

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет информационной безопасности

Кафедра информационно-измерительных систем

Ю. А. Гусынина

ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано УМО по образованию в области информатики
и радиоэлектроники в качестве учебно-методического пособия
для специальности 06-05-0611-06 «Системы и сети инфокоммуникаций»*

Минск БГУИР 2025

УДК 006.91(076.5)
ББК 30.10я73
Г96

Рецензенты:
кафедра радиотехники и электроники
учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь»
(протокол № 3 от 17.03.2025);

заместитель генерального директора по научной работе
государственного научного учреждения «Объединенный институт
проблем информатики Национальной академии наук Беларуси»
кандидат технических наук, доцент С. Н. Касанин

Гусынина, Ю. А.

Г96

Техническое нормирование и стандартизация. Лабораторный
практикум : учеб.-метод. пособие / Ю. А. Гусынина. – Минск : БГУИР,
2025. – 104 с. : ил.

ISBN 978-985-543-822-0.

Включает описание четырех лабораторных работ и предназначено для
изучения характеристик средств измерений электрических величин, измерения
геометрических, линейных, угловых размерных элементов объектов ТНис с
применением технических и оптических средств измерений, а также определе-
ния инструментальных погрешностей полученных результатов измерений.

Может быть полезно студентам и магистрантам других специальностей.

УДК 006.91(076.5)
ББК 30.10я73

ISBN 978-985-543-822-0

© Гусынина Ю. А., 2025
© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа Т–1. Стандартизация технических и метрологических характеристик средств измерений электрических величин	5
1.1 Цель работы.....	5
1.2 Краткие теоретические сведения	5
1.3 Приборы, используемые при выполнении работы.....	19
1.4 Подготовка к выполнению работы	19
1.5 Лабораторное задание и порядок его выполнения.....	20
1.6 Контрольные вопросы	21
Лабораторная работа Т–2. Исследование геометрических параметров объектов технического нормирования и стандартизации	22
2.1 Цель работы.....	22
2.2 Краткие теоретические сведения	22
2.3 Измерительные инструменты, используемые при выполнении работы	38
2.4 Описание объектов измерения	39
2.5 Подготовка к выполнению работы	41
2.6 Задания к лабораторной работе.....	41
2.7 Порядок выполнения работы.....	41
2.8 Контрольные вопросы	43
Лабораторная работа Т–3. Исследование линейных параметров объектов технического нормирования и стандартизации	44
3.1 Цель работы.....	44
3.2 Краткие теоретические сведения	44
3.3 Измерительные инструменты, используемые при выполнении работы	47
3.4 Описание объектов измерения	48
3.5 Подготовка к выполнению работы	48
3.6 Задания к лабораторной работе.....	51
3.7 Порядок выполнения работы.....	51
3.8 Контрольные вопросы	52
Лабораторная работа Т–4. Исследование параметров объектов ТНиС типовыми оптическими средствами измерений	53
4.1 Цель работы.....	53
4.2 Краткие теоретические сведения	53
4.3 Приборы, используемые при выполнении работы.....	61
4.4 Описание объектов измерения	61
4.5 Подготовка к выполнению работы	62
4.6 Задания к лабораторной работе.....	63
4.7 Порядок выполнения работы.....	63
4.8 Контрольные вопросы	65

Содержание отчета.....	66
Приложение А. Штангенциркули типа ШЦ, ШЦК и ШЦЦ.....	67
Приложение Б. Штангенглубиномеры типа ШГ, ШГК и ШГЦ.....	71
Приложение В. Микрометры типа МК и МКЦ.....	73
Приложение Г. Микрометрический нутромер типа НМ.....	77
Приложение Д. Микрометрические глубиномеры типа ГМ и ГМЦ.....	79
Приложение Е. Угломер с нониусом (тип 2).....	82
Приложение Ж. Универсальный угломер (тип 3).....	85
Приложение И. Видеоизмерительный микроскоп <i>NORGAU NVM-2010</i>	88
Список использованных источников	103

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Т-1.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

1.1 Цель работы

1.1.1 Изучить основные технические нормативные правовые акты (ТНПА) в области технического нормирования и стандартизации (ТНиС), устанавливающие требования к обозначениям, наносимым на передние панели типовых средств измерений (СИ).

1.1.2 Приобрести практические навыки в общей оценке СИ по стандартным символам и обозначениям, приводимым на их передних панелях, циферблатах и шкалах.

1.1.3 Определить основные метрологические характеристики электрических СИ.

1.1.4 Получить практический опыт в правильном расположении СИ на рабочем месте экспериментатора, определении назначений регулировочных элементов, правильном выборе шкалы, предела измерений и фиксации значения результата измерения.

1.2 Краткие теоретические сведения

Стандартизация технических и метрологических характеристик СИ направлена на обеспечение единства измерений, при котором результаты измерений выражены в единицах, допущенных к применению в Республике Беларусь, и точность результатов находится в установленных границах с заданной вероятностью. Для достижения цели единства измерений в стране создана Система обеспечения единства измерений (СОЕИ), в рамках которой принимаются ТНПА, устанавливающие требования ко всем СИ, допущенным к применению на территории Республики Беларусь.

Общие технические требования к СИ устанавливает межгосударственный стандарт ГОСТ 22261–94 «Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия», в котором приводятся группы требований, определяющих качество СИ и их безопасность. К таким группам относятся: общие технические требования, требования безопасности, правила приемки, методы испытаний, транспортирование и хранение, гарантии изготовителя.

Постановлением Совета Министров № 673 от 24.11.2020 «О единицах величин, допущенных к применению в Республике Беларусь» принята к использованию система единиц *SI*. Поэтому на передние панели и шкалы СИ электрических величин наносят единицы *SI*, используя международное обозначение. В таблицах 1.1 и 1.2 приведены обозначения основных и производных единиц *SI* соответственно.

Таблица 1.1 – Основные величины и единицы *SI*

Наименование основной величины	Наименование единицы	Обозначение единицы	
		международное	русское
Длина	метр	<i>m</i>	м
Масса	килограмм	<i>kg</i>	кг
Время	секунда	<i>s</i>	с
Сила электрического тока	ампер	<i>A</i>	А
Термодинамическая температура	кельвин	<i>K</i>	К
Количество вещества	моль	<i>mol</i>	моль
Сила света	кандела	<i>cd</i>	кд

Таблица 1.2 – Производные величины и единицы *SI*

Наименование производной величины	Наименование единицы	Обозначение единицы	
		международное	русское
Плоский угол	радиан	<i>rad</i>	рад
Телесный угол	стерадиан	<i>sr</i>	ср
Частота	герц	<i>Hz</i>	Гц
Сила	ньютон	<i>N</i>	Н
Давление	паскаль	<i>Pa</i>	Па
Энергия, работа, количество теплоты	джоуль	<i>J</i>	Дж
Мощность	ватт	<i>W</i>	Вт
Электрический заряд, количество электричества	кулон	<i>C</i>	Кл
Электрическое напряжение, электрический потенциал, раз- ность электрических потенциа- лов, электродвижущая сила	вольт	<i>V</i>	В
Электрическая емкость	фарада	<i>F</i>	Ф
Электрическое сопротивление	ом	Ω	Ом
Электрическая проводимость	сименс	<i>S</i>	См
Поток магнитной индукции, магнитный поток	вебер	<i>Wb</i>	Вб
Плотность магнитного потока, магнитная индукция	тесла	<i>T</i>	Тл
Индуктивность, взаимная индук- тивность	генри	<i>H</i>	Гн
Температура Цельсия	градус Цельсия	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
Световой поток	люмен	<i>lm</i>	лм
Освещенность	люкс	<i>lx</i>	лк

Продолжение таблицы 1.2

Наименование производной величины	Наименование единицы	Обозначение единицы	
		международное	русское
Активность нуклида в радиоактивном источнике (активность радионуклида)	беккерель	<i>Bq</i>	Бк
Поглощенная доза ионизирующего излучения, керма	грей	<i>Gy</i>	Гр
Эквивалентная доза ионизирующего излучения, эффективная доза ионизирующего излучения	зиверт	<i>Sv</i>	Зв
Активность катализатора	катал	<i>kat</i>	кат

Наименования и обозначения десятичных кратных и дольных единиц *SI* образуются с помощью множителей и приставок, указанных в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Множители и приставки системы *SI*

Десятичный множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское
10^{30}	кветта	<i>Q</i>	Кв
10^{27}	ронна	<i>R</i>	Рн
10^{24}	иотта	<i>Y</i>	И
10^{21}	зетта	<i>Z</i>	З
10^{18}	экса	<i>E</i>	Э
10^{15}	пета	<i>P</i>	П
10^{12}	тера	<i>T</i>	Т
10^9	гига	<i>G</i>	Г
10^6	мега	<i>M</i>	М
10^3	кило	<i>k</i>	к
10^2	гекто	<i>h</i>	г
10^1	дека	<i>da</i>	да
10^{-1}	деци	<i>d</i>	д
10^{-2}	санتي	<i>c</i>	с
10^{-3}	милли	<i>m</i>	м
10^{-6}	микро	μ	мк
10^{-9}	нано	<i>n</i>	н
10^{-12}	пико	<i>p</i>	п
10^{-15}	фемто	<i>f</i>	ф
10^{-18}	атто	<i>a</i>	а
10^{-21}	зепто	<i>z</i>	з

Продолжение таблицы 1.3

Десятичный множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское
10^{-24}	иокто	y	и
10^{-27}	ронто	r	рн
10^{-30}	квекто	q	кв

При необходимости единицы международной системы *SI* обозначают вместе с их приставками.

Определения и основные требования к показывающим аналоговым электроизмерительным приборам устанавливает ГОСТ 30012.1–2002 (МЭК 60051-1-97). Рассмотрим некоторые из них.

Электроизмерительный прибор – СИ, предназначенное для измерения электрической или неэлектрической величины электрическими средствами.

Аналоговый прибор – СИ, предназначенное для представления и индикации выходной информации в аналоговой форме в виде непрерывной функции измеряемой величины.

Показывающий прибор – СИ, имеющее устройство для визуального отсчитывания значений измеряемой величины.

Электронный измерительный прибор – СИ, предназначенное для измерения электрических и неэлектрических величин электронными средствами.

Если прибор имеет одно средство индикации и предназначен для измерения величин разного рода (например, измерения тока, напряжения и сопротивления), то его называют **многофункциональным (комбинированным) прибором**.

В таблице 1.4 приведены наиболее употребляемые условные обозначения символов, относящихся к роду тока и количеству измерительных элементов СИ.

Таблица 1.4 – Род тока и количество измерительных элементов

Номер по IEC 60051	Наименование символа	Условное обозначение
B-1	Цепь постоянного тока или измерительный элемент, реагирующий на постоянный ток	—
B-2	Цепь переменного тока или измерительный элемент, реагирующий на переменный ток	~
B-3	Цепь постоянного или переменного тока или измерительный элемент, реагирующий на постоянный и переменный ток	⎓
B-4	Трехфазная схема переменного тока	≡

Продолжение таблицы 1.4

Номер по IEC 60051	Наименование символа	Условное обозначение
B-5	Трехфазная схема переменного тока с несимметричными нагрузками	
B-6	Один измерительный элемент для трехпроводной цепи	
B-7	Один измерительный элемент для четырехпроводной цепи	
B-8	Два измерительных элемента для трехпроводной цепи с несимметричными нагрузками	
B-9	Два измерительных элемента для четырехпроводной цепи с несимметричными нагрузками	
B-10	Три измерительных элемента для четырехпроводной цепи с несимметричными нагрузками	

Надежная, безотказная и долговечная эксплуатация СИ обеспечивается многочисленными техническими требованиями, нормированными электрическими параметрами, правилами эксплуатации и их обязательным соблюдением как в ходе изготовления, так и в процессе их эксплуатации. Условные обозначения, связанные с безопасностью эксплуатации и особенностями проведения испытаний на прочность изоляции СИ, приведены в таблице 1.5.

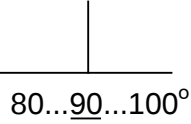
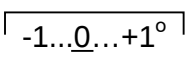
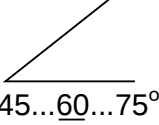
Таблица 1.5 – Безопасность эксплуатации СИ

Номер по IEC 60051	Наименование символа	Условное обозначение
C-1	Напряжение испытательное 500 В	
C-2	Напряжение испытательное, превышающее 500 В (например, 2 кВ)	
C-3	Прибор испытанию прочности изоляции не подлежит	
C-4	Прибор или вспомогательная часть под высоким напряжением	

При выполнении измерительного эксперимента неправильное положение СИ относительно горизонта вызывает дополнительную систематическую погрешность в полученном результате, которую необходимо в этом случае учитывать при оценке результирующей погрешности. Поэтому все СИ должны

располагаться на рабочем месте экспериментатора в соответствии с символами, приведенными на самих СИ и устанавливающими их правильное положение. Такие символы указаны в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Символы рабочего положения СИ

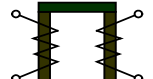
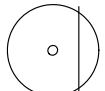
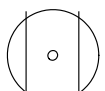
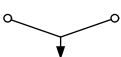
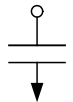
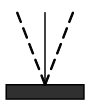
Номер по IEC 60051	Наименование символа	Условное обозначение
D-1	Прибор применяется при вертикальном положении циферблата	
D-2	Прибор применяется при горизонтальном положении циферблата	
D-3	Прибор применяется при наклонном положении циферблата (например, под углом 60°) относительно горизонтальной плоскости	
D-4	Прибор применяется в положении D-1 при рабочей области от 80° до 100°	
D-5	Прибор применяется в положении D-2 при рабочей области от -1° до +1°	
D-6	Прибор применяется в положении D-3 при рабочей области от 45° до 75°	
D-7	Обозначение, указывающее на ориентирование прибора во внешнем магнитном поле	N

Общие условные обозначения, наносимые на СИ, определяющие вид измерительного механизма и тип используемого преобразователя, приведены в таблице 1.7.

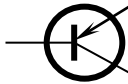
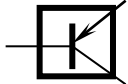
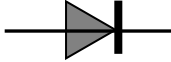
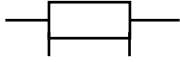
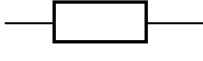
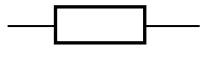
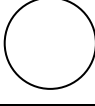
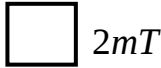
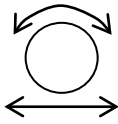
Таблица 1.7 – Общие условные обозначения на СИ

Номер по IEC 60051	Наименование символа	Условное обозначение
F-1	Прибор магнитоэлектрический с подвижной рамкой	
F-2	Логометр (измеритель отношений) магнитоэлектрический	
F-3	Прибор магнитоэлектрический с подвижным магнитом	

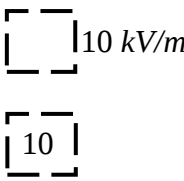
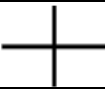
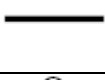
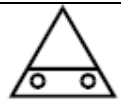
Продолжение таблицы 1.7

Номер по IEC 60051	Наименование символа	Условное обозначение
F-4	Логометр магнитоэлектрический с подвижным магнитом	
F-5	Прибор электромагнитный	
F-6	Прибор электромагнитный поляризованный	
F-7	Логометр электромагнитный	
F-8	Прибор электродинамический	
F-9	Прибор ферродинамический	
F-10	Логометр электродинамический	
F-11	Логометр ферродинамический	
F-12	Прибор индукционный	
F-13	Индукционный измеритель отношений	
F-14	Прибор тепловой с нагреваемой нитью	
F-15	Прибор биметаллический	
F-16	Прибор электростатический	
F-17	Прибор вибрационный	
F-18	Термопреобразователь неизолированный	
F-19	Термопреобразователь изолированный	

Продолжение таблицы 1.7

Номер по IEC 60051	Наименование символа	Условное обозначение
F-20	Преобразователь электронный в измерительной цепи	
F-21	Преобразователь электронный во вспомогательной цепи	
F-22	Выпрямитель	
F-23	Шунт	
F-24	Сопротивление добавочное	
F-25	Сопротивление добавочное индуктивное	
F-26	Сопротивление добавочное полное	
F-27	Экран электростатический	
F-28	Экран магнитный	
F-29	Прибор астатический	ast
F-30	Магнитная индукция, выраженная в миллитеслах, вызывающая изменение показаний, соответствующее обозначению класса точности (например, 2мТ). Предпочтительно нанесение надписи единицы <i>mT</i>	 
F-31	Зажим для заземления	
F-32	Корректор	
F-33	Ссылка на соответствующий документ	

Продолжение таблицы 1.7

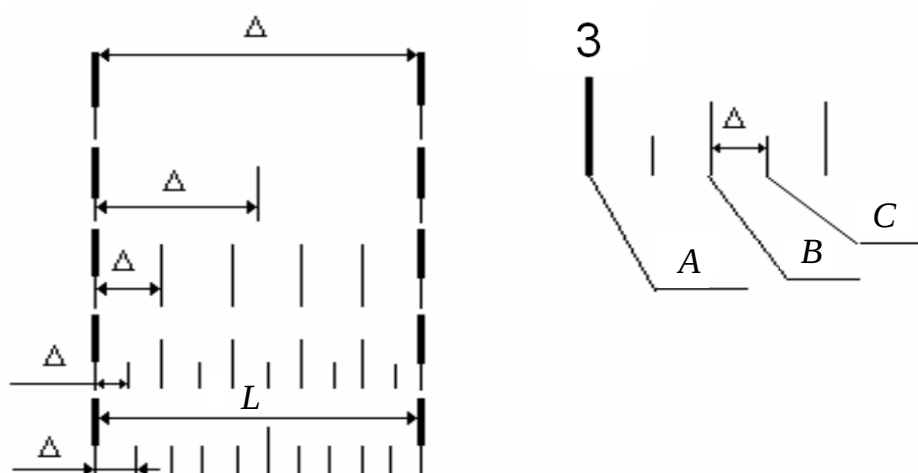
Номер по IEC 60051	Наименование символа	Условное обозначение
F-34	Поле электрическое напряженностью в кВ/м (например, 10 кВ/м), вызывающее изменение показаний, соответствующее обозначению класса точности. Предпочтительно нанесение единицы <i>kV/m</i>	
F-35	Часть вспомогательная общая	
F-37	Щит стальной толщиной <i>x</i> мм	Fex
F-38	Щит стальной любой толщины	Fe
F-39	Щит нестальной любой толщины	NFe
F-40	Щит любой толщины	Fe.NFe
F-42	Зажим корпуса или шасси	
F-43	Зажим защитного заземления	
F-44	Зажим защитного заземления, свободный от помех	
F-45	Зажим сигнала низкого уровня	
F-46	Положительный зажим	
F-47	Отрицательный зажим	
F-48	Управление установлением диапазона сопротивлений	
F-49	Прибор снабжен устройством защиты от перегрузок	
F-50	Управление возвратом в исходное состояние устройства защиты от перегрузок	

Основными элементами показывающих электроизмерительных приборов, предназначенных для измерения электрических и неэлектрических величин, являются отсчетные устройства, построенные на основе циферблатов и шкал, требования к которым нормируются ГОСТ 5365–83 «Приборы электроизмерительные. Циферблаты и шкалы. Общие технические требования».

Циферблат представляет собой часть отсчетного устройства СИ, содержащую шкалу (шкалы) и условные обозначения, необходимые для отсчитывания значений измеряемой величины. **Шкала СИ** – часть отсчетного устройства СИ, представляющая собой упорядоченный ряд отметок, соответствующих последовательному ряду значений величины вместе со связанной с ним нумера-

цией. Длину деления шкалы, число делений и числовых отметок, разновидность отметок шкалы устанавливают исходя из функционального назначения СИ, диапазона измерений, требований к точности и композиции шкалы.

Цена деления шкалы – разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы СИ. Цена деления равномерной шкалы и минимальная цена деления неравномерной шкалы соответствуют требованиям стандартов и технических условий на СИ конкретных видов. Например, параметрический ряд, из которого выбираются цены делений СИ, имеет числовые значения $(1, 2, 5) \cdot 10^{-n}$, где $n = 0, 1, 2, 3, \dots$. На рисунке 1.1 изображены разные варианты базового блока шкалы (L) в зависимости от ее градуировки; длина деления шкалы (Δ) соответствует цене деления шкалы в единицах измеряемой величины.



Δ – длина деления шкалы; A, B, C – основные (числовые), средние и малые отметки шкалы; L – базовый блок шкалы

Рисунок 1.1 – Основные графические элементы шкалы

Диапазон показаний СИ – область значений шкалы прибора, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы. Участок шкалы **диапазона измерений** по сравнению с диапазоном показаний должен быть выделен сплошной строчной линией, соединяющей концы отметок шкалы этого диапазона, или точками, проставленными у отметок шкалы начала и конца этого диапазона. Основная инструментальная погрешность СИ нормируется только в пределах диапазона измерений. Способы обозначения диапазонов показаний и измерений (строчная линия и точки) приведены на рисунках 1.2 и 1.3.

Многодиапазонный прибор – прибор с несколькими (двумя и более) диапазонами измерений или несколькими номинальными значениями (X_N). Для перехода с одного диапазона измерений на другой и соответствующие ему шкалы циферблата на передней панели СИ установлен специальный переключатель, который позволяет экспериментатору выбрать правильный предел из-

мерения для отклонения стрелки измерительного механизма в диапазон измерений и уменьшения таким образом инструментальной погрешности результата. На рисунке 1.3 приведен циферблат многодиапазонного СИ.

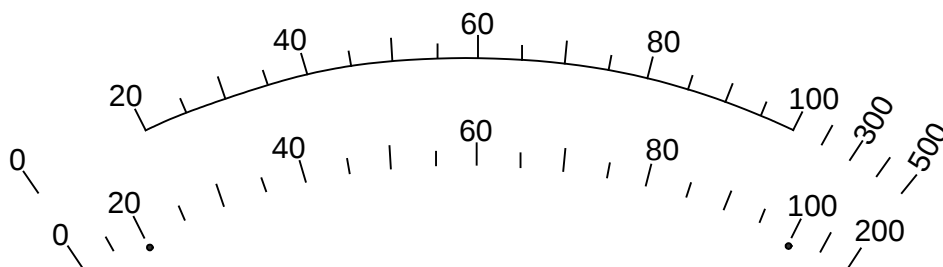


Рисунок 1.2 – Обозначение диапазонов измерений и показаний

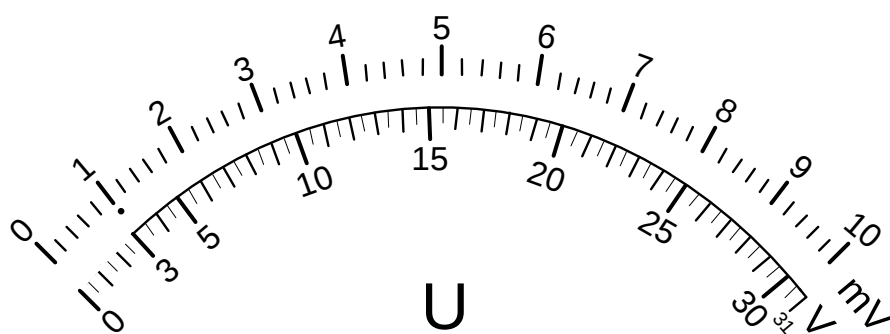


Рисунок 1.3 – Циферблат многодиапазонного прибора

Многофункциональный (комбинированный) прибор предназначен для измерений трех и более электрических и неэлектрических величин разного рода. Для выбора измеряемой величины и соответствующей ей шкалы циферблата, по которой будет производиться отсчет, на передней панели СИ располагается специальный переключатель. На рисунке 1.4 приведен многошкальный циферблат комбинированного СИ. Если на многошкальном циферблате для двух смежных шкал установлен один ряд чисел отсчета, а числовые отметки сдвинуты относительно друг друга, то числовые отметки могут выполняться с выносными линиями (рисунок 1.4).

Для электрических СИ можно выделить две группы характеристик: информативные и неинформативные. Например, для вольтметра переменного тока информативным параметром является диапазон измерения уровня переменного напряжения, а неинформативным – диапазон частот переменного напряжения. Для цифрового частотомера информативными параметрами являются частота, период, длительность импульса и отношение частот, а неинформативным – уровень входного сигнала. При этом основную инструментальную погрешность СИ нормируют только для информативных параметров.

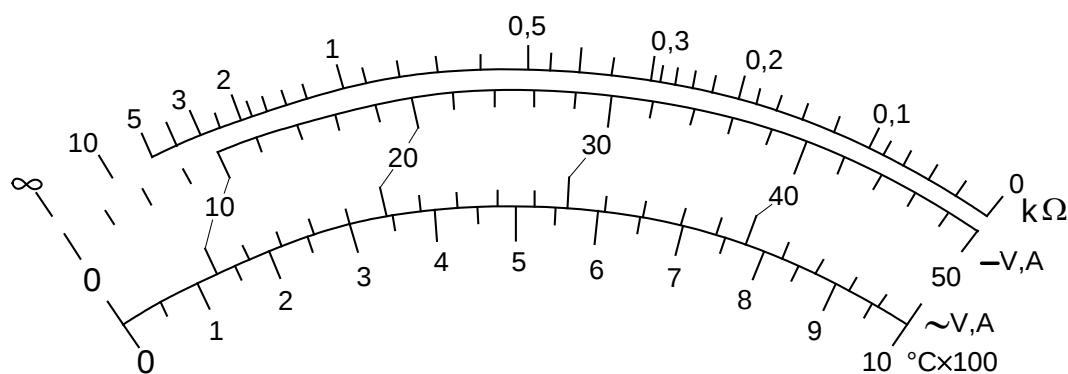


Рисунок 1.4 – Циферблат комбинированного прибора

Основная погрешность СИ нормируется при нормальных условиях, а дополнительная – при рабочих условиях его эксплуатации.

Обобщенной метрологической характеристикой СИ является класс точности, определяемый пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами СИ, влияющими на точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды СИ.

Общие положения деления СИ на классы точности, способы нормирования метрологических характеристик и обозначения классов точности устанавливаются ГОСТ 8.401–80 «ГСОЕИ. Классы точности средств измерений. Общие требования». Стандарт полностью соответствует международной рекомендации *OIML R 34*. В таблице 1.8 приведены примеры обозначения классов точности в зависимости от формы основной инструментальной погрешности СИ. В таблице 1.8 обозначены:

- X – измеренное значение величины;
- X_N – нормирующее значение, выраженное в тех же единицах, что и Δ ;
- X_K – больший (по модулю) из пределов измерений.

Значения X_N и X_K определяются по шкале СИ.

Для СИ с равномерной, практически равномерной или степенной шкалой, а также для измерительных преобразователей X_N выбирают следующим образом:

- если нулевое значение шкалы находится на краю или вне диапазона измерений, X_N устанавливают равным большему из пределов измерений;
- если нулевое значение находится внутри диапазона измерений, то X_N равно большему из модулей пределов измерений.

В частном случае для электроизмерительных приборов, если нуль находится внутри диапазона измерений, X_N устанавливается равным сумме модулей пределов измерений.

Для СИ, у которых принята шкала с условным нулем, нормирующее значение X_N устанавливают равным модулю разности пределов измерений. Например, для милливольтметра термоэлектрического термометра с пределами измерений 200 и 600 °C нормирующее значение $X_N = 400$ °C.

Таблица 1.8 – Обозначение классов точности на циферблатах и щитках СИ

Форма выражения погрешности	Способ нормирования основной погрешности	Примеры обозначения класса точности		Предел допускаемой основной погрешности, %
		в документации к СИ	на СИ	
Абсолютная	По формулам $\Delta = \pm a = \text{const}; \Delta = \pm(a + bX).$ В виде графиков, таблиц и др.	Класс точности <i>C</i> Класс точности IV Класс точности <i>A</i> ₂	<i>C</i> IV <i>A</i> ₂	Указывается в ТНПА
Приведенная	По формуле $\gamma = \frac{\Delta}{X_N} 100 \% = \pm p,$ где $p = (1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6) \cdot 10^n$; $n = 1; 0; -1; -2; \dots$	Класс точности 2,5 Класс точности 1,0 (шкала с условным нулем)	2,5 1	$\gamma = \pm 2,5$ $\gamma = \pm 1,0$
	X_N выражено в единицах измеряемой величины			
	X_N выражено в длине рабочего участка шкалы	Класс точности 0,5	0,5 	$\gamma = \pm 0,5$
Относительная	По формуле $\delta = \frac{\Delta}{X} 100 \% = \pm q$	Класс точности 2,0	(2,0)	$\delta = \pm 2,0$
	По формуле $\delta = \frac{\Delta}{X} 100 = \pm \left[c + d \left(\left \frac{X_K}{X} \right - 1 \right) \right],$ где $q, c, d = (1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6) \cdot 10^n$; $n = 1; 0; -1; -2; \dots, c = b + d, d = a / X_K$	Класс точности 0,02/0,01	0,02/0,01	$\delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\left \frac{X_K}{X} \right - 1 \right) \right]$
	В виде таблиц, графиков и др.	Класс точности <i>D, G</i> ₁ , III	<i>D, G</i> ₁ , III	Указывается в ТНПА

Для СИ с установленным номинальным значением X_N принимают равным этому номинальному значению. Например, для частотомера с диапазоном измерений 45–55 Гц и номинальной частотой 50 Гц $X_N = 50$ Гц.

В общем случае верхние значения пределов средств измерений выбираются из параметрического ряда $(1; 1,5; 2; 3; 5) \cdot 10^{-n}$, где $n = 3, 2, 1, 0, -1, -2, \dots$. Например, из параметрического ряда $(1; 1,2; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 7,5; 8) \cdot 10^{-n}$, где $n = 3, 2, 1, 0, -1, -2, \dots$, выбираются конечные значения диапазонов измерений аналоговых вольтметров.

Для СИ с существенно неравномерной шкалой X_N устанавливают равным всей длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерений. В этом случае пределы абсолютной погрешности выражают в единицах длины шкалы.

Зная способы обозначения классов точности, приведенные в таблице 1.8, можно оценить основную инструментальную погрешность результата измерения, что является необходимым при выполнении любых измерений.

В таблице 1.9 приведены наименования символов классов точности в зависимости от особенностей нормирования пределов допускаемых погрешностей СИ. Условные обозначения символов классов точности необходимо привести в заготовке отчета при подготовке к выполнению лабораторной работы.

Таблица 1.9 – Наименования символов классов точности

Номер по IEC 60051	Наименование символа	Условное обозначение
<i>E-1</i>	Обозначение класса точности при нормировании пределов допускаемых погрешностей в процентах от нормирующего значения, определенного в единицах измеряемой величины, за исключением случая, когда нормирующее значение равно длине шкалы (например, класс точности 1,5)	
<i>E-2</i>	Обозначение класса точности при нормировании пределов допускаемых погрешностей в процентах от нормирующего значения, определенного длиной шкалы (например, класс точности 0,5)	
<i>E-3</i>	Обозначение класса точности при нормировании пределов допускаемых погрешностей в процентах от действительного значения (например, класс точности 2,0)	
<i>E-4</i>	Обозначение класса точности с неравномерной шкалой, когда нормирующее значение соответствует длине шкалы и основная погрешность выражается в процентах от действительного значения (например, класс точности 1, предел допустимой относительной погрешности 5 %)	

Числовые значения технических, метрологических и конструктивных характеристик СИ соответствуют параметрическим рядам по ГОСТ 8032–84 «Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел» и конкретизируются в стандартах на отдельные виды СИ.

На передней панели СИ может указываться стандарт, который нормирует общие технические требования к этому СИ и методам его испытаний.

На передней или задней панели находится индивидуальный номер СИ, присвоенный ему заводом-производителем, а также год выпуска из производства.

В результате проведения государственных испытаний с целью утверждения типа СИ маркируется знаком утверждения типа. Например, для СИ, внесенных в государственные реестры СИ Республики Беларусь и Российской Федерации, знаки утверждения типа приведены на рисунке 1.5.

Кроме рассмотренных символов на СИ должны располагаться: заводской номер, логотип производителя, год выпуска и обозначение стандарта, которому соответствует СИ.



Рисунок 1.5 – Национальные знаки утверждения типа СИ Республики Беларусь (*а*), Российской Федерации (*б*)

1.3 Приборы, используемые при выполнении работы

При выполнении лабораторного задания используются СИ электрических величин, располагаемые в лабораториях кафедры.

1.4 Подготовка к выполнению работы

1.4.1 Изучить единицы измерений, допущенные к применению на территории Республики Беларусь.

1.4.2 Изучить ГОСТ 30012.1–2002 (МЭК 60051-1–97) «Приборы аналоговые электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 1. Определения и основные требования, общие для всех частей».

1.4.3 Изучить ГОСТ 8.401–80 «ГСОЕИ. Классы точности средств измерений. Общие требования».

1.4.4 Включить в заготовку отчета таблицу 1.9 данного учебно-методического пособия, привести в последней колонке символы, обозначающие класс точности СИ в соответствии с ГОСТ 8.401 и таблицей 1.8.

1.4.5 Изучить ГОСТ 5365–83 «Приборы электроизмерительные. Циферблаты и шкалы. Общие технические требования».

1.4.6 Ответить на контрольные вопросы (подраздел 1.6).

1.4.7 Оформить заготовку отчета по лабораторной работе в соответствии с разделом 5.

1.5 Лабораторное задание и порядок его выполнения

1.5.1 Получить у преподавателя исследуемое СИ.

1.5.2 По передней панели заданного СИ дать ему краткую характеристику (определить его тип и наименование, для измерения какой физической величины оно предназначено, в каких диапазонах информативных и неинформативных параметров позволяет проводить измерения).

1.5.3 Идентифицировать символы, связанные с безопасностью эксплуатации и особенностями проведения испытаний на прочность изоляции СИ.

1.5.4 Охарактеризовать циферблат СИ и расположенные на нем шкалы.

1.5.5 Оценить метрологические характеристики СИ: цену деления, класс точности, форму основной погрешности измерения и ее величину.

Соотнести выбор предела измерений со шкалами циферблата СИ.

По заданному преподавателем результату измерений выбрать нужный предел измерений, оценить отсчет по шкале, записать формулу для заданного результата измерений и оценить его основную инструментальную погрешность. Рассчитать остальные формы инструментальной погрешности полученного результата измерений. Результаты расчетов привести в отчете по лабораторной работе.

1.5.6 По символам, находящимся на циферблатах и передних панелях СИ, определить вид измерительного механизма и рабочее положение СИ относительно горизонтали при проведении измерений.

1.5.7 Определить и охарактеризовать все общие обозначения, находящиеся на передней панели СИ.

1.5.8 Идентифицировать все знаки соответствия, расположенные на передней панели СИ.

1.5.9 Результаты экспериментальных исследований представить в виде таблицы (таблица 1.10).

Таблица 1.10 – Результаты экспериментальных исследований

Характеристика (обозначение символа)	Диапазон значений (наименование символа)	Примечание

1.5.10 В соответствии с разделом 5 учебно-методического пособия оформить отчет по лабораторной работе.

1.6 Контрольные вопросы

1 Приведите определения терминов «электроизмерительный прибор», «аналоговый прибор», «электронный измерительный прибор».

2 В рамках какой государственной системы Республики Беларусь регулируются вопросы единства измерений?

3 С какой целью стандартизируют технические и метрологические характеристики СИ?

4 Чем отличаются технические характеристики СИ от метрологических?

5 Приведите определения циферблата и шкалы СИ.

6 Как классифицируются шкалы СИ?

7 Какие основные графические элементы используются для построения шкалы?

8 Приведите определения многодиапазонного и комбинированного СИ.

9 Приведите определения диапазона показаний и диапазона измерений. Чем отличаются эти понятия с метрологической точки зрения?

10 Как определить, чему равен диапазон показаний и диапазон измерений?

11 Как отличить информативные параметры СИ от неинформативных?

12 Что такое класс точности СИ?

13 Зная класс точности, как оценить основную инструментальную погрешность СИ?

14 Что такое нормирующее значение и как оно зависит от вида шкалы?

15 Как правильно выбрать конечное значение X_K ?

16 Что такое дополнительная погрешность СИ?

17 Чем основная погрешность СИ отличается от дополнительной?

18 Каким документом устанавливаются единицы величин, допущенные к применению на территории Республики Беларусь?

19 Перечислите основные единицы величин системы *SI* и приведите их обозначения на СИ.

20 Какие производные единицы физических величин системы *SI* и их обозначения вы знаете?

21 Как устанавливаются кратные и дольные значения единиц физических величин?

22 Какие формы погрешностей устанавливает ГОСТ 8.401?

23 Как правильно выбрать предел измерений и как он влияет на инструментальную погрешность?

24 Какими знаками соответствия может маркироваться СИ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Т–2. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИИ

2.1 Цель работы

2.1.1 Изучить классификацию размеров, отклонений, систему допусков деталей и посадок гладких соединений.

2.1.2 Изучить систему допусков на угловые размеры.

2.1.3 Изучить особенности выбора методов и СИ геометрических параметров деталей.

2.1.4 Изучить методы измерения геометрических параметров деталей.

2.1.5 Изучить назначение, конструкции и области применения штанген-инструментов, микрометрических инструментов, инструментов на основе измерительных головок с различными типами передач и приобрести практические навыки работы с ними.

2.1.6 Изучить конструкцию нониусных инструментов для измерения угловых размеров и приобрести практические навыки в работе с ними.

2.2 Краткие теоретические сведения

Для обеспечения взаимозаменяемости и точности деталей массового производства необходимо установить предельные размеры и посадки для деталей механической обработки. Для выполнения деталью своего назначения и предъявляемых к ней функциональных требований ее размер должен находиться между двумя допустимыми пределами (т. е. в допуске).

ГОСТ 25346–2013 (ISO 286-1:2010) устанавливает основные положения системы допусков и посадок *ISO* на линейные размеры, а ГОСТ 25347–2013 (ISO 286-2:2010) устанавливает ряды допусков и предельные отклонения отверстий и валов. Основное назначение этой системы – обеспечение взаимозаменяемости деталей в сборочных единицах и изделиях.

Рассмотрим основные положения и термины, установленные этой системой.

2.2.1 Общие сведения о размерах

В общем случае под **размерным элементом** следует понимать геометрическую форму (например, цилиндр, две параллельные плоскости), определяемую линейным или угловым размером.

Количественно геометрическая форма оценивается посредством размеров. **Размер** – это числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т. п.) в выбранных единицах измерения. Различают номинальные, действительные и предельные размеры.

Номинальный размер – это размер геометрического элемента идеальной формы, определенный чертежом. Номинальный размер используется для расчета предельных размеров путем его сложения с верхним и (или) нижним предельным отклонением (рисунок 2.1).

Действительный размер – размер, установленный в результате измерения с допускаемой погрешностью.

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

Верхний и нижний предельные размеры – это наибольший и наименьший допустимые размеры размерного элемента соответственно. Между двумя предельно допустимыми размерами должен находиться действительный размер (рисунок 2.1). Они устанавливают допустимую неточность изготовления деталей и требуемый характер их соединения.

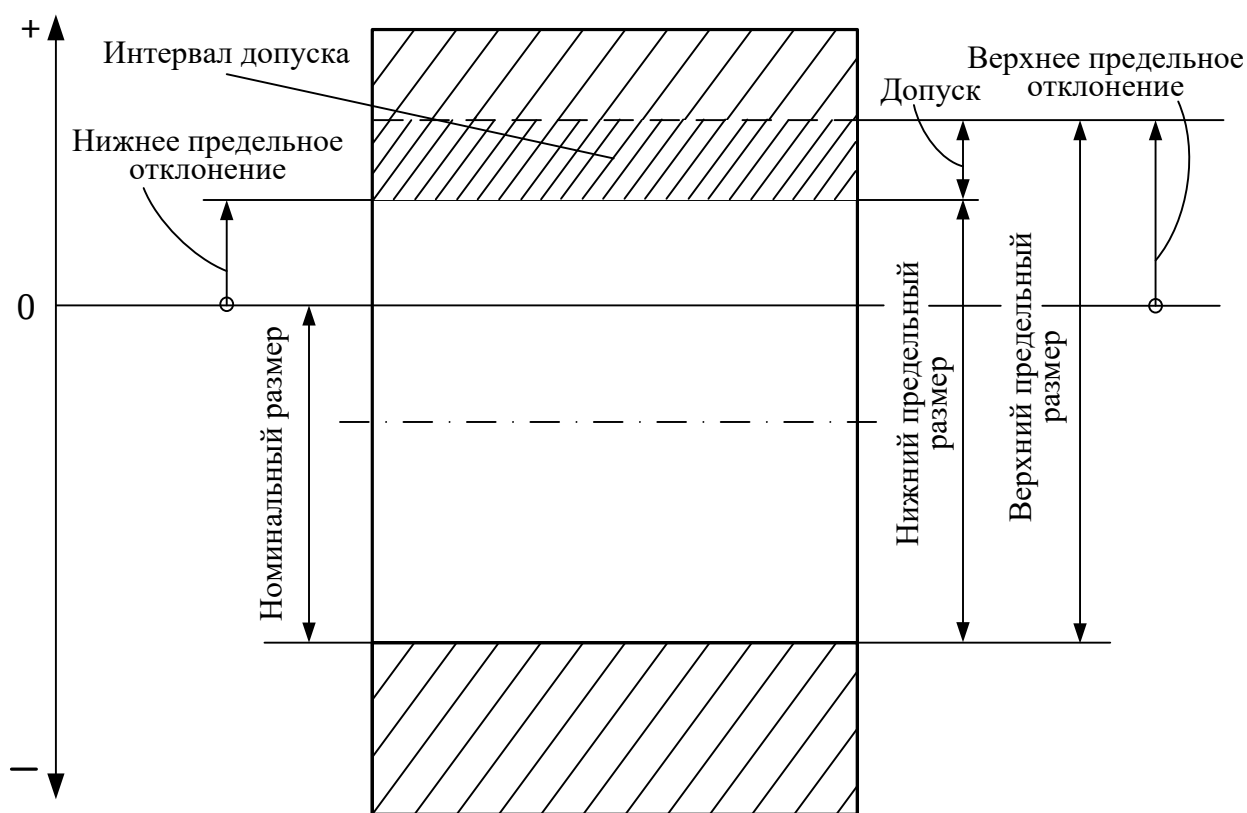


Рисунок 2.1 – Графическое пояснение терминов на примере отверстия

Для удобства при задании допусков на чертежах используются не предельные размеры, а предельные отклонения. **Предельное отклонение** – это алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения (см. рисунок 2.1).

Верхнее и нижнее предельные отклонения – алгебраическая разность между верхним предельным и номинальным размерами и нижним предельным и номинальным размерами соответственно. Верхнее предельное отклонение обозначается в системе *ISO* следующим образом: *ES* – для внутренних размер-

ных элементов; es – для наружных размерных элементов. Нижнее предельное отклонение имеет обозначения: EI – для внутренних; ei – для наружных размерных элементов. Верхнее и нижнее предельные отклонения могут быть отрицательными, положительными и равными нулю.

Разность между верхним и нижним предельными размерами, или алгебраическая разность между верхним и нижним предельными отклонениями, называется **допуском T** (см. рисунок 2.1). Допуск – это положительное число. **Стандартный допуск IT (*International Tolerance*)** устанавливается системой допусков *ISO* на линейные размеры. В дальнейшем под термином «допуск» будем понимать «стандартный допуск».

Пределы допуска – установленные значения, определяющие верхнюю и нижнюю границы допустимых значений.

Интервал допуска – совокупность значений размера между пределами допуска, включающая эти пределы. Интервал допуска заключен между верхним и нижним предельными размерами и определяется значением допуска и его расположением относительно номинального размера (см. рисунок 2.1).

Допуск на размерный элемент может быть установлен в системе *ISO 286-1* или по *ISO 14405-1* указанием предельных отклонений. Оба варианта эквивалентны. Например, обозначение « 32^x_y » (по *ISO 14405-1*) эквивалентно обозначению « $32\ class$ » (по *ISO 286-1*), где 32 – номинальный размер; x – верхнее предельное отклонение; y – нижнее предельное отклонение; *class* – класс допуска согласно *ISO 286-1*.

Для нормирования требуемых уровней точности при измерении линейных размеров установлены качества точности изготовления деталей. **Квалитет** – группа допусков на линейные размеры, характеризующаяся общим обозначением. В системе допусков *ISO* на линейные размеры обозначение качества состоит из номера, следующего за обозначением допуска *IT* (например, *IT7*). Каждый конкретный квалитет соответствует одному уровню точности для любых номинальных размеров.

Номинальный размер не обязательно находится внутри интервала допуска. Пределы допуска могут располагаться как по обе стороны (двусторонние пределы), так и по одну сторону (односторонние пределы) относительно номинального размера.

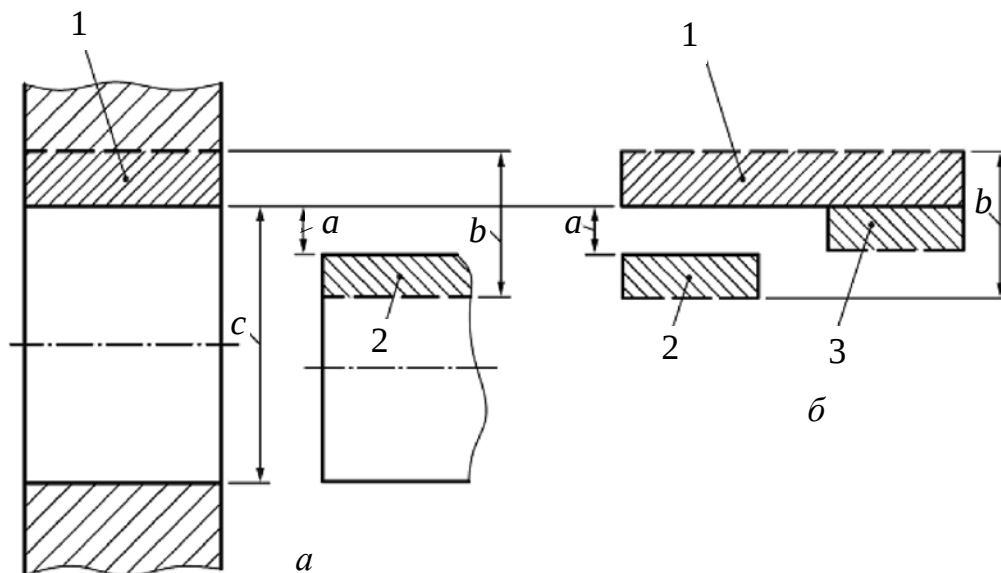
2.2.2 Общие сведения о посадках

Для сборочных единиц, образуемых двумя деталями, устанавливаются требования к посадкам. Посадку характеризует взаимное расположение интервалов допусков вала и отверстия.

Посадка – соединение наружного и внутреннего размерных элементов (вала и отверстия), участвующих в сборке. Посадка обеспечивает свободу относительного перемещения соединяемых деталей или степень сопротивления их взаимному смещению.

В зависимости от взаимного расположения полей допусков отверстия и вала различают посадки с зазором, посадки с натягом и переходные посадки.

Посадка с зазором – посадка, при которой в соединении отверстия и вала всегда образуется зазор, т. е. нижний предельный размер отверстия больше или равен верхнему предельному размеру вала (рисунок 2.2).



а – отверстие и вал в разрезе; *б* – схематическое представление:

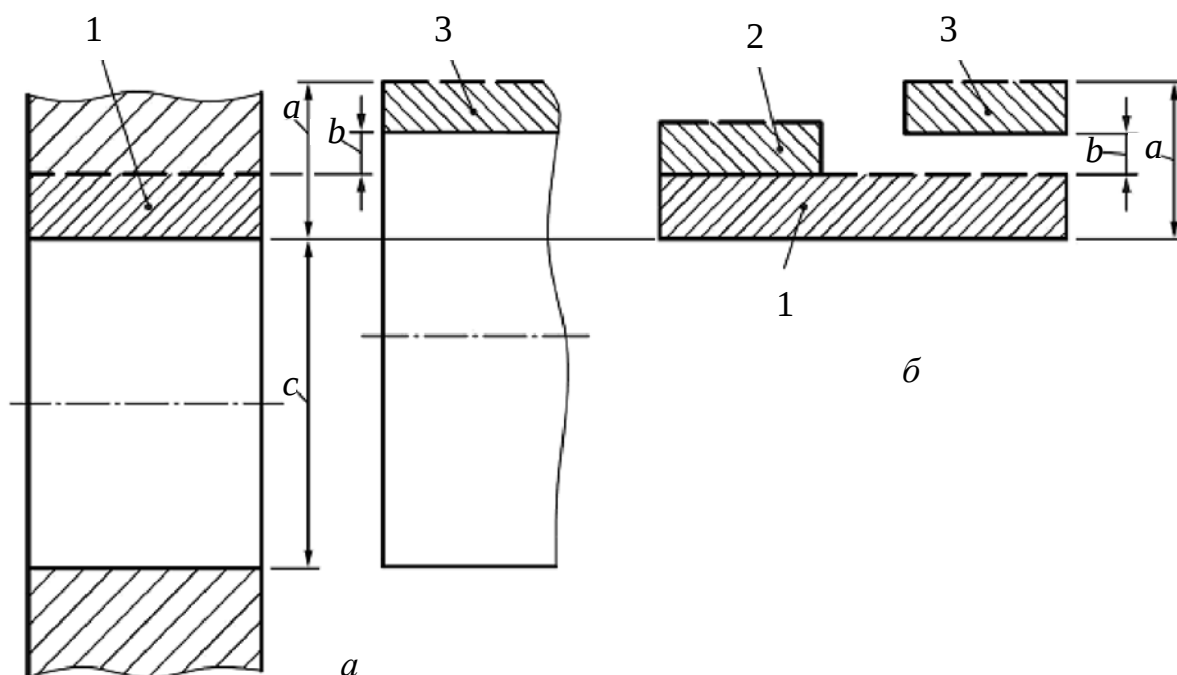
1 – интервал допуска отверстия; 2 – интервал допуска вала (верхний предельный размер вала ниже, чем нижний предельный размер отверстия, наименьший зазор больше нуля); 3 – интервал допуска вала (верхний предельный размер вала совпадает с нижним предельным размером отверстия, наименьший зазор равен нулю); *а* – наименьший зазор; *б* – наибольший зазор; *с* – номинальный размер, равный нижнему предельному размеру отверстия

Рисунок 2.2 – Графическое представление посадки с зазором

Посадка с натягом – посадка, при которой в соединении отверстия и вала всегда образуется натяг, т. е. верхний предельный размер отверстия меньше или равен нижнему предельному размеру вала (рисунок 2.3).

Переходная посадка – посадка, при которой в соединении отверстия и вала возможно получение как зазора, так и натяга. В переходной посадке интервал допуска отверстия и интервал допуска вала перекрываются частично или полностью, поэтому наличие зазора или натяга в соединении зависит от действительных размеров отверстия и вала (рисунок 2.4).

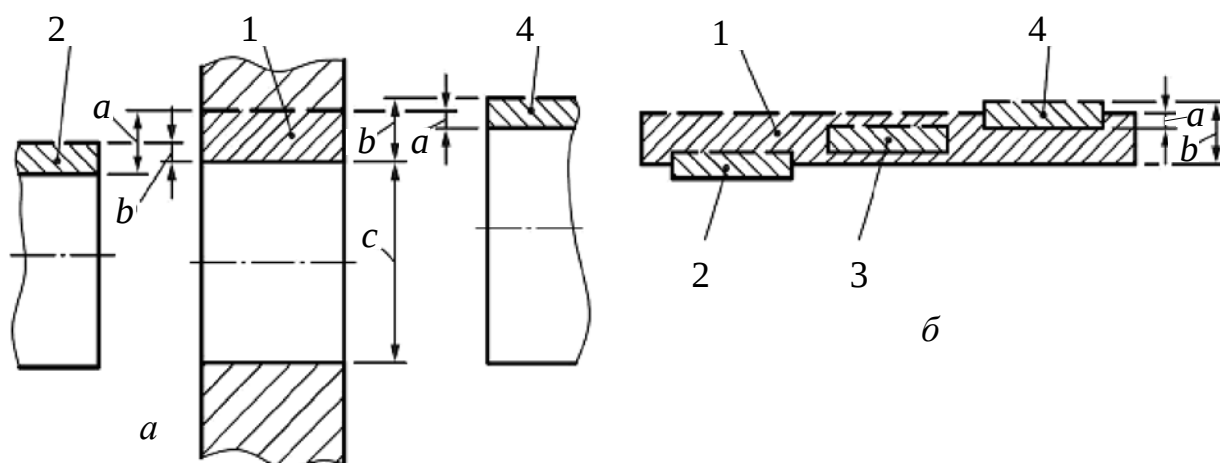
Диапазон посадки – арифметическая сумма допусков размеров двух размерных элементов, образующих посадку. Диапазон посадки с зазором также может быть определен как разность между наибольшим и наименьшим зазорами, диапазон посадки с натягом – как разность между наибольшим и наименьшим натягами, диапазон переходной посадки – как сумма наибольшего зазора и наибольшего натяга. Диапазон посадки является положительным числом.



a – отверстие и вал в разрезе; *б* – схематическое представление:

1 – интервал допуска отверстия; 2 – интервал допуска вала (нижний предельный размер вала совпадает с верхним предельным размером отверстия, наименьший натяг равен нулю); 3 – интервал допуска вала (нижний предельный размер вала больше, чем верхний предельный размер отверстия, наименьший натяг больше нуля); *a* – наибольший натяг; *b* – наименьший натяг; *c* – номинальный размер, равный нижнему предельному размеру отверстия

Рисунок 2.3 – Графическое представление посадки с натягом



a – отверстие и вал в разрезе; *б* – схематическое представление:

1 – интервал допуска отверстия; 2–4 – интервал допуска вала (показано несколько возможных расположений); *a* – наибольший зазор; *b* – наибольший натяг; *c* – номинальный размер, равный нижнему предельному размеру отверстия

Рисунок 2.4 – Графическое представление переходной посадки

2.2.3 Угловые размеры и допуски углов

Для ограничения количества применяемых угловых размеров устанавливаются значения рекомендуемых нормальных углов, которые должны применяться при назначении независимых угловых размеров (т. е. размеров, являвшихся исходными при расчетах).

Угловые размеры деталей должны соответствовать нормальным значениям углов, выбираемых из параметрических рядов (ГОСТ 8908–81), приведенных в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Нормальные углы

Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3	Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3
0°	0°	0°	30°	30°	30°
		15'			35°
	30'	30'		40°	40°
		45'	45°	45°	45°
	1°	1°			50°
		1°30'			55°
	2°	2°	60°	60°	60°
		2°30'			65°
	3°	3°			70°
	4°	4°		75°	75°
5°	5°	5°			80°
	6°	6°			85°
	7°	7°	90°	90°	90°
	8°	8°			100°
		9°			110°
	10°	10°	120°	120°	120°
		12°			135°
15°	15°	15°			150°
		18°			165°
20°	20°	20°			180°
		22°			270°
		25°	360°	360°	360°

При выборе числового значения углового размера ряд 1 следует предпочитать ряду 2, а ряд 2 – ряду 3.

Допуск угла – разность между наибольшим и наименьшим предельными углами углового размерного элемента.

Допуски на угловые размеры задаются ГОСТ 8908–81, которым предусматривается 17 степеней точности: 1, 2, ..., 17.

Величина допуска определяется в зависимости от длины меньшей стороны L , образующей угол, и обозначается AT_n , где n – степень точности. В таблице 2.2 приведены значения допусков AT_{12} – AT_{15} на угловые размеры в зависимости от степени точности и длины меньшей стороны (для степеней точности 12–15 и длин меньшей стороны до 63 мм).

Таблица 2.2 – Допуски на угловые размеры

Длина меньшей стороны L , мм	Степень точности			
	12	13	14	15
до 10	26'	40'	1°	1°40'
с 10 до 16	20'	32'	50'	1°20'
с 16 до 25	16'	26'	40'	1°
с 25 до 40	12'	20'	32'	50'
с 40 до 63	10'	16'	26'	40'

Точность изготовления и измерения угловых размеров понижается с уменьшением длины сторон угла. Допуски углов могут быть расположены в плюс ($+AT$), в минус ($-AT$) или симметрично ($\pm AT/2$) относительно номинального угла α (рисунок 2.5).

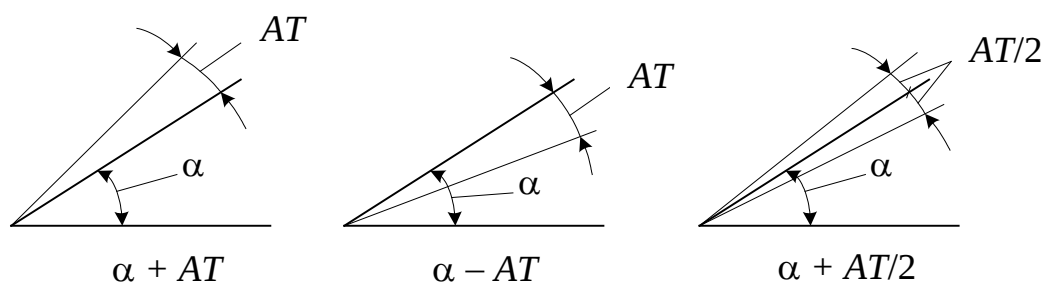


Рисунок 2.5 – Расположение допусков углов

Однако при наличии специальных конструктивных требований допускается и несимметричное расположение предельных отклонений с сохранением стандартной величины допуска.

2.2.4 Общие допуски

Если допуски не указаны индивидуально у соответствующих номинальных размеров деталей, то применяют **общий допуск размера** – предельные отклонения (допуски) линейных и угловых размеров, приведенные общей записью по ГОСТ 30893.1–2002 (ИСО 2768-1–89). Общие допуски распространяются на металлические детали, изготовленные резанием, формообразованием из листового металла и на неметаллические детали.

Общие допуски установлены по четырем классам точности.

Предельные отклонения линейных размеров в диапазоне номинальных размеров от 0,5 до 1000 мм по классам точности общих допусков приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Предельные отклонения номинальных размеров общих допусков

Класс точности	Предельные отклонения для интервалов номинальных размеров, мм					
	от 0,5 до 3	с 3 до 6	с 6 до 30	с 30 до 120	с 120 до 400	с 400 до 1000
Точный <i>f</i>	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3
Средний <i>m</i>	±0,10	±0,10	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8
Грубый <i>c</i>	±0,20	±0,30	±0,5	±0,80	±1,2	±2,0
Очень грубый <i>v</i>	–	±0,50	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0

Предельные отклонения угловых размеров по классам точности общих допусков приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Предельные отклонения угловых размеров общих допусков

Класс точности	Предельные отклонения угловых размеров для номинальных длин меньшей стороны угла, мм				
	до 10	с 10 до 50	с 50 до 120	с 120 до 400	с 400
Точный <i>f</i>	±1°	±30′	±20′	±15′	±5′
Средний <i>m</i>					
Грубый <i>c</i>	±1°30′	±1°	±30′	±15′	±10′
Очень грубый <i>v</i>	±3°	±2°	±1°	±30′	±20′

Ссылка в технической документации на общие допуски линейных и угловых размеров должна содержать номер стандарта и буквенное обозначение класса точности, например для класса средней точности: «Общие допуски по ГОСТ 30893.1 – *m*» или «ГОСТ 30893.1 – *m*».

2.2.5 Выбор средств измерений

Для обеспечения требуемой точности измерений необходимо правильно выбрать СИ. СИ должны обеспечивать точность измерений больше допускаемой. Допуск размерного элемента является определяющим параметром для подсчета допускаемой погрешности измерений, которая не должна превышать 1/5–1/3 допуска на измеряемый (контролируемый) размер.

Каждое СИ характеризуется инструментальной погрешностью, предельное значение которой указано в руководстве по эксплуатации СИ. Выбор СИ зависит от результатов сравнения его инструментальной погрешности с допускаемой погрешностью измерения, при этом погрешность СИ должна быть меньше или равной допускаемой погрешности измерения.

2.2.6 Измерение линейных размеров объектов

Для оценки годности детали по линейным размерам необходимо определить их действительные значения, т. е. выполнить соответствующие измерения с погрешностью меньше допустимой. Они могут проводиться с помощью штангенинструментов, микрометрических инструментов, инструментов на основе измерительных головок с различными типами передач, а также оптическими СИ.

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: основная нанесена на штанге с интервалом деления 1 мм, вспомогательная – на нониусе. Нониус представляет собой связанную с указателем подвижную шкалу, скользящую вдоль основной шкалы, по ней отсчитывают десятые и сотые доли миллиметра (рисунок 2.6).

Выпускаются штангенинструменты с ценой деления нониуса 0,1; 0,05 или 0,025 мм. Длина шкалы нониуса тоже может быть разной – 40, 19, 9 мм.

Принцип построения всех нониусных шкал (в том числе и угловых) основывается на отрицательной разности размеров, воспроизводимых, соответственно, двумя соседними делениями нониуса и двумя или через одно деление основной шкалы.

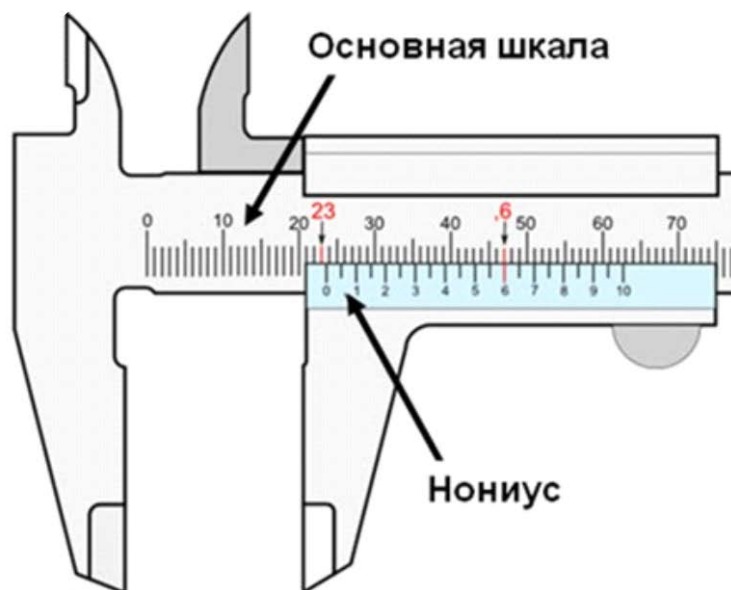


Рисунок 2.6 – Основная и нониусная шкалы штангенциркуля

Простейший нониус с ценой деления 0,1 мм имеет шкалу длиной 9 мм (рисунок 2.7), которая разбита на десять равных частей с расстоянием между соседними штрихами, равным 0,9 мм. Следовательно, интервал деления шкалы нониуса меньше интервала деления шкалы штанги на 0,1 мм. В том случае, когда нулевые деления шкал штанги и нониуса совпадают, первый штрих нони-

усной шкалы отстает от первого штриха шкалы штанги на 0,1 мм, второй отстает на 0,2 мм, третий – на 0,3 мм и т. д. Этим и достигается возможность измерения десятых долей миллиметра.

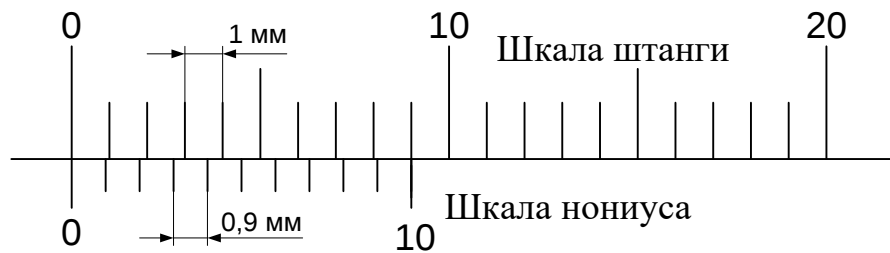


Рисунок 2.7 – Простейший нониус штангенциркуля с ценой деления 0,1 мм

У большинства штангенинструментов с ценой деления 0,1 мм применяется не простейший, а так называемый растянутый нониус (рисунок 2.8), длина шкалы которого равна 19 мм. Интервал деления в данном случае составит 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.



Рисунок 2.8 – Растянутый нониус с длиной шкалы 19 мм

Нониусы с ценой деления 0,05 мм устроены аналогично. Шкала нониуса, имеющая длину 19 мм, делится на 20 частей. В данном случае интервал деления равен 0,95 мм, следовательно, каждый штрих нониуса отстает от делений 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. д. Растянутый нониус для данного случая имеет длину 39 мм. Интервал деления равен 1,95 мм, отставание от каждого второго штриха штанги составляет 0,05 мм.

Для определения размера по шкале штангенинструмента нужно отсчитать целое 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 обозначает число десятых долей миллиметра в данном размере.

Назначение, устройство и правила работы с конкретными образцами штангенинструментов описаны в приложениях А и Б.

В зависимости от характера измеряемых геометрических размеров микрометрические инструменты подразделяются на микрометры, микрометрические нутромеры и микрометрические глубиномеры (рисунки 2.9–2.11).



Рисунок 2.9 – Внешний вид микрометра

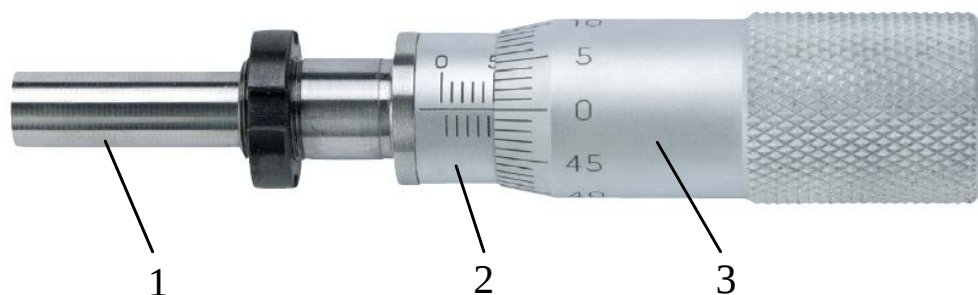


Рисунок 2.10 – Внешний вид микрометрического нутромера



Рисунок 2.11 – Внешний вид микрометрического глубиномера

Общим для всех микрометрических инструментов является наличие микрометрической головки (рисунок 2.12).



1 – микрометрический винт; 2 – стебель; 3 – барабан

Рисунок 2.12 – Внешний вид микрометрической головки

Основными отсчетными устройствами микрометрической головки являются стебель с нанесенной на нем основной шкалой с делениями через каждые 0,5 мм, равными шагу резьбы микрометрического винта, и барабан со шкалой, цена деления которой определяется из выражения $C = P / n$, где P – шаг резьбы винта; n – количество делений шкалы на барабане. При $P = 0,5$ мм и $n = 50$ $C = 0,01$ мм.

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 удлинительных стержней для нутромера и глубиномера соответственно.

Для ограничения давления микрометрического винта на измеряемую деталь и создания одинакового измерительного усилия микрометры и микрометрические глубиномеры снабжены трещоткой.

Назначение, устройство и правила работы с конкретными образцами микрометрических инструментов описаны в приложениях В, Г и Д.

Рычажной скобой (рисунок 2.13) называется измерительный инструмент в виде скобы, имеющий с одной стороны отсчетное устройство, а с другой – неподвижную переставную пятку. Измерения с помощью рычажных скоб проводят методом сравнения с мерой. Рычажные скобы для измерения наружных размеров до 150 мм имеют встроенное в корпус отсчетное устройство, а для измерения размеров свыше 150 мм – индикатор часового типа.



Рисунок 2.13 – Внешний вид рычажной скобы

Если в рычажной скобе с одной стороны установлена микрометрическая головка без механизма трещотки, а с другой стороны – стрелочное устройство, то такая скоба называется **рычажным микрометром** (рисунок 2.14). Измерения рычажным микрометром могут осуществляться абсолютным методом или методом сравнения с мерой.



Рисунок 2.14 – Внешний вид рычажного микрометра

2.2.7 Методы и средства измерений угловых размеров

Методы измерения углов классифицируют по виду создания известного угла следующим образом:

- методы сравнения: с мерой постоянного значения угла; с углом, задаваемым СИ; с эталонной шкалой прибора;
- координатный метод;
- интерференционный метод.

Рассмотрим **методы сравнения**. Известный угол может быть задан мерами с постоянным значением угла: угловыми шаблонами, угольниками, коническими калибрами, многогранными призмами. Угловые шаблоны применяются для точных измерений, поверки и калибровки угловых инструментов и приборов. Они выпускаются в виде наборов мер (от 7 до 93 плиток в каждом) с разными номинальными значениями углов (рисунок 2.15). По точности изготовления угловые шаблоны выпускаются трех классов: 0, 1 и 2.

Угольники представляют собой угловые меры, воспроизводящие значение угла, равное 90° . Они выпускаются трех классов точности (0, 1 и 2) и служат для контроля прямых углов.

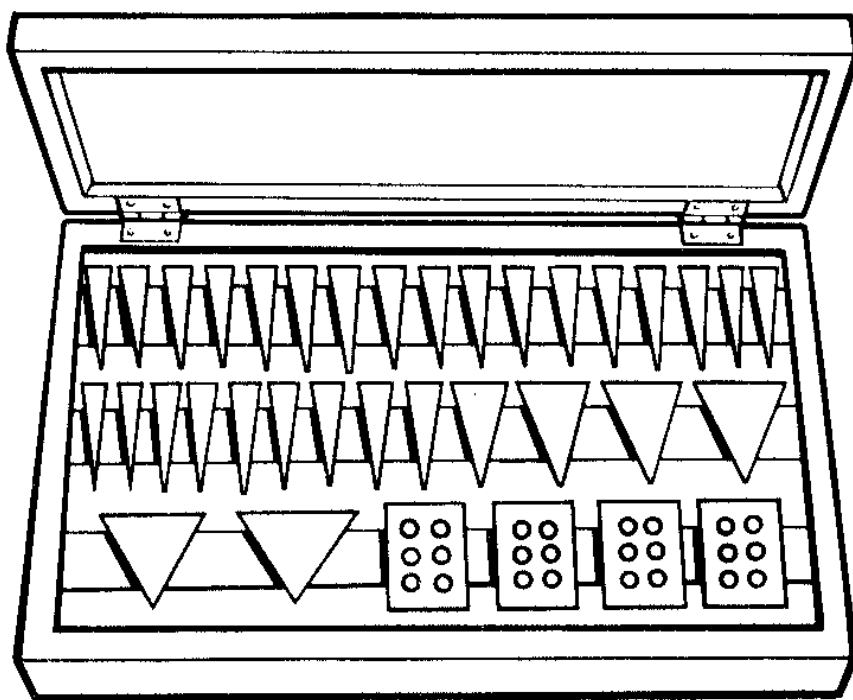


Рисунок 2.15 – Набор угловых мер

Призматические угловые меры (рисунок 2.16) предназначены для поверки, калибровки и градуировки угломерных приборов и угловых шаблонов, а также для непосредственного контроля углов изделий. Они выпускаются различной конструкции и формы четырех классов точности (00, 0, 1 и 2).

Конические калибры и шаблоны предназначены для массового допускового контроля соответствия контролируемых углов изделий установленным на них допускам.

Метод сравнения с углом, задаваемым СИ, реализуется с помощью синусных линеек и синусных угломеров (рисунок 2.17). Синусные линейки предназначены для измерения наружных углов от 0 до 45° .

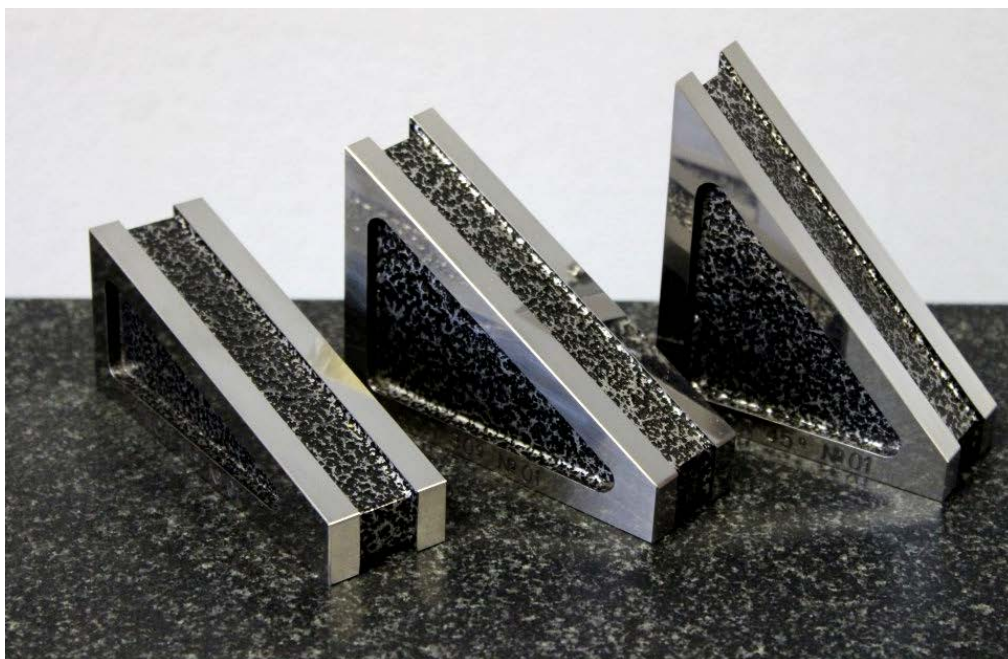


Рисунок 2.16 – Призматические угловые меры

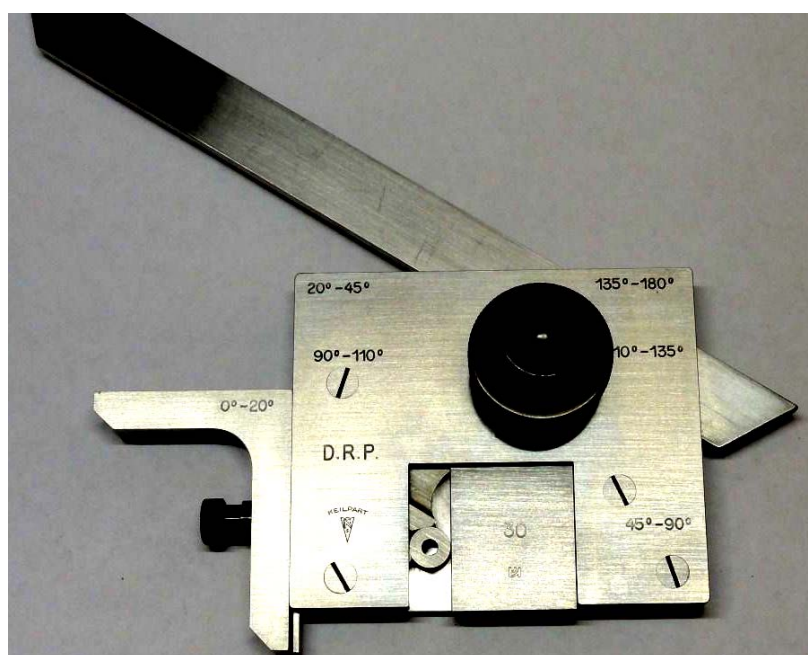


Рисунок 2.17 – Синусный угломер

Сравнение угла с эталонной шкалой СИ реализуют гониометры, оптические делительные головки, угломеры, уровни.

К гониометрическим СИ углов относятся приборы и устройства, у которых измеряемый угол сравнивается с соответствующим значением встроенной в прибор угломерной или секторной шкалы (рисунок 2.18). Угломерная шкала, указатель и устройство для определения положения сторон угла связаны между собой.



Рисунок 2.18 – Гониометр (тип Моллисона)

Определение положения сторон угла можно производить как контактным, так и бесконтактным (оптическим) способом. Угол определяют относительно поворота шкалы и указателя. Оптико-механические гониометры применяются для измерения с высокой точностью углов, образованных плоскими поверхностями, способными хорошо отражать световые лучи, и аттестации призматических угловых мер, полированных призм из стекла и металла.

Координатный метод измерения углов основан на измерении координат точек, образующих треугольник, и вычислении угла по одной из тригонометрических функций. Измерение углов в этом случае производится косвенным методом посредством измерения одного катета и гипотенузы (синусный метод) или двух катетов (тангенсный метод). С этой целью применяются синусная или тангенсная линейка, а также концевые меры длины (рисунки 2.19 и 2.20).

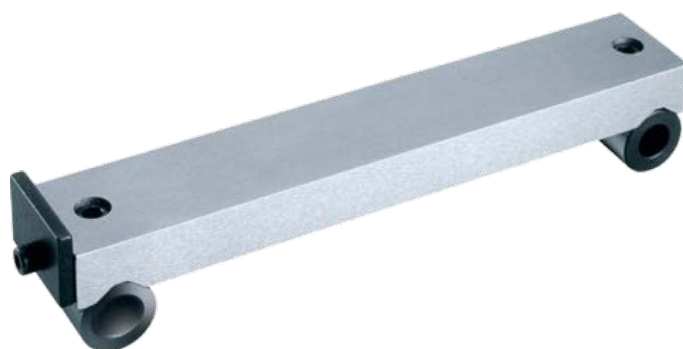


Рисунок 2.19 – Синусная линейка *Brown and Sharpe* (0–60°)



Рисунок 2.20 – Набор плоскопараллельных концевых мер с номинальной длиной от 0,5 до 100 мм

Интерференционный метод измерения углов основан на физическом свойстве двух когерентных световых лучей, которые интерферируют при прохождении через воздушный клин с малым углом. Мерой в этом случае является длина световой волны. Приборы, основанные на интерференционном методе, называют интерферометрами. Интерференционный метод – наиболее точный метод и применяется в основном для аттестации мер высших разрядов.

Приборами массового применения для измерения угловых размеров объектов являются угломеры. Угломеры представляют собой СИ, содержащие две шарнирно соединенные друг с другом линейки, одна из которых связана с указателем, другая – с угломерной шкалой. При измерении на каждую сторону измеряемого угла накладывают плоские грани линеек угломера и производят отсчет значения угла по шкале. Для повышения точности отсчета в угломерах применяются угловые нониусы, принцип построения которых аналогичен принципу линейных нониусов штангенинструментов.

Указанные общие принципы измерения в различных угломерах конструктивно реализованы по-разному. В приложениях Е, Ж приведено описание конструкции, порядок подготовки к работе и методика измерений с помощью двух типов угломеров, используемых при выполнении данной лабораторной работы.

2.3 Измерительные инструменты, используемые при выполнении работы

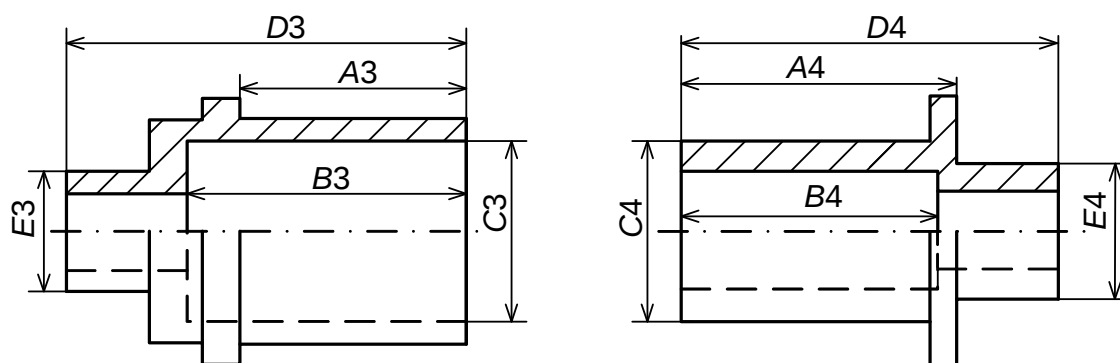
В ходе выполнения лабораторной работы используются измерительные инструменты:

- штангенциркули: ШЦ-1, ШЦК, ШЦЦ-1;
- штангенглубиномеры: ШГ 200, ШГЦ 200;

- микрометры: МК 25, МК 75, МКЦ 50, МКЦ 75;
- нутромер микрометрический НМ 250;
- глубиномеры микрометрические: ГМ 100, ГМЦ 100;
- угломер универсальный тип 3: 0–360°;
- угломер с нониусом тип 2: 0–320°;
- линейка с ценой деления 1 мм;
- набор плоскопараллельных концевых мер длины (ПКМД) № 1.

2.4 Описание объектов измерения

2.4.1 При измерении линейных размеров используются объекты, чертежи которых приведены на рисунке 2.21.



Объекты 1.11–1.14

Объекты 1.21–1.24

Рисунок 2.21 – Объекты измерений линейных размеров

Номера объектов измерения, обозначения размерных элементов, их номинальные размеры с предельными отклонениями приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Номинальные значения линейных размеров и предельные отклонения

Номер объекта	Обозначение размерного элемента	Номинальный размер, мм	Предельные отклонения, мм
1.11	C3	30,1	$\pm 0,1$
1.12	C3	30,0	$\pm 0,2$
1.13	C3	30,1	$\pm 0,1$
1.14	C3	30,1	$\pm 0,1$
1.21	C4	30,00	$\pm 0,13$
1.22	C4	30,00	$\pm 0,21$
1.23	C4	29,90	$\pm 0,13$
1.24	C4	30,00	$\pm 0,13$

2.4.2 При измерении угловых размеров используются объекты измерений 1.1–1.3, 2.1–2.3, 3.1–3.3, 4.1–4.3. Номинальные значения угловых размеров этих объектов приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Номинальные значения угловых размеров объектов измерения

Номер пункта лабораторного задания	Номер бригады (вариант)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Обозначение объекта измерения, номера углов, номинальный размер в градусах, степень точности									
2.6.3, 2.6.4	3.2 (4) 154° (15)	3.3 (6) 77° (13)	3.1 (2) 130° (14)	3.2 (3) 79° (12)	3.3 (5) 129° (12)	3.1 (4) 151° (13)	3.2 (6) 78° (12)	3.3 (2) 129° (13)	3.1 (3) 80° (12)	3.2 (5) 129° (13)
	1.1 (3) 158° (12)	1.2, (2), 133° (14)	1.3 (4) 145° (12)	1.1 (5) 148° (13)	1.2 (6) 143° (15)	1.3 (7) 145° (12)	1.1 (8) 164° (13)	1.2 (9) 130° (14)	1.3 (3) 157° (15)	1.1 (2) 131° (12)
	4.3 (2) 118° (14)	4.1 (4) 134° (12)	4.2 (3) 112° (15)	4.3 (4) 137° (14)	4.1 (3) 110° (13)	4.2 (2) 115° (14)	4.3 (3) 107° (15)	4.1 (2) 116° (14)	4.2 (4) 133° (13)	4.3 (4) 137° (15)
	2.3 (5) 108° (12)	2.1 (4) 144° (12)	2.2 (2) 150° (13)	2.3 (3) 140° (13)	2.1 (2) 162° (14)	2.2 (3) 146° (15)	2.3 (4) 148° (14)	2.1 (5) 108° (15)	2.2 (4) 147° (14)	2.3 (2) 162° (14)

2.5 Подготовка к выполнению работы

2.5.1 Изучить методы и СИ геометрических параметров объектов, области их применения.

2.5.2 По приложениям данного учебно-методического пособия (приложения А–Ж) изучить устройство, принцип действия и характеристики измерительных инструментов: штангенциркулей, штангенглубиномеров, микрометров, микрометрических нутромеров, микрометрических глубиномеров, рычажных скоб, транспортного и универсального угломеров.

2.5.3 Ответить на контрольные вопросы (подраздел 2.8).

2.5.4 Сделать заготовку отчета по лабораторной работе в соответствии с разделом «Содержание отчета».

2.6 Задания к лабораторной работе

2.6.1 Измерить заданные размерные элементы объектов измерения.

2.6.2 Определить характер посадки сопрягаемых размером объектов с учетом допуска на размеры.

2.6.3 Измерить углы объектов измерения универсальным угломером.

2.6.4 Измерить углы объектов измерения угломером с нониусом.

2.7 Порядок выполнения работы

2.7.1 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 2.6.1 задания к лабораторной работе.

2.7.1.1 Подготовить к проведению измерений выбранные СИ по методикам, описанным в приложениях А–Д.

2.7.1.2 Измерить сопрягаемые размеры (СЗ и С4) объектов измерения 1.11–1.14 и 1.21–1.24, используя измерительные инструменты (по выбору), описание которых приведено в приложениях А–Д. Результаты измерений занести в таблицу (таблица 2.7).

2.7.2 Выполнить лабораторное задание в соответствии с пунктом 2.6.2.

2.7.2.1 Определить характер посадки сопрягаемых объектов 1.11–1.14 и 1.21–1.24 с учетом установленного допуска на размеры СЗ и С4.

2.7.2.2 Используя результаты измерений таблицы 2.7, указать, какие из объектов обеспечивают взаимозаменяемость.

2.7.3 Выполнить лабораторное задание в соответствии с пунктом 2.6.3.

2.7.3.1 Ознакомиться с объектами измерения, приведенными в таблице 2.6 в соответствии с вариантом, и составить их эскизные чертежи.

2.7.3.2 С помощью линейки измерить длины меньших сторон, образующих измеряемые углы объектов 1.1–1.3, 2.1–2.3, 3.1–3.3, 4.1–4.3. Номер заданного угла считать от угла объекта измерения, маркированного цифрой 1, по часовой стрелке. Результаты измерений занести в таблицу (таблица 2.8).

Таблица 2.7 – Результаты измерений линейных размеров

Номер объекта измерения	1.11	1.12	1.13	1.14	1.21	1.22	1.23	1.24
Обозначение размерного элемента								
Номинальный размер, мм								
Предельные отклонения, мм								
Действительный размер, мм								
Погрешность измерения, мм								
Вид посадки								

Таблица 2.8 – Результаты измерений угловых размеров

Данные об объекте измерения	Номер объекта измерения			
Номер угла				
Номинальное значение угла				
Требуемая степень точности				
Длина меньшей стороны, мм				
Допуск по ГОСТ 8908–81				
Допустимая погрешность измерения				
Значение угла, измеренное универсальным угломером				
Значение угла, измеренное угломером с нониусом				
Действительное значение угла				
Действительное отклонение				
Заключение о годности: «+» – годна; «–» – не годна				

2.7.3.3 Исходя из степени точности заданных углов (см. таблицу 2.6) и длин меньших сторон по таблице 2.2 определить допуски на угловые размеры. Рассчитать допускаемую погрешность измерения углов и занести ее значение в таблицу 2.8. Оценить значение максимальной инструментальной погрешности измерения углов и сравнить ее с инструментальными погрешностями универ-

сального угломера и угломера с нониусом. Сделать вывод о возможности использования этих угломеров.

2.7.3.4 Подготовить к проведению измерений универсальный угломер и угломер с нониусом по методикам, описанным в приложениях Е, Ж. Проверить установку «нуля» угломеров и при наличии отклонений определить поправку как значение отклонения от нуля, взятого с обратным знаком. Значение поправки должно быть в последующем, при проведении измерений, прибавлено к результату отсчета с целью исключения систематической погрешности.

2.7.3.5 Измерить значения углов двумя угломерами по методикам, приведенным в приложениях Е, Ж. По результатам двух измерений за действительное значение угла принять более точное, исходя из инструментальных погрешностей измерений. Рассчитать действительные отклонения. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 2.8. На основании сравнения действительных и предельных размеров дать заключение о годности объектов.

2.8 Контрольные вопросы

1 Что такое номинальный, действительный и предельный размеры, предельное и действительное отклонение, допуск?

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

3 Перечислите виды посадок и укажите их назначение и характеристики.

4 Каким образом могут быть заданы допуски на угол? Поясните это с помощью рисунка.

5 Чем определяются и от чего зависят величины допустимых отклонений углов от их номинальных значений?

6 Как правильно выбрать СИ?

7 Каким образом регламентируется система допусков и посадок?

8 На каком принципе основано построение нониусных шкал в штанген-инструментах?

9 Как подготовить штангенциркуль и штангенглубиномер к проведению измерений?

10 Объясните конструктивные особенности микрометрической головки.

11 Как подготовить микрометр, микрометрический нутромер и микрометрический глубиномер к проведению измерений?

12 Какие методы и средства измерения углов вы знаете? Укажите область применения каждого из них.

13 Какие углы можно измерять с помощью универсального угломера? Поясните его устройство.

14 Какие углы можно измерять с помощью угломера с нониусом? Поясните его устройство.

15 Поясните методику измерения разными угломерами углов разных диапазонов значений, например: от 0 до 50°, от 50 до 140°, от 140 до 230°, от 230 до 320°.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Т–3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИИ

3.1 Цель работы

3.1.1 Изучить основные термины и определения, связанные с измерением линейных параметров объектов ТНис: размеры, отклонения, допуск, качество.

3.1.2 Изучить методику выбора СИ линейных параметров объектов.

3.1.3 Изучить методы измерения линейных размеров.

3.1.4 Изучить назначение, конструкцию и область применения СИ линейных размеров и приобрести практические навыки в работе с ними.

3.2 Краткие теоретические сведения

Общие сведения об основных терминах, связанных с измерением линейных параметров (размерный элемент, размер, номинальный и действительный размеры, верхний и нижний предельные размеры, действительное и предельное отклонения, верхнее и нижнее предельные отклонения, стандартный допуск IT , пределы и интервал допуска, качество), приведены в пункте 2.2.1.

Для нормирования требуемых уровней точности при измерении линейных размеров установлены качества точности изготовления деталей. Обозначение качества состоит из номера качества, следующего за обозначением стандартного допуска IT , например, $IT7$.

Значения стандартных допусков для качеств $IT01$, $IT0$, $IT1$, ..., $IT18$ приведены в ГОСТ 25346–2013 (ISO 286-1:2010). В качествах, начиная с $IT6$, значения допусков увеличиваются в 10 раз при переходе с данного качества на пять качеств грубее. Это правило распространяется на все допуски системы ISO 286-1 и может быть применено для получения значений допусков качеств, отсутствующих в указанном стандарте.

Например, для интервала номинальных размеров со 120 до 180 мм значение допуска качества $IT20$ вычисляют по формуле

$$IT20 = IT15 \cdot 10 = 1,6 \cdot 10 = 16 \text{ мм.}$$

Наибольшее распространение в практике проектирования объектов ТНис нашли качества с $IT5$ по $IT17$ (таблица 3.1).

Точность в пределах одного качества зависит от номинального размера. Допуск IT для любого качества определяется по формуле

$$IT = \alpha \cdot i, \quad (3.1)$$

где i – единица допуска, мкм;

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

Из формулы (3.1) следует, что чем больше α , тем больше допуск и, следовательно, меньше точность изготовления размерного элемента и наоборот.

Для размеров до 500 мм единица допуска (в мкм) рассчитывается по формуле

$$i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D, \quad (3.2)$$

где D – номинальный размер в миллиметрах (длина, ширина, высота, диаметр и другие параметры объекта).

Таблица 3.1 – Число единиц допуска α для квалитетов с $IT5$ по $IT17$

Обозначение квалитета	Значение числа единиц допуска α	Обозначение квалитета	Значение числа единиц допуска α
$IT5$	7	$IT12$	160
$IT6$	10	$IT13$	250
$IT7$	16	$IT14$	400
$IT8$	25	$IT15$	640
$IT9$	40	$IT16$	1000
$IT10$	64	$IT17$	1600
$IT11$	100	–	–

Правильный выбор СИ обеспечит требуемую точность измерений. Основная инструментальная погрешность СИ должна быть меньше допускаемой.

СИ выбирают в зависимости от точности изготовления (допуска) размерного элемента объекта измерения или допускаемой погрешности измерений (таблица 3.2). Допуск размера является определяющей характеристикой для расчета допускаемой погрешности измерений, которая принимается равной $1/5$ – $1/3$ от допуска размера.

Допускаемые погрешности измерения линейных размеров до 500 мм в зависимости от квалитетов ($IT4$ – $IT17$) и номинальных размеров объектов измерения приведены в таблице 3.2 и соответствуют ГОСТ 8.051–81. Допускаемая погрешность измерения включает случайные и неисключенные систематические погрешности измерения, является наибольшей и состоит из погрешностей, вызванных различными источниками (СИ, установочными мерами, изменением температуры и т. п.).

Каждое СИ характеризуется основной инструментальной погрешностью, величина которой указана в техническом описании и руководстве по эксплуатации этого СИ. Выбор СИ состоит в сравнении его основной погрешности с допускаемой погрешностью измерения, при этом основная погрешность должна быть меньше (или равна) допускаемой погрешности измерения.

Таблица 3.2 – Зависимость допускаемой погрешности измерений от качества

Номинальные размеры, мм	Квалитет						
	<i>IT4</i>	<i>IT5</i>	<i>IT6</i>	<i>IT7</i>	<i>IT8</i>	<i>IT9</i>	<i>IT10</i>
	Допускаемая погрешность измерений, мкм						
до 3	1	1,4	1,8	3	3	6	8
с 3 до 6	1,4	1,6	2	3	4	8	10
с 6 до 10	1,4	2	2	4	5	9	12
с 10 до 18	1,6	2,8	3	5	7	10	14
с 18 до 30	2	3	4	6	8	12	18
с 30 до 50	2,4	4	5	7	10	16	20
с 50 до 80	2,8	4	5	9	12	18	30
с 80 до 120	3	5	6	10	12	20	30
с 120 до 180	4	6	7	12	16	30	40
с 180 до 250	5	7	8	12	18	30	40
с 250 до 315	5	8	10	14	20	30	50
с 316 до 400	6	9	10	16	24	40	50
с 400 до 500	6	9	12	18	26	40	50

Продолжение таблицы 3.2

Номинальные размеры, мм	Квалитет						
	<i>IT11</i>	<i>IT12</i>	<i>IT13</i>	<i>IT14</i>	<i>IT15</i>	<i>IT16</i>	<i>IT17</i>
	Допускаемая погрешность измерений, мкм						
до 3	12	20	30	50	80	120	200
с 3 до 6	16	30	40	60	100	160	240
с 6 до 10	18	30	50	80	120	200	300
с 10 до 18	30	40	60	90	140	240	380

Продолжение таблицы 3.2

Номинальные размеры, мм	Квалитет						
	<i>IT11</i>	<i>IT12</i>	<i>IT13</i>	<i>IT14</i>	<i>IT15</i>	<i>IT16</i>	<i>IT17</i>
	Допускаемая погрешность измерений, мкм						
с 18 до 30	30	50	70	120	180	280	440
с 30 до 50	40	50	80	140	200	320	500
с 50 до 80	40	60	100	160	240	400	600
с 80 до 120	50	70	120	180	280	440	700
с 120 до 180	50	80	140	200	320	500	800
с 180 до 250	60	100	160	240	380	600	1000
с 250 до 315	70	120	180	260	440	700	1100
с 316 до 400	80	120	180	280	460	800	1200
с 400 до 500	80	140	200	320	500	800	1400

Для оценки годности детали по линейным размерам необходимо определить их действительные значения, т. е. произвести соответствующие измерения с погрешностью меньше допустимой. Они могут проводиться с помощью штангенинструментов, микрометрических инструментов, инструментов на основе измерительных головок с различными типами передач. Особенности этих измерительных инструментов описаны в пункте 2.2.6.

Назначение, устройство и особенности проведения измерений с конкретными образцами измерительных инструментов описаны в приложениях А–Д.

3.3 Измерительные инструменты, используемые при выполнении работы

В ходе выполнения лабораторной работы используются измерительные инструменты:

- штангенциркули: ШЦ-1, ШЦК, ШЦЦ-1;
- штангенглубиномеры: ШГ 200, ШГЦ 200;
- микрометры: МК 25, МК 75, МКЦ 50, МКЦ 75;
- нутромер микрометрический НМ 250;
- глубиномеры микрометрические: ГМ 100, ГМЦ 100.

3.4 Описание объектов измерения

При измерении линейных размеров используются объекты, чертежи которых приведены на рисунке 3.1. Номера объектов измерения и их номинальные размеры с предельными отклонениями приведены в таблице 3.3.

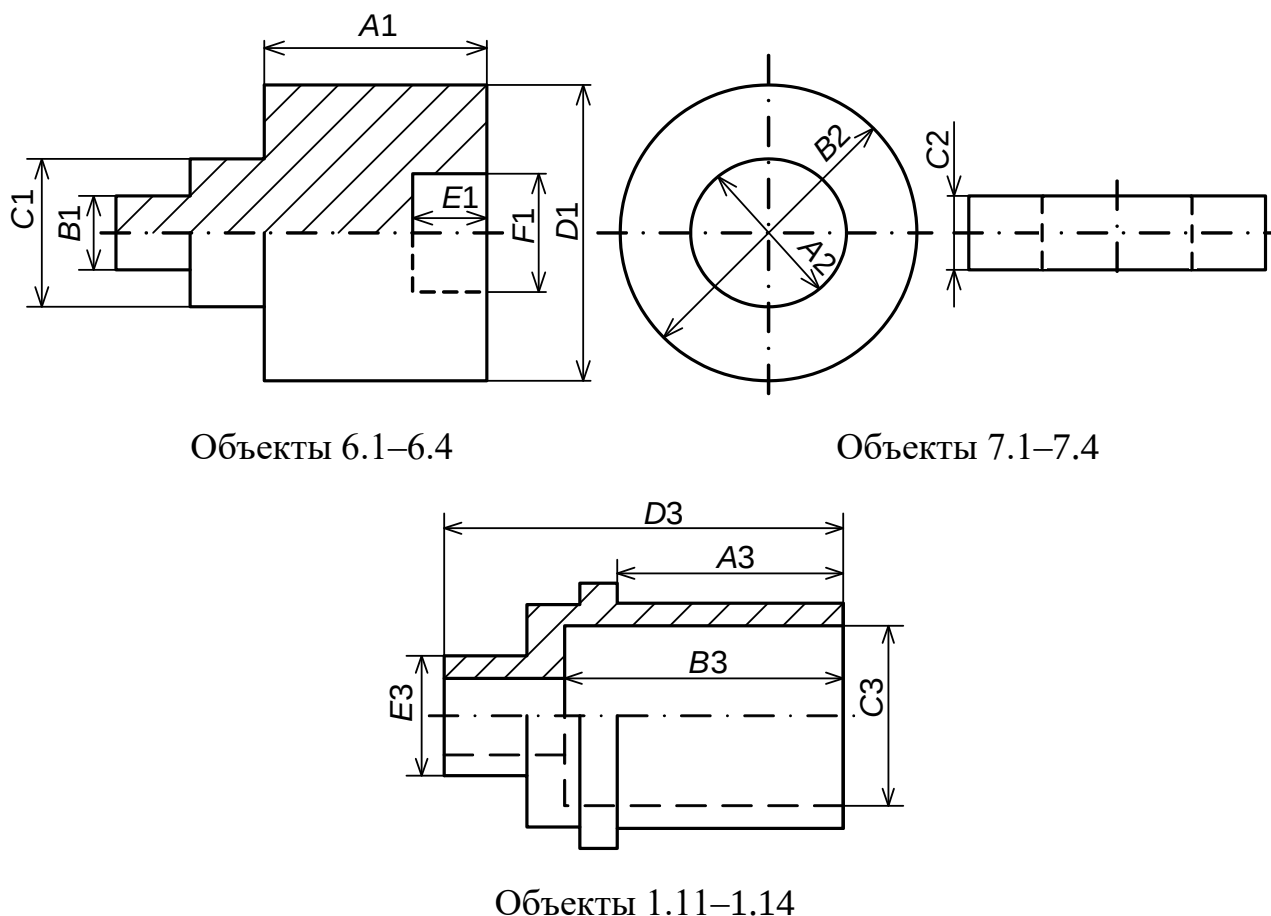


Рисунок 3.1 – Чертежи объектов измерения

3.5 Подготовка к выполнению работы

3.5.1 Изучить методы и СИ геометрических параметров деталей.

3.5.2 По приложениям А–Д изучить устройство, принцип действия и характеристики измерительных инструментов: штангенглубиномеров, микрометров, штангенциркулей, микрометрических нутромеров и глубиномеров.

3.5.3 Ответить на контрольные вопросы (подраздел 3.8).

3.5.4 Сделать заготовку отчета по лабораторной работе в соответствии с требованиями раздела «Содержание отчета».

3.5.5 Используя данные по линейным размерам объектов измерений, приведенных в таблице 3.3, рассчитать допуски, единицы допусков, номера квалификаций точности, привести условное обозначение допусков. Исходя из квалификаций определить допускаемые погрешности измерений и выбрать подходящее СИ. Результаты расчетов занести в таблицу (таблица 3.4).

Таблица 3.3 – Номинальный размер и предельные отклонения объектов измерения

Для лабораторного задания пункта 3.6.1									
Номер бригады (вариант)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Обозначение объекта измерения, условное обозначение размерного элемента, номинальный размер, предельные отклонения в мм									
6.1 A1 40,5 ^{+0,1} _{-0,1}	6.2 B1 10,2 ^{+0,7} _{-0,7}	6.3 C1 30,1 ^{+0,1} _{-0,1}	6.4 D1 59,8 ^{+0,3} _{-0,3}	6.1 E1 5,00 ^{+0,18} _{-0,18}	6.2 F1 29,5 ^{+0,3} _{-0,3}	6.3 A1 55,0 ^{+0,3} _{-0,3}	6.4 B1 30,2 ^{+0,1} _{-0,1}	6.1 C1 10,0 ^{+0,7} _{-0,7}	6.2 D1 35,0 ^{+0,1} _{-0,1}
6.3 E1 20,00 ^{+0,13} _{-0,13}	6.4 F1 49,0 ^{+0,1} _{-0,1}	6.1 D1 35,0 ^{+0,1} _{-0,1}	6.2 E1 15,02 ^{+0,27} _{-0,27}	6.3 F1 35,0 ^{+0,1} _{-0,1}	6.4 A1 45,0 ^{+0,1} _{-0,1}	6.1 B1 5,0 ^{+0,1} _{-0,1}	6.2 C1 20,0 ^{+0,2} _{-0,2}	6.3 D1 40,1 ^{+0,1} _{-0,1}	6.4 E1 30,50 ^{+0,16} _{-0,16}
1.11 A3 26,00 ^{+0,21} _{-0,21}	1.12 B3 32,20 ^{+0,16} _{-0,16}	1.13 C3 30,1 ^{+0,1} _{-0,1}	1.14 D3 55,0 ^{+0,3} _{-0,3}	1.11 E3 25,8 ^{+0,2} _{-0,2}	1.12 A3 26,01 ^{+0,13} _{-0,13}	1.13 B3 32,20 ^{+0,25} _{-0,25}	1.14 C3 30,1 ^{+0,1} _{-0,1}	1.11 D3 55,0 ^{+0,3} _{-0,3}	1.12 E3 26,0 ^{+0,2} _{-0,2}
1.13 E3 26,0 ^{+0,2} _{-0,2}	1.14 A3 26,01 ^{+0,21} _{-0,21}	1.11 B3 32,20 ^{+0,10} _{-0,10}	1.12 C3 30,0 ^{+0,2} _{-0,2}	1.13 D3 55,0 ^{+0,3} _{-0,3}	1.14 E3 25,9 ^{+0,2} _{-0,2}	1.11 A3 26,00 ^{+0,20} _{-0,20}	1.12 B3 32,20 ^{+0,16} _{-0,16}	1.13 C3 30,1 ^{+0,1} _{-0,1}	1.14 D3 55,0 ^{+0,3} _{-0,3}

Продолжение таблицы 3.3

Для лабораторного задания пункта 3.6.2									
Номер бригады (вариант)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Обозначение объекта измерения, условное обозначение размерного элемента, номинальный размер, предельные отклонения в мм									
7.4 C2 12,00 ^{+0,10} _{-0,10}	7.2 C2 16,00 ^{+0,18} _{-0,18}	7.3 C2 35,00 ^{+0,25} _{-0,25}	7.4 C2 12,00 ^{+0,11} _{-0,11}	7.1 B2 40,20 ^{+0,16} _{-0,16}	7.2 C2 16,00 ^{+0,27} _{-0,27}	7.3 A2 60,10 ^{+0,12} _{-0,12}	7.4 C2 12,00 ^{+0,11} _{-0,11}	7.1 C2 20,00 ^{+0,21} _{-0,21}	7.2 C2 16,00 ^{+0,11} _{-0,11}
7.2 A2 130,00 ^{+0,16} _{-0,16}	7.3 A2 60,12 ^{+0,19} _{-0,19}	7.4 A2 85,00 ^{+0,35} _{-0,35}	7.3 A2 60,20 ^{+0,12} _{-0,12}	7.2 A2 130,00 ^{+0,04} _{-0,04}	7.4 A2 84,90 ^{+0,14} _{-0,14}	7.2 C2 16,10 ^{+0,11} _{-0,11}	7.4 A2 85,00 ^{+0,35} _{-0,35}	7.2 A2 131,00 ^{+0,40} _{-0,40}	7.4 C2 85,00 ^{+0,14} _{-0,14}

3.6 Задания к лабораторной работе

3.6.1 Измерить заданные линейные размерные элементы объектов с помощью штангенинструментов.

3.6.2 Измерить заданные линейные размеры объектов с помощью микрометрических инструментов.

3.7 Порядок выполнения работы

3.7.1 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 3.6.1 задания к лабораторной работе.

3.7.1.1 Подготовить к проведению измерений выбранные в пункте 3.5.2 штангенинструменты.

3.7.1.2 Измерить действительные значения линейных размеров объектов измерения 6.1–6.4, 1.11–1.14 (данные об объектах измерения приведены в таблице 3.3 в соответствии с номером бригады), используя выбранные штангенинструменты, по методикам, описанным в приложениях А, Б. Рассчитать действительные отклонения. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 3.4. На основании сравнения действительных и предельных размеров сделать заключение о годности объектов измерения.

3.7.2 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 3.6.2 задания к лабораторной работе.

3.7.2.1 Подготовить к проведению измерений выбранные в пункте 3.5.2 микрометрические инструменты.

3.7.2.2 Измерить действительные значения линейных размеров объектов измерения 7.1–7.4 (данные об объектах измерения в таблице 3.3 в соответствии с номером бригады), используя выбранные микрометрические инструменты, по методикам, описанным в приложениях В–Д. Рассчитать действительные отклонения. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 3.4. На основании сравнения действительных и предельных размеров дать заключение о годности объектов измерения.

Таблица 3.4 – Результаты расчетов и выполнения лабораторного задания

Номер пункта лабораторного задания	3.6.1				3.6.2			
Номер объекта измерения								
Условное обозначение размерного элемента								
Номинальный размер, мм								
Предельные отклонения, мм								
Допуск, мм								
Единица допуска, мкм								
Номер качества								
Условное обозначение допуска								
Допускаемая погрешность измерения, мм								
Тип выбранного СИ								

Продолжение таблицы 3.4

Номер подпункта лабораторного задания	3.6.1				3.6.2			
Действительный размер, мм								
Действительное отклонение, мкм								
Заключение о годности детали: «+» – годна; «-» – не годна								

3.8 Контрольные вопросы

- 1 Приведите определения стандартных терминов линейных параметров.
- 2 Что такое единица допуска и качество точности и от чего они зависят?
- 3 Как определить допускаемую погрешность измерения?
- 4 В чем заключается методика выбора СИ?
- 5 На каком принципе основано построение нониусных шкал в штанген-инструментах?
- 6 Объясните методику выполнения измерений штангенциркулем и штангенглубиномером.
- 7 Поясните конструктивные особенности микрометрической головки.
- 8 Объясните методику выполнения измерений микрометром, микрометрическим нутромером и микрометрическим глубиномером.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА Т–4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ ТНнС ТИПОВЫМИ ОПТИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЙ

4.1 Цель работы

4.1.1 Изучить оптические методы и СИ линейных и угловых размеров.

4.1.2 Изучить принцип действия, подготовку к работе и методику выполнения измерений видеоизмерительным микроскопом.

4.1.3 Приобрести практические навыки измерений линейных и угловых размерных элементов видеоизмерительным микроскопом.

4.2 Краткие теоретические сведения

Оптические приборы нашли широкое применение в научных и производственных лабораториях для контроля линейных и угловых размеров, отклонений формы и чистоты обработки поверхности изделий с высокой точностью изготовления. Высокие метрологические характеристики этих приборов достигаются за счет расширения возможностей человеческого глаза путем увеличения с помощью оптических систем измеряемых объектов, отсчетных устройств, измеряемых параметров интерференционных картин. Примером таких оптических средств измерений является видеоизмерительный микроскоп.

Видеоизмерительный микроскоп *NORGAU* модификации *NVM-2010* (далее – микроскоп) предназначен для бесконтактных измерений геометрических размерных элементов деталей.

Микроскоп применяется в областях, требующих высокую точность измерений: в машиностроении, приборостроении, электротехнической, электронной (при изготовлении электронных компонентов, печатных плат), полимерной, медицинской промышленности, производстве высокоточного инструмента и т. п.

4.2.1 Описание и устройство микроскопа

Микроскоп состоит из трех частей (рисунок 4.1): механические элементы конструкции, оптическая система формирования изображения, цифровая система измерений.

Механические элементы конструкции (рисунки 4.1–4.6):

- гранитное основание (1);
- гранитная стойка (2);
- координатный стол (3) со сквозным прямоугольным отверстием посередине, закрытым предметным стеклом, перемещается в двух взаимно перпендикулярных направлениях;
- защитный кожух (4);
- маховик перемещения по оси *Z* (5);
- маховики перемещения по осям *X* (6) и *Y* (7), осуществляют прямолинейное движение стола в поперечном и продольном направлениях;

- фиксатор оси X (8);
- фиксатор оси Y (9);
- панель управления (10);
- линейные шкалы осей X (11) и Y (12);
- транспортировочные рукоятки – 4 шт. (13);
- опорные винтовые ножки – 4 шт. (14).

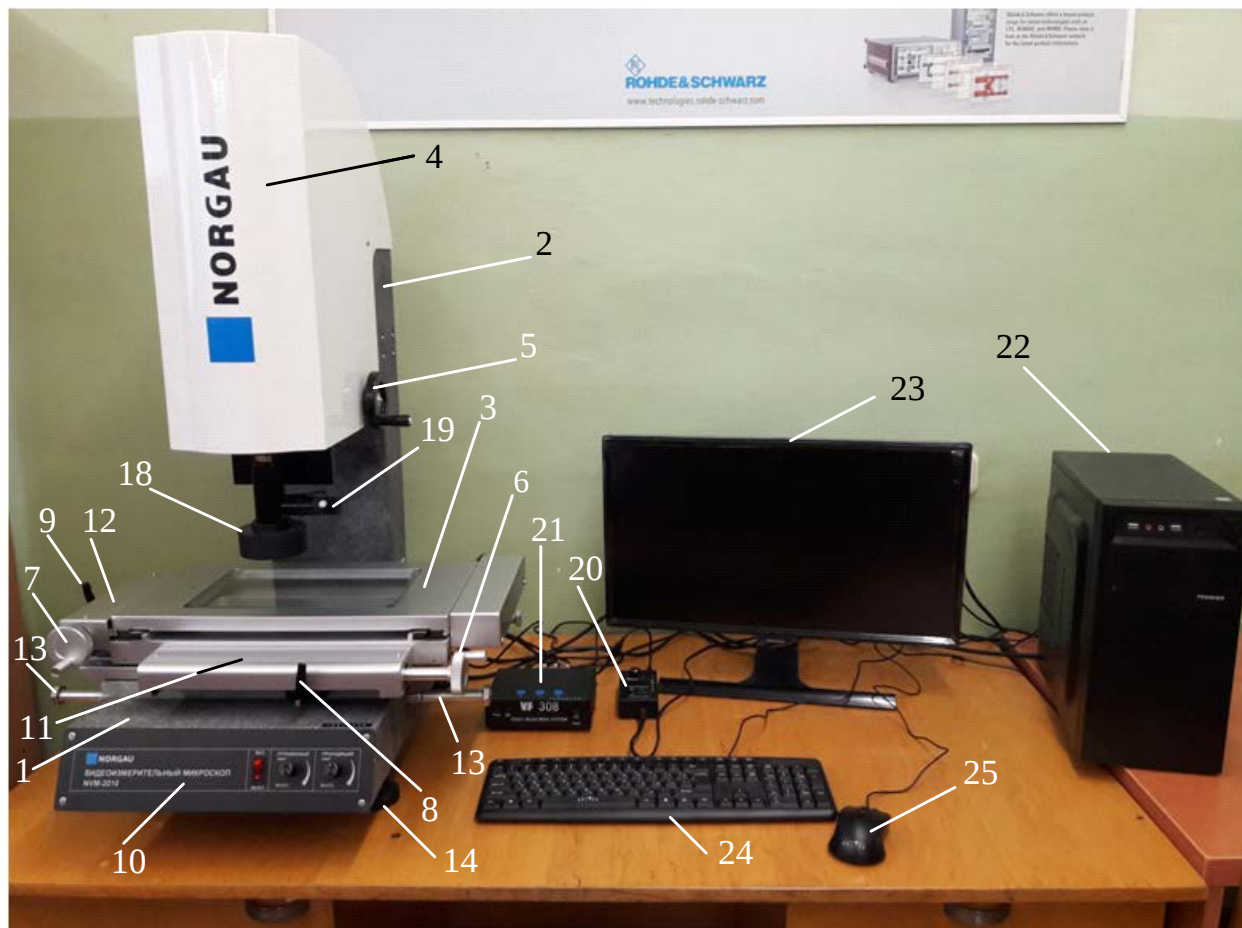


Рисунок 4.1 – Внешний вид видеоизмерительного микроскопа *NORG AU* модификации *NVM-2010*

Оптическая система формирования изображения (рисунки 4.1–4.6):

- телецентрический объектив с изменяемой кратностью увеличения (15);
- цветная ПЗС-камера (располагается под защитным кожухом микроскопа);
- источник проходящего света (подсветка контурная светодиодная телецентрическая, располагается под предметным стеклом координатного стола);
- источник отраженного света (подсветка кольцевая светодиодная) (18);
- источник падающего света (подсветка коаксиальная светодиодная, обеспечивает бестеневое освещение, высокую точность вертикальных измерений, отсутствие ошибок в перспективе по всему полю обзора) (19);
- блок управления коаксиальной подсветкой (20).

Цифровая система измерений (рисунки 4.1–4.6): блок управления шкалами (21); системный блок персонального компьютера (22); цифровой монитор (23); клавиатура (24); манипулятор позиции X и Y (25); программное обеспечение VMM3D записано на электронный ключ (рисунок 4.7).

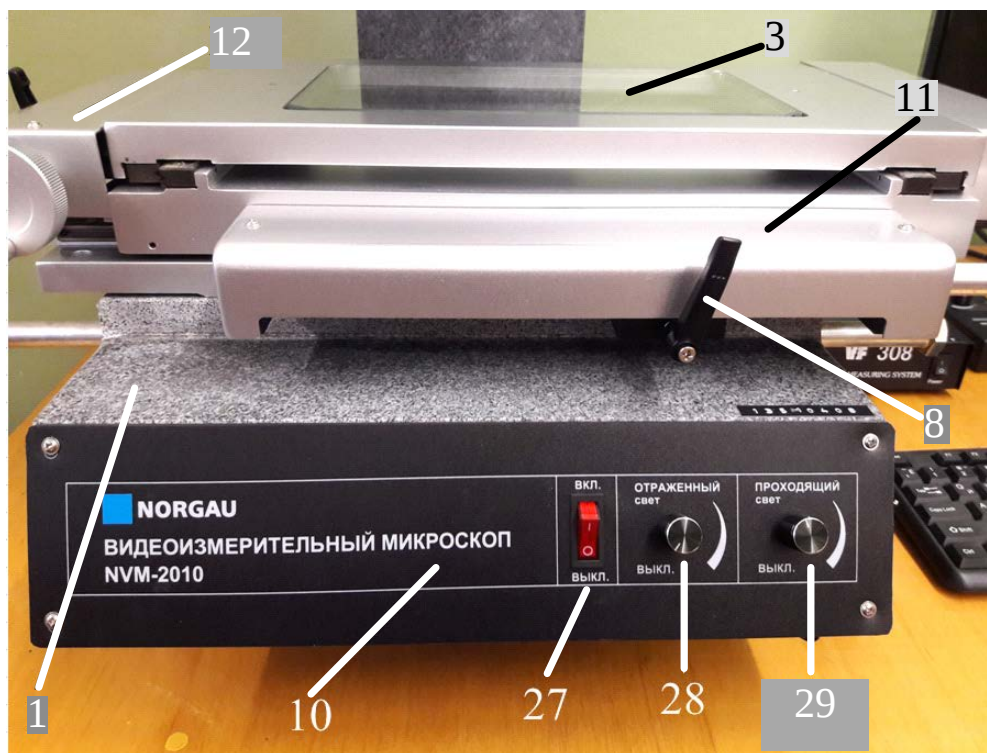


Рисунок 4.2 – Вид передней панели микроскопа

4.2.2 Принцип действия микроскопа

Микроскоп реализует автоматизированную обработку результатов линейно-угловых измерений и решение типовых измерительных задач при осуществлении контроля геометрических размерных элементов изготовленных деталей. Он осуществляет вывод изображения наблюдаемого объекта на экран ПК, наложение визирных линий (сеток) на полученное изображение, анализ узкого участка изображения с определением момента пересечения границы наблюдаемого объекта, измерение линейных размеров, вывод результатов измерений и вычислений на экран ПК, сохранение их в виде протокола испытаний.

Бесконтактный, оптоэлектронный принцип действия микроскопа основан на преобразовании электромагнитного излучения видимой части спектра, отраженного от исследуемого объекта в электрический сигнал, содержащий информацию о его размерных элементах и качестве поверхности, а также применении фотоэлектрических преобразователей перемещений с линейными шкалами, которые позволяют производить отсчет перемещений координатного стола с выводом результатов измерений на монитор ПК.



Рисунок 4.3 – Блок управления шкалами и блок управления коаксиальной подсветкой

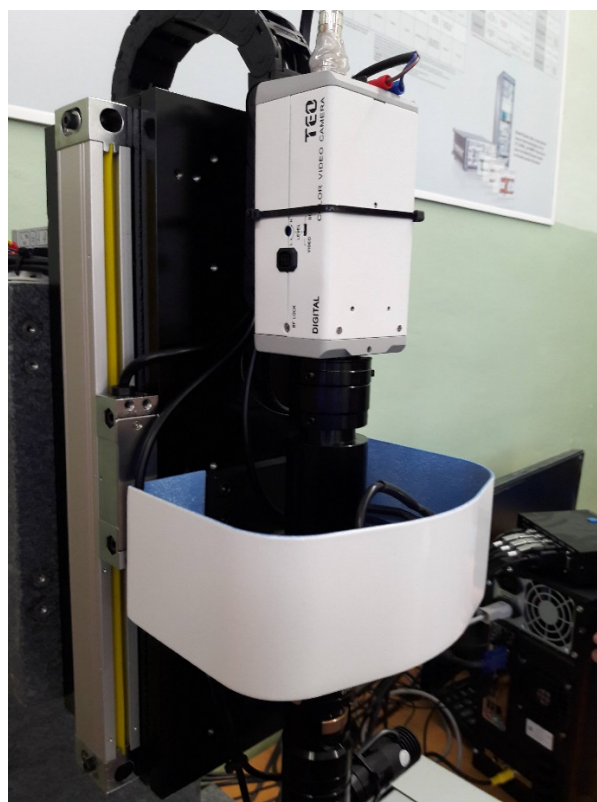
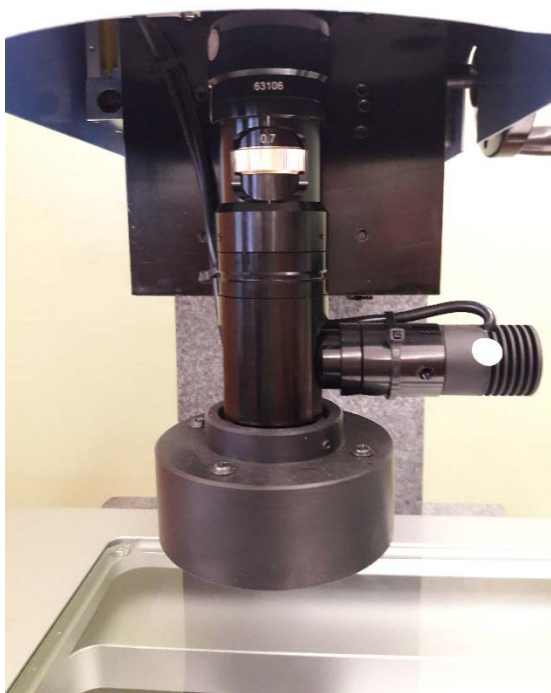


Рисунок 4.4 – Вид ПЗС-камеры (микроскоп со снятым защитным кожухом)



а



б

а – объектив с источниками отраженного и падающего света;
б – регулировка кратности увеличения

Рисунок 4.5 – Вид объектива микроскопа

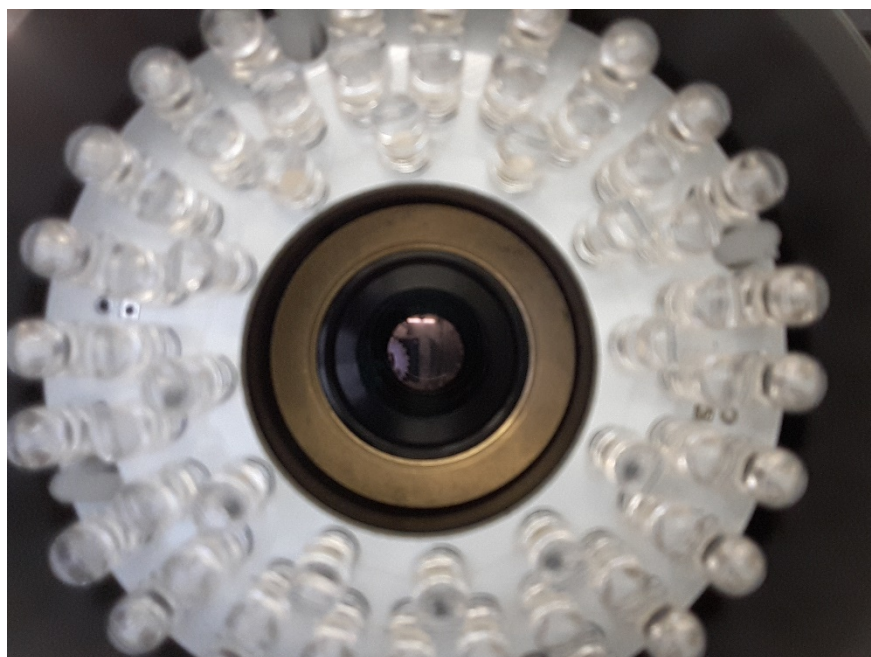


Рисунок 4.6 – Вид на объектив микроскопа и кольцевой источник отраженного света со стороны координатного стола



Рисунок 4.7 – Электронный ключ ПО VMM3D

Координатный стол предназначен для расположения на его предметном стекле объекта измерений и точного перемещения по осям X и Y . В процессе выполнения измерений от источника света лучи падают на измеряемый объект, расположенный на предметном стекле координатного стола. Отражаясь от измеряемого объекта или проходя через его отверстия, лучи попадают в объектив микроскопа.

Микроскоп имеет три типа регулируемого однородного освещения, обеспечивающих высокую контрастность и цветопередачу объекта измерений:

- проходящего света – для подсветки объекта при контроле геометрических параметров внешнего контура и сквозных отверстий объекта по теневой картине изображения (рисунок 4.8);

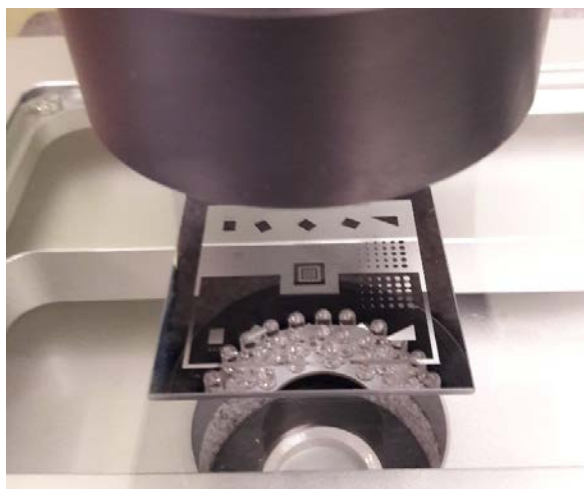
- кольцевая светодиодная подсветка отраженного света, обеспечивающая бестеневое освещение – для освещения объекта при контроле геометрических размерных элементов, расположенных на верхней поверхности непрозрачного объекта (рисунок 4.9, а);

- падающего коаксиального света – для равномерного освещения плоской зеркальной поверхности, углублений, полостей и отверстий. При коаксиальном освещении формируется коллимированный пучок света, падающий вертикально относительно поверхности образца и обеспечивающий равномерное бестеневое немерцающее освещение (рисунок 4.9, б).

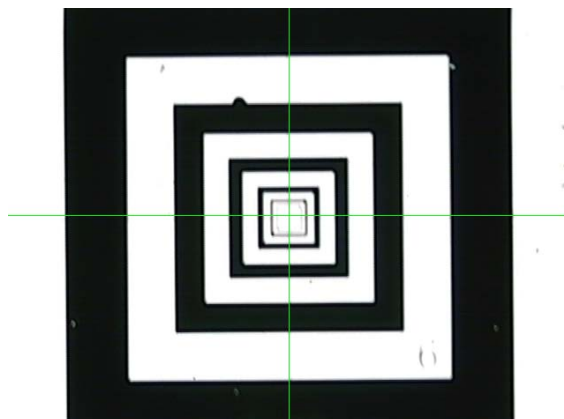
Телецентрический объектив обеспечивает увеличение и получение четкого неискаженного изображения за счет параллельности светового пучка его оптической оси. Этот объектив позволяет свести к минимуму краевые оптические искажения и имеет следующие преимущества:

- отсутствие перспективных искажений;
- увеличение глубины резкости;
- минимизация сторонней засветки;

- размер изображения не изменяется при фокусировки объектива;
- объектив способен изменять увеличение без изменения положения камеры относительно объекта.

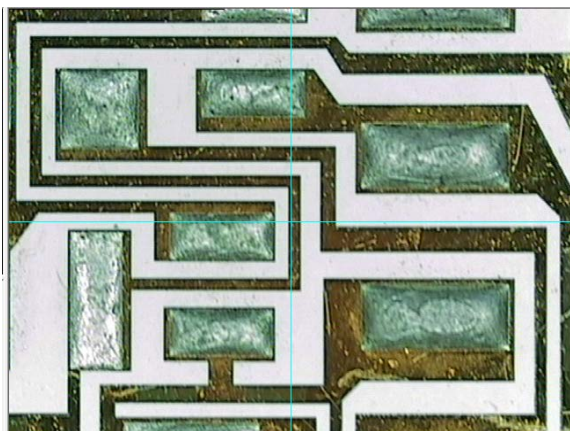


а

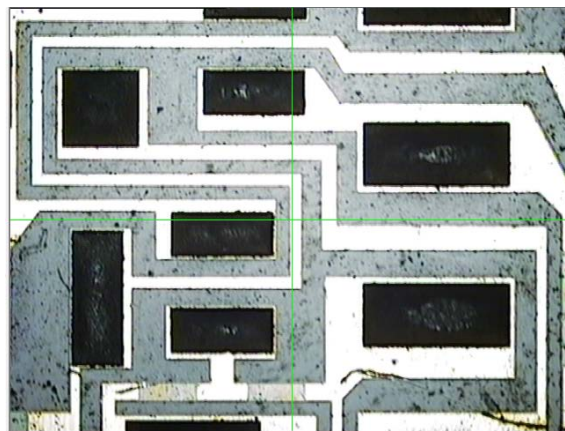


б

Рисунок 4.8 – Вид стеклянной меры на предметном стекле координатного стола (*а*) и в окне видеоизображения на мониторе микроскопа в режиме проходящего света (*б*)



а



б

Рисунок 4.9 – Видеоизображение элемента печатной платы в режиме отраженного света (*а*) и в режиме падающего коаксиального света (*б*)

Переменная кратность оптического увеличения от 0,7 до 4,5 определяется оптико-механическими возможностями объектива.

Увеличенное объективом изображение контура измеряемого объекта попадает на светочувствительную поверхность ПЗС-камеры, основу которой составляет ПЗС-матрица – специализированная аналоговая интегральная микросхема, состоящая из фотодиодов, использующих технологию приборов с зарядовой связью (ПЗС). С физической точки зрения ПЗС-камера представляет со-

бой аналого-цифровой оптоэлектронный преобразователь, реагирующий на изменение интенсивности светового потока на своем входе, преобразуя его в цифровые сигналы, которые передаются в ПК и обрабатываются им. ПЗС-камера обеспечивает двухмерное цветное проекционное изображение, основанное на контрасте и яркости его участков.

Применение оптоэлектронных преобразователей перемещений с линейными шкалами позволяет производить отсчет перемещений координатного стола с передачей в ПК результатов измерений, которые отображаются на его мониторе.

Функциональная схема захвата изображения и автоматизированной обработки результатов измерений микроскопа представлена на рисунке 4.10.



Рисунок 4.10 – Функциональная схема системы захвата изображения и автоматизированной обработки результатов измерений

Назначение функциональных блоков схемы:

- ПЗС-камера преобразует световой поток, поступающий на ее вход от объекта микроскопа, в электрические сигналы, передаваемые в ПК по последовательной шине передачи данных *USB*;

- блок управления шкалами предназначен для обеспечения питания двух измерительных преобразователей линейных перемещений (*X* и *Y*), получения от них измерительной информации о размерных элементах объекта измерений и передачи ее в ПК для дальнейшей обработки с помощью ПО;

- модуль обработки видеоинформации преобразует электрические сигналы в видеоимпульсы для дальнейшего анализа, преобразования и визуализации в модулях ПО;

- модуль анализа изображения и выделения края (границы контрастной области объекта измерений) предназначен для анализа видеоимпульсов и определения края изображения, формирования управляющего сигнала положения (по X и Y) координатного стола микроскопа и передачи видеоимпульсов модулю визуализации информации;

- модуль геометрической обработки информации получает сигналы положения координатного стола по команде оператора или управляющего сигнала модуля анализа изображения, определяет отдельные геометрические параметры объекта измерений, сохраняет информацию о геометрических параметрах и передает ее в модуль формирования протокола и модуль визуализации информации;

- модуль формирования протокола предназначен для расчета некоторых геометрических параметров и сохранения измерительной информации в форматах *Word*, *Excel*, *AutoCAD*;

- модуль визуализации информации формирует графический пользовательский интерфейс, осуществляет вывод на экран монитора изображения с наложенными на него визирными линиями, отображенными геометрическими параметрами объекта измерений, текущим положением координатного стола, а также управляет элементами графического интерфейса и предназначен для ввода управляющих команд оператора.

По оси Z реализуется функция фокусировки.

4.3 Приборы, используемые при выполнении работы

В ходе выполнения лабораторной работы используется видеоизмерительный микроскоп *NORGAU NVM-2010*.

4.4 Описание объектов измерения

4.4.1 Объектами измерений являются резисторы, выполненные методом напыления резистивного слоя на подложку микромодуля (рисунок 4.11), на котором кривой штриховкой обозначены контактные площадки, а сплошной – резисторы. Номера резисторов в соответствии с номерами вариантов приведены в таблице 4.1.

4.4.2 Объекты измерений угловых размерных элементов выдаются каждому студенту преподавателем (инженером) лаборатории.

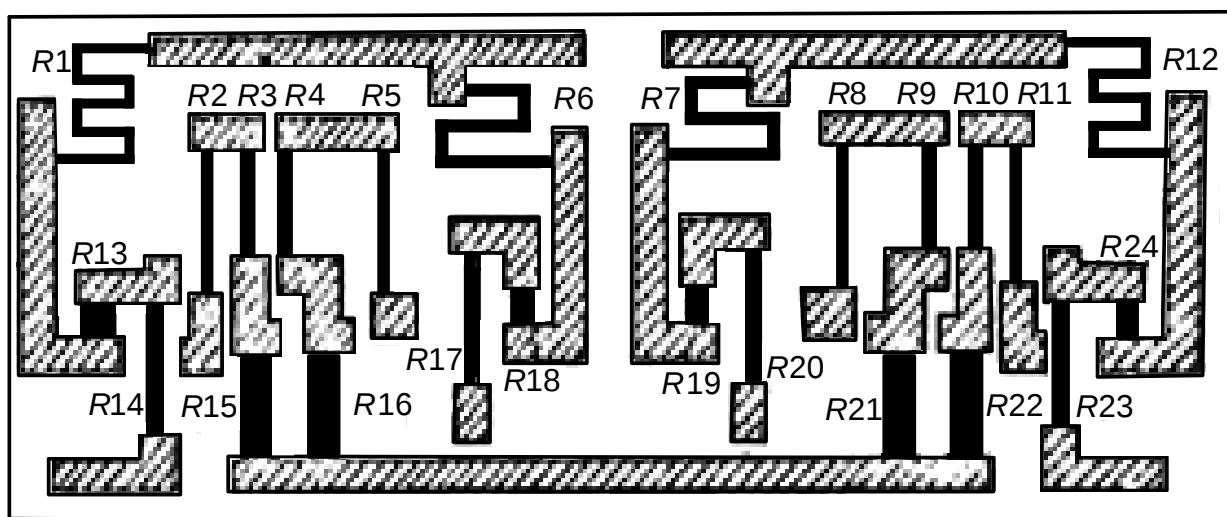


Рисунок 4.11 – Внешний вид микромодуля с обозначенными на нем резисторами

Таблица 4.1 – Номера объектов измерений

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Номер резистора	R13	R2	R3	R4	R9	R10	R19	R11	R8	R14	R15	R17	R18	R16

Продолжение таблицы 4.1

Номер варианта	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Номер резистора	R19	R20	R21	R23	R22	R24	R11	R2	R5	R10	R3	R13	R4	R9

4.5 Подготовка к выполнению работы

4.5.1 Изучить оптические методы измерения линейных и угловых размеров.

4.5.2 Изучить устройство, принцип действия и правила подготовки к работе микроскопа, а также методики выполнения измерений с его помощью и оценки погрешностей полученных результатов.

4.5.3 При выполнении лабораторного задания по пункту 4.6.1 составить и привести в заготовке отчета алгоритмы оценки доверительных границ случайной, систематической и суммарной погрешностей результата косвенного измерения активного сопротивления резистора.

4.5.4 При выполнении лабораторного задания по пункту 4.6.2 вывести формулу для результата косвенного измерения угла по полученным координатам захваченных точек (приложение II), а также составить и привести в заго-

товке отчета алгоритм оценки доверительных границ инструментальной систематической погрешности результата косвенного измерения угла.

4.5.5 Сделать заготовку отчета по лабораторному заданию 4.6.1 или 4.6.2.

4.6 Задания к лабораторной работе

4.6.1 Измерить с помощью микроскопа косвенным методом активное сопротивление резистора микромодуля и оценить случайную, систематическую и суммарную погрешности его измерения.

4.6.2 Измерить с помощью микроскопа угловой размерный элемент детали и оценить систематическую инструментальную погрешность его измерения.

4.7 Порядок выполнения работы

4.7.1 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 4.6.1 лабораторного задания. Получить у инженера лаборатории объекты измерений. В соответствии с номером варианта и таблицей 4.1 выбрать в качестве объекта измерения микромодуль с расположенным на нем заданным резистором.

4.7.1.1 Руководствуясь приложением И, подготовить микроскоп к проведению измерений линейных размеров. Выбрать подходящий режим освещения объекта измерений. Установить микромодуль на предметный стол микроскопа, добиться четкого изображения на экране ПК объекта измерений. По таблице И.4.1 выбрать наиболее подходящий режим работы микроскопа с точки зрения получения достоверного результата измерений линейного размерного элемента. Произвести три раза (на разных уровнях напыленного резистивного слоя) измерение длины l и три раза измерение ширины b заданного резистора. За результаты измерений длины и ширины принять среднее арифметическое. Результаты измерений и расчетов внести в таблицу 4.2.

4.7.1.2 Рассчитать сопротивление резистора по формуле

$$R_i = \rho_0 \cdot k_i = \rho_0 \cdot (\bar{l} / \bar{b}),$$

где $\rho_0 = 500 \text{ Ом}$ – удельное сопротивление квадрата резистивного слоя;

k_i – коэффициент формы i -го резистора, определяемый как отношение длины к ширине ($\bar{l} / \bar{b}$).

4.7.1.3 Оценить доверительные границы случайной, систематической и суммарной погрешностей результата косвенного измерения сопротивления резистора и записать в таблицу 4.2 результат по одной из форм, предусмотренных ГОСТ 8.207. Результаты расчетов внести в таблицу 4.2.

4.7.1.4 Полученный результат измерений сравнить с номинальными значениями сопротивлений резисторов с учетом допусков на их изготовление по ГОСТ 28884–90, приведенными в таблице 4.3, и сделать заключение о соответствии результата измерений номинальному значению сопротивления в отчете по лабораторной работе.

Таблица 4.2 – Результаты измерений и расчетов

Номер резистора	Номер измерения	l , мкм			b , мкм			k_i	Значение результата измерений R_i по ГОСТ 8.207
		l_i	$\bar{l}$	V_{il}	b_i	$\bar{b}$	V_{ib}		

Таблица 4.3 – Ряды номинальных значений сопротивлений резисторов

Обозначение ряда	$E3$	$E6$	$E12$	$E24$	$E3$	$E6$	$E12$	$E24$
Допуск	> 20 %	±20 %	±10 %	±5 %	> 20 %	±20 %	±10 %	±5 %
Числовые значения элементов ряда	1,0	1,0	1,0	1,0		3,3	3,3	3,3
				1,1				3,6
			1,2	1,2			3,9	3,9
				1,3				4,3
		1,5	1,5	1,5	4,7	4,7	4,7	4,7
				1,6				5,1
			1,8	1,8			5,6	5,6
				2,0				6,2
	2,2	2,2	2,2	2,2		6,8	6,8	6,8
				2,4				7,5
			2,7	2,7			8,2	8,2
				3,0				9,1
					10,0	10,0	10,0	10,0

4.7.1.5 Алгоритмы оценки и расчеты доверительных границ случайной, систематической и суммарной погрешностей результата измерения сопротивления привести в отчете по лабораторной работе.

4.7.1.6 По полученным результатам измерений и расчетов сделать выводы и привести их в отчете по лабораторной работе.

4.7.2 Выполнить измерения в соответствии с пунктом 4.6.2 лабораторного задания. Получить у преподавателя объекты измерений.

4.7.2.1 Руководствуясь приложением И, подготовить микроскоп к работе в режиме измерения угла. Выбрать подходящий режим освещения объекта измерений. Установить объект измерений на предметный стол микроскопа и произвести измерение заданного по согласованию с преподавателем углового размерного элемента объекта измерений.

Результаты прямых измерений как координаты захваченных точек и результат косвенного измерения угла, приведенные на экране ПК микроскопа, внести в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты измерений углового размерного элемента

Обозначение координат захваченных точек	Координаты захваченных точек, мм	Измеренное значение угла, град.	Рассчитанное значение угла, град.	Значение угла по ГОСТ 8.207

4.7.2.2 На основании результатов измерений координат захваченных точек рассчитать значение угла по формуле, выведенной в пункте 4.5.4. Рассчитанное значение угла привести в таблице 4.4.

4.7.2.3 Оценить доверительные границы систематической инструментальной погрешности результата косвенного измерения угла и записать в таблицу 4.4 окончательный результат измерений по одной из форм ГОСТ 8.207.

4.7.2.3 Эскизный чертеж (фотографию) измеряемого угла изобразить в системе координат с обозначением результатов измерений координат захваченных точек и привести в отчете по лабораторной работе.

4.7.2.4 Алгоритм оценки и расчеты доверительных границ систематической погрешности измерений угла привести в отчете по лабораторной работе.

4.8 Контрольные вопросы

1 Какие существуют оптические методы измерения геометрических параметров объектов?

2 Объясните устройство и принцип действия видеоизмерительного микроскопа.

3 Какие измерения можно производить с помощью видеоизмерительного микроскопа?

5 Каким образом реализована возможность измерения угловых размеров в видеоизмерительном микроскопе?

6 Перечислите источники погрешностей при измерении линейных размеров с помощью видеоизмерительного микроскопа.

7 Перечислите источники погрешностей при измерении угловых размеров с помощью видеоизмерительного микроскопа.

8 Как оценить случайную, систематическую и суммарную погрешности измерений активного сопротивления косвенным методом с применением видеоизмерительного микроскопа?

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Заготовка отчета по лабораторной работе оформляется на стандартных листах писчей бумаги формата А4. Правила оформления приведены в стандарте БГУИР СТП 01-2024 «Дипломные проекты (работы). Общие требования».

Отчет должен содержать титульный лист и основной текст, включающий цель работы, домашнее задание, лабораторное задание, СИ, используемые при выполнении работы (в форме таблицы 5.1), результаты измерений, расчетные формулы и выводы по каждому пункту выполненного лабораторного задания заносятся в заготовку отчета от руки.

Таблица 5.1 – СИ, используемые при выполнении лабораторного задания

Наименование прибора	Тип прибора	Заводской номер	Основные характеристики

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

ШТАНГЕНЦИРКУЛИ ТИПА ШЦ, ШЦК, ШЦЦ

А.1 Назначение

Штангенциркули с отсчетом по нониусу – ШЦ, с отсчетом по круговой шкале – ШЦК и цифровым отсчетным устройством – ШЦЦ соответствуют ГОСТ 166–89, служат для измерения наружных, внутренних линейных размеров, а также глубин и являются одними из самых распространенных инструментов.

Штангенциркули выпускаются следующих типов:

- ШЦ-I – двусторонние с глубиномером;
- ШЦТ-I – односторонние с глубиномером и измерительными поверхностями из твердых сплавов;
- ШЦ-II – двусторонние без глубиномера;
- ШЦ-III – односторонние без глубиномера.

А.2 Технические характеристики

А.2.1 ШЦ-I – в диапазоне измерений 0–200 мм в зависимости от типа с ценой деления 0,02 и 0,05 мм.

А.2.2 ШЦ-II – в диапазоне измерений 0–250 мм с ценой деления 0,05 и 0,1 мм.

А.2.3 ШЦК – в диапазоне измерений 0–300 мм с ценой деления круговой шкалы отсчетного устройства 0,02; 0,05; 0,1 мм.

А.2.4 ШЦЦ-I – в диапазоне измерений 0–200 мм с шагом дискретности цифрового отсчетного устройства 0,01 мм.

А.3 Конструкция штангенциркулей

А.3.1 Внешний вид и конструкция штангенциркуля ШЦ с отсчетом по нониусу приведены на рисунке А.1.

Такой тип штангенциркулей позволяет измерять наружные, внутренние линейные размеры, а также глубины непосредственно по основной шкале штанги и шкале нониуса.

А.3.2 Внешний вид штангенциркуля ШЦК с отсчетом по круговой шкале приведен на рисунке А.2 (назначение остальных элементов конструкции соответствует рисунку А.1). На штанге ШЦК закреплена зубчатая рейка. На рамке установлено отсчетное устройство. Оно состоит из указателя и циферблата с нанесенными на него делениями. Указатель расположен на оси триба, закрепленного на зубчатой рейке. При перемещении рамки по штанге стрелка поворачивается. При этом один оборот стрелки соответствует 10 мм перемещения рамки.

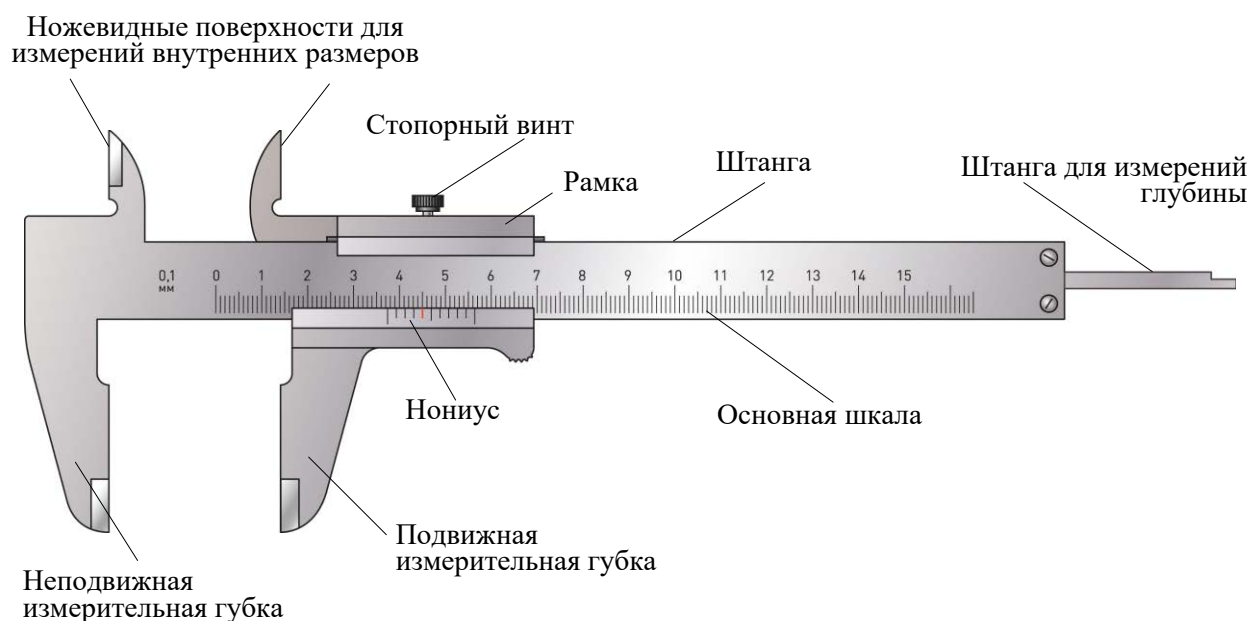


Рисунок А.1 – Внешний вид штангенциркуля ШЦ



Рисунок А.2 – Штангенциркуль ШЦК с отсчетом по круговой шкале

А.3.3 Внешний вид штангенциркуля ШЦЦ-I с цифровым отсчетным устройством приведен на рисунке А.3 (назначение остальных элементов конструкции соответствует рисунку А.1). Питание ШЦЦ осуществляется от встроенного источника питания. Разъем для вывода позволяет подключить устройство для записи (передачи) результатов измерений в цифровой форме.



Рисунок А.3 – Штангенциркуль с цифровым отсчетом

А.4 Проведение измерений штангенциркулями

А.4.1 Достать штангенциркуль из футляра. Перед тем как производить измерения, штангенциркуль следует проверить. У исправного инструмента сдвинутые губки должны плотно соприкасаться, а нулевые штрихи у штанги и нониуса при сдвинутых губках должны совпадать. При ослаблении стопорного винта рамка должна перемещаться по штанге свободно без качки.

А.4.2 При измерениях штангенциркуль держат правой рукой за штангу, рамку перемещают большим пальцем правой руки за выступ. Сжимать губки следует так, чтобы инструмент мог свободно без качки скользить по детали. Нужно следить за тем, чтобы губки штангенциркуля без перекоса прилегали к измеряемой поверхности по всей длине.

А.4.3 При отсчете показаний нужно смотреть на шкалу под прямым углом, иначе неизбежны погрешности вследствие параллакса. Для определения результата измерения по шкале ШЦ нужно отсчитать целое 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.

А.4.4 При несовпадении стрелки ШЦК с нулевым делением шкалы (при сдвинутых до соприкосновения губок) через паз с нижней стороны циферблата необходимо повернуть регулировочный штифт до совмещения стрелки с нулевым делением шкалы. При снятии показаний по шкале штанги определяют десятки миллиметров, а по шкале циферблата – целые и десятые доли миллиметра. При измерении следует подводить измерительные губки к детали без удара.

А.4.5 При выполнении измерений ШЦЦ необходимо:

- нажатием кнопки «OFF/ON» включить питание ШЦЦ;
- нажатием кнопки «mm / inch/F» (мм/дюйм) выбрать единицу измерения длины;

- совместить измерительные поверхности губок, затем нажать кнопку установки нуля «ZERO» для установки нулевого показания на цифровом индикаторе ШЦЦ. Разместить между губками деталь и измерить заданный линейный размер, т. е. зафиксировать показание цифрового индикатора;

- по окончании работы выключить ШЦЦ и убрать его в футляр;

- если показания индикатора мерцают или отсутствуют, необходимо заменить источник питания.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

ШТАНГЕНГЛУБИНОМЕРЫ ТИПА ШГ, ШГК и ШГЦ

Б.1 Назначение

Штангенглубиномеры с отсчетом по нониусу – ШГ, с отсчетом по круговой шкале – ШГК и цифровым отсчетным устройством – ШГЦ соответствуют ГОСТ 162–90 и служат для измерения глубины пазов и высоты уступов.

Б.2 Технические характеристики

Б.2.1 ШГ имеют диапазон измерений от 0 до 1000 мм в зависимости от типа, цену деления по нониусу 0,05 и 0,1 мм.

Б.2.2 ШГК имеют диапазон измерений от 0 до 400 мм в зависимости от типа, цену деления круговой шкалы отсчетного устройства 0,02 и 0,05 мм.

Б.2.3 ШГЦ имеют диапазон измерений от 0 до 400 мм в зависимости от типа, шаг дискретности цифрового отсчетного устройства 0,01 мм.

Б.3 Конструкция штангенглубиномеров

Б.3.1 Штангенглубиномер ШГ (рисунок Б.1) имеет рамку с основанием, которая перемещается по штанге. Измерительными поверхностями штангенглубиномера служат плоское основание и торец штанги.

На штанге нанесены миллиметровые деления основной шкалы; рамка имеет прорезь, в которой расположен нониус. Штангенглубиномер снабжен стопорным винтом для фиксации рамки и микрометрическим устройством.

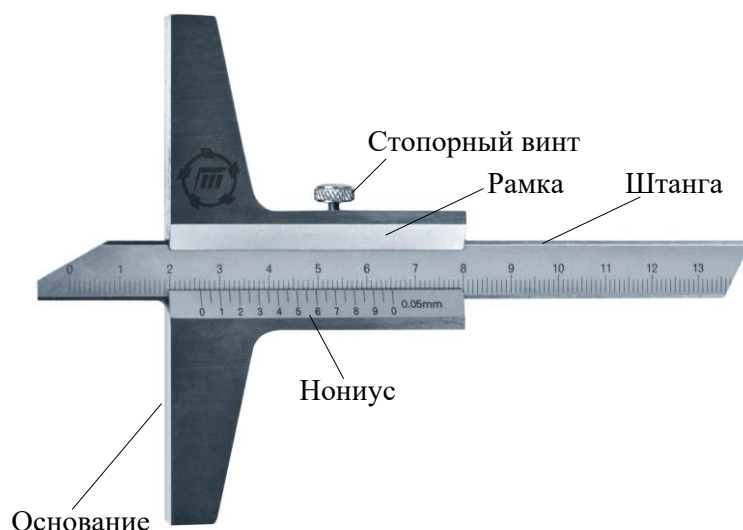


Рисунок Б.1 – Внешний вид штангенглубиномера ШГ

Б.3.2 Внешний вид штангенглубиномера ШГК и круговое отсчетное устройство приведены на рисунке Б.2. Круговое отсчетное устройство аналогично ШЦК (см. приложение А).



а – внешний вид; *б* – круговое отсчетное устройство

Рисунок Б.2 – Штангенглубиномер ШГК

Б.3.3 Цифровой штангенглубиномер ШГЦ приведен на рисунке Б.3.



Рисунок Б.3 – Штангенглубиномер с цифровым отсчетом ШГЦ

Б.4 Проведение измерений штангенглубиномерами

Б.4.1 При измерении штангенглубиномер устанавливается основанием на края отверстия, а штанга выдвигается до упора в дно отверстия или паза. Отсчет показаний производится так же, как и по штангенциркулю (см. приложение А).

Б.4.2 По окончании измерений штангенглубиномер необходимо выключить и положить в футляр.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

МИКРОМЕТРЫ ТИПА МК И МКЦ

В.1 Назначение

Микрометры гладкие (ГОСТ 6507–90) предназначены для измерения наружных линейных размеров деталей.

В.2 Технические характеристики

В.2.1 Микрометры МК выпускаются в диапазоне измерений от 0 до 600 мм в зависимости от типа. Цена деления составляет 0,01 мм. Пределы допускаемой погрешности составляют $\pm 0,004$ мм для диапазонов 0–25; 25–50; 50–76; 75–100 мм; $\pm 0,005$ мм для диапазонов 100–125; 125–150; 150–175; 175–200 мм.

В.2.2 Микрометры гладкие с цифровым отсчетом МКЦ имеют диапазон измерения от 25 до 100 мм. Шаг дискретности равен 0,001 мм. Предел допускаемой погрешности составляет не более 0,003 мм (класс точности 1) и не более 0,004 мм (класс точности 2).

В.3 Конструкция микрометров

В.3.1 Устройство микрометра МК приведено на рисунке В.1.



Рисунок В.1 – Внешний вид и устройство микрометра МК

В.3.2 К микрометрам с пределами измерений более 25 мм прилагаются специальные установочные меры, предназначенные для их калибровки.

В.3.3 Внешний вид микрометра гладкого с цифровым отсчетом МКЦ приведен на рисунке В.2. Панель управления МКЦ приведена на рисунке В.3.



Рисунок В.2 – Внешний вид и устройство микрометра с цифровым отсчетом МКЦ

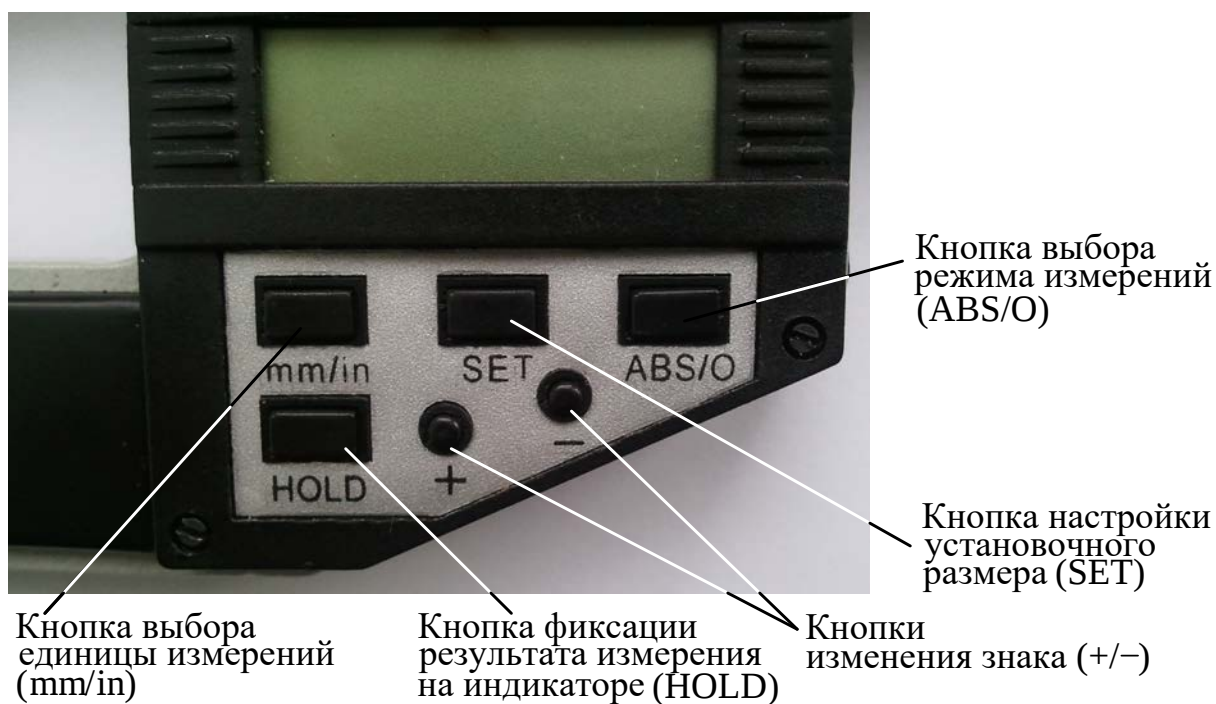


Рисунок В.3 – Панель управления МКЦ

В.4 Проведение измерений микрометрами

В.4.1 Прежде чем приступить к проведению измерений, микрометр необходимо проверить. Для этого у микрометра с пределом измерений 0–25 мм необходимо вращать микрометрический винт за трещотку до соединения измерительных поверхностей стержня микрометрического винта и пятки. При этом барабан должен остановиться у первого деления шкалы стебля, а его нулевое деление – напротив продольного штриха.

Если нулевой штрих барабана не совпадает с продольным штрихом стебля, то необходимо закрепить микрометрический винт стопором, ключ из комплекта микрометра установить в отверстие на стебле и плавно повернуть стебель до совпадения штрихов (**только с помощью инженера лаборатории!**). При необходимости повторить регулировку.

В.4.2 При измерениях микрометр установить так, чтобы хорошо была видна шкала и можно было сделать отсчет, не снимая микрометра с детали. В процессе измерения нужно следить за тем, чтобы инструмент не был перекошен, иначе размер получится больше действительного. Микрометрический винт подвести к изделию, вращая трещотку. Вращение прекращают после 2–3 щелчков трещотки. При невозможности произвести отсчет по микрометру, установленному на детали, необходимо после окончания измерения микрометрический винт застопорить зажимающим устройством, снять микрометр с детали и отсчитать показания. При этом инструмент нужно держать только за скобу, чтобы не сбить показания.

В.4.3 Отсчет провести следующим образом. Сначала по шкале стебля отсчитать значения штриха, ближайшего к торцу скоса барабана (на рисунке В.4 это число 15,00 мм). Далее по шкале барабана отсчитать значение штриха, ближайшего к продольному штриху стебля (на рисунке В.4 это число 0,20 мм). Сложив оба значения, получить показание микрометра (в данном примере это число 15,20 мм).

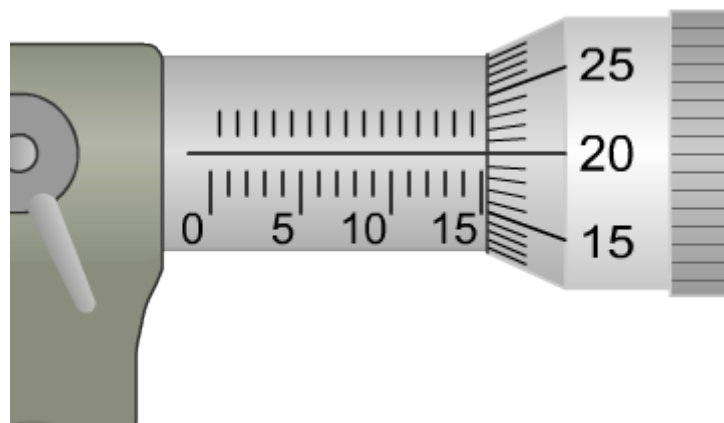


Рисунок В.4 – Пример выполнения отсчета микрометром

В.4.4 Порядок работы с МКЦ заключается в следующем. При повороте микрометрической головки МКЦ включается автоматически. Для выбора единицы измерения необходимо нажать кнопки «mm/in» (мм/дюймы). Нажатие кнопки «ABS/O» переключает режим измерений с абсолютного на относительный и обратно. При выполнении измерений в труднодоступных местах кнопкой «HOLD» фиксировать показания на цифровом индикаторе (повторное нажатие кнопки переводит индикацию показаний в обычный режим).

Если показания индикатора мерцают или отсутствуют, необходимо снять крышку батареи и заменить источник питания (положительный полюс батареи должен быть сверху). При замене источника питания происходит сброс установочного размера. Для его восстановления необходимо одновременно нажать две кнопки: «SET» и «+» или «-». На индикаторе начинает мигать символ «SET». В этом режиме по установочной мере длины (из комплекта МКЦ) кнопками «+» или «-» настраивается установочный размер. Полученный размер фиксируется нажатием кнопки «SET».

Объект измерения разместить между измерительными поверхностями МКЦ так же, как при измерении МК.

По окончании измерений МКЦ убрать в футляр. МКЦ отключается автоматически.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

МИКРОМЕТРИЧЕСКИЙ НУТРОМЕР ТИПА НМ

Г.1 Назначение

Микрометрические нутромеры (НМ) применяются для измерения внутренних размеров деталей, например внутреннего диаметра или расстояния между двумя поверхностями.

Г.2 Технические характеристики

Г.2.1 В соответствии с ГОСТ 10–88 НМ выпускаются с пределами измерений 50–75; 75–175; 75–600; 150–1250; 800–2500; 1250–4000; 2500–6000 мм.

Г.2.2 Цена деления НМ составляет 0,01 мм.

Г.2.3 Пределы допускаемой погрешности составляют $\pm 0,006$ мм для диапазона 50–250 мм.

Г.3 Конструкция микрометрического нутромера

Устройство НМ показано на рисунке Г.1. У нутромеров с нижними пределами измерений 50 и 75 мм длина шкалы стебля микрометрической головки равна 13 мм, у нутромеров с нижним пределом измерения свыше 75 мм – 25 мм. Расширение пределов измерения достигается за счет набора удлинителей, входящих в комплект к каждому инструменту. Удлинитель наворачивается на микрометрический винт микрометрической головки.



Рисунок Г.1 – Внешний вид микрометрического нутромера

Г.4 Проведение измерений микрометрическим нутромером

Г.4.1 Установка нуля НМ производится по специально прилагаемой к нему установочной мере, изготовленной по наименьшему предельному размеру инструмента. НМ расположить между измерительными поверхностями устано-

вочной меры. Прижать левой рукой к нижней рабочей поверхности меры НМ. Правой рукой, покачивая верхнюю часть НМ и одновременно вращая барабан, найти кратчайшее расстояние между измерительными поверхностями меры. Отрегулировать барабан на кратчайшее расстояние, закрепить микрометрический винт измерительной головки и извлечь НМ из меры. Нулевое деление барабана микрометрической головки НМ должно совпадать с продольным штрихом стебля. Если совпадения нет, то выполнить настройку нуля так же, как для микрометра (см. подпункт Д.4.1).

Г.4.2 Для измерения нутромер ориентировочно установить на заданный размер и расположить в измеряемом отверстии поперек (например, по диаметру отверстия). Упирая его измерительным наконечником в какую-либо точку отверстия, вращать барабан, одновременно покачивая нутромер в продольном и поперечном направлениях с тем, чтобы он установился в диаметральной плоскости перпендикулярно к оси. В противном случае можно получить результат измерения больший (когда инструмент не будет перпендикулярен оси) или меньший действительного (когда измеряется не диаметр, а хорда).

Г.4.3 После осуществления надежного упора обеих измерительных поверхностей в измеряемый объект нужно зафиксировать положение стопорным винтом и произвести отсчет. При использовании удлинителей к показаниям микрометрической головки прибавляется размер удлинителя, маркируемый на нем.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(обязательное)

МИКРОМЕТРИЧЕСКИЕ ГЛУБИНОМЕРЫ ТИПА ГМ И ГМЦ

Д.1 Назначение

Микрометрические глубиномеры (ГМ), цифровые микрометрические глубиномеры (ГМЦ) предназначены для измерения глубины пазов и высоты уступов.

Д.2 Технические характеристики

Д.2.1 В соответствии с ГОСТ 7470–92 ГМ выпускаются в диапазоне измерений от 0 до 300 мм.

Цена деления ГМ составляет 0,01 мм для диапазона измерений 0–100 мм.

Пределы допускаемой погрешности измерений составляют: $\pm 0,002$ мм (класс точности 1) и $\pm 0,004$ мм (класс точности 2) для диапазона 0–50 мм; $\pm 0,003$ мм (класс точности 1) и $\pm 0,005$ мм (класс точности 2) для диапазона 50–100 мм; $\pm 0,004$ мм (класс точности 1) и $\pm 0,006$ мм (класс точности 2) для диапазона 100–150 мм.

Д.2.2 Микрометрические глубиномеры с цифровым отсчетом ГМЦ в соответствии с ГОСТ 7470–92 выпускаются в диапазоне измерений от 0 до 150 мм в зависимости от типа.

Цена деления ГМЦ составляет 0,001 мм.

Пределы допускаемой погрешности измерений ГМЦ для первого класса точности зависят от диапазона измерений и не превышают $\pm 0,003$ мм.

Д.3 Конструкция микрометрических глубиномеров

Д.3.1 На рисунке Д.1 представлен внешний вид ГМ. Он имеет стебель, закрепленный на основании с помощью стопорного винта. Одной из измерительных поверхностей является плоскость основания, а другой – измерительный стержень, соединенный с барабаном и трещоткой. В комплект ГМ входят две установочные меры (25 и 75 мм) с плоскими измерительными торцами и четыре измерительных стержня разной длины.

ГМ представляет собой микрометрическую головку, запрессованную перпендикулярно в основание. В глухое отверстие, выполненное в торце микровинта, могут быть плотно вставлены сменные измерительные стержни, обеспечивающие измерение размеров через каждые 25 мм. На стебле микрометрической головки деления нанесены от 25 до 0 мм, так, при использовании измерительных стержней показания глубиномера возрастают.

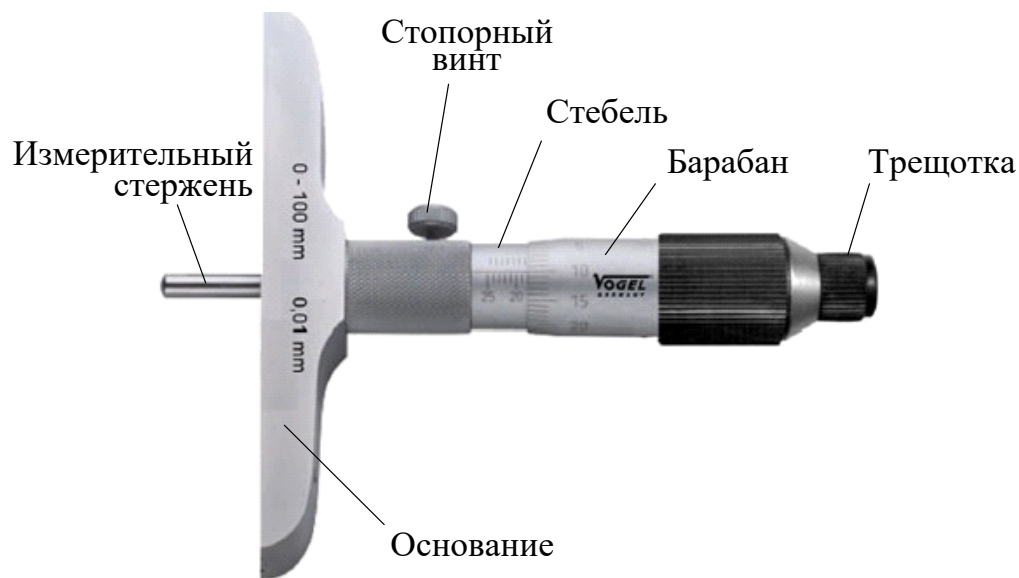


Рисунок Д.1 – Внешний вид микрометрического глубиномера ГМ

Д.3.2. На рисунке Д.2 изображен внешний вид ГМЦ. Конструкция, принцип действия ГМЦ аналогичны ГМ. Наличие у ГМЦ электронного цифрового устройства позволяет представить результат измерения в цифровой форме.



Рисунок Д.2 – Внешний вид цифрового микрометрического глубиномера ГМЦ

Д.4 Проведение измерений микрометрическими глубиномерами

Д.4.1 Перед проведением измерений ГМ необходимо проверить установку нуля на измерительной головке. Установку нуля необходимо проводить с тем измерительным стержнем, с которым будут проводиться измерения.

Для измерения размеров меньше 25 мм установка нуля ГМ осуществляется следующим образом: установить основание ГМ на поверочную плиту и привести в соприкосновение с ней измерительную поверхность измерительного стержня. При этом барабан ГМ должен находиться в нулевом положении.

При установке на нуль ГМ для измерения размеров более 25 мм следует воспользоваться установочной мерой. Например, необходимо установить на нуль ГМ для измерения размеров в диапазоне длин от 75 до 100 мм. Для этого: установить измерительный стержень длиной 75 мм в глухое отверстие основания ГМ, установочную меру длиной 75 мм поставить на поверочную плиту, на измерительную поверхность торца меры поставить основание ГМ измерительной поверхностью таким образом, чтобы измерительный стержень входил в отверстие меры и соприкасался с поверочной плитой. При этом барабан ГМ должен находиться в нулевом положении.

Если барабан ГМ не находится на нулевой отметке, то необходимо зафиксировать стопорный винт, слегка отвернуть колпачок, отжать барабан по оси микрометрического винта измерительной головки и установить его на нуль, завернуть колпачок, отвернуть стопорный винт и проверить установку нуля. При необходимости процесс установки нуля можно повторить.

Д.4.2 При измерениях основание ГМ измерительной поверхностью устанавливается на опорную плоскость детали. Вращением барабана микрометрической головки вводится измерительный стержень до упора его в элемент детали, расстояние до которого нужно измерить. Момент соприкосновения измерительного стержня с деталью определяется по срабатыванию трещотки. Полученный размер фиксируется стопорным винтом, после чего инструмент можно снять с детали и произвести отсчет.

Д.4.3 ГМЦ включается автоматически при повороте микрометрической головки.

Для выбора единицы измерений длины необходимо нажать кнопку «mm/in» (мм/дюйм).

Для установки нулевых показаний нажать кнопку установки нуля «ZERO» с тем измерительным стержнем, с которым будут проводиться измерения. Установка нуля ГМЦ по барабану микрометрической головки аналогична установке нуля ГМ (см. пункт Д.4.1).

Измерения проводят, вращая барабан микрометрической головки ГМЦ. Момент соприкосновения измерительного стержня с деталью определяется по срабатыванию трещотки. Полученный размер фиксируется стопорным винтом, после чего инструмент снимают с детали и производят отсчет по цифровому индикатору.

ГМЦ отключается автоматически. По окончании измерений ГМЦ установочные меры и измерительные стержни сложить в упаковочную коробку.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е (обязательное)

УГЛОМЕР С НОНИУСОМ (ТИП 2)

Е.1 Назначение

Угломер с нониусом предназначен для измерения наружных и внутренних углов.

Е.2 Технические характеристики

Е.2.1 Диапазон измерения углов: наружных от 0 до 320°; внутренних от 40 до 180°.

Е.2.2 Цена делений по нониусу составляет 2'.

Е.2.3 Пределы допустимой погрешности измерения углов $\pm 2'$.

Е.3 Конструкция угломера

Угломер с нониусом (рисунок Е.1) смонтирован на основании, жестко скрепленном с линейкой 1. По дуге основания перемещается сектор, несущий нониус. К сектору посредством зажима может быть прикреплен угольник или линейка 2, имеющие возможность перемещаться по грани сектора и фиксироваться в требуемом положении стопорным винтом. Линейка 2 может прикрепляться и к короткой стороне угольника.

Е.4 Проведение измерений угломером

Е.4.1 Перед началом измерений проверить правильность установки угломера на совпадение нулевой отметки нониуса с нулевой отметкой шкалы основания, при этом рабочее ребро линейки 1 должно совпадать с рабочей плоскостью измерительной линейки 2 без видимого зазора.

Е.4.2 Точная установка при измерении углов обеспечивается микрометрической подачей путем вращения гайки с накаткой, расположенной с тыльной стороны угломера. Фиксирование осуществляется стопорным устройством (рисунок Е.1).

Е.4.3 Измерение углов осуществляется путем различных комбинаций отдельных измерительных звеньев угломера. Отсчет, полученный при измерении угловых величин, производится по шкале основания и нониусу следующим образом: нулевая отметка нониуса показывает число градусов на шкале основания, а отметка нониуса, совпадающая с отметкой шкалы основания, – число минут.

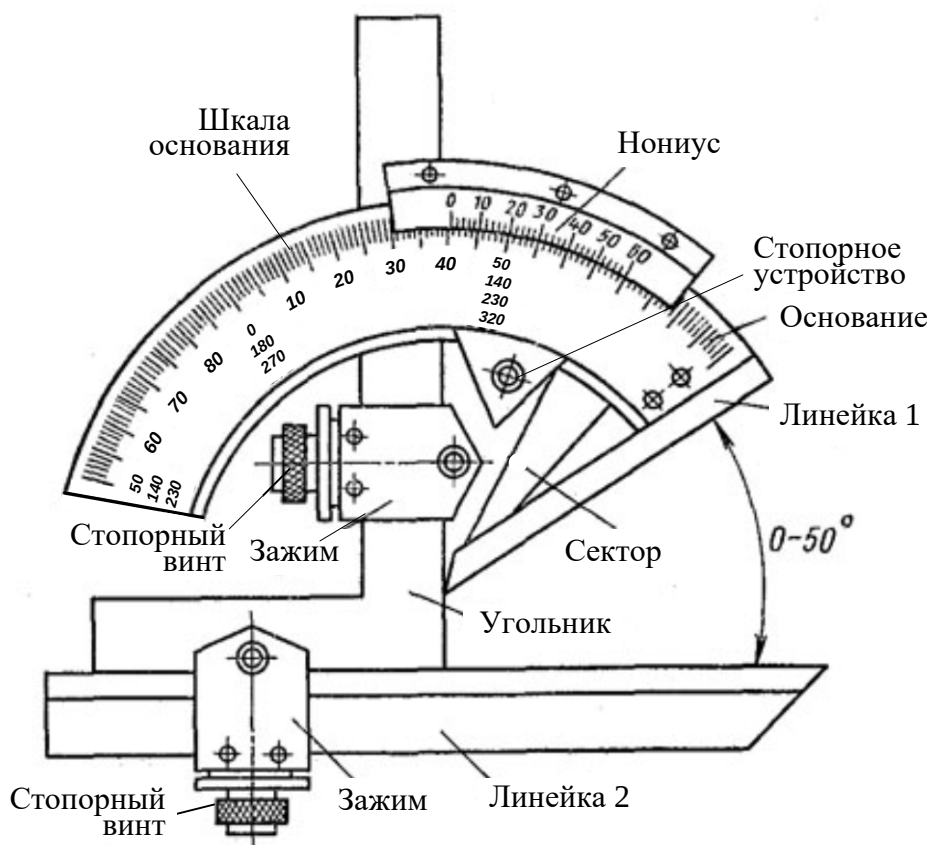


Рисунок Е.1 – Внешний вид угломера с нониусом

Е.4.4 Измерение углов от 0 до 50° показано на рисунке Е.2, а.

Отсчет угловых величин производится по шкале, соответствующей измеряемым углам.

Е.4.5 Измерение углов от 50 до 140° показано на рисунке Е.2, б.

Е.4.6 Измерение углов от 140 до 230° показано на рисунке Е.2, в.

Е.4.7 Измерение углов от 230 до 320° показано на рисунке Е.2, г.

Е.4.8 При измерении внутренних углов угломер установить на угол, дополняющий измеряемый угол до 360°. Например, для измерения угла 57°34' угломер необходимо установить на угол 320° минус 57°34', т. е. на угол 262°26'.

Е.4.9 Можно использовать угломер в качестве шаблона для измерения уступов и различных контуров.

Е.4.10 При наличии двух угломеров можно измерить более сложные профили усеченных конусов и плоских фигур с одинаковыми и разными углами.

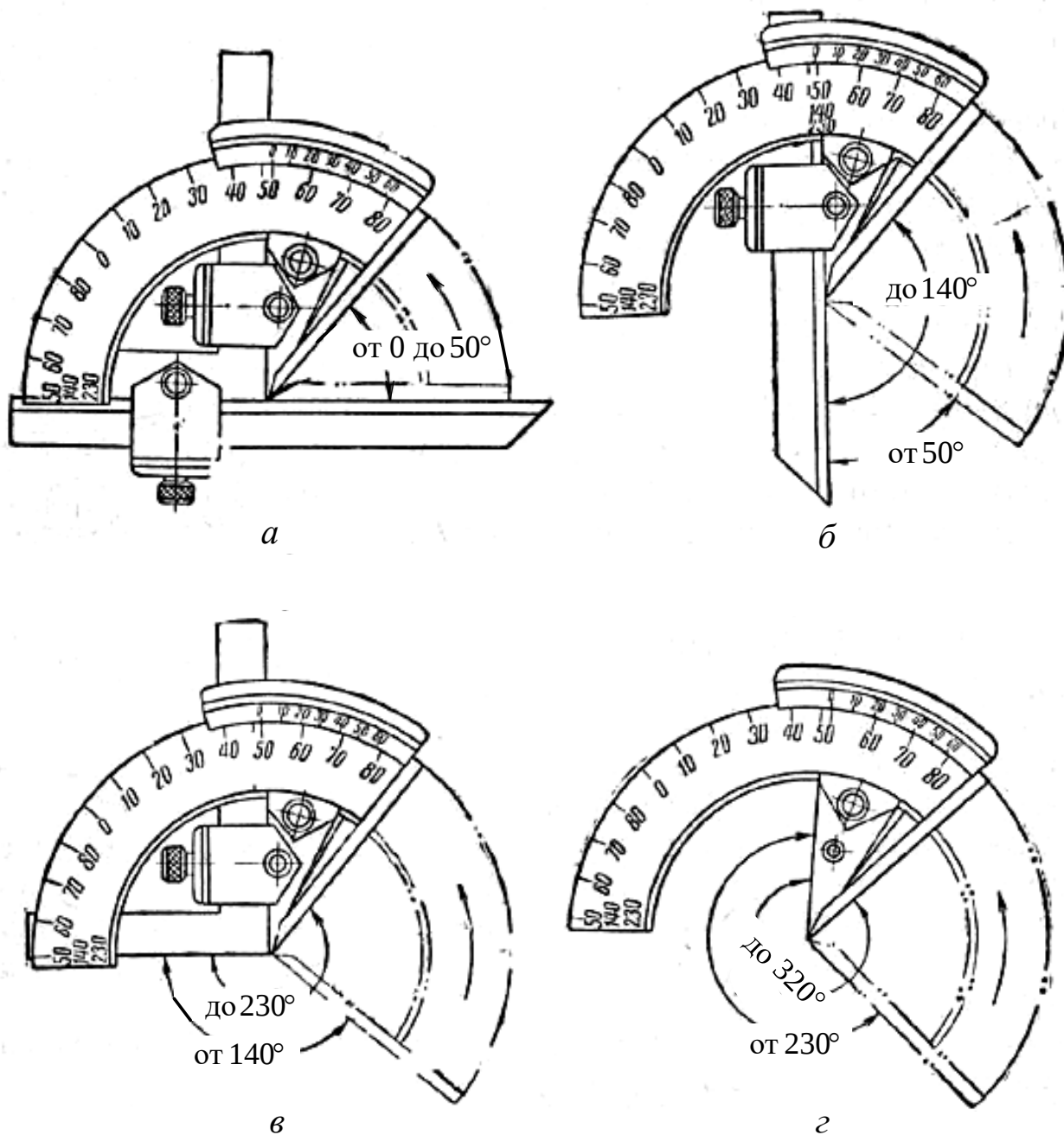


Рисунок Е.2 – Проведение измерений угломером с нониусом от 0 до 50° (а); от 50 до 140° (б); от 140 до 230° (в); от 230 до 320° (г)

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(обязательное)

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ УГЛОМЕР (ТИП 3)

Ж.1 Назначение

Универсальный угломер предназначен для измерения наружных и внутренних углов.

Ж.2 Технические характеристики

Ж.2.1 Диапазон измерения углов от 0 до 360°.

Ж.2.2 Цена деления нониуса составляет 5'.

Ж.2.3 Пределы допустимой погрешности измерения углов $\pm 5'$.

Ж.3 Конструкция угломера

Ж.3.1 Универсальный угломер (рисунок Ж.1) имеет полотно, приспособление для острых углов, фиксатор для установки на штангенрейсмас, фиксатор полотна и отсчетное устройство, состоящее из круглого циферблата с основной шкалой, шкалой нониуса и увеличительного стекла, обеспечивающее большую достоверность при считывании результата измерения.

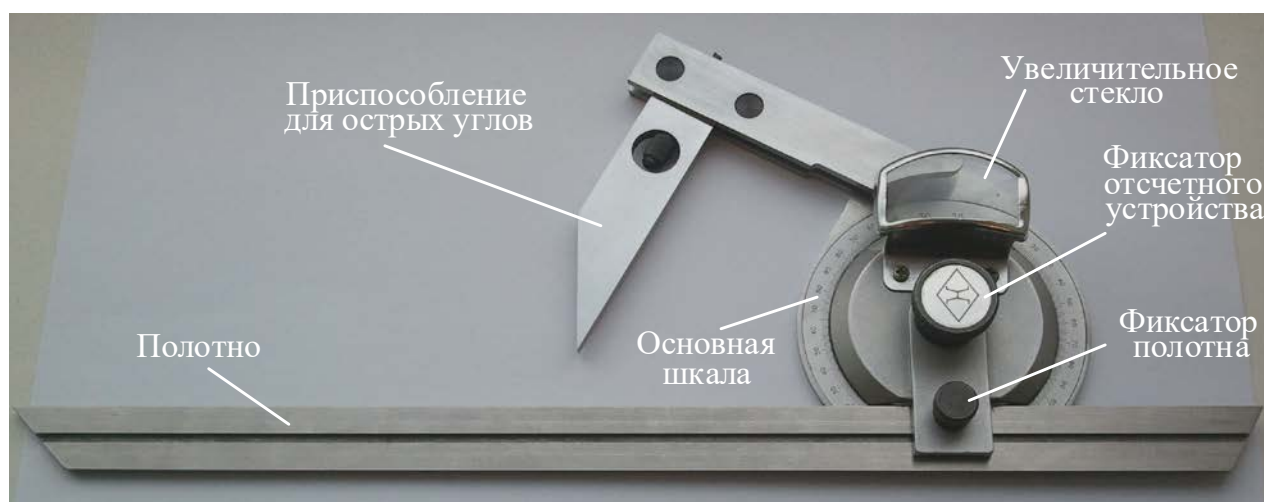


Рисунок Ж.1 – Внешний вид универсального угломера

Ж.3.2 Конструкция универсального угломера позволяет измерять углы, не доступные обычному угломеру (рисунок Ж.2).

Ж.4 Проведение измерений угломером

Ж.4.1 Подготовить универсальный угломер к проведению измерений – собрать его в той комплектации, которая позволит измерить заданный угол. На рисунке Ж.2 приведены возможные варианты проведения измерений (измеряемые детали на рисунке залиты сплошь).

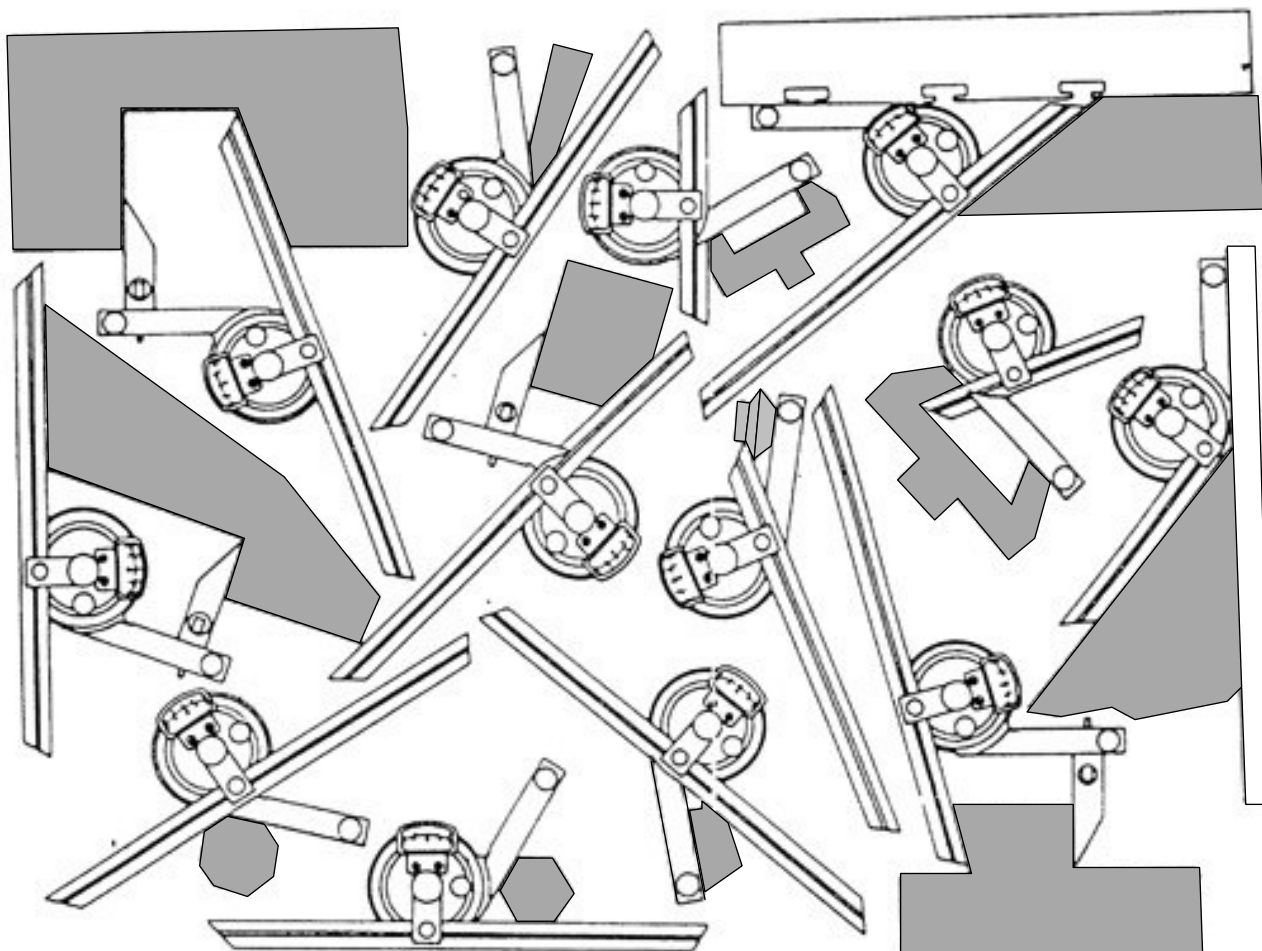


Рисунок Ж.2 – Проведение измерений универсальным угломером

Ж.4.2 Совместить стороны измеряемого угла с измерительными поверхностями угломера, не оставляя зазоров.

Ж.4.3 Отсчет угловых величин производится по основной и нониусной шкалам через увеличительное стекло (рисунок Ж.3).



Рисунок Ж.3 – Основная и нониусная шкалы универсального угломера

ПРИЛОЖЕНИЕ И

(обязательное)

ВИДЕОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МИКРОСКОП *NORGAU NVM-2010*

И.1 Назначение

Видеоизмерительный микроскоп *NORGAU NVM-2010* предназначен для бесконтактных измерений геометрических размерных элементов деталей.

И.2 Технические и метрологические характеристики

И.2.1 Микроскоп обеспечивает:

- легкое и быстрое базирование измеряемой детали;
- построение всех геометрических элементов;
- измерение линейно-угловых размерных элементов;
- контроль параметров формы: прямолинейность и круглость;
- формирование данных в форматах *Word, Excel*;
- статистический анализ и составление графиков результатов измерений;
- создание и загрузку файлов формата *AutoCAD*.

И.2.2 Условия эксплуатации:

- температура окружающего воздуха $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- относительная влажность $(60 \pm 20) \%$;
- атмосферное давление (750 ± 30) мм рт. ст., (100 ± 4) кПа.
- отсутствие внешних вибраций, кислотных испарений, брызг масла;
- питающее напряжение сети переменного тока (230 ± 23) В, частотой $(50 \pm 2,5)$ Гц.

И.2.3 Диапазон измерений:

- по оси *X* – от 0 до 200 мм;
- по оси *Y* – от 0 до 100 мм.

И.2.4 Пределы допускаемой абсолютной погрешности линейных измерений по осям *X* и *Y* определяются по формуле

$$\Delta = \pm (3,0 + L / 200), \text{ мкм},$$

где *L* – измеренная длина в миллиметрах.

И.2.5 Разрешение линейных измерительных шкал по осям *X* и *Y* – 0,001 мм.

И.2.6 Диапазон перемещения по оси *Z* – от 0 до 150 мм.

И.2.7 Тип преобразователя – цветная ПЗС-камера (размер ПЗС-матрицы по диагонали – 1/2").

И.2.8 Кратность увеличения оптической системы – от 0,7 до 4,5.

И.2.9 Кратность увеличения цифровой системы, допускаемая алгоритмами интерполяции и вычислительными возможностями процессора – от 20 до 128.

- И.2.10 Поле зрения – от 1,1 до 7 мм.
- И.2.11 Автоматическое распознавание кромки.
- И.2.12 Размер координатного стола в миллиметрах – 404×228 .
- И.2.13 Габариты предметного стекла координатного стола в миллиметрах – 260×160 .
- И.2.14 Максимальная нагрузка на координатный стол – 15 кг.
- И.2.15 Встроенные регулируемые светодиодные источники света (подсветка объекта измерений):
- проходящий;
 - отраженный;
 - падающий коаксиальный.
- И.2.16 Масса – не более 180 кг.
- И.2.17 Габаритные размеры в миллиметрах, не более:
- длина – 556;
 - ширина – 540;
 - высота – 860.

И.3 Описание интерфейса и ПО

И.3.1 Графический многооконный пиктографический интерфейс (рисунок И.1) служит для удобства управления ПО VMM3D и обеспечивает высокую скорость выполнения операций с использованием окон, меню, диалоговых панелей, кнопок управления.

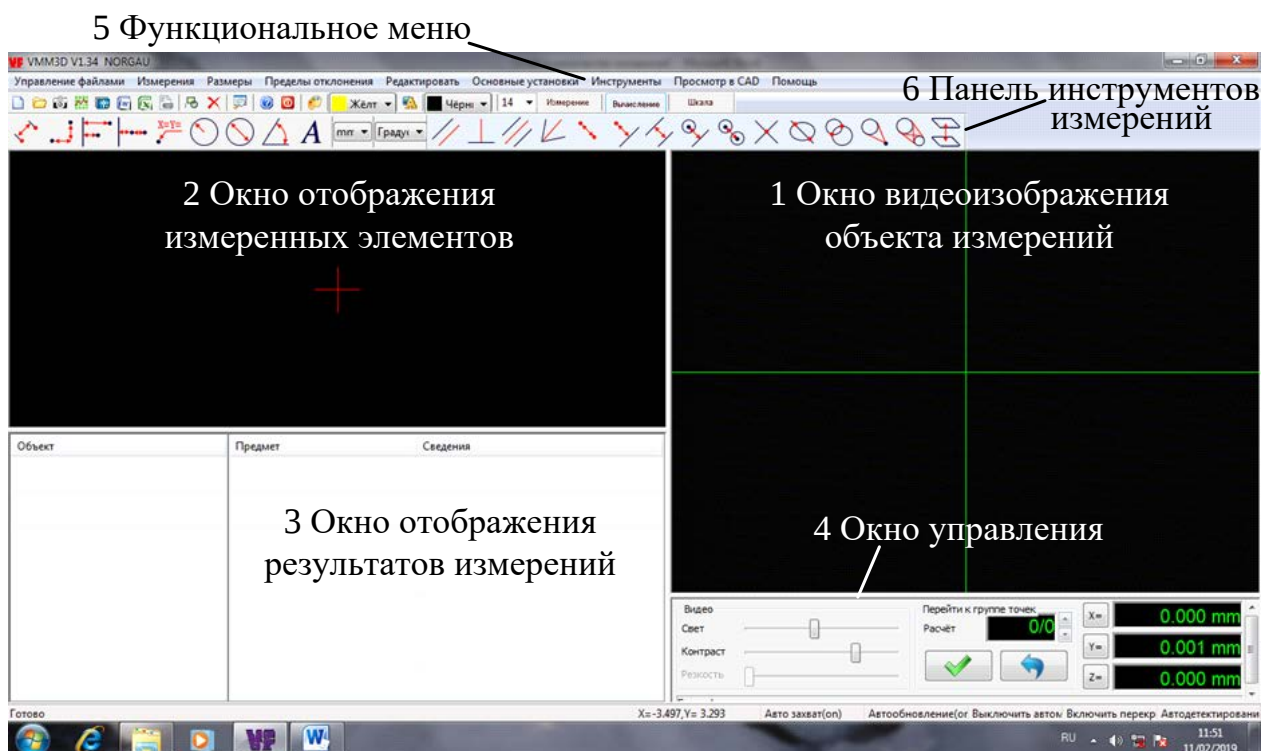


Рисунок И.1 – Интерфейс ПО VMM3D

И.3.1.1 Интерфейс ПО *VMM3D* состоит из шести основных частей:

- 1 – окно видеоизображения объекта измерений;
- 2 – окно отображения измеренных элементов (окно *CAD*) предназначено для создания (черчения) в графической среде двухкоординатной модели объекта измерений;
- 3 – окно отображения результатов измерений;
- 4 – окно управления позволяет регулировать яркость, контрастность изображения, имеет кнопки  , предназначенные для ручного режима измерений, окно  задания количества точек измерения и окна для отображения текущих координат *X*, *Y* и *Z*;
- 5 – функциональное меню включает набор оперативных функций с подчиненными им командами (пункт И.3.2);
- 6 – панель инструментов измерения, вычисления и кратности увеличения (подпункты И.4.2.3–И.4.2.6).

И.3.2 Функции ПО *VMM3D*

И.3.2.1 Черчение различных геометрических элементов (точки, линии, окружности, дуги и т. д.).

И.3.2.2 Измерение всех геометрических (линейных и угловых) параметров объекта в системе *X*, *Y*.

И.3.2.3 Автоматическое переключение системы единиц измерений, позиционирование перекрестия визирных линий, обнаружение, захват, измерение размерных элементов.

И.3.2.4 Редактирование – перемещение, копирование, поворот, зеркальное отображение, удаление, разрыв и продление объекта.

И.3.2.5 Нанесение обозначений, пояснений, размеров на изображение измеряемого объекта.

И.3.2.6 Создание снимка изображения с результатами измерений.

И.3.2.7 Склеивание снимков в полное изображение всей заготовки с функцией навигации.

И.3.2.8 Сохранение данных в формате *Word* или *Excel* в виде протокола измерений.

И.3.2.9 Сохранение данных в формате *AutoCAD* в виде чертежа измеренных размерных элементов объекта.

И.3.2.10 Сравнение чертежей в формате *AutoCAD* с изображением фактического объекта измерений.

И.3.2.11 Статистический контроль измеренных значений (*SPC*).

И.3.2.12 Задание начала и направлений системы координат (*UCS*).

И.3.2.13 Возможность задания 12 вариантов оптической кратности увеличения.

И.4 Выполнение измерений

И.4.1 Подготовка к выполнению измерений

Для подготовки микроскопа к выполнению измерений необходимо выполнить следующее:

- для получения наиболее достоверных результатов необходимо подготовить объект измерений – очистить от пыли и загрязнений;
- разместить объект измерений на предметном стекле координатного стола под объективом;
- поставить в положение «Вкл.» тумблер (27) на передней панели микроскопа (см. рисунок 4.2);
- включить блок управления шкалами и при необходимости блок управления коаксиальной подсветкой (см. рисунок 4.3);
- включить системный блок ПК, на экране монитора появится интерфейс операционной системы *Windows*;
- получить у инженера лаборатории электронный ключ ПО *VMM3D* (см. рисунок 4.7) и вставить его в *USB*-разъем системного блока ПК;

- на экране монитора ПК выбрать пиктограмму  и запустить ПО *VMM3D*;
- на экране монитора ПК появится интерфейс ПО *VMM3D* (см. рисунок И.1).

И.4.2 Порядок проведения измерений

И.4.2.1 Исходя из конструктивных особенностей объекта измерений выбрать наиболее подходящий режим освещения поверхности объекта и отрегулировать его величину по яркости видеоизображения, находящегося в окне 1 интерфейса ПО *VMM3D* (см. рисунок И.1):

- регулировки интенсивности освещения в режимах отраженной (28) и проходящей (29) подсветок находятся на передней панели микроскопа (см. рисунок 4.2);

- регулировка интенсивности освещения в режиме коаксиальной подсветки находится на блоке управления коаксиальной подсветкой (см. рисунок 4.3).

И.4.2.2 Выбрать кратность увеличения объектива 0,7, как на рисунке 4.5 б).

И.4.2.3 В окне 6 (см. рисунок И.1) нажатием левой кнопки манипулятора

выбрать инструмент «Шкалы». Нажмите кнопку , устанавливающую в ПО кратность увеличения объектива, равную 0,7 (рисунок И.2).

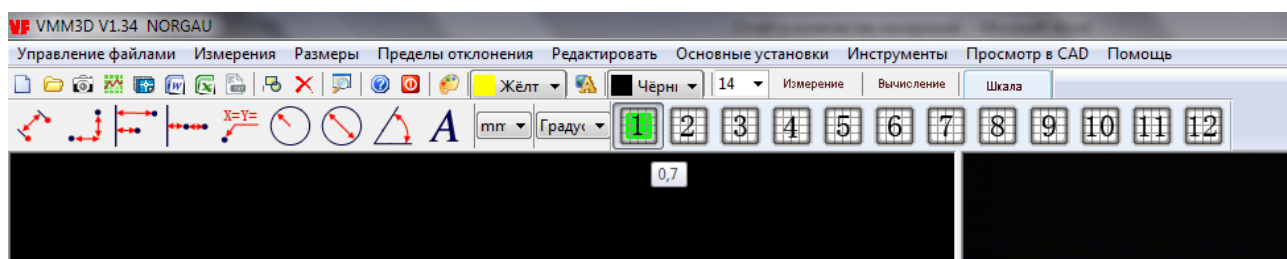


Рисунок И.2 – Инструмент «Шкалы» интерфейса ПО *VMM3D*

И.4.2.4 Вращением маховика оси Z (5) (см. рисунок 4.1) добиться четкого изображения измеряемого геометрического элемента объекта в окне 1 интерфейса ПО VMM3D (см. рисунок И.1).

И.4.2.5 В окне 6 (см. рисунок И.1) панели инструментов выбрать инструмент «Измерение». На экране появится панель инструментов измерений (рисунок И.3).

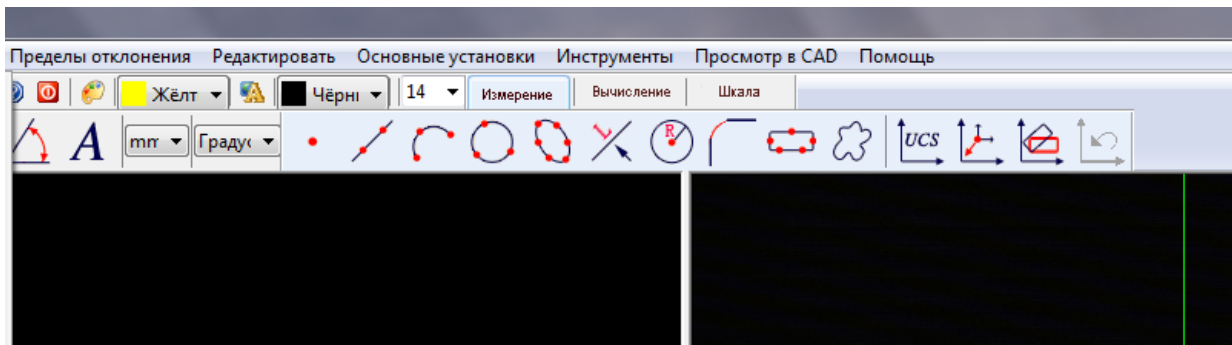


Рисунок И.3 – Инструмент «Измерение» интерфейса ПО VMM3D

Нажатием соответствующей кнопки панели инструментов «Измерение» и затем перемещением указателя манипулятора к цели на изображении объекта для захвата указанного на кнопке элемента можно измерить координаты:

-  – точки;
-  – линии, которая может быть задана по двум или более точкам;
-  – дуги, которая может быть задана по трем и более точкам;
-  – окружности – по трем или более точкам;
-  – эллипса – по трем или более точкам;
-  – сопряжения – по двум заданным линиям;
-  – прямоугольника – по базовой линии и трем точкам на остальных ребрах;
-  – кривой Безье – по одной точке в ручном режиме или по выделяемой прямоугольной области в автоматическом режиме.

На панели инструментов «Измерение» находятся команды, которые позволяют изменять систему координат:

-  – установить необходимую оператору систему координат (направление осей X и Y);
-  – переместить систему координат в указанную оператором точку;



-  – повернуть систему координат.

На панели инструментов «Измерение» находятся команды, которые позволяют использовать базовую линию или окружность:



-  – линия стандартной надписи позволяет устанавливать начало линии и в диалоговом окне, открытом ПО, вводить длину и угол ее наклона;



-  – позволяет назначать центр окружности и в диалоговом окне, открытом ПО, вводить ее радиус заданного размера.

И.4.2.5.1 Нажатием кнопки  ПО переходит в режим измерения параметров точки в двухмерной системе координат.

Методика измерения заключается в следующем. Переместить указатель манипулятора к интересующему элементу на изображении объекта измерений, щелкнуть левой кнопкой манипулятора для захвата точки. Для подтверждения и получения координат точки щелкнуть правой кнопкой манипулятора. Результаты измерений отображаются в окне 3 (см. рисунок И.1). После этого команда завершается.



И.4.2.5.2 Нажатием кнопки  ПО переходит в режим измерения параметров линии по двум или более заданным точкам в двухмерной системе координат.

Переместить указатель манипулятора к интересующему линейному элементу на изображении объекта измерений, щелкнуть левой кнопкой манипулятора для захвата первой точки.

Переместить указатель манипулятора вдоль объекта измерений, щелкнуть левой кнопкой манипулятора для захвата второй точки. Смещением указателя манипулятора перпендикулярно направлению линии выбрать прямоугольную область захвата на контрастной границе объекта (рисунок И.4, 1).

Для подтверждения выбранной области захвата нажать левую кнопку манипулятора, и в окне 1 (см. рисунок И.1) интерфейса ПО появится засвеченная прямоугольная область (рисунок И.5, 1).

Для построения линии на границе контрастной области нажать правую кнопку манипулятора. В окне 1 и 2 (см. рисунок И.1) ПО построит заданную линию, а в окне 3 (см. рисунок И.1) отобразит результаты измерений в системе координат X, Y (рисунок И.6). После этого команда завершается.

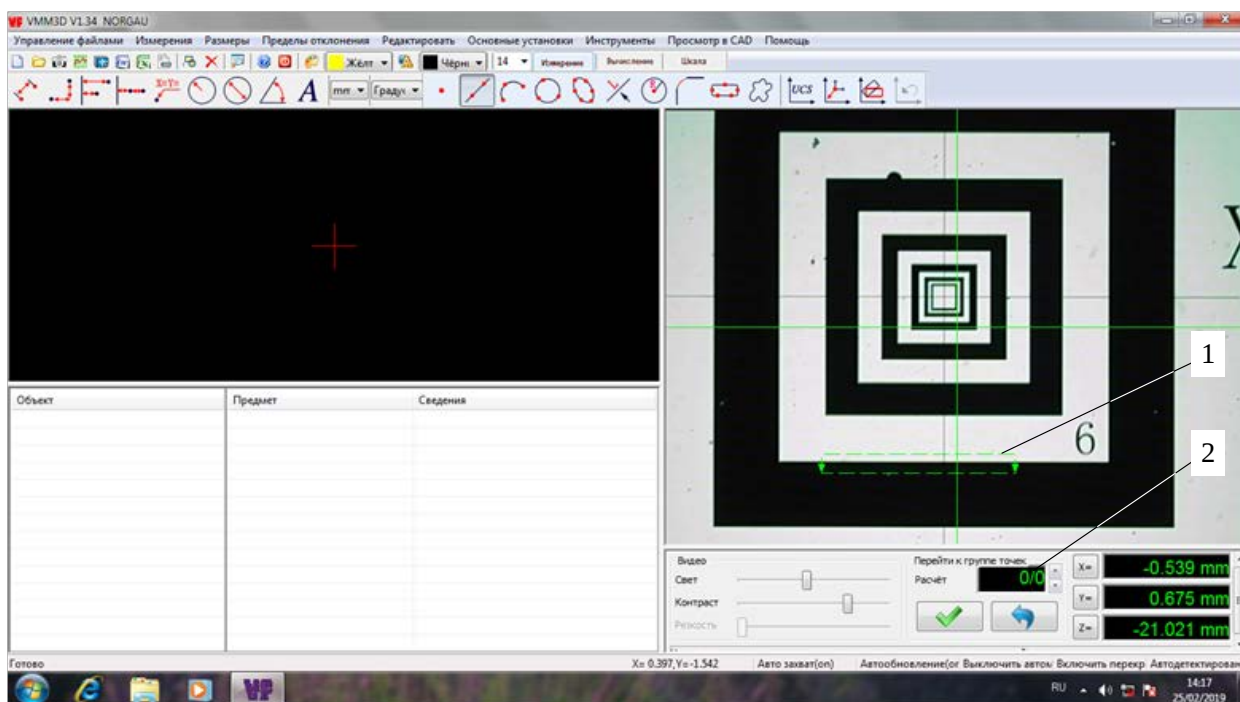
Количество точек для построения линии задается в поле управления выбором точек (рисунок И.4, 2). Для построения линии по умолчанию система выбирает минимальное количество точек, равное двум.



И.4.2.5.3 Нажатием кнопки  ПО переходит в режим измерения расстояния от точки до линии.

Задать в окне 1 интерфейса ПО линию по методике, описанной в подпункте И.4.2.5.2. Задать точку по методике, описанной в подпункте И.4.2.5.1.

Нажать правую кнопку манипулятора, чтобы ПО соединило перпендикуляром точку с заданной линией, в окнах 1 и 2 выполнило необходимые построения и в окне 3 (см. рисунок И.1) отобразило результаты измерений в системе координат X, Y. После этого команда завершается.



1 – прямоугольная область захвата; 2 – поле управления выбором точек

Рисунок И.4 – Захват границы контрастной области объекта в режиме измерения координат линии

И.4.2.5.4 Нажатием кнопки ПО переходит в режим измерения углов по двум заданным линиям (сторонам угла).

Задать в окне 1 (см. рисунок И.1) интерфейса ПО первую сторону угла линией по методике, описанной в подпункте И.4.2.5.2. Задать вторую сторону угла линией по методике, описанной в подпункте И.4.2.5.2. Нажать правую кнопку манипулятора, чтобы ПО в окнах 1 и 2 построило угол, а в окне 3 (см. рисунок И.1) отобразило результаты измерений в системе координат X, Y.



И.4.2.5.5 Нажатием кнопки ПО переходит в режим измерения параметров элементов в виде окружности объекта измерений по трем или более точкам.

Задать минимум три точки на окружности в соответствии с подпунктом И.4.2.5.1 таким образом, чтобы они разместились на дуге кривизной более 270°. Смещением указателя манипулятора внутрь или наружу окружности выбирается кольцеобразная область захвата на контрастной границе окружности (рисунок И.7).

Для подтверждения выбранной области захвата нажать левую кнопку манипулятора, чтобы в окне 1 и 2 интерфейса ПО построило заданную окружность, а в окне 3 (см. рисунок И.1) отобразило результаты измерений (рисунок И.8).

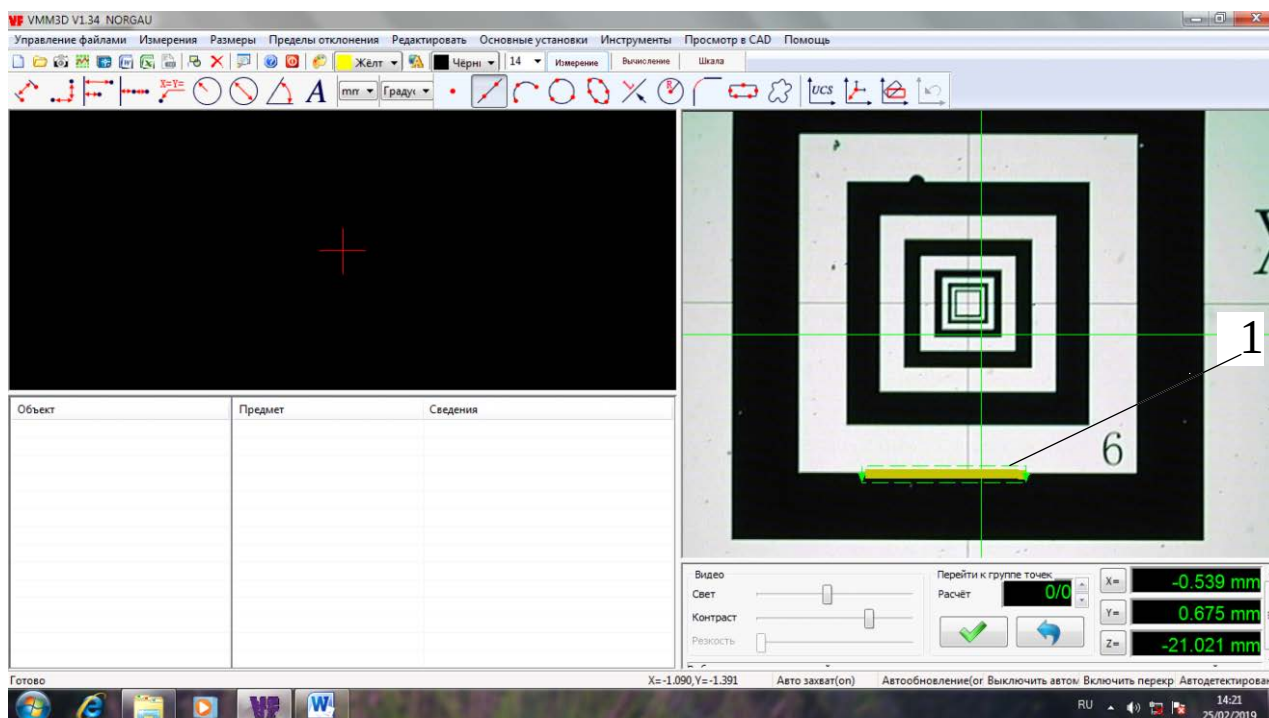


Рисунок И.5 – Засвеченная прямоугольная область в режиме измерения координат линии

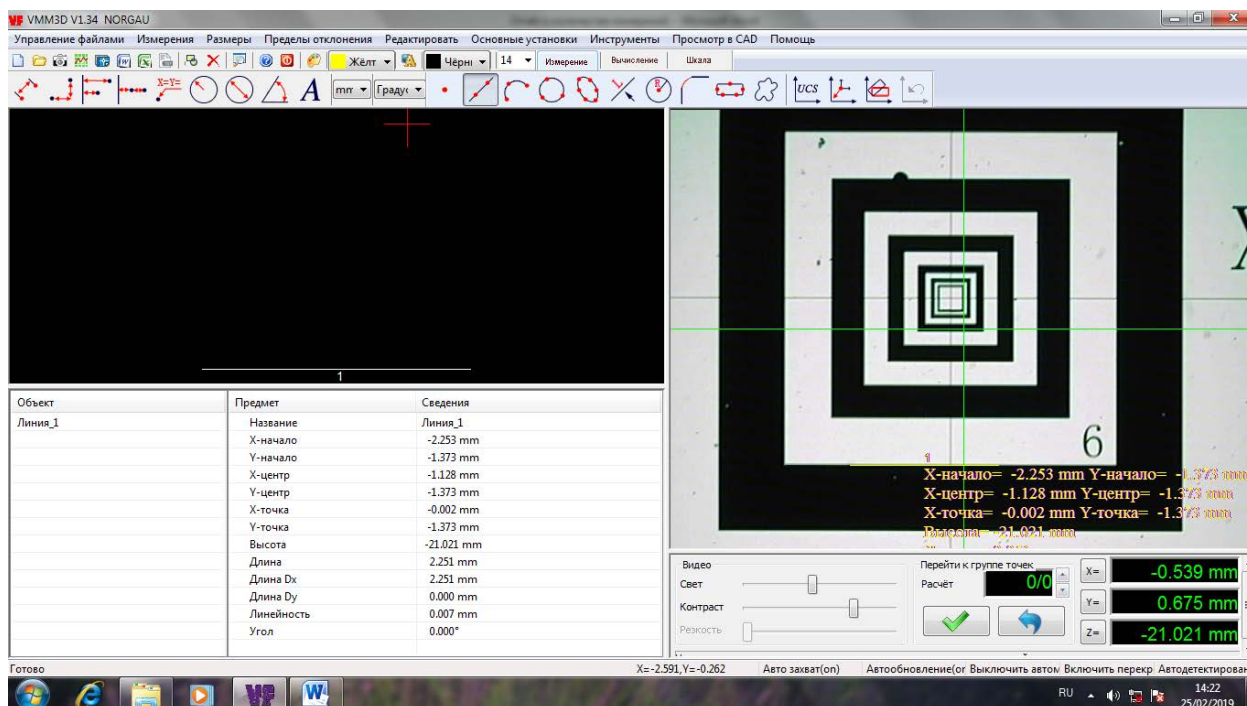


Рисунок И.6 – Отображение результатов в режиме измерения координат линии

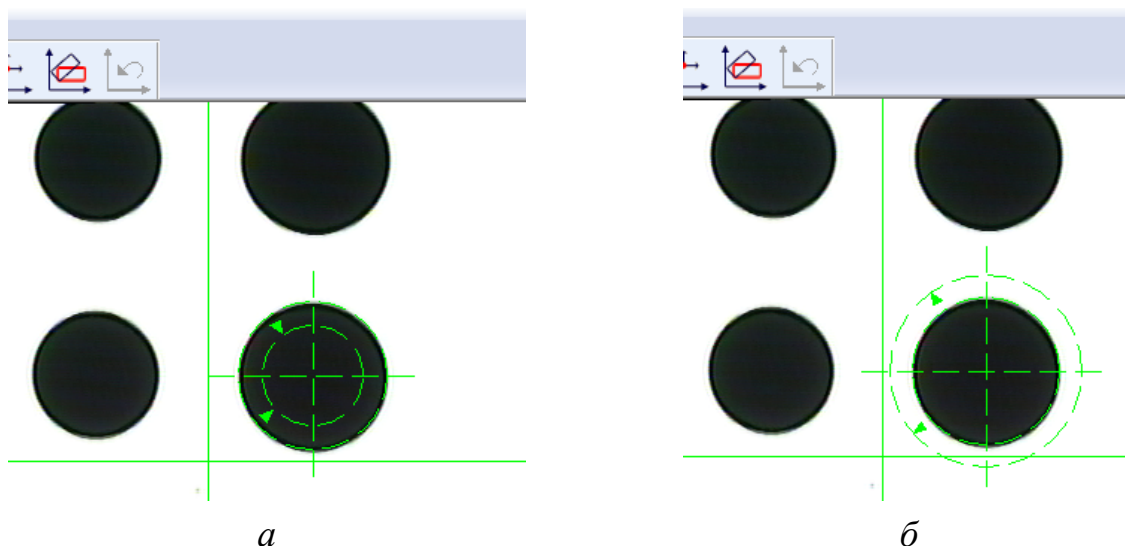


Рисунок И.7 – Кольцеобразная область захвата на контрастной границе окружности внутрь окружности (а); за границы окружности (б)

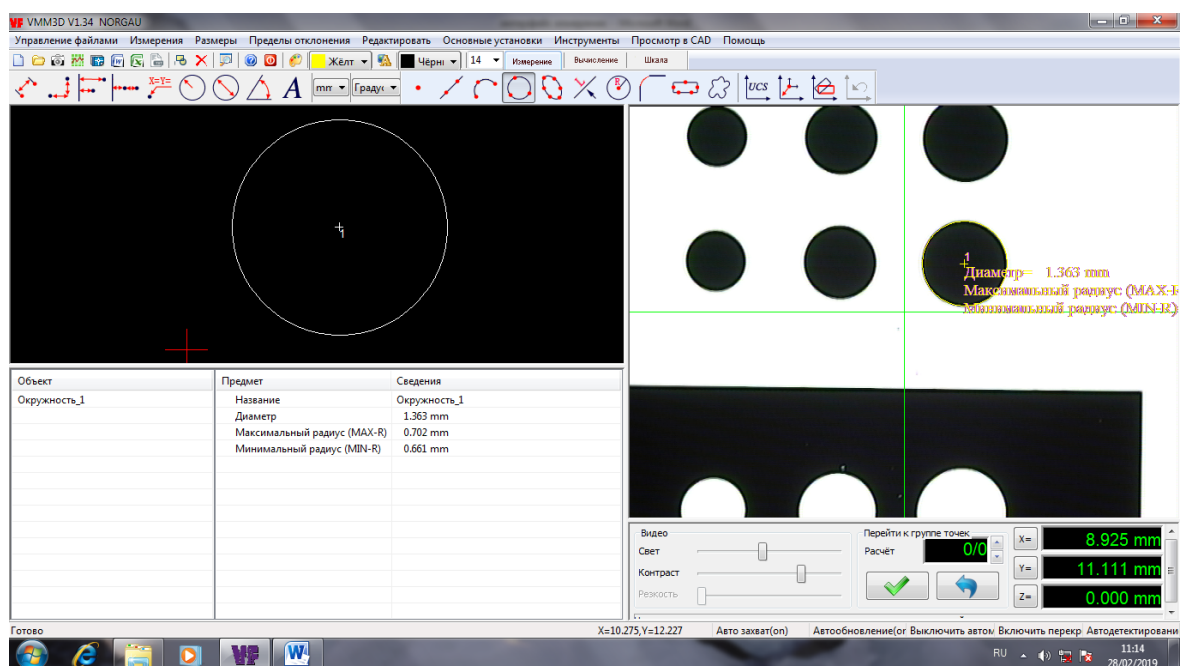


Рисунок И.8 – Результаты измерений в окнах 1, 2 и 3 интерфейса ПО в режиме измерения параметров окружности

И.4.2.5.6 Нажатием кнопки  ПО переходит в режим измерения параметров дугообразных элементов объекта измерений по трем или более точкам.

Задать минимум три точки на дуге в соответствии с подпунктом И.4.2.5.1. Смещением указателя манипулятора и нажатием левой кнопки манипулятора выбирается дугообразная область захвата на контрастной границе дуги (рисунок И.9).

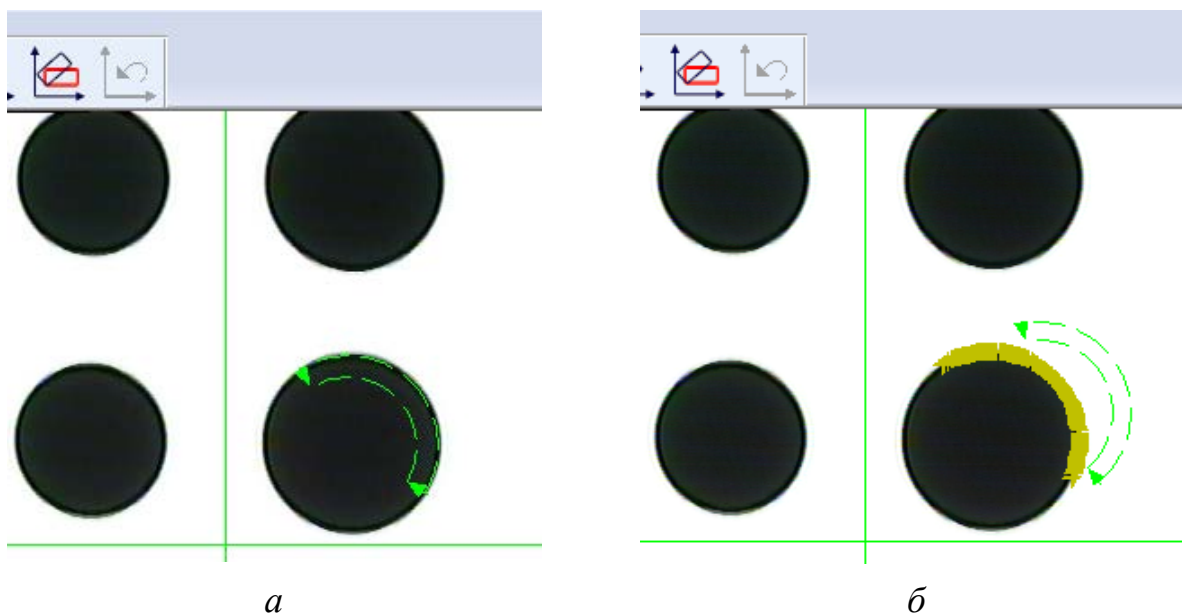


Рисунок И.9 – Режим измерения параметров дуги: смещение указателя манипулятора (*а*); засвеченная область захвата после нажатия левой кнопки манипулятора (*б*)

Для построения дуги на границе контрастной области нажать правую кнопку манипулятора. В окнах 1 и 2 ПО построит дугу, а в окне 3 (см. рисунок И.1) отобразит результаты измерений в системе координат X, Y (рисунок И.10). После этого команда завершается.

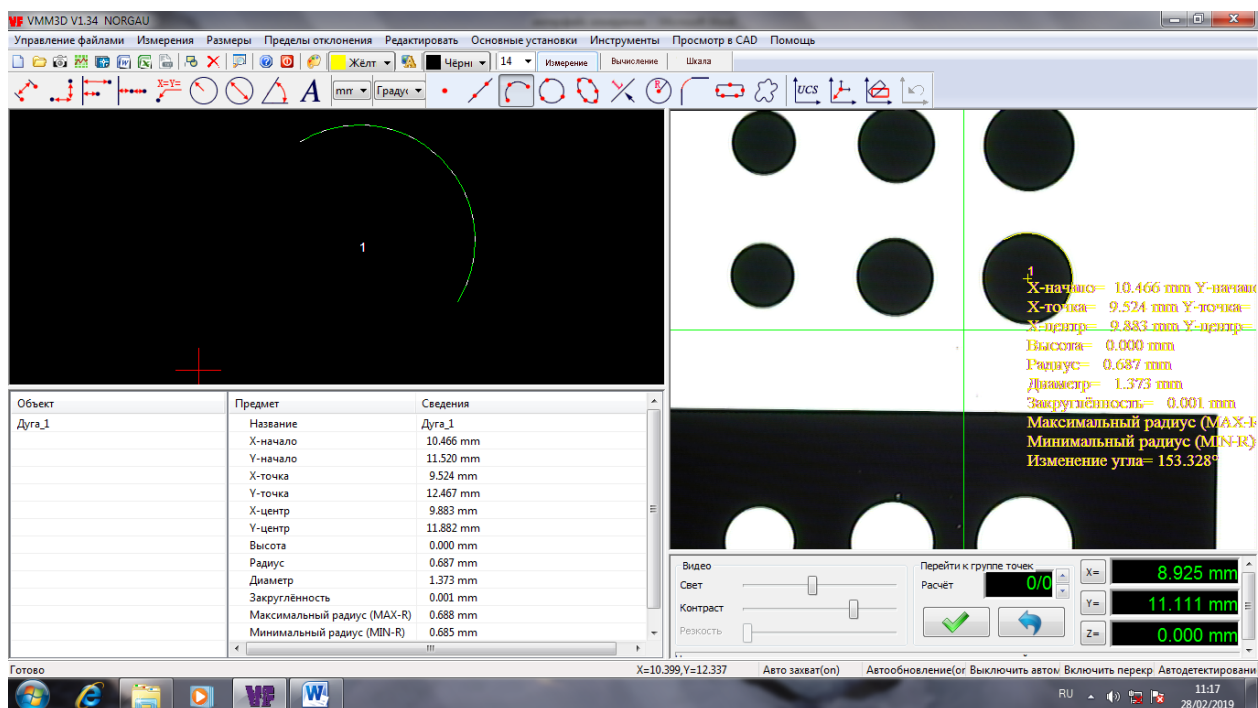


Рисунок И.10 – Результаты измерений в окнах 1, 2 и 3 интерфейса ПО в режиме измерения параметров дуги

И.4.2.6 В окне 6 панели инструментов интерфейса ПО (см. рисунок И.1) выбрать инструмент «Вычисление». На экране появится панель инструментов вычислений (рисунок И.11).

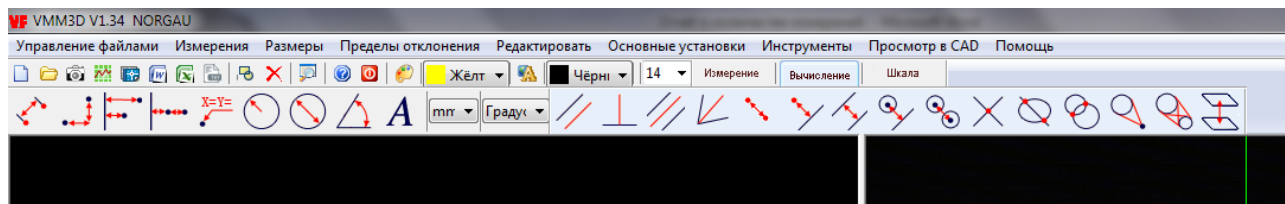


Рисунок И.11 – Инструмент «Вычисление» интерфейса ПО VMM3D

По результатам измерений, полученным в процессе применения инструмента «Измерение» (см. пункт И.4.2.5), ПО позволяет вычислить и автоматизировать некоторые измерительные операции. Для реализации инструмента «Вычисление» ПО осуществляет:

- автоматический захват координат измерительных точек и их передачу в ПК, который производит накопление данных о координатах точек и расчет параметров отдельных элементов (отрезков, прямых, окружностей) детали;
- расчет дополнительных параметров размерных элементов объекта (центров кривизны дуг, отверстий, точек пересечения, середины отрезков, углов и т. п.).

Первичный массив точек, полученный при захвате отдельных размерных элементов детали, привязан к заданной системе координат. На рисунке И.12 отдельные точки уже объединены по размерным элементам объекта. ПО полностью выполняет расчет геометрических параметров объекта по координатам точек. Если на дугах или окружностях взяты не три точки, а больше, то алгоритм усредняет конечный результат и тем самым повышается точность измерения.

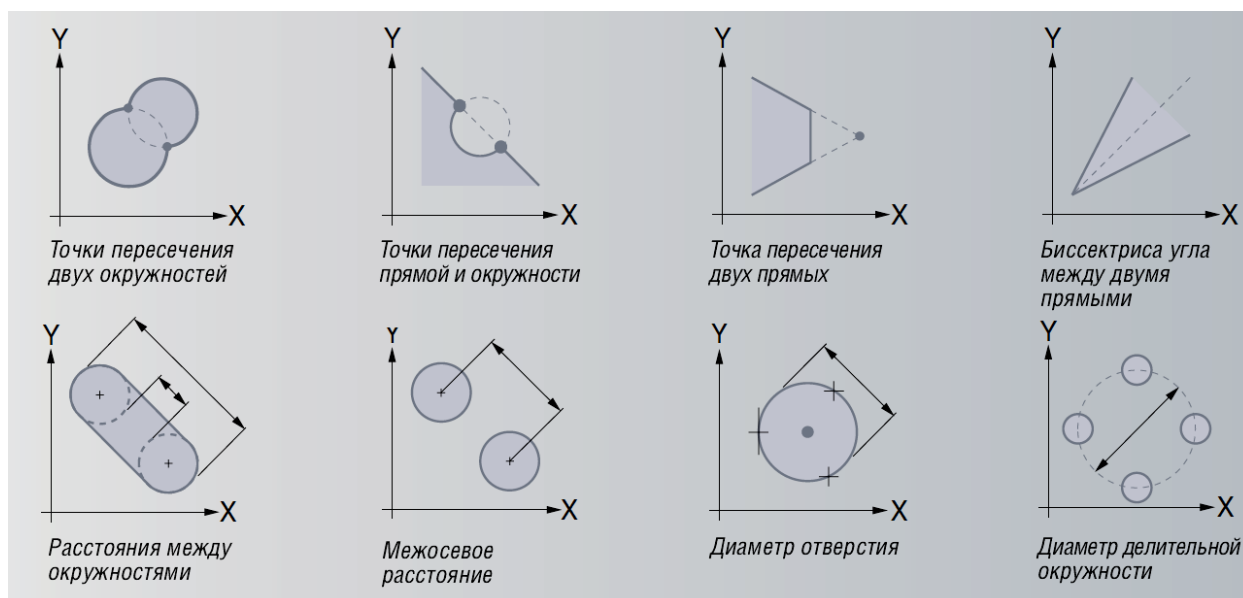


Рисунок И.12 – Некоторые размерные элементы в системе координат X, Y

Если на панели инструмента «Вычисление» нажать соответствующую кнопку и задать необходимые размерные элементы в окне 1 (см. рисунок И.1) интерфейса, а также переместить указатель манипулятора, то ПО по результатам измерений выполнит дополнительные вычисления (таблица И.1) с представлением результатов измерений в окне 3 интерфейса ПО VMM3D (см. рисунок И.1).

Таблица И.1 – Кнопки панели инструмента «Вычисление»

Вид кнопки	Назначение	Методика измерений
	Создание линии, параллельной базовой	Задать базовую линию в соответствии с подпунктом И.4.2.5.2. Навести указатель манипулятора на место, где должна быть вторая линия, и нажать его левую кнопку. ПО построит параллельную базовой линию и отобразит результаты измерений
	Создание линии, перпендикулярной базовой	Задать базовую линию в соответствии с подпунктом И.4.2.5.2. Навести указатель манипулятора в положение начала перпендикулярной линии, нажать его левую кнопку. Навести указатель манипулятора в конечное положение перпендикулярной линии, нажать его левую кнопку. ПО построит перпендикулярную линию и отобразит результаты измерений
	Создание средней линии, параллельной двум базовым	Задать базовую линию в соответствии с подпунктом И.4.2.5.2. Задать вторую базовую линию в соответствии с подпунктом И.4.2.5.2. ПО построит среднюю линию и отобразит результаты измерений
	Измерение расстояния между двумя точками	Задать первую точку в соответствии с подпунктом И.4.2.5.1. Задать вторую точку в соответствии с подпунктом И.4.2.5.1. Нажать правую кнопку манипулятора
	Измерение расстояния от точки до базовой линии	См. подпункт И.4.2.5.3

Продолжение таблицы И.1

Вид кнопки	Назначение	Методика измерений
	Измерение расстояния между двумя линиями	Задать первую линию в соответствии с подпунктом И.4.2.5.2. Задать вторую линию в соответствии с подпунктом И.4.2.5.2. Навести указатель манипулятора для выбора положения расстояния между линиями и нажать его левую кнопку. ПО начертит линию, соединяющую в этом месте две заданные линии. Навести указатель манипулятора на расположение этого размера и нажать его правую кнопку
	Измерение расстояния от центра окружности до линии	Задать базовую линию в соответствии с подпунктом И.4.2.5.2. Выбрать любую окружность или дугу в соответствии с подпунктом И.4.2.5.5 или И.4.2.5.6. ПО проведет перпендикуляр из центра окружности или дуги к базовой линии. Навести указатель манипулятора на расположение этого размера и нажать правую его кнопку
	Измерение расстояния между центрами окружностей	Выбрать окружность или дугу в соответствии с подпунктом И.4.2.5.5 или И.4.2.5.6. Выбрать другую окружность или дугу в соответствии с подпунктом И.4.2.5.5 или И.4.2.5.6. ПО соединит центры окружностей. Навести указатель манипулятора на расположение этого размера и нажать его правую кнопку
	Определение координат пересечения двух линий	Задать первую линию в соответствии с подпунктом И.4.2.5.2. Задать вторую линию в соответствии с подпунктом И.4.2.5.2. ПО выполнит построение пересечения двух линий и отобразит координаты точки их пересечения
	Определение координат двух точек пересечения линии с окружностью	Выбрать окружность или дугу в соответствии с подпунктом И.4.2.5.5 или И.4.2.5.6. Задать линию в соответствии с подпунктом И.4.2.5.2. ПО выполнит построение пересечения линии с окружностью и отобразит координаты

Продолжение таблицы И.1

Вид кнопки	Назначение	Методика измерений
	Определение координат точек пересечения окружности с окружностью	Выбрать окружность или дугу в соответствии с подпунктом И.4.2.5.5 или И.4.2.5.6. Выбрать вторую окружность или дугу в соответствии с подпунктом И.4.2.5.5 или И.4.2.5.6. ПО выполнит построение пересечений двух окружностей и отобразит координаты этих пересечений
	Построение касательных из заданной точки к заданной окружности	Задать точку в соответствии с подпунктом И.4.2.5.1. Выбрать окружность в соответствии с подпунктом И.4.2.5.5. ПО выполнит построение касательных из заданной точки к окружности и отобразит координаты точек касания
	Построение касательных к двум выбранным окружностям	Выбрать окружность или дугу в соответствии с подпунктом И.4.2.5.5 или И.4.2.5.6. Выбрать вторую окружность или дугу в соответствии с подпунктом И.4.2.5.5 или И.4.2.5.6. ПО выполнит построение касательных и отобразит координаты точек касания
	Вычисление значения угла между двумя заданными линиями	См. подпункт И.4.2.5.4
	Создание размерного элемента, соединяющего две любые точки	Задать начальную точку в соответствии с подпунктом И.4.2.5.1. Задать конечную точку в соответствии с подпунктом И.4.2.5.1. Нажать правую кнопку манипулятора
	Вычисление расстояния между двумя точками по линиям, параллельным осям X и Y	Задать начальную точку в соответствии с подпунктом И.4.2.5.1. Задать конечную точку в соответствии с подпунктом И.4.2.5.1. Переместить манипулятор вдоль оси X или Y для создания размера. Нажать правую кнопку манипулятора

Продолжение таблицы И.1

Вид кнопки	Назначение	Методика измерений
	Задание линии в качестве базовой для измерения расстояний до нее от разных точек	Задать базовую линию в соответствии с подпунктом И.4.2.5.2. Переместить манипулятор и нажать его правую кнопку для выбора точки. Переместить манипулятор и нажать его правую кнопку для выбора другой точки и т. д.
	Задание линии в качестве базовой для измерения расстояния до нее от точки с последующим копированием в эту точку базовой линии с целью дальнейшего задания новой точки и измерения расстояния до новой базовой линии	Задать базовую линию в соответствии с подпунктом И.4.2.5.2. Переместить манипулятор и нажать его правую кнопку для выбора точки. Переместить манипулятор и нажать его правую кнопку для выбора новой точки и т. д.
	Определение координат точки в системе X, Y	Задать точку в соответствии с подпунктом И.4.2.5.1. Переместить указатель манипулятора для задания положения выносной линии и нажать его правую кнопку
	Измерение радиуса окружности или дуги	Выбрать любую окружность или дугу в соответствии с подпунктом И.4.2.5.5 или И.4.2.5.6. Переместить указатель манипулятора для задания положения радиуса и нажать его правую кнопку
	Измерение диаметра окружности или дуги	Выбрать любую окружность или дугу в соответствии с подпунктом И.4.2.5.5 или И.4.2.5.6. Переместить указатель манипулятора для задания положения диаметра и нажать его правую кнопку
	Введение текста и результата измерений с выносной линией в любое место изображения	Ввести текст в диалоговом окне и нажать «ОК» для завершения ввода. Переместить указатель манипулятора к месту расположения текста и нажать его правую кнопку. Переместить указатель манипулятора к месту расположения указывающей стрелки и нажать его правую кнопку

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 О единицах величин, допущенных к применению в Республике Беларусь [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 24 нояб. 2020 г. № 673. – 2025. – Режим доступа: <http://www.government.by/ru/solutions/3886>.
- 2 ГОСТ 22261–94. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия. – Введ. 1996–01–01. – М. : МГС, 1996.
- 3 ГОСТ 8.401–80. ГСОЕИ. Классы точности средств измерений. Общие требования. – Введ. 1981–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 1980.
- 4 ГОСТ 30012.1–2002 (МЭК 60051-1-97). Приборы аналоговые электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 1. Определения и основные требования, общие для всех частей. – Введ. 2003–01–01. – Минск : ИПК Изд-во стандартов, 2003.
- 5 ГОСТ 5365–83. Приборы электроизмерительные. Циферблаты и шкалы. Общие технические требования. – Введ. 1984–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 1998.
- 6 ГОСТ 8032–84. Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел. – Введ. 1985–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 1987.
- 7 ГОСТ 25346–2013. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки. – Введ. 2016–08–01. – М. : Стандартиформ, 2014.
- 8 ГОСТ 31254–2004 (ИСО 14660-1:1999, ИСО 14660-2:1999). Основные нормы взаимозаменяемости. Геометрические элементы. Общие термины и определения. – Введ. 2006–02–01. – М. : Стандартиформ, 2005.
- 9 ГОСТ 25347–2013 (ISO 286-2:2010). Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Ряды допусков, предельные отклонения отверстий и валов. – Введ. 2016–08–01. – М. : Стандартиформ, 2014.
- 10 ГОСТ 8908–81. Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные углы и допуски углов. – Введ. 1982–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 2002.
- 11 ГОСТ 30893.1–2002 (ИСО 2768-1-89). Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками. – Введ. 2004–10–01. – Минск : МГС, 2003.
- 12 ГОСТ 166-89 (ИСО 3599-76). Штангенциркули. Технические условия. – Введ. 1991–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 2003.
- 13 ГОСТ 6507–90. Микрометры. Технические условия. – Введ. 1991–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 2004.
- 14 ГОСТ 10–88. Нутромеры микрометрические. Технические условия. – Введ. 1990–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1989.
- 15 ГОСТ 7470–92. Глубиномеры микрометрические. Технические условия. – Введ. 1993–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1992.

16 ГОСТ 162–90. Штангенглубиномеры. Технические условия. – Введ. 1991–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 2001.

17 ГОСТ 166–89 (ИСО 3599–79). Штангенциркули. Технические условия. – Введ. 1991–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 2003.

18 ГОСТ 8.051–81. Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм. – Введ. 1982–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1987.

19 ГОСТ 3074-82. Микроскопы инструментальные. Типы, основные параметры и размеры. Технические требования. – Введ. 1984–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1986.

20 ГОСТ 8.207–76. ГСОЕИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. – Введ. 1977–01–01. – М. : Стандартиформ, 2008.

21 ГОСТ 28884–90 (МЭК 63–63). Ряды предпочтительных значений для резисторов и конденсаторов. – Введ. 1992–01–01. – М. : Стандартиформ, 2006.

22 Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <http://www.gosstandart.gov.by>.

23 Национальный фонд технических нормативных правовых актов Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <http://www.tnpra.by>.

24 Гуревич, В. Л. Основы стандартизации : метод. пособие. В 2 ч. Ч. 2 / В. Л. Гуревич, Ю. А. Гусынина. – Минск : БГУИР, 2010. – 98 с.

Учебное издание

Гусынина Юлия Анатольевна

**ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ
И СТАНДАРТИЗАЦИЯ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *А. Ю. Шурко*

Корректор *Е. Н. Батурчик*

Компьютерная правка, оригинал-макет *В. А. Долгая*

Подписано в печать 05.09.2025. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 6,28. Уч.-изд. л. 6,7. Тираж 40 экз. Заказ 88.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,

№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.

Ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск