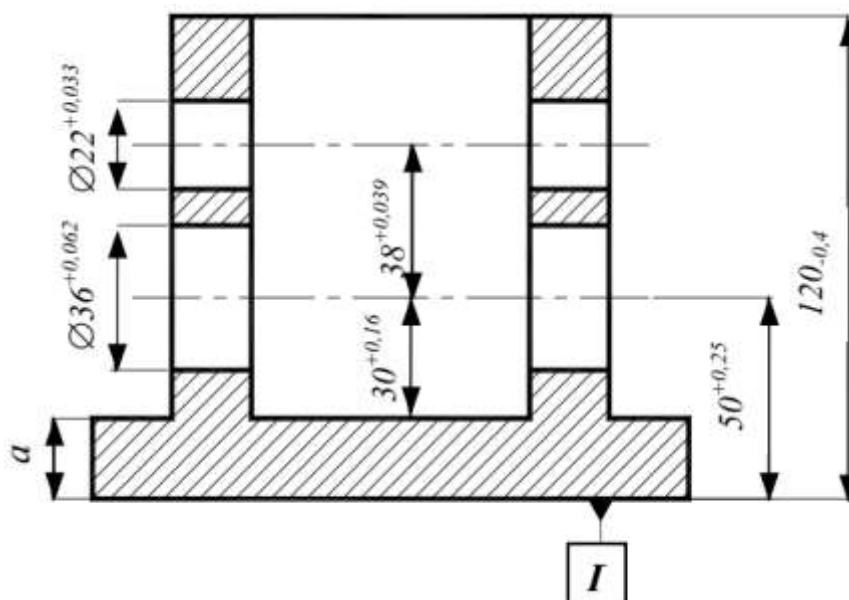


Рис. 6. Варианты заданий. Деталь №1

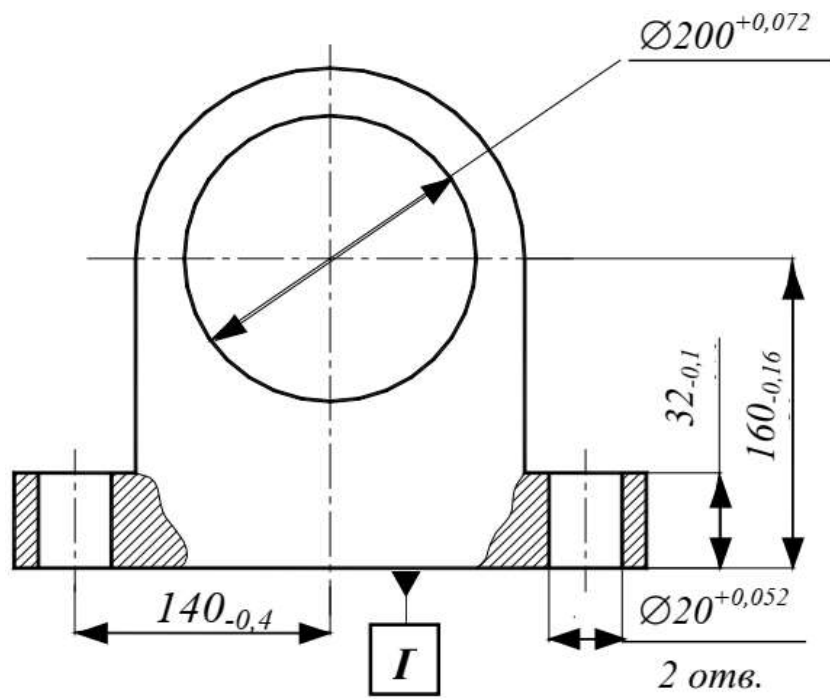


Рис. 7. Варианты заданий. Деталь №2