

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
“Брестский государственный технический университет”

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам по дисциплине «Метрология, методы и приборы
технических измерений»

Методы прямого измерения физических величин

для студентов специальности 6-05-0713-04
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Брест 2023

УДК 621.317

В методических указаниях содержится описание двух лабораторных работ по методам прямого измерения физических величин. Первая работа посвящена измерению электрических величин, вторая – измерению геометрических параметров. Приведены краткие теоретические сведения по методам измерений, используемым измерительным инструментам, порядок выполнения работ, требования к оформлению отчета и контрольные вопросы. Содержание изложенного материала соответствует действующим образовательным программам и предназначено для использования студентами специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» при подготовке к лабораторным работам и их выполнении.

Составители: А. С. Лапука, старший преподаватель
А. Г. Олех, старший преподаватель

Рецензенты: С. В. Сук – ведущий инженер ОАО "Бугавтоматика"
В. М. Голуб – заведующий кафедрой машиноведения

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
Лабораторная работа № 1	5
ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	
Лабораторная работа № 2	15
ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ	

ПРЕДИСЛОВИЕ

Измерение различных физических величин входит в повседневную практику инженера по автоматизации. Это осуществляется с помощью измерительных приборов, навыками работы с которыми должен владеть каждый инженер. При этом не достаточно знать правила работы с измерительными приборами и порядок выполнения измерений. Необходимо также уметь оценивать погрешность измерений и обеспечивать достоверность получаемых результатов с заданной точностью. Для этого необходим некоторый базовый уровень знаний о том, какими причинами обусловлено возникновение погрешности в измерениях, какими способами их можно компенсировать.

В данных методических указаниях приведено описание работ, касающихся измерения электрических величин и геометрических параметров. Приборы и методы измерения тех и других существенно отличаются, но инженеру по автоматизации приходится иметь дело с обоими видами измерений.

Методические указания к каждой работе содержат общие сведения об измерительных приборах, правилах пользования, схемах подключения к объекту измерения. Приводятся также необходимые формулы для оценки погрешности измерений. Уделено внимание вопросам безопасной работы с приборами. Содержатся требования к оформлению отчета. В конце каждой работы приводится список литературы, из которой можно почерпнуть необходимую для подготовки к работе информацию.

Вопросы, которые приводятся в конце каждой работы, дают возможность проконтролировать качество усвоения материала.

Лабораторная работа № 1

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

1 Цель работы

Изучить назначение, принципы работы и устройство комбинированных приборов, универсальных вольтметров и мультиметров.

Определить действительные метрологические характеристики данных приборов.

Приобрести навыки измерения электрических величин вышеуказанными приборами.

2 Общие сведения

Для получения достоверных и точных результатов измерений и предупреждения повреждения прибора при работе необходимо придерживаться следующих правил:

1. Установить прибор в горизонтальное положение.
2. Стрелку прибора с помощью механического корректора установить на начальную отметку шкалы.
3. У приборов, имеющих защитный автомат, проверить его работоспособность по техническому описанию.
4. Переключатель рода работ установить в положение, соответствующее виду измерения и роду тока, т. е. в одно из положений «—», «~», «I_x», «С_x».
5. Переключатель пределов измерений установить в положение, соответствующее ожидаемому значению измеряемой величины; если оно неизвестно, то переключатель установить в положение максимального предела измерения.
6. Подключить соединительные проводники к соответствующим зажимам прибора. Зажим, помеченный знаком «*», является общим зажимом прибора.
7. При использовании омметра или фарадометра прибор необходимо настраивать каждый раз на выбранном пределе измерения. Параллельный омметр: при разомкнутых проводниках ручкой «Уст. 0» установить стрелку прибора на отметку «∞» соответствующей шкалы, затем замкнуть свободные концы проводников и проконтролировать установку стрелки на отметку «0» этой же шкалы, что говорит об исправности омметра и целостности проводников. Последовательный омметр: замкнуть щупы проводников и ручкой «Уст. 0» установить стрелку прибора на отметку «0» соответствующей шкалы.
При измерении больших значений сопротивления (с использованием внешнего источника) или емкости собрать установку по изображенной схеме, в таблице – инструкции на тыльной стороне прибора.
8. Подключить прибор к измеряемой цепи (объекту) с помощью соединительных проводников. При измерении постоянного тока и напряжения общий зажим «*» подключают к отрицательному полюсу объекта. При измерении переменного напряжения и токов общий зажим подключают к точке с наименьшим потенциалом или к корпусу объекта.
9. Подобрать предел измерения (для тока и напряжения, начиная с большего) таким образом, чтобы стрелка прибора по возможности находилась

в последней трети шкалы. При измерении сопротивления и емкости оптимальное положение стрелки – посредине шкалы.

10. Снять отсчет по соответствующей шкале и отключить проводники от измеряемой цепи (объекта).

11. Вычислить значение измеряемой величины X и погрешности измерения ΔX для постоянного и переменного тока и напряжения по формулам:

$$X = \frac{X_N}{N} \cdot a \quad \text{и} \quad \Delta X = \frac{\gamma \cdot X_N}{100},$$

где X_N – значение выбранного предела измерений (положение переключателя предела измерений);

N – число всех делений шкалы прибора по последней цифре;

a – показания прибора в делениях (число делений);

γ – класс точности на шкале прибора, определяемый по обозначениям на шкале в зависимости от рода тока или вида измеряемой величины.

Результат измерения записывают по формуле $A = X \pm \Delta X$. Числовое значение измеряемой величины X должно оканчиваться цифрой (после запятой) того же разряда, что и значение погрешности ΔX .

Привести прибор в исходное состояние, для чего отключить соединительные провода от зажимов прибора, переключатель пределов измерения установить в положение максимального предела по напряжению, переключатель рода тока установить в положение «~». Это предохранит прибор от повреждения при последующих включениях, даже если они будут выполнены неправильно.

Особенности измерения постоянного напряжения

При измерении напряжения комбинированный прибор включают параллельно исследуемому участку электрической цепи (рисунок 1). Это приводит к изменению общего сопротивления цепи и перераспределению напряжения между ее элементами, что, естественно, вносит погрешность в показания прибора. Здесь следует рассмотреть два основных случая. Первый – когда элементы электрической цепи линейные, т. е. значение их сопротивления не зависят от приложенного напряжения. Тогда достаточно иметь $R_{вх} / R_{ц} \geq 50 \dots 100$, где $R_{вх}$ – входное сопротивление вольтметра, $R_{ц}$ – эквивалентное сопротивление цепи относительно точек подключения вольтметра, чтобы не учитывать влияния входного сопротивления вольтметра (комбинированного прибора) на результат измерения.

Следовательно, кроме сопротивления входной цепи комбинированного прибора $R_{вх}$ необходимо знать сопротивление цепи $R_{ц}$, что не всегда возможно. В этом случае применяют метод двух отсчетов, суть которого состоит в том, что напряжение на исследуемом участке цепи измеряют два раза на различных пределах измерений U_{N1} , U_{N2} с соответствующими входными сопротивлениями $R_{вх1}$, $R_{вх2}$ и получают два измеренных значения U_1 , U_2 , тогда действительное измеряемое значение U находят по формуле

$$U = U_2 \frac{R_{\text{ex}2} - R_{\text{ex}1}}{R_{\text{ex}2} - R_{\text{ex}1} \frac{U_2}{U_1}}$$

при условии $R_{\text{ex}2} > R_{\text{ex}1}$.

Если $R_{\text{ex}2} / R_{\text{ex}1} = N$, то

$$U = U_2 \frac{N-1}{N - \frac{U_2}{U_1}}.$$

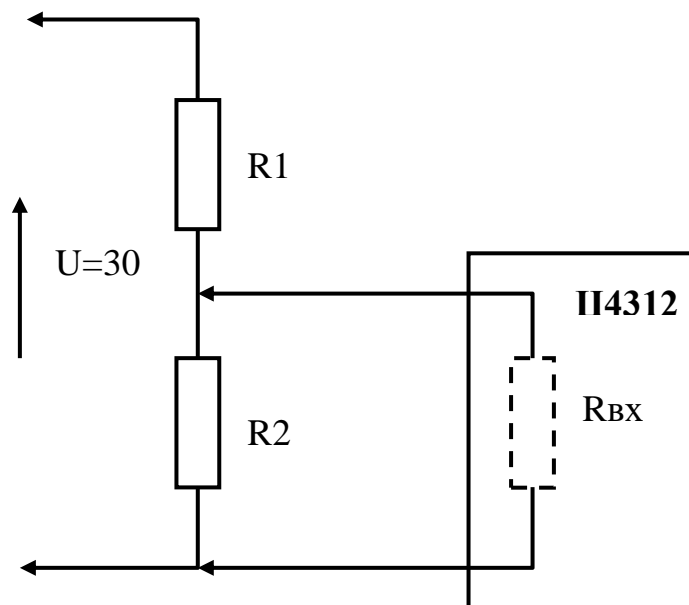


Рисунок 1 – Измерение напряжения

Например, измерение провели комбинированным прибором Ц4312 на резисторе R_2 (рисунок 1) на пределах 15 и 30 В с входным сопротивлением 10 и 20 кОм соответственно и получили значения 7,5 и 10 В. Тогда действительное падение напряжения U_{R2} на резисторе R_2

$$U_{R2} = U_2 \frac{N-1}{N - \frac{U_2}{U_1}} = 10 \frac{2-1}{2 - \frac{10}{7,5}} = 15B,$$

что нетрудно проверить:

$$U_{R2} = \frac{U}{R_1 + R_2} R_2 = \frac{30}{20 + 20} 20 = 15B.$$

Если входное сопротивление прибора неизвестно, его можно определить следующим образом. Напряжение на выходных зажимах стабилизированного источника постоянного тока измеряют непосредственно (U_1) и, не изменяя предела измерения, через резистор R с известным сопротивлением (U_2). После чего

по полученным показаниям U_1 , U_2 и значению R вычисляют входное сопротивление прибора (вольтметра)

$$R_{\text{вх}} = R \frac{U_2}{U_1 - U_2}.$$

Особенности измерения постоянного тока

При измерении тока комбинированный прибор включают последовательно в исследуемую цепь, что приводит к возрастанию общего сопротивления цепи и уменьшению протекающего в ней тока (рисунок 2).

По двум измерениям I_1 , I_2 на соседних пределах I_{N1} , I_{N2} соответственно с внутренними сопротивлениями R_{A1} , R_{A2} действительное значение измеряемого тока определяют из выражения:

$$I = I_2 \frac{R_{A1} - R_{A2}}{R_{A1} - R_{A2} \frac{I_2}{I_1}}$$

при условии $R_{A1} > R_{A2}$.

Значения внутреннего сопротивления R_{A1} , R_{A2} на соответствующих пределах измерений вычисляют исходя из приведенных значений падений напряжений U_{n1} , U_{n2} в паспорте на конкретный прибор по формуле $R_A = U_n / I_n$.

В комбинированных приборах с переключаемыми шунтами (рисунок 3) на всех пределах измерений максимальное падение напряжения на приборе одинаково и равно напряжению полного отключения микроамперметра.

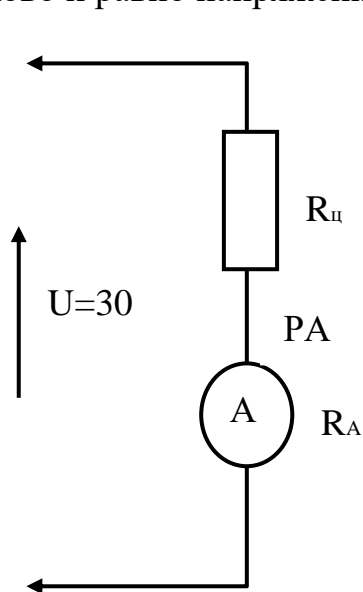


Рисунок 2 – Измерение тока

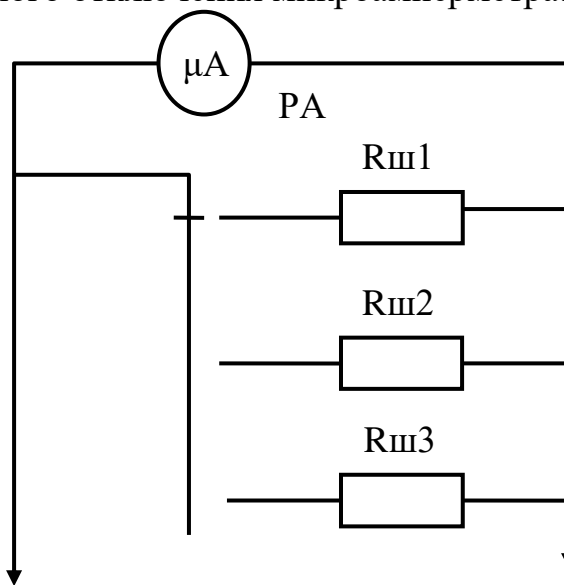


Рисунок 3 – Многопредельный амперметр с переключаемыми шунтами

Переключать пределы измерения в приборе с переключаемым шунтом можно только после отключения прибора во избежание его перегрузки в тот момент, когда отключены все шунты.

В комбинированных приборах с универсальным шунтом падение напряжения на приборе равно напряжению полного отклонения лишь на пределе I_1 . На других пределах оно возрастает до значения, равного сумме падений напряжения на микроамперметре и на шунтах, используемых в измерительной цепи.

Комбинированные приборы, имеющие предел измерения 75 мВ, можно использовать для измерения постоянного тока, большего по значению, чем предельное значение прибора, если имеется соответствующий наружный комбинированный шунт. При этом комбинированный прибор используют как милливольтметр на 75 мВ и подключают к потенциальным зажимам наружного шунта (рисунок 4), тогда предел измерения прибора будет равен номинальному току шунта.

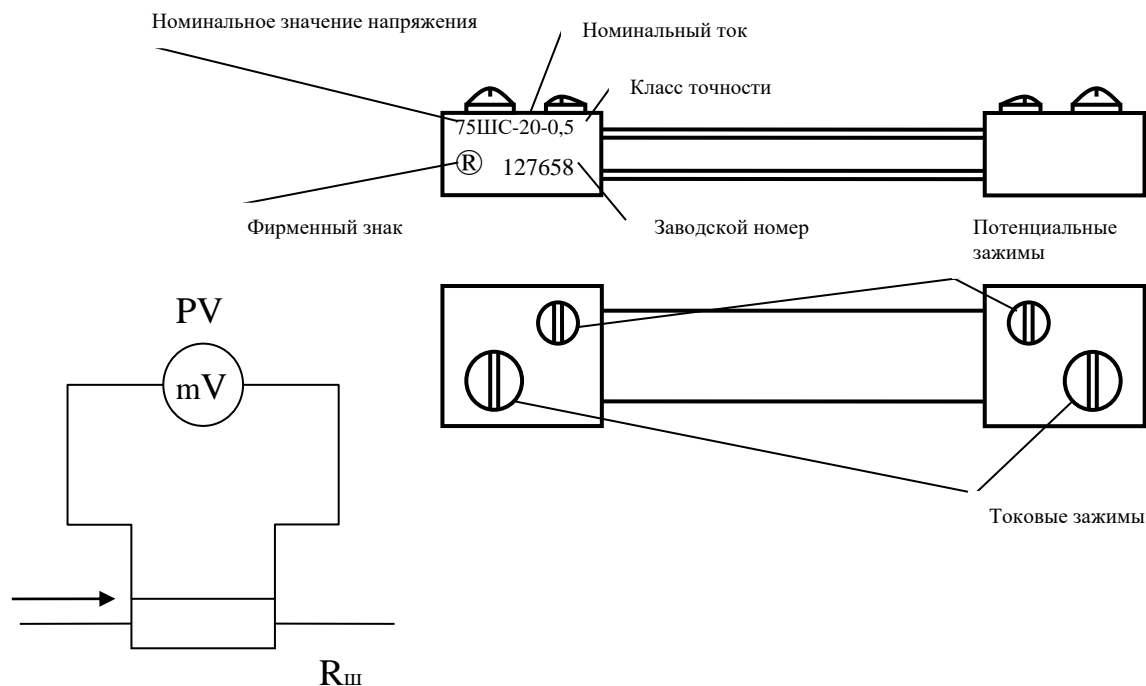


Рисунок 4 – Наружный шунт измерителя постоянного тока

Особенности измерения переменного тока и напряжения

Применение выпрямителей на полупроводниковых диодах в комбинированных приборах ведет к понижению чувствительности прибора, уменьшению входного сопротивления вольтметра и увеличению падения напряжения на амперметре. Частотный диапазон комбинированного прибора определен частотными свойствами полупроводниковых диодов и емкостью монтажа и лежит в пределах 45 Гц... 20 кГц.

Различают номинальную и расширенную частотные области. Изменение показаний прибора, вызванное изменением частоты от границы в номинальной области до любого значения в смежной части расширенной области при измерении переменного тока и напряжения, не превышает допускаемого значения основной погрешности. Приведенные приемы по учету влияния входного сопротивления на результаты измерений постоянного тока и напряжения справедливы и для переменного тока и напряжения, но при условии, что сопротивление R_U является активным (без емкости и индуктивности). Пример измерения переменного напряжения показан на рисунок 5.

Особенности измерения сопротивления

Пример измерения сопротивления показан на рисунок 6.

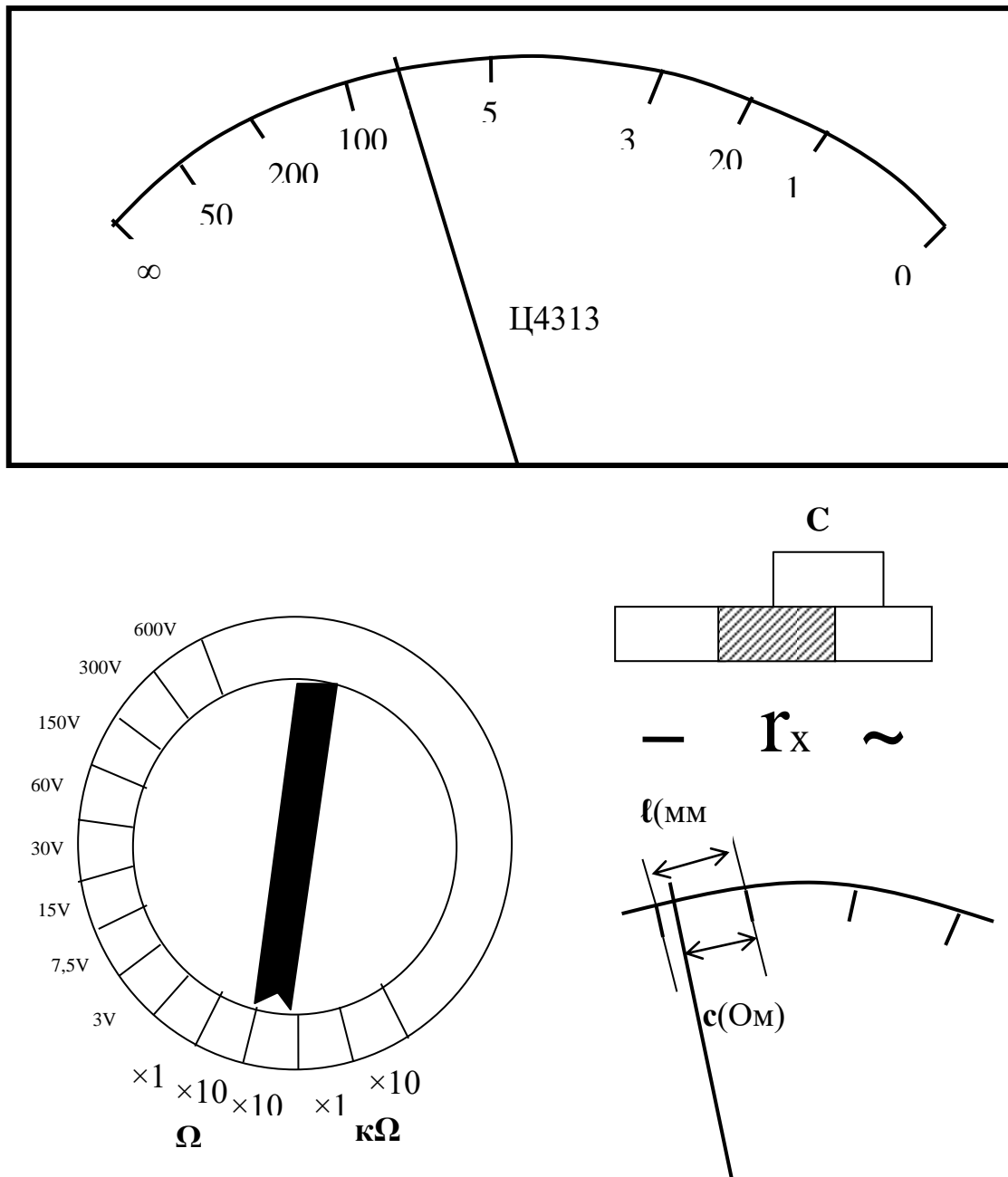


Рисунок 6 – Пример измерения сопротивления

$$R = rM = 80 \times 100 = 8 \text{ кОм};$$

$$\Delta R = \frac{\gamma}{100l} L C;$$

$$L = 80 \text{ мм}, l = 10 \text{ мм};$$

$$C = (100 - 50)100 = 5 \text{ кОм};$$

$$\Delta R = \frac{1,5 \cdot 80}{100 \cdot 10} 5000 = 60 \text{ Ом};$$

$$R = 8000 \pm 60 \text{ Ом}.$$

При измерении сопротивления резисторов непосредственно в местах их установки (на плате устройства) необходимо предварительно убедиться, что источники питания отключены, высоковольтные конденсаторы разряжены, а параллельно проверяемому элементу не присоединены другие элементы, могущие оказывать влияние на результат измерения.

Встроенный омметр комбинированных приборов является источником тока, что необходимо учитывать при работе с микроощными элементами. Значения тока, потребляемого от источника на различных пределах измерения, указаны в соответствующих таблицах.

Время установки омметра «на нуль» и измерение сопротивления должно быть по возможности коротким, что продлит срок службы встроенного источника питания.

Особенности измерения емкости

При измерении емкости комбинированным прибором необходимо соблюдать меры предосторожности, так как источником его питания служит сеть переменного тока частотой 50 Гц с напряжением 190... 245 В.

Напряжение, приложенное к конденсатору при любом его испытании, не должно превышать его допустимого рабочего напряжения. Если конденсатор заряжается до значительного напряжения, то необходимо его разрядить через резистор сопротивлением несколько кОм.

Емкость оксидных (электролитических) конденсаторов измерять запрещается.

3 Средства измерений, применяемые при выполнении работы

1. Прибор комбинированный Ц4313.
2. Прибор комбинированный Ф4320.
3. Ампервольтметр АВО-5М1Ш.
4. Ампервольтметр универсальный М231.
5. Вольтметр В7-36.
6. Вольтметр универсальный электрометрический В7-45.
7. Мультиметр переносной MASECH MY-64.
8. Мультиметр переносной MS8200G.
9. LC измеритель VICTOR 6243.

4 Подготовка к выполнению работы

По рекомендуемой литературе изучить назначение, метрологические характеристики, устройство и принцип работы средств измерений, применяемых при выполнении лабораторной работы.

По техническим описаниям и инструкциям по эксплуатации на вышеперечисленные приборы изучить порядок подготовки их к работе и порядок работы при проведении измерений.

Ответить на контрольные вопросы.

Оформить заготовку отчета по лабораторной работе в соответствии с требованиями настоящих методических указаний.

Используя данные паспортов, формуляров и технических описаний на используемые приборы, выписать в таблицу № 1 основные их метрологические характеристики.

Таблица 1 – Метрологические характеристики приборов

№п. п.	Метрологические характеристики	Наименование средства измерения						
1	Начальное и конечное значение шкал отчетного устройства							
2	Диапазон показаний							
3	Пределы (верхний, нижний) измерений							
4	Диапазон измерений							
5	Класс точности							
6	Погрешности измерений							
7	Цена деления шкал: - -							
8	Чувствительность							
9	Время установления показаний							

5 Задания по лабораторной работе

Измерить значения сопротивлений участков электрической схемы, заданной преподавателем, с помощью комбинированных приборов, универсальных приборов В7-16А, В7-26, В7-36 и мультиметра МУ-64.

Измерить значения напряжений на участках электрической схемы, заданной преподавателем, с помощью комбинированных приборов, универсальных приборов и переносных мультиметров.

Измерить значения токов в ветвях цепей электрической схемы, заданной преподавателем, с помощью комбинированных приборов, универсальных вольтметров и мультиметров.

Определить погрешности измерений каждым из используемых приборов.

6 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, проверить комплектацию измерительных средств и источников питания, привести положения органов управления приборами в исходное положение.

2. Включить питание измерительных приборов и привести их в состояние готовности к измерениям.

3. По одному из вариантов, предложенных преподавателем, собрать электрическую схему, состоящую из источника питания и потребителей электрической энергии.

4. Выполнить измерения в соответствии с п. 5.1 лабораторного задания (см. особенности измерения сопротивления). Результаты измерений и расчетов погрешностей занести в таблицу № 2.

Таблица 2 – Результаты измерения сопротивления различными типами приборов

№ п. п.	Наименование средства измерения	Измеренные электрические величины					
		Сопротивление $R1 \pm \Delta R$	Сопротивление $R2 \pm \Delta R$	Сопротивление $R3 \pm \Delta R$	Сопротивление $R4 \pm \Delta R$	Сопротивление $R5 \pm \Delta R$	Сопротивление $R6 \pm \Delta R$
1							
2							
3							

Собрать электрическую схему для измерения напряжения. После проверки схемы преподавателем, подключить источник питания и провести измерения в соответствии с п.5.2 лабораторного задания (см. особенности измерения напряжений). Результаты измерений и расчеты погрешностей свести в таблицу № 3.

Таблица 3 – Результаты измерения напряжения различными типами приборов

№ п. п.	Наименование средства измерения	Измеренные электрические величины					
		Напряжение $U1 \pm \Delta U$	Напряжение $U2 \pm \Delta U$	Напряжение $U3 \pm \Delta U$	Напряжение $U4 \pm \Delta U$	Напряжение $U5 \pm \Delta U$	Напряжение $U6 \pm \Delta U$
1							
2							
3							
4							
5							
6							

6. Собрать электрическую схему для измерения силы тока. После проверки схемы преподавателем подключить источник питания и выполнить измерения в соответствии с п. 5.3 лабораторного задания (см. особенности измерения силы тока) Результаты измерений и расчетов погрешностей занести в таблицу № 4.

Таблица 4 – Результаты измерения силы тока

№п.п.	Наименование средства измерения	Измеренные электрические величины					
		Сила тока $I_1 \pm \Delta I$	Сила тока $I_2 \pm \Delta I$	Сила тока $I_3 \pm \Delta I$	Сила тока $I_4 \pm \Delta I$	Сила тока $I_5 \pm \Delta I$	Сила тока $I_6 \pm \Delta I$
1							
2							
3							
4							
5							

7. С помощью универсального электрометрического вольтметра В7-45 выполнить 40 измерений одного того же заданного значения электрического параметра (напряжения или силы тока) с дискретностью 0,5 минуты. В режиме программирования провести математическую обработку (определение среднего значения измерений, дисперсию, среднее квадратическое отклонение и математическое ожидание).

8. Проанализировать результаты измерений, сделать выводы и дать заключение о соответствии метрологических характеристик применяемых средств измерений установленным характеристикам в технической документации (при применении «эталонных» источников питания и элементов электрических цепей).

7 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе оформляется на стандартных листах бумаги формата А4. Результат измерений и вычислений сводятся в таблицы, которые должны соответствовать приведенным в методических указаниях. Текст отчета должен содержать всю информацию о проделанной работе, необходимые расчетные формулы, выводы и рекомендации по анализу результатов выполнения каждого пункта лабораторного задания. В выводах студент может отразить информацию о новых современных средствах измерения электрических параметров.

8 Контрольные вопросы

1. Поясните основные правила измерения электрических параметров комбинированными приборами.
2. Особенности измерения:
 - постоянного напряжения;
 - постоянного тока;
 - переменного тока и напряжения;
 - сопротивления;
 - индуктивности;
 - ёмкости.
3. Как можно определить входное сопротивление вольтметра.
4. Меры безопасности при измерении электрических величин.

9 Список литературы

1. Нефедов, В. И. Метрология и электроизмерения / В. И. Нефедов, – М. : Высшая школа, 2000.
2. Кузнецов, В. А. Измерения в электронике / В. А. Кузнецов. – М. : Энергоатомиздат, 1987.
3. Клаассен, К. Б. Основы измерений. Москва. Постмаркет.- 2002 г.
4. Евтихийев, Н. Н. Измерение электрических и неэлектрических величин / Н. Н. Евтихийев. – М. : Энергоатомиздат, 1990.
5. Раннев, Г. Г. Методы и средства измерений / М. : Г. Г. Раннев. – АCADEMIA, 2003.
6. Мейзда, Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений / М. : Ф. Мейзда. – Мир, 1990.

Лабораторная работа № 2 ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ

1 Цель работы

- 1.1 Изучение основных понятий, связанных с измерением геометрических параметров: размер, отклонение, допуск, качество точности, степень точности.
- 1.2 Изучение методики выбора средств измерений геометрических параметров.
- 1.3 Изучение методов измерения линейных размеров.
- 1.4 Изучение методов измерения угловых размеров.
- 1.5 Изучение конструкции и области применения штангенинструментов, микрометрических инструментов, инструментов на основе измерительных головок с различными типами и приобретение практических навыков в работе с ними.
- 1.6 Изучение конструкции и области применения нониусных инструментов для измерения угловых размеров и приобретение практических навыков в работе с ними.

2 Краткие теоретические сведения

2.1 Основные понятия, связанные с измерением геометрических параметров

Количественно геометрические параметры объектов измерения оцениваются посредством размеров. Размер – это числовое значение величины (диаметра, длины, высоты и т. п.). Различают **номинальные, действительные и предельные размеры**.

Номинальный размер – это размер, который служит началом отсчета отклонений и относительно которого определяют предельные размеры. Он получается из кинематических, динамических и прочностных расчетов или выбирается из конструктивных, технологических или других требований. Для деталей, образующих соединение, номинальный размер является общим.

Действительный размер – размер, установленный в результате измерения с погрешностью, не превышающей допустимую.

Алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами называется *действительным отклонением*.

Предельные размеры – это два предельно допустимых размера (наибольший и наименьший), между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер. Они устанавливают допустимую неточность изготовления деталей и требуемый характер их соединения.

Для удобства при задании допусков на чертежах используются не предельные размеры, а **предельные отклонения**.

Предельное отклонение – это алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами.

Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами называется **допуском**. Допуски, установленные стандартами, называются **допусками системы**. Для нормирования требуемых уровней точности при измерении линейных размеров установлены качества точности изготовления деталей.

Под **кавалитетом точности** понимают совокупность допусков, характеризуемых постоянной относительной точностью (определяемой коэффициентом α) для всех номинальных размеров данного диапазона (например, от 1 до 500 мм). Точность в пределах одного квалитета зависит от номинального размера. Допуск T для любого квалитета определяется зависимостью

$$T = \alpha \cdot i, \quad (2.1)$$

где i – единица допуска, мкм;

α – число единиц допуска, зависящее от квалитета и не зависящее от номинального размера.

Из формулы (2.1) следует, что чем больше α , тем больше допуск и, следовательно, меньше точность, и наоборот.

Стандартом установлены следующие 19 квалитетов точности, записанные в порядке понижения точности: 01; 0; 1; 2;17. Наибольшее распространение в практике проектирования деталей или соединений нашли квалитеты с 5 по 17. Для размеров до 500 мм единица допуска (в мкм) рассчитывается по формуле

$$i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D, \quad (2.2)$$

где D – размер в миллиметрах (длина, ширина, высота, диаметр и т. п.).

Допуск условно обозначается в виде IT_n , где n – порядковый номер квалитета точности. В таблице 2.1 приведено число допуска α для допусков $IT_5 \div IT_{17}$.

Таблица 2.1 – Число единиц допуска в зависимости от квалитета

Обозначение допуска IT_n	IT_5	IT_6	IT_7	IT_8	IT_9	IT_{10}	
Значение коэффициента α	7	10	16	25	40	64	
Обозначение допуска IT_n	IT_{11}	IT_{12}	IT_{13}	IT_{14}	IT_{15}	IT_{16}	IT_{17}
Значение коэффициент α	100	160	250	400	640	1000	1600

2.2 Выбор средств измерения

Правильный выбор средств измерений имеет важное значение для обеспечения требуемой точности измерений. Средства измерений должны обеспечивать погрешность меньше нормируемой.

Средства измерений выбирают в зависимости от точности (допуска) объекта измерения и допустимой погрешности измерений. Допуск размера является определяющей характеристикой для расчета допустимой погрешности измерений, которая принимается равной $1/5$ – $1/3$ допуска размера.

Допустимые погрешности измерения линейных размеров до 500 мм в зависимости от квалитетов и номинальных размеров объектов измерения приведены в таблице 2.2 (ГОСТ 8.051-81).

Таблица 2.2. Допустимые погрешности измерения линейных размеров

Номинальные размеры, мм	Квалитет						
	4	5	6	7	8	9	10
	Допустимая погрешность измерений, мкм						
До 3	1	1,4	1,8	3	3	6	8
3 ÷ 6	1,4	1,6	2	3	4	8	10
6 ÷ 10	1,4	2	2	4	5	9	12
10 ÷ 18	1,6	2,8	3	5	7	10	14
18 ÷ 30	2	3	4	6	8	12	18
30 ÷ 50	2,4	4	5	7	10	16	20
50 ÷ 80	2,8	4	5	9	12	18	30
80 ÷ 120	3	5	6	10	12	20	30
120 ÷ 180	4	6	7	12	16	30	40
180 ÷ 250	5	7	8	12	18	30	40
250 ÷ 315	5	8	10	14	20	30	50
316 ÷ 400	6	9	10	16	24	40	50
400 ÷ 500	6	9	12	18	26	40	50
Номинальные размеры, мм	Квалитет						
	11	12	13	14	15	16	17
	Допустимая погрешность измерений, мкм						
1	2	3	4	5	6	7	8
До 3	12	20	30	50	80	120	200
3 ÷ 6	16	30	40	60	100	160	240
6 ÷ 10	18	30	50	80	120	200	300
10 ÷ 18	30	40	60	90	140	240	380
18 ÷ 30	30	50	70	120	180	280	440
30 ÷ 50	40	50	80	140	200	320	500
50 ÷ 80	40	60	100	160	240	400	600
80 ÷ 120	50	70	120	180	280	440	700
120 ÷ 180	50	80	140	200	320	500	800
1	2	3	4	5	6	7	8
180 ÷ 250	60	100	160	240	380	600	1000
250 ÷ 315	70	120	180	260	440	700	1100
316 ÷ 400	80	120	180	280	460	800	1200
400 ÷ 500	80	140	200	320	500	800	1400

Каждое средство измерения характеризуется основной погрешностью, величина которой указана в характеристике этого средства измерения. Выбор средства измерения состоит в сравнении его основной погрешности с допустимой погрешностью измерения; при этом основная погрешность должна быть меньше (или равна) допустимой погрешности измерения.

2.3 Измерение линейных размеров.

Для оценки годности детали по линейным размерам необходимо определить их действительные значения, т. е. произвести соответствующие измерения с погрешностью, меньшей допустимой. Они могут проводиться с помощью штангенинструментов, инструментов на основе измерительных головок с различными типами передач. К штангенинструментам относятся штангенциркули, штангенглубиномеры, штангенрейсмасы и др. Характерным признаком для всего класса этих инструментов является наличие штанги и линейного нониуса. Штангенинструмент имеет две шкалы: одна нанесена на штанге с интервалом деления 1 мм, вторая на нониусе, по ней отсчитывают десятые и сотые доли миллиметра. Выпускаются штангенинструменты с ценой деления нониуса 0,1 и 0,05 мм. Принцип построения всех нониусных шкал (в том числе и угловых) основывается на отрицательной разности размеров, воспроизводимых соответственно двумя соседними рисками нониуса и двумя (или через одну) рисками основной шкалы. Простейший нониус с ценой деления 0,1 мм имеет шкалу длиной 9 мм (рисунок 2.1а), которая разбита на десять равных частей, и расстояние между соседними штрихами получается равным $9:10 = 0,9$ мм. Следовательно, интервал деления шкалы нониуса меньше интервала деления шкалы штанги на 0,1 мм. В том случае, когда нулевые деления шкалы штанги и нониуса совпадают, первый штрих нониусной шкалы отстает от первого штриха шкалы штанги на 0,1 мм, второй – на 0,2 мм, третий – на 0,3 мм и т. д. Этим и достигается возможность измерения десятых долей миллиметра.

Для определения размера нужно отсчитать нужное число миллиметров по шкале штанги до места, где остановился нуль нониуса, затем найти штрих нониуса, совпадающий с любым из штрихов штанги. Номер совпавшего штриха нониуса указывает число десятых долей миллиметра в данном размере.

У большинства штангенинструментов с ценой деления 0,1 мм применяется не простейший, а так называемый растянутый нониус (рисунок 2.1б), длина шкалы которого равна 19 мм. Интервал деления в данном случае составит $19:10 = 1,9$ мм, что дает также отставание на 0,1 мм от каждого второго деления штанги. Принцип остается тот же, но деления нониуса расположены реже, и отсчет производить удобнее.

Нониусы с ценой деления 0,05 мм устроены аналогично. Шкала нониуса, имеющая длину 19 мм, делится на 20 частей. В данном случае интервал деления $19:20 = 0,95$ мм; значит, каждый штрих нониуса отстает от деления штанги на 0,05 мм, и для определения числа сотых нужно номер штриха нониуса умножить на 0,05 мм. Чтобы упростить подсчеты, на каждом пятом штрихе нониуса проставляется соответствующая цифра, указывающая сразу число

сотых: 25, 50, 75 и т. п. Растянутый нониус для данного случая имеет длину 39 мм (рисунок 2.1в). Интервал деления будет $39:20 = 1,95$ мм, отставание от каждого второго штриха штанги составляет 0,05 мм.

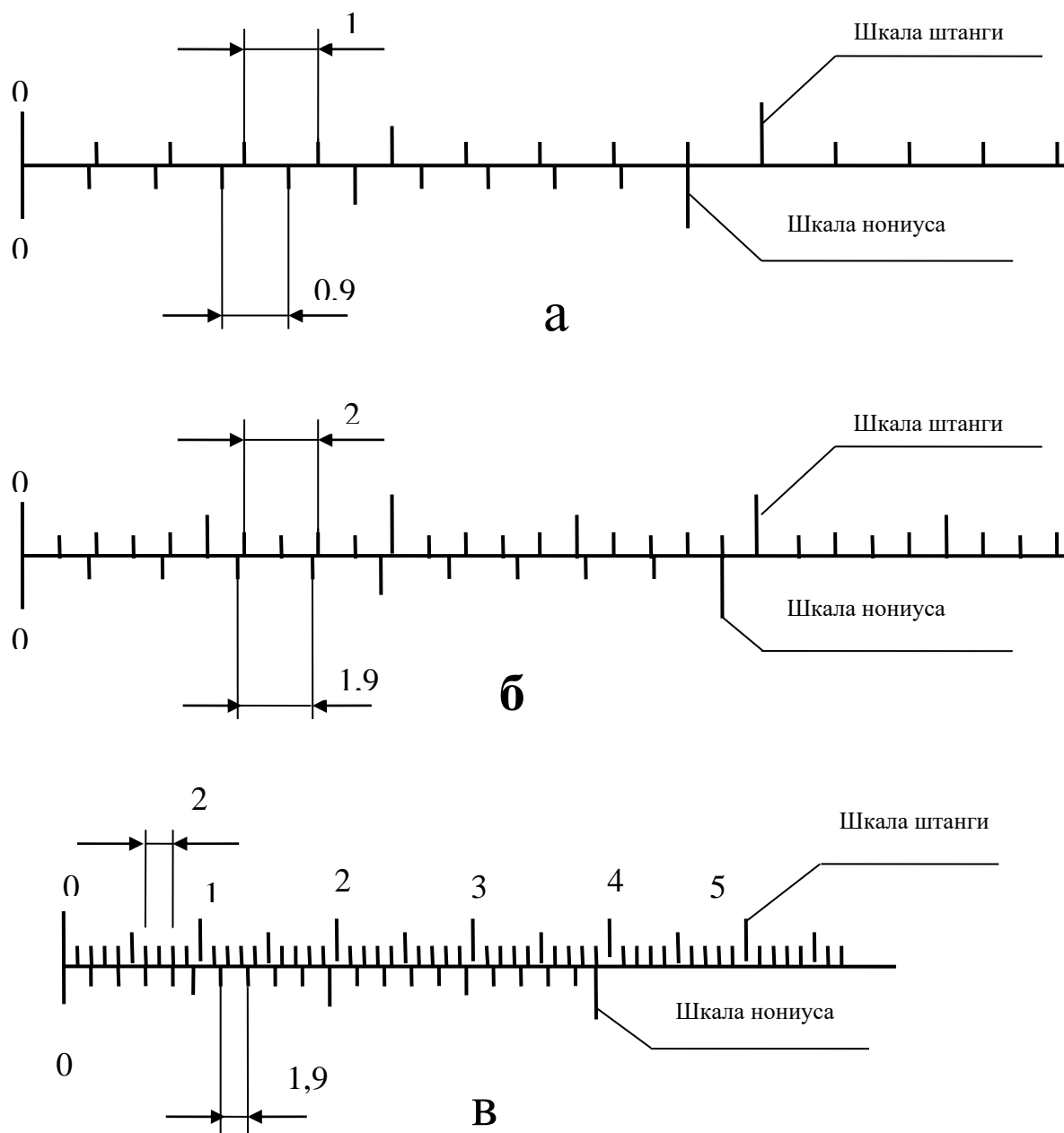


Рисунок 2.1. Принцип построения нониусных шкал
 а) шкала длиной 9 мм с ценой деления 0,1 мм;
 б) шкала длиной 19 мм с ценой деления 0,1 мм (растянутый нониус);
 в) шкала длиной 39 мм с ценой деления 0,05 мм.

В зависимости от характера измеряемых линейных размеров микрометрические инструменты подразделяются на микрометры, микрометрические нутромеры и глубиномеры. Общим для микрометрических инструментов является наличие микрометрической головки (рисунок 2.2).

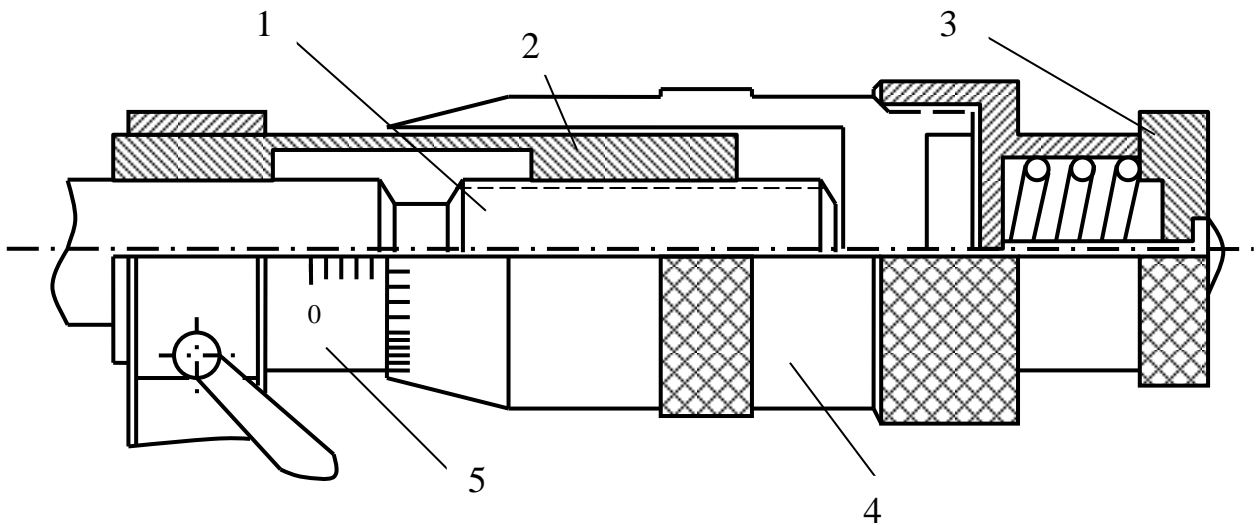


Рисунок 2.2. Устройство микрометрической головки

Основными деталями микрометрической головки являются микрометрический винт 1 и микрометрическая гайка 2. На стебле 5 наносится основная шкала с делением через каждые 0,5 мм, равными шагу резьбы. Для большего удобства штрихи, соответствующие целым миллиметрам или полумиллиметрам, располагаются по разные стороны от продольной риски.

Цена деления шкалы барабана 4 с делениями определяется из выражения

$$C = P/n ,$$

где P – шаг винта.

При $P = 0,5$ мм и $n = 50$, $C = 0,01$ мм. Цена деления практически для всех микрометрических инструментов равна 0,01 мм, и она определяет погрешность инструмента. Для определения искомого размера производят отсчет по двум отсчетным устройствам и суммируют их.

Полная длина перемещения микрометрического винта составляет 25 мм. Связано это с тем, что с увеличением пределов измерений необходимо увеличивать длину нарезной части винта. Но так как при изготовлении резьбы допускаются погрешности шага и они суммируются, то при больших длинах нарезной части суммарная погрешность измерений может оказаться большой и превосходить погрешность измерения данного инструмента. Для того чтобы перекрыть диапазон измеряемых величин, приходится иметь набор микрометров и сменных удлинителей или стержней для нутромера и глубиномера соответственно. Для создания одинакового измерительного усилия микрометры и микрометрические глубиномеры снабжены трещоткой 3.

Более высокой точностью обладают инструменты на основе измерительных головок, главным образом, механических. Измерительные головки используют либо в сочетании со стойками и штативами, либо как составные части более сложных измерительных приспособлений (рычажных скоб, нутромеров, толщиномеров, глубиномеров и др.). Наиболее распространенными являются головки и индикаторы, имеющие зубчатую или рычажно-зубчатую повышающие передачи. Выпускаются индикаторы часового типа ИЧ (ГОСТ 577-68) с ценой

деления 0,01 мм и пределами измерений от 0–2 до 0–25 мм. Рычажно-зубчатые индикаторы типов ИГ (ГОСТ 18833-73), I МИГ (ГОСТ 9696-82) и ИБР (ГОСТ 5584-75) выпускаются с ценой деления 0,001; 0,002 и 0,01 мм, диапазоном измерения 0,1; 0,2; 1,2 мм.

Рычажные и индикаторные скобы – это измерительные инструменты в виде скоб, имеющие, с одной стороны, отсчетное устройство, а с другой – неподвижную переставную пятку. Измерения с помощью рычажных и индикаторных скоб проводят методом сравнения с мерой. Рычажные и индикаторные скобы для измерения наружных размеров до 150 мм имеют встроенное в корпус отсчетное устройство, а для измерения размеров свыше 150 мм – индикатор часового типа. Если в скобе с одной стороны установлена микрометрическая головка без механизма трещотки, аналогичная микроголовке, а с другой стороны – стрелочное устройство, то такая скоба называется рычажным микрометром. Измерения рычажным микрометром могут осуществляться абсолютным методом или методом сравнения с мерой. Например, серийно выпускаемые микрометры типа МР (ГОСТ 4381-80) с диапазоном измерения 0–25 мм имеют цену деления отсчетного устройства 0,002 мм и диапазон показаний не менее $\pm 0,14$ мм.

Наиболее точными являются приборы с пружинной передачей. Основу этой передачи составляет бронзовая плоская лента 3, завитая от ее середины в разные стороны (рисунок 2.3).

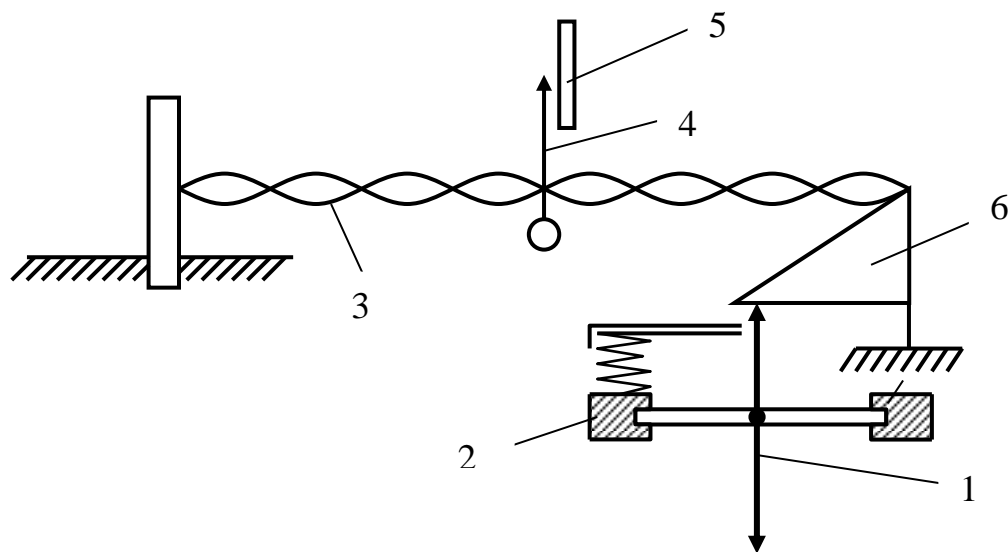


Рисунок 2.3 – Устройство прибора с пружинной передачей

Один конец ленты жестко закреплен, второй присоединен к подвижному угольнику 6. В середине ленты прикреплена либо стрелка 4 (у микрометра), либо зеркальце (у оптика). При перемещении измерительного наконечника 1, подвешенного на мембранах 2, угольник 6 поворачивается относительно пружинной подвески, растягивает пружинную ленту 3, и последняя, раскручиваясь, перемещает стрелку или зеркальце. Для отсчета показаний служит шкала 5. У оптика световой пучок проецируется на зеркальце с помощью конденсора. Благодаря дополнительной оптической системе чувствительность оптика в 2 раза выше, чем у микрометра. Выпускаются измерительные

головки пружинные (микраторы) типа ИП1 (ГОСТ 6933-81), микраторы типа ИШ (ГОСТ 14712-79), миникаторы типа ИРП (ГОСТ 14711-69) и оптикаторы (ГОСТ 10598-74) с ценой деления от 0,0001 до 0,01 мм и диапазоном измерений от $\pm 0,004$ до $\pm 0,3$ мм.

3 Инструменты, используемые при выполнении работы

- 3.1 Штангенциркуль ШЦ-1: 0-125 мм.
- 3.2 Штангенглубиномеры ШГ: 0-200 мм.
- 3.3 Микрометры МК: 0-25, 25-50, 50-75 мм.
- 3.4 Микрометрические нутрометры НМ: 50-75; 75-175 мм.
- 3.5 Микрометрический глубиномер ГМ: 0-75 мм.
- 3.6 Скоба индикаторная СИ: 0-50 мм.
- 3.7 Линейка с ценой деления 1 мм.
- 3.8 Набор плоскопараллельных концевых мер длины (ПКМД).
- 3.9 Индикатор часового типа

4 Описание объектов измерения

4.1 При измерении линейных размеров используются объекты измерений, чертежи которых приведены на рисунках 4.1.а,б,в. Номера объектов измерения и их номинальные размеры с предельными отклонениями приведены в таблице 4.1.

5 Подготовка к выполнению работы

5.1 По рекомендуемой литературе детально изучить методы и средства измерений геометрических параметров деталей, области их применения.

5.2 По приложениям настоящих методических указаний изучить устройство, принцип действия и характеристики инструментов:

- штангенциркулей
- штангенглубиномеров
- микрометров
- микрометрических глубиномеров
- индикаторных скоб

5.3 Ответить на контрольные вопросы.

5.4 Подготовить заготовку отчёта по лабораторной работе в соответствии с требованиями настоящих методических указаний.

5.5 Используя данные по линейным размерам объектов измерений, приведённых в таблице 4.1, рассчитать допуски, единицы допусков, номера классов точности, привести условное обозначение допусков. Исходя из классов точности, определить допустимые погрешности измерений и выбрать средства измерений. Результаты расчётов занести в таблицу 5.1.

Таблица 5.1. Расчет допусков и выбор средств измерения

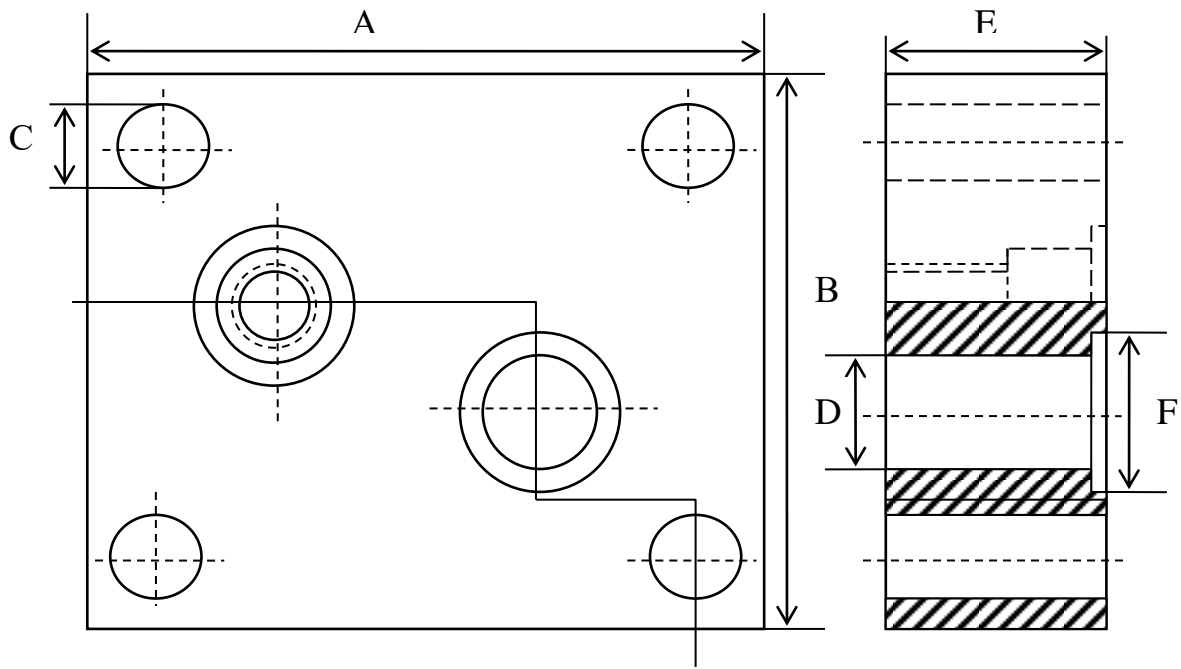
Номер пункта лабораторного задания	1				2				3			
Номер объекта измерения												
Условное обозначение размера												
Номинальный размер, мм												
Предельные отклонения, мм												
Допуск, мм												
Единица допуска, мкм												
Номер качества точности												
Условное обозначение допуска												
Допустимая погрешность измерения, мм												
Тип выбранного средства измерения												
Действительный размер, мм												
Действительное отклонение, мкм												
Заключение о годности детали: (+) – годна, (-) – не годна												

6 Задания по лабораторной работе

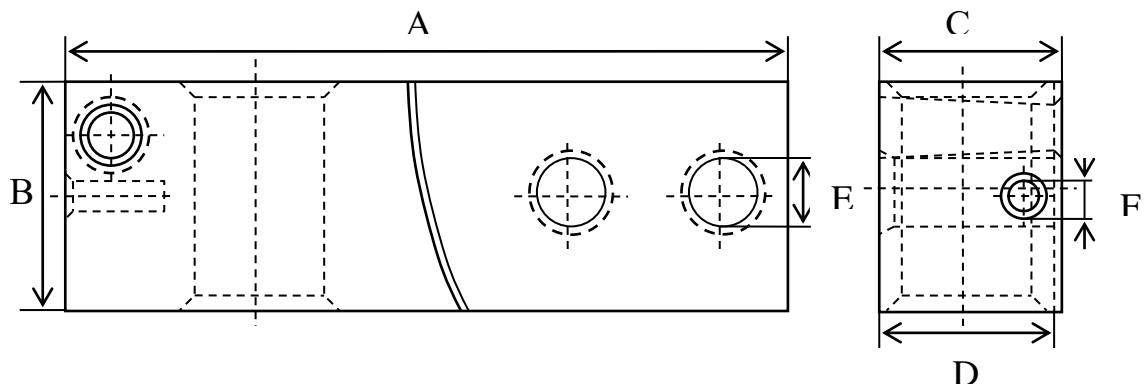
6.1 Измерить заданные линейные размеры объектов измерения с помощью штангенинструментов.

6.2 Измерить заданные линейные размеры объектов измерения с помощью микрометрических инструментов.

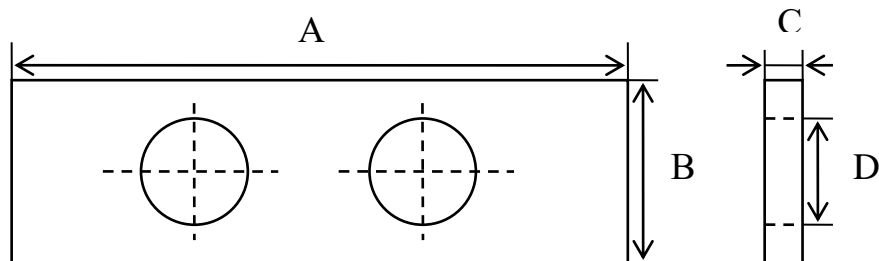
6.3 Измерить заданные линейные размеры объектов измерения с помощью индикаторной скобы (цифрового штангенинструмента).



Объект № 1

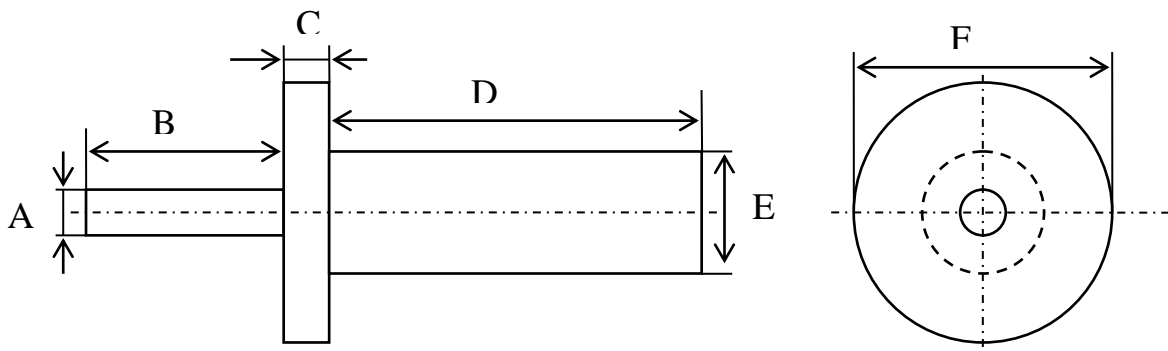


Объект № 2

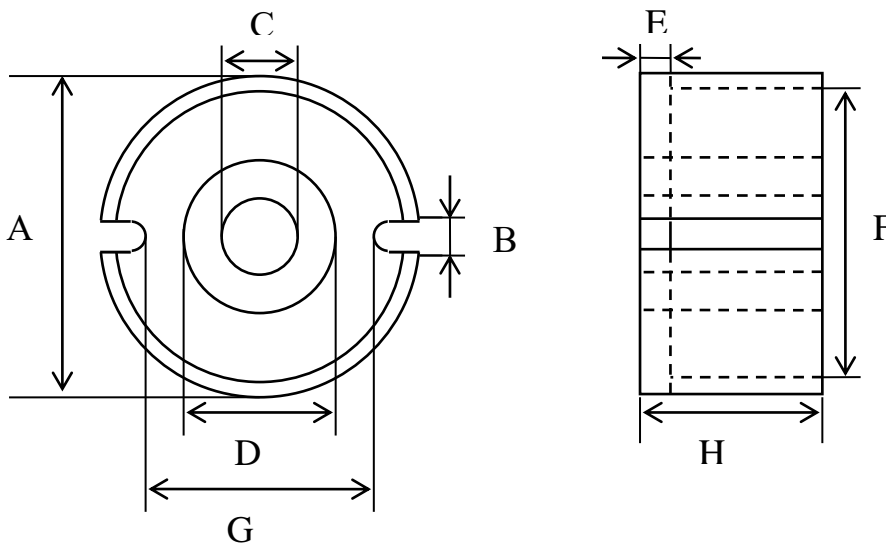


Объект № 3

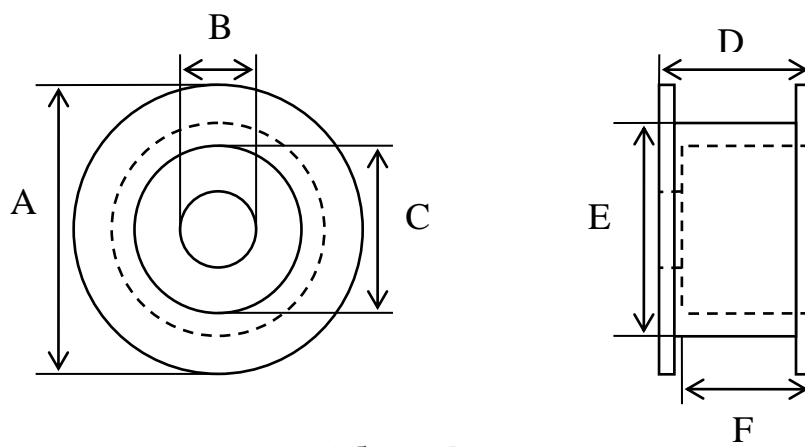
Рисунок 4.1а – объекты



Объект № 4



Объект № 5



Объект № 6

Рисунок 4.1б – объекты

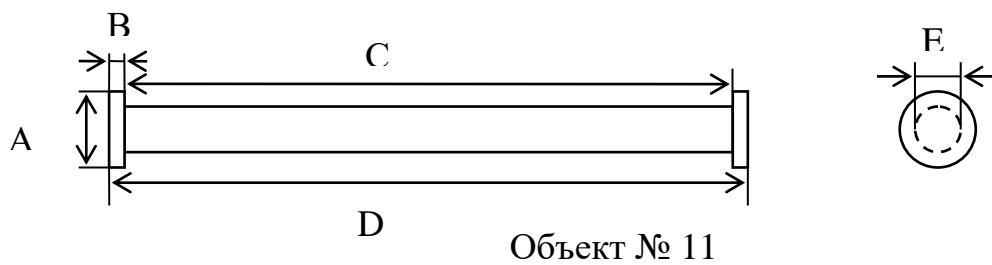
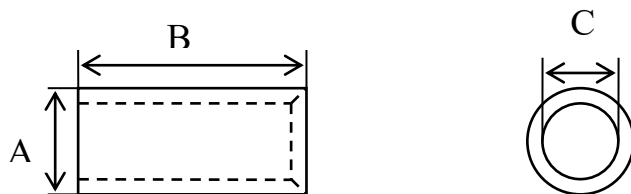
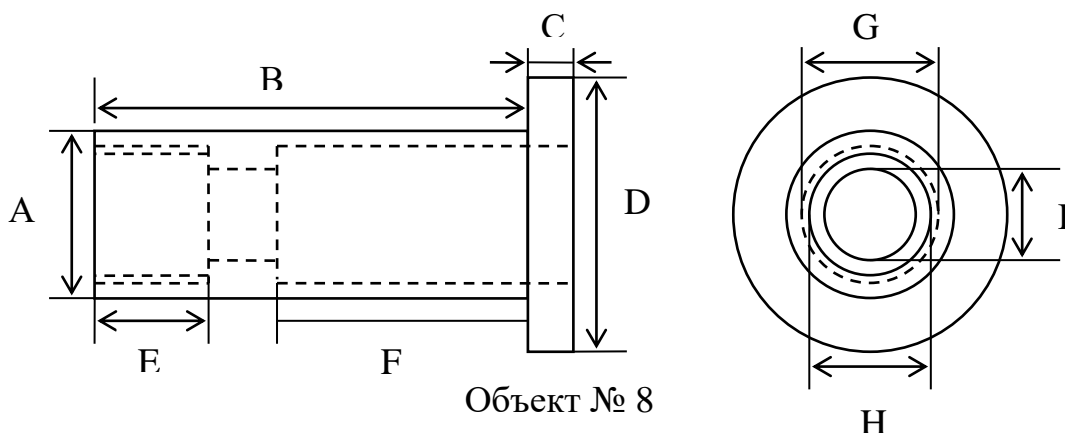
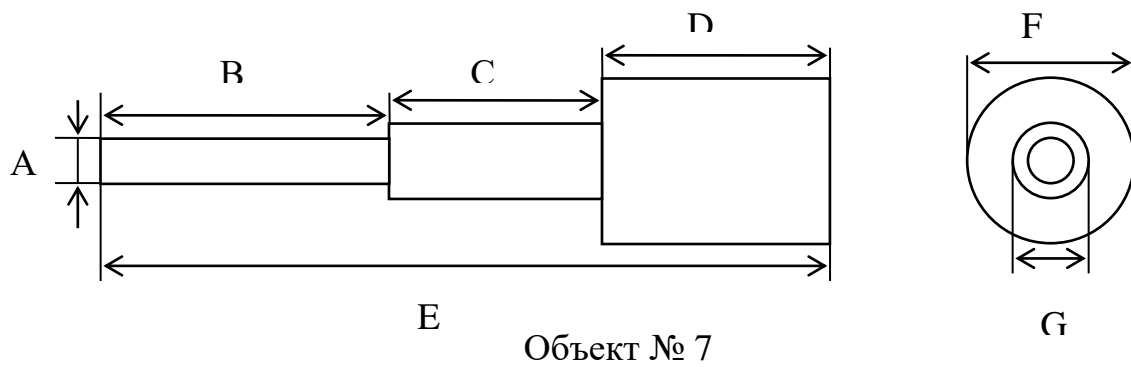


Рисунок 4.1в – объекты
Рисунок 4.1. Объекты для выполнения измерений

Таблица 4.1. Линейные размеры объектов с предельными отклонениями

Номер лабораторного задания	Номер бригады (вариант)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Номер объекта измерения, условное обозначение размера, номинальный размер, предельные отклонения в мм.							
1	1A 89,85 ^{+0,12} _{-0,12}	2A 129,32 ^{+0,4} _{-0,4}	3A 137,80 ^{+0,45} _{-0,45}	4A 6,00 ^{+0,07} _{-0,07}	5A 47,80 ^{+0,27} _{-0,27}	6A 45,00 ^{+0,24} _{-0,24}	7A 8,00 ^{+0,12} _{-0,12}	8A 18,2 ^{+0,23} _{-0,23}
	9A 18,00 ^{+0,17} _{-0,17}	10A 5,00 ^{+0,1} _{-0,1}	11A 12,00 ^{+0,12} _{-0,12}	1B 87,85 ^{+0,07} _{-0,07}	2B 40,00 ^{+0,14} _{-0,14}	3B 40,00 ^{+0,08} _{-0,08}	4B 17,40 ^{+0,22} _{-0,22}	5B 4,10 ^{+0,08} _{-0,08}
	6B 16,00 ^{+0,08} _{-0,08}	7B 38,00 ^{+0,29} _{-0,29}	8B 39,2 ^{+0,28} _{-0,28}	9B 24,7 ^{+0,31} _{-0,31}	10B 9,85 ^{+0,4} _{-0,4}	11B 1,5 ^{+0,05} _{-0,05}	1C 13,00 ^{+0,05} _{-0,05}	2C 32,00 ^{+0,28} _{-0,28}
	3C 8,00 ^{+0,02} _{-0,02}	4C 4,00 ^{+0,07} _{-0,07}	5C 7,40 ^{+0,17} _{-0,17}	6C 28,00 ^{+0,14} _{-0,14}	7C 27,85 ^{+0,14} _{-0,14}	8C 3,60 ^{+0,1} _{-0,1}	9C 13,25 ^{+0,26} _{-0,26}	10C 65,00 ^{+0,45} _{-0,45}
2	11C 110,00 ^{+0,6} _{-0,6}	1D 17,80 ^{+0,21} _{-0,21}	2D 30,00 ^{+0,11} _{-0,11}	3D 21,00 ^{+0,15} _{-0,15}	4D 33,00 ^{+0,09} _{-0,09}	5D 19,30 ^{+0,14} _{-0,14}	6D 20,80 ^{+0,18} _{-0,18}	7D 27,20 ^{+0,19} _{-0,19}
	8D 25,00 ^{+0,2} _{-0,2}	10D 12,00 ^{+0,2} _{-0,2}	11D 114,20 ^{+0,5} _{-0,5}	1E 37,80 ^{+0,11} _{-0,11}	2E 12,00 ^{+0,08} _{-0,08}	4E 11,85 ^{+0,13} _{-0,13}	5E 5,20 ^{+0,09} _{-0,09}	6E 31,85 ^{+0,23} _{-0,23}
3	7E 93,34 ^{+0,31} _{-0,31}	8E 9,00 ^{+0,15} _{-0,15}	11E 9,65 ^{+0,15} _{-0,15}	1F 28,30 ^{+0,19} _{-0,19}	2F 6,60 ^{+0,05} _{-0,05}	4F 25,00 ^{+0,16} _{-0,16}	5F 40,00 ^{+0,27} _{-0,27}	6F 20,70 ^{+0,16} _{-0,16}
	7F 24,00 ^{+0,18} _{-0,18}	8F 24,00 ^{+0,24} _{-0,24}	5G 34,65 ^{+0,37} _{-0,37}	7G 16,00 ^{+0,15} _{-0,15}	8G 15,50 ^{+0,18} _{-0,18}	5H 15,45 ^{+0,16} _{-0,16}	8H 15,00 ^{+0,15} _{-0,15}	8I 11,40 ^{+0,12} _{-0,12}

7 Порядок выполнения работы

7.1 Выполнить измерения в соответствии с п. 6.1 лабораторного задания.

7.1.1 Проверить исправность и подготовить к проведению измерений выбранные в п. 5.5 штангенинструменты.

7.1.2 Измерить действительные значения линейных размеров объектов измерения (данные об объектах измерения в таблице 4.1 в соответствии с номером бригады), используя выбранные штангенинструменты. Рассчитать действительные отклонения. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 5.1. На основании сравнения действительных и предельных размеров дать заключение о годности деталей.

7.2 Выполнить измерения в соответствии с п. 6.2 лабораторного задания.

7.2.1 Проверить исправность и подготовить к проведению измерений выбранные в п. 5.5 микрометрические инструменты.

7.2.2 Измерить действительные значения линейных размеров объектов измерения (данные об объектах измерения в таблице 4.1 в соответствии с номе-

ром бригады), используя выбранные микрометрические инструменты. Рассчитать действительные отклонения. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 5.1. На основании сравнения действительных и предельных размеров дать заключение о годности деталей.

7.3 Выполнить измерения в соответствии с п. 6.3 лабораторного задания.

7.3.1 Проверить исправность и подготовить к проведению измерений индикаторную скобу СИ, индикаторы часового типа и набор ПКМД.

7.3.2 Измерить действительные значения линейных размеров объектов измерения (данные об объектах измерения в таблице 4.1 в соответствии с номером бригады), используя индикаторную скобу СИ, индикаторы часового типа и набор ПКМД по методике, описанной в приложении 1. Рассчитать действительные отклонения. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 5.1. На основании сравнения действительных и предельных размеров дать заключение о годности деталей.

8 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе оформляется на стандартных листах бумаги формата А4. Результат измерений и вычислений сводятся в таблицы, которые должны соответствовать приведенным в методических указаниях. Текст отчета должен содержать всю информацию о проделанной работе, необходимые расчетные формулы, выводы и рекомендации по анализу результатов выполнения каждого пункта лабораторного задания. Сведения об используемых измерительных инструментах должны быть оформлены согласно таблицы 8.1

Таблица 8.1. Сведения об используемых измерительных инструментах

Наименование инструмента	Тип	Заводской номер	Основные технические характеристики

9 Контрольные вопросы

Что такое номинальный, действительный и предельный размер, предельное и действительное отклонение, допуск на размер и как рассчитывается его значение?

Что такое единица допуска и качество точности, и от чего они зависят?

В чем заключается методика выбора средств измерений?

На каком принципе основано построение нониусных шкал в штангенинструментах?

Объясните назначение, правила проверки перед измерением и измерений штангенциркулем и штангенглубиномером.

Объясните конструктивные особенности микрометрической головки.

Объясните назначение, правила проверки перед измерением и измерений микрометром, микрометрическим глубиномером.

Объясните конструктивные особенности рычажно-зубчатых головок, индикаторов, приборов на их основе.

Объясните конструктивные особенности индикаторных толщиномеров, стенкомеров, глубиномеров и нутромеров.

Объясните конструктивные особенности индикаторных скоб и методику измерений с их помощью.

Объясните конструктивные особенности инструментов на основе пружинных измерительных головок.

10 Список литературы

1. Архипенко, А. Г., Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Текст лекций / Под общей ред. А. С. Елизарова. – Минск. : Изд. МРТИ, 1986.–53 с.

2. Якушев, А. Н. и др. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебник для вузов / А. Н. Якушев – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986.–326 с.

3. Болдин, Л. А. Основы взаимозаменяемости и стандартизации в машиностроении: учеб. пособие для вузов / Л. А. Болдин – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1984.–272 с.

4. Архипенко, А. Г. Основы метрологии и измерительная техника: Тексты лекций Минск. : Изд. МРТИ, 1989. – Ч.2. – 53 с.

5. ГОСТ 8.051-81. –Введ. 01.01.82. – М. : Издательство стандартов, 1982–12с. допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм: ГСИ. Погрешности.

6. Средства контроля, управления и измерения линейных и угловых размеров в машиностроении. – М. : ВНИИТЭМР, 1985.–304 с.

Учебное издание

Составители:

Лапука Антон Сергеевич

Олех Анна Григорьевна

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам по дисциплине «Метрология, методы и приборы
технических измерений»

Методы прямого измерения физических величин

для студентов специальности 6-05-0713-04
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Ответственный за выпуск: Лапука А.С.

Редактор: Винник Н. С.

Компьютерная вёрстка: Горбач А. А.

Корректор: Дударук С. А.

Подписано в печать 29.07.2024 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Performer».
Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 1,86. Уч. изд. л. 2. Заказ № 788. Тираж 30 экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.

