

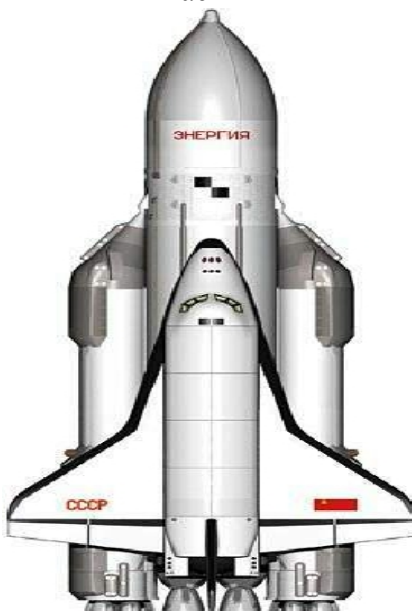
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический
университет»

Кафедра «Ракетные двигатели»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам № 3-4 по курсу
«Метрология, стандартизация и сертификация»
для студентов специальности 160700.65, 24.05.02
«Проектирование авиационных и ракетных двигателей»
очной формы обучения
Часть 2



Воронеж 2015

Составители: д-р техн. наук Г.И. Скоморохов,
лаб.-исслед. А.А. Пригожин

УДК 621.75

Методические указания к лабораторным работам № 3-4 по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов специальности 160700.65, 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения. Ч. 2 / ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет"; сост. Г.И. Скоморохов, А.А. Пригожин. Воронеж, 2015. 29 с.

Методические указания к лабораторным работам № 3-4 охватывают разделы, касающиеся технических измерений, статистической обработки и оценки параметров случайных величин, полученных эмпирическим путем

Издание соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по специальности 160700.65, 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация».

Табл. 5. Ил. 7. Библиогр.: 6 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Д.П. Шматов

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук,
проф. В.С. Рачук

Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Испытания жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) связаны с измерением и оценкой большого количества параметров, которые содержат систематические и случайные ошибки. Систематические ошибки порождаются методологией и условиями испытаний, а также специфическими особенностями исследуемого объекта. Случайные ошибки характеризуют суммарное воздействие большого числа различных факторов. Для исследования случайных явлений применяются методы теории вероятностей. Вероятностью называют число, заключенное между нулем и единицей, характеризующее меру возможности наступления случайного события в результате испытаний при заданной совокупности условий.

В соответствии с предельной теоремой теории вероятностей для выяснения законов распределения ошибки и оценки надежности и достоверности измерений необходимо бесконечно большое число испытаний. Это, естественно, требует значительных материальных затрат и времени. На практике ограничиваются сокращенным комплексом испытаний ЖРД и по их результатам делаются выводы о всей совокупности изделий. В связи с этим результаты единичных испытаний рассматриваются как случайно выбранная система величин, представляющая лишь один из возможных исходов, которые могли бы быть при многократных испытаниях.

Обработка результатов измерений широко применяется также в процессе производства ЖРД при статистическом контроле и регулировании качества продукции, например, для анализа технологических процессов, установления допусков, определения характеристик выборочных партий деталей и т.п. При изготовлении деталей неизбежно происходит рассеяние их размеров, выявляемое при измерении. Оно может быть вызвано несовершенством рабочего оборудования, погрешностью измерительных инструментов, девиацией режимов обработки, ошибками оператора и т.п. Вследствие

этого погрешность изготовления и результат измерения конкретной детали тоже являются случайными величинами.

Поэтому для обработки результатов измерений и оценки приближения параметров к истинным значениям, как при изготовлении, так и испытаниях ЖРД используются методы теории вероятностей и математической статистики.

По способу формирования статистического ряда случайных величин, полученных при испытаниях, методы измерения подразделяются на прямые, косвенные и совокупные.

При прямых измерениях искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных.

Косвенные измерения - искомое значение величин находят по известной зависимости между этими величинами и величинами, полученными прямыми измерениями.

Совокупные измерения - искомые значения величин находят путем решения системы уравнений, получаемой при различных сочетаниях измеряемых величин.

Результаты, полученные при наблюдениях или измерениях испытаниях, называют выборкой из генеральной совокупности. Выборка является представительной (репрезентативной), если она достаточно хорошо представляет распределение генеральной совокупности. Ограничение выборок снижает точность и достоверность оценки погрешности и надежности наблюдений. Поэтому важно при организации и обработке результатов испытаний установить способы оценки их достоверности и надежности, обеспечивающие наилучшее приближение измеренных параметров к истинным значениям.

Данные методические указания к лабораторным работам № 3-4 по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов специальности 160302 «Ракетные двигатели» охватывают разделы, касающиеся основ метрологии, технических измерений, статистической обработки и оценки параметров случайных величин, полученных эмпирическим путем. Изложенный материал

может быть использован на практических занятиях, а также при выполнении курсовых и дипломных проектов.

2. ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН: ДЛИН, ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, УГЛОВ

2.1. Лабораторная работа 3. Измерение геометрических величин деталей штангенинструментом

Цель работы – ознакомление с конструкцией штангенинструментов, приобретение навыков работы с инструментами, первичная обработка результатов измерений.

Оборудование, инструменты: объект измерения, штангенциркуль ШЦ-I, штангенциркуль ШЦ-II, штангенциркуль ШЦ-III, штангенглубиномер, штангенрейсмас.

2.1.1. Краткие сведения из теории

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Измерения являются инструментом познания объектов и явлений окружающего мира. Объектами измерений являются физические объекты и процессы окружающего нас мира. Вся современная физика может быть построена на семи основных и двух дополнительных величинах, которые характеризуют фундаментальные свойства материального мира (табл.1).

Размерность измеряемой величины является качественной ее характеристикой и обозначается символом \dim , происходящим от слова dimension. Размерность основных физических величин обозначается соответствующими заглавными буквами. Например, для длины $\dim l = L$, массы $\dim m = M$ и времени $\dim t = T$.

Размер измеряемой величины является ее количественной характеристикой. Получение информации о размере физической величины является содержанием любого измерения.

Можно выделить следующие виды измерений.

1. По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения методы измерений подразделяются на:

- **статические**, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени;
- **динамические**, в процессе которых измеряемая величина изменяется и является непостоянной во времени.

Таблица 1

Основные и дополнительные единицы системы SI

Величина		Единица		
наименование	размерность (dim)	наименование	обозначение	
			межд.	Русское
Основные				
Длина	L	Метр	m	м
Масса	M	Килограмм	kg	кг
Время	T	Секунда	s	с
Сила электрического тока	I	Ампер	A	А
Термодинамическая температура	ϑ	Кельвин	K	К
Количество вещества	N	Моль	mol	моль
Сила света	J	Кандела	cd	кд
Дополнительные				
Плоский угол		РадIAN	rad	рад
Телесный угол		Стерaдиан	sr	ср

2. По способу получения результатов измерений методы измерения подразделяются на **прямые, косвенные и совокупные**.

- **При прямых измерениях** искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных.

- **Косвенные измерения** - искомое значение величин находят по известной зависимости между этими величинами и величинами, полученными прямыми измерениями.

- **Совокупные измерения** - искомые значения величин находят путем решения системы уравнений, получаемой при различных сочетаниях измеряемых величин.

3. По условиям, определяющим точность результата измерения, методы делятся на три класса.

- **Измерение максимально возможной точности**, достижимой при существующем уровне техники. К ним относятся эталонные измерения, измерения физических констант и др.

- **Контрольно поверочные измерения**, погрешность которых с определенной вероятностью не должна превышать некоторое заданное значение. К ним относятся измерения, выполняемые лабораториями государственного надзора и заводскими измерительными лабораториями.

- **Технические измерения**, в которых погрешность результатов определяется характеристиками средств измерений. Примерами технических измерений являются измерения, выполняемые в процессе производства на **машиностроительных предприятиях**.

По способу выражения результатов измерений различают **абсолютные и относительные измерения**.

- **Абсолютное измерение** основано на прямых измерениях величины и использовании физических констант, например, измерение размеров деталей **штангенциркулем или микрометром**.

- При **относительных измерениях** величину сравнивают с одноименной, играющей роль единицы измерения или принимаемой за исходную. Например, измерение диаметра вращающейся детали по числу оборотов соприкасающегося с ней аттестованного ролика.

Средство измерения – это техническое устройство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства. По метрологическому назначению средства измерения делятся на образцовые и рабочие.

- **Образцовые** предназначены для по ним других средств измерений как рабочих, так и образцовых менее высокой точности.

- **Рабочие** средства измерений предназначены для

измерения размеров величин, необходимых в разнообразной деятельности человека.

Сущность разделения средств измерений на образцовые и рабочие состоит не в конструкции и не в точности, а в их назначении.

При выборе средства измерения в зависимости от заданной точности изготовления деталей необходимо учитывать их **метрологические показатели**. К ним относятся:

1. **Длина деления шкалы** – это расстояние между серединами двух соседних отметок ((штрихов, точек и т.п.) шкалы.

2. **Цена деления шкалы** – это разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы (у микрометра она равна 0,01 мм).

3. **Градуировочная характеристика** – зависимость между значениями величин на выходе и входе средств измерений.

4. **Диапазон показаний** – область значений шкалы, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы, то есть наибольшим и наименьшим значениями измеряемой величины.

5. **Диапазон измерений** – область значений измеряемой величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства измерения.

6. **Чувствительность прибора** – отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к изменению измеряемой величины (сигнала) на входе. Для шкальных измерительных приборов абсолютная чувствительность численно равна передаточному отношению.

7. **Вариация** (нестабильность) показаний прибора - алгебраическая разность между наибольшим и наименьшим результатами измерений при многократном измерении одной и той же величины в неизменных условиях.

8. **Стабильность** средств измерений – свойство, выражающее неизменность во времени его метрологических характеристик (показаний).

Погрешность измерений – это отклонение значений величины, найденной путем ее измерения, от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Погрешность прибора – это разность между показанием прибора и истинным (действительным) значением измеряемой величины.

Разница между погрешностью прибора заключается в том, что погрешность прибора связана с определенными условиями его поверки.

Погрешность может быть **абсолютной и относительной**.

• **Абсолютной** называют погрешность измерения, выраженную в тех же единицах, что и измеряемая величина.

$$\Delta = A - X_{ист} \approx A - X_{д},$$

где Δ - абсолютная погрешность; A - результат измерения; $X_{ист}$ - истинное значение, это измеряемое значение, показанное идеальным измерительным прибором, свободным от погрешности; $X_{д}$ - действительное значение, определяется с помощью образцовой меры или образцового прибора.

• **Относительная** погрешность измерения представляет собой отношение абсолютной погрешности измерения к истинному (действительному) значению измеряемой величины и выражается в процентах или долях измеряемой величины:

$$\delta = \frac{A - X_{ист}}{X_{ист}} = \frac{\Delta}{X_{ист}} \approx \frac{\Delta}{X_{д}}.$$

2.1.2. Технические измерения штангенинструментом

Под общим названием "штангенинструмент" объединяется большая группа измерительных средств, снабженных нониусной шкалой. Эти инструменты широко используются для измерения и разметки линейных размеров. К штангенинструментам относятся штангенциркули, штангенрейсмасы (штангенвысотомеры), штангенглубиномеры, штанген-зубомеры.

Штангенинструмент имеет измерительные линейки с основной шкалой 1 и шкалой нониуса 2 (рис. 3.1). В качестве

отсчетного устройства используется основная шкала с делениями через 0,5 или 1 мм. Шкала нониуса позволяет по порядковому номеру совпадающих штрихов (на примерах показаны стрелкой) отсчитать дробные доли деления основной шкалы.

Нониусная шкала имеет цену деления 0,05 или 0,1 мм. Отсчет размера выполняют по формуле $A = n_1 i_1 + n_2 i_2$,

где n_1, i_1 - цена деления и число целых делений основной шкалы, пройденных нулевым штрихом нониуса; n_2, i_2 - цена деления и порядковый номер штриха нониуса, совпадающего со штрихом основной шкалы. Так, для примера отсчета, показанного на рис.1,б, $A = 8 \cdot 1 + 4 \cdot 0,1 = 8,4$ мм.

Погрешность штангенинструментов при измерении размеров до 1000 мм составляет $\pm 0,1$ мм.

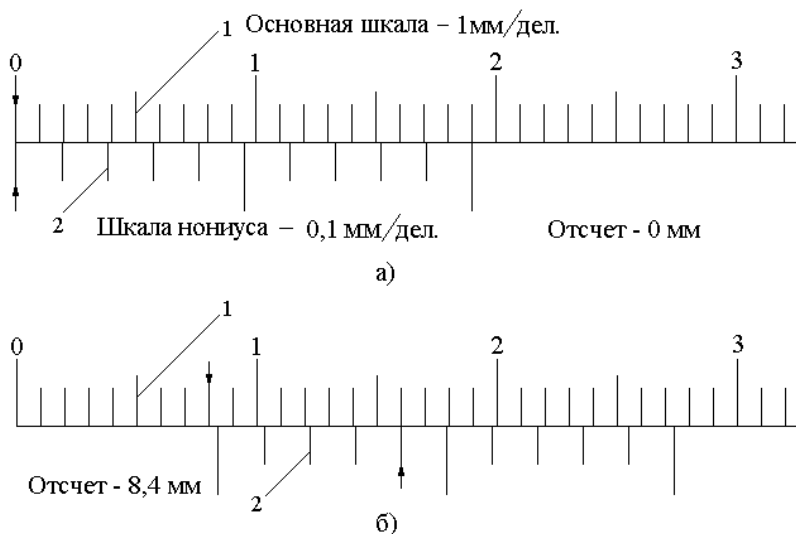


Рис. 3.1. Шкалы штангенинструмента:
1- основная шкала; 2- шкала нониуса

При проектировании штангенинструмента для установления связи между шкалой нониуса и основной шкалой

рассчитываются с учетом закономерностей следующие параметры:

$$c = a/n,$$

где c - цена деления нониуса; a - цена деления основной шкалы; n - число делений нониуса;

$$b = \gamma a - c,$$

где γ – модуль нониуса, характеризующий растянутость нониуса относительно основной шкалы.

$$l = nb.$$

Штангенциркули. Штангенциркули выпускаются нескольких типов: ШЦ-1 — двусторонние с глубиномером (рис. 3.2, а); ШЦ-II — двусторонние (рис. 3.2, б); ШЦ-III — односторонние (рис. 3.2, в).

Конструкции штангенциркулей представлены на рисунке 3.2(а, б, в). На конце линейки 4 (штанга), имеющей шкалу с делениями через 1 мм, находится неподвижная измерительная губка, измерительные поверхности которой перпендикулярны линейке. Вторая измерительная губка находится на рамке 2, перемещаемой по линейке. На этой же рамке находится нониус 6 для отсчета величины перемещения губки на рамке 2. Таким образом, наружный измеряемый размер определяется по расстоянию между измерительными губками, которые имеют плоские измерительные поверхности небольшой ширины. Остальные элементы конструкции имеют вспомогательный характер, облегчая использование штангенциркуля или расширяя область его применения. Так, в штангенциркуле, показанном на рис. 3.2,б, верхние губки предназначены в основном для разметки поверхности и для измерения размеров внутри узких проточек. Устройство 9, называемое микрометрической подачей, предназначено для медленного перемещения рамки по штанге. Микроподачу в основном используют при установке на штангенциркуле размера для разметки.

Большинство штангенциркулей для измерения внутренних размеров имеют либо отдельные измерительные губки (рис.

3.2,а), либо специальные измерительные поверхности основных губок (рис. 3.2,б). У штангенциркулей, показанных на рис. 3.2,б, губки для измерения внутреннего размера имеют цилиндрическую поверхность.

Размер этих губок в сведенном состоянии обычно бывает $b = 10$ мм и маркируется на боковой поверхности одной из губок. Если после ремонта этот размер меняется, то изменяется и маркировка, поскольку нулевой отсчет по шкале и нониусу, соответствует наружным измерениям. Поэтому когда отсчитывают размер при внутренних измерениях, к отсчету по шкале и нониусу штангенциркуля необходимо добавить значение размера губок для внутренних измерений (т. е. размер, указанный на одной из губок).

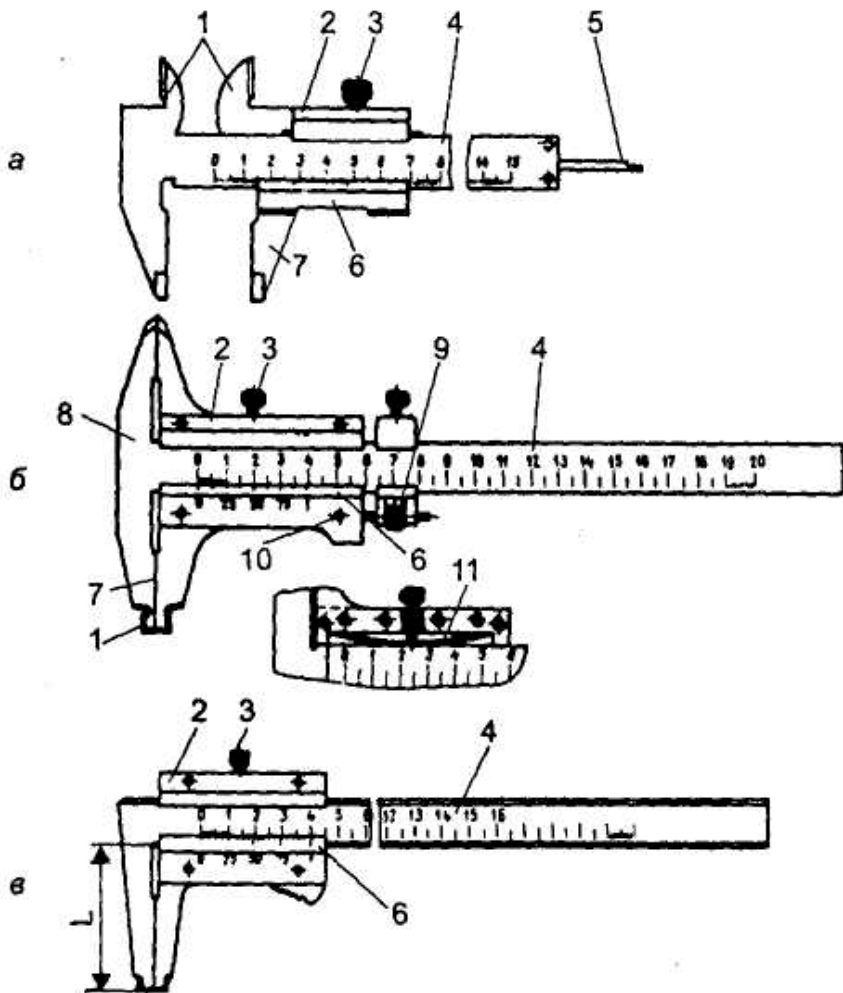


Рис. 3.2. Штангенциркули: а – ШЦ-I; б - ШЦ-II; в - ШЦ-Ш: 1 - губки для внутренних измерений; 2 - рамка; 3 - винт; 4 - штанга; 5 - ножка глубиномера; 6 - нониус; 7 - губки для наружных измерений; 8 - разметочные губки; 9 - микроподача; 10 - винты для крепления нониуса; 11 - пружина

Типоразмеры штангенциркулей охватывают диапазон измерений до 2000 мм. Однако наиболее распространены штангенциркули с диапазоном измерений от 0 до 125 (или 140)

мм (рис. 1.2, а, в) и с диапазоном измерений от 0 до 320 (200 или 250) мм (рис. 1.2, б). Штангенциркули первого типа обычно имеют отсчет по нониусу 0,1 мм, а второго — как 0,1, так и 0,05 мм. Штангенциркули с большим диапазоном измерения обычно имеют величину отсчета 0,1 мм. Практически штангенциркули для размеров свыше 500 мм не выпускаются, хотя и известны.

Фирмами «Теза» (Швейцария), «Маузер» (ФРГ) и рядом других зарубежных фирм выпускается штангенциркуль со стрелочным отсчетным устройством с ценой деления 0,01 и 0,02 мм (рис. 3.3). Глубиномер 3 и рамка 2 жестко связаны с зубчатой рейкой 4, передающей движение через трубку 6 стрелке 1 отсчетного устройства 5.

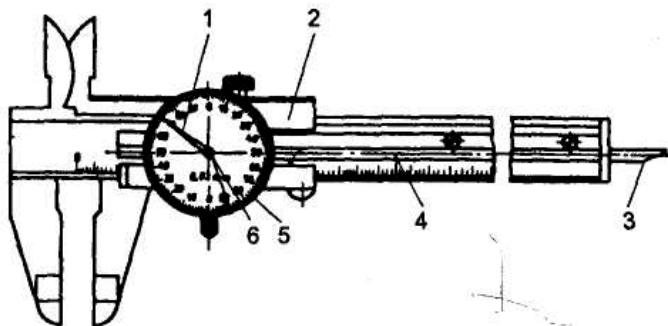


Рис. 3.3. Штангенциркуль со стрелочным отсчетным устройством

Штангенрейсмасы. Штангенрейсмасы (штангенвысотомеры) (рис. 3.4,а) предназначены для измерения высот и выполнения разметочных работ. Конструкция штангенрейсмаса приспособлена для разметки и измерений от плоской поверхности, на которой размещаются как штангенрейсмас, так и размечаемая или измеряемая деталь (часто используется выражение - "штангенрейсмас предназначен для работы от плиты"). Опорной деталью штангенрейсмаса является основание 1 (рис. 3.4,а), в котором укреплена штанга 3 со шкалой, расположенная перпендикулярно опорной плоскости основания. По штанге

передвигается рамка 6 с выступом для крепления ножек, а в ней параллельно шкале штанги размещен нониус 5. Микроподача 4 рамки здесь применена такая же, как и на штангенциркуле ШЦ-II и штангенглубиномере.

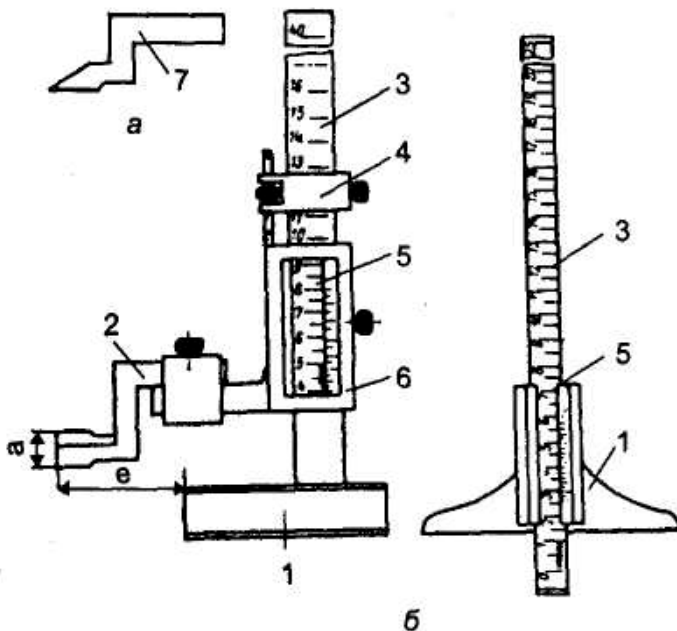


Рис. 3.4. Штангенрейсмас (а) и штангенглубиномер б):
 1 - основание; 2 – измерительная ножка; 3 - штанга;
 4 - рамка с микрометрической подачей; 5 - нониус;
 б - рамка с нониусом; 7 - разметочная ножка

На выступе рамки с помощью державки закрепляются ножки: измерительная 2 или разметочная 7. Шкалы штанги и нониуса штангенрейсмасов выполняют такие же, как и на штангенциркулях и штангенглубиномерах.

Типоразмеры штангенрейсмасов охватывают диапазон до 2500 мм, но наиболее распространены для размеров до 250, 400 мм при отсчете 0,05 мм. Штангенрейсмасы больших размеров изготовляют значительно реже, и они имеют отсчет 0,1 мм.

Штангенглубиномеры. Конструкция этого измерительного средства приспособлена для измерения глубин отверстий, пазов, высоты уступов и т. д. (рис. 3.4,б).

Основанием штангенглубиномера является рамка, снабженная снизу опорой 1 с измерительной поверхностью. Сквозь рамку проходит штанга со шкалой 3 и измерительной поверхностью на торце. Штанга 3 расположена и передвигается перпендикулярно измерительной поверхности опоры 1. Нониус 2 нанесен на отдельной пластине и укреплен в рамке параллельно шкале штанги. Штангенглубиномеры могут быть оснащены микрометрической подачей рамки так же как и на штангенциркуле ШЦ-П.

Типоразмеры штангенглубиномеров обычно охватывают диапазон измерений не более 500 мм. При большом диапазоне измерений отсчет по нониусу чаще всего составляет 0,1 мм, на меньших пределах (200, 300 мм) отсчет составляет 0,05 мм.

Погрешности измерения штангенинструментом. Погрешность измерения зависит в значительной мере от величины отсчета и значения измеряемого размера. Погрешность измерения штангенциркулем наружных размеров до 500 мм при величине отсчета 0,05 мм будет составлять 0,1 мм (т. е. равна удвоенному значению величины отсчета). При измерении внутренних размеров тем же штангенциркулем погрешность измерения составляет 0,15—0,25 мм для этого же диапазона размеров. При измерении штангенциркулем с отсчетом 0,1 мм наружных размеров в том же диапазоне, т. е. до 500 мм, погрешность составляет 0,15—0,25 мм, а для внутренних размеров 0,2—0,3 мм.

Погрешность измерения штангенглубиномером с отсчетом 0,05 мм глубин до 300 мм составляет 0,1—0,15 мм, а при отсчете 0,1 мм - 0,2 - 0,3 мм.

Необходимо обратить внимание на то, что указаны погрешности измерения, а не погрешности измерительного средства.

Погрешность только самого штангенинструмента в условиях его поверки, т. е. погрешность, которая нормируется,

будет меньше (обычно не более величины отсчета). Но погрешность при поверке — это частный случай погрешности измерения.

Задание к лабораторной работе №3

При проведении контрольно поверочных измерений необходимо знать минимальное, но достаточное количество измерений N_{\min} , при котором погрешность не должна превышать заданную точность и достоверность для данных условий.

Задание: определить минимальный объем контрольно поверочной выборки (числа измерений) N_{\min} при заданных значениях доверительного интервала 2Δ , числе предварительных испытаний n и доверительной вероятности P_o .

Порядок выполнения работы.

1. Изучить основные понятия метрологии, и краткие сведения из теории измерений.

2. Ознакомиться с устройством и методикой измерений штангенинструментом.

3. Определить числовые значения основных метрологических характеристик штангенинструмента;

4. Сделать эскиз детали, спланировать измерения контролируемых размеров.

5. Провести измерения заданных преподавателем размеров деталей штангенинструментом и занести их в табл. 1.

6. В соответствие с алгоритмом провести расчет требуемых метрологических параметров

7. Сделать выводы, оформить работу.

Алгоритм определения наименьшего числа измерений N_{\min} для достижения заданной точности измерения случайной величины:

1. Выполнить в соответствии с эскизом (чертежом) n предварительных измерений размера детали (например, наружного диаметра форсунки). Результаты измерений

ранжировать (расположить по порядку) от наименьшего до наибольшего и занести в таблицу №1. Номинальный размер детали D и количество измерений $n = 10 - 20$ указываются преподавателем в задании.

2. Вычислить математическое ожидание (среднее арифметическое значение) результатов измерений

$$M[X] = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

где $M[X]$ - математическое ожидание (среднее значение, центр распределения) характеризует положение случайной величины x ; \bar{x} - среднее арифметическое; x_i - результаты измерений; n - количество измерений.

3. Для каждого измерения вычислить абсолютные отклонения от среднего

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x},$$

где Δx_i - абсолютное отклонение измеряемой величины от среднего значения.

4. Вычислить дисперсию дискретной случайной выборки предварительных измерений

$$Dx = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2}{(n-1)},$$

где $Dx = \sigma^2$ - дисперсия, характеризует рассеяние случайной величины x .

5. Вычислить величину среднеквадратичного отклонения σ (стандарт) результатов измерений по формуле

$$\sigma = \sqrt{Dx}.$$

6. Определить коэффициент вариации k_v , характеризующий изменчивость измерений относительно

средней величины,

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma}{\bar{x}}.$$

7. Определить наименьшее число измерений N_{\min} для достижения заданной точности измерения по формуле

$$N_{\min} = \frac{k_{\sigma}^2 t_{n-1}^2}{\Delta^2},$$

где N_{\min} - наименьшее число измерений; t_{n-1} - коэффициент Стьюдента (определяется по таблице, приложение 1) Например, для доверительной вероятности $P = 0,95$ и числа предварительных измерений $n = 5$ коэффициент Стьюдента по таблице 4 $t_{n-1} = 2,776$; заданная точность измерений $\Delta = 0,01$ мм.

Содержание отчета

В отчете указывается цель работы, задание, список используемого для выполнения работы оборудования, инструментов и их назначение, краткие теоретические сведения (метрологические характеристики штангенинструментов представляются в виде таблицы 2), эскиз детали и схема измерения. Результаты измерений и расчеты по определению оптимального числа измерений приводятся по форме, указанной в табл. 3.

Контрольные вопросы

1. Что такое метрология?
2. Какова размерность основных физических величин?
3. Что называется средством измерения?
4. Метрологические показатели средств измерений?
5. Что называется погрешностью измерительных приборов?
6. Какие средства измерений применяемым в машиностроении?
7. Для каких измерений применяется штангенинструмент?

8. Как производится отчет по нониусу?
9. Типы штангенциркулей и их отличие?
10. Для каких работ применяются штангенрейсмасы?
11. Как выбирается оптимальное число измерений?
12. Метрологические характеристики штангенинструментов?

Таблица 2

Метрологические характеристики инструментов

№	Название основных метрологических характеристик	Штангенциркуль	Штанген-глубиномер	Штангенрейсмас
1.	Пределы измерений			
2.	Цена деления основной шкалы			
3.	Модуль нониуса			
4.	Точность измерения (отсчета)			
5.	Результат проверки ноль-пункта			

Таблица 3

Опытные данные и расчетные метрологические характеристики дискретной случайной величины

Опытные данные		Расчетные характеристики					
i	x_i , мм	\bar{x} , мм	Δx_i , мм	σ^2 , мм ²	σ , мм	k_σ	N_{\min}
1	9,6	10,04	-0,44	0,113	0,3361	0,03361	10,3
2	9,8		-0,24				
3	10,1		+0,06				

4	10,3		+0,26				
5	10,4		+0,36				

Таблица 4

Коэффициенты Стьюдента (t – распределение)

Число наблюдений	Значение коэффициента Стьюдента при доверительной вероятности P					
	0,50	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
1	1,000	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619
2	0,816	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
3	0,765	2,353	3,182	4,541	5,841	12,941
4	0,741	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	2,015	2,571	3,365	4,043	6,859
6	0,718	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	1,895	2,365	2,998	3,499	5,405
8	0,706	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	1,812	2,228	2,764	3,169	4,583
11	0,697	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	1,729	2,093	2,539	2,861	3,833
20	0,687	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
25	0,684	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
30	0,683	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,681	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,679	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,677	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373

∞	0,674	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291
---	-------	-------	-------	-------	-------	-------

2.2. Лабораторная работа 4. Измерение геометрических величин деталей микрометрическими приборами

Цель работы – ознакомление с конструкцией микрометрических приборов, приобретение навыков работы с инструментами, первичная обработка результатов измерений.

Оборудование, инструменты: объект измерения, гладкий микрометр, микрометрический нутромер, микрометрический глубиномер.

2.2.1. Краткие сведения из теории

Краткие сведения из теории приведены в разделе 2.1.1 лабораторной работы № 3.

2.2.2. Технические измерения микрометрическим инструментом

Микрометрические инструменты относятся к группе универсальных измерительных приборов и инструментов. Они предназначены для измерений наружных и внутренних абсолютных размеров глубин и высот деталей.

К микрометрическим приборам относятся микрометры гладкие (рис. 4.1,*а*), нутромеры (рис. 4.2), глубиномеры (рис. 4.3). Некоторыми зарубежными фирмами выпускаются микрометры с цифровым отсчетом (рис. 4.5,*з*). Существует также ряд специальных измерительных средств, оснащенных микрометрической головкой.

Микрометр называется измерительный прибор с корпусом в виде скобы и двухточечной схемой измерения, в котором перемещение одной из точек определяется с помощью резьбовой пары - винта и гайки.

Наиболее распространенные конструкции микрометров представлены на рисунке 4.1. В корпусе микрометра 1 в виде скобы заключены неподвижная пятка 8, которая реализует неподвижную точку в двухточечной схеме измерения, и гайка 7 резьбовой пары. С гайкой 7 соединен неподвижно стержень 4. Микрометрический винт 2 скреплен с барабаном 5. На конце

узла винт - барабан находится храповой механизм 6, обеспечивающее измерение с определенным усилием. На стебле 4 вдоль оси проведена сплошная линия, которая используется для отсчета целых оборотов винта 2 и вместе с ним и барабана 5. Полные обороты отсчитывают при совпадении нулевой отметки на барабане 5 с линией на стебле 4. На барабане 5 на скошенной поверхности нанесены деления, служащие для от- счета части полного оборота винта 2 и барабана 5. Число таких делений зависит от шага резьбы. Наиболее часто шаг резьбы делают равным 0,5 мм и тогда на барабане наносят 50 интервалов, т. е. при повороте на один интервал осевое перемещение винта (барабана) будет равно $0,5/50 = 0,01$ мм.

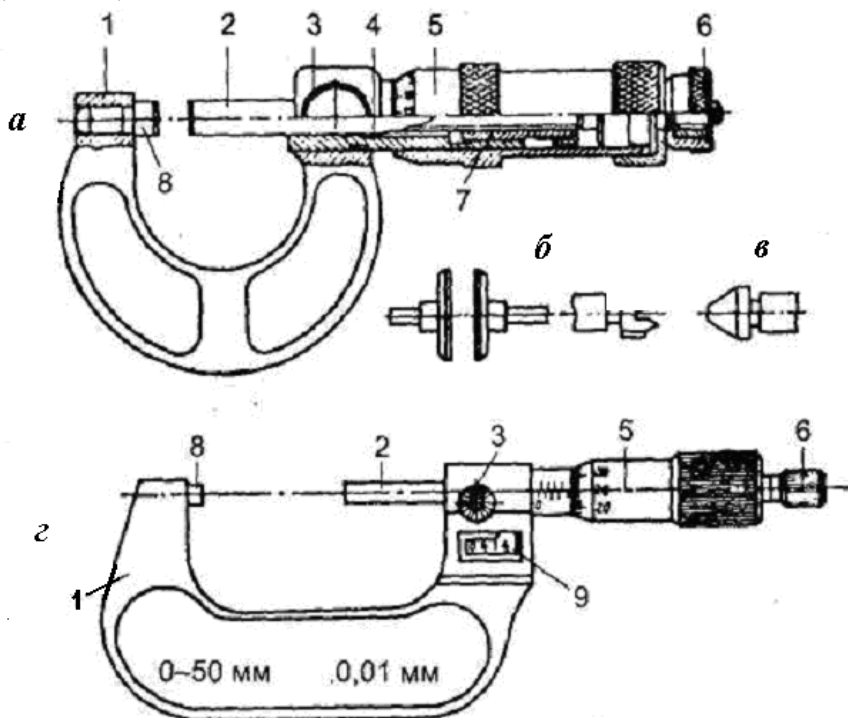


Рис. 4.1. Микрометрические приборы:
 а - гладкий; б - вставка для мягких материалов; в - вставки для резьбовых микрометров; г - микрометр с цифровым отсчетом:

1 - корпус; 2 - микрометрический винт; 3 - стопор; 4 - стемпель; 5 - барабан; 6 - храповой механизм; 7 - гайка; 8 - неподвижная пятка; 9 - цифровой отсчет

Деления на барабане выполняют такую же функцию, как и деления нониуса, и также позволяют отсчитывать дробные значения по основной шкале, наносимой на стемпеле микрометра и имеющей интервал деления, равный шагу резьбы (т. е. наиболее часто цена деления шкалы составляет 0,5 мм). На стемпеле при шаге резьбы 0,5 мм штрихи шкалы наносят для удобства отсчета с двух сторон от осевой линии.

Винт, используемый в микрометрах или других устройствах, служащий для определения величины перемещения или для измерения, или установки размера называют микрометрическим винтом или сокращенно микровинтом. Резьбовую пару для указанных случаев применения также часто называют сокращенно микропарой.

В конструкции микропары для обеспечения беззазорного соприкосновения резьбы винта и гайки предусмотрена регулировка, которая осуществляется деформацией специальной гайки. Для этого гайка обычно имеет несколько пазов, проходящих вдоль оси (разрезная гайка). Часто наружную поверхность ее делают в виде конуса, а на цилиндрической поверхности гайки нарезают резьбу. При вращении регулировочной гайки ее конусная поверхность через конусную поверхность сжимает гайку или отпускает в зависимости от направления вращения. Храповой механизм 6, создающее измерительное усилие, обычно бывает двух принципов действия: в виде трещотки или в виде фрикциона. Трещотка представляет собой храповой механизм. На одной торцевой поверхности втулки, скрепленной с микровинтом, имеются зубцы, на другой поверхности, за которую вращается винт, установлен подпружиненный цилиндр со скосом ("зуб"). При вращении в направлении соприкосновения измерительных поверхностей с деталью или между собой поджим этих поверхностей будет происходить с усилием, обеспечиваемым пружиной, поджимающей зуб. При

дальнейшем вращении храповой механизм проскальзывает и раздается характерный треск, когда зуб соскальзывает со скосов. В некоторых механизмах используется фрикционная пара, в которой измерительное усилие обеспечивается усилием поджима фрикционных поверхностей.

В конструкциях микрометров существует большое разнообразие конструкций стопорных устройств 3, например в виде втулки и винта, цапг и других устройств. Микровинт 2, барабан 5 и храповой механизм (трещотка) 6 обеспечивают возможность установки микрометра на нулевое деление. В этом случае сводятся до соприкосновения измерительные поверхности. При раскреплении трещотки 6 с барабаном 5 последний поворачивается относительно винта до совмещения нулевого деления барабана 5 и стебля 4.

Наибольшее распространение имеют и наиболее часто применяются на производстве гладкие микрометры (см. рис. 4.1). Типоразмеры микрометров в значительной мере предопределяются длиной микровинта, обеспечивающего диапазон измерений. Установлено, что оптимальной длиной резьбы микровинта является длина 25 мм. Поэтому обычно типоразмеры микрометров изготавливают с диапазоном измерения через 25 мм, т. е. 0 – 25, 25—50, 50—75, 75—100 и т. д. Наибольший размер, измеряемый микрометрами, обычно 600 мм. У микрометра для размеров свыше 100 мм диапазон измерений обычно составляет не 25 мм, а 100 мм, что достигается перестановкой неподвижных пяток или эти пятки делают сменными. Отсчитывать размер на этих микрометрах непосредственно по микропаре можно только в пределах 25 мм.

Все микрометры, кроме тех, у которых измерение начинается от нуля, снабжаются так называемыми установочными мерами, представляющими собой цилиндр, у которого размер между торцовыми поверхностями равен нижнему пределу измерения микрометра (например, микрометр с диапазоном измерения 75—100 мм имеет

установочную меру размером 75 мм). С помощью этой меры микрометр устанавливают на начало отсчета (на ноль).

Погрешности измерения микрометром. В общем случае погрешность измерения микрометром возникает от погрешности микрометра, установочной меры или блока концевых мер, отклонений от параллельности измерительных поверхностей, разгиба скобы под действием усилия, погрешности от отсчета показаний, погрешности от температурных и контактных деформаций. Погрешность от микрометра обычно нормируется равной от 4 до 10 мкм в зависимости от диапазона измерений при поверке по концевым мерам длины.

Микрометрический нутромер (штихмас) предназначен для измерения внутренних размеров деталей. Он отличается от микрометра отсутствием скобы, а также некоторыми конструктивными особенностями: отсутствием трещотки (усилие измерения регулируется контролером), наличием на обоих концах головки сферических измерительных наконечников.

У микрометрических нутромеров (рис. 4.2) в микрометрическую головку запрессована неподвижная пятка 1; подвижная пятка 6 соединена с микровинтом 5, который крепится в исходном положении стопором 4. Пятки выполнены из твердого сплава и имеют сферические поверхности. К нутромерам с диапазоном измерения от 150 до 6000 мм прикладываются удлинители, которые навинчиваются на резьбу стебля 3, защищенную колпачком 2.

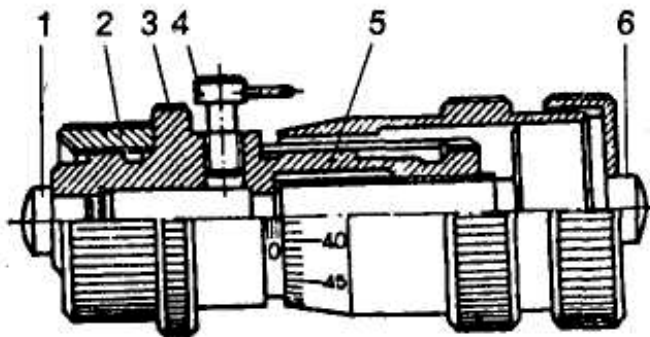


Рис. 4.2. Микрометрический нутромер

Микрометрические нутромеры изготавливаются с пределами измерения 50 - 75, 75 - 175, 75 - 600, 150 - 1250, 800 - 2500, 1250 - 4000, 2500 - 6000 и 4000 - 10000 мм. У нутромеров с нижним пределом измерения 50 и 75 мм длина шкалы стебля микрометрической головки 13 мм, у нутромеров с нижним пределом измерения свыше 75 - 25 мм. Расширение пределов измерения до указанных выше значений достигается за счет набора удлинителей, прилагаемых к каждому инструменту.

Так, нутромер с пределами измерения 75 - 175 мм имеет следующие удлинители: 13, 25 и 50 мм. Поскольку касание микрометрической головки с удлинителем, а также удлинителей между собой происходит по сферическим поверхностям, неточности резьбы, по которой происходит соединение, не влияют на результаты измерения.

Отсчет размера у нутромера производится так же, как и у микрометра. При наличии удлинителей необходимо добавлять к показаниям шкалы размеры удлинителей, которые маркируются на их боковой поверхности. Установка и проверка штихмаса производится по специально прилагаемой к нему установочной скобе, изготовленной по наименьшему предельному размеру.

Погрешность измерения микрометрическими нутромерами зависит от ряда составляющих, которые имеют

место для всех нутромеров: совмещения линии измерения в плоскости, перпендикулярной оси измеряемого отверстия; совмещения линии измерения в плоскости, проходящей через ось; динамики процесса совмещения линии измерения; настройки прибора. Дополнительная погрешность возникает от усилия свинчивания удлинителей.

Погрешность нутромера обычно нормируется в зависимости от измеряемого размера от 0,006 (для размеров 50 - 125 мм) до 0,180 мм (для размера 4000 - 10000 мм). Погрешность измерения микрометрическими нутромерами при измерениях размеров от 50 до 500 мм можно обеспечить не более 0,015—0,030 мм при настройке по установочной мере и 0,01— 0,02 мм при аттестации собранного нутромера.

Микрометрические глубиномеры (рис. 4.3) служат для измерения глубины отверстий, пазов, выточек, уступов и т. д.

Основанием микрометрического глубиномера является поперечина 5, в которую запрессован стебель 3 со шкалой. В стебле 3 запрессована микрогайка, а в нее ввинчен микровинт, совместно они образуют такую же микропару, как и в микрометре гладком. На микровинте укреплен барабан 2 со шкалой, а на барабане расположена трещотка 1. Требуемое во время измерения положение микровинта закрепляется стопором 4.

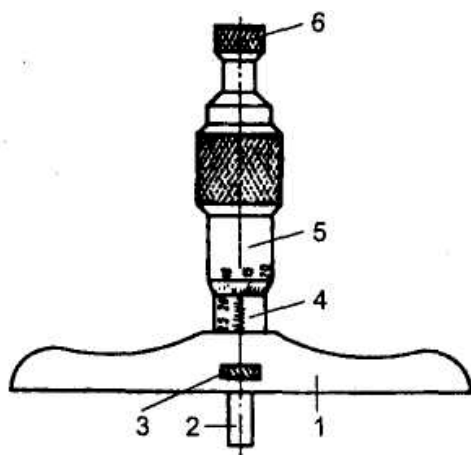


Рис. 4.3. Микрометрический глубиномер: 1 - корпус;
2 - микрометрический винт; 3 - стопор; 4 - стемпель;
5 - барабан; 6 - храповой механизм

При вращении барабана 2 вместе с ним вращается микровинт и ввинчивается в микрогайку, причем выдвигается из основания на требуемую глубину. Глубиномер устанавливается на "0" по установочным мерам-втулкам 6 на плоской стеклянной пластине или другой точной плоской поверхности.

В торце микровинта выполнено отверстие, в которое вставляются сменные измерительные стержни 7. Особенность микрометрического глубиномера в том, что числовые значения штрихов шкалы стемпеля расположены, уменьшаясь при удалении барабана от основания 5, так как соответственно уменьшаются размеры глубины измеряемого уступа. Это противоположно расположению цифр на шкале стемпеля гладкого микрометра. Числа значений штрихов на барабане микрометрического глубиномера также расположены противоположно числам и шкале барабана гладкого микрометра.

Пределы измерения глубиномером обычно до 100 мм, иногда до 200 мм.

Задание

Изучить устройство и методику измерения микрометрическими инструментами. Выполнить эскиз детали, провести измерения контролируемых параметров и сделать заключение о ее годности.

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется в следующей последовательности:

1. Изучить устройство и методику измерений микрометрическими инструментами;
2. Определить числовые значения основных метрологических характеристик инструмента;

3. Выполнить эскиз детали, параметры которой необходимо измерить;

4. Спланировать схему измерения с целью выбора их оптимального количества;

5. Провести измерения заданных размеров деталей микрометрическими инструментами;

6. С помощью микрометра и микрометрического нутромера провести измерения размеров для установления отклонений формы в продольном и поперечном сечениях у деталей типа валов и втулок;

7. С помощью микрометрического глубиномера провести измерения размеров для установления отклонений расположения поверхностей ступенчатой детали.

Содержание отчета

В отчете указывается цель работы, задание, список используемого для выполнения работы оборудования, инструментов и их назначение. Метрологические характеристики микрометрических инструментов представляются в виде таблицы 5. Оформляется эскиз детали и схема измерения. Приводятся результаты всех измерений, расчеты по определению оптимального числа измерений, оценка абсолютной и относительной погрешности измерения, результаты выявления отклонений формы и расположения на исследованных деталях. Дать заключение о годности деталей.

Таблица 5

Метрологическая характеристика инструментов

Наименование инструмента	Завод изготовитель	Пределы измерений	Цена деления	
			на стебле	на барабане

Контрольные вопросы

1. Перечислить типы микрометрических измерительных инструментов и области их применения;
2. Как определяется цена деления микрометрических инструментов;
3. Как проводится проверка ноль-пункта микрометрических инструментов;
4. По каким показателям дается заключение о годности детали;
5. Какие метрологические характеристики рассматриваются у микрометрических инструментов?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. - М.: Радио и связь, 1983. – 416 с.
2. Голиков В.К., Новосельцев В.И., Сербулов Ю.С. Лабораторный практикум по математической статистике. – Воронеж: Центрально-Черноземное книжное издательство, 2004. – 164 с.
3. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник для вузов. 2-е изд. - СПб.: Питер, 2004.-432 с.
4. Допуски и посадки. Учебное пособие. 3-е изд. / В.И. Анухин.: Питер. 2004. – 207 с.
5. Зябрева Н.Н. и др. Пособие к решению задач по курсу «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения». Учеб. пособие для вузов. М.: «Высшая школа», 1977. – 204 с.

6. Якушев А.И. и др. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник для втузов /А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	1
2. Измерение геометрических величин: длин, отклонений формы поверхностей, параметров сложных поверхностей, углов.....	3
2.1. Лабораторная работа 3. Измерение геометрических величин деталей штангенинструментом.....	3
2.1.1. Краткие сведения из теории	
2.1.2. Технические измерения штангенинструментом.....	
2.2. Лабораторная работа 4. Измерение геометрических величин деталей микрометрическими приборами.....	19
2.2.1. Краткие сведения из теории.....	19

2.2.2. Технические измерения микрометрическим инструментом.....	19
Библиографический список.....	27

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам № 3-4 по курсу
«Метрология, стандартизация и сертификация»
для студентов специальности 160700.65, 24.05.02
«Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной
формы обучения

Часть 2

Составители: Скоморохов Геннадий Иванович
Пригожин Антон Александрович

В авторской редакции

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14