

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра автоматизации производственных процессов

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ В
МАШИНОСТРОЕНИИ**

Методические указания к лабораторной работе
по курсам «Метрология, стандартизация и сертификация», «Метрология и
измерительная техника», «Метрология» для студентов очной и заочной форм
обучения направлений 27.03.04 «Управление в технических системах», 15.03.04
«Автоматизация технологических процессов и производств», 13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»

Курган 2017

Кафедра автоматизации производственных процессов.

Дисциплина: «Метрология, стандартизация и сертификация»,

«Метрология и измерительная техника»,

«Метрология».

Составила: канд. техн. наук О.В. Дмитриева.

Утверждено на заседании кафедры «31» августа 2017 г.

Рекомендовано методическим советом университета «12» декабря 2016 г.

Содержание

Введение	4
1. Механические средства измерения длины	6
2. Оптико-механические средства измерения длины	13
3. Автоматизация координатных измерений.....	18
4. Порядок выполнения работы	23
5. Контрольные вопросы.....	23
Список использованной литературы.....	23
Приложения.....	24

ВВЕДЕНИЕ

Качества изделий машиностроения, микроэлектроники, оптоэлектроники и вычислительной техники определяется соблюдением заданных размеров, соответствием заданной форме и качеству поверхности. Соответствие размеров изделий требованиям конструкторской документации контролируется средствами измерения геометрических величин. К измерениям геометрических величин принято относить измерения длин и углов, отклонений размеров, формы и расположения поверхностей, параметров конусов, резьбы и зубчатых колес.

К измерениям отклонений формы и расположения поверхностей относятся измерения параметров шероховатости, отклонений от перпендикулярности и параллельности, измерения биений и т.п. Наибольшее число в линейно-угловых измерениях приходится на измерения длины. Диапазон измерений от долей микрометра (при измерении параметров шероховатости поверхности) до сотен миллиметров при измерении габаритов деталей в машиностроении.

Линейные и угловые измерения проводятся в соответствии с методикой измерений, изложенной в нормативном документе (методика измерений) МИ 88-76. Методика применения ГОСТ 8.050-73 Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений.

ГОСТ 8.050-73. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений устанавливает требования к нормальным условиям выполнения линейных измерений в пределах от 1 до 500 мм и измерений углов с длиной меньшей стороны до 500 мм. Требования, установленные стандартом, рекомендуются для применения при проектировании, разработке и выполнении процессов измерения объектов, не имеющих внутренних источников тепла. Для избегания дополнительных погрешностей, вызываемых условиями измерений, в соответствии с вышеупомянутым ГОСТом установлены следующие

нормальные значения основных влияющих величин:

1. Температура окружающей среды 20 °С (по ГОСТ 9249-59).
2. Атмосферное давление 101325 Па (760 мм рт. ст.).
3. Относительная влажность окружающего воздуха 58 % (нормальное парциальное давление водяных паров 1333 Па).
4. Ускорение свободного падения (ускорение силы тяжести) 9,8 м/с².
5. Направление линии и плоскости измерения линейных размеров - горизонтальное (90° от направления силы тяжести).
6. Положение плоскости измерения углов - горизонтальное (90° от направления силы тяжести).
7. Относительная скорость движения внешней среды равна нулю.
8. Значения внешних сил, кроме силы тяжести, атмосферного давления, действия магнитного поля Земли и сил сцепления элементов измерительной системы (установки), равны нулю.

Стандартом также установлено, что результаты измерений для сопоставимости должны приводиться к указанным нормальным значениям влияющих величин. Пределы допускаемых отклонений от нормальных условий измерения нормированы в стандартах для различных видов измерений. Для обеспечения точности линейных и угловых измерений важно поддержание стабильной нормальной температуры в зоне измерения. Рекомендуется, чтобы измеряемые изделия выдерживали при нормальной температуре от 2 до 36 ч в зависимости от их массы и допусков на линейные размеры, а средства измерений должны находиться в условиях измерений не менее 24 ч до начала измерений.

Оборудование, используемое при проведении лабораторной работы: штангенциркуль, микрометр, плоскопараллельные концевые меры длины, контрольно-измерительная машина (ознакомительно) образцы для измерений.

Цель работы: ознакомиться с различными методами точных измерений угловых и линейных величин и оценить точность этих измерений.

1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ

Измерение геометрических размеров, формы и показателей качества поверхности осуществляется с помощью механических и оптико-механических средств линейных и угловых измерений. Дальнейшее изложение теоретического материала в данных методических указаниях приведено по материалам учебника [1].

К механическим средствам измерения длины общего назначения относятся штангенприборы, штриховые и концевые меры длины, микрометрические приборы и измерительные головки. Выбор способа определения длины определяется необходимой степенью точности и условиями эксперимента.

Штриховыми мерами длины называются меры, у которых размер, выраженный в единицах длины, определяется расстоянием между осями двух соответствующих штрихов. Штриховыми мерами являются измерительные линейки, рулетки, брусковые штриховые меры. Для непосредственного измерения длины широко применяется масштабная линейка с сантиметровыми и миллиметровыми делениями.

Ценой деления любого прибора называется длина наименьшего деления. Для масштабной линейки она обычно составляет 1 мм. При измерении максимальная ошибка не превосходит половины цены деления шкалы, поэтому точность измерения масштабной линейкой не превышает, таким образом, половины цены деления, т.е. 0,5 мм.

Брусковые штриховые меры длины представляют собой металлические или стеклянные бруски различного сечения, с нанесенными на них штрихами или шкалами. Эти меры применяются как для непосредственного измерения линейных размеров, так и в качестве шкал приборов и станков.

Основные типы, параметры и размеры брусковых штриховых мер стандартизованы. Промышленностью выпускаются брусковые меры с номинальной длиной 60... 2000 мм. Допускаемые отклонения от номинальной

длины нормируются шестью классами точности, обозначаемыми условно цифрами от 0 до 5. Наименьшая цена деления брусковых мер длины 0,01 мм.

Плоскопараллельные концевые меры длины (ПКМД) воспроизводят единицу длины одного фиксированного размера и выполняются в виде прямоугольного параллелепипеда из стали или твердого сплава с двумя взаимно параллельными измерительными поверхностями. Расстояние между измерительными поверхностями определено с высокой точностью и известно (рис.1).

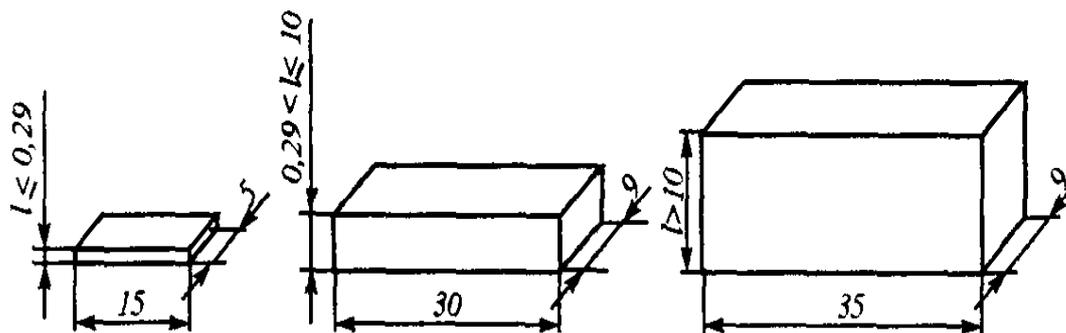


Рис.1. Плоскопараллельные концевые меры длины

Измерительные поверхности отличаются от других поверхностей меры малой шероховатостью, благодаря чему ПКМД обладают свойством притираемости, т.е. способностью измерительной поверхности одной меры плотно сцепляться с измерительной поверхностью другой меры. Притираемость обусловлена силами молекулярного взаимодействия поверхностей.

ПКМД выпускаются в наборах с числом мер разного номинала от 10 до 112. Номинальные значения мер стандартизованы, поэтому притираемость мер позволяет собрать из них блок необходимой длины (от 0,1 до 1000 мм). В зависимости от точности изготовления ПКМД относят к классам точности 00;01;0;1;2;3.

Перед притиркой, выбранные для составления блока меры, очищают от смазки, промывают бензином и вытирают насухо чистой салфеткой. После этого прикасаться руками к измерительной поверхности нельзя.

Подготовленные таким образом меры притирают путем прикладывания или надвигания одной меры на другую. Для удобства пользования мерами, к наборам ПКМД поставляются наборы принадлежностей.

Если необходимо произвести измерения с большей точностью, пользуются приборами, снабженными нониусами. Точность приборов в этом случае $0,1 \dots 0,01$ основного деления.

Средства линейных измерений, объединенные общим принципом построения отсчетных устройств, основанным на применении линейного нониуса называют штангенприборами. В зависимости от назначения различают штангенциркули, штангенглубиномеры, штангенрейсмасы.

Штангенциркуль - универсальное средство измерения длины, диаметров валов и отверстий, глубины отверстий и расстояний между центрами отверстий.

Принцип построения нониуса заключается в совмещении соответствующих штрихов двух линейных шкал, интервалы деления которых отличаются на определенную величину. В общем случае штангенциркуль (рис.2) состоит из штанги 1 с неподвижной измерительной губкой и рамки 2, перемещающейся по штанге, с другой измерительной губкой.

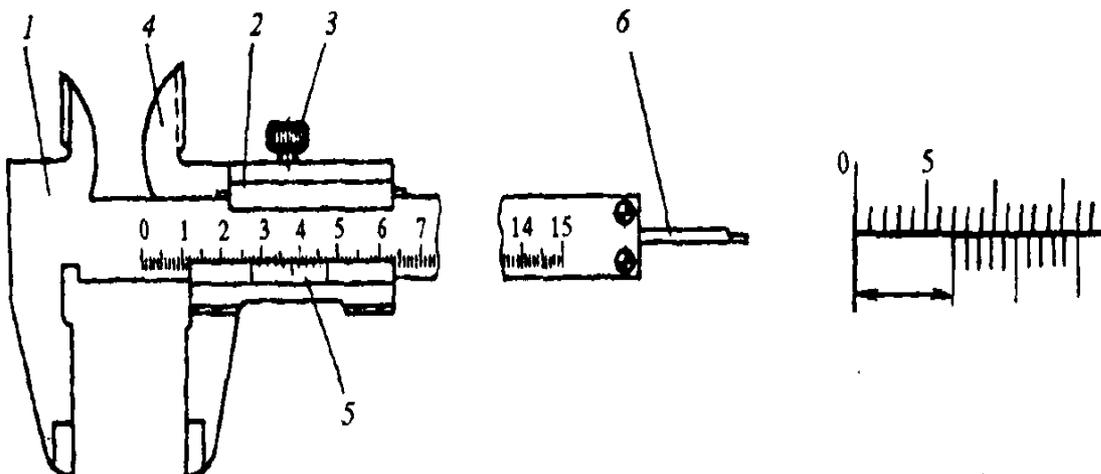


Рис.2. Штангенциркуль

На штанге нанесена шкала с ценой деления 1 мм. На скосе рамки нанесена вспомогательная шкала 5, называемая нониусом, с ценой деления 0,9

мм, по которой отсчитываются дробные доли миллиметра. Нониусом называется небольшая дополнительная шкала к обычному масштабу, позволяющая увеличить точность в 10...20 раз.

При совмещении нулевой отметки шкалы нониуса с нулевой отметкой шкалы штанги, первая за нулевой отметка шкалы нониуса оказывается смещенной относительно первой отметки шкалы штанги на 0,1 мм; соответственно вторая отметка шкалы нониуса будет смещена на 0,2 мм, а десятая на 1 мм, т.е. последняя отметка шкалы нониуса точно совпадает с отметкой 0,9 мм на шкале штанги.

Если при измерении размера шкала нониуса располагается так, что одна из отметок нониуса (не нулевая) совпадает с какой-либо отметкой шкалы штанги (не нулевой), то результат измерения определяется как сумма отсчетов по шкале штанги и произведения разности цены деления шкал штанги и нониуса на номер деления шкалы штанги, с которым совпала отметка нониуса. Так, измеренное значение на рис.2. будет равно $l = 7 + 0,1 \cdot 1 = 7,1$ мм. Таким образом, с помощью нониуса можно произвести отсчет размера с точностью до 0,1 мм. В штангенприборах часто применяется растянутый нониус, обеспечивающий отсчет размера до 0,05 мм.

В некоторых современных моделях штангенприборов вместо нониуса применяются индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Штангенглубиномер предназначен для измерения глубины отверстий, пазов и т.п.

Штангенрейсмасс - средство измерения высотных размеров изделий.

Микрометрические приборы (микрометры, микрометрические глубиномеры, микрометрические нутромеры) являются более точными, чем штангенприборы, и применяются для измерения малых размеров (толщины; радиусов проволоки и т. д.). Точность измерения с помощью микрометра 0,01...0,005 мм.

Принцип действия микрометрических приборов основан на преобразовании вращательного движения точного микрометрического винта,

установленного в неподвижную гайку, в его поступательное движение вдоль оси. Большинство микрометрических приборов имеет винт с шагом 0,5 мм, поэтому поворот винта в гайке на 360° приводит к его перемещению вдоль оси на 0,5 мм.

Микрометр (рис.3) состоит из скобы 1, с одной стороны которой запрессована неподвижная пятка 2, а с другой укреплена микрометрическая головка, состоящая из стебля 5, барабана 6 в сборе с микровинтом 3 и механизмом трещотки 7. При вращении барабана стебель совершает поступательное движение и приводится в контакт с измеряемым объектом. Механизм трещотки обеспечивает при этом постоянство измерительного усилия. Винт 4 фиксирует положение микровинта. Перемещение микровинта отсчитывается по двум шкалам: одной, нанесенной по длине стебля, и второй, нанесенной по окружности барабана. Деления на стебле нанесены через 0,5 мм, а на шкале барабана имеется 50 отметок. Таким образом, одно деление шкалы барабана соответствует перемещению микровинта на $0,5/50 = 0,01$ мм.

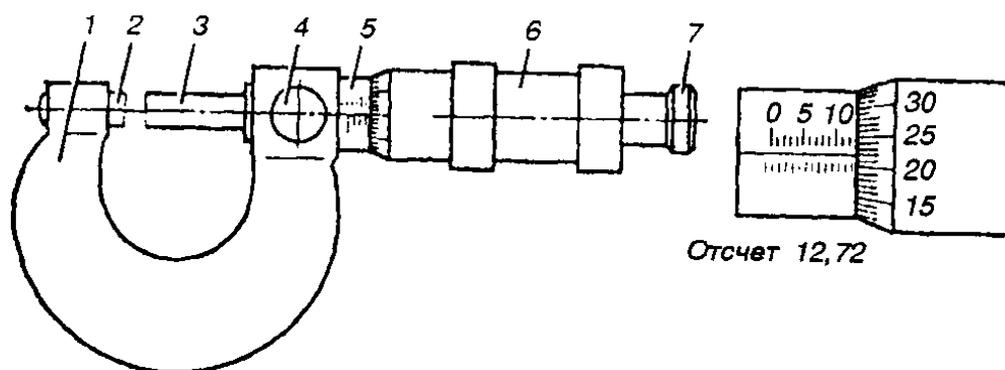


Рис.3. Микрометр

Для микрометрических приборов установлены два класса точности (1 и 2). Предельно допустимая погрешность микрометрических приборов зависит от диапазона измерения. Так, для микрометров с пределами измерения 0...25 мм, класса точности 1, погрешность прибора не превышает $\pm 0,002$ мм, а у микрометров для измерения длин в диапазоне 400...00 мм, не превосходит $\pm 0,005$ мм.

Для измерений линейных размеров прецизионных деталей микроэлектроники и точного приборостроения выпускается настольный микрометр с цифровым электронным отсчетом, обеспечивающий измерения размеров в диапазоне 0.. 10 мм с погрешностью не более $\pm 0,002$ мм.

Индикаторы часового типа (рис.4) с ценой деления 0,01 мм являются наиболее распространенными измерительными головками. Они предназначены для работы в цеховых условиях при выполнении измерительных и контрольных операций. Принцип действия индикатора основан на преобразовании с помощью рычажно-зубчатой передачи линейных перемещений измерительного стержня в угловое перемещение стрелок. Лицевую сторону индикатора образует круговая шкала, на которой нанесено 100 делений с ценой деления 0,01 мм и малая шкала с ценой деления 1 мм. Передаточное отношение рычажно-зубчатой передачи подобрано так, что перемещение измерительного стержня на 1 мм вызывает поворот малой стрелки на одно деление. Таким образом, при измерении отсчет по малой шкале дает перемещение измерительного стержня в миллиметрах, а сотые доли миллиметра отсчитываются по большой шкале.

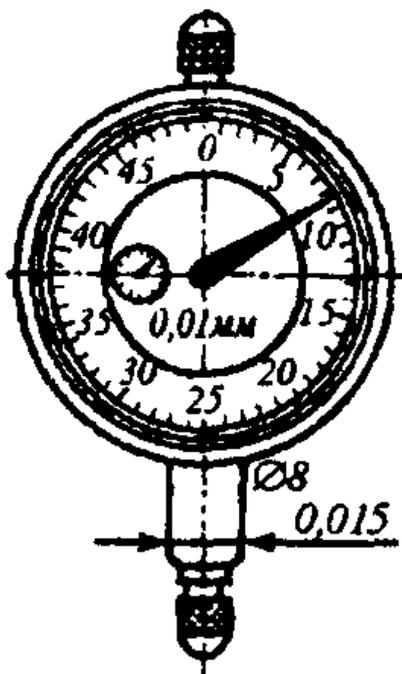


Рис.4. Индикатор часового типа

Пределы измерения индикаторов определяются ходом измерительного стержня. Выпускаются индикаторы часового типа с пределами измерения от 0... 2 мм до 0... 25 мм. Допускаемая погрешность индикаторов нормирована двумя классами точности (0 и 1). Погрешность индикатора класса точности 0 с пределами измерения 0... 2 мм не превосходит ± 10 мкм, а индикатора того же класса с пределами измерения 0... 25 мм - не превышает ± 22 мкм.

Для закрепления индикаторов и установки измеряемых изделий поставляются вспомогательные приспособления: стойки, штативы, кронштейны. Для повышения точности измерения применяют многооборотные индикаторы, измерительный механизм которых обеспечивает получение цены деления 0,001 и 0,002 мм.

Наивысшую, среди механических средств измерения геометрических размеров, точность обеспечивают пружинные измерительные головки. Эти головки не содержат кинематических пар с внешним трением; в качестве же передаточного механизма от измерительного стержня к стрелке используется закрученная в разные стороны металлическая лента или пружина. К пружинным измерительным головкам относятся микрокаторы, микаторы, миникаторы и оптикаторы. Допускаемая погрешность этих приборов оценивается величинами порядка десятых долей микрометра. Подробные сведения о механических средствах измерения можно найти в соответствующих стандартах и справочниках.

2. ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ

Для измерения размеров очень малых тел, неразличимых невооруженным глазом, используются оптические приборы. Они снабжены шкалами так, что с их помощью можно измерять размеры с точностью до 0,001...0,0001 мм. Еще более точны интерференционные методы и метод электронного микроскопа, где точность достигает 10^{-8} мм. Наоборот, для измерения больших расстояний (например, дальности до цели в военном деле) применяются локационные методы. Познакомимся с некоторыми из перечисленных методов измерений.

Оптико-механическими называют средства измерения геометрических размеров, действие которых основано на использовании законов геометрической оптики (измерительные микроскопы, оптиметры) или явлений интерференции когерентных пучков света (интерференционные микроскопы, компараторы).

Распространенными приборами для линейных и угловых измерений в микроэлектронике и смежных отраслях являются измерительные проекторы и измерительные микроскопы.

Измерительные проекторы предназначены для проецирования теневого изображения (контура) изделий на экран и измерения их линейных и угловых размеров путем непосредственного сравнения теневого изображения с чертежом (исполненным в соответствующем масштабе) или вычерченным контуром изделия. Выпускаются проекторы с несколькими размерами экранов (от 250x250 мм, до 600x700 мм).

Стол проектора, на котором устанавливается изделие, имеет возможность перемещаться в продольном, поперечном направлениях и по вертикали. Перемещение стола отсчитывается по соответствующим шкалам с ценой деления 0,01...0,002 мм. Погрешность при измерении длин с помощью проектора не превышает $\pm(0,003...0,005)$ мм.

Некоторые типы современных проекторов снабжаются устройствами цифрового отсчета перемещения измерительного стола.

Измерительные микроскопы предназначены для измерений длин и углов различных деталей сложной формы в прямоугольной и полярной системах координат. Различают несколько типов микроскопов: малый микроскоп инструментальный; большой микроскоп инструментальный, а также универсальные микроскопы. Несмотря на конструктивные различия, принципиальная схема измерения во всех микроскопах общая - визирование различных точек деталей, перемещаемых для этого по взаимно перпендикулярным направлениям и измерение этих перемещений посредством микрометрических или иных отсчетных устройств. Для обеспечения лучшего визирования микроскопы снабжают сменными объективами различной степени увеличения.

Измерительный микроскоп состоит из основания, на котором укреплены две меры длины вдоль двух взаимно перпендикулярных осей координат, стола для закрепления измеряемого изделия и визирного микроскопа.

Измеряемое изделие устанавливается на столе микроскопа. Точки отсчета определяются по показаниям визирного микроскопа. При визировании ось микроскопа совмещается со штрихами на изделии или с его краями. Для этого перемещают стол с изделием или сам микроскоп относительно изделия. Перемещение соответствует измеряемой длине или расстоянию и определяется как разность между начальным и конечным положением стола. Для удобства работы выпускают измерительные микроскопы с цифровым отсчетом и внешней установкой показания на нуль. При отсчете начального показания от нуля результат измерения фиксируется на табло сразу, без пересчета.

На рисунке 5 схематично изображена **установка для измерения** (точнее, контроля) **длины** методом компарирования. Контролируемый объект 2 длиной L_{cp} , сравнивается с нормалью (образцовой мерой) длиной $L_n \approx L_{pr}$. В исходном состоянии в перекрестье окуляров обоих микроскопов (3 и 4) находятся исходные точки O_N и O_{pr} , соответственно.

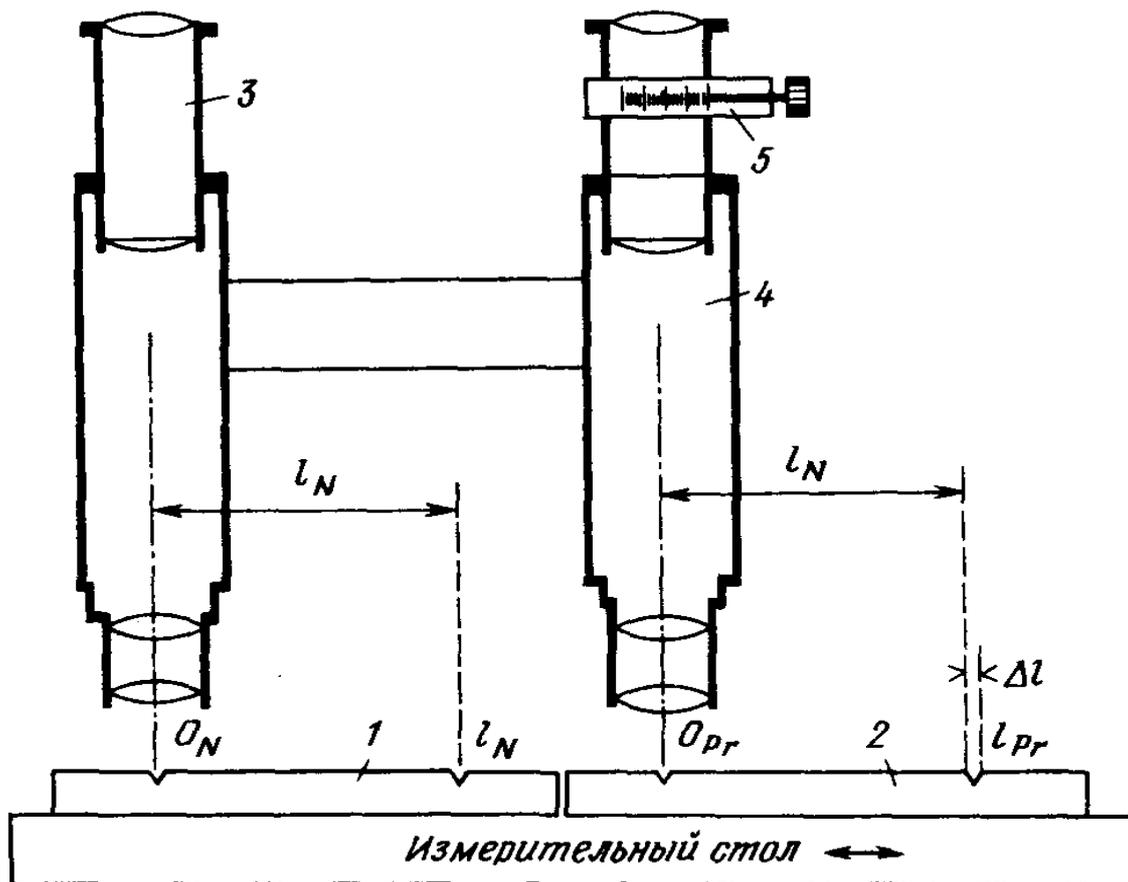


Рис.5. Компараторное устройство для контроля длины объекта: 1-нормаль длины; 2- контролируемый объект; 3,4- окуляры микроскопов; 5- микрометрический винт

Смещением измерительного стола добиваются попадания в перекрестье окуляра левого микроскопа 3 конечной точки L_n нормали. Далее смещением микрометрического винта 5 окуляра правого микроскопа 4 с перекрестьем этого микроскопа совмещают конечную точку L_{pr} контролируемого объекта. По показаниям микрометрического винта определяют разницу ΔL длин и контролируемую длину $L_{pr} = L_n + \Delta L$.

Для измерения малых перемещений, шероховатости поверхности, длин эталонных пластинок и др. с высокой точностью применяют интерферометры. Одним из таких устройств является двухлучевой **интерферометр Майкельсона**, схематично изображенный на рисунке 6.

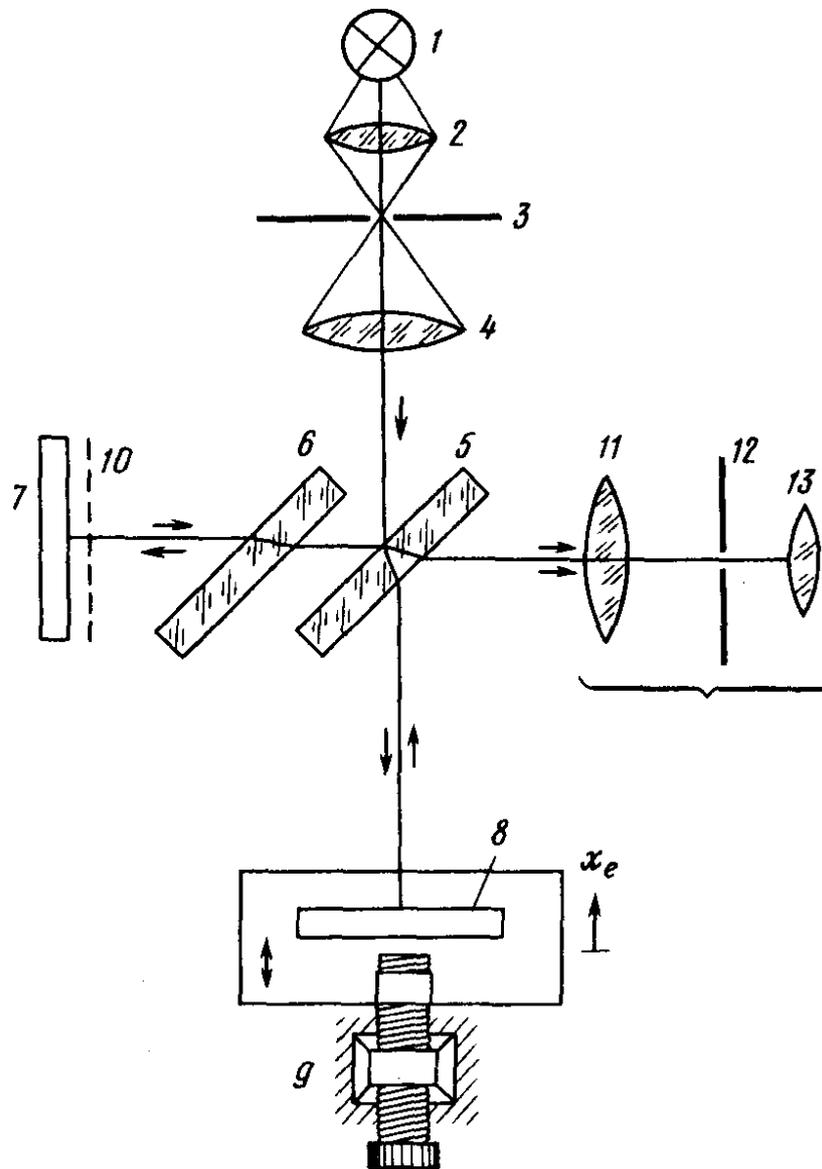


Рис.6. Схема интерферометра Майкельсона: 1-лазер; 2-конденсатор; 3-диафрагма; 4-объектив; 5-полупрозрачная пластинка; 6-пластина для выравнивания хода луча; 7-неподвижное зеркало; 8-подвижное зеркало; 9-микрометрический винт; 10-мнимое изображение; 11-объектив; 12-диафрагма; 13-окуляр.

На объекте, перемещение X_e которого измеряют (перемещение происходит при вращении микрометрического винта 9), размещено зеркало 8. Излучение одночастотного лазера (длина волны λ) через конденсатор 2 (короткофокусную линзу), диафрагму 3 и объектив 4 передается на полупрозрачную пластинку 5, которой оно расщепляется на два луча. Один луч направляется на зеркало 8 объекта, а второй - на неподвижное зеркало 7.

Пластинка 6 предназначена для компенсации дополнительной разности хода, появляющейся за счет того, что луч в направлении к зеркалу 7 проходит один раз. После отражения от обоих зеркал и повторного прохождения через разделительную пластинку 5 лучи проходят через объектив 11 и интерферируют в его фокальной плоскости. Наблюдаемая через окуляр 13 интерференционная картина соответствует интерференции в воздушном слое между неподвижным зеркалом 7 и мнимым изображением 10 зеркала 8 в пластине 5. Перемещение объекта равно числу интерференционных полос, умноженному на $\lambda/2$ (дробная часть может быть определена по разностям фаз периодов в начале и конце интерференционной картины). Считывание числа интерференционных полос через окуляр 13 можно осуществлять фотоприемником со счетчиком, что позволяет выполнять измерения в цифровой форме.

Подробные сравнительные характеристики оптико-механических средств измерения приведены в таблице 2 приложения А.

3. АВТОМАТИЗАЦИЯ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Для автоматизации измерения геометрических размеров объектов в машиностроении применяются координатно-измерительные машины (КИМ) различных типов с ручным и автоматизированным управлением. В состав системы измерений входят измерительные преобразователи (датчики), различающиеся по принципу действия (электро-контактные, индукционные, оптические, ёмкостные, пьезометрические, тензометрические) и по выходному сигналу (аналоговые, дискретные) и способу измерения (контактные, бесконтактные).

Первые КИМ были разработаны в середине XX века, в 1970-х годах в Англии построена первая автоматическая КИМ.

Контрольно-измерительные машины используются в производстве для проверки размеров деталей и проверки качества сборки.

В состав координатно-измерительной машины входят:

- механическая часть;
- система зондирования;
- система управления и сбора данных.

Принцип работы координатно-измерительных машин (КИМ) основан на возможности измерения перемещения щупа относительно контролируемых объектов по трем пространственным осям X, Y, Z. Математический отсчет по измеренным точкам ведется в цифровой форме. Для проведения расчетов и формирования протоколов и графиков используется компьютер со специализированным программным обеспечением.

Основными конструктивными элементами КИМ являются [2]:

- механическая часть, которая обеспечивает установку контролируемой детали и ее перемещение относительно системы ощупывания или наоборот, системы ощупывания относительно любой точки неподвижной детали;

- измерительная часть, которая измеряет и фиксирует координаты, в которых щуп касается точки объекта, полученные при перемещении стола или системы щупов по каждой из осей координатно-измерительной машины;

- система управления перемещениями подвижных органов КИМ и щуповой системы;

- система обработки результатов измерений.

Основными характеристиками для механической части КИМ являются габаритные размеры, форма и масса контролируемых деталей и имеющиеся возможности ощупывающей системы. По конструкции измерительная система может быть трех видов: консольная, порталная и мостовая.

Консольная конструкция позволяет производить установку и контроль детали наиболее простым способом, но в тоже время ее жесткость и координатные перемещения становятся меньше.

Портальная конструкция сочетает в себе портал и консоль, благодаря этому обеспечивается более высокая жесткость и большие координатные перемещения. При этом сохраняется удобство загрузки детали, так как во время загрузки портал можно отвести на расстояние от измеряемых деталей.

Мостовая конструкция состоит из консоли, располагающейся между двух передвижных колонн и имеющей наибольшую жесткость и наибольший размер перемещений по осям. Однако присутствие в мостовой конструкции боковых колонн ограничивает доступ к детали и снижает диапазон измерений.

Функции координатно-измерительной машины:

- измерение размеров деталей;
- измерения резьб;
- измерения углов и др.

Координатно-измерительные машины производятся в широком диапазоне размеров и конструкций с различными видами зондов в различных конфигурациях.

Измерительная часть служит для измерения перемещений щупа или стола по трем осям рабочего пространства КИМ. Конструктивно она может быть фотоэлектрической, линейной или круговой индуктивной, лазерной.

Выбор метода ощупывания (формы контактирующего элемента и принцип действия головки) зависит от множества факторов, связанных с деталью и задачей измерения. Применяемые щуповые головки по принципу действия делятся на механические, электроконтактные, индуктивные и др. Механические щупы жестко крепятся к подвижной пиноли и имеют различную форму: конусный наконечник применяют для определения расстояний между отверстиями; сферический – для измерения плоских цилиндрических или выпуклых поверхностей; плоские – для измерения выпуклых поверхностей; дисковые – для измерения глубоких поверхностей или внутренних канавок и т. д. В сочетании с жесткими наконечниками используются различные удлинители и крепежный кубик (сфера) на конце пиноли, обеспечивающий установку щупа в любом направлении. Жесткие щупы применяют при ручном ощупывании и управлении; измерительное усилие и положение контакта зависят от усилия рук. Отсчет производится при стабилизации показания на отсчетном приборе. Электроконтактные щупы основаны на использовании замыкания токовой цепи в момент контакта щупа с деталью. При этом выдается звуковой и световой сигнал на снятие отсчета. Такой щуп малонадежен и не применим при токонепроводящих деталях. Другим вариантом электроконтактного щупа является электроконтактный преобразователь, замыкающий или размыкающий электрические контакты во время касания.

Привод и управление КИМ определяют производительность, точность и удобство обслуживания. Ручной подвод пиноли к месту измерения применяется в КИМ с малыми диапазонами измерениями и неавтоматизированных. При этом возрастают погрешности из-за влияния температуры руки оператора и нестабильности измерительного усилия. При моторном приводе применяются два варианта управления – цифровое перфорационное через управляющие

блоки и числовое управление через микроЭВМ, служащей для обработки измеренных значений.

В автоматизированных КИМ осуществляется автоматический ввод программы, автоматическое управление подвижными узлами КИМ, автоматическая обработка данных измерений и оценка результатов. Все эти задачи решаются путем составления программ для КИМ.

Портальная CNC координатно-измерительная машина с щуповой системой Wenzel LH 54 изображена на рисунке 7.



Рис.7. Трехкоординатная измерительная машина Wenzel LH 54

Область применения КИМ Wenzel LH 54: входной контроль, контроль геометрических показателей качества (измерение регулярной геометрии и поверхностей сложной формы) в условиях действующего производства.

Режимы работы: ручной и CNC режим.

Программное обеспечение: Metrosoft CM для измерения и обработки регулярной геометрии и поверхностей сложной формы (опция) (или аналог); графический интерфейс; интерфейс программы на русском языке; графическая интерактивная система онлайн и оффлайн программирования "Grips" для создания измерительных программ по CAD моделям; графическое и цифровое представление результатов измерения, печать протоколов.

Щуповая система: Renishaw РН6, моторизованная поворотно-вращательная головка.

Погрешность измерений – 1,6 - 2,1 мкм.

Максимальные размеры измеряемого объекта: 500 мм x 600 мм x 400 мм.

Применение координатно-измерительных машин на производстве способствует решению многих метрологических задач, таких как оперативное измерение геометрических размеров простых и сложных деталей, , включая те детали, измерение которых традиционными способами требует дорогостоящей специальной оснастки или измерение которых невозможно вообще. Кроме того применение КИМ позволяет сокращать время на наладку станков ЧПУ за счет достоверного контроля первых обработанных деталей из последующей партии; исключать брак, используя постоянный контроль точности процесса обработки деталей и своевременно корректируя его.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить данные методические указания и ответить на контрольные вопросы.
2. Получить у преподавателя деталь и измерительный инструмент.
3. Провести измерения одного из размеров детали (внешний, внутренний диаметры или длину). Снятие параметра необходимо производить в 6-10 различных местах. Количество измерений одного размера не менее 15.
4. Провести расчеты. В отчете указать точность измерения и вычислить погрешность измерения согласно методике, изложенной в приложении Б.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие методы характерны для измерения геометрических величин?
2. Какова точность линейных измерения при использовании различных типов измерительных приборов?
3. Объясните, как измерить линейный размер объекта с помощью штангенциркуля?
4. Для каких линейных измерений применяют оптико-механические измерительные приборы?
5. Какова точность измерений с помощью КИМ?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений.-М.:Высшая школа,2001.-205с.
2. Гапшис В. А., Каспарайтис А. Ю. Координатно-измерительные машины и их применение. – М.: Машиностроение, 1988.

Таблица 1 - Механические измерительные приборы

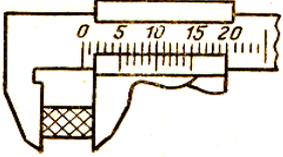
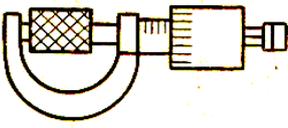
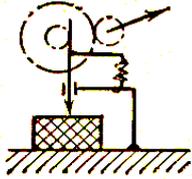
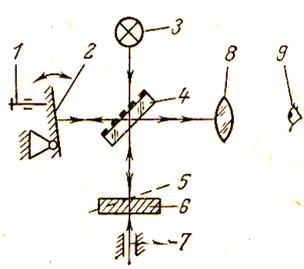
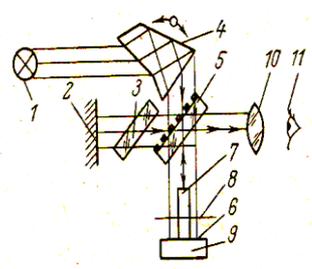
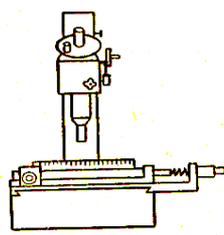
Тип прибора	Контрольный штангенциркуль	Контрольный микрометр	Индикатор часового типа
Внешний вид			
Пределы измерений, мм	135; 200;...;2000	25; 50; ...; 500	3; 5; 10; 25
Погрешность измерения, мкм	20...2000	5...10	10...20
Инерционность, с	2	5	1
Преимущества	Простота конструкции; низкая стоимость; надежность	Контролируемое изделие и мера расположены последовательно	Простота конструкции; низкая цена; надежность
Недостатки	Контролируемое изделие и шкала расположены параллельно друг другу	Микрометрическая резьба может деформироваться измерительным усилием	Относительно большая накопленная погрешность во всем диапазоне
Область применения	Лаборатория и производство, измерения преимущественно наружных размеров, а со специальными губками – и внутренних размеров	Лаборатория и производство, измерения наружных размеров, прямые измерения	Лаборатория и производство, измерения наружных размеров, разностные измерения

Таблица 2 - Оптико-механические измерительные приборы

Тип прибора	Контактный	Интерференционный	Измерительный микроскоп
Принципиальная схема			
Обозначения	1 – перемещение; 2 – зеркало 1; 3 – источник света; 4 – делительная пластина; 5 – изображение зеркала 1; 6 – зеркало 2; 7 – измерительный шток; 8 – окуляр; 9 - оператор	1 – источник света; 2 – зеркало 1; 3 – компенсационная пластина; 4 – диспергирующая пластина; 5 – делительная пластина; 6 – зеркало 2; 7 – концевая мера; 8 – изображение зеркала 1; 9 – стол; 10 – окуляр; 11 - оператор	
Пределы измерений	± 2 мкм	100 мм	$x=(0...70)$ мм $y=(0...50)$ мм
Погрешность измерения, мкм	0,005	0,02	1 мкм; 10 мкм; 6'
Инерционность, с	5	30	10
Преимущества	Высокая точность; простота конструкции	Подходит для измерений наивысшей точности	Легко переоснащаемый визуальный микроскоп для работы в проходящем и отраженном свете
Недостатки	Малый диапазон измерений	Относительно малый диапазон измерений; высокая стоимость аппаратуры	Небольшое поле зрения – от 2 до 6 мм в зависимости от увеличения
Область применения	Разностные измерения в лабораторных условиях	Термостатированные лаборатории, прямые и разностные измерения наивысшей точности, поверка концевых мер	Лаборатория и производство, линейные и угловые измерения наружных размеров

Обработка результатов многократных измерений при прямых равноточных измерениях

Задача обработки результатов измерений заключается в нахождении приближенного значения или оценки измеряемой величины X и указания ее среднего квадратического отклонения. Если измерения проводились по одной и той же методике средствами измерений одинаковой точности при постоянных внешних условиях, то такие измерения называются равноточными. Для них справедливо равенство

$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \dots = \sigma_n^2 = \text{const}$$

для всех членов ряда.

При таких измерениях, дающих уже упомянутый ряд измеренных значений величины x_1, x_2, \dots, x_n , находят:

среднее арифметическое значение \bar{x} :

$$M(X) \approx \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\text{или } M(X) \approx \bar{x} = x_0 + \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i}{n},$$

где $\varepsilon_i = x_i - x_0$;

среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}};$$

среднее квадратическое отклонение $\sigma_{\bar{x}}$ среднего арифметического

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}};$$

доверительный интервал по числу измерений n и доверительной вероятности p для найденного значения с помощью таблиц Стьюдента:

$$\Delta = t_p \cdot \sigma_{\bar{x}}.$$

Пример. Произвести обработку результатов измерений длины детали при заданной доверительной вероятности $p=0,95$. Значения приведены в таблице 3. Значения даны в метрах, для других величин принята единица измерения $1 \cdot 10^{-6}$ м.

$$\bar{x} = 1,000388 + \frac{36 \cdot 10^{-6}}{10} = 1,0003916 \approx 1,000392;$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{69}{10-1}} = \sqrt{7,67} = 2,77;$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{2,77}{\sqrt{10}} = 0,88.$$

Таблица 3 - Обработка результатов измерений

x_i	ε_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1,000390	$+2 \cdot 10^{-6}$	$-2 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-12}$
1,000391	$+3 \cdot 10^{-6}$	$-1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-12}$
1,000395	$+7 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-12}$
1,000392	$+4 \cdot 10^{-6}$	0	0
1,000389	$+1 \cdot 10^{-6}$	$-3 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-12}$
1,000396	$+8 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$16 \cdot 10^{-12}$
1,000388	$0 \cdot 10^{-6}$	$-4 \cdot 10^{-6}$	$16 \cdot 10^{-12}$
1,000389	$+1 \cdot 10^{-6}$	$-3 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-12}$
1,000393	$+4 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-12}$
1,000394	$+6 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-12}$
$x_0=1,000388$	$36 \cdot 10^{-6}$	$-3 \cdot 10^{-6}$	$69 \cdot 10^{-12}$

Пользуясь таблицей 4, определяем коэффициент доверительной вероятности.

Таблица 4 - Коэффициент распределения Стьюдента t_p

n	При доверительной вероятности p					n	При доверительной вероятности p				
	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999		0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
2	6,31	12,71	31,82	63,68	636,62	12	1,80	2,20	2,72	3,11	4,44
3	2,92	4,30	6,97	9,93	31,60	13	1,78	2,18	2,68	3,06	4,32
4	2,35	3,18	4,54	5,84	12,92	14	1,77	2,16	2,65	3,01	4,22
5	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61	15	1,76	2,15	2,62	2,98	4,14
6	2,02	2,57	3,37	4,06	6,87	16	1,75	2,13	2,60	2,95	4,07
7	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96	17	1,75	2,12	2,58	2,92	4,02
8	1,90	2,37	3,00	3,50	5,41	18	1,74	2,11	2,57	2,90	3,97
9	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04	19	1,73	2,10	2,55	2,88	3,92
10	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78	20	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
11	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59	∞	1,65	1,96	2,33	2,58	3,29

Для $p=0,95$ коэффициент доверительной вероятности $t_p=2,26$, тогда $\Delta=2,26 \cdot 0,88=1,99$.

Результат измерения: $\bar{x} \pm \Delta = (1,000392 \pm 0,00199) \cdot 10^{-3}$ м.

После округления: $\bar{x} \pm \Delta = (1,000 \pm 0,002) \cdot 10^{-3}$ м.

Дмитриева Ольга Венедиктовна

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Методические указания к лабораторной работе
по курсам «Метрология, стандартизация и сертификация», «Метрология и
измерительная техника», «Метрология» для студентов очной и заочной форм
обучения направлений 27.03.04 «Управление в технических системах», 15.03.04
«Автоматизация технологических процессов и производств», 13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»

Авторская редакция

Подписано в печать 02.11.17	Формат 60x84 1/8	Бумага 65г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ.л. 1,75	Уч.-изд.л. 1,75
Заказ №192	Тираж 25	Не для продажи

БИЦ Курганского государственного университета.
640020, г.Курган, ул.Советская, 63, строение 4.
Курганский государственный университет.