

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Институт АПИ НГТУ, Арзамасский политехнический институт (филиал)
Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева
сокращенное и полное наименование института

Кафедра ТМ, Технология машиностроения
сокращенное и полное наименование кафедры

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

по дисциплине

Проектирование контрольно-измерительных средств

Направление подготовки

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств

Форма обучения очная, заочная

Утверждены на заседании
кафедры «Технология
машиностроения»
АПИ НГТУ

«20» апреля 2021 г.
протокол № 5

Арзамас 2021

Содержание

1 Требования к организации и проведению практических занятий.....	3
2.Практическое занятие №1. Назначение допусков форм и расположения на чертежах деталей машин.....	4
3 Практическая работа №2.Проектирование и расчет калибра для контроля позиционного допуска.....	12
4 Практическая работа №3. Проектирование и расчет калибра для контроля допуска соосности.....	23
5. Практическая работа №4. Расчет и проектирование калибров для контроля шлицевых поверхностей.....	29
6 Практическая работа №5. Калибры для контроля шпоночных поверхностей.....	38
7 Практическая работа №6. Разработка схем для контроля допуска форм.....	44
8 Практическая работа №7 .Проектирование пробки пневматической.....	51
9. Практическая работа №8 Разработка программы для контроля заданных параметров.....	62
10 Критерии оценки практических работ.....	106

1 Требования к организации и проведению практических занятий

Каждый студент выполняет конкретное персональное (индивидуальное) задание, что способствует более эффективному формированию практических умений, навыков и компетенций.

Выполнение студентами практических работ регистрируется преподавателем в журнале. Практические занятия проводятся согласно утвержденному расписанию учебных занятий. Отработка пропущенных студентами практических занятий осуществляется по графику, утвержденному соответствующей кафедрой, как правило, в конце семестра. Замена пропущенных студентами практических занятий другими видами учебных занятий не допускается.

Структура отчета практического занятия и правила его оформления. По результатам выполнения практического занятия студентами оформляется отчет, форма которого утверждается кафедрой.

Прием защиты отчетов практического занятия. Защита отчетов практического занятия является одной из форм текущего контроля успеваемости студентов. Прием защиты отчетов практического занятия осуществляется преподавателем, ведущим практическое занятие. Процедура приема отчетов практического занятия включает проверки:

- соответствия оформления предъявляемым требованиям;
- знаний студентом основных понятий, определений и теоретических положений, применяемых при выполнении заданий;
- знаний студентом методики выполнения заданий;
- умений студентом объяснить полученные результаты;

1 Практическое занятие №1

Назначение допусков форм и расположения на чертежах деталей машин

Цель: получение навыков по назначению допусков форм и расположения в зависимости от точности и назначения деталей.

Задание.

1. На основании выданного сборочного чертежа, выполнить чертеж детали входящего в сборочную единицу (деталь указывает преподаватель).
2. На чертеже детали указать исполнительные размеры, назначить допуски форм и их значения.

Задача работы - освоение компетенции ПКС -3 Способен обеспечивать качество изготовления деталей машиностроения. ИПКС-3.1: Анализирует информацию по соблюдению технологической дисциплины при реализации технологических процессов изготовления деталей машиностроения, правильности эксплуатации технологического оборудования и оснащения.

Теоретическая часть.

Назначение допусков формы и расположения поверхностей должно производиться на основе государственных стандартов, перечисленных в таблице 1 и соответствующих аналогичным международным стандартам (ранее стандартам СЭВ). ГОСТ 24642-81 и ГОСТ 2.308—79 соответствуют также международному стандарту ИСО 1101 [9], применяемому во всех промышленно развитых странах мира.

Таблица 1 – Стандарты на допуски формы и расположения поверхностей

Номер стандарта	Наименование стандарта
ГОСТ Р 53442-2009 (ИСО 1101:2004)	Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения
ГОСТ 24643-81	Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения
ГОСТ 14140-81 (СТ СЭВ 637-77)	Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей
ГОСТ 30893.2-2002 (ИСО 2768-2-89)	Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Допуски формы и расположения поверхностей, не указанные индивидуально
ГОСТ 2.308-2011	Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Указания допусков формы и расположения поверхностей

Отклонения и допуски формы поверхностей

Отклонением формы называется отклонение формы реальной поверхности (ограничивающей тело и отделяющей его от окружающей среды) от формы номинальной поверхности. Под номинальной понимается идеальная поверхность, форма которой задана чертежом или другой технической

документацией. Отклонения формы могут рассматриваться и применительно к *профилю* – линии пересечения поверхности с плоскостью (обычно перпендикулярной к поверхности) или с заданной поверхностью.

Неровности, относящиеся к шероховатости поверхности, в отклонения формы поверхности не включаются. При измерении отклонений формы исключение влияния шероховатости происходит за счет применения достаточно большого радиуса измерительного наконечника или электрических фильтров, не пропускающих высокочастотную составляющую измерительного сигнала. Волнистость поверхности относится к отклонениям формы. В тех случаях, которые предусмотрены техническими условиями, допускается устанавливать самостоятельные нормы на волнистость поверхности или на другие отклонения формы, остающиеся после исключения волнистости.

Отклонение формы оценивается по всей поверхности (по всему профилю) или на *нормируемом участке*, если заданы его площадь, длина или угол сектора, а в необходимых случаях и расположение его на поверхности. Если расположение нормируемого участка не задано, то его считают любым в пределах всей поверхности или профиля.

Отсчет отклонений формы поверхности производится от *прилегающей поверхности*, под которой понимается поверхность, имеющая форму номинальной поверхности, соприкасающаяся с реальной поверхностью и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка имело минимальное значение. Отклонение формы профиля оценивается аналогично от прилегающего профиля. Условие минимального значения отклонения в наиболее удаленной точке не распространяется на прилегающий цилиндр и прилегающую окружность, определения которых увязаны с понятием о предельных поверхностях, ограничивающих поле допуска размера.

Допуском формы называется наибольшее допускаемое значение отклонения формы. Требования, определяемые допуском формы, геометрически поясняются понятием о поле допуска формы. *Поле допуска формы* – это область в пространстве или на плоскости, внутри которой должны находиться все точки реальной поверхности или реального профиля в пределах нормируемого участка.

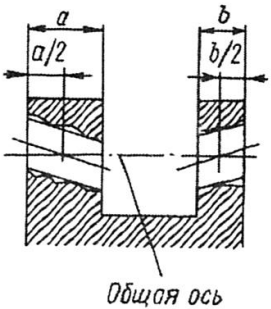
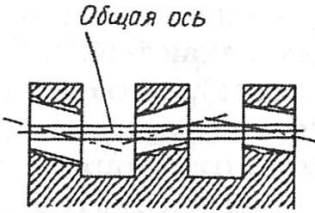
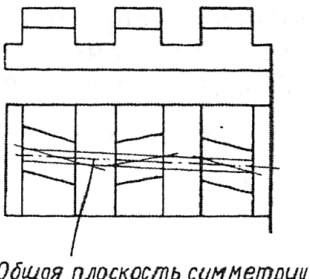
Отклонения и допуски расположения поверхностей

Отклонением расположения называется отклонение реального (действительного) расположения рассматриваемого элемента (поверхности, оси или плоскости симметрии) от номинального расположения. Под *номинальным* понимается расположение, определяемое номинальными линейными и угловыми размерами (координирующими размерами) между рассматриваемым элементом и базами. При определении номинального расположения плоских поверхностей координирующие размеры задают непосредственно от них. Для цилиндрических, конических и других поверхностей вращения, для резьбы, призматических пазов и выступов, симметричных групп поверхностей координирующие размеры обычно задают от их осей или плоскостей симметрии. В некоторых случаях номинальное расположение задается

непосредственно изображением детали на чертеже без указания номинального размера между элементами. Таким способом задаются: требования соосности, симметричности и совмещения элементов в одной плоскости (номинальный линейный координирующий размер равен нулю); требование параллельности (номинальный угол между элементами равен 0 или 180°); требование перпендикулярности (номинальный угол равен 90°). Реальное расположение элемента определяется действительными координирующими размерами.

Для оценки точности расположения поверхностей, как правило, назначают базы. Базой могут быть поверхность (например, плоскость), ее образующая или точка (например, вершина конуса, центр сферы). Если базой является поверхность вращения (например, цилиндрическая или коническая) или резьба, то в качестве базы рассматривают их ось. База определяет привязку детали к плоскости или оси координат, относительно которой задаются допуски расположения или определяется расположение нормируемого элемента. Базой может служить и сочетание нескольких элементов, например общая ось или общая плоскость симметрии нескольких элементов (таблица 2).

Таблица 2 – Общая ось и общая плоскость симметрии нескольких элементов

Термин	Определение	Эскиз
Общая ось двух поверхностей	Прямая, проходящая через оси рассматриваемых поверхностей вращения в их средних сечениях ($a/2$ и $b/2$)	
Общая ось нескольких поверхностей (более двух)	Прямая, относительно которой наибольшее отклонение осей рассматриваемых поверхностей вращения в пределах длины этих поверхностей имеет минимальное значение	
Общая плоскость симметрии двух или нескольких элементов	Плоскость, относительно которой наибольшее отклонение плоскостей симметрии рассматриваемых элементов имеет минимальное значение	

В ряде случаев для правильной и однозначной оценки точности расположения отдельных элементов деталь должна быть ориентирована одновременно по двум или трем базам, образующим систему координат. Такая совокупность баз называется комплектом баз. Примером комплекта баз могут служить три взаимно перпендикулярные плоскости или ось поверхности

вращения и перпендикулярная к ней плоскость. При назначении комплекта баз следует различать их последовательность в порядке убывания числа степеней свободы, отнимаемых ими у детали.

Количественно отклонения расположения поверхностей оцениваются на всей длине нормируемого элемента или в пределах нормируемого участка. При этом отклонения формы поверхностей базовых и нормируемых элементов должны исключаться из рассмотрения. Для этого реальные поверхности (профили) заменяются прилегающими, а за оси, плоскости симметрии и центры реальных поверхностей и профилей принимаются оси, плоскости симметрии и центры прилегающих элементов. При контроле это условие выполняется либо путем применения измерительных средств, материализующих прилегающие поверхности (оправки, кольца, комплексные калибры, поверочные линейки, плиты, угольники ит. п.), либо путем математической обработки измеренных значений.

Если по условиям работы или измерения деталей отклонения расположения поверхностей целесообразно оценивать совместно с отклонениями формы, то следует нормировать суммарные допуски формы и расположения поверхностей.

Допуском расположения называется предел, ограничивающий допускаемое значение отклонения расположения поверхностей. Для параллельности, перпендикулярности и наклона допуском является наибольшее допускаемое значение отклонения расположения. Для соосности, симметричности, пересечения осей и позиционного допуска допуск расположения может быть задан двумя способами: а) в *радиусном выражении* – как наибольшее допускаемое значение отклонения расположения; б) в *диаметральном выражении* – как удвоенное наибольшее допускаемое значение отклонения расположения.

Поле допуска расположения называется область в пространстве или на заданной плоскости, внутри которой должны находиться прилегающая поверхность (прилегающий профиль) нормируемого элемента или ось, центр, плоскость симметрии нормируемого элемента. Ширина или диаметр поля допуска определяются числовым значением допуска, расположение поля относительно баз – номинальным расположением нормируемого элемента, а протяженность поля – размерами нормируемого участка (если нормируемый участок не задан, то протяженность поля допуска расположения та же, что и у нормируемого элемента). В частном случае нормируемый участок по условиям сборки и работы механизма может находиться за пределами протяженности элемента. Например, отклонения расположения осей резьбовых отверстий под шпильки после завинчивания шпилек в деталь будут проявляться как отклонения расположения выступающих концов шпилек и для обеспечения правильной сборки с парной деталью должны быть ограничены именно в той зоне, где будут располагаться сквозные отверстия под шпильки в парной детали. В этих случаях следует применять введенное в ГОСТ 24642–81 понятие о *выступающем поле допуска*, под которым понимается поле допуска T или

часть его, ограничивающее отклонение расположения поверхностей элемента за пределами его протяженности на длине L .

Зависимые и независимые допуски

Отклонения расположения поверхностей и отклонения размеров (диаметров, ширины и т. п.) элементов деталей в зависимости от условий, сборки и работы изделий могут проявляться как совместно, так и независимо друг от друга. Взаимовлияние этих отклонений возможно и в процессе изготовления и контроля деталей. Для обеспечения правильного подхода к нормированию допусков расположения и единого толкования их при изготовлении и контроле изделий установлены понятия о зависимых и независимых допусках расположения.

Независимым называется допуск расположения, числовое значение которого постоянно для всей совокупности деталей, изготавливаемых по данному чертежу, и не зависит от действительного размера нормируемого или базового элемента. *Зависимым* называется допуск расположения, числовое значение которого переменное для различных деталей, изготавливаемых по данному чертежу, и зависит от действительных размеров нормируемого или базового элементов. В чертежах или технических требованиях зависимый допуск задается своим минимальным значением, которое допускается превышать на величину, соответствующую отклонению действительного размера рассматриваемого или базового элемента детали от проходного предела (наибольшего предельного размера вала или наименьшего предельного размера отверстия). Полное значение зависимого допуска расположения для детали

$$T_{\text{зав}} = T_{\text{min}} + T_{\text{доп}},$$

где T_{min} – минимальное значение допуска, указываемое в чертеже (постоянная для всех деталей часть зависимого допуска);

$T_{\text{доп}}$ – дополнительное значение допуска, зависящее от действительных размеров рассматриваемых элементов данной детали (переменная часть зависимого допуска),

$T_{\text{доп}}$ определяется по формулам.

Зависимые допуски расположения более экономичны и выгоднее для производства, чем независимые. Они позволяют применить менее точные, но более экономичные способы обработки и технологическое оборудование, дают возможность контролировать детали с помощью комплексных калибров расположения (при этом калибры расширяют допуск на величину $T_{\text{доп}}$ без каких-либо расчетов при контроле)¹. Они позволяют в случаях, когда применение калибров экономически нецелесообразно (индивидуальное или мелкосерийное производство), избежать неоправданного забракования изделий при контроле их универсальными средствами. В отдельных случаях при зависимых допусках путем дополнительной обработки, например развертыванием отверстий, имеется возможность перевести деталь из брака в

годные. Однако назначение зависимых допусков не всегда возможно с конструктивной точки зрения. Как правило, зависимые допуски рекомендуется назначать для тех элементов деталей, к которым предъявляются только требования собираемости в соединениях с гарантированным зазором. В этих случаях допуски расположения рассчитывают исходя из гарантированного (наименьшего) зазора. Если этот зазор фактически будет увеличен (что и происходит при отклонениях действительных размеров сопрягаемых элементов от проходного предела), то становится допустимым и соответственно увеличенное отклонение расположения, разрешаемое зависимым допуском. При этом важно, что дополнительное отклонение расположения в данной детали компенсируется полностью за счет действительных отклонений размеров той же самой детали. Поэтому зависимые допуски обеспечивают собираемость деталей по принципу полной взаимозаменяемости без какого-либо подбора парных деталей. Примеры назначения зависимых допусков расположения: допуски расположения сквозных отверстий под крепежные детали; допуски соосности ступенчатых валов и втулок, собираемых с зазором; допуски перпендикулярности осей отверстий под заглушки, стаканы, крышки.

Независимые допуски рекомендуется применять в тех случаях, когда при соединении деталей сопрягаемые поверхности центрируются посадками с натягом или переходными или когда кроме собираемости необходимо обеспечить правильное функционирование соединения: отсутствие биения, балансировку, равномерность радиального зазора, плотность или герметичность. Примеры назначения независимых допусков расположения: допуски расположения посадочных мест под подшипники качения; допуски отверстий под валы зубчатых передач; допуски резьбовых отверстий под шпильки и гладких отверстий под штифты с посадкой переходной или с натягом; допуски соосности направляющих и рабочих поверхностей в деталях гидравлических и пневматических устройств.

При независимых допусках отклонения расположения элементов необходимо измерять так, чтобы исключалось влияние отклонений их размеров. Это достигается в основном за счет применения универсальных средств измерения. Если же при независимых допусках использовать комплексные калибры, то отклонения размеров проверяемых поверхностей вызовут погрешности измерения.

Зависимые допуски расположения назначаются только для элементов, относящихся к отверстиям или валам, и при нормировании таких характеристик, как позиционный допуск, соосность, симметричность, пересечение осей, перпендикулярность осей или оси и плоскости. Зависимые допуски должны быть специально обозначены в чертеже или оговорены текстом в технических требованиях. При этом в зависимости от конструктивных условий числовое значение зависимого допуска можно связать с действительными размерами либо нормируемого и базового элементов вместе, либо только нормируемого, либо только базового элемента. При отсутствии специальных обозначений или оговорок допуски понимаются как независимые.

Для зависимых допусков возможно назначение в чертежах их нулевых значений. Такой способ назначения допусков означает, что отклонения расположения допустимы только за счет использования части допуска на размер элементов (полное значение допуска расположения определяется значением T). Нулевые зависимые допуски могут назначаться для обеспечения собираемости деталей, если в соединении предусмотрена скользящая посадка. При достаточном значении допуска на размер они могут быть целесообразны и с технологической точки зрения, так как позволяют распределить суммарный допуск размера на составляющие по размеру и расположению с учетом конкретных условий обработки.

В ЕСКД правила указания геометрических допусков на чертежах установлены стандартом [1]. В этом стандарте геометрические допуски делятся на три группы: допуски формы, допуски расположения и суммарные допуски формы и расположения. Так было установлено в терминологическом стандарте [2], действовавшем во время разработки стандарта [1]. Стандарт [2] был заменен сначала стандартом [3], а затем – стандартом [4], в которых четыре группы геометрических допусков: допуски формы, допуски ориентации, допуски месторасположения и допуски биения (таблица 1). Стандарта [2] устанавливал только терминологию, относящуюся к геометрическим допускам. Сменивший его стандарт [4] устанавливает также правила указания геометрических допусков на чертежах. Таким образом, в нашей стране действуют два стандарта [1] и [4] на правила указания геометрических допусков. Стандарты отличаются терминологией, классификацией и номенклатурой допусков. Есть отличия и в правилах указания. Все это затрудняет указание геометрических допусков на чертежах.

Таблица 1

Допуски по стандартам [1] и [2]			Допуски по стандартам [3] и [4]			
Знак	Группа допусков	Вид допуска	Знак	Группа допусков	Геометрическая характеристика	Необходимость указания базы
—	Допуски формы	Допуск прямолинейности	—	Допуски формы	Прямолинейность	Нет
		Допуск плоскостности			Плоскостность	Нет
		Допуск круглости			Круглость	Нет
		Допуск цилиндричности			Цилиндричность	Нет
		Допуск профиля продольного сечения			Форма заданного профиля	Нет
					Форма заданной поверхности	Нет
	Допуски расположения	Допуск параллельности		Допуски ориентации	Параллельность	Да
		Допуск перпендикулярности			Перпендикулярность	Да
		Допуск наклона			Наклон	Да
					Форма заданного профиля	Да
					Форма заданной поверхности	Да
	Допуски биения	Допуск соосности		Допуски месторасположения	Концентричность (для точек)	Да
		Допуск симметричности			Соосность (для осей)	Да
		Позиционный допуск			Симметричность	Да
		Допуск пересечения осей			Позиционирование	Да или нет
					Форма заданного профиля	Да
					Форма заданной поверхности	Да
	Суммарные допуски формы и расположения	Допуск радиального биения		Допуски биения	Биение	Да
		Допуск торцевого биения				
		Допуск биения в заданном направлении				
		Допуск полного радиального биения			Полное биение	Да
		Допуск полного торцевого биения				
		Допуск формы заданного профиля				
		Допуск формы заданной поверхности				

Контрольные вопросы

1. Почему нельзя изготовить деталь без отклонений?
2. Какие поверхности называются реальными и номинальными?
3. Какие поверхности будут прилегающими для вала и отверстия?
- 4.. Что называется отклонениями от прямолинейности и плоскостности, как они определяются?
5. Какие существуют отклонения профиля цилиндрической поверхности поперечного сечения , чем они характерны?
6. Какие существуют отклонения цилиндрической поверхности продольного сечения и чем они характерны?
7. Как обозначаются на чертежах отклонения формы поверхности?
8. Как обозначают на чертежах отклонения расположения поверхностей?
9. Какими условными знаками обозначаются отклонения взаимного расположения поверхностей?
10. Что называется зависимым и независимым допусками, как они обозначаются на чертежах?

Список нормативных ссылок

- 1.ГОСТ 2.308 – 2011 ЕСКД. Указание допусков формы и расположения поверхностей.
- 2 ГОСТ 24642 – 81 ОНВ. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения.
- 3 ГОСТ Р 53442 – 2009 ОНВ. Характеристики изделий геометрические. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения.
- 4 ГОСТ Р 53442 – 2009 ОНВ. Характеристики изделий геометрические. Установление геометрических допусков. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения.
- 5 ГОСТ 31254 – 2004 ОНВ. Геометрические элементы. Общие термины и определения.
- 6 ГОСТ Р 50056 – 92 ОНВ. Зависимые допуски формы, расположения и координирующих размеров. Основные положения по применению.

3 Практическая работа №2.

Проектирование и расчет калибра для контроля позиционного допуска

Задание №1

Целью работы является освоение методики расчета калибров для контроля расположения поверхностей без базового элемента.

По заданному варианту эскиза детали произвести расчет исполнительных размеров калибра без базового элемента согласно ГОСТ 16085-80.

Порядок выполнения

1. Определить позиционный допуск T_p по табл.1 и 2 Приложения 1 ГОСТ 16085-80, если он не задан на чертеже.
2. Определить предельные отклонения и допуски диаметров измерительных элементов калибра (пробок или отверстий) по табл.1 ГОСТ 16085-80 в зависимости от позиционного допуска осей изделия T_p .
3. Рассчитать предельные размеры измерительных элементов калибра по формулам табл.2 ГОСТ 16085-80.
4. Определить требования, которые должны быть соблюдены при нормировании и контроле размеров, координирующих оси измерительных элементов калибра по табл.3, 4, 5 ГОСТ 16085-80.

Содержание отчета

1. Эскиз контролируемой детали с указанием размеров.
2. Эскиз калибра с указанием исполнительных размеров и допусков.
3. Необходимые формулы и результаты вычисления.

Теоретическая часть и формулы для расчета

Для выполнения операций технического контроля, особенно в массовом и крупносерийном производстве, рабочие и контролеры отделов технического контроля (ОТК) широко используют калибры.

Калибр – средство контроля, воспроизводящее геометрические параметры элементов изделия, определяемые заданными предельными линиями или угловыми размерами, и контактирующее с элементами изделия по поверхностям, линиям или точкам. Под элементом изделия понимается конструктивно- законченная часть изделия. Например: вал, отверстие, паз, выступ, резьба и т.д.

Калибры – это специальная технологическая оснастка, предназначенная для оценки годности деталей и изделий машиностроения (допусковый контроль).

Контроль калибрами ведет к определенному ужесточению допуска на изготовление детали по сравнению с табличной величиной. Контроль калибрами имеет выше производительность, чем измерение действительных размеров деталей измерительными средствами. Однако проектирование и изготовление калибров экономически выгодно в крупносерийном и массовом производстве.

С помощью калибров ведется рассортировка деталей на годные и негодные (брак). Калибры не определяют числовое значение (действительный размер) контролируемого параметра, а лишь устанавливают, входит ли элемент изделия в границы предельных размеров.

Применяются калибры для контроля гладких цилиндрических поверхностей, для конусных, резьбовых, шпоночных и шлицевых поверхностей, а также для контроля расположения поверхностей.

Различают калибры нормальные и предельные.

Нормальный калибр – калибр, воспроизводящий заданный линейный или угловой размер и форму сопрягаемой с ним поверхности контролируемого элемента изделия, т.е. калибр имеет только проходную сторону.

Нормальные калибры (шаблоны, калибры расположения) используют для контроля деталей со сложным профилем поверхностей. О годности детали судят по величине зазора между ее контуром и нормальным калибром на равномерность просвета или под щуп.

Предельный калибр – калибр, воспроизводящий проходной и непроходной пределы геометрических параметров изделия, т.е. эти калибры имеют проходную (ПР) и непроходную (НЕ) стороны.

К предельным калибрам относятся гладкие калибры для контроля валов и отверстий, резьбовые калибры и другие.

По назначению калибры разделяют:

- рабочие, предназначенные для проверки размеров деталей рабочими и контролерами ОТК;
- приемочные – обычно это изношенные рабочие калибры (их размеры в пределах допуска на износ), используют их представители заказчика;
- контрольные (контркалибры), использующиеся для проверки размеров рабочих и приемочных калибров и для установки размера регулируемой скобы.

Контроль взаимного расположения поверхностей может осуществляться универсальными измерительными средствами либо калибрами расположения. Однако такие калибры можно применять только для контроля зависимых допусков расположения, обозначаемых на чертежах буквой “М”. Калибры расположения представляют собой деталь, сопрягаемую с проверяемой деталью. Их изготавливают только проходными калибрами. С помощью калибров расположения могут быть проверены

позиционные допуски расположения поверхностей, например, системы отверстий, допуски соосности, симметричности, перпендикулярности и др. Независимые допуски не могут быть проверены с помощью калибров. Для их контроля необходимо использовать универсальные измерительные средства либо специальные контрольные приспособления.

Характерной особенностью расчета калибров расположения является наличие или отсутствие у проверяемой детали базового элемента, относительно которого задается позиционный допуск.

При отсутствии у деталей базового элемента (рис.1) для калибра рассчитывают исполнительные размеры пробок и точность их расположения в соответствии со схемой расположения полей допусков, представленной на рис. 2.

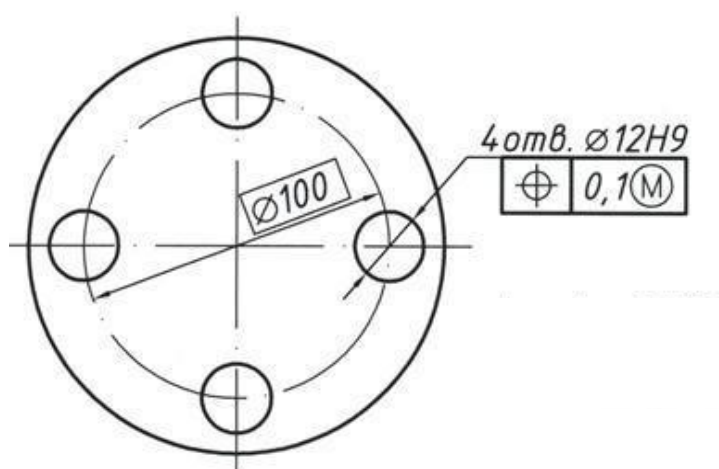


Рис. 1. Чертеж контролируемой детали без базового элемента

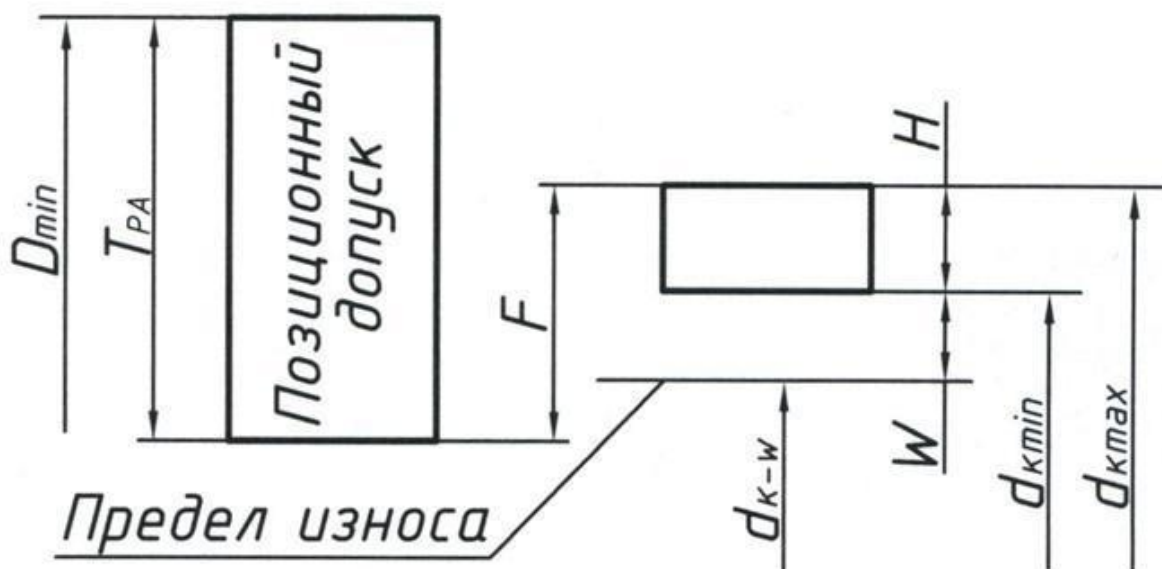


Рис. 2. Поля допусков калибров для контроля отверстий при отсутствии базового элемента

Предельные размеры измерительных элементов, контролирующих расположение отверстий определяются по формулам

$$\begin{aligned} d_{K\max} &= D_{\min} - T_p + F, \\ d_{K\min} &= d_{K\max} - H, \\ d_{K-W} &= d_{K\max} - H - W, \end{aligned} \quad (1)$$

где $d_{K\max}$, $d_{K\min}$ – соответственно наибольший и наименьший предельные размеры измерительного элемента нового калибра, мм,

d_{K-W} – размер предельно изношенного измерительного элемента калибра, мм,

$D_{\min}$ – минимальный размер отверстия детали, мм,

T_p – позиционный допуск, мм,

F – основное отклонение размера измерительного элемента, мм,

H – допуск на изготовление измерительного элемента калибра, мм,

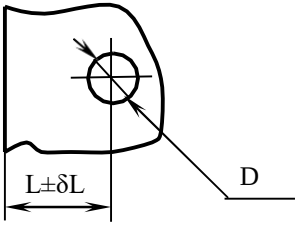
W – величина износа измерительного элемента калибра, мм.

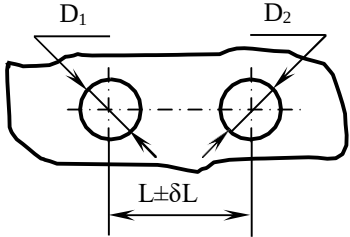
Предельные размеры измерительных элементов, контролирующих расположение валов (выступов) определяются по формулам

$$\begin{aligned} d_{K\min} &= d_{\max} - T_p - F, \\ d_{K\max} &= d_{K\min} + H, \\ d_{K-W} &= d_{K\min} + H + W, \end{aligned} \quad (2)$$

где $d_{\max}$ – наибольший предельный размер вала (выступа) детали, мм.

Варианты заданий

Вариант	Условные обозначения			Эскиз детали
1	L, мм	δL , мм	D, мм	
1.1	20	0,1	5,2H7	
1.2	28	0,06	11H6	
1.3	36	0,08	15,6H7	
1.4	52	0,2	22H8	

Вариант	Условные обозначения				Эскиз детали
2	L, мм	δL , мм	D ₁ , мм	D ₂ , мм	
2.1	32	0,1	6,4H7	6,4H7	
2.2	43	0,2	10,2H8	10,2H8	
2.3	68,5	0,3	24H7	40H8	
2.4	73,3	0,4	43H8	13H7	

Вариант	Условные обозначения					Эскиз детали
	L_1 , мм	δL_1 , мм	L_2 , мм	δL_2 , мм	D , мм	
3						
3.1	40	0,12	25	0,12	4,4H7	
3.2	50	0,2	34	0,3	15,2H8	
3.3	80	0,25	46	0,25	22,4H7	
3.4	70	0,3	57	0,25	24,3H8	

Контрольные вопросы

1. Какие средства измерения называются калибрами?
2. Классификация калибров по назначению.
3. Как определить наличие или отсутствие базовой поверхности на детали?
4. Какой допуск называется зависимым?
5. Приведите пример допуска формы поверхности.
6. Приведите пример допуска расположения поверхностей.
7. Калибр для контроля расположения поверхностей является предельным или нормальным?
8. Каким образом определяется годность изделия при контроле калибрами расположения?
9. Допуск перпендикулярности является допуском расположения или формы?
10. Что является исходной величиной для определения предельных отклонений и допусков диаметров измерительных элементов калибра?

Список литературы

1. Схиртладзе А.Г., Воронов В.Н. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник. Допущено Министерством образования и науки РФ. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 612 с.
2. ГОСТ 16085-80 Калибры для контроля расположения поверхностей. Допуски.
3. ГОСТ 25346-89 Общие положения, ряды допусков и основных отклонений.

Задание №2

Целью работы является освоение методики расчета калибров для контроля расположения поверхностей с базовым элементом.

Задание

По заданному варианту эскиза детали произвести расчет исполнительных размеров калибра с базовым элементом согласно ГОСТ 16085-80.

Порядок выполнения

1. Определить по табл.1 и 2 Приложения 1 ГОСТ 16085-80 позиционный допуск T_p для базовой поверхности и для остальных поверхностей.
2. Определить предельные отклонения и допуски диаметров измерительных элементов калибра (пробок или отверстий) по табл.1 ГОСТ 16085-80 в зависимости от позиционного допуска осей изделия T_p .
3. Рассчитать предельные размеры измерительных элементов калибра по формулам табл.2 ГОСТ 16085-80.
4. Определить требования, которые должны быть соблюдены при нормировании и контроле размеров, координирующих оси измерительных элементов калибра по табл.3, 4, 5 ГОСТ 16085-80.

Содержание отчета

1. Эскиз контролируемой детали с указанием размеров.
2. Эскиз калибра с указанием исполнительных размеров и допусков.
3. Необходимые формулы и результаты вычисления.

Теоретическая часть и формулы для расчета

При наличии у проверяемой детали базового элемента в виде отверстия (рис.1) дополнительно рассчитываются размеры пробки для его контроля в соответствии со схемами полей допусков, представленными на рис.2. В этом случае калибр представляет собой диск с установленными в нем пробками для контроля расположения системы отверстий относительно базового отверстия.

Базовый элемент детали может быть в виде цилиндра (рис.3). В таких деталях позиционный допуск расположения системы отверстий проверяется соответствующими пробками, а базовый элемент – кольцом. Расчет

исполнительных размеров проводится в соответствии со схемой полей допусков, представленной на рис.4.

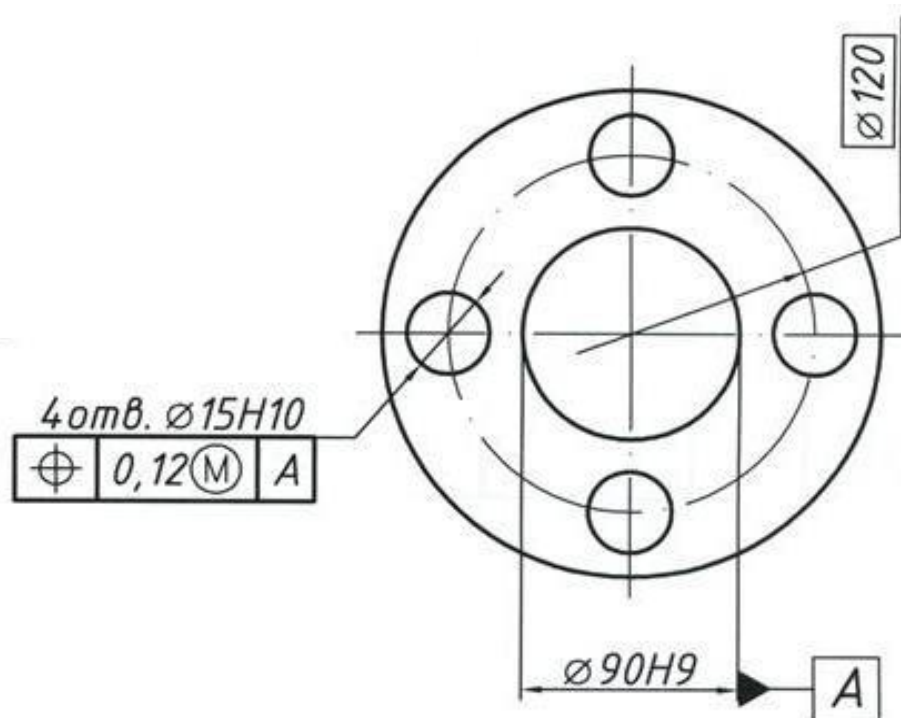


Рис. 1. Чертеж контролируемой детали с базовым элементом в виде отверстия

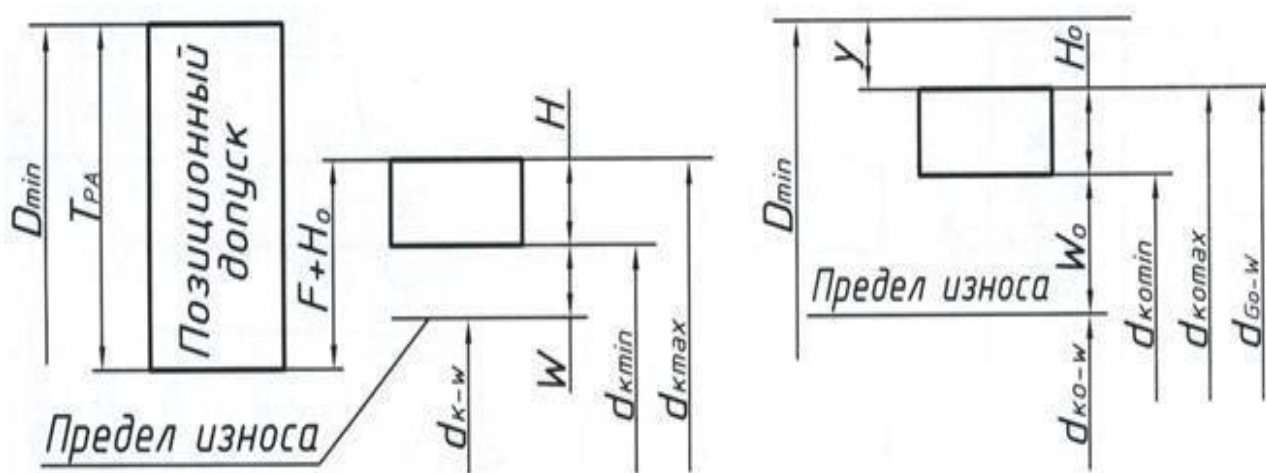


Рис. 2. Схема расположения полей допусков калибров для контроля отверстий при наличии базового отверстия

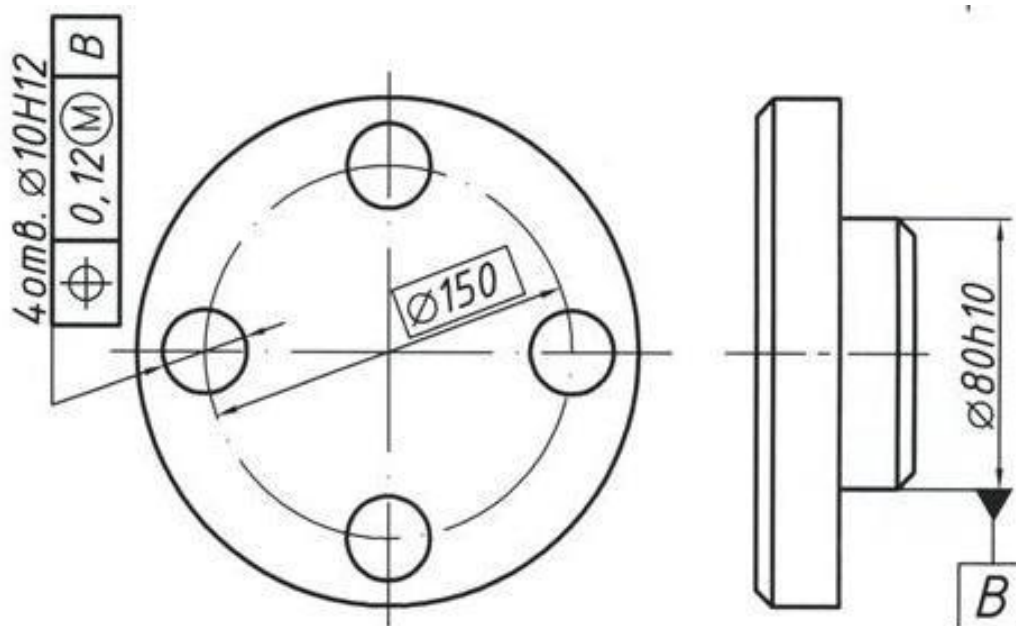


Рис. 3. Чертеж контролируемой детали с базовым элементом в виде цилиндра

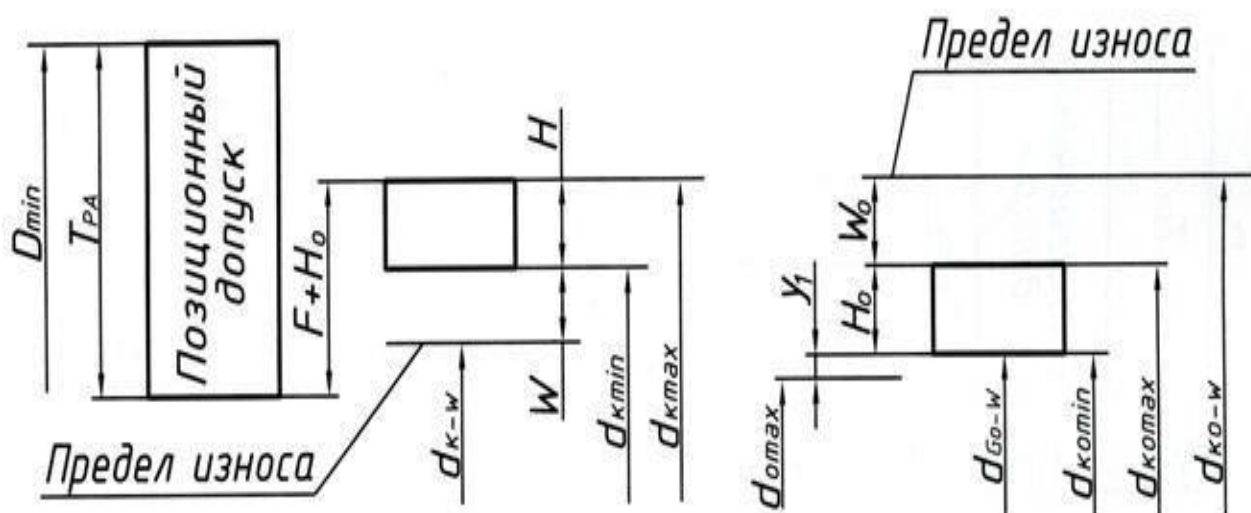


Рис. 4. Схема расположения полей допусков калибров для контроля отверстий при наличии базового цилиндра

При наличии базового отверстия сначала рассчитываются размеры пробок для контроля системы отверстий, положение которых задано позиционным допуском T_P . Это осуществляется по формулам

$$\begin{aligned}d_{K\max} &= D_{\min} - T_P + F + H_0, \\d_{K\min} &= d_{K\max} - H, \\d_{K-W} &= d_{K\max} - H - W,\end{aligned}\tag{1}$$

где $d_{K\max}$, $d_{K\min}$ – соответственно наибольший и наименьший предельные размеры измерительного элемента нового калибра, мм,

d_{K-W} – размер предельно изношенного измерительного элемента калибра, мм,

$D_{\min}$ – минимальный размер отверстия детали, мм,

T_P – позиционный допуск, мм,

F – основное отклонение размера измерительного элемента, мм,

H – допуск на изготовление измерительного элемента калибра, мм,

$H_0 = H$ – допуск на изготовление базового измерительного элемента калибра, мм,

W – величина износа измерительного элемента калибра, мм.

После этого производится расчет пробки для контроля базового отверстия.

$$\begin{aligned}d_{K0\max} &= d_{GO-W} = D_{O\min} - Y, \\d_{K0\min} &= d_{GO-W} - H_0, \\d_{K0-W} &= d_{GO-W} - H_0 - W_0,\end{aligned}\tag{2}$$

где $d_{K0\max}$, $d_{K0\min}$ – соответственно наибольший и наименьший предельные размеры базового измерительного элемента нового калибра, мм,

d_{K0-W} – размер предельно изношенного базового измерительного элемента калибра, мм,

d_{GO-W} – размер предельно изношенного поэлементного проходного калибра, предназначенного для контроля размера поверхности изделия, мм,

$D_{O\min}$ – наименьший предельный размер базового отверстия изделия, мм,

Y – допустимая величина износа гладкой пробки по ГОСТ 24853-81, мм,

$W_0 = W$ – величина износа базового измерительного элемента калибра, мм.

Расчет размеров калибра–кольца для контроля базового цилиндра выполняется по следующим формулам

$$\begin{aligned}d_{K0\min} &= d_{GO-W} = D_{O\max} + Y_1, \\d_{K0\max} &= d_{GO-W} + H_0, \\d_{K0-W} &= d_{GO-W} + H_0 + W_0,\end{aligned}\tag{3}$$

где $D_{O\max}$ – наибольший предельный размер базового цилиндра изделия, мм,

Y_1 – допустимая величина износа гладкой скобы (кольца) по ГОСТ 24853-81, мм.

Варианты заданий

Вариант	Условные обозначения				Эскиз детали
1	D_1 , мм	D_2 , мм	D_3 , мм	T_p , мм	
1.1	20H6	40H9	100	0,12	
1.2	12D7	90H8	115	0,25	
1.3	8,5M8	50H9	100	0,1	
1.4	6E9	36H8	80	0,08	

Вариант	Условные обозначения				Эскиз детали
2	D_1 , мм	d_2 , мм	D_3 , мм	T_p , мм	
2.1	6,5H7	15h9	30	0,1	
2.2	8,4A6	20h8	40	0,2	
2.3	10,7G8	24h7	50	0,3	
2.4	12,6F9	32h6	60	0,25	

Вариант	Условные обозначения				Эскиз детали
3	D_1 , мм	D_2 , мм	D_3 , мм	δD , мм	
3.1	3,8N7	12h6	105	0,35	
3.2	23,2Z8	36h9	130	0,4	
3.3	10,6T6	18h7	110	0,26	
3.4	19,3R9	25h8	125	0,2	

Контрольные вопросы

1. Какие поверхности могут являться базовыми?
2. Классификация калибров по назначению
3. Как определить наличие или отсутствие базовой поверхности на детали?
4. Какой допуск называется зависимым?
5. Приведите пример допуска формы поверхности.

6. Приведите пример допуска расположения поверхностей.
7. Калибр для контроля расположения поверхностей является предельным или нормальным?
8. Каким образом определяется годность изделия при контроле калибрами расположения?
9. Допуск цилиндричности является допуском расположения или формы?
10. Что является исходной величиной для определения предельных отклонений и допусков диаметров базового элемента калибра?

Список литературы

1. Схиртладзе А.Г., Воронов В.Н. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник. Допущено Министерством образования и науки РФ. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 612 с.
2. ГОСТ 16085-80 Калибры для контроля расположения поверхностей. Допуски.
3. ГОСТ 25346-89 Общие положения, ряды допусков и основных отклонений.
4. ГОСТ 24853-81 Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Допуски.
5. ГОСТ 24997-81 Калибры для метрической резьбы. Допуски.

4 Практическая работа №3.

Проектирование и расчет калибра для контроля допусков соосности

Целью работы является освоение методики расчета калибров соосности.

Задание

По заданному варианту эскиза детали произвести расчет исполнительных размеров калибра соосности согласно ГОСТ 16085-80.

Порядок выполнения

1. Определить по табл.2 Приложения 1 ГОСТ 16085-80 позиционный допуск T_p для базовой поверхности (при ее наличии) и для остальных поверхностей.
2. Определить предельные отклонения и допуски диаметров измерительных элементов калибра (пробок или отверстий) по табл.1 ГОСТ 16085-80 в зависимости от позиционного допуска осей изделия T_p .
3. Рассчитать предельные размеры измерительных элементов калибра по формулам табл.2 ГОСТ 16085-80.
4. Определить требования, которые должны быть соблюдены при нормировании и контроле размеров, координирующих оси измерительных элементов калибра по табл.5 ГОСТ 16085-80.

Содержание отчета

1. Эскиз контролируемой детали с указанием размеров.
2. Эскиз калибра с указанием исполнительных размеров и допусков.
3. Необходимые формулы и результаты вычисления.

Теоретическая часть и формулы для расчета

Калибры широко используют в массовом и крупносерийном производстве для контроля отклонений от соосности отверстий и валов, ограниченных зависимыми допусками.

Отклонение от соосности представляет собой смещение номинально совпадающих осей, измеренное на длине нормируемого участка. При измерении за базу может быть принята либо ось одной из поверхностей, либо общая ось номинально соосных поверхностей вращения.

В контролируемой детали сочетание поверхностей, для которых необходимо определить величину допуска соосности может быть разнообразным. Это может быть несколько наружных поверхностей,

несколько внутренних поверхности или разнотипные поверхности. Кроме этого калибры для контроля соосности могут быть с базовым элементом или без него. Форма контролируемой поверхности детали бывает гладкой и резьбовой.

При осуществлении контрольной операции калибр-пробку вставляют в контролируемые отверстия детали, а калибр-втулку насаживают на контролируемый ступенчатый вал.

Деталь считается годной, если калибр-пробка проходит через контролируемые отверстия детали или деталь входит в калибр-втулку.

Предельные размеры измерительных элементов калибра должны определяться по формулам, приведенным в табл.1. Схемы расположения полей допусков калибров представлены на рис.1 и 2.

Для резьбовых измерительных элементов калибра отклонения и допуски, приведенные на рис.1 и 2, а также формулы расчета предельных размеров, приведенные в табл.1, относятся к среднему диаметру.

Отклонения и допуски для наружного и внутреннего диаметров резьбовых измерительных элементов должны соответствовать отклонениям и допускам, установленным для поэлементных проходных резьбовых калибров по ГОСТ24997-81.

Предельные размеры наружного и внутреннего диаметров резьбовых измерительных элементов (кроме базовых) должны быть уменьшены (для элементов, контролирующих расположение внутренних резьбовых поверхностей) или увеличены (для элементов, контролирующих расположение наружных резьбовых поверхностей) на величину позиционного допуска T_p относительно соответствующего предельного размера поэлементного резьбового проходного калибра по ГОСТ 24997-81. Для базовых измерительных элементов $T_p=0$.

Если для изделия задан зависимый допуск расположения поверхностей, равный нулю, то для измерительных элементов калибров следует принимать:

- предельные размеры, допуск на изготовление и величину износа равными размерами и допускам поэлементного проходного калибра по ГОСТ 24853-81 для гладких измерительных элементов и по ГОСТ 24997-81 для резьбовых измерительных элементов;

- позиционный допуск T_{PK} равным допуску на изготовление поэлементного проходного калибра.

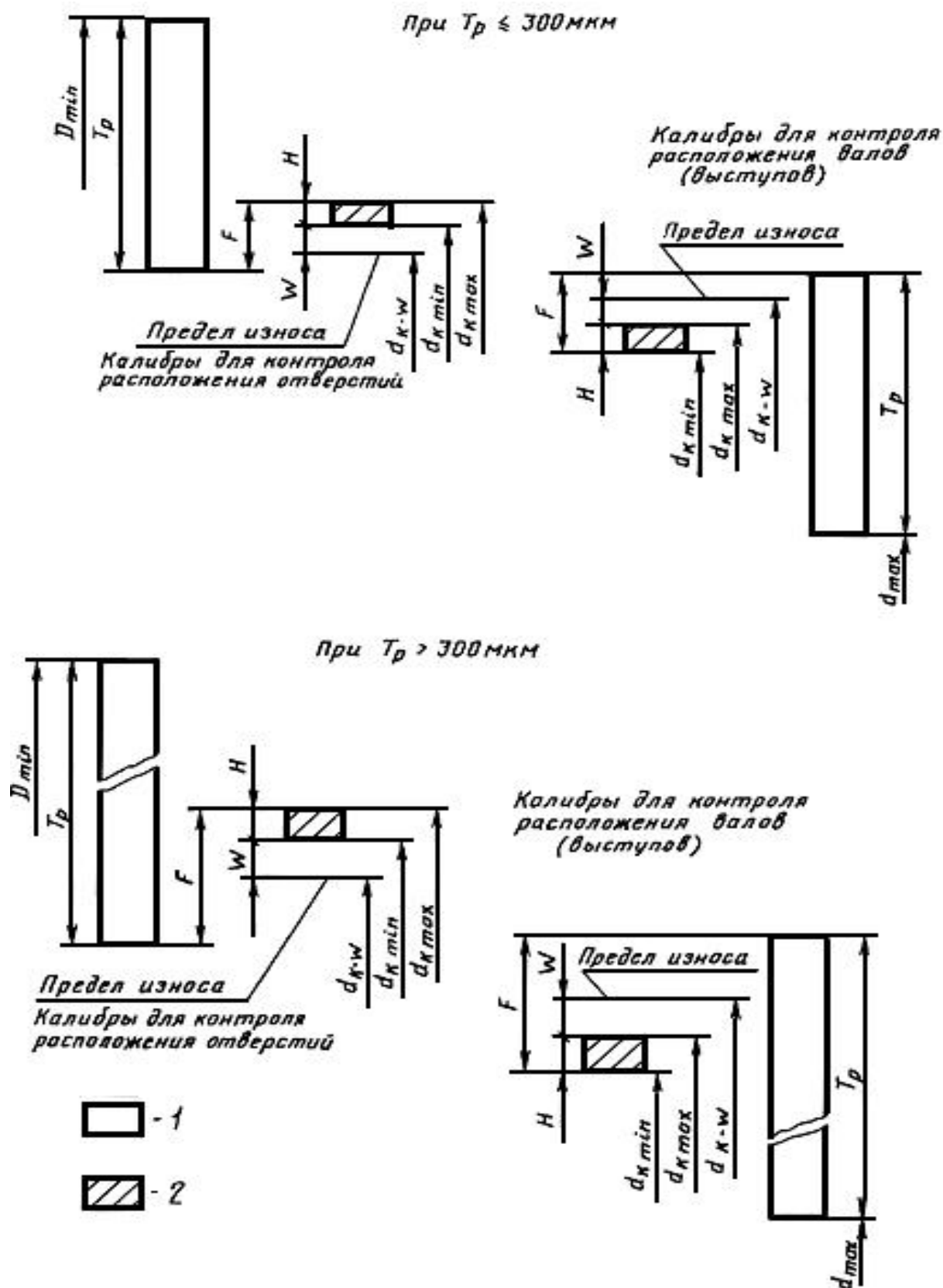
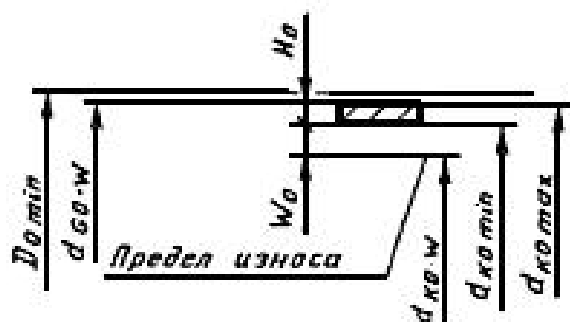
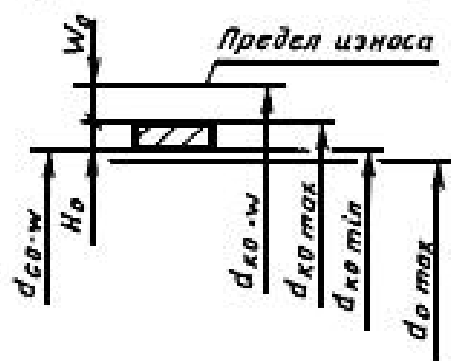


Рис. 1. Схема расположения полей допусков калибров без базовых измерительных элементов

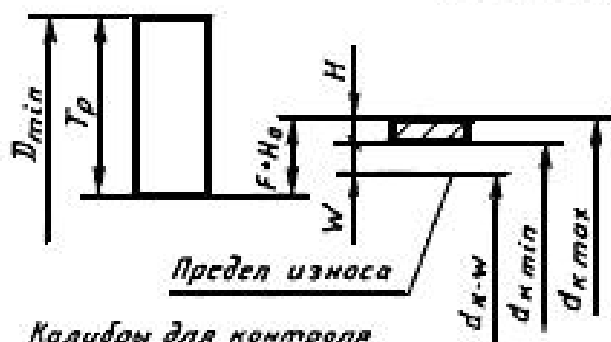
Для базового измерительного элемента
При базировании по отверстию



При базировании по валу

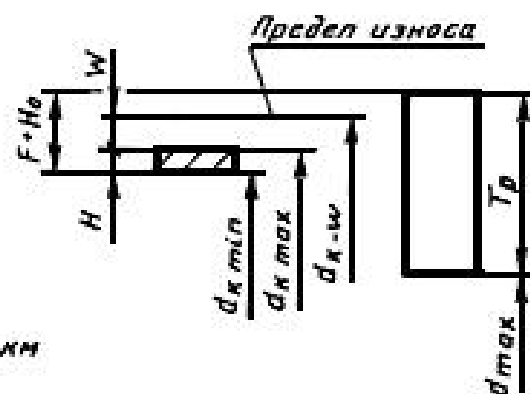


Для остальных измерительных элементов
При $T_p \leq 300 \text{ мкм}$

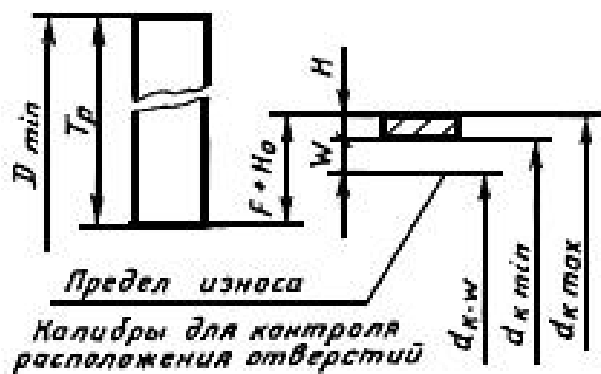


Калибры для контроля
расположения отверстий

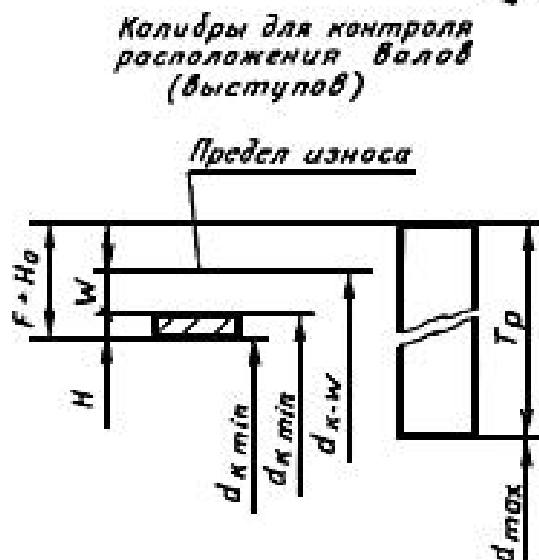
Калибры для контроля
расположения валов
(выступов)



При $T_p > 300 \text{ мкм}$



Калибры для контроля
расположения отверстий



- 1 – поле позиционного допуска поверхности изделия;
2 – поле допуска на изготовление измерительного элемента калибра

Рис. 2. Схема расположения полей допусков калибров
с базовым измерительным элементом

Таблица 1 – Формулы для расчета калибров

Вид калибра		Формулы расчета предельных размеров	
		для измерительных элементов, контролирующих расположение отверстий	для измерительных элементов, контролирующих расположение валов (выступов)
Калибры без базовых измерительных элементов		$d_{Kmax} = D_{min} - T_p + F$ $d_{Kmin} = d_{Kmax} - H$ $d_{K-W} = d_{Kmax} - H - W$	$d_{Kmin} = d_{max} - T_p - F$ $d_{Kmax} = d_{Kmin} + H$ $d_{K-W} = d_{Kmin} + H + W$
Калибры с базовыми измерительными элементами	Базовый измерительный элемент	$d_{K0max} = d_{GO-W}$ $d_{K0min} = d_{GO-W} - H_0$ $d_{K0-W} = d_{GO-W} - H_0 - W_0$	$d_{K0min} = d_{GO-W}$ $d_{K0max} = d_{GO-W} + H_0$ $d_{K0-W} = d_{GO-W} + H_0 + W_0$
	Остальные измерительные элементы	$d_{Kmax} = D_{min} - T_p + F + H_0$ $d_{Kmin} = d_{Kmax} - H$ $d_{K-W} = d_{Kmax} - H - W$	$d_{Kmin} = d_{Kmax} + T_p - F - H_0$ $d_{Kmax} = d_{Kmin} + H$ $d_{K-W} = d_{Kmin} + H + W$

Варианты заданий

Вариант	Условные обозначения			Эскиз детали
1	D, мм	d, мм	T _C , мм	
1.1	5,2H6	20k9	0,02	
1.2	11H7	28s8	0,03	
1.3	15,6H8	36n7	0,025	
1.4	22H9	52e6	0,035	

Вариант	Условные обозначения			Эскиз детали
2	M, мм	D, мм	T _C , мм	
2.1	20	10U7	0,04	
2.2	24	15E6	0,06	
2.3	36	20C9	0,08	
2.4	48	25N8	0,02	

Вариант	Условные обозначения				Эскиз детали
	D_1 , мм	D_2 , мм	T_{C1} , мм	T_{C2} , мм	
3					
3.1	12H7	12H7	0,2	0,35	
3.2	23,2H8	36H9	0,3	0,3	
3.3	10,6H6	18H7	0,26	0,26	
3.4	25H9	25H9	0,4	0,2	

Контрольные вопросы

1. В каком случае проектируют калибр расположения?
2. По какому принципу проектируют калибры расположения и его сущность?
3. Какие требования предъявляются к калибрам расположения?
4. Как определить исполнительные размеры калибра расположения?
5. Как указываются на чертеже исполнительные размеры калибра расположения?
6. Какие поверхности могут являться базовыми при контроле соосности?
7. Классификация калибров по назначению.
8. Как определить наличие или отсутствие базовой поверхности на детали?
9. Какой допуск называется зависимым?
10. Калибр для контроля расположения поверхностей является предельным или нормальным?
11. Каким образом определяется годность изделия при контроле калибрами расположения?
12. Что является исходной величиной для определения предельных отклонений и допусков диаметров базового элемента калибра?

Список литературы

1. Схиртладзе А.Г., Воронов В.Н. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник. Допущено Министерством образования и науки РФ. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 612 с.
2. ГОСТ 16085-80 Калибры для контроля расположения поверхностей. Допуски.
3. ГОСТ 25346-89 Общие положения, ряды допусков и основных отклонений.
4. ГОСТ 24853-81 Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Допуски.
5. ГОСТ 24997-81 Калибры для метрической резьбы. Допуски.

5. Практическая работа №4

Расчет и проектирование калибров для контроля шлицевых поверхностей

Цель работы

Целью работы является освоение методики расчета шлицевых калибров.

Задание

По заданному варианту эскиза детали произвести расчет исполнительных размеров шлицевого калибра.

Порядок выполнения

1. Рассчитать предельные размеры измерительных элементов шлицевого калибра по формулам ГОСТ7951-89.
2. Определить требования, которые должны быть соблюдены при нормировании и контроле размеров, координирующих расположение измерительных элементов калибра по таблицам соответствующего ГОСТа.

Содержание отчета

1. Эскиз контролируемой детали с указанием размеров.
2. Эскиз калибра с указанием исполнительных размеров и допусков.
3. Необходимые формулы и результаты вычисления.

Теоретическая часть и формулы для расчета

Типы шлицевых соединений и области их применения

Шлицевые соединения различаются по форме профиля в поперечном сечении, по расположению образующей боковой поверхности зубьев относительно оси соединения, по способу центрирования, по характеру сопряжения соединяемых деталей, а также по технологическим признакам.

По форме профиля шлицевые соединения разделяются на прямобочные (рисунок 1, таблица А.1), эвольвентные (рисунок 2, таблицы А.2 и А.3) и треугольные.

Форма профиля и размерный ряд прямобочных шлицевых соединений регламентированы ГОСТ 1139-80, соединения шлицевые эвольвентные – ГОСТ 6033-80, треугольные шлицевые – отраслевыми нормами.

Прямобочные и эвольвентные шлицевые соединения применяют для посадок на валы зубчатых колес, маховиков, шкивов ременных передач, звездочек цепных передач и муфт.

Треугольные шлицевые соединения используют обычно вместо соединения с натягом при тонкостенных втулках и втулках из легких сплавов. Точность центровки низкая, поэтому их применяют в

соединениях, неподвижных или работающих при малых скоростях для соединения торсионных рессор, рычагов и органов управления.

Эвольвентные шлицы отличаются от прямобочных повышенной прочностью (коэффициенты концентрации напряжений при кручении соответственно равны 1,5–2 и 1,9–2,6). При обработке шлицевых валов эвольвентного профиля могут быть использованы современные технологические процессы, применяемые для изготовления зубчатых колёс.

При нарезании зубьев втулок долбяком (индивидуальное и мелкосерийное производство) целесообразно применять эвольвентные соединения, так как одним долбяком можно обрабатывать втулки разных диаметров.

При обработке шлицевых отверстий протягиванием себестоимость прямобочного соединения легкой серии ниже, чем эвольвентного, а тяжелой – выше.

По расположению образующей боковой поверхности относительно оси детали зубья могут быть прямыми, винтовыми, коническими и торцовыми. Наибольшее распространение получили соединения с прямыми зубьями. Соединения с винтовыми зубьями применяют для одновременной передачи движения в осевом и окружном направлениях; конические шлицы – для создания беззазорных соединений; торцовые зубья – для соединения составных валов.

Детали соединений могут быть закаленными ($HВ > 350$) или незакаленными. Шлицевые валы обрабатывают фрезерованием, шлицестроганием, протягиванием или накатыванием. Чистовую обработку зубьев выполняют шлифованием. Для чистовой обработки боковых поверхностей можно применить скоростное фрезерование.

Шлицевое соединение – вид соединения валов со втулками по поверхностям сложного профиля с продольными выступами (шлицами) и впадинами. Обычно шлицевые соединения используют для передачи крутящих моментов в соединениях вала с зубчатым колесом (блоком зубчатых колес), со шкивом, полумуфтой или другой деталью. Как правило, это подвижные соединения, в которых втулка может перемещаться в осевом направлении, а шлицевые поверхности используют как направляющие для продольного перемещения деталей. Однако возможно и применение неподвижных шлицевых соединений. Шлицевые соединения разделяют на соединения спрямобочным, эвольвентным и треугольным профилем шлицев.

Наиболее широко в машиностроении распространены шлицевые соединения с прямобочными шлицами. Контроль прямобочных шлицевых деталей осуществляют обычно комплексным методом, реже по элементам. Для комплексного контроля шлицевых втулок в цеховых условиях применяют комплексные шлицевые калибры-пробки, а для шлицевых валов – комплексные шлицевые калибры-кольца. Виды и размеры калибров стандартизированы ГОСТ 7951-89.

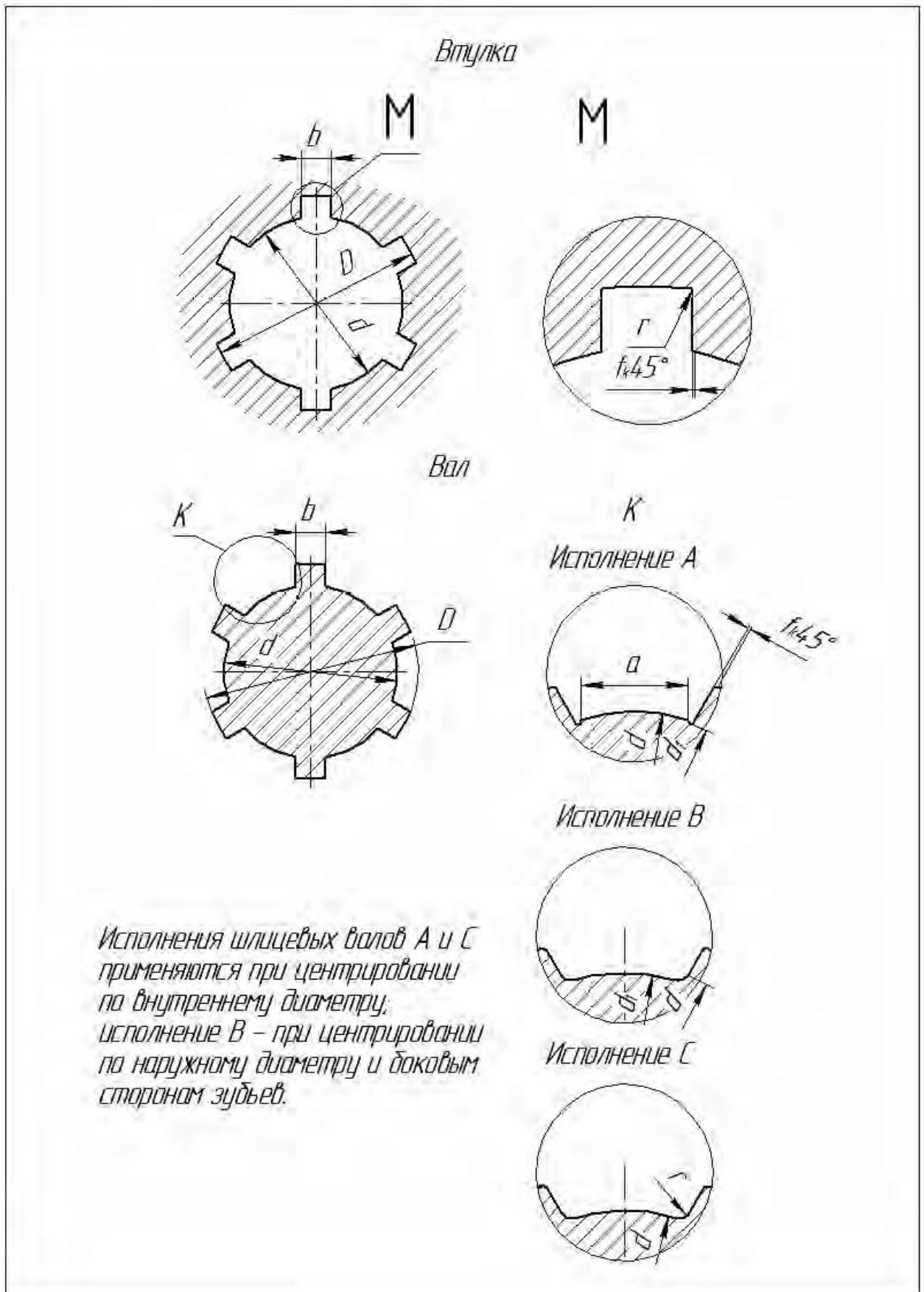


Рисунок 1 – Прямобоочные шлицевые соединения

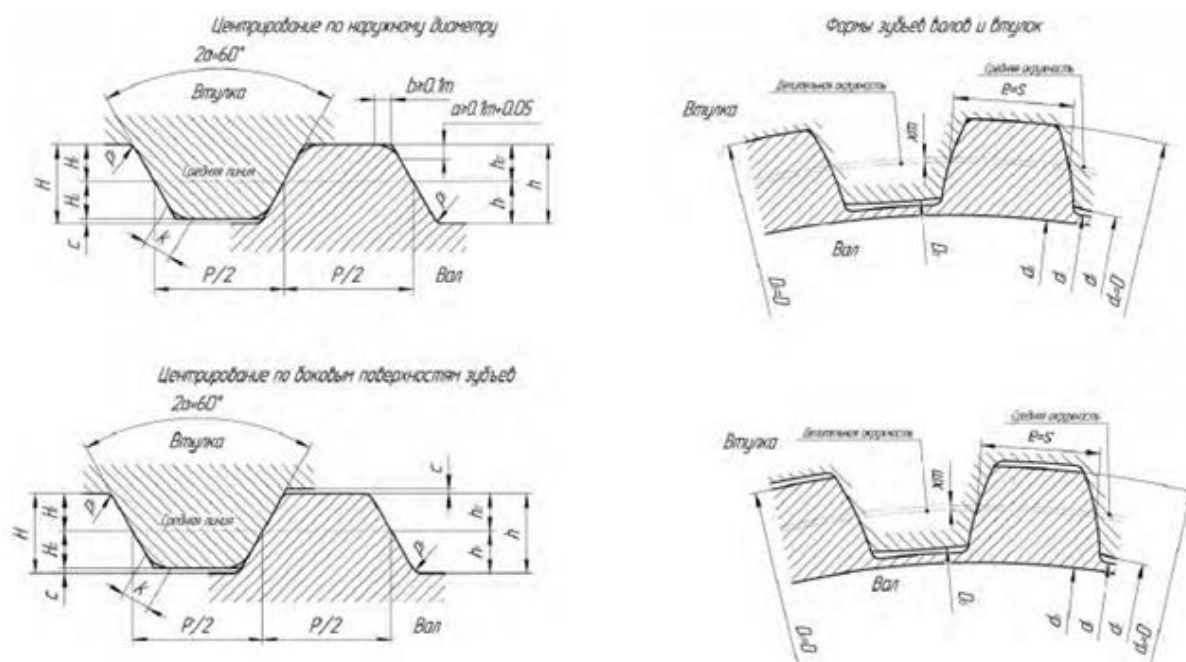


Рисунок 2-Эвольвентные шлицевые соединения

Шлицевая втулка представлена на рис.4, а комплексная шлицевая пробка с прямобочным профилем зуба показана на рис.5. Контроль шлицевой втулки осуществляют по прохождению через шлицевое отверстие комплексного калибра. Его прохождение означает, что размеры наружного D и внутреннего d диаметров втулки и ширины впадины b не меньше их наименьших предельных размеров. Одновременно проходной шлицевой калибр контролирует также правильность расположения впадин втулки и допускаемые отклонения их формы от прямолинейности и параллельности относительно оси втулки. Для обеспечения этого требования при расчете размеров калибра учитывают допускаемые отклонения как самих размеров, так и отклонений формы и расположения шлицев втулки.

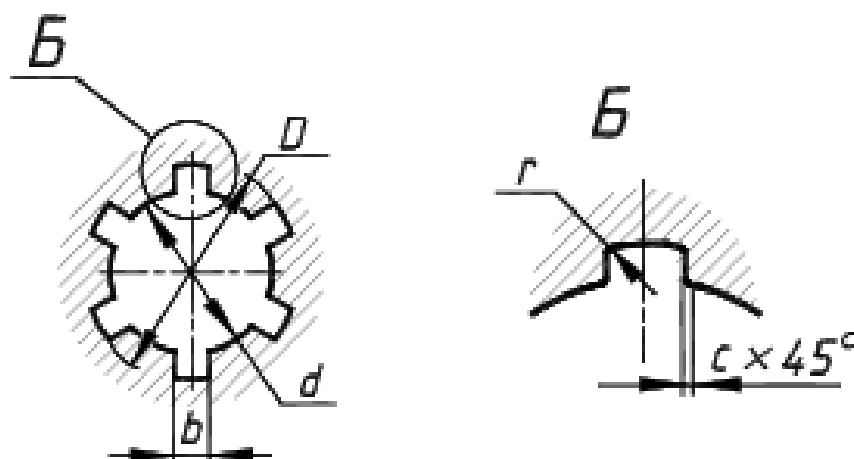


Рис.4.Форма сечения шлицевой втулки

рис.6, а комплексный шлицевой калибр-кольцо показано на рис.7.

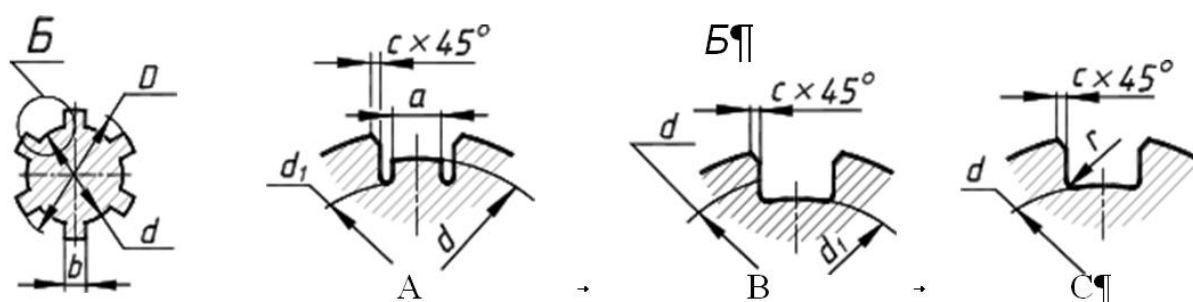


Рис.6. Форма сечения шлицевого вала

Форма сечения шлицевого вала имеет исполнение А или С при центрировании по внутреннему диаметру (d), а при центрировании по наружному диаметру и боковым сторонам зубьев (D и b) – исполнение В. Способ центрирования выбирается по конструктивным и технологическим характеристикам.

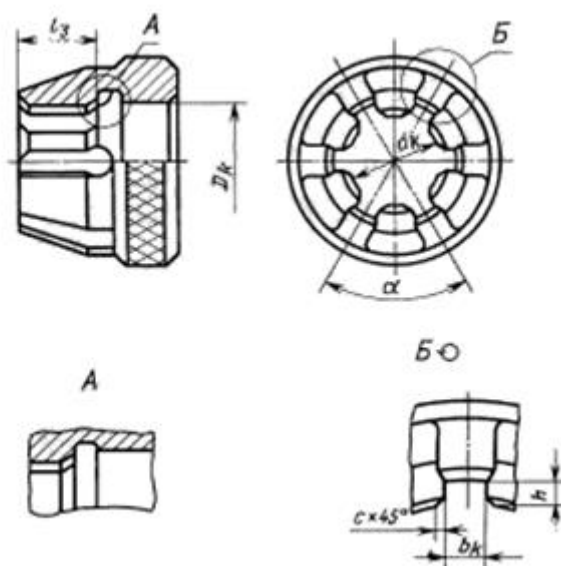


Рис.7. Основные размеры шлицевого калибра-кольца

Исполнительные размеры и их предельные отклонения комплексной шлицевого калибра-пробки комплексного шлицевого калибра-кольца с прямоблочным профилем зуба определяются по формулам табл.2.

Расположение полей допусков размеров D_k , d_k , и b_k калибров зависит от способа центрирования и номинального размера искомой величины. Это определяется по соответствующим рисункам и таблицам ГОСТ 7951-89.

Допуски симметричности зуба калибра-пробки или паза калибра- кольца относительно оси поверхности d_k при

центрировании по d или относительно оси поверхности D_K при центрировании по D или b должны соответствовать указанным в таблицах ГОСТ 7951-89.

Допуски параллельности боковых сторон зуба калибра-пробки или паза калибра-кольца относительно оси поверхности d_K при центрировании по d или относительно оси поверхности D_K при центрировании по D или b должны соответствовать указанным в таблицах ГОСТ 7951-89.

Допуски радиального биения поверхности наружного диаметра D_K относительно оси поверхности внутреннего диаметра d_K при центрировании по d и внутреннего диаметра d_K относительно оси поверхности наружного диаметра D_K при центрировании по D должны соответствовать допускам на изготовление нецентрирующих диаметров калибров.

Таблица 2 – Формулы для расчета исполнительных размеров калибров,

В ММ

Определяемый параметр калибра		Калибр-пробка		Калибр-кольцо	
		Размер	Предельные отклонения	Размер	Предельные отклонения
Центрирующий диаметр d или D	d_K	$d_{min}-z_d$	$\pm \frac{H_d}{2}$	$d_{max}+z_{1d}$	$\pm \frac{H_{1d}}{2}$
	d_{K-W}	$d_{min}-y_d$	—	$d_{max}+y_{1d}$	—
	D_K	$D_{min}-z_D$	$\pm \frac{H_D}{2}$	$D_{max}+z_{1D}$	$\pm \frac{H_{1D}}{2}$
	D_{K-W}	$D_{min}-y_D$	—	$D_{max}+y_{1D}$	—
Нецентрирующий диаметр D или d	D_K	$D_{min}-z_D$	$\frac{H_{D'}}{2}$	$D_{mjn}+z_{1D'}$	$\pm \frac{H_{1D'}}{2}$
	d_K	$d-0,1$	$h8$	$d-0,1$	$H8$
Размер b	b_K	$b_{min}-z_b$	$\pm \frac{H_b}{2}$	$b_{max}+z_{1b}$	$\pm \frac{H_{1b}}{2}$
	b_{K-W}	$b_{min}-y_b$	—	$b_{max}+y_{1b}$	—

Варианты заданий

Вариант	Условные обозначения					Эскиз детали
3	d , мм	D , мм	b , мм	T , мм	z	
3.1	42H8	48H12	7D9	0,015	8	
3.2	26H7	32H12	6D9	0,012	6	
3.3	72H8	82H12	12F8	0,015	10	
3.4	21H7	25H12	5F8	0,012	6	

Вариант	Условные обозначения					Эскиз детали
4	d , мм	D , мм	b , мм	T , мм	z	
4.1	82	92e8	12f7	0,018	10	
4.2	11	14f7	3h9	0,01	6	
4.3	26	32js6	6js7	0,012	6	
4.4	42	48js6	7f8	0,015	8	

Контрольные вопросы

1. Назначение и разновидности шлицевых соединений.
2. Какие калибры применяют для контроля шлицевых валов и втулок?
3. Комплексные шлицевые калибры-кольца применяются для контроля шлицевых валов или отверстий?
4. Какие элементы шлицевых поверхностей используются в качестве центрирующих?
5. Какие допуски формы и расположения поверхностей указываются на чертеже шлицевого калибра?
6. Какие поверхности контролируются комплексными шлицевыми калибрами-пробками?

Список литературы

1. Схиртладзе А.Г., Воронов В.Н. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник. Допущено Министерством образования и науки РФ. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 612 с.
2. ГОСТ 25346-89 Общие положения, ряды допусков и основных отклонений.
3. ГОСТ 23360-78 Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки.
4. ГОСТ 1139-80 Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шлицевые прямобочные. Размеры и допуски.
5. ГОСТ 24109-80 Калибры для шпоночных соединений. Допуски.
6. ГОСТ 7951-89 Калибры для контроля шлицевых прямобочных соединений. Допуски.

6. Практическое занятие №5

Расчет калибров для контроля шпоночных поверхностей

Цель работы

Целью работы является освоение методики расчета шпоночных калибров.

Задание

По заданному варианту эскиза детали произвести расчет исполнительных размеров шпоночного калибра.

Порядок выполнения

1. Рассчитать предельные размеры измерительных элементов шпоночного калибра по формулам ГОСТ 24109-80.
2. Определить требования, которые должны быть соблюдены при нормировании и контроле размеров, координирующих расположение измерительных элементов калибра по таблицам соответствующего ГОСТа.

Содержание отчета

1. Эскиз контролируемой детали с указанием размеров.
2. Эскиз калибра с указанием исполнительных размеров и допусков.
3. Необходимые формулы и результаты вычисления.

Теоретическая часть и формулы для расчета

Шпоночное соединение образуют вал, шпонка и ступица колеса (шкива, звездочки, маховика и т.д.). Шпонка – деталь, соединяющая вал и ступицу, которая служит для передачи вращающего момента от вала к ступице или наоборот. Шпоночные соединения могут быть подвижными и неподвижными и служат обычно для предотвращения относительного поворота детали, насаживаемой на вал, при передаче крутящего момента. Достоинства шпоночных соединений – простота и надежность конструкции, легкость сборки, невысокая стоимость. Основным недостатком – снижение нагрузочной способности сопрягаемых деталей из-за ослабления их поперечных сечений пазом и значительной концентрации напряжений в зоне пазов. В машиностроении используются шпонки призматические, сегментные, цилиндрические, клиновые и др. Наибольшее распространение нашли неподвижные шпоночные соединения с призматическими шпонками.

Общий вид шпоночного соединения представлен на рис.1.

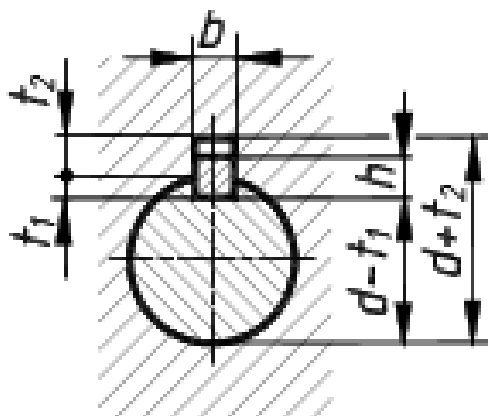


Рис.1. Общий вид шпоночного паза на валу и во втулке:
 d – диаметр вала (отверстия втулки), мм; **b** – ширина шпонки, мм;
 h – высота шпонки, мм; **t_1** – глубина паза вала, мм;
 t_2 – глубина паза втулки, мм.

Для контроля шпоночных соединений применяются комплексные и поэлементные калибры.

Комплексные калибры предназначены для контроля ширины шпоночного паза и отклонения от симметричности этого паза относительно цилиндрической поверхности, на которой паз расположен.

Поэлементные калибры используются для контроля отдельных параметров шпоночных соединений.

ГОСТ 24109-80 предлагает применять для контроля отверстий втулок со шпоночным пазом комплексные шпоночные калибры-пробки и поэлементные калибры: гладкие калибры-пробки проходные и непроходные для контроля диаметра отверстия d ; пазовые калибры проходные и непроходные для контроля ширины паза b ; калибры-глубиномеры проходные и непроходные для контроля глубины шпоночного паза $d+t_2$.

ГОСТ 24109-80 предлагает применять для контроля валов со шпоночным пазом комплексные шпоночные калибры-призмы и поэлементные калибры: гладкие калибры-скобы проходные и непроходные для контроля наружного диаметра вала d ; пазовые калибры проходные и непроходные для контроля глубины шпоночного паза b ; калибры-глубиномеры проходные и непроходные для контроля глубины шпоночного паза t_1 .

Отверстие со шпоночным пазом считается годным, если шпоночный калибр-пробка проходит, а диаметр отверстия втулки, ширина и глубина шпоночного паза не выходят за предельные размеры.

Вал со шпоночным пазом считается годным, если шпоночный калибр-призма проходит, а диаметр вала, ширина и глубина шпоночного паза не выходят за предельные размеры.

ГОСТ 24109-80 устанавливает допуски и формулы для определения размеров рабочей части калибров.

Размеры шпоночных калибров-пробок (рис.2) и калибров-призм (рис.3) должны определяться по формулам, указанным в табл.1.

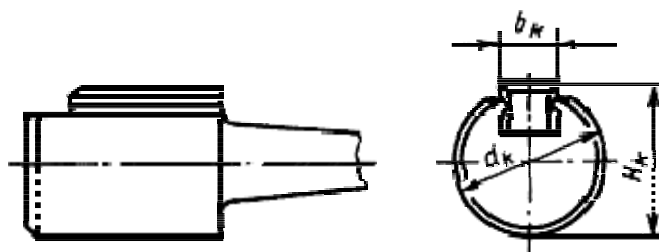


Рис.2. Исполнительные размеры шпоночных калибров-пробок

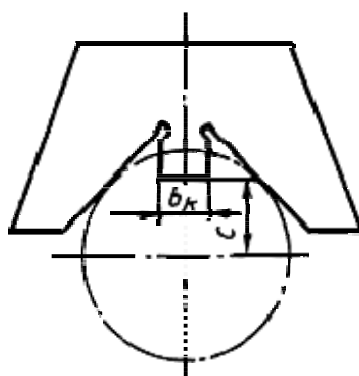


Рис.3. Исполнительные размеры шпоночных калибров-призм

Таблица 1 – Формулы для расчета размеров шпоночных калибров в мм

Определяемый размер		Квалитет допуска изделия	Новый калибр		Предельный размер изношенного калибра
			Номинальный размер	Предельное отклонение	
b_k			$b_{\min} - Z_b + \frac{H_b}{2}$	$-H_b$	$b_{\min} - y_b$
d_k	До 180 мм	6...8	$d_{\min} - y$	$-H$	$d_{\min} - 2y - \frac{H}{2} - Z$
		9 и грубее	$d_{\min}$	$-H$	$d_{\min} - \frac{H}{2} - Z$
	Свыше 180 мм	6...8	$d_{\min} - y + \alpha$	$-H$	$d_{\min} - 2y + 2\alpha - \frac{H}{2} - Z$
		9 и грубее	$d_{\min} + \alpha$	$-H$	$d_{\min} + 2\alpha - \frac{H}{2} - Z$
H_k		—	$d - t_1 + h$	$h12$	—
			$d + t_2 - 0,2 \frac{l_1^*}{100}$		
C		—	$\frac{d}{2} - t_1 + r$	$js12$	—

*Формула приведена только для калибров-пробок, предназначенных для контроля шпоночных втулок по ГОСТ 24068-80.

Расположение полей допусков размеров D_K , d_K , и b_K калибров зависит от способа центрирования и номинального размера искомой величины. Это определяется по соответствующим рисункам и таблицам ГОСТ 7951-89.

Допуски симметричности зуба калибра-пробки или паза калибра-кольца относительно оси поверхности d_K при центрировании по d или относительно оси поверхности D_K при центрировании по D или b должны соответствовать указанным в таблицах ГОСТ 7951-89.

Допуски параллельности боковых сторон зуба калибра-пробки или паза калибра-кольца относительно оси поверхности d_K при центрировании по d или относительно оси поверхности D_K при центрировании по D или b должны соответствовать указанным в таблицах ГОСТ 7951-89.

Допуски радиального биения поверхности наружного диаметра D_K относительно оси поверхности внутреннего диаметра d_K при центрировании по d и внутреннего диаметра d_K относительно оси поверхности наружного диаметра D_K при центрировании по D должны соответствовать допускам на изготовление нецентрирующих диаметров калибров.

Таблица 2 – Формулы для расчета исполнительных размеров калибров, в мм

Определяемый параметр калибра		Калибр-пробка		Калибр-кольцо	
		Размер	Предельные отклонения	Размер	Предельные отклонения
Центрирующий диаметр d или D	d_K	$d_{min}-z_d$	$\pm \frac{H_d}{2}$	$d_{max}+z_{1d}$	$\pm \frac{H_{1d}}{2}$
	d_{K-W}	$d_{min}-y_d$	—	$d_{max}+y_{1d}$	—
	D_K	$D_{min}-z_D$	$\pm \frac{H_D}{2}$	$D_{max}+z_{1D}$	$\pm \frac{H_{1D}}{2}$
	D_{K-W}	$D_{min}-y_D$	—	$D_{max}+y_{1D}$	—
Нецентрирующий диаметр D или d	D_K	$D_{min}-z_D$	$\frac{H_{D'}}{2}$	$D_{mjn}+z_{1D'}$	$\pm \frac{H_{1D}}{2}$
	d_K	$d-0,1$	$h8$	$d-0,1$	$H8$
Размер b	b_K	$b_{min}-z_b$	$\pm \frac{H_b}{2}$	$b_{max}+z_{1b}$	$\pm \frac{H_{1b}}{2}$
	b_{K-W}	$b_{min}-y_b$	—	$b_{max}+y_{1b}$	—

Варианты заданий

Вариант	Условные обозначения			Эскиз детали
1	d , мм	b , мм	T , мм	
1.1	20js6	6N9	0,04	
1.2	24n7	8H9	0,06	
1.3	36r6	10N9	0,08	
1.4	48k6	14P9	0,1	
Вариант	Условные обозначения			Эскиз детали
2	d , мм	b , мм	T , мм	
2.1	15H7	5D10	0,03	
2.2	25H8	7JS9	0,05	
2.3	40H9	12P9	0,08	
2.4	52H7	16JS9	0,1	

Контрольные вопросы

1. Назначение и разновидности шпоночных соединений.
2. Какие калибры применяют для контроля шпоночных валов и втулок?
3. Для контроля каких поверхностей используются комплексные шпоночные калибры-пробки?
4. Для проверки каких поверхностей применяют комплексные шпоночные калибры-призмы?
5. Какие допуски формы и расположения поверхностей указываются на чертеже шпоночного калибра?
6. Какие материалы применяются для изготовления калибра.

Список литературы

1. Схиртладзе А.Г., Воронов В.Н. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник. Допущено Министерством образования и науки РФ. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 612 с.

2. ГОСТ 25346-89 Общие положения, ряды допусков и основных отклонений.

3. ГОСТ 23360-78 Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки.

4. ГОСТ 1139-80 Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шлицевые прямобочные. Размеры и допуски.

5. ГОСТ 24109-80 Калибры для шпоночных соединений. Допуски.

6. ГОСТ 7951-89 Калибры для контроля шлицевых прямобочных соединений. Допуски.

7 Практическая работа №6

Разработка схем для контроля допуска форм

Цель работы

Целью работы является освоение принципов конструирования специальных контрольных приспособлений.

Задание

Спроектировать специальное контрольное приспособление для контроля проверки параметров заданной детали согласно табл.1.

Порядок выполнения работы

1. Зарисовать эскиз детали с указанием размеров и контролируемых параметров.
2. Разработать и зарисовать схему измерения.
3. Выполнить расчет допустимой $\delta_{\text{доп}}$ и действительной суммарной погрешности измерения Δ_{Σ} . Произвести их сравнение.
4. Зарисовать эскиз контрольного приспособления.

Теоретическая часть

Контрольные приспособления предназначены для контроля деталей сложной формы. Обычно они используются в серийном и массовом производстве для контроля допусков формы и расположения поверхностей.

К контрольным приспособлениям предъявляются следующие требования:

- обеспечение оптимальной точности и производительности контрольных операций;
- удобство в эксплуатации;
- технологичность в изготовлении;
- износоустойчивость;
- экономическая целесообразность.

Для проверки небольших и средних деталей применяют стационарные контрольные приспособления, а для крупных – переносные.

Наряду с одномерными находят широкое применение многомерные приспособления, где за одну установку проверяют несколько параметров. Использование таких приспособлений возможно, если одна поверхность детали является установочной и измерительной базой для всех проверяемых размеров. Эти условия нередко обеспечивают пересчетом размеров и допусков детали.

По количеству контролируемых деталей различают одноместные и многоместные приспособления.

Контрольные приспособления делят на пассивные и активные по степени воздействия на ход технологического процесса. Пассивные применяют после выполнения операций обработки. Активные устанавливают на станках. Они контролируют детали в процессе обработки, давая сигнал органам станка или рабочему на прекращение обработки или изменение условий ее выполнения при появлении брака.

Контрольное приспособление состоит из установочных, зажимных, измерительных, вспомогательных и подвижных элементов, смонтированных на корпусе приспособления. Конструкция и габариты приспособления определяются формой и размерами контролируемой детали.

На установочные элементы (опоры) ставят проверяемую деталь своими измерительными базами для проведения контроля. Для установки применяют постоянные опоры со сферическими и плоскими головками, опорные пластины, а также специальные детали (секторы, кольца и т.д.) в зависимости от конфигурации детали. Опоры со сферическими головками применяют для установки деталей на необработанные базы; с гладкой поверхностью – на обработанные базы. Призмы используют для установки деталей на внешние цилиндрические поверхности. Пользуясь призмой, можно проверить правильность цилиндрической поверхности в продольном и осевом сечении. Для проверки деталей на радиальное или осевое биение применяют установку на одно или два соосных цилиндрических отверстия. Часто детали для проверки устанавливают на конические или разжимные оправки. Эти оправки неприменимы для установки на соосные отверстия. Установку деталей отверстиями на оправки и пальцы применяют для проверки перпендикулярности торцов, соосности отверстий, межосевых расстояний, а также расстояний от оси отверстий до параллельно расположенных плоскостей. Кроме того применяют различные сочетания элементарных поверхностей в качестве установочных баз (плоскость-наружная цилиндрическая поверхность, плоскость-отверстия и т. д.).

Зажимные устройства в контрольных приспособлениях предупреждают смещения установленной для проверки детали (узла) относительно измерительного устройства и обеспечивают плотный контакт установочных баз детали с опорами приспособления. Работа зажимного устройства контрольного приспособления существенно отличается от работы аналогичных устройств в станочных приспособлениях. Для предупреждения деформаций проверяемых изделий силы закрепления должны быть небольшими, а их величина – стабильна. Необходимость в зажимных устройствах отпадает, если деталь занимает вполне устойчивое положение на опорах приспособления и силы от измерительного устройства не нарушают этой устойчивости. Для повышения производительности контроля зажимное устройство выполняют быстродействующим и удобным для обслуживания. В контрольных приспособлениях применяют ручные зажимные устройства (рычажные, пружинные, винтовые, эксцентриковые, клиновые), а также

устройства с приводом (пневмозажимы), в которых сжатый воздух используется и для привода вспомогательных механизмов приспособления (подъем, поворот или выталкивание детали). В некоторых случаях зажим совмещается с базированием, например, в цанговых оправках. Часто применяют комбинированные зажимные устройства, обеспечивающие одновременный и равномерный прижим контролируемых деталей к нескольким опорным элементам приспособления. Место приложения силы закрепления выбирают так, чтобы исключить недопустимые деформации детали и элементов контрольного приспособления.

Измерительные устройства контрольных приспособлений делятся на предельные (бесшкальные) и отсчетные (шкальные). Особую группу составляют устройства, работающие по принципу нормальных калибров. Предельные устройства не дают численного значения измеряемых величин, а все проверяемые изделия делят на три категории: годные, брак по переходу за нижнюю границу допуска и брак по переходу за верхнюю границу допуска. Иногда годные изделия разбивают на несколько размерных групп для селективной сборки. В качестве простейших устройств применяют встроенные в контрольные приспособления жестко закрепленные или выдвижные предельные элементы (скобы, пробки, щупы). Широкое распространение получили электроконтактные датчики; их применяют в контрольных приспособлениях и контрольно-сортировочных автоматах. Электроконтактные датчики удобны для многомерных контрольных приспособлений светового типа. Они обеспечивают значительное повышение производительности. Применяют также многоконтактные датчики для сортировки деталей на размерные группы. Электроконтактные датчики выпускают двух типов: предельные и амплитудные. Первые применяют для контроля размеров, вторые – для контроля формы и расположения поверхностей детали. Электроконтактные датчики обеспечивают точность измерения 1 мкм и ± 3 мкм. Их предел измерения 1 мм, а сила измерения 1...2 Н. Реже применяют емкостные, индуктивные и фотоэлектрические датчики. Приспособления с отсчетными устройствами применяют при обычном и статистическом контроле. Они необходимы также для проверки настройки станков на размер. В качестве отсчетных измерителей обычно используют индикаторы с рычажной или зубчатой передачами. Индикаторы часового типа имеют цену деления 0,01 мм и выпускаются с пределами измерения 0...5 и 0...10 мм. Малогабаритные индикаторы имеют пределы измерения 0...2 или 0...3 мм. Сила прижатия измерительного наконечника в начале и конце хода 0,8...2 Н. Индикаторы выпускаются с погрешностью показаний 0,01, 0,015 и 0,02 мм за один оборот стрелки. При цене деления 0,01 мм индикаторы часового типа используют для проверки деталей с допусками от 0,03 мм и больше. При меньших допусках эти индикаторы могут применяться с увеличивающей рычажной передачей. Для более точных измерений применяют индикаторы с ценой деления 0,002 мм (микроиндикаторы) и миниметры (цена деления до 0,001 мм). Получили распространение также пневматические микрометры. Их

использование в контрольных приспособлениях обеспечивает точность измерений 0,5...0,2 мкм. Пневматические микрометры применяют двух основных типов: с манометрами и с воздушными расходомерами (ротаметрами). В качестве отсчетных измерительных средств применяют также индуктивные, емкостные, пьезоэлектрические и другие устройства. Они основаны на трансформации перемещения измерительного щупа в электрические величины.

Вспомогательные устройства контрольных приспособлений имеют различное целевое назначение. Вспомогательные устройства необходимы для крепления измерительных элементов. Это осуществляется с помощью различных стоек, штативов и т.п. Закрепление происходит за соответствующие поверхности измерительного устройства. Например, индикаторы крепят через гильзу за ножку или за ушко на их задней крышке. Второй способ является менее надежным. Для установки и снятия деталей используют подъемные устройства и выталкиватели. Специфичными являются передаточные устройства между контролирующим элементом и отсчетным измерителем (индикатором, электроконтактным датчиком). Для изменения направления линейного перемещения и передаточного отношения служат рычажные передачи. Их монтируют на цилиндрических, конических и шаровых цапфах. Применяется также подвеска рычагов на плоских стальных пружинах толщиной 0,2...0,3 мм.

Подвижные элементы приспособлений необходимы для перемещения и (или) поворота детали или измерительного элемента относительно друг друга в процессе измерения. К подвижным элементам предъявляются определенные требования: плавность движения, точность направления перемещения, ограничение в двух поворотах и направлениях перемещения. Для этого обычно используют направляющие скольжения (плоские или типа “ласточкин хвост”) и направляющие качения (шариковые). В некоторых случаях используются цилиндрические направляющие со шпонкой или винтовые (стойки от вертикальных или горизонтальных оптиметров). Погрешность направляющих сказывается в нестабильности возврата в исходное положение. На погрешность направляющих влияют длина хода, величина износа, расположение в пространстве линий измерения и линий перемещения (погрешность будет минимальной при расположении этих линий перпендикулярно друг друга). Для осуществления вращения в некоторых случаях применяют приводные механизмы. Чаще всего поворот детали производится вручную.

Корпус контрольного приспособления является его базовой деталью, на которой закрепляются остальные элементы приспособления. Корпусы стационарных приспособлений выполняют в виде массивной и жесткой плиты или корпусной детали, на которой располагают основные и вспомогательные детали и устройства. Они должны обеспечивать жесткость и надежность эксплуатации. При этом масса должна быть минимальной. Корпусы изготавливают из серого чугуна СЧ 12 или СЧ 15. Корпусы

приспособлений для точных измерений необходимо подвергать старению или отливать из чугуна, стойкого к короблению (СЧ 25 или СЧ 30).

Точностные параметры приспособления должны анализироваться при проектировании. Допустимая погрешность измерения определяется по формуле

$$\delta_{\text{доп}} = K T_p, \quad (1)$$

где K – коэффициент относительной погрешности измерения;

T_p – контролируемый допуск формы или взаимного расположения поверхностей детали, мкм.

Величина K принимается от 0,08 (для особо точных деталей) до 0,3 (для 10...14 качества). Обычно $K=0,2$.

При разработке схемы измерения необходимо: выбрать измерительные базы, направление измерительного контакта, выполняемые во время измерения движения, измерительный элемент, количество одновременно контролируемых деталей.

Действительная суммарная погрешность измерения определяется по формуле

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\text{баз}} + \Delta_p + \Delta_{\text{изм}} + \Delta_{\text{наст}} + \sqrt{\Delta_{\text{тем}}^2 + \Delta_{\text{зак}}^2 + \Delta_{\text{оп}}^2}, \quad (2)$$

где $\Delta_{\text{баз}}$ – погрешность базирования детали в контрольном приспособлении, определяется в зависимости от способа базирования, мкм;

Δ_p – погрешность передаточного рычага приспособления, определяется в зависимости от длины плеч рычагов и величины перемещения концов рычагов ($\Delta_p \approx 0,5$ мкм);

$\Delta_{\text{изм}}$ – погрешность применяемого измерительного элемента, определяется по РД 50-98-86, мкм;

$\Delta_{\text{наст}}$ – погрешность настройки, зависит от используемых концевых мер или точности образцовой детали, мкм;

$\Delta_{\text{тем}}$ – температурная погрешность, при соблюдении температурного режима $\Delta_{\text{тем}} = 0$, мкм;

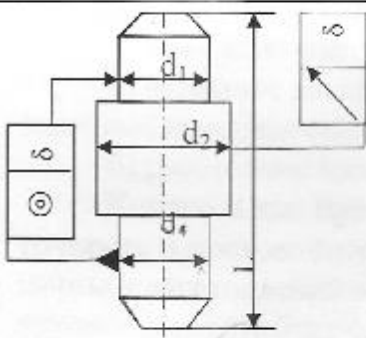
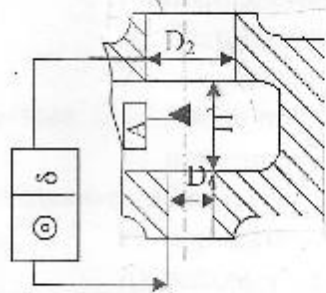
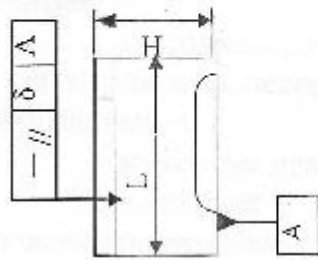
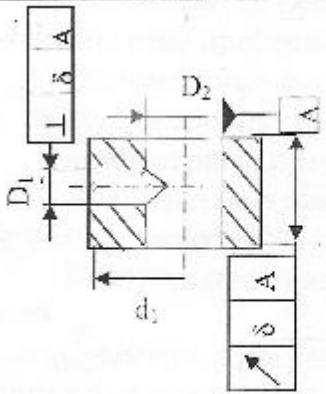
$\Delta_{\text{зак}}$ – погрешность зажимного устройства приспособления, зависит от условия зажима и конструкции зажимного устройства, определяется экспериментально, мкм;

$\Delta_{\text{оп}}$ – случайная погрешность оператора, $\Delta_{\text{оп}} = 1 \dots 4$ мкм.

Если $\delta_{\text{доп}} > \Delta_{\Sigma}$, то предлагаемая схема измерения удовлетворяет заданной точности. Если $\delta_{\text{доп}} < \Delta_{\Sigma}$, то необходимо изыскивать пути уменьшения суммарной погрешности измерения (стабилизация температуры, уменьшение погрешности базирования, передаточного рычага, применение более точного измерительного средства и т.п.).

Варианты заданий

Таблица 1 – Эскизы деталей и контролируемые параметры

Эскизы контролируемых деталей	№ варианта	Размеры детали				Допуск δ , мм
		$D_1(L)$	D_2	d_1	$d_2(H)$	
	1	150		18h8	32 (шли-цы)	0.01
	2	180		36h9	48f9	0.03
	3	250		32z8	40d8	0.01
	4	120		12u8	24f9	0.01
	5	320		40h11	60 (шли-цы)	0.05
	6	20h6	32h6		100	0.01
	7	36h7	48h7		150	0.03
	8	42h7	60h7		200	0.05
	9	52h8	68h8		280	0.08
	10	48h8	72h8		340	0.08
	11	40			8h8	0.05
	12	100			20h9	0.08
	13	180			60h9	0.08
	14	240			72h10	0.1
	15	360			80h12	0.1
	16	24h7	60	60	50h8	0.03
	17	32h8	72	72	60h10	0.05
	18	36h9	80	80	62h12	0.08
	19	42h8	90	90	76h12	0.1
	20	40h9	100	100	80h14	0.2

Контрольные вопросы

1. Назначение и классификация контрольных приспособлений.
2. Основные требования, предъявляемые к контрольным приспособлениям.
3. Приведите эскизы элементов контрольных приспособлений: базирующих, передаточных, подвижных и зажимных.
4. Измерительные устройства: предельные и отсчётные.
5. Для каких измерений целесообразно применять конструкции электроконтактных и пневматических головок?
6. В чём преимущества пневматических контрольных приспособлений?
7. Каково назначение световой сигнализации на контрольных приспособлениях?
8. Точность изготовления контрольных приспособлений.
9. Какие требования предъявляются к корпусам контрольных приспособлений?
10. Какие измерительные усилия допустимы в контрольных приспособлениях?
11. В каких случаях применяются контрольные и сортировочные автоматы?

Список литературы

1. Схиртладзе А.Г., Воронов В.Н. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник. Допущено Министерством образования и науки РФ. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 612 с.
2. Кайнова В.Н., Тесленко Е.В. Метрологическое обеспечение машиностроительного производства: комплекс учебно-методических материалов: Ч.1 /В.Н. Кайнова, Е.В. Тесленко; НГТУ, Н.Новгород, 2006. – 97 с.
3. РД 50-98-86 Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм. (По применению ГОСТ 8.051-81).
4. Коротков В.С. Метрология, стандартизация и сертификация [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Коротков В.С., Афонасов А.И.— Электрон.текстовые данные.— Томск: Томский политехнический университет, 2015.— 187 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34681>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
5. Романов А.Б. Выбор посадок и требований точности [Электронный ресурс]: справочно-методическое пособие/ Романов А.Б., Устинов Ю.Н.— Электрон.текстовые данные.— СПб.: Политехника, 2012.— 206 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16300>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

8 Практическая работа №7

Проектирование пробки пневматической

Целью работы является освоение методики выбора и расчета пневматических средств измерения для контроля отверстий.

Задание

По заданному варианту задания выбрать тип пневматической пробки и произвести расчет исполнительных размеров согласно ГОСТ 14864-78.

Порядок выполнения

1. Определить предельные отклонения контролируемого отверстия по таблицам ГОСТ 25346-89.
2. Выбрать тип пробки и основные размеры вставки и переходника по пунктам 1.1 и 1.2 ГОСТ 14864-78.
3. Определить основные размеры ручки пробки по черт. 11 и табл. 9 ГОСТ 14864-78.
4. По величине занижения по направляющей части (п. 1.11) определить диаметр направляющей части вставки D_1 и допуск на него.
5. По величине занижения по соплам (табл. 11) определить диаметр вставки по соплам D_2 и допуск на него (п. 1.10).
6. Произвести расчет настроечных колец по формулам ГОСТ 24853-81.

Содержание отчета

1. Эскиз вставки, переходника и ручки пробки с указанием размеров.
2. Эскиз настроечных колец с указанием исполнительных размеров.
3. Необходимые формулы и результаты вычисления.

Теоретическая часть

Принцип действия пневматических средств измерения

Пневматические средства измерения имеют высокую точность, позволяют выполнять дистанционные измерения в труднодоступных и опасных местах. Достоинства пневматического метода контроля является простота конструкции прибора и измерительной оснастки, работа бесконтактным методом, возможность автоматизации процесса и создания многомерных устройств.

В пневматических приборах происходит преобразование измерения размера (зазора между деталью и соплом) в изменение давления или

скорости потока воздуха. Расход сжатого воздуха G зависит от давления P и площади F проходного сечения клапана (сопла), а F определяется величиной зазора S .

Для работы пневматических приборов необходима воздушная сеть с определенным давлением воздуха. Принято подразделять давление на сетевое $P_1=0,32\ldots0,6$ МПа, рабочее P_2 , подводимое к прибору через узел подготовки воздуха, измерительное P , это переменное давление, зависящее от расхода воздуха: $P=(0,6\ldots0,9)P_2$.

Расход воздуха измеряется с помощью манометров или ротаметров. Манометры (рис.1,а) реагируют на изменение давления. Ротаметры (рис.1,б) реагируют на изменение скорости воздушного потока.

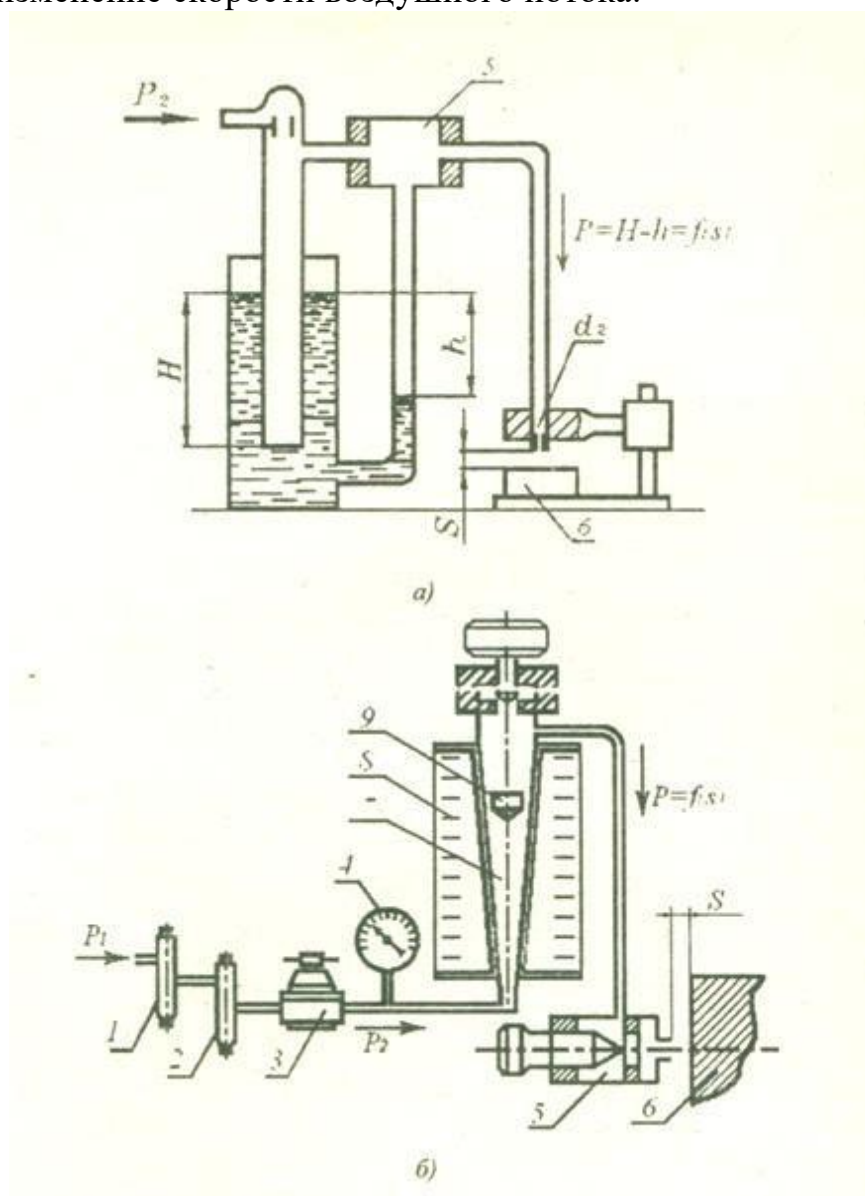


Рис.1. Схемы пневматических приборов:

а – низкого давления (солекс); б – высокого давления (с ротаметром);

1 – фильтр, 2 – влагоотделитель, 3 – стабилизатор давления,

4 – манометр, 5 – рабочая камера с регулировочным винтом,

6 – деталь, 7 – ротаметр, 8 – шкала, 9 – поплавков

Воздух для пневматических приборов должен соответствовать требованиям ГОСТ17433-80, он не должен содержать капель влаги, масла и твердых частиц размером более 0,5 мкм. Узел подготовки воздуха (рис.1,б) включает в себя: влагоотделитель, фильтр, стабилизатор давления, который снижает сетевое давление до рабочего и поддерживает его постоянным. В зависимости от величины рабочего давления различают приборы низкого давления $P_2 \leq 0,1$ МПа и приборы высокого давления $P_2 > 0,1$ МПа.

В качестве чувствительного элемента используются жидкость (приборы типа Солекс), труба Бурдона, мембрана, сильфон, конусная трубка с поплавком. Величина конусности стеклянной трубки 7 зависит от типа поплавка (легкий или тяжелый). Конусность трубки обычно 1:400 или 1:1000, вес поплавка может быть 0,25; 0,5 или 0,8 г. Высота подъема поплавка (рис.1,б) определяется размером измеряемого зазора. Чем больше зазор, тем больше скорость протекания воздуха, тем выше поднимается поплавок. Можно производить градуировку шкалы в долях измеряемой величины, а можно устанавливать ограничительные флажки в положениях поплавка, соответствующих предельным размерам. Повышение чувствительности прибора может быть достигнуто за счет увеличения диаметра измерительного сопла или рабочего давления, а также за счет уменьшения веса поплавка и конусности трубки.

Для изменения диапазона измерения по зависимости $P=f(S)$ измерительного давления от зазора используются разные типы заслонок (конус, шар и др.) у выходного сопла, а также эжекторные сопла (струйная техника). У этих сопел (рис.2) зависимость давления от зазора более прямолинейна, чем у цилиндрических сопел, за счет чего увеличивается диапазон измерения до S , (рис.3), так как кривая имеет более длинный линейный участок.

Воздух с рабочим давлением P (рис.2) поступает в калиброванное входное сопло 1 диаметром d_1 , а из него в измерительное сопло 4 с диаметром $d_2=2$ мм.

Диаметр сопла 1 при давлении $P=0,1...0,2$ МПа рекомендуется принимать $d_1=1,3...1,75$ мм. Толщина пояса у сопла 4 должна быть более 0,5 мм, иначе наблюдается скачки давления. Оптимальная длина конусной части $L_2=(d_2 - d_1)/0,063$, а длина измерительного сопла $L_1=13,5d_1^2/d_2 - 1,5d_2$. Давление в камере 3 измеряется манометром 2. Рабочий поток воздуха засасывает воздух из камеры 3, при больших давлениях он может стать даже отрицательным.

Приборы на базе струйной техники обладают высокой точностью и надежностью, быстродействием, простоты в обслуживании. Время срабатывания – 0,2...0,4 с, а не стабильность 0,2...0,1 мкм по выдаче команд. Давление в междроссельной камере является управляемым. Эжекторное сопло может быть выносным. Струйная техника действует на высоком рабочем давлении P , а управляющий сигнал на выходе P_0 низкого давления (может быть даже вакуум). Это повышает точность измерения и увеличивает его диапазон до 1 мм.

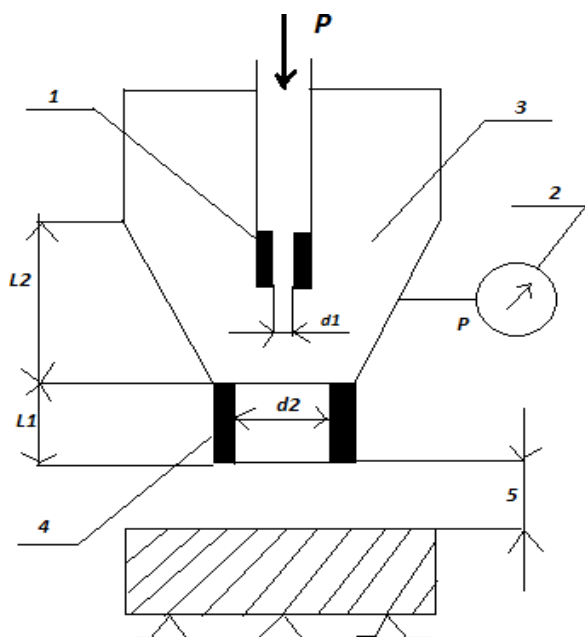
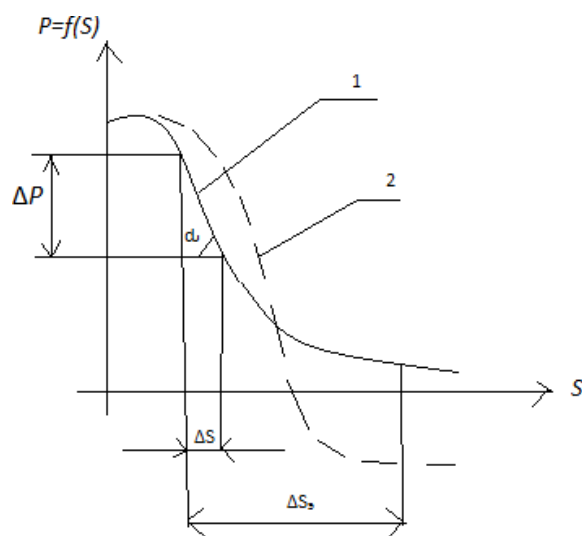


Рис.2. Схема эжекторного сопла



**Рис.3. Характеристика пневматического преобразователя:
1 – с цилиндрическим соплом;
2 – с эжекторным соплом**

Пневматические приборы выпускаются централизованно отечественными и зарубежными фирмами. Задача технологов использовать их для конкретных целей, при этом необходимо спроектировать измерительную схему и технологическую оснастку.

Внешний вид прибора УПП-1 показан на рис.4. Сжатый воздух по шлангу, присоединенному к штуцеру 5, поступает к стабилизатору давления 6. Воздух, пройдя через измерительную трубу 3 с чувствительным элементом 2 (поплавок), выходит в атмосферу сквозь щель, образованную измерительной пробкой 7 и контролируемой деталью 8. Настройка флажков 1 и 10 относительно шкалы 9 в зависимости от предельных размеров детали производится с помощью винтов 4 и 11.

Прибор ротаметрического типа УПП-1 отечественного производства НИИ «Термопласт» имеет следующие технические характеристики:

- диапазон измерения – 0,002...0,25 мм;
- погрешность измерения – 0,03 Т;
- питание от цеховой сети с давлением 0,2...0,63 МПа;
- размер сопла – до 0,4 мм;
- масса 3 кг;
- габаритные размеры – 500x150x40 мм.

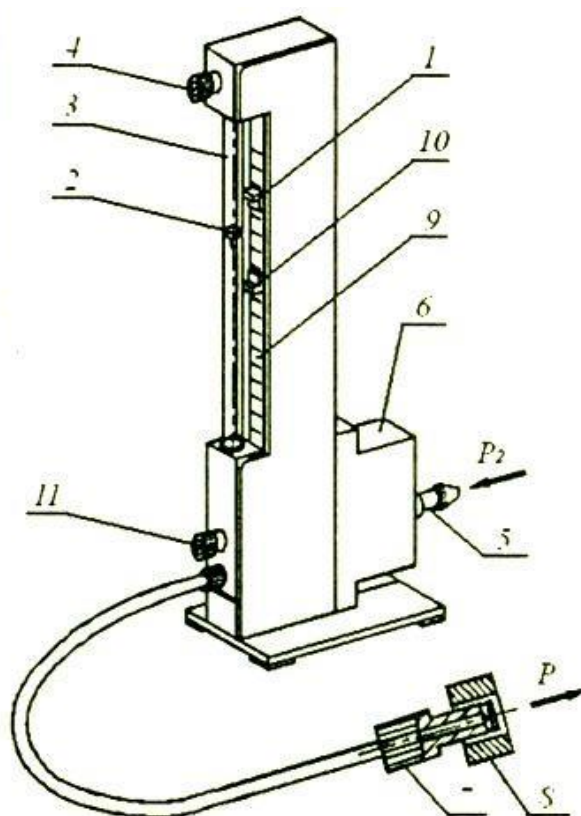


Рис.4. Прибор УПИ-1:

**1, 10 – флажки, 2 – чувствительный элемент, 3 – измерительная труба,
4, 11 – винты, 5 – входной штуцер, 6 – стабилизатор давления,
7 – измерительная пробка, 8 – контролируемая деталь, 9 - шкала**

Измерительные схемы и области применения пневматических приборов

Пневматические приборы применяют для различных видов измерений бесконтактным и контактным методом. Приборы могут быть использованы как для ручных способов контроля, так и автоматических и активных схемах контроля. С их помощью можно контролировать размеры тонкостенных деталей, изделия из мягких материалов, диаметры отверстий малых размеров, конусы и конусности, погрешность формы и взаимного расположения поверхностей, а также возможен контроль усилий, перемещений и герметичности.

Пневматические приборы используются также в средствах автоматизации операций контроля в виде пневмоэлектропреобразователей (см.рис.5)

Воздух под давлением P попадает в камеру 4 и следует из нее по двум направлениям через дросселирующие сопла 3 и 5.

Воздух, прошедший сопло 3, заполняет камеру 10 сильфона и выходит в атмосферу через регулируемый зазор между соплом 2 и винтом 1. Воздух,

прошедший сопло 5 заполняет камеру 8 и выходит в атмосферу через измерительное сопло 6 расположенное над контролируемой деталью 7 с зазором S . Давление воздуха в камере 8 сильфона зависит от зазора, то есть от размера контролируемой детали. При уменьшении зазора давление в камере 8 будет увеличиваться, и после того как оно превысит давление в камере 10, сильфон сместится влево, повернет рычаг 9 и замкнет контакт K_1 . При увеличении зазора давление в камере 8 уменьшится, в результате чего замкнется контакт K_2 .

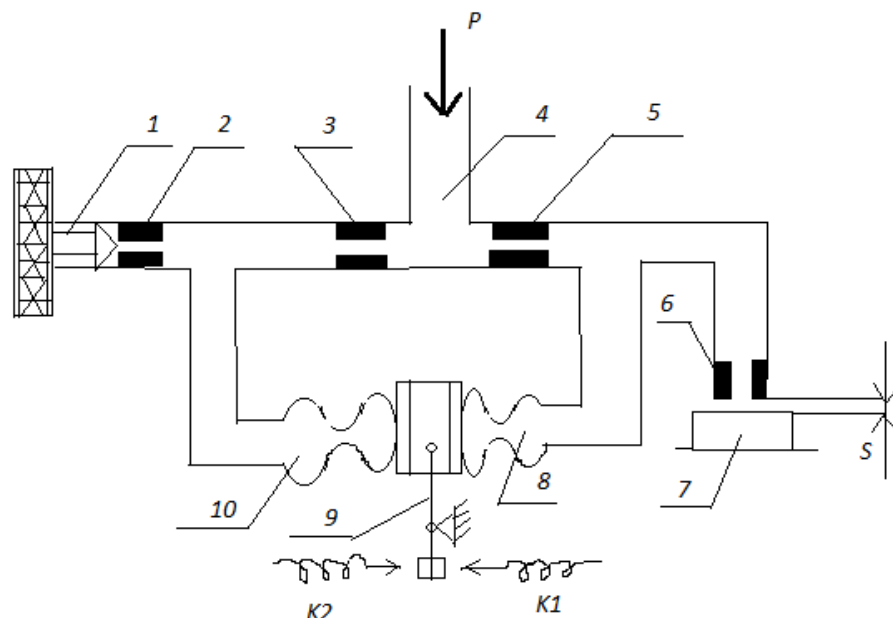


Рис.5. Схема дифференциального пневмоэлектронного преобразователя:

1 – винт, 2, 3, 5, 6 – сопла, 4 – камера, 7 – деталь, 8, 10 – камеры сильфона, 9 – рычаг

Таким образом, дифференциальный метод измерения заключается в том, что чувствительный элемент преобразователя (сильфон или мембрана) воспринимает разность давлений воздуха в двух его камерах, в которые он поступает от одного и того же источника.

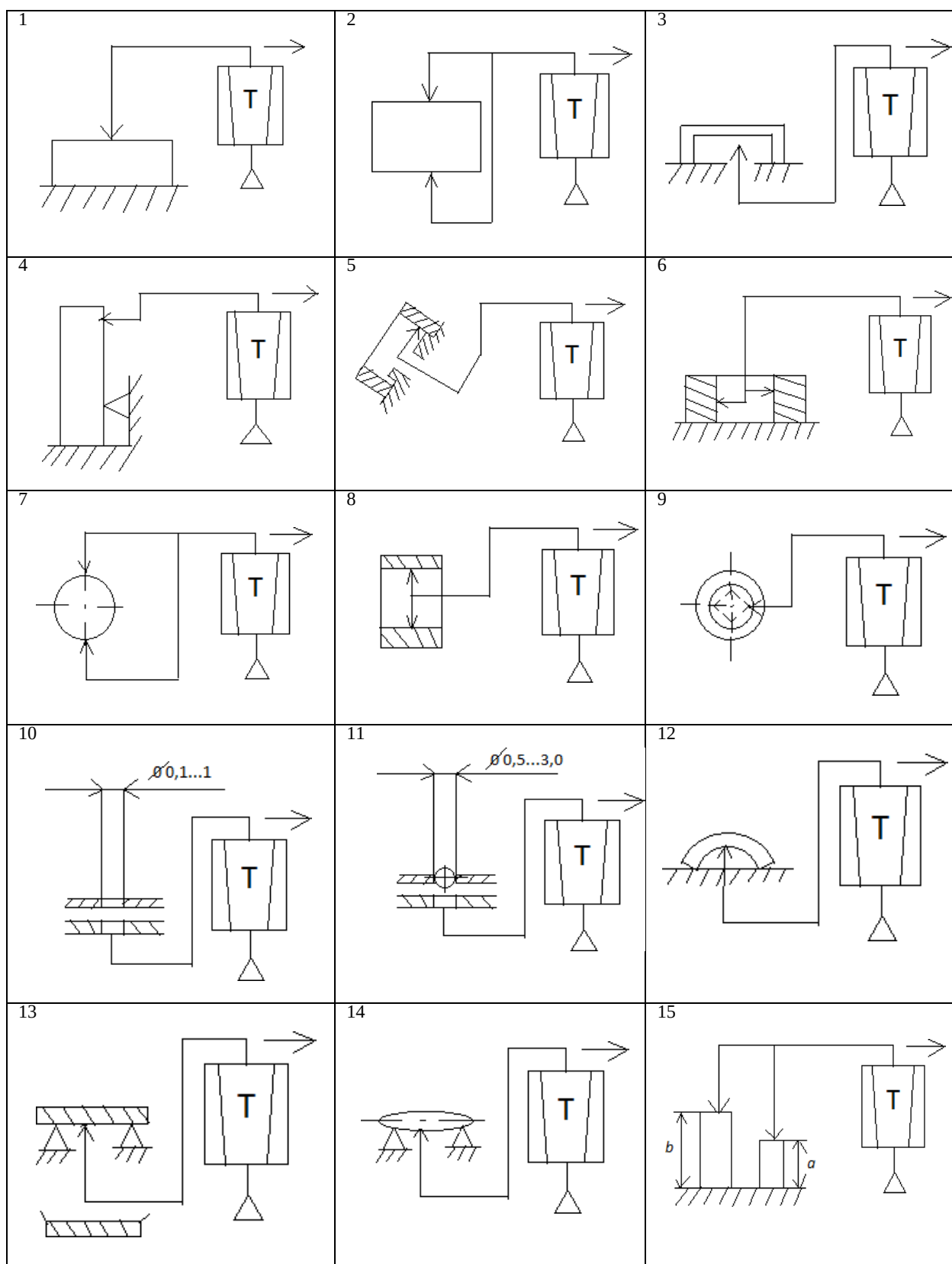
Колебание давления подводимого воздуха будет изменять давление в камерах датчика на одинаковую величину, и поэтому не будет влиять на результаты измерения.

Пневмоэлектронными преобразователями называют устройства, в которых изменение давления воздуха, вызванное изменением размеров контролируемых деталей, преобразуется в замыкание или размыкание электрических контактов. Преобразователи подразделяют на следующие основные типы: мембранные одно- и двухконтактные; сильфонные двухконтактные с плавающим контактом; сильфонные многоконтактные.

К общим характеристикам преобразователей относят рабочее давление подводимого воздуха и время срабатывания. Для уменьшения влияния неустойчивости давления подводимого воздуха в пневмоэлектронных

преобразователях (мембранные и сильфонные) используют дифференциальный метод измерений.

Примеры измерения различных параметров с помощью пневматических приборов показаны на рис.6.



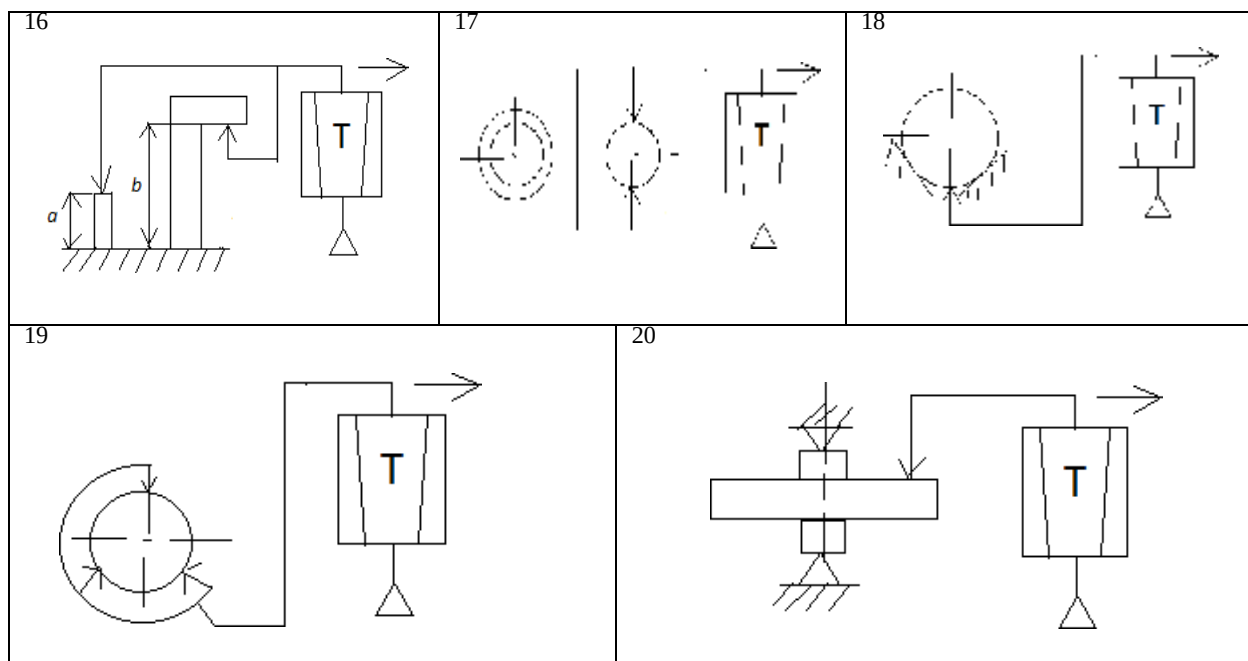


Рис.6. Примеры измерений различных параметров с помощью пневматических приборов:

- 1 – высоты; 2 – толщины; 3 – глубины; 4 – перпендикулярности;**
5-6 – перпендикулярности торца к оси отверстия; 7 – диаметр вала;
8 – диаметр отверстия; 9 – среднего диаметра;
10 – малых отверстий методом истечения; 11 – малых отверстий при помощи промежуточного тела; 14 – сферичности;
15 – суммы двух размеров (a+b); 16,17 – разности двух размеров (b-a);
18 – биения и огранки; 19 – огранки; 20 – биения торца

Формулы для расчета

Диаметр направляющей части вставки D_1 определяется по формуле

$$D_1 = D_{\min} - \Delta_1, \quad (1)$$

где $D_{\min}$ – минимальный диаметр контролируемого отверстия, мм;

Δ_1 – величина занижения вставки по направляющей части, мм.

Диаметр вставки по соплам D_2 определяется по формуле

$$D_2 = D_{\min} - \Delta_2, \quad (2)$$

где Δ_2 – величина занижения вставки по соплам, мм.

Размеры настроечных колец определяются по формулам

$$D_{\min}^{\max} = D_{\min} - Z_1 \pm \frac{H_1}{2}, \quad (3)$$

где Z_1 – отклонение середины поля допуска на изготовление, мм;

H_1 – допуск на изготовление, мм.

**Варианты заданий, в каждом варианте а) глухое отверстие;
б) сквозное отверстие. Если выдано 1а., значит считать Ø30E7 глухое.**

Вариант	Размер отверстия	Тип отверстия	Вариант	Размер отверстия	Тип отверстия
1	Ø30E7	а) глухое	11	Ø40U7	глухое
		б) сквозное			сквозное
2	Ø85N6	глухое	12	Ø25A6	глухое
		сквозное			сквозное
3	Ø50H6	глухое	13	Ø33T7	глухое
		сквозное			сквозное
4	Ø18U8	глухое	14	Ø83G6	глухое
		сквозное			сквозное
5	Ø20R7	глухое	15	Ø36K7	глухое
		сквозное			сквозное
6	Ø63H5	глухое	16	Ø12H7	глухое
		сквозное			сквозное
7	Ø48G7	глухое	17	Ø6F7	глухое
		сквозное			сквозное
8	Ø70K6	глухое	18	Ø27P6	глухое
		сквозное			сквозное
9	Ø41F8	глухое	19	Ø5H8	глухое
		сквозное			сквозное
10	Ø21M6	глухое	20	Ø66M7	глухое
		сквозное			сквозное

Контрольные вопросы

1. Назовите типы пневматических приборов.
2. Последовательность настройки пневматических пробок.
3. Что является исходными данными при расчете пневматических пробок?
4. На что реагируют приборы ротаметрического типа?
5. Какие размеры рассчитываются при проектировании пневматических пробок?
6. На что реагируют приборы манометрического типа?
7. По каким формулам рассчитываются настроечные кольца?
8. Какая деталь считается годной при контроле пневматическими пробками?
9. Из каких элементов состоит узел подготовки воздуха и их назначение?
10. Каким может быть рабочее давление в пневмоприборах?

Список литературы

1. Схиртладзе А.Г., Воронов В.Н. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебник. Допущено Министерством образования и науки РФ. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 612 с.
2. ГОСТ 14864-78 Пробки пневматические для отверстий от 3 до 160 мм. Технические условия.
3. ГОСТ 24853-81 Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Допуски.
4. ГОСТ 25346-89 Общие положения, ряды допусков и основных отклонений.

Пример расчета

Рассчитать размеры пневмопробки для контроля сквозного отверстия диаметром 9Н12, диаметр отверстия $9^{+0,15}$ мм.

Конструкция пневмопробки определяется по ГОСТ 14864-78, в зависимости от диаметра контролируемого отверстия и вида отверстия, рисунок 1.

Для проектирование пневмопробок используем ГОСТ 14864-78.

Расчет пневматической пробки.

Диаметр по соплам.

$D_{\min} - D_2 = 0,07$ – занижение по соплам.

$D_2 = D_{\min} - 0,07$ – диаметр занижения по соплам.

$D_2 = 9 - 0,07 = 8,93$ мм.

Диаметр направляющей части

$D_{\min} - D_1 = 0,01$ – занижение по направляющим.

$D_1 = D_{\min} - 0,01$ – диаметр занижения по направляющим.

$D_1 = 9 - 0,01 = 8,99$ мм.

Допуск на D_2 равен $\pm 0,002$, $D_2 = 8,93 \pm 0,002$.

Допуск на D_1 равен $-0,003$. $D_1 = 8,99 - 0,003$.

Смотри рисунок (1).

Перед началом измерений пневмопробку настраивают на контролируемый размер по настроечным кольцам, расчет которых ведется как расчет калибра-скобы проходной стороны по ГОСТ 24853-81.

$$P - Pp_{\min}^{\max} = d - Z_1 + \frac{H_1}{2},$$

где d – минимальный диаметр настроечного кольца, $d_{\min} = 9$ мм;

Z_1 – основное отклонение, $Z_1 = 0,007$ мм;

H_1 – допуск на изготовление, $H_1 = 0,004$ мм.

$$P - Pp_{\max} = 9 - 0,007 + \frac{0,004}{2} = 8,995 \text{ мм};$$

$$P - Pp_{\min} = 9 - 0,007 - \frac{0,004}{2} = 8,991 \text{ мм}.$$

Настройка прибора производится по двум настроечным кольцам (смотри рисунок 1). Остальные размеры пневмопробки выбираются по ГОСТ 14864 – 78.

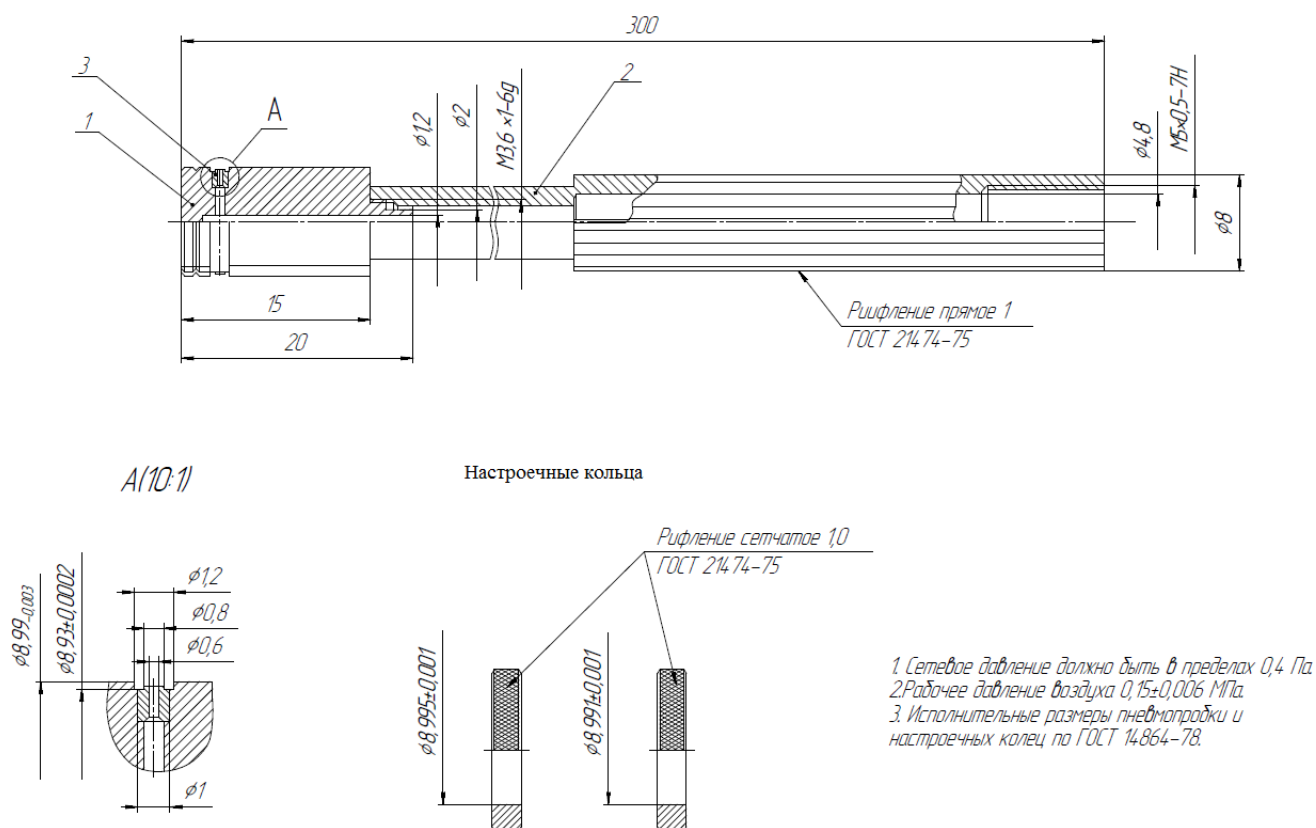


Рисунок 1 – Общий вид пневмопробки и настроечных колец

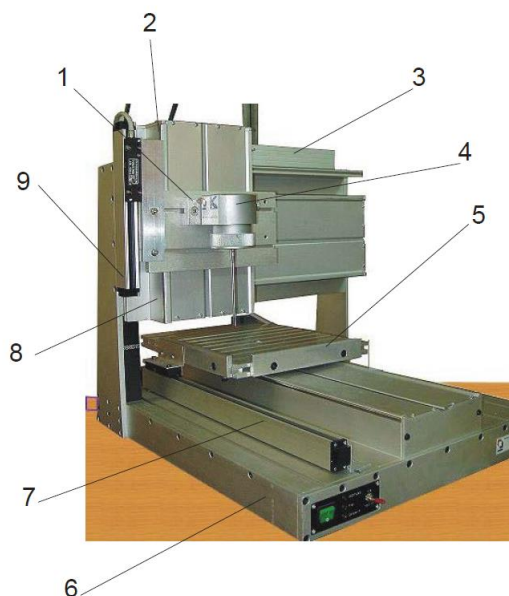
9 Практическая работа №8

Разработка программы для контроля заданных параметров

Цель работы : получение навыков написания программ измерения деталей на КИМ. Умений преобразовать координаты точек измерения из системы координат машины в систему (системы) координат детали.

1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с методическими указаниями к практической работе.
2. Исходные данные для написания программы,: выполненные эскизы средства измерения на лабораторной работе №4.
3. По имеющимся результатам, полученным в результате выполнения лабораторной работы №4, построить маршрут базирования и маршрут измерения детали.
4. Составить программу обработки результатов измерений.
5. Ответить на контрольные вопросы.
7. Оформить отчёт по работе и предъявить его преподавателю.



1 – пластина для крепления измерительной головки; 2 – пиноль; 3 – измерительный преобразователь (ось X); 4 – измерительная головка; 5 – рабочий стол; 6 – станина ;
7 – измерительный преобразователь (ось Y); 8 – фрезерная бабка ; 9 – измерительный преобразователь (ось Z)

Рисунок 1 - Внешний вид КИМ

1. Координатная измерительная машина с ЧПУ

Введение

Координатная измерительная машина (КИМ) – средство измерения, предназначенное для проведения координатных измерений в общем случае не менее чем по трём линейным или угловым координатам (координатным перемещениям). Причем, по меньшей мере, одна координата должна быть линейной.

При координатных измерениях определяют значения координат отдельных точек (точек измерения) реальных поверхностей (или поверхности) измеряемого объекта. Измерения производят от единой базы системы координат, воспроизводимой КИМ. При этом с поверхностью детали соприкасается ошупывающий элемент, например, сферический измерительный наконечник, по координатам положения которого получают числовую модель детали или отдельных поверхностей, ограничивающих ее с целью определения линейных и угловых размеров, отклонений формы и расположения.

Получение числовой модели детали заключается в проведении с помощью вычислительной техники и соответствующего программного обеспечения, входящих в состав КИМ, расчетов, связанных с:

- определением геометрических параметров заменяющих поверхностей и линий номинальной формы, представляющих реальные поверхности и линии детали;

- определением геометрических параметров элементов, явля-
-

ющихся производными по отношению к исходным заменяющим элементам; их пересечений, проекций на заданную координатную плоскость, элементов симметрии, элементов, объединяющих множество исходных заменяющих элементов;

- преобразованием координат точек измерения из системы координат машины в систему (системы) координат детали;

- введением коррекции в координаты точек измерения или параметры заменяющих элементов с учетом радиуса сферы измерительного наконечника и направления нормали к поверхности детали в точке контакта ее с наконечником;

- определением расстояний и углов между элементами;

- определением отклонений размеров, формы и расположения поверхностей и линий, а также суммарных отклонений формы и расположения.

С помощью КИМ измеряются месторасположения точек измерения как значения координат в выбранной системе координат машины СКМ (для прямоугольной системы координат X_m, Y_m, Z_m , рис. 2). В качестве систем координат при координатных измерениях используются обычно: декартова прямоугольная, цилиндрическая (на плоскости - полярная) и сферическая (рис. 3).

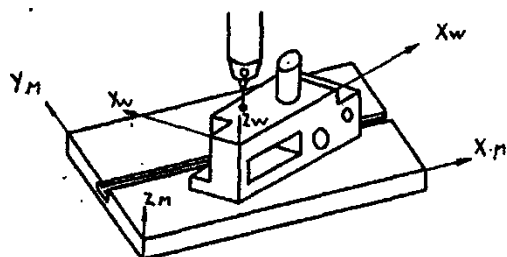
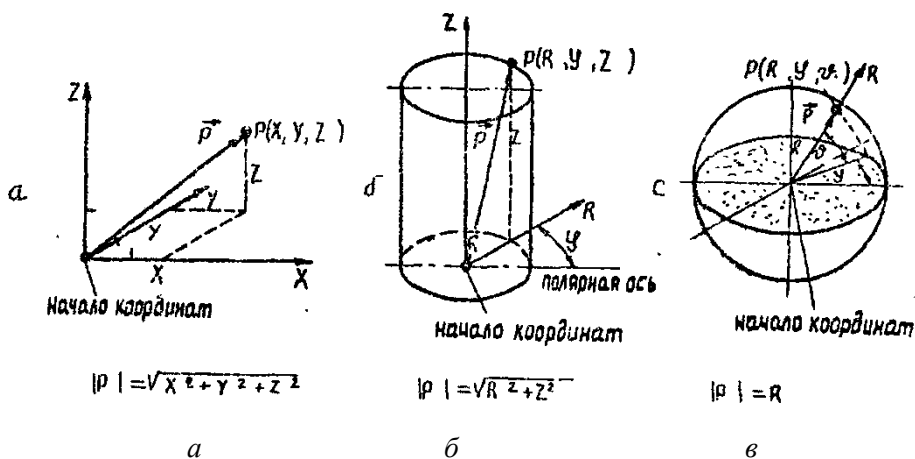


Рисунок 2 - Схема привязки СМ к СКД



φ - угол поворота (азимут) и проекционный угол в плоскости координат системы;
 ν - угол подъема относительно проекционной плоскости.

Рисунок 3 - Системы координат: а - прямоугольная система координат; б - цилиндрическая система координат; в - сферическая система координат

Объекты измерения, устанавливаемые на КИМ, как правило, не подвергаются тщательной механической выверке. Значения координат точек детали, установленные в системе координат машины,

затем с помощью трансформационных программ приводятся к системе координат детали СКД, связанной с базами детали (для декартовой прямоугольной системы координат X_w, Y_w, Z_w на рис. 2).

2. Программное обеспечение КИМ

Для реализации возможности координатных измерений в ручном и автоматическом режиме разработано специализированное программное обеспечение (ПО) StudyCmm, которое построено на программном ядре «ТехноКоорд».

3 Процесс измерения детали

Процесс измерения программируют, используя систему координат детали (СКД) или комплект СКД.

СКД – это система координат, образованная базовыми поверхностями детали. Главная СКД привязывается к СКМ с помощью математического базирования.

Предварительно производят математическое базирование детали - по координатам необходимого числа точек базовых элементов детали, измеренным, а СКМ, путем расчета определяют расположение СКД относительно СКМ.

Устройство и принцип работы КИМ

Работа КИМ основана на координатных измерениях, т.е. на поочередном измерении координат определенного числа точек поверхностей детали и последующих расчетов линейных и угловых размеров, отклонений формы и расположения поверхностей.

Для выполнения координатных измерений КИМ оснащена комплексом аппаратных и программных средств. Базовая аппаратная часть КИМ содержит узлы координатных перемещений (используется механическая часть и контроллер настольного фрезерного станка **KOSY2 Standard A4**), измерительные преобразователи (датчики обратной связи), измерительную головку и управляющий вычислительный комплекс.

КИМ предназначена для контроля деталей различной конфигурации.

КИМ имеет порталную конструкцию, что обеспечивает при ее небольших габаритах большую жесткость конструкции.

.

Для удобства программирования перемещений у детали может задаваться несколько СКД напрямую или через другие вспомогательные СКД.

Измерение детали проводится в автоматическом цикле по управляющей программе.

4. Составление маршрута измерения

Чтобы составить маршрут измерения, пользователь может переключиться в *режим указания опорных точек*, отметить точки, которые в стратегии измерения должны быть измерены. Далее он должен соединить *узлы переходами*. При этом ему может понадобиться добавлять *узлы* в определенных местах в пространстве для того, чтобы избежать пересечения *переходом* детали.

После этого пользователю может потребоваться изменить существующую схему, он может это сделать описанными в соответствующих разделах инструментами.

Завершив процесс базирования переходим на вкладку «**Стратегия измерения**». На данной вкладке происходит расстановка точек измерения. Точки расставляются на поверхности детали таким же образом, как и при базировании. Точки проставляются в соответствии с тем, какие параметры нужно измерить. Для удобства ориентирования в проставленных точках и более легкой их последующей обработки предусмотрена возможность создания групп (рис. 4).

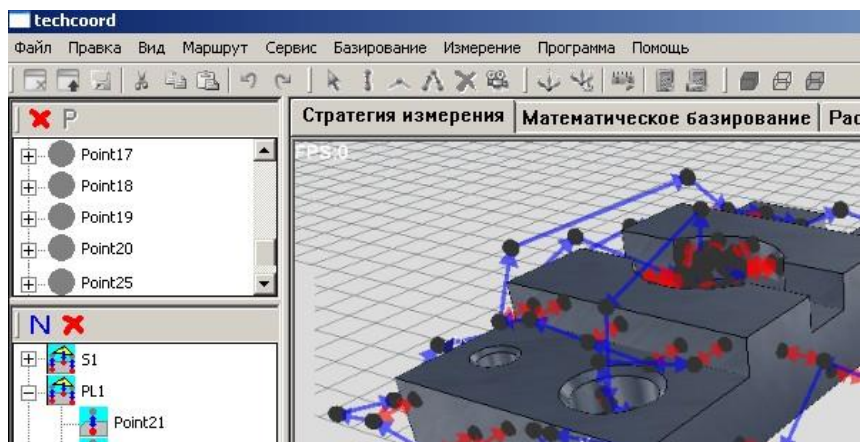


Рисунок 4 – Создание групп

Названия групп можно изменять в соответствии с их принадлежностью к тем или иным геометрическим элементам (пример PL1 – плоскость 1, аппроксимируемая в дальнейшем через точки Point21, Point22 и т.д.).

Приведем пример скрипта для обработки полученных значений (рис. 5). Для написания скрипта необходимо перейти на вкладку «Стратегия измерения».

Стратегия измерения	Математическое базирование	Расчетная программа
<pre> Plane plane1 = Average.Plane(PL1); Plane plane2 = Average.Plane(PL2); Plane plane3 = Average.Plane(PL3); Plane plane4 = Average.Plane(PL4); Plane plane5 = Average.Plane(PL5); Plane plane6 = Average.Plane(PL6); Cylinder Cyl1 = Average.Cylinder(S1, Vector3d.ZAxis); Cylinder Cyl2 = Average.Cylinder(S2, Vector3d.ZAxis); Cylinder Cyl3 = Average.Cylinder(S3, Vector3d.ZAxis); Number d1 = Distance.PointPlane(Point27, plane1); Number Par = Parallelism.PlanePlane (plane1, plane2, 124.0); Number angle = Angle.PlanePlane (plane1, plane3); Report.Add("Расстояние 60,0(-0,74)", Basic.Ceiling(d1*100)/100); Report.Add("Радиус цилиндра R16,5(+0,08)", Basic.Ceiling(Cyl1.Radius*100)/100); Report.Add("Радиус цилиндра R8,5(+0,055)", Basic.Ceiling(Cyl2.Radius*100)/100); Report.Add("Радиус цилиндра R4,0(+0,045)", Basic.Ceiling(Cyl3.Radius*100)/100); Report.Add("Отклонение от параллельности", Basic.Ceiling(Par*100)/100); Report.Add("Угол 90", Basic.Ceiling(angle*(360/(2*Basic.Pi))*100)/100); </pre>		

Рисунок 5 – Пример скрипта

Рассмотрим построчно, что обозначают данные операторы в скрипте:

Plane plane1 = Average.Plane(PL1)- аппроксимация плоскости **plane1** из массива точек **PL1**;

Plane plane2 = Average.Plane(PL2)- аппроксимация плоскости **plane2** из массива точек **PL2**;

Plane plane3 = Average.Plane(PL3)- аппроксимация плоскости **plane3** из массива точек **PL3**;

Plane plane4 = Average.Plane(PL4)- аппроксимация плоскости **plane4** из массива точек **PL4**;

Plane plane5 = Average.Plane(PL5)- аппроксимация плоскости **plane5** из массива точек **PL4**;

Plane plane6 = Average.Plane(PL6)- аппроксимация плоскости **plane6** из массива точек **PL5**;

Cylinder Cyl1 = Average.Cylinder(S1, ZAxis) - аппроксимация цилиндра **Cyl1** из массива точек **S1**, с направлением оси вдоль оси **Z**;

Cylinder Cyl2 = Average.Cylinder(S2, ZAxis) - аппроксимация цилиндра **Cyl2** из массива точек **S2**, с направлением оси вдоль оси **Z**;

Cylinder Cyl3 = Average.Cylinder(S3, ZAxis) - аппроксимация цилиндра **Cyl3** из массива точек **S3**, с направлением оси вдоль оси **Z**;

Number d1 = Distance.PointPlane(Point27, plane1) – вычисление расстояния между точкой **Point27** и плоскостью **plane1**;

Number Par = Parallelism.PlanePlane(plane1, plane2,124.0) – вычисление отклонения от параллельности плоскостей **plane1** и **plane2** на длине 124.0 мм;

Number angle = Angle.PlanePlane (plane1, plane3); – вычисление угла между плоскостями **plane1** и **plane3**;

Далее следует вывод результатов измерения:

Report.Add("Расстояние 60,0(-0,74)",

Basic.Ceiling(Res1*100)/100);

Примечание: структура функции **Report.Add**("Текст сообщения",Result). Функция **Basic.Ceiling**(Res1*100)/100 применяется для вывода значения параметра с определенным количеством знаков.

Report.Add("Радиус цилиндра R16,5(+0,08)",

Basic.Ceiling(Cyl1.Radius*100)/100) и т.д.;

Для отладки скрипта пользователь может применить:

- расстановку точек останова. При этом выполнение скрипта будет приостанавливаться на данной строчке, пользователь сможет посмотреть значения переменных;

- выполнение по шагам (т.е. по строкам).

Для проверки схемы измерения на правильность измерение проводится в виртуальном режиме. Для имитирования процесса измерения на реальной координатно-измерительной машине используется виртуальный щуп, который проходит по маршруту измерения с целью обнаружить возможные коллизии.

Запуск процесса измерения возможен, только если маршрут является валидным, т.е. допустимым, при обнаружении проблемы, пользователь должен быть оповещен о невозможности запустить измерение, поскольку найдена определенная проблема (описание проблемы сообщается пользователю детально).

Пользователь должен быть предупрежден, если в маршруте измерения:

- присутствует цикл измерения, не соединенный с маршрутом;
- присутствует узел, не соединенный с маршрутом;

Однако после предупреждения эти нюансы не мешают все же выполнить схему, если пользователь игнорировал предупреждение.

5. Синтаксис языка

Синтаксис данного языка является подмножеством языка C#, который соответствует стандарту ISO/IEC 23270:2006. Настоящая документация не описывает всех особенностей, описанных в стан-

дарте ISO/IEC 23270:2006, а только конструкции, которые необходимы для проведения расчетов.

Версия 1.0 не поддерживает написания подпрограмм. Поэтому не требуется специально обозначать начало программы и ее конец. Текст расчетной программы представляет собой просто последовательность инструкций.

Данный язык является строго типизированным, это означает в частности, что при объявлении переменной, необходимо указывать какого она типа. Например, создание числовой переменной выглядит так:

```
Number number = 12.8;
```

То есть, сначала указывается тип, затем название переменной, через знак «=» записывается инициальное значение.

Существует возможность создавать переменную и сразу же присваивать ей значение, возвращаемое из метода, например, присвоить квадратный корень из двух:

```
Number sqrt = Basic.Sqrt(2);
```

Присвоение переменной производится с помощью знака равно =. Например, так:

```
number = 1;  
number = 2 + 2;
```


Можно присваивать значения другой переменной, например, так:

```
Number a = 1;
```

```
Number b = 2;
```

```
a = b;
```

Язык позволяет использовать условные выражения и ветвления. Для конструирования условных выражений используются следующие операторы:

Оператор	Описание
&&	Логическое И
	Логическое ИЛИ

Для сравнения числовых переменных / констант служат следующие операторы:

Оператор	Описание
==	Равно
>=	Больше или равно
<=	Меньше или равно
!=	Не равно

Например, чтобы вычислить косинус в случае значения больше пяти или синус в противном случае, можно написать следующее:

```
Number a = 7;  
Number result = 0;  
  
if (a > 5)  
{  
    result = Basic.Cos(a);  
}  
else  
{  
    result = Basic.Sin(a);  
}
```

Элементы геометрии

Двухмерная прямая

Двухмерная прямая задается с помощью точки и направления (рис. 6).



Рисунок 6 - Двухмерная прямая

Для того, чтобы создать прямую, нужно передать два двух-мерных вектора, которые будут задавать соответственно точку на конструируемой прямой и направление, например, так:

```
Vector2d point = Vector2d.Zero;  
Vector2d direction = new Vector2d(1.0, 1.0);  
Line2d line = new Line2d(point, direction).
```

Существует другой способ инициализации, передать по порядку компоненты векторов, например, такая же прямая получится при такой инициализации:

```
Line2d line = new Line2d(0, 0, 1, 1).
```

Двухмерная окружность

Двухмерная окружность задается с помощью указания ее центра и радиуса (рис. 7).

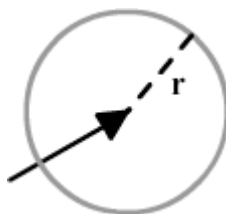


Рисунок 7 - Двухмерная окружность

Для того чтобы создать окружность, нужно передать двухмерный вектор, который будет задавать соответственно центр, а также радиус, например, так:

```
Number radius = 5.0;  
Vector2d center = new Vector2d(1.0, 1.0);  
Circle2d circle = new Circle2d(center,  
radius).
```

Существует другой способ инициализации, передать по порядку компоненты вектора, например, такая же окружность получится при такой инициализации:

```
Circle2d circle = new Circle2d(1, 1, 5).
```

Трехмерная прямая

Трехмерная прямая задается с помощью точки и направления (рис. 8).



Рисунок 8 - Трехмерная прямая

Для того, чтобы создать прямую нужно передать два трехмерных вектора, которые будут задавать соответственно точку на конструируемой прямой и направление, например, так:

```
Vector3d point = Vector3d.Zero;  
Vector3d direction = new Vector3d(1.0, 1.0,  
1.0);  
Line3d line = new Line3d(point, direction).
```

Существует другой способ инициализации, передать по порядку компоненты векторов, например, такая же прямая получится при такой инициализации:

```
Line3d line = new Line3d(0, 0, 0, 1, 1, 1).
```

Трехмерная окружность

Трехмерная окружность задается с помощью указания ее центра и радиуса (рис. 9).

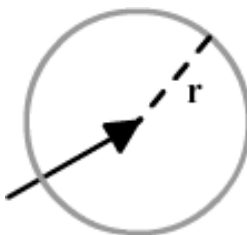


Рисунок 9 - Трехмерная окружность

Для того чтобы создать окружность, нужно передать трехмерный вектор, который будет задавать соответственно центр, а также радиус, например, так:

```
Number radius = 5.0;  
Vector3d center = new Vector3d(1.0, 1.0,  
1.0);  
Circle3d circle = new Circle3d(center,  
radius);
```

Существует другой способ инициализации, передать по порядку компоненты вектора, например, такая же окружность получится при такой инициализации:

```
Circle3d circle = new Circle3d(1, 1, 1, 5).
```

Плоскость

Плоскость задается с помощью указания расположенной на ней точки и нормали (рис.10).

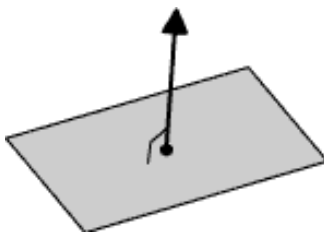


Рисунок 10 – Плоскость

Для того чтобы создать плоскость, нужно передать два трехмерных вектора, которые будут задавать соответственно точку на ней и нормаль, например, так:

```
Vector3d point = new Vector3d(0.0, 5.0,  
8.0);  
Vector3d normal = new Vector3d(1.0, 0.0,  
0.0);  
Plane plane = new Plane(point, normal).
```

Существует другой способ инициализации, передать по порядку компоненты вектора, например, такая же плоскость получится при такой инициализации:

```
Plane plane = new Plane(0.0, 0.5, 8.0, 1.0,  
0.0, 0.0);
```

Существует возможность получать плоскости образованные координатными осями: XY, XZ, YZ. Пример использования:

```
Plane plane = Plane.XY;
```

Сфера

Сфера задается с помощью указания ее центра и радиуса (рис.11).

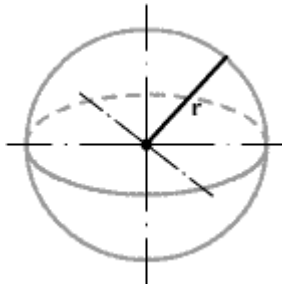


Рисунок 11 – Сфера

Для того чтобы создать сферу, нужно передать трехмерный вектор, который будет задавать соответственно центр, а также радиус, например, так:

```
Number radius = 5.0;
Vector3d center = new Vector3d(1.0, 1.0,
1.0);
Sphere sphere = new Sphere(center, radius).
```

Существует другой способ инициализации, передать по порядку компоненты вектора, например, такая же сфера получится при такой инициализации:

```
Sphere sphere = new Sphere (1, 1, 1, 5).
```

Цилиндр

Цилиндр задается с помощью указания его оси (трехмерная прямая) и радиуса (рис. 12).

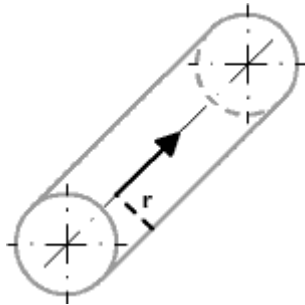


Рисунок 12 - Цилиндр

Для того чтобы создать цилиндр, нужно передать трехмерную прямую, которая будет задавать соответственно ось, а также радиус, например, так:

```
Number radius = 5.0;
Line3d axis = new Line3d(Vector3d.Zero,
Vector3d.ZAxis);
Cylinder cylinder = new Cylinder(axis,
radius).
```

Второй способ инициализации. Необходимо передать по порядку точку на оси, направление оси и радиус; такой же цилиндр получится при такой инициализации:

```
Cylinder cylinder = new
Cylinder(Vector3d.Zero, Vector3d.ZAxis, 5.0).
```

Аппроксимация элементов

Аппроксимация элементов — это нахождение заменяющих элементов по измеренным точкам на их поверхности. Существует несколько различных методов аппроксимации геометрического элемента.

Для нахождения средних элементов предназначен класс **Average**. Для аппроксимации элемента необходимо передать набор точек с поверхности элемента.

Двухмерная прямая

Минимальное количество точек: 2; пример использования:

```
Vector2d[] points = new Vector2d[] {...};  
Line2d line = Average.Line(points).
```

Трехмерная прямая

Минимальное количество точек: 2; пример использования:

```
Vector3d[] points = new Vector3d[] {...};  
Line3d line = Average.Line(points).
```

Двухмерная окружность

Минимальное количество точек: 3; пример использования:

```
Vector2d[] points = new Vector2d[] {...};  
Circle2d circle = Average.Circle(points).
```

Трехмерная окружность

Минимальное количество точек: 3; пример использования:

```
Vector3d[] points = new Vector3d[] {...};  
Circle3d line = Average.Circle(points).
```

Плоскость

Минимальное количество точек: 3; пример использования:

```
Vector3d[] points = new Vector3d[] {...};  
Plane plane = Average.Plane(points).
```

Сфера

Минимальное количество точек: 5; пример использования:

```
Vector3d[] points = new Vector3d[] {...};  
Sphere sphere = Average.Sphere(points).
```

Цилиндр

Минимальное количество точек: 6; рекомендация по расположению: необходимо взять точки как минимум на двух сечениях равномерно удаленных друг от друга; пример использования:

```
Vector3d[] points = new Vector3d[] {...};  
Cylinder cylinder = Average.Cylinder(points,  
Vector3d.ZAxis).
```

Операции с элементами геометрии

Нахождение пересечений

Операция предполагает нахождение примитива – результата операции пересечения. Для нахождения пересечений следует использовать специальный класс `Intersection`.

Две двумерные прямые

Графическое изображение пересечения двумерных прямых приведено на рис. 13.

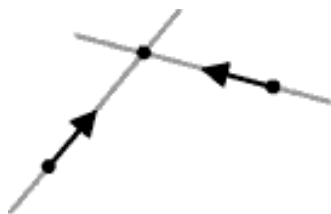


Рисунок 13 - Пересечение двумерных прямых

Формат	Intersection.LineLine(a, b);
Вход	Двухмерная линия, Двухмерная линия
Выход	Двухмерная точка
Пример	<pre> Line2d a = new Line2d(Vector2d.Zero, Vector2d.XAxis); Line2d b = new Line2d(Vector2d.Zero, Vector2d.YAxis); Vector2d result = Intersection.LineLine(a, b); </pre>

Плоскость и трехмерная прямая

На рис. 14 показано графическое изображение пересечения плоскости и трехмерной прямой.

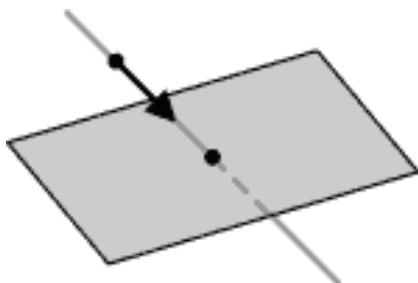


Рисунок 14 - Пересечение плоскости и прямой

Формат	<code>Intersection.LinePlane(a, b);</code>
Вход	Трехмерная линия, Плоскость
Выход	Трехмерная точка
Пример	<pre> Line3d a = new Line3d(Vector3d.Zero, Vector3d.YAxis); Plane b = new Plane(Vector3d.Zero, Vector3d.YAxis); Vector3d result = Intersection.LinePlane(a, b); </pre>

Плоскость и плоскость

Графическое изображение пересечения плоскостей показано на рис. 15.

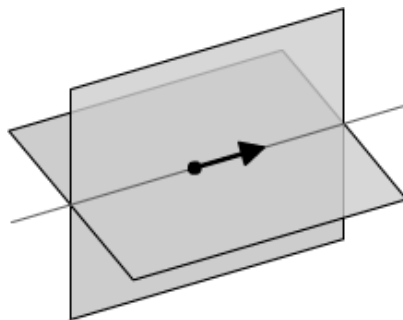


Рисунок 15 - Пересечение двух плоскостей

Формат	Intersection.PlanePlane(a, b);
Вход	Плоскость, Плоскость
Выход	Трехмерная прямая
Пример	<pre> Plane a = new Plane(Vector3d.Zero, Vector3d.XAxis); Plane b = new Plane(Vector3d.Zero, Vector3d.YAxis); Line result = Intersection.PlanePlane(a, b); </pre>

Плоскость и сфера

На рис. 16 показано графическое изображение пересечения сферы с плоскостью.

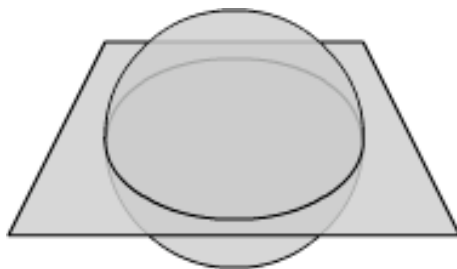


Рисунок 16 - Пересечение сферы плоскостью

Формат	<code>Intersection.PlaneSphere(a, b);</code>
Вход	Плоскость, Плоскость
Выход	Трехмерная окружность
Пример	<pre> Plane a = new Plane(Vector3d.Zero, Vector3d.XAxis); Sphere b = new Sphere(Vector3d.Zero, 5); Line result = Intersection.PlaneSphere(a, b); </pre>

Расчет расстояний

Операция предполагает нахождение расстояния между двумя элементами геометрии.

Два двумерных вектора

Графическое изображение определения расстояния между двумя точками приведено на рис. 17.

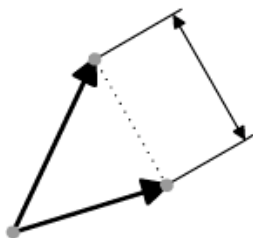


Рисунок 17 - Расстояние от точки до точки

Формат	<code>Distance.PointPoint(a, b);</code>
Вход	Двухмерный вектор, Двухмерный вектор
Выход	Расстояние от одной точки до другой
Пример	<pre> Vector2d a = new Vector2d(1.0, 1.0); Vector2d b = new Vector2d(2.0, 2.0); Number distance = Distance.PointPoint(a, b); </pre>

Двухмерные вектор и прямая

На рис. 18 приведено графическое изображение определения расстояния между точкой и прямой.

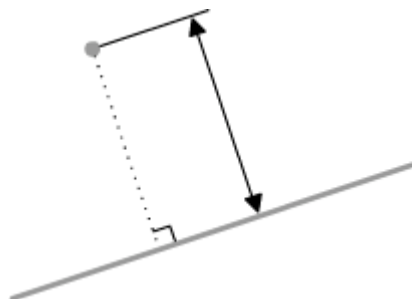


Рисунок 18 - Расстояние от точки до прямой, двухмерный случай

Формат	<code>Distance.PointLine(a, b);</code>
Вход	Двухмерный вектор, Двухмерная прямая
Выход	Расстояние от точки до прямой
Пример	<pre> Vector2d a = new Vector2d(1.0, 1.0); Line2d b = new Line2d(Vector2d.Zero, Vector2d.XAxis); Number distance = Distance.PointLine(a, b); </pre>

Двухмерные вектор и окружность

Графическое изображение определения расстояния между точкой и окружностью показано на рис. 19.

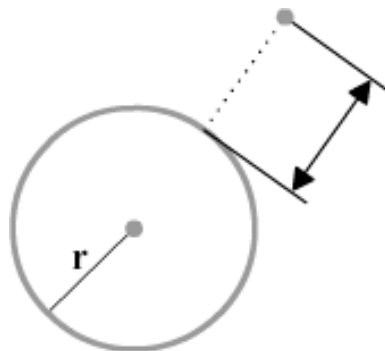


Рисунок 19 - Расстояние от точки до окружности, двухмерный случай

Формат	<code>Distance.PointCircle(a, b);</code>
Вход	Двухмерный вектор, Двухмерная окружность
Выход	Расстояние от точки до окружности
Пример	<pre> Vector2d a = new Vector2d(5.0, 5.0); Circle2d b = new Circle2d(Vector2d.Zero, 1.0); Number distance = Distance.PointPoint(a, b); </pre>

Два трехмерных вектора

На рис. 20 приведено графическое изображение определения расстояния между двумя трехмерными точками.

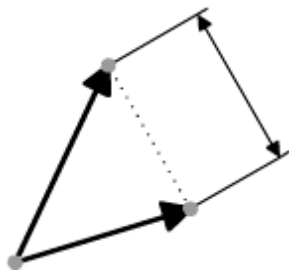


Рисунок 20 - Расстояние между двумя трехмерными точками

Формат	Distance.PointPoint(a, b);
Вход	Трехмерный вектор, Трехмерный вектор
Выход	Расстояние от одной точки до другой
Пример	<pre> Vector3d a = new Vector3d(1.0, 1.0, 1.0); Vector3d b = new Vector3d(2.0, 2.0, 2.0); Number distance = Distance.PointPoint(a, b); </pre>

Трехмерный вектор и прямая

Графическое изображение определения расстояния от точки до прямой (трехмерный случай) приведено на рис. 21.

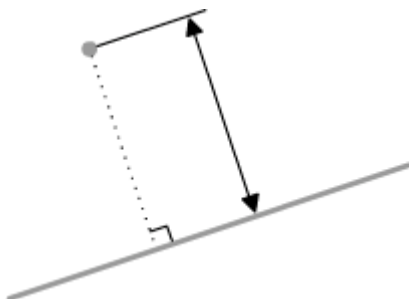


Рисунок 21 - Расстояние от точки до прямой, трехмерный случай

Формат	Distance.PointLine(a, b);
Вход	Трехмерный вектор, Трехмерная прямая
Выход	Расстояние от точки до прямой
Пример	<pre> Vector3d a = new Vector3d(1.0, 1.0, 1.0); Line3d b = new Line3d(Vector3d.Zero, Vector3d.XAxis); Number distance = Distance.PointLine(a, b); </pre>

Трехмерный вектор и плоскость

На рис 22 представлено графическое изображение определения расстояния от точки до плоскости.

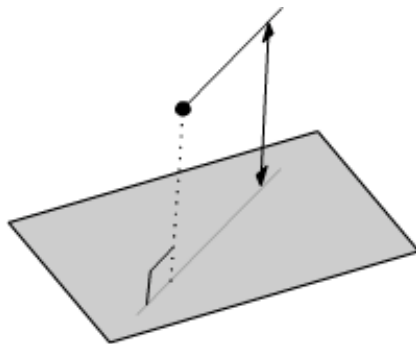


Рисунок 22 - Расстояние от точки до плоскости

Формат	Distance.PointPlane(a, b);
Вход	Трехмерный вектор, Плоскость
Выход	Расстояние от точки до плоскости
Пример	<pre> Vector3d a = new Vector3d(1.0, 1.0, 1.0); Plane b = new Plane(Vector3d.Zero, Vector3d.XAxis); Number distance = Distance.PointPlane(a, b); </pre>

Трехмерный вектор и окружность

Графическое изображение определения расстояния от точки до окружности (трехмерный случай) показано на рис.23.

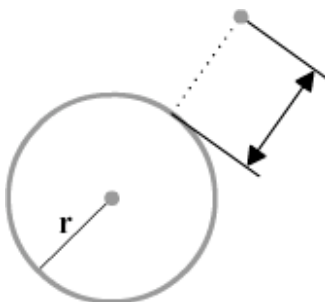


Рисунок 23 - Расстояние от точки до окружности, трехмерный случай

Формат	Distance.PointCircle(a, b);
Вход	Трехмерный вектор, Окружность
Выход	Расстояние от точки до окружности
Пример	<pre> Vector3d a = new Vector3d(5.0, 5.0, 5.0); Circle3d b = new Circle3d(Vector3d.Zero, 1.0); Number distance = Distance.PointCircle(a, b); </pre>

Трехмерный вектор и сфера

Графическое изображение определения расстояния от точки до сферы приведено на рис. 24.

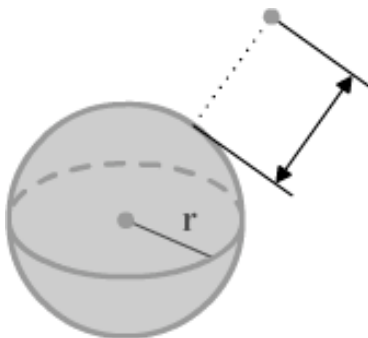


Рисунок 24 - Расстояние от точки до сферы

Формат	<code>Distance.PointShpere(a, b);</code>
Вход	Трёхмерный вектор, Сфера
Выход	Расстояние от точки до сферы
Пример	<pre> Vector3d a = new Vector3d(5.0, 5.0, 5.0); Sphere b = new Sphere(Vector3d.Zero, 1.0); Number distance = Distance.PointSphere(a, b); </pre>

Трёхмерный вектор и цилиндр

На рис. 25 приведено графическое изображение определения расстояния от точки до цилиндра

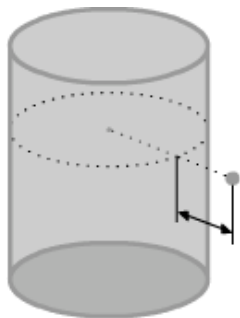


Рисунок 25 - Расстояние от точки до цилиндра

Формат	Distance.PointCylinder(a, b);
Вход	Трёхмерный вектор, Цилиндр
Выход	Расстояние от точки до цилиндра
Пример	<pre> Vector3d a = new Vector3d(5.0, 5.0, 5.0); Cylinder b = new Cylinder(Vector3d.Zero, Vector3d.XAxis, 2.0); Number distance = Distance.PointCylinder(a, b); </pre>

Расчет углов

Операция предполагает нахождение углов между двумя элементами геометрии.

Две двумерные прямые

Графическое изображение определения угла между двумя прямыми приведено на рис. 26.

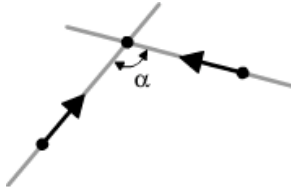


Рисунок 26 - Угол между двумя двумерными прямыми

Формат	<code>Angle.LineLine(a, b);</code>
Вход	Двухмерная прямая, Двухмерная прямая
Выход	Угол в радианах
Пример	<pre> Line2d a = new Line2d(Vector2d.Zero, Vector2d.XAxis); Line2d b = new Line2d(Vector2d.Zero, Vector2d.YAxis); Number angle = Angle.LineLine(a, b); </pre>

Две трехмерные прямые

На рис. 27 приведено графическое изображение определения угла между двумя трехмерными прямыми

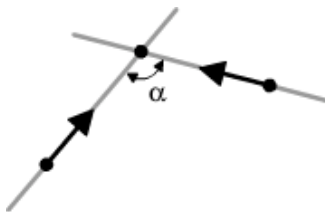


Рисунок 27 - Угол между двумя трехмерными прямыми

Формат	<code>Angle.LineLine(a, b);</code>
Вход	Трехмерная прямая, Трехмерная прямая
Выход	Угол в радианах
Пример	<pre> Line3d a = new Line3d(Vector3d.Zero, Vector3d.XAxis); Line3d b = new Line3d(Vector3d.Zero, Vector3d.YAxis); Number angle = Angle.LineLine(a, b); </pre>

Трехмерная прямая и плоскость

Графическое изображение определения угла между плоскостью и прямой приведено на рис. 28.

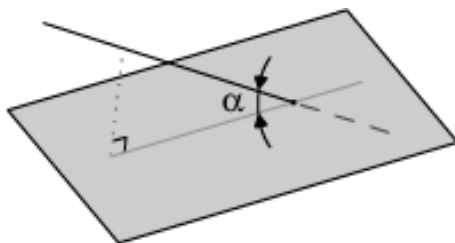


Рисунок 28 - Угол между плоскостью и прямой

Формат	<code>Angle.LinePlane(a, b);</code>
Вход	Трехмерная прямая, Плоскость
Выход	Угол в радианах
Пример	<pre> Line3d a = new Line3d(Vector3d.Zero, Vector3d.XAxis); Plane b = new Plane(Vector3d.Zero, Vector3d.XAxis); Number angle = Angle.LinePlane(a, b); </pre>

Две плоскости

Графическое изображение определения угла между двумя плоскостями приведено на рис. 29.

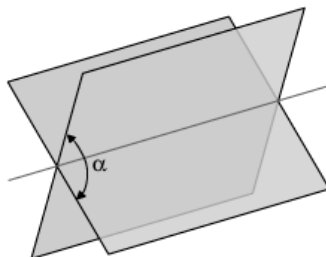


Рисунок 29 - Угол между двумя плоскостями

Формат	<code>Angle.PlanePlane(a, b);</code>
Вход	Плоскость, Плоскость
Выход	Угол в радианах
Пример	<pre> Plane a = new Plane(Vector3d.Zero, Vector3d.YAxis); Plane b = new Plane(Vector3d.Zero, Vector3d.XAxis); Number angle = Angle.PlanePlane(a, b); </pre>

Построение проекций элементов

Операция предполагает нахождение проекции элемента на другой элемент.

Двухмерная точка на прямую

Графическое изображение построения проекции точки на двухмерную прямую приведено на рис.30.

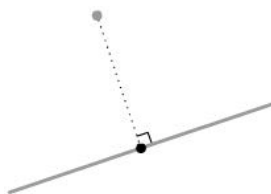


Рисунок 30 - Проекция точки на двухмерную прямую

Формат	<code>Projection.PointLine(a, b);</code>
Вход	Двухмерный вектор, Двухмерная прямая
Выход	Двухмерный вектор – проекция на прямую
Пример	<pre> Vector2d point = new Vector2d(1.0, 1.0); Line2d line = new Line2d(Vector2d.Zero, Vector2d.XAxis); Vector2d result = Projection.PointLine(point, line); </pre>

Трехмерная точка на прямую

На рис. 31 показано графическое изображение нахождения проекции точки на трехмерную прямую.

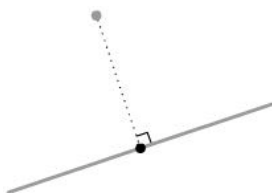


Рисунок 31 - Проекция точки на трехмерную прямую

Формат	Projection.PointLine(a, b);
Вход	Трехмерный вектор, Трехмерная прямая
Выход	Трехмерный вектор – проекция на прямую
Пример	<pre> Vector3d point = new Vector3d(1.0, 1.0, 1.0); Line3d line = new Line3d(Vector3d.Zero, Vector3d.XAxis); Vector3d result = Projection.PointLine(point, line); </pre>

Трехмерная точка на плоскость

Графическое изображение построения проекции точки на плоскость приведено на рис. 32.

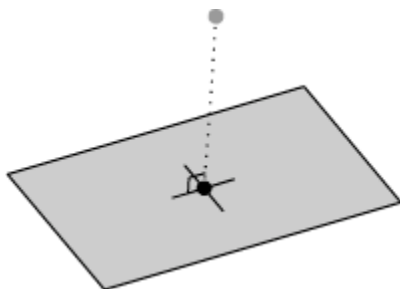


Рисунок 32 - Проекция точки на плоскость

Формат	Projection.PointPlane(a, b);
Вход	Трехмерный вектор, Плоскость
Выход	Трехмерный вектор – проекция на плоскость
Пример	<pre> Vector3d point = new Vector3d(1.0, 1.0, 1.0); Plane plane = new Plane(Vector3d.Zero, Vector3d.XAxis); Vector3d result = Projection.PointPlane(point, plane); </pre>

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объяснить принцип координатных измерений.
2. Описать основные узлы КИМ.
3. Описать принцип работы КИМ.
4. В чем заключается калибровка щупа?
5. В чем заключается математическое базирование детали?
6. Описать виды математического базирования.
7. В чем заключается процесс составления маршрута измерений?
8. Каким образом производится обработка результатов измерения?

Список литературы

1. Белкин, И.М. Допуски и посадки (Основные нормы взаимозаменяемости): учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 1992. – 528 с.

2. Васильев, А.В. Основы метрологии и технические измерения: учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.

3. Методика выполнения измерений параметров шероховатости поверхности по ГОСТ 2789-73 при помощи приборов профильного метода: МИ 41-75. – М.: Изд-во стандартов, 1975.

10 Критерии оценки практических работ

Таблица 3 – Критерии оценки

Вид оценивания	Технология оценивания	Шкала (уровень) оценивания	
		1 балл	0 баллов
Работа на практических занятиях	Выполнение и защита индивидуальных заданий	Практические задания выполнены качественно, оформлены в срок и в полном объеме**	Практические задания не выполнены и не оформлены