

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Иркутский государственный аграрный университет
им. А.А. Ежевского**

**Кафедра «Эксплуатация машинно - тракторного парка,
безопасность жизнедеятельности и профессиональное обучение»**

**А.В. Кузьмин,
В.А. Беломестных**

МЕТРОЛОГИЯ

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ



Молодёжный, 2020

УДК 631.158:006

К 893

Печатается по решению Учебно-методического совета инженерного факультета ФГБОУ ВО Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского (протокол № 7 от 26 марта 2021 г.)

Рецензенты:

Н.Т. Татаров, к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. проф. В.Р. Филиппова»

П.И. Ильин, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Эксплуатация МТП, БЖД и профессиональное обучение» ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского»

Кузьмин А.В., Беломестных В.А. Метрология. Технические измерения: Учебное пособие. – Иркутск: Издательство ФГБОУ ВПО ИрГСХА, 2021.- 84 с.: ил.

В учебном пособии даны материалы по техническим измерениям, описано устройство и правила пользования универсальными средствами измерений, рычажно-механическими и оптико-механическими приборами, плоскопараллельными концевыми мерами длины, а также калибрами. Приведены примеры методик выполнения измерений и оформления отчетов по лабораторным работам.

Пособие предназначено для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов бакалавриата направления 23.03.03 Эксплуатация ТТМК очного и заочного обучения, а также может использоваться для студентов бакалавриата направления 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям) по дисциплине «Метрология, стандартизация и квалиметрия».

Учебное пособие может быть полезным для аспирантов и преподавателей, выполняющих прикладные измерения.

© П.И. Ильин, 2020

© Иркутский ГАУ им. А.А. Ежевского, 2020
ВВЕДЕНИЕ

Метрология – это самая, наверное, древняя наука. Как отмечал председатель Палаты мер и весов Российской империи Д.И. Менделеев: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять». Прежде, чем делать анализ или применять синтез необходимо иметь количественные характеристики изучаемого явления, свойства или предмета, а это уже сфера метрологии. Ни одна область человеческой деятельности не может сегодня существовать без измерений, позволяющих контролировать технологические или другие процессы. Развитие конструкций средств измерения неразрывно связано с развитием нашего общества. Постоянно идет процесс совершенствования методов измерений, а иногда именно развитию метрологии мы обязаны в очередном качественном скачке научно-технического прогресса.

В учебном пособии приводятся сведения по метрологии: правила эксплуатации, настройки и метрологические характеристики средств измерений. Изучив материалы данного учебного пособия, студенты могут освоить основные методы измерения и применять полученные знания при микрометраже деталей, необходимом при ремонте разнообразных машин. Кроме того, студенты ознакомятся с методикой выбора средств измерений в зависимости от цели проводимых измерений.

Учебное пособие охватывает только самые широко распространенные средства измерений. С конструктивными особенностями и метрологическими характеристиками других средств измерений можно ознакомиться в другой литературе.

Лабораторные работы, приведенные в учебном пособии рассчитаны на одновременную работу студентов в «бригадах» по индивидуальным заданиям. Порядок и ассортимент тем лабораторных работ может меняться в соответствии с потребностями конкретного календарно-тематического плана занятий по разным специализациям и направлениям учебного заведения.

Лабораторная работа № 1

Установка механической калибр-скобы на заданный размер

Цель работы: Изучить устройство и область применения калибр-скобы и получить практические навыки настройки на заданный размер. Ознакомиться с плоскопараллельными концевыми мерами длины (ПКМД) и научиться составлять блоки концевых мер (БКМ).

Задание: 1. Составить БКМ заданного размера.

2. Настроить механическую калибр-скобу на заданный размер.

Средства измерения и принадлежности:

1. Плоскопараллельные концевые меры длины (ПКМД).
2. Калибр-скоба.

Порядок выполнения задания

Исходные данные для настройки калибр-скобы: размер детали с условным обозначением допуска.

1. Изучить устройство, область применения калибр-скобы, плоскопараллельных концевых мер длины, правила настройки калибр-скоб и составления блоков концевых мер по прилагаемому описанию в теоретической части.

2. По таблицам предельных отклонений размеров отверстий и валов расшифровать условное обозначение поля допуска и найти предельные размеры вала и допуск на его обработку.

3. По таблицам допусков калибров (Приложение 5) определить: H_1 – допуск на изготовление калибра-скобы; H_p – допуск на изготовление контркалибров; Z_1 – отклонение середины поля допуска проходного калибра-скобы относительно наибольшего размера вала; Y_1 – выход за границу поля допуска вала изношенного калибра-скобы.

4. Построить схему полей допусков калибра-скобы относительно границ поля допуска изделия.

5. По схеме и по таблицам определить размеры калибра-скобы: $P\text{-}PP_{\max}$, $P\text{-}PP_{\min}$, $P\text{-}HE_{\max}$, $P\text{-}HE_{\min}$, $P\text{-}PP_{\text{изн}}$. Определить класс ПКМД, применяемых для установки регулируемых калибр-скоб (Приложение 1).

6. Рассчитать и составить блоки концевых мер на размеры: $d_{\max} - Z_1$, d_{\min} .

7. Найти погрешность каждого блока концевых мер по формуле:

$$\Delta_{\text{lim}(\delta_i)} = \pm \sqrt{\Delta_{\text{lim}(1)}^2 + \Delta_{\text{lim}(2)}^2 + \dots + \Delta_{\text{lim}(n)}^2}, \quad (1)$$

где: $\Delta_{\text{lim}(i)}$ – предельная погрешность каждой из составляющих концевых мер, входящих в блок (см. Приложение 2).

8. Установить возможное количество измерений проходной калибр-скобой до её перенастройки по формуле:

$$N = [y_1 - (\Delta_{\text{lim}(\delta_i)}^{PP} + \Delta L)]n = qn, \quad (2)$$

где: ΔL – упругие деформации калибра-скобы (см. Приложение 4);

n – возможное количество измерений на 1 мкм износа проходной калибр-скобы (см. Приложение 3);

q – толщина слоя металла на износ калибра-скобы

9. Настроить проходную сторону калибра-скобы по блоку концевых мер, равному $d_{\max} - Z_1$.

10. Настроить непроходную сторону калибра-скобы по блоку концевых мер, равному d_{\min} .

11. Заполнить необходимые таблицы формы отчета.

Теоретическая часть

Калибрами называют бесшкальные средства измерений (меры), применяемые для контроля размеров, формы и расположения поверхностей деталей.

Калибры подразделяются на две группы: *нормальные* калибры и *предельные* калибры.

Нормальные калибры имеют размеры, соответствующие номинальным размерам контролируемых деталей. К ним относятся в первую очередь шаблоны, щупы и конусные калибры.

Шаблоны служат для проверки правильности формы и расположения поверхностей сложных деталей при их изготовлении. Шаблон прижимают к проверяемой поверхности и по просвету определяют погрешность профиля детали. Иногда поверхность шаблона покрывают краской и по отпечатку на детали судят о погрешности ее поверхности.

Иногда в процессе сборки или подгонки деталей слесарь-сборщик пользуется *щупами*, представляющими собой набор пластин длиной L и различной толщины S . *Щупы* служат для контроля зазоров между поверхностями. Щупы выпускают 1-го и 2-го классов точности, номинальными размерами $0,02...1$ мм с интервалами $0,01$ и $0,05$ мм, двух исполнений по длине – 100 и 200 мм. Щупы длиной 100 мм изготавливают в виде отдельных пластин и наборов, а длиной 200 мм – только в виде отдельных пластин.

При измерении рабочий вводит в зазор один или несколько щупов, наложенных друг на друга. Точность измерения при этом во многом определяется квалификацией и навыком рабочего. Размер зазора считается равным толщине щупа (щупов), когда последний перемещается в щели под действием небольшого усилия.

Предельные калибры служат для контроля предельных размеров детали. Чаще предельные калибры бывают двусторонние: для контроля наибольшего размера детали – проходная сторона калибра или проходной калибр (обозначается буквами: ПР) и для контроля наименьшего размера детали – непроходной калибр или непроходная сторона (обозначается: НЕ). Предельные калибры позволяют установить, находится ли проверяемый размер в границах допуска [2].

Предельные калибры по назначению делятся на три группы [7]:

1. *рабочие* – для контроля размеров деталей при их изготовлении (обозначаются: Р-ПР, Р-НЕ);

2. *приемные* – для контроля деталей после их окончательной обработки и оценки годности (обозначаются: П-ПР, П-НЕ);

3. *контрольные* – для контроля размеров рабочих калибров в процессе их эксплуатации (обозначаются: К-ПР, К-НЕ, К-И).

На ряде предприятий помимо рабочих и контрольных калибров применяют калибры контролеров и приемные калибры: первыми пользуются работники ОТК предприятия, а вторыми – заказчик при приемке готовой продукции. В качестве тех и других калибров, используют частично изношенные рабочие проходные и новые рабочие непроходные калибры. Контроль с помощью этих калибров осуществляют для того, чтобы повысить гарантию качества деталей и не забраковать годные детали.

Непроходные контракалибры К-И служат для контроля степени износа калибр-скоб, находящихся в эксплуатации [7].

Контроль отверстий осуществляется калибрами-пробками, валов - калибрами-скобами.

С помощью калибров можно быстро рассортировать партию деталей. Если оба калибра – и проходной, и непроходной – не проходят, значит, деталь негодная, но брак может быть исправлен продолжением обработки. Если проходной проходит, а непроходной не проходит – деталь годная. Когда проходят оба калибра, значит, имеет место неисправимый брак [8]. В соответствии с инструкциями по контролю калибрами изделие считается годным, если под действием собственного веса проходной калибр проходит в отверстие или надевается на вал, а непроходной – нет.

Калибры-скобы гладкие (ГОСТ 24853-81) изготавливаются с номинальными размерами до 500 мм для контроля валов 6 – 17 квалитетов и имеют различные конструкции. Они могут быть изготовлены из листовых заготовок одно- и двусторонними для контроля валов $\varnothing 1...500$ мм или штампованными для контроля валов $\varnothing 3...100$ мм. Последние, имеющие повышенную жесткость и более широкую рабочую измерительную поверхность, обладают

высокой долговечностью. Штампованные односторонние калибры-скобы могут выполняться с накладками из дерева и пластмассы.

Кроме жестких промышленность выпускает регулируемые (механические) калибры-скобы, которые можно с помощью концевых мер настраивать требуемый размер. Их применяют при ремонте или в условиях мелкосерийного производства [2].

По конструктивному исполнению регулируемые (механические) калибры-скобы делятся на четыре типа. В скобах первого типа правая губка представляет собой плоскую вставку, прикрепленную к корпусу винтами. Регулированию подвергаются только левые цилиндрические вставки, для которых в корпусе скобы высверлены гнезда. В скобах второго типа вместо неподвижной плоской вставки запрессованы две цилиндрические вставки. У этих скоб регулируются тоже только левые вставки. Калибры-скобы с односторонней регулировкой (ГОСТ2216-84) предназначены для контроля валов 9 – 17 квалитетов, диаметром до 340 мм. У скоб третьего и четвертого типов можно регулировать как левые, так и правые вставки. У таких скоб правые вставки устанавливаются так, чтобы измерительные поверхности этих вставок лежали примерно в одной плоскости. Установку же на заданный размер проводят левыми вставками [3].

Чтобы вставка легко перемещалась, необходимо освободить затяжной винт 2 (рисунок 1) и, нажимая на него отверткой сверху, отжать затяжную втулку 3 (иногда необходим небольшой удар). Перемещение вставок 4 в сторону уменьшения размера (вправо) производят установочным винтом 1. Для обратного перемещения нажимают на вставку со стороны головки или сферической поверхности. Установленную на необходимый размер по блоку концевых мер вставку 4 фиксируют втулкой 3, подтягивая винт 2. Втулка 3, находя своей лыской на лыску вставки 4, действует как клин и зажимает вставку с усилием, значительно превышающим осевое усилие винта. Затем проверяют правильность установки калибр-скобы. Калибр-скоба под собственной тяжестью должна плавно (с легким трением) перемещаться по блоку

концевых мер. Если это условие не выполняется установку повторяют. К скобе при помощи винта крепится маркировочная шайба 5, где указывается номинальный размер вала, его поле допуска и квалитет. Например, 37e9. Это означает, что калибр-скоба отрегулирована для контроля вала с номинальным размером 37 мм и полем допуска e9. При эксплуатации калибров необходимо помнить, что проходные калибры должны находить на контролируруемую деталь (вал или отверстие) без применения внешних сил, а лишь под действием силы тяжести. Непроходной же калибр не должен (при тех же условиях) находить на вал или отверстие и может, в крайнем случае, лишь «закусывать» деталь краем [3].

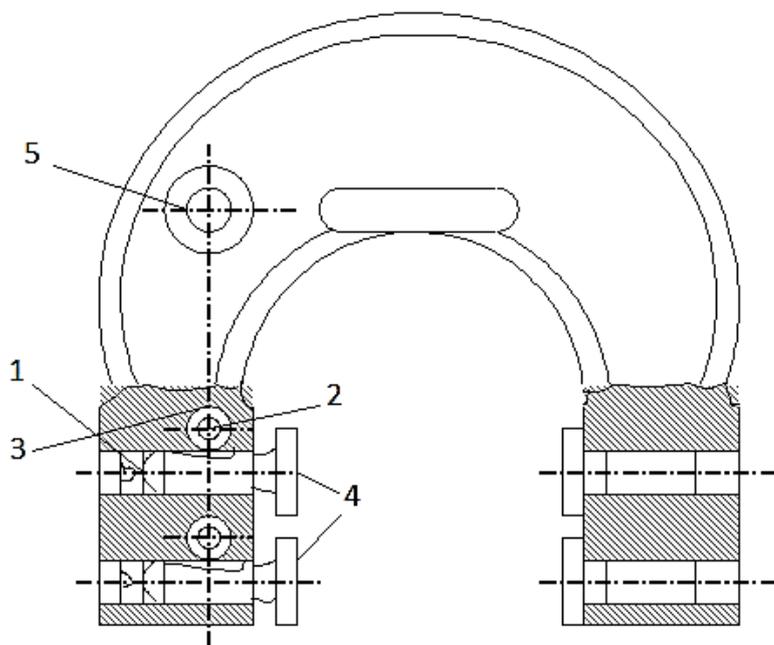


Рисунок 1- Регулируемая калибр-скоба: 1 – установочный винт; 2 - затяжной винт; 3 – затяжная втулка; 4 – вставка; 5 - маркировочная шайба.

Плоскопараллельные концевые меры длины (ПКМД), применяемые в машиностроении, представляют собой параллелепипеды или цилиндрические стержни, имеющие две параллельные рабочие измерительные поверхности с высоким качеством отделки. Эти поверхности настолько качественны, что обеспечивают притираемость мер, т.е. их способность прочно сцепляться друг с другом при накладывании и надвигании одной на другую. Усилие сцепления мер составляет 30...80 Н. Чаще всего концевые меры изготавливают из высо-

кокачественной хромистой закаленной стали или твердого сплава. В последнее время отечественная и зарубежная промышленность применяет для этих целей высокопрочную керамику. Рабочие поверхности таких мер обладают повышенной износостойкостью, а сами меры, имеют низкую теплопроводность, тем позволяют значительно снизить температурную погрешность измерения.

ПКМД – это однозначные меры, т.е. каждая мера служит для воспроизведения одного значения единицы линейной величины. По назначению меры делятся на образцовые и рабочие. *Образцовые* меры служат для передачи размера от эталона длины к средствам измерений. Их используют для проверки и градуировки мер, измерительных приборов, а также для оценки размеров рабочих и контрольных калибров. *Рабочие* меры используют для измерений при изготовлении инструментов, приспособлений и штампов, а также при проведении особо точных разметочных работ, сборке и наладке станков и т.п. [2].

ПКМД изготавливают с номинальными размерами от 0,1 до 1000 мм и поставляют в специальных футлярах в виде наборов. За номинальный размер концевой меры принимают длину перпендикуляра, опущенного из любой точки измерительной поверхности меры на ее противоположную измерительную поверхность.

Из ПКМД составляют блоки (рисунок 2) концевых мер (БКМ) – комплекты концевых мер, воспроизводящие требуемый размер с высокой точностью. Из отдельных мер можно составить множество БКМ, отличающихся друг от друга, например, на 0,001 мм. При составлении блока требуемого размера нужно стремиться, чтобы он состоял из минимального количества мер (не более пяти). Существует несколько способов выполнения этого условия. По одному из них первой выбирают меру, содержащую последнюю или две последних цифры размера, второй – последние цифры остатка и т.д. Подобранным таким образом меры, входящие в блок, приступают к сборке последнего. Для этого предварительно обезжиренные рабочие поверхности прижимают и

смещают друг относительно друга. Сборку начинают с наименьшей меры, притирая к ней следующую по величине и т.д. Те поверхности мер, где нанесены номинальные размеры, должны быть обращены наружу.

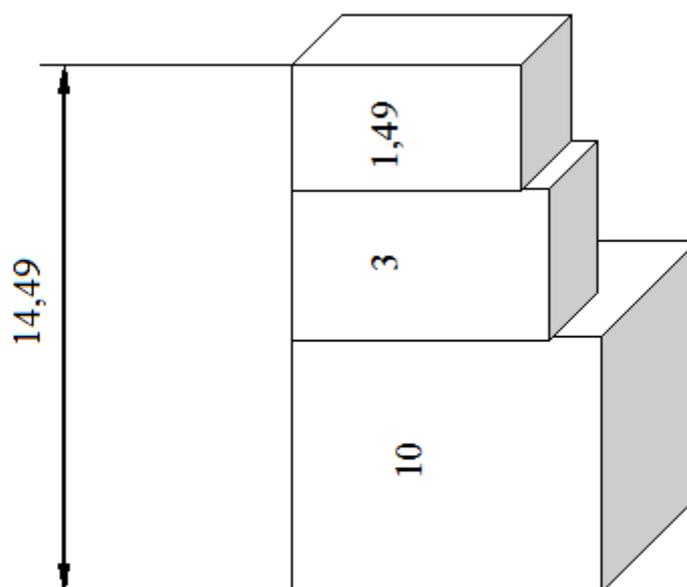


Рисунок 2 - Блок концевых мер размера 14,49 мм

Существует два способа настройки регулируемых калибр-скоб.

Если регулируемые калибры-скобы применяют совместно с жесткими предельными калибрами, то их настраивают по исполнительным размерам жестких калибров с помощью ПКМД 2-го или 3-го классов точности. При такой настройке проходная сторона будет иметь допуск на износ.

Другой способ настройки: стороны калибра-скобы настраиваются на предельные размеры контролируемого вала: проходная сторона – на наибольший предельный размер вала, непроходная сторона – на наименьший размер вала. Но в этом случае быстрый износ измерительных поверхностей вставок потребует частых настроек на размер [3].

Пример

1. Для того чтобы установить регулируемую калибр-скобу для контроля вала размером $37e9$, следует, прежде всего, подобрать калибр-скобу соответствующего интервала измерений.

2. Используя, таблицы предельных отклонений определим:

$$37e9 = 37_{-0,112}^{-0,050},$$

$$d_{\max} = 36,950 \text{ мм};$$

$$d_{\min} = 36,888 \text{ мм}.$$

3. По таблицам допусков калибров определим: $H_1 = 7 \text{ мкм}$; $Z_1 = 11 \text{ мкм}$; $Y_1 = 0$.

4. Строят схему расположения полей допусков вала и калибра-скобы (рисунок 3).

5. По схеме и по таблицам определим размеры калибра-скобы:

$$P\text{-}PP_{\max} = 36,9425 \text{ мм}; \quad P\text{-}PP_{\min} = 36,9355 \text{ мм}; \quad P\text{-}HE_{\max} = 36,8915 \text{ мм}; \\ P\text{-}HE_{\min} = 36,8845 \text{ мм}; \quad P\text{-}PP_{\text{изн}} = 36,950 \text{ мм}.$$

6. Рассчитаем и составим блоки концевых мер на размеры, округляя полученные значения до 0,005 или 0,01 мм:

$$d_{\max} - Z_1 = 36,939 \approx 36,94 \text{ мм}: \quad 1,04 \text{ мм} + 1,9 \text{ мм} + 4,0 \text{ мм} + 30,0 \text{ мм};$$

$$d_{\min} = 36,888 \approx 36,885 \text{ мм}: \quad 1,005 \text{ мм} + 1,08 \text{ мм} + 1,8 \text{ мм} + 3,0 \text{ мм} + 30,0$$

мм.

7. Найдем погрешность каждого блока концевых мер по формуле (1):

$$\Delta_{\text{lim}(\delta_n)} = \pm \sqrt{\Delta_{\text{lim}(1)}^2 + \Delta_{\text{lim}(2)}^2 + \dots + \Delta_{\text{lim}(n)}^2},$$

где: $\Delta_{\text{lim}(1)}^{\text{PP}} = \pm 0,8 \text{ мкм}$;

$\Delta_{\text{lim}(2)}^{\text{PP}} = \pm 0,8 \text{ мкм}$;

$\Delta_{\text{lim}(3)}^{\text{PP}} = \pm 0,8 \text{ мкм}$;

$\Delta_{\text{lim}(4)}^{\text{PP}} = \pm 1,0 \text{ мкм}$;

(см. Приложение 2).

Тогда:

$$\Delta_{\text{lim}(\delta_n)}^{\text{PP}} = \pm \sqrt{0,64 + 0,64 + 0,64 + 1,00} \approx \pm 1,71 \text{ мкм}.$$

8. Установить возможное количество измерений проходной калибром-скобой до её перенастройки по формуле (2):

$$N = [y_1 - (\Delta_{\text{lim}(\delta_n)}^{\text{PP}} + \Delta L)]n = qn,$$

где: $\Delta L = 0,35 \text{ мкм}$ – упругие деформации калибра-скобы (см. Приложение 4);

$n = 960$ – возможное количество измерений на 1 мкм износа проходной калибр-скобы (см. Приложение 3);

q – толщина слоя металла на износ калибра-скобы

$$N = [0 - (\pm 1,71 + 0,35)] \cdot 960 = 1305,6$$

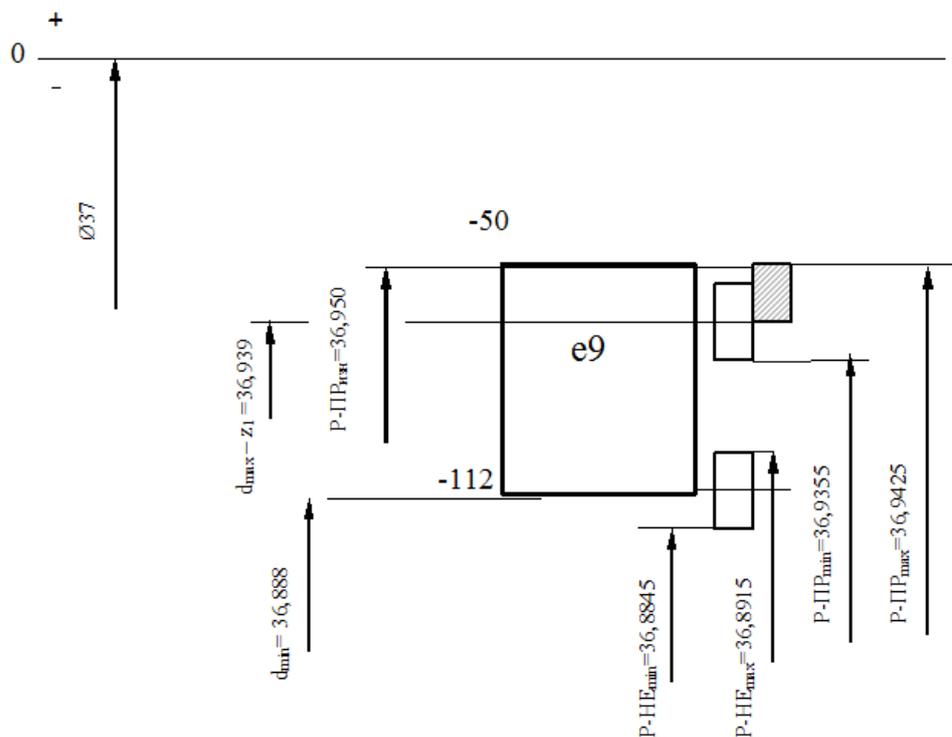


Рисунок 3 - Схема полей допусков калибра-скобы для контроля вала 37e9

9. Настроить проходную сторону калибра-скобы по блоку концевых мер, равному $d_{\max} - Z_1 \approx 36,94$ мм.

10. Настроить непроходную сторону калибра-скобы по блоку концевых мер, равному $d_{\min} \approx 36,885$ мм.

11. Заполним таблицы 1 и 2 формы отчета:

Таблица 1- Размеры ПКМД, входящих в блок

Предельные размеры вала, мм	Наименование блока	Размеры ПКМД, входящих в блок, мм				
		1	2	3	4	5
$d_{\max} - Z_1 = 36,939$	ПР	1,04	1,9	4,0	30,0	
$d_{\min} = 36,888$	НЕ	1,005	1,08	1,8	3,0	30,0

Таблица 2 - Погрешность блока концевых мер

Наименование блока	Предельная погрешность концевых мер, $\pm \Delta_{lim}$, мкм					Предельная погрешность блока, мкм
	1	2	3	4	5	
ПР	$\pm 0,8$	$\pm 0,8$	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$		$\pm 1,71$
НЕ	$\pm 0,8$	$\pm 0,8$	$\pm 0,8$	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$	$\pm 1,89$

Лабораторная работа № 2

Устройство и эксплуатация штангенприборов

Цель работы: Ознакомиться с устройством и областью применения штангенприборов и получить практические навыки использования.

Задание:

1. Проверить пригодность приборов для работы.
2. Выполнить измерения выданной детали.

Средства измерения и принадлежности:

1. Штангенциркуль ШЦ- I.
2. Штангенциркуль ШЦ- II.
3. Штангенглубиномер.
4. Штангенрейсмус.

Порядок выполнения задания

Исходные данные: Учебная деталь.

- 1) Изучить конструкцию, правила регулирования и настройки приборов по прилагаемой теоретической части учебного пособия.
- 2) Нарисовать эскиз детали с указанием на нем размеров, подлежащих измерениям.
- 3) Определить для всех приборов и занести в таблицу 1 метрологические показатели:

- Пределы измерения;
- Цену деления c основной шкалы, мм;
- Цену деления в шкалы нониуса по формуле:

$$b = \frac{\ell}{n}, \quad (2)$$

где: ℓ - длина шкалы нониуса, мм;

n - количество делений шкалы нониуса;

- Точность отсчета по нониусу по формуле:

$$e = \frac{c}{n}, \quad (3)$$

- Предельную погрешность Δ_{lim} (см. Приложение 7)

Таблица 1- Метрологические показатели приборов, применяемых при измерениях

Приборы, применяемые при измерениях		Метрологические показатели					
На раз- мере	Наимено- вание прибора	Пределы измере- ний, мм	Цена деления основ- ной шкалы, мм	Интер- вал де- ления шкалы нониу- са, мм	Цена деле- ния шкалы нониу- са, мм	Возможные предельные погрешно- сти, мкм	
						от	до

- 4) Проверить совпадение нулевых штрихов основной шкалы и шкалы нониуса по всем приборам.
- 5) Выполнить измерения по всем размерам детали.
- 6) Записать результаты измерений с учетом Δ_{lim} в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты измерения

Измеряемые размеры, мм	Результаты измерения, мм	Погрешность измерения, мкм $\pm \Delta_{lim}$	Возможные предельные размеры с учетом погрешности, мм	
			max	min

Теоретическая часть

Штангенприборы предназначены для измерения линейных размеров абсолютным методом и нанесения разметки

Наиболее распространенными штангенприборами являются **штангенциркули** (рисунок 1). Отечественная промышленность выпускает несколько модификаций этих приборов.

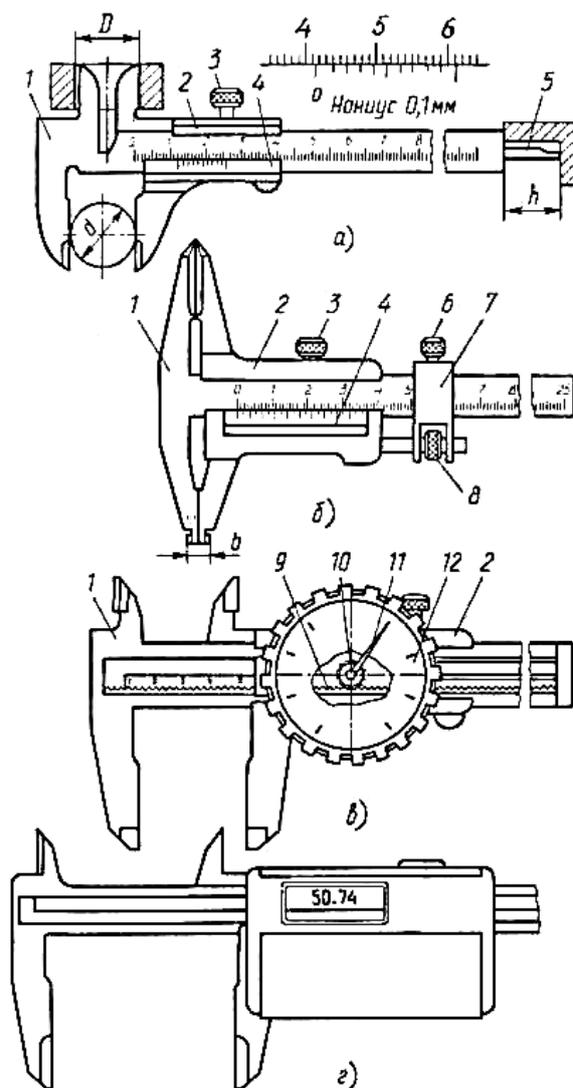


Рисунок 1 - Штангенциркули

Штангенциркуль ШЦ - I (рисунок 1, а) предназначен для измерения наружных и внутренних размеров, глубин отверстий, впадин, высоты уступов и т.п. Он имеет двусторонние измерительные губки для наружных и внутренних измерений, а также линейку 5 для измерения глубины. Неподвижные двусторонние губки с рабочими поверхностями выполнены заодно со штангой 1, по которой перемещается рамка 2 со второй парой губок. В требуемом положении на штанге рамка крепится стопорным винтом 3. Отсчет размеров осуществляется по нониусу 4 и линейке на штанге. ШЦ – I имеет диапазон измерений 0...125 мм и цену деления нониуса 0,1 мм.

Штангенциркуль ШЦТ – I отличается от предыдущего отсутствием губок для измерения внутренних размеров. Односторонние губки оснащены накладками из твердого сплава. Этот прибор применяют для наружных измерений и контроля глубины.

Штангенциркуль ШЦ – II (рисунок 1, б) кроме измерений наружных и внутренних размеров широко используют для разметочных работ. Состоит он из тех же деталей, что и штангенциркуль ШЦ – I, но дополнительно оснащен специальным устройством 7 для точного перемещения рамки 2 по штанге 1. Это устройство значительно упрощает установку размера при переносе его на заготовку в процессе разметки. Для этого после предварительной установки размера с помощью нониуса 4 фиксируют устройство 7 стопорным винтом 6 и, вращая винт 8 тонкой настройки, перемещают рамку 2 по штанге 1 до установки размера с требуемой точностью. По окончании настройки фиксируют рамку стопорным винтом 3 и приступают к разметке, используя остроконечные губки штангенциркуля для нанесения рисок на поверхность заготовки. Эти губки могут быть использованы и для измерения наружных размеров в труднодоступных местах. Рабочие поверхности губок для измерения внутренних размеров имеют цилиндрическую форму. При измерении внутренних размеров необходимо прибавить к результату измерения толщину губок (чаще встречается 10 мм). Штангенциркули ШЦ – II имеют диапазон измерений 0...250 мм и цену деления нониуса 0,05 мм.

Штангенциркуль ШЦ – III в отличие от ШЦ – II не имеет верхних остроконечных губок и устройства для подачи рамки. Его применяют для внутренних измерений с помощью таких же, как у ШЦ – II, нижних губок. Цена деления нониуса составляет 0,1 или 0,05 мм, диапазоны измерений 0...160; 0...200 мм.

За рубежом изготавливают штангенциркули с усовершенствованным отсчетным устройством, значительно повышающие производительность и облегчающие работу контролера. Так, в Германии выпускаются штангенциркули со стрелочным отсчетным устройством (точность измерения 0,1 мм). Существуют штангенциркули с цифровым отсчетным устройством (цена деления: 0,05 и 0,01 мм).

Штангенглубиномеры (рисунок 2) предназначены для измерений глубин отверстий и пазов, высоты уступов и т. п.

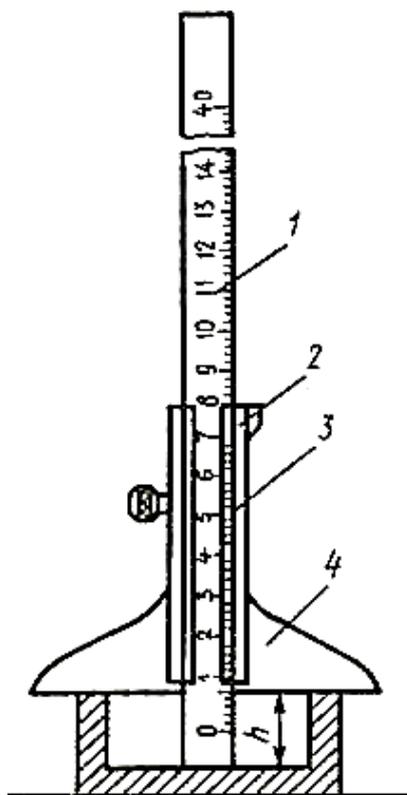


Рисунок 2 - Штангенглубиномер

Цена деления нониуса этих инструментов составляет 0,05 мм, диапазоны измерений: 0...160; 0...200; 0...250; 0...315; 0...400 мм. По конструкции

штангенглубиномер отличается от штангенциркуля отсутствием неподвижных губок на штанге и наличием вместо них на рамке 2 с нониусом 3 траверсы 4, которая является опорой при измерении глубины. Нулевой размер штангенглубиномер показывает при совпадении торцов штанги (линейки) 1 и траверсы (основания) 4.

Штангенрейсмус (рисунок 3) обычно применяют для разметки, но он может быть использован и для измерения высоты деталей, установленных на контрольно-поверочной плите.

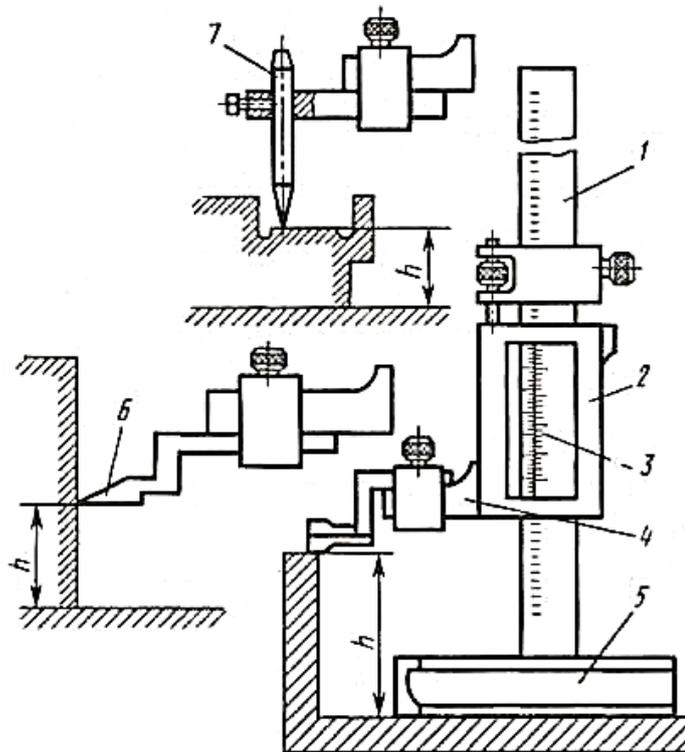


Рисунок 3 - Штангенрейсмус

Штангенрейсмусы имеют цену деления нониуса 0,1 или 0,05 мм и наибольший предел измерений 2500 мм. Они оснащены массивным основанием 5 для установки на плите. Перпендикулярно основанию расположена штанга 1 с миллиметровой шкалой. Подвижная рамка 2 с нониусом 3 имеет державку 4, с помощью которой осуществляют установку специальной ножки для измерения высоты, либо глубиномера 7, либо разметочной ножки 6.

При разметке вертикальных поверхностей штангенрейсмус с установленным по шкале и нониусу размером h (рекомендуется пользоваться винтом тонкой настройки рамки) перемещают по плите вдоль размечаемой заготовки, при этом острие разметочной ножки вычерчивает на поверхности заготовки горизонтальную линию.

В настоящее время зарубежная промышленность выпускает штангенрейсмусы с цифровым отсчетом измеряемого размера [2].

Лабораторная работа № 3

Устройство и эксплуатация микрометрических приборов

Цель работы: Ознакомиться с устройством микрометрических приборов и получить практические навыки их использования.

- Задание:*
1. Изучить конструкцию приборов.
 2. Подготовить микрометр к работе (установить на ноль).
 3. Выполнить измерения выданной детали.

Средства измерения и принадлежности:

1. Микрометр гладкий.
2. Микрометрический глубиномер.
3. Микрометрический нутромер.

Порядок выполнения задания

Исходные данные: Учебная деталь.

- 1) Изучить конструкцию, правила регулирования и настройки приборов по прилагаемой теоретической части учебного пособия.
- 2) Нарисовать эскиз детали с указанием на нем размеров, подлежащих измерениям.
- 3) Определить для всех приборов и занести в таблицу 3 метрологические показатели:
 - Пределы измерения;
 - Цену деления c основной шкалы (на стебле микрометрической головки), мм;
 - Цену деления шкалы на барабане в мм по формуле:

$$b = \frac{t}{n}, \quad (3)$$

где: t - шаг резьбы микровинта, мм;

n - количество делений шкалы барабана;

- Возможную предельную погрешность Δ_{lim} в пределах его использования (см. Приложения 7, 8, 11).

Таблица 3 - Метрологические показатели приборов, применяемых при измерениях

Приборы, применяемые при измерении		Метрологические показатели					
На раз- мере	Наименование прибора	Пределы измерений, мм	Цена де- ления ос- новной шкалы, мм	шаг резьбы микровинта, мм	Цена де- ления шкалы барабана, мм	Возможные предельные погрешности, мкм	
						от	до

- 4) Проверить и настроить все приборы.
- 5) Выполнить измерения по размерам детали с учетом возможностей приборов.
- 6) Записать в таблицу 4 результаты измерений с учетом предельной погрешности:

$$D_{воз} = D_{np} \pm \Delta_{\Sigma(изм)}, \quad (4)$$

где: $D_{воз}$ - возможный размер с учетом погрешности измерения;

D_{np} - размер, установленный по показаниям прибора;

$\Delta_{\Sigma(изм)}$ - предельная погрешность прибора для полученного размера.

Таблица 4 - Результаты измерения

Измеряемые размеры, мм	Результаты из- мерения, мм	Погрешность измерения, мкм $\pm \Delta_{\Sigma(изм)}$	Возможные предельные размеры с учетом погрешности, мм	
			max	min

Теоретическая часть

Микрометрические приборы (рисунок 4) в своей конструкции имеют микрометрический винт и гайку, преобразующие вращательное движение в поступательное перемещение измерительной пятки. К микрометрическим приборам относятся микрометры, микрометрические нутромеры и микрометрические глубиномеры.

Отечественной промышленностью освоен массовый выпуск следующих типов **микрометров**: МК – для измерения наружных размеров; МЛ (с циферблатом) – для измерения толщины листов и лент; МТ – для измерения толщины стенок труб; МЗ – для измерения длины общей нормали зубчатых колес; МВМ, МВТ, МВП (со вставками) – для измерения различных резьб и деталей из мягких материалов; МР, МРИ – рычажные; МВ, МГ, МН1, МН2 – настольные. Кроме того, выпускают еще микрометрические нутромеры и глубиномеры.

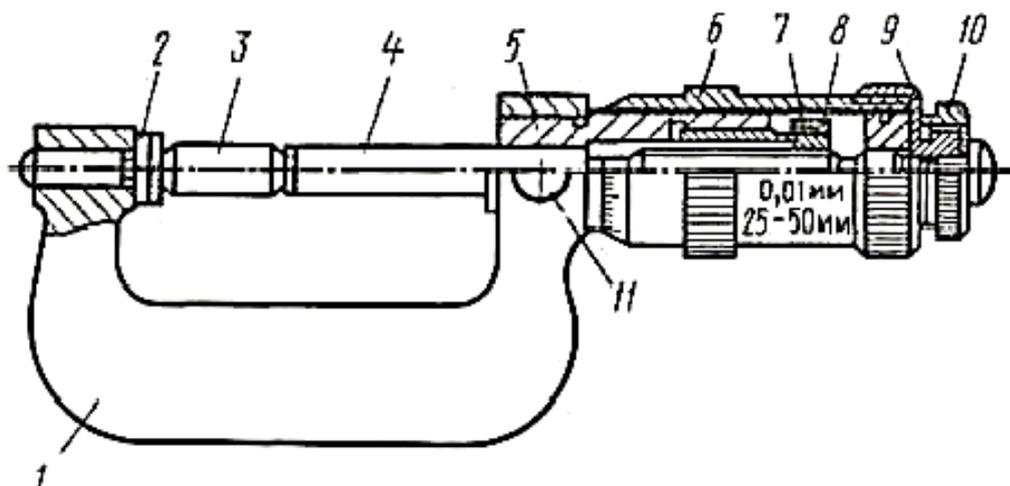


Рисунок 4 - Микрометр МК

На рисунке 4 показаны конструкция и схема микрометра МК. Скоба 1 имеет два соосных отверстия, в которые запрессованы с одной стороны неподвижная измерительная пятка 2, а с другой – стержень 5. В отверстии стержня, как в направляющих, перемещается микрометрический винт 4, гайка 7 кото-

рого имеет наружную резьбу и продольные разрезы. Навинчивая на наружную резьбу специальную регулировочную гайку 8, сжимают гайку 7 и выбирают зазор в соединении микровинт – гайка. Эта операция устраняет влияние зазора в резьбовом соединении на точность осевого перемещения микровинта в зависимости от угла его поворота. За один оборот винта его торец перемещается в осевом направлении на величину, равную шагу резьбы (0,5 мм). На микрометрическом винте находится барабан 6, закрепленный установочным колпачком-гайкой 9. В колпачке-гайке смонтирован механизм 12, обеспечивающий постоянное измерительное усилие. Он соединяет колпачок-гайку с трещоткой 10 и состоит из храпового колеса, фиксатора и пружины. В случае отклонения измерительного усилия от значений (7 ± 2 Н) трещотка 10, за которую вращают барабан, отсоединяется от установочного колпачка 9 и начинает проворачиваться с характерным прищелкиванием. При этом микрометрический винт 4 остается неподвижным. Измерительные поверхности микровинта и пятки выполнены из твердого сплава. Для фиксации микровинта в нужном положении микрометр снабжен стопорным винтом (стопором) 11 [2].

Отсчетное устройство микрометра, как и других микрометрических приборов, имеет основную и вспомогательную шкалы. На стебле 5 нанесены продольная риска и по обеим ее сторонам две шкалы. Цена деления обеих шкал – 1 мм, верхняя смещена на 0,5 мм относительно нижней. Указателем служит торец барабана 6, перемещающегося вместе с микровинтом. По нижней шкале отсчитывают целые миллиметры, по верхней – их половины. Дополнительная шкала с 50 делениями нанесена на коническом скосе торца барабана 6, указателем ее служит продольная риска на стержне. За один оборот микровинт с барабаном перемещается на шаг винтовой пары, равный 0,5 мм, а дополнительная шкала поворачивается на 50 делений. Цена деления равна $0,5/50=0,01$ мм.

При измерении детали производят отсчет по всем шкалам и суммируют их (рисунок 5).

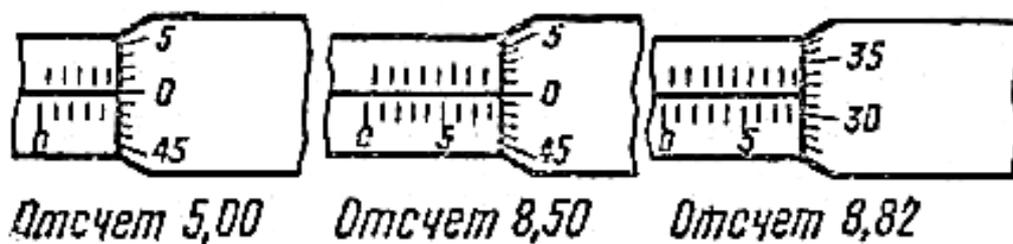


Рисунок 5 - Примеры отсчета размеров по шкалам микрометра

При использовании микрометра его держат в руках или устанавливают в стойке. Второй способ предпочтительнее, так как позволяет уменьшить нагрев и колебания прибора, что повышает точность измерения.

Перед началом работы необходимо проверить установку микрометра на ноль. Для микрометров с пределами измерений 0 – 25 мм проверка нулевого отсчета производится при соприкосновении измерительных поверхностей пятки 2 и микровинта 4, а с пределами измерений 25 – 50 мм, 50 – 75 мм и т.д. проверку осуществляют с помощью специальных цилиндрических мер или концевой меры длины.

Длина резьбы микровинта равна 25 мм, в связи с чем пределы измерений гладких микрометров типа МК составляют 0 – 25, 25 – 50 и т.д. до 600 мм. Цена деления микрометра не зависит от пределов измерений и равна 0,01 мм. Предельная погрешность определяется условиями измерения, главным образом величиной размера. Так, при определении размеров от 0 до 25 мм (микрометр держат в руках) $\Delta_{lim} = \pm 0,005$ мм, при размерах 400 – 500 мм $\Delta_{lim} = \pm 0,050$ мм. Микрометры применяют для контроля размеров, выполняемых по 7 – 9-му квалитетам [8].

Микрометрический нутромер (рисунок 6) служит для измерения диаметра отверстий и других внутренних размеров. Он состоит из микрометрической головки и набора сменных удлинителей.

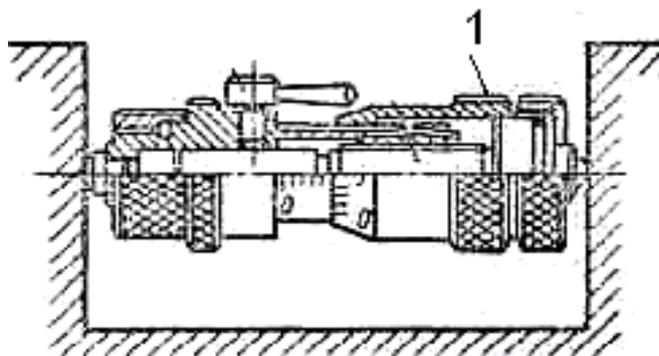


Рисунок 6 - Микрометрический нутромер

Отсчетное устройство и цена деления такие же, как у микрометра. Измерительными поверхностями являются торец микровинта и торец стержня защитного удлинителя, который ввертывается в корпус нутромера. При измерениях, вращая кольцо барабана 1, эти поверхности приводят в соприкосновение со стенками контролируемого отверстия. Микрометрические нутромеры не имеют трещотки, поэтому плотность соприкосновения их с поверхностью детали при измерении определяют на ощупь. В комплект входит установочная мера, имеющая вид скобы, по которой производится установка прибора на ноль.

Микрометрические нутромеры выпускаются с пределами измерений, мм: 50 – 75, 75 – 175, 75 – 600, 150 – 1250, 800 – 2500, 1250 – 4000, 2500 – 6000, 4000 – 10000. На каждом удлинителе нанесен его рабочий размер. Обычно к прибору прилагается составленная заводом-изготовителем таблица, облегчающая подбор удлинителей. Цена деления шкалы для всех пределов измерений равна 0,01 мм. Точность измерений в основном зависит от величины контролируемого размера, степени соблюдения температурного режима и квалификации метролога.

Каждый размер измеряют несколько раз. Сначала нутромер вводят и слегка покачивают в плоскости, проходящей через ось отверстия, чтобы найти его наименьший размер и определить сечение, перпендикулярное оси отверстия. Затем нутромер покачивают в найденном сечении, определяя наибольший размер, т.е. диаметр отверстия.

Предельные погрешности изменяются от $\pm 0,015$ мм для размеров в интервале 50 – 120 мм до $\pm 0,070$ мм для размеров 1600 – 2000 мм. Микрометрические нутромеры применяют для измерения диаметров отверстий, изготовленных по 8 – 9-му квалитетам и грубее.

Микрометрический глубиномер (рисунок 7) предназначен для тех же целей, что и штангенглубиномер.

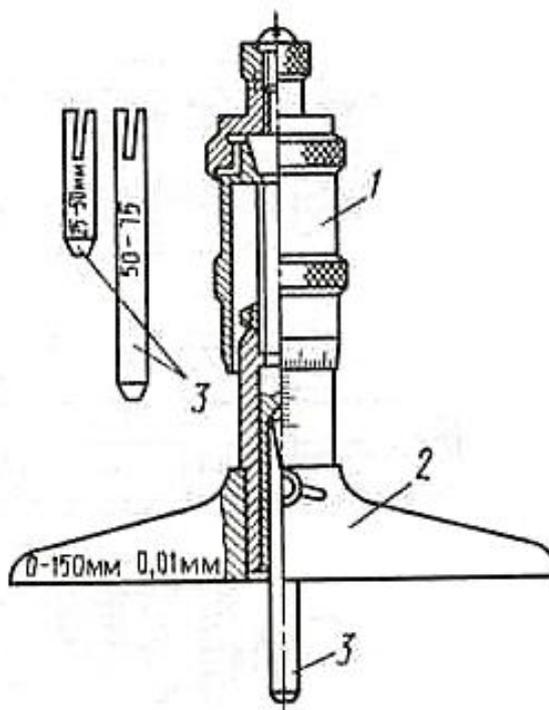


Рисунок 7 - Микрометрический глубиномер

Он имеет измерительный стебель, жестко соединенный с основанием 2, и измерительный стержень 3, который вставляется в отверстие на торце микрометрического барабана 1 и закрепляется. Пределы измерений глубиномером 0 – 100 и 0 – 150 мм. Предельная погрешность измерений для размеров до 50 мм $\pm 0,005$ мм, а выше 50 до 100 мм $\pm 0,010$ мм [8].

Лабораторная работа №3

Измерение индикаторной скобой

Цель работы: Ознакомиться с устройством индикаторной скобы и получить практические навыки использования.

- Задание:*
1. Изучить конструкцию прибора.
 2. Настроить индикаторную скобу (установить на ноль).
 3. Выполнить измерения выданной детали.

Средства измерения и принадлежности:

1. Индикаторная скоба.
2. Набор ПКМД.
3. Штангенциркуль.

Порядок выполнения задания

Исходные данные: Учебная деталь.

- 1) Изучить конструкцию, правила регулирования и настройки прибора по прилагаемой теоретической части учебного пособия.
- 2) Нарисовать эскиз детали с указанием на нем размеров, подлежащих измерениям.
- 3) Определить и занести в таблицу 5 метрологические показатели индикаторной скобы:

Таблица 5 - Метрологические показатели

Наименование		Метрологические показатели					
при- бора	измери- тельной головки	Преде- лы из- мере- ний прибо- ра, мм	Диапазон показаний индика- торной головки, мм	Цена деления шкалы малой стрелки индика- тора, мм	Цена деления шкалы большой стрелки индика- тора, мм	Возмож- ные пре- дельные погреш- ности, мкм	
						от	до

- 4) Настроить индикаторную скобу.

- 5) Произвести измерения детали в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и в трех сечениях.
- 6) Записать результаты измерения в таблицу 6:

Таблица 6 - Результаты измерения

№№ п/п	Установочный натяг, мм	Базовый размер прибора, мм	Действительное отклонение, мм	Действительный размер, мм

- 7) Определить по результатам измерения конусность в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и овальность в трех сечениях детали по следующим формулам:

$$\Delta_K = \frac{d_1 - d_3}{\ell}, \quad (5)$$

где: Δ_K - конусность;

d_1 - диаметр в 1-ом сечении, мм;

d_3 - диаметр в 3-ем сечении, мм;

ℓ - расстояние между 1-ым и 3-им сечением, мм.

$$\Delta_{OB} = d_i^n - d_i^m, \quad (6)$$

где: Δ_{OB} - овальность;

d_i^n - диаметр в i -м сечении n -й плоскости;

d_i^m - диаметр в i -м сечении m -й плоскости.

Теоретическая часть

Рычажно-механические приборы, широко применяемые в машиностроении, предназначены главным образом для точных измерений методом сравнения с мерой. Иногда используется и метод непосредственной оценки, если определяемый размер меньше предела измерения прибора. Сложная кинематика позволяет преобразовывать малые перемещения измерительного стержня (чувствительного элемента) в значительно большее перемещение стрелки отсчетного устройства с помощью зубчатых, рычажно-зубчатых, рычажно-винтовых, рычажно-пружинных передач.

Примером прибора с зубчатой передачей служит **индикатор часового типа** (рисунок 8). В его корпусе 4 закреплена гильза 3 для присоединения индикатора к измерительному приспособлению. В точных направляющих втулках гильзы перемещается измерительный стержень 2 с наконечником 1. На средней части стержня нарезана зубчатая рейка 12, находящаяся в зацеплении с зубчатым колесом 13, закрепленным на одной оси с колесом 14. Последнее зацеплено с колесом 16, на оси которого установлена стрелка 6 (указатель) для отсчета по шкале 7. Погрешности вследствие бокового зазора в зубчатых передачах устраняет с помощью спирального волоска колесо 17. На его оси установлена стрелка 5 для отсчета числа оборотов стрелки 6 по шкале 5 с ценой деления 1 мм.

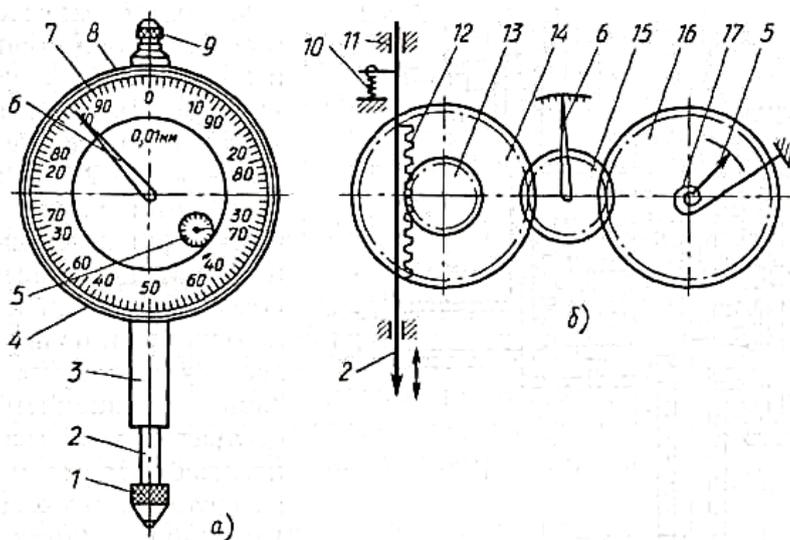


Рисунок 8 - Индикатор часового типа: а) общий вид; б) схема прибора

Измерительное усилие обеспечивается пружинкой 10, прижимающей стержень 2 к поверхности измеряемого объекта. Ободком 8 шкала 7 устанавливается на ноль при исходном положении стрелки 6.

Передаточное отношение зубчатых передач обеспечивает за 1 мм перемещения измерительного стержня полный оборот стрелки 6 по шкале 7, имеющей 100 делений. Цена деления, таким образом, равна 0,01 мм. Измерительное усилие индикатора изменяется от 0,8 Н при начальном положении стержня до 2 Н при конечном. Предел измерений зависит от типа индикатора. У нормальных индикаторов ИЧ он составляет 0 – 5 и 0 – 10 мм, а у малогабаритных 0 – 2 и 0 – 3 мм.

Индикаторы устанавливаются в различных приспособлениях как универсального (штативах, стойках), так и специального (индикаторных нутромерах, скобах, глубиномерах) назначения. В качестве отдельного прибора они не используются [8].

Индикаторные скобы изготавливают с пределами измерения 0 – 50; 50 – 100; 100 – 200; 200 – 300 мм и дальше до 1000 мм с интервалом 100 мм. Наибольшее распространение получили скобы до 200 мм. Они обеспечивают достаточную точность при контроле изделий. При проверке больших размеров индикаторные скобы предпочтительнее жестких.

Индикаторная скоба (рисунок 9) имеет жесткий корпус с теплоизоляционной накладкой 10. Подвижная пятка 4 находится в постоянном контакте с измерительным стержнем индикатора. Измерительное усилие скобы создается совместным действием силы упругости пружины 5 и пружины индикатора. Переставную пятку 2 можно передвигать в пределах от 60 до 100 мм. Положение пятки фиксируют стопорным винтом 11, который закрыт колпачком 1.

Во всех индикаторных скобах измерительный стержень индикаторной головки непосредственно не соприкасается с измеряемой деталью. На стержень действуют только осевые усилия, что значительно улучшает стабильность показаний прибора.

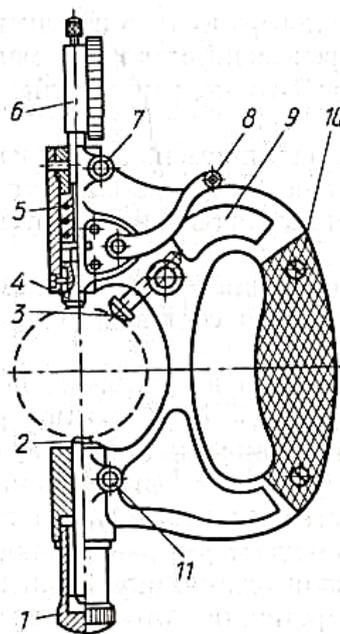


Рисунок 9 - Индикаторная скоба

Индикаторные скобы малых размеров имеют плоские поверхности пяток, что обеспечивает получение правильных результатов при измерениях даже в том случае, если линия измерения не проходит через центр измеряемого объекта. Это важно при индивидуальных измерениях, когда нет смысла настраивать упорную пятку 3 под диаметр измеряемой детали. При массовых же измерениях одной и той же детали процесс работы значительно облегчается, а производительность резко возрастает, если упорная пятка 3 будет заранее настроена с учетом измеряемой величины. Упорную пятку устанавливают так, чтобы линия измерения проходила через центр измеряемого объекта, и фиксируют стопорным винтом.

Чтобы предохранить измерительные поверхности пяток от быстрого износа, а стрелку индикаторной головки от поломки, скоба имеет отводной

рычаг 8, с помощью которого подвижную пятку 4 поднимают вверх. Это облегчает ввод измеряемых деталей между измерительными поверхностями пяток. Для ускорения измерений можно применить специальную стойку [4].

Подготовку индикаторной скобы к измерениям ведут в следующем порядке:

- 1) Устанавливают в прибор необходимую индикаторную головку 6 (рисунок 8) и закрепляют ее с помощью стопорного винта 7.
- 2) Ставят малую стрелку индикаторной головки на ноль путем передвижения индикаторной головки в корпусе (предварительно ослабив и закрепив стопорный винт 7).
- 3) Отвернув предохранительный колпачок 1 и ослабив стопорный винт 11, устанавливают переставную пятку 2 так, чтобы между ее торцом и торцом подвижной пятки 4 легко помещался блок концевых мер.
- 4) Устанавливают в системе необходимый «установочный натяг». Для этого перемещают переставную пятку 2 в сторону индикатора настолько, чтобы стрелка сделала 1 – 1,5 оборота. Закрепляют стопорный винт 11 и навертывают предохранительный колпачок 1.
- 5) Не убирая блок концевых мер между подвижной и переставной пятками, настраивают большую стрелку на ноль, поворачивая рифленый ободок индикатора.
- 6) Нажав на отводной рычаг, убирают блок концевых мер между пятками. Прибор готов к использованию.

Лабораторная работа №4

Измерения индикаторным нутромером

Цель работы: Изучить конструкцию и правила пользования индикаторного нутромера.

Задание: 1. Изучить конструкцию прибора.

2. Настроить индикаторный нутромер (установить на ноль).

3. Выполнить измерения выданной детали.

Средства измерения и принадлежности:

1. Индикаторный нутромер.
2. Набор ПКМД.
3. Штангенциркуль.

Порядок выполнения задания

Исходные данные: Учебная деталь.

- 1) Изучить конструкцию, правила регулирования и настройки прибора по прилагаемой теоретической части учебного пособия.
- 2) Нарисовать эскиз детали с указанием на нем размеров, подлежащих измерениям.
- 3) Определить и занести в таблицу 7 метрологические показатели индикаторного нутромера:

Таблица 7 - Метрологические показатели

Наименование		Метрологические показатели					
при- бора	измери- тельной головки	Преде- лы из- мерений прибо- ра, мм	Диапа- зон по- казаний по шкале, мм	Цена де- ления шкалы малой стрелки индика- тора, мм	Цена де- ления шкалы большой стрелки индика- тора, мм	Возмож- ные пре- дельные погрешно- сти, мкм	
						от	до

- 4) Настроить индикаторный нутромер.
- 5) Произвести измерения детали в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и в трех сечениях.
- 6) Записать результаты измерения в таблицу 8:

Таблица 8 - Результаты измерения

№№ п/п	Установочный натяг, мм	Базовый размер прибора, мм	Действительное отклонение, мм	Действительный размер, мм

- 7) Определить по результатам измерения конусность в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и овальность в трех сечениях детали по формулам (5) и (6).

Теоретическая часть

Индикаторный нутромер (рисунок 10) предназначен для измерения диаметров отверстий и внутренних размеров в диапазоне от 6 до 1000 мм. Глубина измерения – от 100 до 500 мм, измерительное усилие – от 2 – 2,5 до 5 – 9 Н.

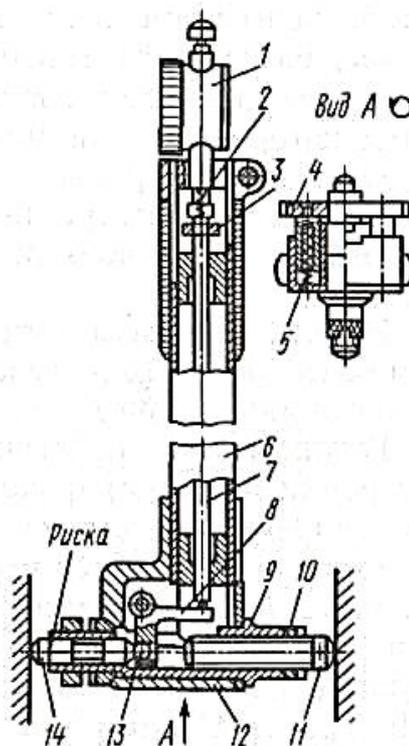


Рисунок 10 - Индикаторный нутромер

Контакт прибора с поверхностью детали осуществляется сферическими торцевыми поверхностями стержней: измерительного 14 и сменного 11, который обеспечивает настройку на необходимый размер. Перемещение стержня 14 через рычаг 8 с впрессованными шариками 13 через стержень 7 передается измерительному стержню индикатора 1, закрепленного в корпусе прибора. При смене стержня 11 добиваются того, чтобы кольцевая риска на стержне 14 была заподлицо с торцом центрирующего мостика 4. Это обеспечивает перпендикулярность плеч рычага 8 осям стержней 11 и 7 и уменьшает погрешность измерения. Гайка 10 фиксирует положение стержня 14 после настройки прибора. Направляющие стержни 5 прижимаются пружинами к измеряемой поверхности, облегчая центрирование прибора. Измерительное усилие создается пружиной индикатора. Перед началом работы нутромеры устанавливаются на ноль по установочному кольцу, блоку концевых мер с боковичками или при неточных измерениях по микрометру, закрепленному в стойке.

Погрешность измерений индикаторными нутромерами зависит от температурных деформаций детали и прибора, ошибок установки его на ноль – перекосов в отверстии. Нагрев прибора уменьшают применением теплоизоляционной ручки. Процесс измерения повторяют неоднократно в той же последовательности, что и при использовании микрометрического нутромера.

Предельная погрешность для размеров до 18 мм составляет $\pm(0,005 - 0,015)$ мм в зависимости от вариантов применения прибора, а до 2500 мм $\pm(0,010 - 0,025)$ мм. Она может быть значительно уменьшена при замене индикатора с ценой деления 0,010 мм измерительной головкой с ценой деления 0,001 или 0,002 мм.

Индикаторные нутромеры служат для определения диаметра отверстий, изготовленных по 7 – 8-му качеству и грубее [8].

	1						
	2						

- 5) Убрать деталь со столика прибора и вновь поставить блок концевых мер, проверить, сохранилась ли нулевая установка прибора. Если ошибки в положении стрелки превысят половину деления, измерения следует повторить, предварительно исправив настройку на ноль.
- 6) Зная размер блока концевых мер, подсчитать действительные размеры диаметров детали во всех сечениях, результаты записать в соответствующие графы таблицы 9.
- 7) Сделать заключение о годности детали. Для этого размеры детали, полученные в результате измерения, необходимо сравнить с предельными размерами, найденными по справочнику (согласно номинальному размеру и полю допуска, указанных в задании). Деталь считается годной, если размеры, полученные при измерении, не выходят за границы предельных размеров.

Теоретическая часть

Микрокатор применяется для измерения наружных размеров методом сравнения. По шкале прибора отсчитывается только отклонение размера измеряемой детали от размера блока концевых мер длины, по которому прибор был предварительно настроен на ноль. Методом непосредственной оценки могут измеряться детали, размеры которых не превышают предела измерений по шкале.

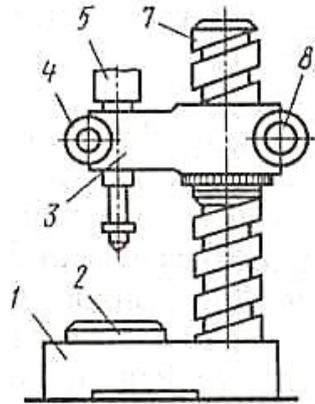


Рисунок 11 - Микрокатор, закрепленный на колонке штатива

На рисунке 11 показан микрокатор, закрепленный на колонке штатива, имеющего предметный столик 2. Прибор закрепляется в кронштейне при помощи винта 4 и вместе с кронштейном может перемещаться по колонке 7 и крепится на ней в требуемом положении винтом 8. Предметный столик имеет микрометрическую подачу [3].

В *приборах с пружинной передачей* в качестве чувствительного элемента используется скрученная пружинка из бронзовой ленты. Малое продольное перемещение пружинки вызывает значительный угол поворота ее среднего сечения со стрелкой или зеркальцем, на которое падает луч света. Эти приборы отличаются простотой и высокой стабильностью показаний, так как здесь отсутствуют погрешности из-за зазоров, трения, износа. Их высокая чувствительность позволяет доводить цену деления шкалы до сотых долей микрометра. На рисунке 12, а приведена схема одного из таких приборов – *микрокатора*, а на рисунке 12, б – его общий вид.

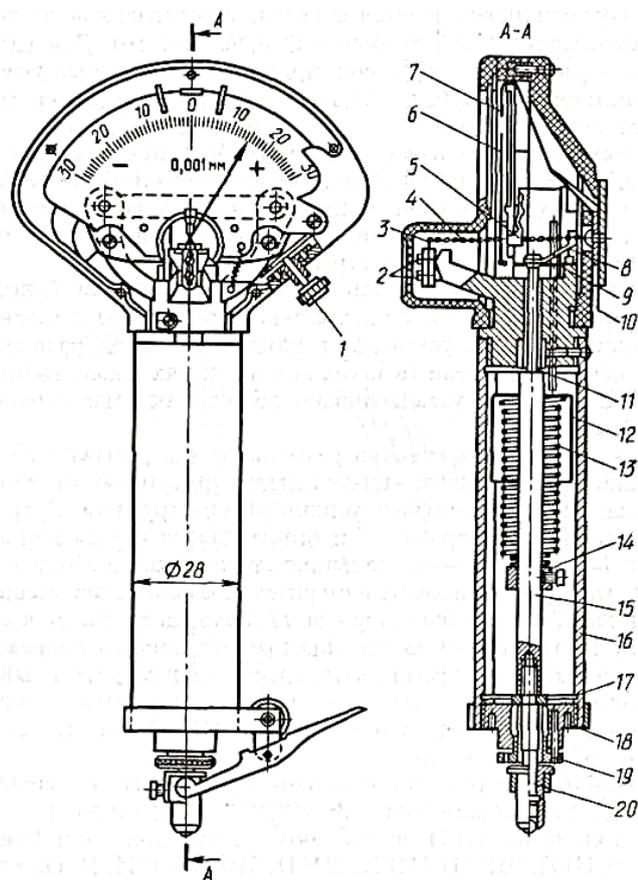


Рисунок 12 - Микрокатор. Общий вид и принципиальная схема

Измерительный стержень 15 закреплен на мембранах 17 и находится под действием пружины 13, создающей измерительное усилие. При перемещении стержень воздействует на угольник, который, поворачиваясь вокруг точки, растягивает пружинную ленту 4. В середине ленты закреплена стрелка 6, представляющая собой полый стеклянный волосок с наружным диаметром около 0,06...0,08 мм, на конце которого приклеен миниатюрный указатель из фольги. При растяжении пружинная лента поворачивается вокруг продольной оси и вместе с ней – стрелка, угол ее поворота оценивают по шкале 7. Передаточное отношение прибора, а следовательно, и цена деления шкалы регулируются изменением вылета консольной пружины, к которой прикреплен второй конец ленты 4. Для облегчения снятия показаний и устранения дрожания стрелки прибор снабжен демпфирующим устройством.

Выпускается несколько разновидностей приборов с пружинной передачей: измерительные головки (микрокаторы) по ГОСТ 6933 – 81 типов ИГП, ИГПУ, ИГПР с ценой деления 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5 и 10 мкм и головки ИГП и

ИГПУ с ценой деления 0,02 0,05 мкм, не предусмотренные стандартом. Предельная погрешность измерения – от $\pm 0,2$ до ± 5 мкм.

Малогабаритные пружинные головки (*микаторы*) типов ИПМ и ИПМУ по ГОСТ 14712 – 79 выпускаются с ценой деления 0,2; 0,5; 1 и 2 мкм. Головки используются в качестве отсчетного устройства в различных измерительных приборах и приспособлениях. Погрешность измерения – от $\pm 0,3$ до ± 2 мкм.

Рычажно- пружинные измерительные головки (*миникаторы*) ИРП (ГОСТ 14711 – 69) являются приборами бокового действия. Они предназначены для измерения в труднодоступных местах размеров и отклонений от заданной геометрической формы(биения, овальности и т.п.). Цена деления – 0,001 и 0,002 мм, пределы измерений соответственно $\pm 0,04$ и $\pm 0,08$ мм и погрешность ± 1 и ± 2 мкм.

К недостаткам перечисленных приборов относится неудобство снятия показаний из-за слишком тонкой стрелки и ее вибрации. Этих недостатков лишены *оптикаторы* (рисунок 13), созданные на базе микраторов.

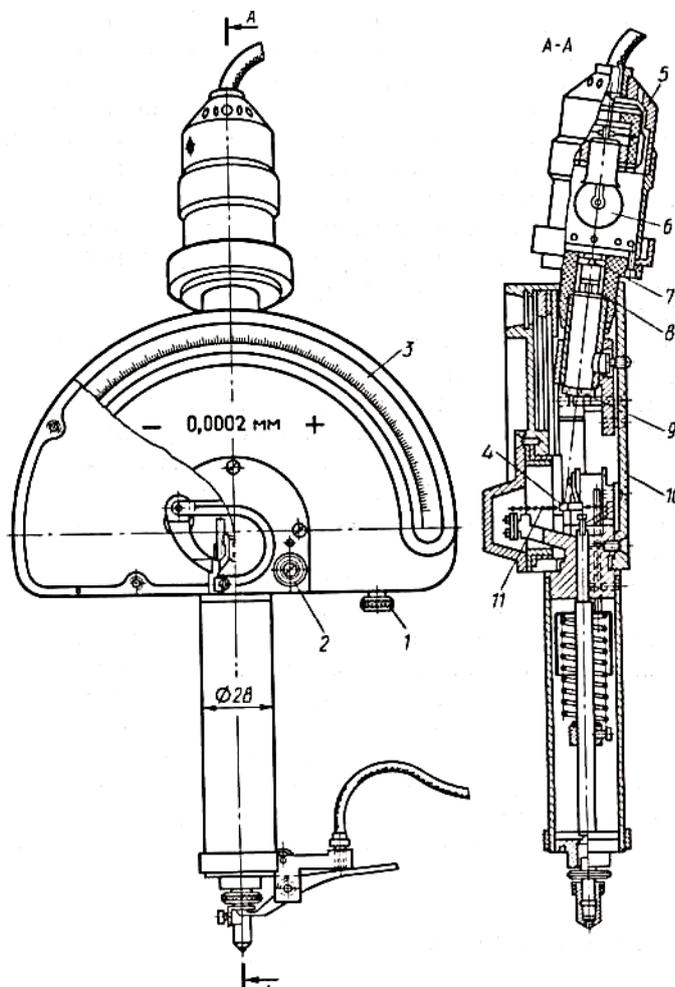


Рисунок 13 - Оптикатор.

У них на пружинной ленте вместо стеклянной стрелки укреплено миниатюрное зеркальце, на которое через линзу-конденсор падает пучок света от источника. Отражаясь от зеркальца, он падает на шкалу и является указателем. Благодаря дополнительной оптической системе чувствительность оптикатора в 2 раза выше, чем микрокатора. Выпускаются оптикаторы с ценой деления от 0,1 до 10 мкм, диапазоном измерений от ± 4 до ± 300 мкм и погрешностью 0,1 – 5 мкм. Предназначены они для проверки концевых мер длины и других особо точных измерений.

Приборы с пружинной передачей обычно используются для измерения весьма точных размеров, выполненных по 2 – 3-му квалитетам [8].

Для выполнения измерений микрокаторы закрепляются в колонках штативов, аналогичных штативам для миниметров

Устройство штативов для закрепления микрокатора следующее (рисунок 11). На стальной колонке иногда крепится и держатель для упорных штативов, используемых при установке и фиксации на предметном столике 2 измеряемого объекта (на рисунке не показан).

Перед началом измерения выполняется регулировка положения предметного столика, после чего прибор настраивается на ноль при помощи концевых мер длины. За размер блока концевых мер принимается номинальный размер детали, указанной в задании и подлежащей измерению.

Установка на ноль производится в следующем порядке. Блок концевых мер устанавливается на предметный столик 2 (см. рисунок 11), предварительно тщательно протертый мягкой тканью. Столик должен быть при этом переведен почти в самое нижнее положение. Отжав винт 8 и вращая поддерживающую гайку, опускают кронштейн вместе с измерительной головкой до тех пор, пока между измерительным наконечником и блоком концевых мер не установится небольшой просвет. После этого стопорный винт 8 зажимают.

Затем предметный столик 2 поднимают вращением гайки (при отжатом винте) до соприкосновения измерительного наконечника с блоком концевых мер.

В момент касания стрелка прибора (миниметр, микрокатор) начнет перемещаться. Постепенным вращением гайки столика стрелку измерительной головки микрокатора доводят до нулевого штриха. После этого положения столика фиксируют зажимным винтом. Если при зажиме винтом стрелка отойдет от нулевого деления, установку нужно повторить. Арретиром поднимают измерительный наконечник и убирают блок концевых мер. Прибор настроен на заданный размер и готов для измерения детали.

Так как измеряемая деталь имеет цилиндрическую форму, то во избежание перекоса ее следует при измерении плотно прижать к столику. Для того, чтобы измерить диаметр детали, а не хорду, необходимо слегка прокатывать деталь под измерительным наконечником, следя при этом за движением стрелки. Наибольшее показание прибора (с учетом знака) будет соответствовать отклонению размера детали от размера блока концевых мер [3].

Лабораторная работа № 6

Измерение на горизонтальном оптиметре

Цель работы: Ознакомиться с устройством и правилами пользования горизонтальным оптиметром.

- Задание:*
1. Изучить конструкцию, регулировку и настройку прибора.
 2. Настроить прибор (установить на ноль).
 3. Выполнить измерения калибра-пробки.
 4. Определить годность калибра

Средства измерения и принадлежности:

1. Горизонтальный оптиметр.

ПР		I						
		II						
НЕ		I						
		II						

Теоретическая часть

При изготовлении детали трудно или совсем невозможно достигнуть полного соответствия действительного размера номинальному. Излишне точное приближение действительного размера к номинальному неэкономично и в большинстве случаев необязательно. Поэтому для каждого размера стандартами или чертежом устанавливаются наибольший и наименьший предельные размеры, за которые не должен выходить действительный размер годной детали. Расположение действительного размера в зоне между предельными размерами можно определить: 1) посредством измерения действительного размера универсальными измерительными средствами; 2) путем сравнения действительного размера с двумя предельными калибрами (проходным ПР и непроходным НЕ), олицетворяющими предельные размеры. По назначению калибры делятся на рабочие и контрольные.

Деталь считается годной, если проходной калибр проходит, а непроходной – не проходит. В противном случае деталь не годна.

Калибры-пробки применяются для контроля точности диаметра отверстий. За номинальные размеры калибров принимаются наименьший и наибольший предельные размеры отверстия соответственно для проходного и непроходного калибров.

Размеры калибров, как и размеры любых деталей, не могут быть выполнены совершенно точно. Допуски на неточность изготовления калибров и допуски на износ предусмотрены специальными стандартами. Допуски на износ установлены только для рабочих проходных калибров.

На рисунке 14 показан пример расположения полей допусков для проходного и непроходного рабочих калибров, предназначенных для кон-

троля отверстия $\varnothing 40$ H8. Отклонения указаны в миллиметрах и отсчитываются от предельных размеров детали.

Правильность изготовления калибров-пробок определяется измерением действительного размера калибра с помощью универсальных средств измерений соответствующей точности. Проходной калибр считается годным, если одно из измеренных значений диаметра не выходит за поля допусков на неточность изготовления калибра и на износ. Непроходной калибр считается годным, если ни одно из измеренных значений диаметра не выходит за пределы полей допуска на неточность изготовления калибра.

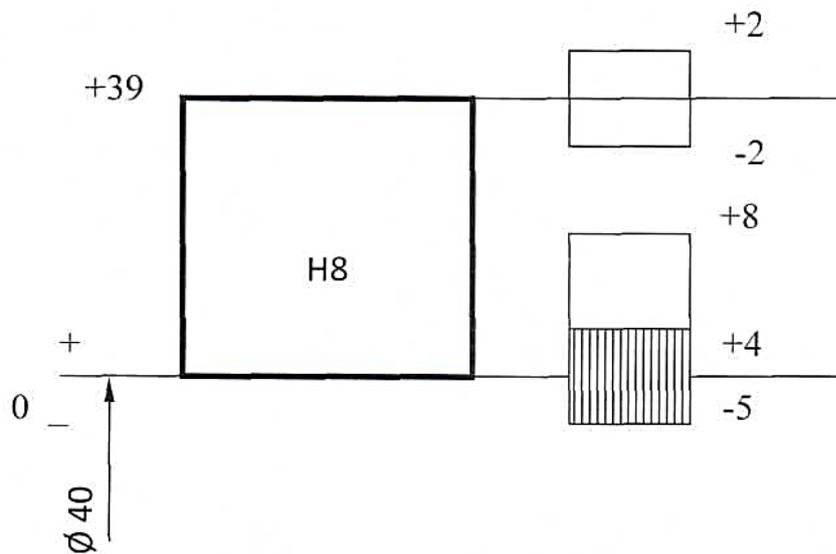


Рисунок 14 - Схема полей допусков калибра-пробки для контроля отверстия $\varnothing 40$ H8

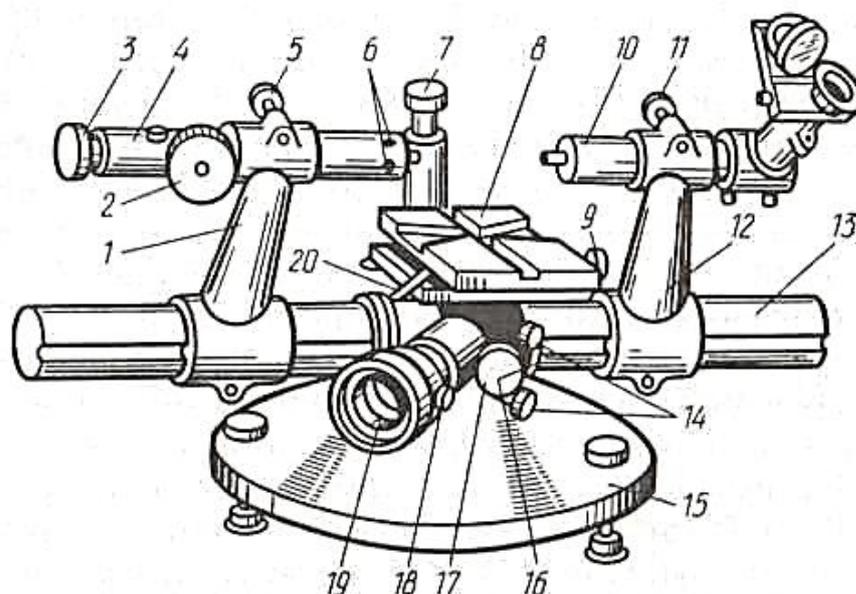


Рисунок 15 - Горизонтальный оптиметр ОГО -1 (ИКГ)

Горизонтальный оптиметр (рисунок 15) предназначен для измерения наружных и внутренних размеров точных деталей методом сравнения. Он состоит из следующих основных частей: основания 15, вала 13, кронштейнов 1 и 12, трубки оптиметра 10, пинольной трубки 4, предметного столика 8.

Основные метрологические показатели горизонтальных оптиметров приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Метрологические показатели

Цена деления, мм	0,001
Диапазон показаний, мм	$\pm 0,1$
Пределы измерений наружных размеров, мм	0 - 350
Пределы измерений внутренних размеров, мм	13,5 - 150
Погрешность показания измеритель-	$\pm 0,0003$

ного устройства в пределах всей шкалы, мм	
--	--

Перед началом измерения прибор настраивается на ноль при помощи концевых мер длины. За размер блока концевых мер длины принимают номинальный размер проверяемого отверстия. За нулевое деление обычно принимается штрих шкалы, отмеченный цифрой 0.

Установку оптиметра на ноль производят в следующем порядке. Отжав стопорные винты, расположенные с задней стороны кронштейнов 1 и 12, раздвигают последние на валу 13. Блок концевых мер устанавливают на середину предметного столика 8 и закрепляют струбцинкой за нерабочие поверхности: для удобства под блок можно подложить подставку. (Следует следить за тем, чтобы все вспомогательные операции по закреплению блока концевых мер и в дальнейшем калибра выполнялись при нижнем положении столика. В противном случае, поскольку столик подвижен, возможны случайные удары закрепляемого предмета о наконечники прибора, что приводит к его неисправности).

Столик 8 при отжатом винте 18 поднимают маховиком 19 до уровня, при котором середина измерительных плоскостей блока установится против измерительных наконечников. Кронштейны 1 и 12 осторожно сдвигают до соприкосновения наконечников с блоком концевых мер при среднем положении предметного столика (нужно следить, чтобы столик не был смещен в одно из крайних положений). Момент касания блока с измерительными наконечниками будет заметен по движению изображения шкалы в поле зрения. Затем, застопорив винты кронштейнов и отжав винт 2, вращением головки 3 микровинта пинольной трубки устанавливают нулевой штрих шкалы приблизительно против указателя.

Чтобы линия измерения совпала с размером блока, т.е. чтобы не допустить его перекоса при установке на столике, необходимо выверить поло-

жение блока поворотом столика вокруг горизонтальной и вертикальной осей.

Для этого:

- а) при помощи рукоятки 20 слегка поворачивают столик вокруг вертикальной оси и, наблюдая за показаниями шкалы, прекращают поворот при наименьшем показании;
- б) при помощи эксцентрика 17 при отстопоренном винте 16 слегка покачивают столик вокруг горизонтальной оси и фиксируют положение столика этим же винтом 16 при наименьшем показании шкалы.

Затем вращением головки 3 при отстопоренном винте 2 устанавливают шкалу на ноль (нулевой штрих шкалы напротив указателя) и винт 2 стопорят. Для проверки правильности нулевой установки столик снова поворачивают вокруг горизонтальной и вертикальной осей, как было указано выше. Наименьшее показание шкалы при обоих поворотах должно совпадать с нулевым штрихом.

Арретиром отводят измерительный наконечник трубки оптиметра и, отстопорив винт 18 маховичком 19, осторожно опускают столик. Удалив блок концевых мер, устанавливают на столик (или на подставку) торцевой плоскостью калибр-пробку и закрепляют ее струбцинкой. Далее столик поднимают и осторожно вводят калибр между наконечниками. Проверяемый диаметр будет равен сумме показаний оптиметра (с учетом знака) и размера блока концевых мер длины [3].

Лабораторная работа №7

Погрешности измерений и определение доверительного интервала

Цель работы: Приобрести практические навыки по определению погрешности измерений и доверительных границ случайной погрешности.

- Задание:*
1. Изучить виды погрешности, методы оценки результатов измерений.

2. Определить доверительные границы случайной погрешности измерений для конкретных результатов измерений размера.

Средства измерения и принадлежности:

1. Универсальные средства измерений линейных размеров.
2. Набор ПКМД.

Порядок выполнения задания

Исходные данные: Учебная деталь.

- 1) Изучить теоретическую часть лабораторной работы учебного пособия.
- 2) Нарисовать эскиз детали с указанием на нем размеров, подлежащих измерениям.
- 3) Определить для всех приборов и занести в таблицу метрологические показатели.
- 4) Проверить и настроить все приборы.
- 5) Выполнить измерения по размерам детали с учетом возможностей приборов.
- 6) Определить погрешности результатов измерений.
- 7) Записать в таблицу результаты измерений с учетом доверительных границ случайной погрешности.

Теоретическая часть

Погрешности измерений

Общие положения. Процесс измерения неизбежно сопровождается ошибками, которые вызываются несовершенством измерительных средств, нестабильностью условий проведения измерений, несовершенством самого метода и методики измерений, недостаточным опытом и несовершенством ор-

ганов чувств человека, выполняющего измерения, а также другими факторами [19].

Погрешностью измерения называется отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины:

$$\Delta X_{\text{изм}} = X_i - X_{\text{и}}$$

где X_i — i -е значение результата измерения; $X_{\text{и}}$ — истинное значение результата измерения [19].

Поскольку истинное значение измеряемой величины всегда остается неизвестным, за него при многократных измерениях принимается среднее арифметическое значение X :

$$X_{\text{и}} = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (7)$$

где n — количество проведенных измерений.

Погрешность измерения ($\Delta X_{\text{изм}}$), выраженная в единицах измеряемой величины, называется абсолютной. Она не всегда является информативной. Например, абсолютная погрешность 0,01 мм может быть достаточно большой при измерениях величин в десятые доли миллиметра и малой при измерениях величин, размеры которых превышают несколько метров [19].

Более информативной величиной является относительная погрешность, под которой понимают отношение абсолютной погрешности измерения к ее истинному значению (или математическому ожиданию) [19], %:

$$\delta = \pm \frac{\Delta X_{\text{изм}}}{\bar{X}} \cdot 100 .$$

Именно относительная погрешность используется для характеристики точности измерения [19].

По своему характеру (закономерностям проявления) погрешности измерения подразделяются на систематические, случайные и грубые промахи.

Систематические погрешности. К систематическим погрешностям относят погрешности, которые при повторных измерениях остаются постоянными или изменяются по какому-либо закону [19].

Систематические погрешности при измерении одним и тем же методом и одними и теми же измерительными средствами всегда имеют постоянные значения. К причинам, вызывающим их появление, относят:

- погрешности метода или теоретические погрешности;
- инструментальные погрешности;
- погрешности, вызванные воздействием окружающей среды и условий измерения.

Погрешности метода происходят вследствие ошибок или недостаточной разработанности метода измерений. Сюда же можно отнести неправомерную экстраполяцию свойства, полученного в результате единичного измерения, на весь измеряемый объект. Например, принимая решение о годности вала по единичному измерению, можно допустить ошибку, поскольку не учитываются такие погрешности формы, как отклонения от цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения и др. Поэтому для исключения такого рода систематических погрешностей в методике измерений рекомендуется проведение измерений в нескольких местах деталей и взаимно-перпендикулярных направлениях [19].

К погрешностям метода относят также влияние инструмента на свойства объекта (например, значительное измерительное усилие, изменяющее форму тонкостенной детали) или погрешности, связанные с чрезмерно грубым округлением результата измерения.

Инструментальные погрешности связаны с погрешностями средств измерения, вызванными погрешностями изготовления или износом составных частей измерительного средства [19].

К погрешностям, вызванным воздействием окружающей среды и условий измерений, относят температуру (например, измерения еще не остывшей детали), вибрации, жесткость поверхности, на которую установлено измерительное средство, и т. п.

Одним из методов обнаружения систематической погрешности может быть замена средства измерений на аналогичное в случае, если оно предположи-

тельно является источником систематической погрешности. Подобным образом можно обнаружить систематическую погрешность, вызванную внешними условиями: например, замена поверхности, на которую установлено измерительное средство, на более жесткую.

Появление систематической погрешности можно обнаружить статистически, нанося с заданной периодичностью результаты измерений на бумагу с заданными границами (например, предельными размерами). Устойчивое движение результата измерений в сторону одной из границ будет означать появление систематической погрешности и необходимости вмешательства в технологический процесс [19].

Для исключения систематической погрешности в производственных условиях проводят:

- проверку средств измерений,
- устраняют те причины, которые вызваны воздействиями окружающей среды,
- а сами измерения проводят в строгом соответствии с рекомендуемой методикой, принимая в необходимых случаях меры по ее совершенствованию.

Постоянные систематические погрешности не влияют на значения случайных отклонений измерений от средних арифметических, поэтому их сложно обнаружить статистическими методами. Анализ таких погрешностей возможен только на основании априорных знаний о погрешностях, получаемых, в частности, при поверке средств измерений. Например, при поверке средств измерений линейных величин измеряемая величина обычно воспроизводится образцовой мерой (концевой мерой длины), действительное значение которой известно. Систематические погрешности приводят к искажению результатов измерений и потому должны выявляться и учитываться при оценке результатов измерений [19].

Полностью систематическую погрешность исключить практически **невозможно**; всегда в процессе измерения остается некая малая величина, называемая **неисключенной систематической погрешностью**. Эта величина учитывается путем внесения поправок.

Поправка - разность между средним арифметическим значением результатов измерения и значением меры с точностью, определяемой погрешностью при ее аттестации. Она вносится в паспорт аттестуемого средства измерения и принимается за искомую систематическую погрешность [19].

Случайные погрешности. *Случайные погрешности* — это погрешности, принимающие при повторных измерениях различные, **независимые** по знаку и величине значения, не подчиняющиеся какой-либо закономерности. **Причин**, вызывающих случайные погрешности, может быть много; например колебание припуска на обработку, механические свойства материалов, посторонние включения, точность установки деталей на станок, точность средства измерения в заготовке, изменение измерительного усилия крепления детали на станке, силы резания и др.

Как правило, индивидуальное влияние каждой из этих причин на результаты измерения невелико и не поддается оценке, тем более, что, как всякое случайное событие, оно в каждом конкретном случае может произойти или нет [19].

Для случайных погрешностей характерен ряд условий:

- малые по величине случайные погрешности встречаются чаще, чем большие;
- отрицательные и положительные относительно средней величины измерений, равные по величине погрешности, встречаются одинаково часто;
- для каждого метода измерений есть свой предел, за которым погрешности практически не встречаются (в противном случае эта погрешность будет грубым промахом) [19].

Выявление случайных погрешностей особенно необходимо при **точных**, например, **лабораторных измерениях**. Для этого используют много-

кратные измерения одной и той же величины, а их результаты обрабатываются методами теории вероятностей и математической статистики. Это позволяет уточнить результаты выполненных измерений [19].

Влияние случайных погрешностей выражается в разбросе полученных результатов относительно математического ожидания, поэтому количественно наличие случайных погрешностей хорошо оценивается среднеквадратическим отклонением (СКО) [19].

Для оценки рассеяния результатов измерений физической величины относительно среднего X , определяемого по (7), СКО определяется по формуле:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \text{ при } n \geq 20 \quad (8)$$

$$\text{или } \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \text{ при } n < 20, \quad (9)$$

где n — число измерений.

Поскольку среднее значение серии измерений X является случайным приближением к истинному значению измеряемой величины, то для оценки возможных отклонений среднего значения используется **опытное СКО** — $\sigma_{\bar{X}}$ [19]

$$\sigma_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}}. \quad (10)$$

Величина $\sigma_{\bar{X}}$ применяется при оценке погрешностей окончательного результата.

Случайные погрешности измерения, не изменяя точности результата измерений, тем не менее, оказывают влияние на его достоверность [19].

При этом дисперсия среднего арифметического ряда измерений всегда имеет меньшую погрешность, чем погрешность каждого определенного измерения. Из формул (8) и (9) следует, что если необходимо повысить точность результата (при исключенной систематической погрешности) в 2 раза, то количество измерений надо увеличить в 4 раза [19].

Грубые погрешности (промахи). *Грубые погрешности* — это погрешности, не характерные для технологического процесса или результата, приводящие к явным искажениям результатов измерения [19].

Наиболее часто они допускаются неквалифицированным персоналом при неправильном обращении со средством измерения, неверным отсчетом показаний, ошибками при записи или вследствие внезапно возникшей посторонней причины при реализации технологических процессов обработки деталей. Они сразу видны среди полученных результатов, так как полученные значения отличаются от остальных значений совокупности измерений [19].

Если в процессе измерений удастся найти причины, вызывающие существенные отличия, и после устранения этих причин повторные измерения не подтверждают подобных отличий, то такие измерения могут быть исключены из рассмотрения. Но необдуманное отбрасывание резко отличающихся от других результатов измерений может привести к существенному искажению характеристик измерений. Иногда при обработке результатов измерений учет всех обстоятельств, при которых они были получены, не представляется возможным. В таком случае при оценке грубых промахов приходится прибегать к обычным методам проверки статистических гипотез [19].

Проверяемая гипотеза состоит в утверждении, что результат измерений X_i не содержит грубой погрешности, а является одним из значений случайной величины. Обычно проверяют наибольшее X_{max} и наименьшее X_{min}

значения результатов измерений. Для проверки гипотез используются следующие критерии.

1. Если число измерений $n \leq 10$, то может быть использован **критерий Шовине**. В этом случае грубой ошибкой (промахом) считается результат X_i , если разность $|\bar{X} - X_i|$ превышает значения σ_x , определяемые в зависимости от числа измерений [19]:

$$|\bar{X} - X_i| > \begin{cases} 1,6\sigma_x & \text{при } n = 3; \\ 1,7\sigma_x & \text{при } n = 6; \\ 1,9\sigma_x & \text{при } n = 8; \\ 2,0\sigma_x & \text{при } n = 10, \end{cases}$$

где σ_x — СКО, полученное по формуле (9).

2. **Критерий Романовского**, используемый при числе измерений $10 < n < 20$. При этом вычисляют отношение

$$\left| \frac{\bar{X} - X_i}{\sigma_x} \right| = \beta$$

и полученное значение β сравнивают с теоретическим β_T , при выбранном **уровне значимости q** (см. таблицу 12). Напомним, что **уровень значимости** — это вероятность отвергнуть верную гипотезу при статистической проверке гипотезы. Обычно при обработке результатов измерений ее значение принимают в пределах 0,05... 0,1 [19].

Таблица 12 - Значения β_T

Уровень значимости q	Число измерений, n						
	4	6	8	10	12	15	20
0,01	1,73	2,16	2,43	2,62	2,75	2,90	3,08
0,02	1,72	2,13	2,37	2,54	2,66	2,80	2,96
0,05	1,71	2,10	2,27	2,41	2,52	2,64	2,78
0,10	1,69	2,00	2,17	2,29	2,39	2,49	2,62

3. **Критерий 3σ** — наиболее распространенный. Он используется, когда количество измерений $n \geq 20 \dots 50$. В этом случае считается, что результат, полученный с вероятностью $P = 0,003$, маловероятен и его можно квалифицировать как промах, т. е. сомнительный результат X_i должен быть исключен из измерений [19], если

$$|\bar{X} - X_i| > 3\sigma_x.$$

Методы оценки результатов измерений

Точечная оценка результатов измерений. В практике измерения наибольшее распространение получили точечные и интервальные оценки результатов измерений [19].

Оценку \bar{X} — числовой характеристики закона распределения случайной величины X_i , изображаемую точкой на числовой оси называют **точечной оценкой**. В отличие от числовых характеристик, оценки являются случайными величинами, значения которых зависят от числа измерений.

Для производственных условий наиболее характерными являются однократные измерения либо многократные измерения, при чем количество многократных измерений одной и той же величины невелико ($n = 5 — 6$ измерений).

Можно говорить лишь о точечной оценке результата измерения. Число измерений невелико, поэтому отделить случайную погрешность от систематической не представляется возможным. Поскольку измерения осуществляют, как правило, в нормальных условиях, то вероятность промахов можно считать достаточно малой [19].

Результат измерения или его среднее значение (при $n = 5 — 6$ измерений) принимается в качестве **истинного**, а решение о годности размера выбирают исходя из условия, что результат измерения не выходит за предел некоторой заранее заданной величины, например допуска на изготовление. При этом предельная погрешность средства измерения $\pm \Delta_{lim}$ не должна

превышать допустимой погрешности измерения δ , задаваемой ГОСТ 8.051—81 в зависимости от допуска на измеряемую величину $\pm\Delta_{\text{lim}} \leq \delta$ [19].

К точечным оценкам предъявляются требования **состоятельности**, **несмещенности** и **эффективности**.

Оценка называется *состоятельной*, если при увеличении числа измерений она приближается (сходится по вероятности) к значению оцениваемого параметра, $X \rightarrow \bar{X}$ при $n \rightarrow \infty$ [19].

Оценка называется *несмещенной*, если ее математическое ожидание равно оцениваемой величине, т.е. $X = \bar{X}$.

Оценка называется *эффективной*, когда ее дисперсия является наименьшей $\sigma_x^2 = \min$ [19].

Из теории вероятностей известно, что среднее арифметическое значение измерений является несмещенной оценкой истинного значения, а СКО среднего арифметического значения — $\sigma_{\bar{X}}$ — состоятельной и эффективной и определяется по формуле (54).

В этом случае точечная оценка Q результата измерения должна быть представлена в виде [19]:

$$Q = \bar{X}; \sigma_{\bar{X}} = \dots; n = \dots,$$

что позволяет сделать определенные, хотя и достаточно приближенные выводы о точности проведенных измерений.

Пример 3. При измерении размера вала получены

$$\varnothing 55u8 \begin{pmatrix} +0,133 \\ +0,087 \end{pmatrix}$$

следующие результаты, мм:

$$X_1 = 55,01; X_2 = 55,13; X_3 = 55,12; X_4 = 55,12; X_5 = 55,12.$$

Провести точную оценку результатов измерений:

$$\bar{X} = \frac{55,01 + 55,13 + 55,12 + 55,12 + 55,12}{5} = 55,118 \text{ мм};$$

$$\sigma_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{(55,118 - 55,010)^2 + (55,118 - 55,13)^2 + (55,118 - 55,12)^2 \cdot 3}{5(5-1)}} = 0,02 \text{ мм.}$$

Таким образом, результат измерений [19]

$$\bar{X} = 55,12 \text{ мм}; \sigma_{\bar{X}} = 0,02 \text{ мм}; n = 5.$$

Интервальные оценки результатов наблюдений. *Действительный размер* — это размер, полученный в результате измерения с допустимой погрешностью измерения. Точечные оценки результатов измерения не позволяют в должной мере оценить достоверность измерения. Формулы (7) — (10) определяют статистические оценки размеров, т.е. приближенные значения их истинных величин, имеющих место в действительности. Степень приближения истинных величин, или точность каждой из оценок, определяется половиной ширины построенного для нее доверительного интервала [19].

Доверительным интервалом параметра X основной совокупности, т.е. совокупности всех возможных значений погрешности, называется интервал вида

$$\left(\bar{X} - t_{\beta} \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}, \bar{X} + t_{\beta} \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \right),$$

где \bar{X} — математическое ожидание параметра X , определяемое по формуле (54); σ_x — СКО, определяемое по формуле (55); n — число измерений; t_{β} — коэффициент, определяемый из таблиц распределения Стьюдента при $n < 30$ при заданной доверительной вероятности p (приложение 15) и $k = n - 1$, называемым числом степеней свободы [19].

Результат измерений в этом случае записывают в виде:

$$\bar{x} - t_{\beta} \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \leq \bar{x} \leq \bar{x} + t_{\beta} \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

при доверительной вероятности β .

Значения доверительных интервалов увеличиваются с увеличением доверительной вероятности β и уменьшаются с увеличением количества наблюдений [19].

Пример 4. В результате измерений вала, выполненного по

$\varnothing 50b10 \begin{pmatrix} -0,18 \\ -0,28 \end{pmatrix}$ получены следующие результаты: 49,72; 49,74; 49,79;

49,80; 49,82. Определить доверительный интервал результатов измерений с доверительной вероятностью $\beta = 0,95$.

$$\bar{X} = \frac{49,72 + 49,74 + 49,79 + 49,80 + 49,82}{5} = 49,78;$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{(-0,06)^2 + (-0,04)^2 + 0,01^2 + 0,02^2 + 0,04^2}{5-1}} = 0,04;$$

$t_{\beta} = 2,77$ — из приложения 1 (при $k = 4$, $\beta = 0,95$);

$$\varepsilon_{\beta} = t_{\beta} \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} = 2,77 \frac{0,04}{\sqrt{5}} = 0,05.$$

Вывод: действительное значение размера $\varnothing 50b10$ находится и
пределах $49,73 < X < 49,83$ с доверительной вероятностью $\beta = 0,95$.

Результат измерений Q записывают в виде:

$$Q = \bar{X} \pm \varepsilon_{\beta}; Q = (49,78 \pm 0,05) \text{ мм (при } n = 5; \beta = 95 \%).$$

Это означает, что истинное значение измеряемого размера с вероятностью 0,95 находится в пределах от 49,73 до 49,83 мм при заданном числе измерений [19].

Пример выполнения лабораторной работы:

Дано: Микрометр МК – 75. Необходимо измерить размер «d» детали, представленной на эскизе (рисунок 16).

Размер детали измеряем микрометром МК-75 в 3-х поперечных сечениях (перпендикулярных продольной оси) и в 2-х взаимно перпендикулярных продольных плоскостях (6 измерений). Результаты измерений заносим в таблицу 13. Предельная погрешность измерения (приложение 11) равна 7,5 мкм.

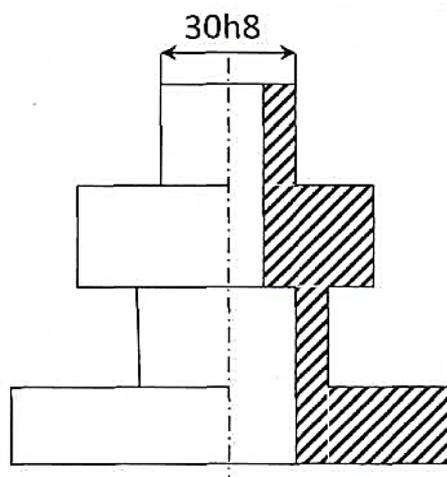


Рисунок 16 - Эскиз измеряемой детали.

Таблица 13 - Результаты измерения

Измеряемый размер	Предельная погрешность измерения, мкм	Плоскости измерения	Действительные размеры диаметра, мм
			мм

	$\pm\Delta_{lim}$		сечения		
			1	2	3
Диаметр d	7,5	1	29,97	30,01	30,02
		2	29,99	29,99	30,01

Расчеты:

Вычислим среднее арифметическое размера диаметра детали согласно формуле (54): $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$:

$$\bar{X} = \frac{29,97+30,01+30,02+29,99+29,99+30,01}{6} = \frac{179,99}{6} \approx 30,00 \text{ мм.}$$

Далее определяем СКО, зная, что $n < 20$ по формуле (31):

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$= \sqrt{\frac{(29,97-30,00)^2 + (30,01-30,00)^2 + 0,02^2 + (-0,01)^2 + (-0,01)^2 + 0,01^2}{6-1}} \approx 0,0297 \text{ мм.}$$

Определяем доверительный интервал, учитывая, что число степеней свободы ($k = n-1 = 6-1=5$) при доверительной вероятности ($\beta = 95\%$):

Коэффициент Стьюдента (из приложения 15): $t_\beta = 2,571$.

$$\varepsilon_\beta = t_\beta \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} = 2,571 \frac{0,0297}{\sqrt{6}} = 2,571 \frac{0,0297}{2,4495} \approx 0,03 \text{ мм}$$

Тогда доверительный интервал для диаметра d :

$$d = \bar{X} \pm \varepsilon_\beta.$$

$$d = 30,00 \pm 0,03 \text{ мм.}$$

Зная, что размер детали по чертежу равен $30h8$, т.е. $30-0,039$ мм (приложение 16 и 18), определим, что деталь негодная.

Лабораторная работа №8

Выбор универсальных средств измерений линейных размеров

Цель работы: Приобрести практические навыки по выбору конкретных универсальных средств измерений линейных размеров.

- Задание:*
1. Изучить конструкцию, регулировку и настройку универсальных средств измерений линейных размеров.
 2. Выбрать средства измерений для конкретного размера.

Средства измерения и принадлежности:

3. Универсальные средства измерений линейных размеров.
4. Набор ПКМД.

Порядок выполнения задания

Исходные данные: Учебная деталь (рабочий чертеж). Для детали, представленной на чертеже, может быть выдано несколько заданий. Целесообразнее выдавать лишь один размер, записанный с символическим обозначением допуска, например, $50 h8$.

По заданным техническим требованиям на изготовление или восстановление размера и точности технологического процесса необходимо:

- 1) Расшифровать символическое обозначение допуска и определить его величину.
- 2) По заданным номинальному размеру и качеству точности (или установленной величине допуска) из таблицы ГОСТ 8.051 – 81 (см. Приложение 6) определить допускаемую погрешность измерения $\delta_{\text{изм}}$.
- 3) По допускаемой погрешности измерения с учетом условий измерения и величины номинального размера из таблицы (приложение 8) или по РД 50-98-86 выбрать конкретное измерительное средство, чтобы предельная погрешность измерения не превышала допускаемого значения ($\pm \Delta_{\text{lim}} \leq \delta_{\text{изм}}$).
- 4) Выбранным средством измерения произвести измерение детали и оценить ее годность.

Для упрощения процесса выбора конкретных средств измерений и практического анализа всей возможной номенклатуры универсальных средств в РД 50-98-86 составлены таблицы.

В левой части таблицы указаны диапазоны номинальных размеров, сверху качества, а на пересечении указаны в виде дроби допускаемые погрешности измерений (числитель) и допуски на изготовление (знаменатель). Под ними номерами и буквами из таблиц указаны измерительные средства и варианты их использования, при которых погрешность измерения не превышает допускаемых значений.

Из указанных приборов выбираем тот, который имеется в наличии, проще в обращении [3].

Теоретическая часть

Выбор измерительных средств для обеспечения необходимой точности является комплексной задачей и должен проводиться в соответствии в соответствии с требованиями ГОСТ 8.051-81 и РД 50-98-86.

Средства измерений выбирают с учетом метрологических и экономических факторов. На выбор средств измерений влияет программа производства. При массовом производстве целесообразнее применять специальные средства измерений с высокой производительностью и автоматизацией, а при мелкосерийном и индивидуальном производстве – универсальные средства измерений.

При оценке годности изделий на практике принят вариант, когда приемочные границы совпадают с нормируемыми предельными размерами. В этом случае допуск на размер следует рассматривать, как допуск на сумму погрешностей технологического процесса и погрешность измерения.

Погрешность измерения оказывает качественное влияние на результат измерения только тех деталей, у которых размеры находятся близко к границам поля допуска. Взаимосвязь между допуском на изготовление, технологическим рассеиванием размеров и предельной погрешностью измерения представлена на рисунке 17.

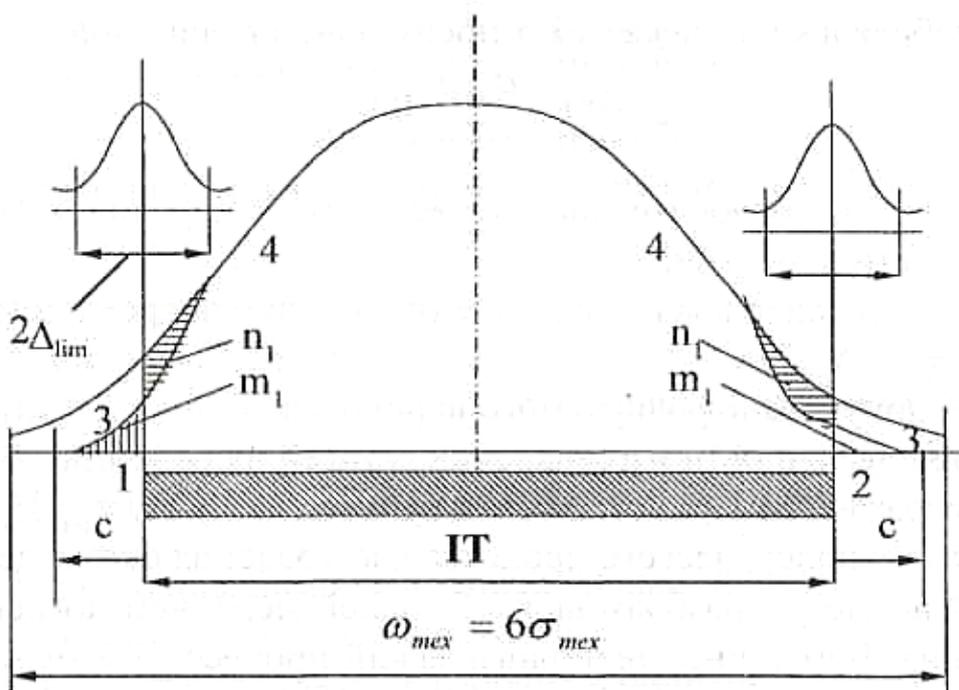


Рисунок 17 - Взаимосвязь между допуском на изготовление (IT) технологическим рассеиванием размеров ($6\sigma_{тех}$) и предельной погрешностью

измерения (Δ_{lim}): 1-2 – приемочные границы; 3-4 – кривая разбраковки деталей в зоне влияния погрешности измерения; n_1 , m_1 , c – параметры разбраковки деталей.

Рассматриваемая взаимосвязь и между допуском, погрешностями на изготовление и измерение и параметрами разбраковки устанавливает ГОСТ 8.051-81.

В стандарте значения допускаемых погрешностей измерения установлены в зависимости от номинальных размеров и допусков на изготовление, а также приведены в таблице. Величины погрешностей приняты разными от 20% (для квалитетов 10 и грубее) до 35% (для квалитетов 2 – 5) от допуска с округлениями, учитывающими реальные значения погрешностей измерения средствами измерений. Для квалитетов с 6 по 9 σ приближенно равно 25 % от допуска.

Предельные погрешности измерения, установленные РД 50-98-86, охватывают не только погрешности средств измерений, но и составляющие от других источников погрешностей, оказывающих влияние на погрешность измерения. К ним относятся погрешности от установочных мер, базирования, измерительного усилия, температурные деформации, погрешности оператора и др.

Конкретное средство измерений выбирается из таблиц так, чтобы предельная погрешность измерения не превышала установленную допускаемую погрешность, т.е.: $\Delta_{lim} \leq \delta$.

Влияние погрешности измерения на результаты разбраковки оцениваются параметрами:

n_1 – количество неправильно принятых деталей в процентах от количества принятых;

m_1 – количество неправильно забракованных деталей в процентах от количества годных;

c – вероятностная предельная величина выхода размера за каждую границу допуска у неправильно принятых деталей.

Для общих расчетов влияние погрешности измерения на результаты разбраковки выражается относительной величиной:

$$A_{мет}(\sigma) = \frac{\sigma_{мет}}{IT} \cdot 100, \quad (11)$$

где: $A_{мет}(\sigma)$ – относительная погрешность измерения (коэффициент точности измерений);

$\sigma_{мет}$ – среднее квадратическое отклонение погрешности измерения ($\sigma_{мет} = \Delta_{lim}/2$);

IT – допуск контролируемого параметра.

Влияние точности изготовления деталей на результаты разбраковки выражается через относительную величину $IT/\sigma_{мет}$. При этом точность технологического процесса изготовления оказывает влияние на параметры разбраковки в большей мере, чем погрешность измерения. Чем точнее технологический процесс, тем меньше неправильно принятых деталей по сравнению с неправильно выбракованными. При рассеивании размеров в пределах допуска параметры разбраковки будут равны нулю и приемочный контроль деталей в этом случае можно не проводить. Однако такая высокая точность технологического процесса приведет к повышению стоимости изделий и на практике изготовления и восстановления деталей не применяется.

Для уменьшения брака можно смещать настройку, т.е. центр группирования технологического распределения относительно середины допуска, регулируя тем самым соотношение брака плюс и брака минус; изменять технологический процесс, уменьшая зону технологического рассеивания; повышать требования к точности измерения, сокращая процент ложного брака. При отсутствии требуемых средств измерений точность измерения можно

повысить кратностью измерения, при этом суммарная погрешность измерения [3]:

$$\Delta_{\Sigma MET} = \frac{\Delta_{\text{lim}}}{\sqrt{n}}. \quad (12)$$

Тесты для фронтального контроля по лабораторным работам

Лабораторная работа № 1 Установка механической калибр-скобы на заданный размер

1. Что такое калибры?
 - а) Внутренний размер канала ствола оружия;
 - б) Внутренний диаметр канала ствола огнестрельного оружия;
 - в) Бесшкальные средства измерений для контроля размеров;
 - г) Режущий инструмент для обработки отверстия.

2. Для чего предназначены контрольные калибры?
 - а) Для контроля размеров деталей;
 - б) Для контроля размеров рабочих калибров;
 - в) Для контроля формы деталей;

г) Для контроля шероховатости поверхности.

3. Что называется рабочими калибрами?

- а) Калибры для контроля размеров контрольных калибров;
- б) Калибры для контроля размеров деталей;
- в) Калибры для контроля размеров приемных калибров;
- г) Режущий инструмент для обработки отверстия.

4. Что такое приемные калибры?

- а) Калибры для контроля шероховатости поверхности;
- б) Калибры для контроля формы деталей;
- в) Внутренний диаметр канала ствола огнестрельного оружия;
- г) Частично изношенные рабочие калибры.

5. Приведите расчетную формулу для определения наибольшего размера проходной калибр-скобы?

- а) $P - ПП_{\max} = d_{\max} + z_1 - \frac{H_1}{2}$;
- б) $P - ПП_{\max} = d_{\max} + z_1 + \frac{H_1}{2}$;
- в) $P - ПП_{\max} = d_{\max} - z_1 + \frac{H_1}{2}$;
- г) $P - ПП_{\max} = d_{\max} - z_1 - \frac{H_1}{2}$.

6. Приведите расчетную формулу для определения наименьшего размера проходной калибр-скобы?

- а) $P - ПП_{\min} = d_{\max} - z_1 + \frac{H_1}{2}$;
- б) $P - ПП_{\min} = d_{\max} + z_1 + \frac{H_1}{2}$;
- в) $P - ПП_{\min} = d_{\max} - z_1 - \frac{H_1}{2}$;
- г) $P - ПП_{\min} = d_{\min} + z_1 - \frac{H_1}{2}$.

7. Как определить наибольший размер изношенной проходной калибр-скобы?

- а) $P - ПП_{изн} = d_{\max} - y_1$;
- б) $P - ПП_{изн} = d_{\max} + y_1$;

в) $P - \text{ПП}_{\text{изн}} = d_{\text{min}} - y_1$;

г) $P - \text{ПП}_{\text{изн}} = d_{\text{min}} + y_1$;

8. Как определить наименьший размер непроходной калибр-скобы?

а) $P - HE_{\text{min}} = d_{\text{max}} - \frac{H_1}{2}$;

б) $P - HE_{\text{min}} = d_{\text{min}} + z_1 - \frac{H_1}{2}$;

в) $P - HE_{\text{min}} = d_{\text{min}} - \frac{H_1}{2}$;

г) $P - HE_{\text{min}} = d_{\text{min}} + \frac{H_1}{2}$.

9. Как определить наибольший размер непроходной калибр-скобы?

а) $P - HE_{\text{max}} = d_{\text{max}} - \frac{H_1}{2}$;

б) $P - HE_{\text{max}} = d_{\text{max}} + \frac{H_1}{2}$;

в) $P - HE_{\text{max}} = d_{\text{min}} - \frac{H_1}{2}$;

г) $P - HE_{\text{max}} = d_{\text{min}} + \frac{H_1}{2}$.

10. Укажите максимальное количество концевых мер в блоке?

а) 3;

с) 5;

б) 4;

д) 6.

Лабораторная работа № 2 Устройство и эксплуатация штангенприборов

1. Назовите типы штангенциркулей?

а) ШЦ- I, ШР, ШГ;

б) ШЦ- I, ШЦ- II, ШЦ- III;

в) ШР, ШГ;

г) ШЦ- I, ШР, ШГ, ШВ.

2. Для чего необходима нониусная шкала?

а) Для определения целой части размера;

б) Для определения погрешности размера;

в) Для определения дробной части размера;

г) Для определения предела измерений.

3. Как определяется интервал деления шкалы нониуса?

а) $b = \frac{\ell}{n}$;

б) $b = \frac{c}{n}$;

в) $e = \frac{c}{n}$;

г) $c = \frac{b}{n}$.

4. Что такое цена деления шкалы?

- а) Расстояние между серединами двух соседних отметок шкалы;
- б) Предельная погрешность средства измерения;
- в) Стоимость изготовления одного деления шкалы;
- г) Разность физических величин, соответствующих двум соседним делениям шкалы.

5. Как определить точность отсчета прибора?

а) $e = \frac{c}{n}$;

б) $b = \frac{c}{n}$;

в) $e = \frac{\ell}{n}$;

г) $c = \frac{b}{n}$.

6. Как изменяется погрешность измерения с увеличением размера?

- а) Уменьшается;
- б) Остается постоянной;
- в) Увеличивается;
- г) Исчезает.

7. Что нужно учитывать при измерении внутренних размеров штангенциркулями ШЦ-II, ШЦ-III, штангенрейсмусом ШР?

- а) Прибавить толщину губок (лапки);
- б) Отнять толщину губок (лапки);
- в) Умножить на толщину губок (лапки);
- г) Разделить на толщину губок (лапки).

8. Какая точность измерения у ШЦ-II?

- а) 0,1 мм;

- б) 0,02 мм;
- в) 0,5 мм;
- г) 0,05 мм.

9. Укажите пределы измерения ШЦ- I?

- а) 0 – 250 мм;
- б) 0 – 125 мм;
- в) 0 – 165 мм;
- г) 0 – 140 мм.

10. Для чего предназначен ШГ?

- а) Для измерения высоты;
- б) Для измерения ширины;
- в) Для измерения длины;
- г) Для измерения глубины.

Лабораторная работа № 3

Устройство и эксплуатация микрометрических приборов

1. Для чего предназначен микрометр гладкий?

- а) Для измерений наружных и внутренних линейных размеров;
- б) Для измерений внутренних линейных размеров;
- в) Для измерений наружных глубин;
- г) Для измерений наружных линейных размеров.

2. Укажите точность измерения микрометром?

- а) 0,1 мм;
- б) 0,05 мм;
- в) 0,02 мм;
- г) 0,01 мм.

3. Для чего предназначена трещотка?

- а) Для ограничения измерительного усилия;
- б) Для установки микрометра на ноль;
- в) Для фиксации барабана;
- г) Для ограничения пределов измерения.

4. Для чего предназначена дополнительная шкала на стебле?

- а) Для отсчета целой части размера;

- б) Для отсчета сотой части размера;
 - в) Для отсчета 0,5-й части размера;
 - г) Для отсчета 0,001-й части размера;
5. Для чего предназначен установочный колпачок барабана?
- а) Для фиксации барабана;
 - б) Для ограничения измерительного усилия;
 - в) Для ограничения пределов измерения;
 - г) Для защиты от грязи.
6. Укажите величину измерительного усилия при измерении микрометром?
- а) $9 \pm 2\text{Н}$;
 - б) $2 \pm 2\text{Н}$;
 - в) $7 \pm 2\text{Н}$;
 - г) $5 \pm 2\text{Н}$.
7. В какой последовательности собирают удлинители при измерении микрометрическим нутромером?
- а) Начиная с самого наименьшего;
 - б) Начиная с самого наибольшего;
 - в) В любой;
 - г) В зависимости от ситуации.
8. Что выполняет роль ограничителя измерительного усилия у нутромера?
- а) Трещотка;
 - б) Подпружиненная пятка;
 - в) Установочный колпачок;
 - г) Удлинитель.
9. На какой поверхности производится установка на ноль микрометрического глубиномера?
- а) На любой поверхности;
 - б) На любой ровной поверхности;
 - в) На поверхности стола;
 - г) На поверхности контрольно-поверочной плиты.
10. Чем отличается основная шкала микрометрического глубиномера от такой же шкалы микрометра?
- а) Ничем;

- б) Противоположным направлением;
- в) Перпендикулярным направлением;
- г) Ценой деления.

Лабораторная работа № 4 **Измерение индикаторной скобой**

1. Как установить на ноль большую стрелку?
 - а) С помощью рычага;
 - б) Перестановкой индикаторной головки;
 - в) Поворотом циферблата;
 - г) С помощью блока концевых мер.

2. Как установить на ноль малую стрелку?
 - а) С помощью рычага;
 - б) Перестановкой индикаторной головки;
 - в) Поворотом циферблата;
 - г) С помощью блока концевых мер.

3. Для чего предназначен рычаг у индикаторной скобы?
 - а) Для отвода подвижной пятки;
 - б) Для отвода переставной пятки;
 - в) Для поворота циферблата;
 - г) Для перестановки индикаторной головки.

4. Для чего предназначен защитный колпачок у индикаторной скобы?
 - а) Для защиты от грязи;
 - б) Для защиты от влаги;
 - в) Для защиты от намагничивания;
 - г) Для защиты от случайных ударов.

5. Для чего предназначена индикаторная скоба?
 - а) Для измерения наружных линейных размеров;
 - б) Для измерения внутренних линейных размеров;
 - в) Для контроля наружных линейных размеров;
 - г) Для контроля внутренних линейных размеров.

6. Укажите точность измерения индикаторной скобой?
- а) 0,05 мм;
 - б) 0,1 мм;
 - в) 0,001 мм;
 - г) 0,01 мм.
7. Укажите погрешность измерения индикаторной скобой?
- а) $\pm 0,001$ мм;
 - б) $\pm 0,01$ мм;
 - в) $\pm 0,05$ мм;
 - г) $\pm 0,005$ мм.
8. Укажите метод измерения индикаторной скобой?
- а) Непосредственной оценки;
 - б) косвенный;
 - в) дифференциальный;
 - г) относительный.
9. Укажите цену деления шкалы индикаторной головки?
- а) 0,05 мм;
 - б) 0,1 мм;
 - в) 0,002 мм;
 - г) 0,01 мм.
10. Укажите диапазон показаний шкалы индикаторной головки?
- а) 0 – 1 мм;
 - б) 0 – 10 мм;
 - в) 0 – 20 мм;
 - г) 0 – 50 мм.

Лабораторная работа № 5
Измерение индикаторным нутромером

1. Для чего предназначен индикаторный нутромер?
- а) Для измерения глубины;
 - б) Для измерения высоты;
 - в) Для измерения внутренней глубины;

г) Для измерения внутренних линейных размеров.

2. Укажите предельную погрешность измерения индикаторным нутромером?

- а) 0,05 мм;
- б) 0,02 мм;
- в) 0,01 мм;
- г) 0,005 мм.

3. Укажите точность измерения индикаторным нутромером?

- а) 0,05 мм;
- б) 0,01 мм;
- в) 0,02 мм;
- г) 0,005 мм.

4. Укажите цену деления шкалы индикаторного нутромера?

- а) 0,05 мм;
- б) 0,005 мм;
- в) 0,02 мм;
- г) 0,01 мм.

5. Каким образом достигается установочный натяг?

- а) Нажатием на рычаг;
- б) Вращением сменного стержня;
- в) Покачиванием корпуса нутромера;
- г) Вращением циферблата.

6. Укажите величину установочного натяга?

- а) 3-4 мм;
- б) 4-5 мм;
- в) 2-3 мм;
- г) 1-2 мм.

7. Укажите метод измерения индикаторным нутромером?

- а) Косвенный;
- б) Непосредственной оценки;
- в) Относительный;
- г) Совместный.

8. С какой целью производят покачивание корпуса нутромера в вертикальной плоскости при измерении?
- а) Для определения положения, соответствующему поперечному сечению;
 - б) Для достижения установочного натяга;
 - в) Для настройки шкалы на ноль;
 - г) Для определения диапазона измерений.
9. С какой целью производят покачивание корпуса нутромера в вертикальной плоскости при настройке?
- а) Для достижения установочного натяга;
 - б) Для настройки шкалы на ноль;
 - в) Для определения диапазона измерений;
 - г) Для проверки измерительного усилия.
10. Что показывает стрелка индикатора при измерении?
- а) Диаметр отверстия;
 - б) Измерительное усилие;
 - в) Отклонение размера;
 - г) Установочный натяг.

Лабораторная работа № 6

Контроль диаметра цилиндрического валика при измерении на миниметре или микрокаторе

1. Для чего предназначен миниметр или микрокатор?
- а) Для увеличения и измерения;
 - б) Для измерений наружных и внутренних линейных размеров;
 - в) Для измерений наружных линейных размеров;
 - г) Для измерений внутренних линейных размеров.
2. Укажите точность измерения на миниметре?
- а) 0,1мм;
 - б) 0,05 мм;

- в) 0,001 мм;
- г) 0,02 мм.

3. Укажите диапазон показаний по шкале миниметра?

- а) 0 – 0,1 мм;
- б) 0 – 1 мм;
- в) 0 – 100 мм;
- г) $\pm 0,15$ мм.

4. Укажите правильные пределы измерения миникатора?

- а) 0 – 3 мм;
- б) $\pm 0,08$ мм;
- в) 0 – 10 мм;
- г) $\pm 0,15$ мм.

5. Укажите цену деления микрокатра?

- а) 0,1 мкм;
- б) 0,1 мм;
- в) 0,05 мм;
- г) 0,02 мм.

6. Укажите метод измерения микрокатром?

- а) непосредственный;
- б) относительный;
- в) косвенный;
- г) бесконтактный.

7. Для чего предназначена скрученная пружинка из бронзовой ленты у микрокатра?

- а) В качестве чувствительного элемента;
- б) Для регулировки горизонтального положения;
- в) Для регулировки вертикального положения;
- г) Для создания измерительного усилия.

8. Укажите величину измерительного усилия при измерении миниметром?

- а) $4 \pm 0,5$ Н;
- б) 7 ± 2 Н;
- в) $0,4 \pm 0,05$ Н;
- г) $0,7 \pm 0,02$ Н.

9. Приборы с пружинной передачей используются для измерения размеров, выполненных по каким квалитетам?

- а) по 7 – 8-му;
- б) по 9 – 10-му;
- в) по 5 – 6-му;
- г) по 2 – 3-му.

10. Что относится к недостаткам приборов с пружинной передачей?

- а) Большая предельная погрешность;
- б) Вибрация очень тонкой стрелки;
- в) Большое измерительное усилие;
- г) Сложность конструкции.

Лабораторная работа № 7 **Измерение на горизонтальном оптиметре**

1. Для чего предназначен горизонтальный оптиметр?

- а) Для увеличения и измерения;
- б) Для измерений наружных и внутренних линейных размеров;
- в) Для измерений наружных линейных размеров;
- г) Для измерений внутренних линейных размеров.

2. Укажите точность измерения на горизонтальном оптиметре?

- а) 0,01 мм;
- б) 0,005 мм;
- в) 0,001 мм;
- г) 0,002 мм.

3. Укажите диапазон показаний по шкале прибора?

- а) 0 – 0,1 мм;
- б) 0 – 1 мм;
- в) 0 – 100 мм;
- г) $\pm 0,1$ мм.

4. Укажите правильные пределы измерения прибора?

- а) 0 – 350 мм;
- б) 0 – 14,5 мм;
- в) 0 – 10 мм;
- г) 0 – 700 мм.

5. Укажите цену деления прибора?

- а) 0,01 мм;
- б) 0,001 мм;
- в) 0,005 мм;
- г) 0,002 мм.

6. Укажите метод измерения данным прибором?

- а) непосредственный;
- б) относительный;
- в) косвенный;
- г) бесконтактный.

7. Для чего предназначен микрометрический винт оптиметра?

- а) Для настройки на ноль;
- б) Для регулировки горизонтального положения;
- в) Для регулировки вертикального положения;
- г) Для создания измерительного усилия.

8. Для чего используются винтовые опоры оптиметра?

- а) Для создания измерительного усилия;
- б) Для регулировки вертикального положения;
- в) Для настройки на ноль;
- г) Для регулировки горизонтального положения.

9. Для чего используется упор оптиметра?

- а) Для фиксирования детали;
- б) Для фиксирования прибора;
- в) Для ограничения движения измерительной пятки;
- г) Для измерения подобных деталей.

10. Можно ли измерять внутренние размеры на данном оптиметре?

- а) Нет;
- б) Можно в пределах: 0 – 180 мм;
- в) Можно в пределах: 14,5 – 180 мм;
- г) Можно в пределах: 0 – 350 мм.

Приложение 1

Рекомендуемые классы концевых мер

Номинальные размеры скоб, мм	Для валов, изготавливаемых по посадкам		
	<i>n7; s6; r6;p6; n6; m6; k6; js6; h6; g6; m7; k7; js7; h7</i>	<i>d7; e8; d8; d9; e9; f9; d10; h8; u8; s7; x8; z8; h9; h10</i>	<i>H11; d11; d10; cd10; cd11; c11; h12; h14; h15; h16</i>
Свыше 1 до 3 Св. 3 до 10 Св. 10 до 18 Св. 18 до 50 Св. 50 до 120 Св. 120 до 150	Не ниже 2 кл. Не ниже 3 кл. Не ниже 2 кл. Не ниже 3 кл. Не ниже 2 кл. Не ниже 2 кл.	Не ниже 3 кл. Не ниже 2 кл.	Не ниже 3 кл.

Св. 150 до 180	Не ниже 0 кл.	Не ниже 1 кл.	Не ниже 2 кл.
----------------	---------------	---------------	---------------

Приложение 2

Предельные погрешности концевых мер

Номинальные размеры мер, мм	Допустимые отклонения срединной длины (характеристика по классам), ± мкм					
	При аттестации в процессе изготовления				При аттестации в процессе эксплуатации	
	0-й класс	1-й класс	2-й класс	3-й класс	4-й класс	5-й класс
1	2	3	4	5	6	7
До 10	0,10	0,20	0,40	0,8	2,0	4
Св. 10 до 18	0,12	0,25	0,50	1,0	2,5	5
Св.18 до 30	0,15	0,30	0,50	1,0	3,0	6

Продолжение прилож. 2

1	2	3	4	5	6	7
Св. 30 до 50	0,20	0,30	0,50	1,2	3,5	8
Св. 50 до 80	0,25	0,40	0,60	1,5	4,0	9
Св. 80 до 120	0,30	0,50	0,80	2,0	5,0	11
Св.120 до 180	0,40	0,75	1,00	2,5	6,0	12
Св. 180 до 250	0,50	1,00	1,50	3,0	7,0	14
Св. 250 до 300	0,60	1,25	2,00	3,5	8,0	16
Св. 300 до 400	0,80	1,50	2,50	4,0	9,0	18
Св.400 до 500	1,00	1,80	3,00	5,0	10,0	20

Приложение 3

6.	Z	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	4
	y	1	1	1	1,5	1,5	2	2	3	3
	H	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5
	Z ₁	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6
	y ₁	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4
	H ₁	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8
7.	Z, Z ₁	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6
	y, y ₁	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4
	H, H ₁	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8
8.	Z, Z ₁	2	3	3	4	5	6	7	8	9
	y, y ₁	3	3	3	4	4	5	5	6	6
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12
9.	Z ₁ Z ₁	5	6	7	8	9	11	13	15	18
	y ₁ y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12
10.	Z ₁ Z ₁	5	6	7	8	9	11	13	15	18
	y ₁ y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12
11.	Z ₁ Z ₁	10	12	14	16	19	22	25	28	32
	y ₁ y ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	H ₁ H ₁	4	5	6	8	9	11	13	15	18

Приложение 6

Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм,
σ изм (ГОСТ 8.051 – 81)

Номинальные размеры, мм	Квалитеты															
	5		6		7		8		9		10		11		12	
	IT	σ изм	IT	σ изм	IT	σ изм	IT	σ изм	IT	σ изм	IT	σ изм	IT	σ изм	IT	σ изм
До3	4	1,4	6	1,8	10	3	14	3	25	6	40	8	60	12	100	20
Св.3 до 6	5	1,6	8	2	12	3	18	4	30	8	48	10	75	16	120	30
Св. 6 до 10	6	2	9	2	15	4	22	5	36	9	58	12	90	18	150	30
Св.10 до 18	8	2,8	11	3	18	5	27	7	43	10	70	14	110	30	180	40
Св. 18 до 30	9	3	13	4	21	6	33	8	52	12	84	18	130	30	210	50
Св. 30 до 50	11	4	16	5	25	7	39	10	62	16	100	20	160	40	250	50
Св. 50 до 80	13	4	19	5	30	9	46	12	74	18	120	30	190	40	300	60
Св. 80 до 120	15	5	22	6	35	10	54	12	87	20	140	30	220	50	350	70
Св. 120 до180	18	6	25	7	40	12	63	16	100	30	160	40	250	50	400	80
Св. 180 до 250	20	7	29	8	46	12	72	18	115	30	185	40	290	60	450	100
Св. 250 до 315	23	8	32	10	52	14	81	20	130	30	210	50	320	70	520	120
Св. 315 до 400	25	9	36	10	57	16	89	24	140	40	230	50	360	80	570	120
Св. 400 до 500	27	9	40	12	63	18	97	26	155	40	250	50	400	80	630	140

Предельные погрешности средств измерения наружных размеров
 Δ_{lim} , МКМ

Наименование измерительного средства	Условие измерения			Интервалы размеров, мм										
	Разряд (класс) применяем. концевых мер	Используемое перемещен. измерительного стержня	Температурный режим °С	1 ...	3 ...	6 ...	18 ...	30 ...	50 ...	80 ...	120 ...	180 ...	260 ...	360 ...
Штангенциркули с отсчетом по нониусу 0,1мм	-	-	-	150	150	150	150	150	160	170	190	200	210	230
Штангенциркули с отсчетом по нониусу 0,05мм	-	-	-	80	80	80	80	80	90	100	100	100	110	110
Микрометры гладкие при настройке на нуль по установочной мере	-	-	при работе находятся на руках при работе находятся в стойке	5,5	5,5	5,5	6,5	7,5	9,5	12	17	22	36	10
	-	-		4,5	4,5	4,5	5	5	5	6	7	8,5	11	12
Индикаторы часового типа (ИЧ)	5(3)	1	2	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	10	11	12	14
при относительных измерениях	5(2)	(в начале второго оборота)	2	4,5	4,5	4,5	4,5	5	5	5,5	6	7	9	11
Рычажные скобы при установке по концевым мерам	5(2)	весь предел измерения по шкале	2	2	2	2	2	2	2,5	2,5	4,5	6	6	-

Приложение 8

Пределные погрешности средств измерения внутренних диаметров деталей Δ
 \lim , МКМ

Наименование Измерительного Средства	Условия измерения			Температурный режим °С	Интервалы размеров, мм				
	Пере-мещ. измерит. стержня мм	Разряд (класс) примен. колец. мер	Шеро-ховатость отверстия		Св3 До18	Св18 До50	Св50 До120	Св120 До260	Св260 До500
Штангенцирк. с отсч. по нониусу 0,1мм	-	-	5	7	200	200	230	300	300
Штангенцирк. с вел. отсч. 0,05мм	-	-	5	7	150	150	170	200	250
Микрометры с вел. отсчета 0,01мм	13	-	5	5 для размеров до 200мм	-	-	15	20	27
Нутромеры индикат. с ценой деления 0,01мм	13	-	5	3 для размеров св. 200мм	-	-	10	16	20
			9	3 для разме-ров до 100 мм	7	7,5	9	12	14
			7	2 для размеров св. 100мм	7,5	7,5	12	14	16
Нутромеры индикат. с ценой деления 0,01мм	0,03	5(2)	9	3 для размеров до 100мм	4	5	6	8	10
			7	2 для размеров св.100мм	5	8	10	11	13
Нутромеры индикат. с ценой деления 0,001мм и 0,002мм	0,1 – 0,3	5(2)	7	3 для размеров до 100мм	4,5	5,5	6,5	7,5	11
			9	3 для размеров до 100мм	2,8	3,5	4,5	6,5	9
			7	2 для размеров св. 100мм	3	4	5,5	7	10
Нутромеры повы-шенной точности с ценой деления 0,001мм и 0,002мм	0,1 – 0,3	5(2)	7	3	3,2	5	-	-	-
			9	3	2	3,5	-	-	-
			7	3	2,5	4,5	-	-	-
Горизонтальные Оптиметры	$\pm 0,06$	4(1)	9	1	1,2	1,2	1,5	3	5

Предельные погрешности средств измерения линейных величин ($\pm\Delta_{lim}$)

Наименование средства измерений	Настройка по концевым мерам класса точности	Интервалы размеров, мм											
		Св. 1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	260	360
		До 3	6	10	18	30	50	80	120	180	260	360	500
		Значение $\pm\Delta_{lim}$, МКМ											
Индикатор часового типа (0-10 мм):													
при работе на первом обороте стрелки	3	6	6	6	6	7	7	7	7	7	8	8	9
при работе на нормированном участке	3	6	6	6	6	7	7	7	7	7	8	8	9
при работе на втором обороте стрелки	4 5	10 11	10 11	10 11	10 12	10 13	11 14	11 14	12 17	13 20	14 23	16 23	19 35
Микатор с ценой деления 0,001 мм	2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	1,5	2	2	2,4	3,6	4,5
Микрокатор 0,001 мм, $\pm 0,03$ мм	-	0,9	0,9	0,9	1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	-	-	-
Микрокатор 0,002 мм, $\pm 0,06$ мм	2	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	-	-	-
Микрокатор 0,005 мм, $\pm 0,15$ мм	4 3	5 3	5 4	5 3	6 3	6 3	6 3	7 3,5	9 4	9 4	- -	- -	- -
Микрокатор 0,01 мм, $\pm 0,2$ мм	4 3	6 4	6 4	6 4	7 4	8 4	7 4	8 4	10 5	9,5 5	- -	- -	- -
Оптиметры вертикальные: при линейчатом и плоском контакте	3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	-	-	-
при точечном контакте	3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1	-	-	-
Оптиметры горизонтальные: при линейчатом и плоском контакте	3	0,5	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,9	1,1	-
при точечном контакте	3	0,7	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1	1,2	1,6	-
Микроскоп инструментальный	-	4	4	4	4	4	5	6	9	11	-	-	-

Приложение 10

Предельные погрешности средств измерения линейных величин ($\pm\Delta_{lim}$)

Наименование средства измерений	Интервалы размеров, мм							
	Св.1	Св.10	Св.50	Св.80	Св.120	Св.180	Св.260	Св.350
	До 10	До 50	До 80	До 120	До 180	До 260	До 350	До 500
	Значение $\pm\Delta_{lim}$, мкм							
Штангенциркуль с отсчетом по нониусу 0,05 мм при измерении вала	80	80	90	100	100	100	110	110
при измерении отверстий	150	150	170	170	200	200	250	250
Штангенциркуль с отсчетом по нониусу 0,1 мм при измерении вала	150	150	160	170	190	200	210	230
при измерении отверстий	200	200	230	230	300	300	300	300
Штангенглубиномер с отсчетом по нониусу 0,05 мм	100	100	150	150	150	150	150	-
Штангенглубиномер с отсчетом по нониусу 0,1 мм	200	250	300	300	300	300	300	300
Штангенрейсмус с отсчетом по нониусу 0,05 мм	50	50	50	50	50	50	50	50

Приложение 11

Предельные погрешности средств измерения линейных величин ($\pm\Delta_{lim}$)

Наименование средства измерений	Вид контакта	Интервалы размеров, мм											
		0	25	50	75	100	120	150	170	200	220	250	270
		0	5	5	10	10	5	0	5	0	5	0	5
		Значение $\pm\Delta_{lim}$, мкм											
Микрометры гладкие: находятся в руках	Все виды	5,5	7,5	9,5	12	14	16	18	22	25	25	30	30
находятся в стойке	Плоскостной и линейчатый	5	6	5,5	6	7	7	7	8	9	9	8	8
	точечный	5,5	6	7	8	8	8	8,5	9	11	11	11,5	12

Приложение 12

Предельные погрешности средств измерения линейных величин ($\pm\Delta_{lim}$)

Наименование средства измерений	Вид контакта	Интервалы размеров, мм					
		0	50	100	200	300	400
		50	100	200	300	400	500
		Значение $\pm\Delta_{lim}$, мкм					
Скобы индикаторные. Настройка по концевым мерам: 4-го класса точности 5-го класса точности	Независимо от вида То же	12	13	15	-	-	-
		15	18	22	38	48	55

Приложение 13

Предельные погрешности средств измерения линейных величин ($\pm\Delta_{lim}$)

Наименование средства измерений	Интервалы размеров, мм			
	0-25	25-50	50-75	75-100
	Значение $\pm\Delta_{lim}$, мкм			
Глубиномеры микрометрические: при абсолютном метода измерения при относительном методе измерения с настройкой по установочной мере	6	21	21	22
	6	6	6,5	8

Приложение 14

Предельные погрешности средств измерения линейных величин ($\pm\Delta_{lim}$)

Наименование средства измерений	Класс шероховатости поверхности детали	Интервалы размеров, мм				
		6-18	18-50	50-120	120-260	260-500
		Значение $\pm\Delta_{lim}$, мкм				
Нутромер микрометрический с ценой деления 0,01 мм	5	-	-	15	20	27
Нутромер индикаторный с ценой деления 0,01 мм	9	10	12	16	18	23
	7	11	14	18	20	24
	5	13	17	22	25	27

1. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. Лабораторные работы. Часть 1. / Коноводов В.В., Тихомиров О.А., Ермаева З.И.; под ред. Анфиногенова М.А.: Методические указания. - Новосибирск: Ротапринтный цех НСХИ, 1985. – 64 с.: ил.
2. Маханько А.М. Контроль станочных и слесарных работ: Учебник для проф. Учеб. Заведений. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Высшая школа: Издательский центр «Академия», 1998.- 286 с.: ил.
3. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения». / Л.Ю. Андрющенко и др.; под ред. А.А. Вечтомова. – М.: МИИСП, 1990. – 97 с.: ил.
4. Гетманов В., Жужалов В.Е. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебное пособие. – М.: Дели принт, 2003. – 104 с.
5. Гончаров А.А. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.А. Гончаров, В.Д. Копылов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 240 с.
6. Дайлидко А.А., Юрченко Ю.А. Стандартизация, метрология и сертификация на железнодорожном транспорте – М.: Желдориздат, 2002. – 262 с.
7. Дмитриевич А.М. Книга для начинающего слесаря. – 2-е изд., перераб. И доп. – Мн.: Беларусь, 1991. – 271 с.: черт.
8. Захаров В.И. Взаимозаменяемость, качество продукции и контроль в машиностроении. – Л.: Лениздат, 1990. – 302 с., ил.
9. Иванов А.И. и Полещенко П.В. Практикум по взаимозаменяемости, стандартизации и техническим измерениям. М., «Колос», 1977. – 224 с.: ил.
10. Лифиц И.М. Стандартизация, метрология и сертификация: Учебник. – 5-е изд., перераб. И доп. – М.: Юрайт-Издат, 2005. – 345 с.
11. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник/Ю.Б. Борисов, А.С. Сигов, В.И. Нефедов и др.; Под ред. профессора А.С. Си-

гова. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. – 336 с. – (Профессиональное образование).

12. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие/А.Д. Никифоров, Т.А. Бакиев. – М.: Высш. школа, 2002. – 422 с.: ил.
13. Никифоров А.Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов/ А.Д. Никифоров. – 3-е изд., испр. – М.: Высш шк., 2003. – 510 с.: ил.
14. Серый И.С. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Агропромиздат, 1987. -367 с.: ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. Учеб. Заведений).
15. Чижикова Т.В. Стандартизация, сертификация и метрология. Основы взаимозаменяемости. – М.: КолосС, 2003. – 240 с.: ил. (Учебники и учеб. пособия для студентов вузов).
16. Яблонский О.П., Иванова В.А. Основы стандартизации, метрологии, сертификации: Учебник/ Серия «Высшее образование». – Ростов н/Д: Феникс, 2004. – 448 с.

Введение.....	3
Лабораторная работа №1: Установка механической калибр-скобы на заданный размер.....	4
Лабораторная работа №2: Устройство и эксплуатация штангенприборов.....	14
Лабораторная работа №3: Устройство и эксплуатация микрометрических приборов.....	21
Лабораторная работа №4: Измерение индикаторной скобой.....	28
Лабораторная работа №5: Измерения индикаторным нутромером	35
Лабораторная работа №6: Контроль диаметра цилиндрического валика при измерении на миниметре или микрокаторе.....	38
Лабораторная работа №7: Измерение на горизонтальном оптиметре.....	46
Лабораторная работа №8. Погрешности измерений и определение доверительного интервала	170
Лабораторная работа №9: Выбор универсальных средств измерений линейных размеров.....	52
Тесты для фронтального контроля по лабораторным работам.....	57
Приложения.....	70
Литература.....	79

Александр Викторович Кузьмин
Владимир Афанасьевич Беломестных

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

В авторской редакции

Лицензия на издательскую деятельность
ЛР № 070444 от 11.03.98 г.

Подписано в печать 04 2021 г. Формат 60×84 1/16.
Усл. печ. л. . Тираж 500 экз.



Издательство Иркутского государственного
аграрного университета им. А.А. Ежевского
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н,
пос. Молодежный