



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра технологии металлов и
ремонта машин

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

ПРАКТИКУМ

к аудиторным занятиям
и самостоятельной работе обучающихся

Направления подготовки бакалавров:

35.03.06 Агроинженерия

23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Уфа 2021

Рекомендовано к изданию методической комиссией механического факультета (протокол № 7/1 от 25 марта 2021 г.)

Составитель: канд. техн. наук, доцент Фаюршин А.Ф.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры «Технология металлов и ремонт машин» (протокол № 8/1 от 25 марта 2021 г.)

Ответственный за выпуск:

Зав. кафедрой «Технология металлов и ремонт машин»,
канд. техн. наук, доцент Фаюршин А.Ф.

г. Уфа, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, Кафедра технологии металлов и ремонта машин

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	5
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1 ПЕРЕВОД РАЗМЕРНОСТЕЙ В СИСТЕМУ СИ.....	5
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЕСПД	9
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3 АНАЛИЗ ПОСАДОК В ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ.....	15
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4 ВЫБОР СТАНДАРТНЫХ ПОСАДОК ДЛЯ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПО РАСЧЕТНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ЗАЗОРОВ И НАТЯГОВ ..	23
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5 ВЕРОЯТНОСТНЫЙ РАСЧЕТ ПОСАДОК	29
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6 ОЦЕНКА ГРУБЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ.....	33
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7 НОРМИРОВАНИЕ КЛАССОВ ТОЧНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ.....	41
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8 ПОСАДКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ	49
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 9 ВЫБОР ПОСАДОК ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	55
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 10 ПАРАМЕТРЫ МЕТРИЧЕСКОЙ РЕЗЬБЫ.....	59
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 11 НОРМИРОВАНИЕ ДОПУСКОВ ФОРМЫ, РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ.....	63
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 12 АНАЛИЗ И РАСЧЕТ ПЛОСКИХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ	68
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ.....	80
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТАМИ И УГЛОМЕРАМИ	80
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ИЗМЕРЕНИЕ АВТОТРАКТОРНЫХ ДЕТАЛЕЙ МИКРОМЕТРИЧЕСКИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ	84
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИЗМЕРЕНИЕ ВНУТРЕННИХ И НАРУЖНЫХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ ИНДИКАТОРНЫМИ ПРИБОРАМИ.....	88
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ВЫБОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ	92
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 ВЫПОЛНЕНИЕ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	95

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 ВЫПОЛНЕНИЕ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	97
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7 ПОВЕРКА МЕРИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА.....	100
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8 ИЗМЕРЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ	104
ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	110
УКАЗАНИЯ К ИНТЕРАКТИВНОЙ ЧАСТИ ЗАНЯТИЙ.....	113
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	114
ПРИЛОЖЕНИЯ	115

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1 ПЕРЕВОД РАЗМЕРНОСТЕЙ В СИСТЕМУ СИ

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В данной работе студент должен ознакомиться с международной системой единиц физических величин СИ, освоить навыки перевода размерностей из «старой» метрической системы в систему СИ.

2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, называется системой единиц физических величин. Единица основной физической величины является основной единицей данной системы.

Исторически первой системой единиц физических величин была принятая в 1791 г. Национальным собранием Франции метрическая система мер. Она не являлась еще системой единиц в современном понимании, а включала в себя единицы длин, площадей, объемов, вместимостей и веса, в основу которых были положены две единицы: метр и килограмм.

В 1832 г. немецкий математик К. Гаусс предложил методику построения системы единиц как совокупности основных и производных. Он построил систему единиц, в которой за основу были приняты три произвольные, независимые друг от друга единицы - длины, массы и времени. Все остальные единицы можно было определить с помощью этих трех. Такую систему единиц, связанных определенным образом с тремя основными, Гаусс назвал абсолютной системой. За основные единицы он принял миллиметр, миллиграмм и секунду.

В дальнейшем с развитием науки и техники появился ряд систем единиц физических величин, построенных по принципу, предложенному Гауссом, базирующихся на метрической системе мер, но отличающихся друг от друга основными единицами.

Главнейшие системы единиц физических величин:

Система СГС. Система единиц физических величин СГС, в которой основными единицами являются сантиметр как единица длины, грамм как единица массы и секунда как единица времени, была установлена в 1881 г.

Система МКГСС. Применение килограмма как единицы веса, а в последующем как единицы силы вообще, привело в конце XIX века к формированию системы единиц физических величин с тремя основными единицами: метр - единица длины, килограмм-сила - единица силы и секунда - единица времени.

Система МКСА. Основы этой системы были предложены в 1901 г. итальянским ученым Джорджи. Основными единицами системы МКСА являются метр, килограмм, секунда и ампер.

Наличие ряда систем единиц физических величин, а также значительного числа внесистемных единиц (таблица 1.3), неудобства, связанные с пересчетом при переходе от одной системы единиц к другой, требовало унификации единиц измерений. Требовалась единая система единиц физических величин, практически удобная и охватывающая различные области измерений. При этом она должна была сохранить принцип когерентности (равенство единице коэффициента пропорциональности в уравнениях связи между физическими величинами).

Когерентная, или согласованная **Международная система единиц физических величин** (система СИ – SI от начальных букв французского названия *Systeme International d' Unites*) принята в 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам и весам. По этой системе предусмотрено семь основных единиц (метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль и кандела). Все остальные физические величины могут быть получены как производные основных (таблица 1.1).

Таблица 1.1 - Основные единицы СИ

Величина		Единица			
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение		Определение
			международное	русское	
Длина	L	метр	m	м	Метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299\,792\,458\text{ s}$ [XVII ГКМВ (1983 г.), Резолюция 1]
Масса	M	килограмм	kg	кг	Килограмм есть единица массы, равная массе международного прототипа килограмма [I ГКМВ (1889 г.) и III ГКМВ (1901 г.)]
Время	T	секунда	s	с	Секунда есть время, равное $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 [XIII ГКМВ (1967 г.), Резолюция 1]
Сила электрического тока	I	ампер	A	А	Ампер есть сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}\text{ N}$ [МКМВ (1946 г.), Резолюция 2, одобренная IX ГКМВ (1948 г.)]
Термодинамическая температура	Θ	кельвин	K	К	Кельвин есть единица термодинамической температуры, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды [XIII ГКМВ (1967 г.), Резолюция 4]
Количество вещества	N	моль	mol	моль	Моль есть количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 kg. При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, молекулами, ионами, электронами и другими частицами или специфицированными группами частиц [XIV ГКМВ (1971 г.), Резолюция 3]
Сила света	J	кандела	cd	кд	Кандела есть сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}\text{ Hz}$, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683\text{ W/sr}$ [XVI ГКМВ (1979 г.), Резолюция 3]

Система является логическим развитием предшествовавших ей систем единиц. К достоинствам и преимуществам системы СИ относят:

- универсальность, т.е. охват всех областей науки и техники;
- унификация всех областей и видов измерений;
- когерентность величин;

- возможность воспроизведения единиц с высокой точностью в соответствии с их определением;

- упрощение записи формул в физике, химии, а также в технических науках в связи с отсутствием переводных коэффициентов;

- уменьшение числа допускаемых единиц;

- единая система образования кратных и дольных единиц, имеющих собственные наименования (таблица 1.2);

- облегчение педагогического процесса в средней и высшей школах, так как отпадает необходимость в изучении множества систем единиц и внесистемных единиц;

- лучшее взаимопонимание при развитии научно-технических и экономических связей между различными странами.

Таблица 1.2 - Множители и приставки, используемые для образования наименований и обозначений десятичных кратных и дольных единиц СИ

Десятичный множитель	Приставка	Обозначение приставки		Десятичный множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское			международное	русское
10^{24}	иотта	Y	И	10^{-1}	деци	d	д
20^{21}	зетта	Z	З	10^{-2}	санти	с	с
10^{18}	экса	E	Э	10^{-3}	милли	m	м
10^{15}	пета	P	П	10^{-6}	микро	μ	мк
10^{12}	тера	T	Т	10^{-9}	нано	n	н
10^9	гига	G	Г	10^{-12}	пико	p	п
10^6	мега	M	М	10^{-15}	фемто	f	ф
10^3	кило	k	к	10^{-18}	атто	a	а
10^2	гекто	h	г	10^{-21}	зепто	z	з
10^1	дека	da	да	10^{-24}	иокто	y	и

Таблица 1.3 - Единицы прошлых лет

Величина	Наименование единицы и ее дольные	Перевод в единицы СИ
Длина	1 верста - 50 сажень - 1500 аршин	1,0668 км
	1 сажень - 3 аршина - 48 вершков	2,1336 м
	1 аршин - 16 вершков	71,120 см
	1 сажень - 7 футов - 84 дюйма	2,1336 м
	1 фут - 12 дюймов - 120 линий	0,3048 м
	1 дюйм - 10 линий - 100 точек	2,54 см
	1 линия - 100 точек	2,54 мм
Площадь	1 десятина - 2400 квадратных сажень	10925,4 м ²
Объем (вместимость для жидких тел)	1 бочка - 40 ведер - 400 штофов	491,98 дм ³
	1 ведро - 10 штофов - 20 бутылок	12394 дм ³
	1 штоф - 2 бутылки - 10 чарок	1,22994 дм ³
	1 бутылка - 5 чарок - 10 шкаликов	0,614970 дм ³
Объем (для сыпучих тел)	1 четверть - 8 четвериков - 64 гарнца	209,91 дм ³
	1 четверик - 8 гарнцев	262387 дм ³
	1 гарнец	3,27984 дм ³
	1 берковец - 10 пудов - 400 фунтов	163,805 кг
Масса	1 пуд - 40 фунтов - 120 лотов	16,3805 кг
	1 фунт - 32 лота - 86 золотников	409,512 г
	1 лот - 3 золотника - 288 долей	12,797 г
	1 доля	44,4349 мг

3 ЗАДАНИЕ

Выразить величины, указанные в устаревших единицах измерений (таблица 1.4), в единицах системы СИ.

Таблица 1.4 - Исходные данные

Размерность исходных данных	$\frac{mc}{m^2}$	$\frac{кгс}{см^2}$	л. с.	$\frac{гс}{см^2}$	$\frac{mc}{m^2}$	mc·м	кгс·м	$\frac{mc}{m^2}$	$\frac{кгс·м}{час}$	
В какие размерности перевести	кПа	МПа	Дж/с	кН/м ²	кН/м ²	кДж	Н·см	кН/см ²	Дж/с	
Численные значения исходных данных при вариантах №	1	25	2	10	1,8	2,5	40	20	100	20
	2	39	5	12	1,9	2,7	30	16	78	17
	3	44	9	17	2,5	3,3	65	27	56	34
	4	27	6	25	1,2	2,9	70	12	41	45
	5	32	11	18	3,6	2,6	85	35	63	29
	6	49	4	33	1,4	4,1	50	21	37	71
	7	21	8	11	1,7	2,4	35	14	82	63
	8	58	1	16	2,3	5,8	20	29	59	24
	9	63	3	24	1,6	2,2	60	17	71	57
	10	47	7	19	1,3	3,6	47	33	68	19
	11	46	12	20	1,8	4,5	50	26	90	10
	12	52	6	16	1,9	2,3	33	18	68	12
	13	41	7	27	2,0	5,3	62	37	46	18
	14	24	8	12	1,2	2,8	77	11	40	25
	15	35	9	35	3,6	2,0	82	45	61	18
	16	26	2	21	1,4	4,1	54	24	32	33
	17	48	6	14	1,3	6,4	39	34	51	11
	18	53	5	29	2,3	5,1	21	49	54	16
	19	62	10	17	1,6	4,3	66	15	70	24
	20	40	14	20	1,0	3,1	48	31	68	19
	21	34	3	22	1,7	3,5	45	32	58	10
	22	35	13	3	2,0	6,0	20	9	91	9
	23	36	14	5	2,1	6,1	21	8	88	8
	24	37	15	6	2,4	6,2	22	7	72	7
	25	38	16	7	2,6	6,3	23	6	77	6
	26	39	17	8	2,7	6,4	24	5	60	5
	27	40	18	9	2,8	6,5	25	4	65	4
	28	42	19	13	2,9	6,6	26	3	69	13
	29	45	20	15	3,0	6,7	27	2	85	20
	30	46	21	2	3,1	6,8	28	12	82	15

В таблице 1.5 приведены некоторые единицы СИ, «старые» единицы и указаны их соотношения.

Таблица 1.5 - Некоторые единицы, используемые до ввода системы СИ

Величина	Наименование и обозначение		Соотношения
	Единицы СИ	«старые» единицы	
1	2	3	4
Сила	килоньютон, кН ньютон, Н	тонна-сила, тс килограмм - сила, кгс	1тс = 9,81 кН 1кгс = 9,81 Н
Работа (энергия)	джоуль (Дж), Н·м	кгс·м тс·м	1 кгс·м = 9,81(Дж)
Напряжение	паскаль Па (Н/м ²) килопаскаль кПа, (кН/м ²) мегапаскаль МПа (МН/м ²)	кгс/см ² тс/м ²	1 кгс/см ² = 0,1Мпа = = 100кПа 1тс/м ² = 0,01Мпа = = 10кПа
Мощность	Дж/с (Н·м/с)	лошадиная сила, л.с.	1 л.с. = 75 кгс·м/с = = 735,8 Н·м/с (Дж/с)

4 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие виды единиц имеются в системе СИ?
2. Назовите преимущества и достоинства системы СИ.
3. Назовите кратные и дольные единицы системы СИ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЕСДП ЦЕЛЬ ВЫПОЛНЯЕМОЙ РАБОТЫ

Закрепить у студента знания об общих положениях ЕСДП. Научиться рационально выбирать стандартные посадки в системах вала и отверстия, вычислять расчетные характеристики посадок.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ЕСДП, ГОСТ 25346-89, ГОСТ 25347-89, сборочные чертежи узлов автотракторной техники и сельскохозяйственных машин.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1 Основные положения системы допусков и посадок

Системой допусков и посадок называют совокупность рядов допусков и посадок, закономерно построенных на основе опыта, теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандартов. Система предназначена для выбора минимально необходимых, но экономически и технологически оправданных вариантов допусков и посадок типовых соединений деталей машин.

Допуски и посадки для размеров до 500 мм, свыше 500 до 3150 мм, а также для размеров свыше 3150 до 10000 мм установлены в соответствии со стандартами ГОСТ 25346-82, ГОСТ 25347-82, ГОСТ 25438-82.

В системе допусков и посадок предусмотрены посадки в системе отверстия и в системе вала.

Посадки в системе отверстия – посадки, в которых различные зазоры и натяги получают соединением различных валов с основным отверстием (рисунок 1,а), которое обозначают буквой Н.

Посадки в системе вала – посадки, в которых различные зазоры и натяги получают соединением различных отверстий с основным валом (рисунок 1,б), который обозначают буквой **h**.

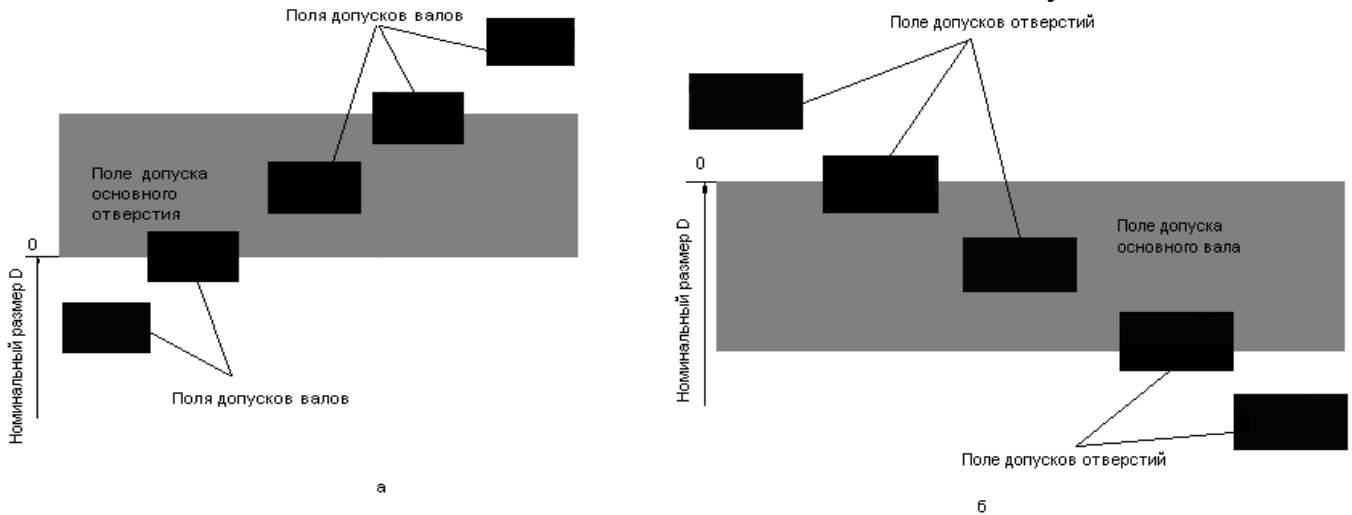


Рисунок 2.1 - Расположение полей допусков для посадок в системе отверстия (а) и в системе вала (б)

Для всех посадок в системе отверстия нижнее отклонение отверстия $EI = 0$, т.е. нижняя граница поля допуска отверстия, называемого основным отверстием, всегда совпадает с нулевой линией.

Для всех посадок в системе вала верхнее отклонение вала $es = 0$, т.е. верхняя граница поля допуска вала, называемого основным, всегда совпадает с нулевой границей.

Поле допуска основного отверстия откладывают вверх, а основного вала – вниз от нулевой линии, т.е. в материал детали. Выбор систем отверстия или вала для той или иной посадки определяется конструктивными, технологическими и экономическими соображениями.

Наиболее распространена система отверстия, которая обеспечивает уменьшение номенклатуры режущего инструмента (сверл, разверток, протяжек и пр.), необходимого для обработки отверстий.

Систему вала применяют, когда вал является готовым изделием (например, наружные кольца подшипников качения) или когда система отверстия не может быть применена по соображениям сборки и в ряде других случаев.

2. Единица допуска.

Для построения системы допусков устанавливают единицу допуска. Она является мерой точности и отражает влияние конструктивных, технологических и других факторов на точность.

В системе ИСО для размеров от 1 до 500 мм единица допуска в микрометрах принята равной

$$i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D;$$

для размеров свыше 500 до 10 000 мм

$$i = 0,004D + 2,1,$$

где D - номинальный диаметр в миллиметрах, определяемый как среднее геометрическое крайних размеров каждого интервала размеров;

$$D = \sqrt{D_{\min} D_{\max}},$$

где D_{\min} и D_{\max} - наименьшее и наибольшее граничные значения интервала номинальных размеров, мм.

Член $0,001D$ учитывает погрешность измерения с увеличением диаметра. Зная i , можно получить допуск для любого качества (степени точности)

$$T = a \cdot i,$$

где a - коэффициент, равный числу единиц допуска, зависящий от качества и не зависящий от номинального размера. В приложении 3 даны значения единицы допуска для интервалов номинальных размеров от 1 до 500 мм.

3.Квалитеты.

Для нормирования требуемых уровней точности установлены квалитеты.

Квалитетом называют совокупность допусков, характеризуемых постоянной относительной точностью, определяемой коэффициентом a , для всех номинальных размеров данного диапазона (например, от 1 до 500). Точность в пределах одного качества изменяются только в зависимости от номинального размера. Качество определяет допуск на изготовление, а следовательно, и соответствующие методы и средства обработки деталей машин.

В ИСО установлено 19 квалитетов – IT01, IT0, IT1, IT2,..., IT17, где IT означает международный допуск.

4.Разновидности гладких цилиндрических соединений и предъявляемые к ним эксплуатационные требования

Гладкие цилиндрические соединения, наиболее часто применяемые в машиностроении, разделяют на подвижные и неподвижные.

Подвижные соединения характеризуются свободным взаимным перемещением деталей с гарантированным зазором, например соединение цапфы вала с вкладышем подшипника скольжения.

Неподвижные соединения бывают неразъемные с гарантированным натягом, например соединение венца червячного колеса с его ступицей, и разъемные — переходные соединения с небольшими натягами и зазорами, например соединение зубчатого колеса с валом редуктора.

Основное эксплуатационное требование, предъявляемое к подвижным соединениям, — создание между валом и отверстием наименьшего зазора и сохранение его в допустимых пределах в процессе длительной эксплуатации.

Основное эксплуатационное требование, предъявляемое к неподвижным соединениям, — обеспечение точного центрирования деталей и передача заданного крутящего момента или осевой силы в процессе длительной эксплуатации.

5.Основные отклонения

Для образования посадок с различными зазорами и натягами в системе ИСО и ЕСДП для размеров до 500 мм предусмотрено 27 вариантов основных отклонений валов и отверстий (рисунок 2.2).

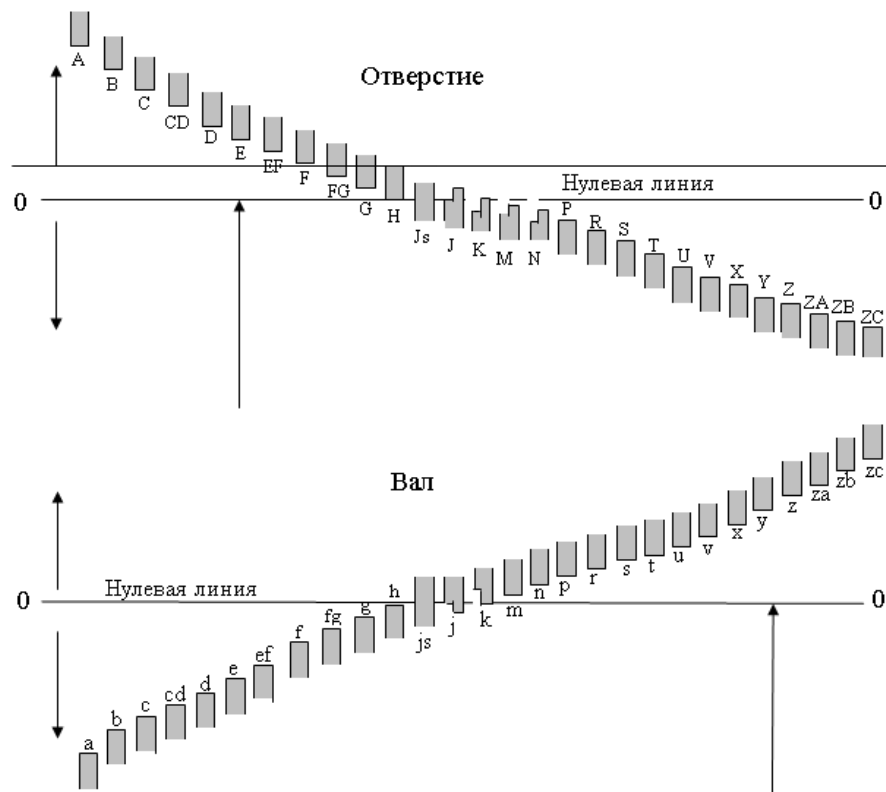


Рисунок 2.2 - Основные отклонения отверстий и валов, принятые в системах ИСО и ЕСДП

Положение поля допуска относительно нулевой линии определяется ближайшим к ней отклонением, которое называют основным. Основные отклонения могут быть как верхними (ES и es), так и нижними (EI и ei). Положение основных отклонений относительно нулевой линии постоянно для всех квалитетов и зависит только от номинального размера. Второе отклонение, образующее с основным поле допуска, определяют из основного с учетом значения допуска IT.

Для вала $ei = es - IT$, когда $es < 0$,
или $es = ei + IT$, когда $ei > 0$.

Для отверстий $EI = ES - IT$, когда $ES < 0$,
или $ES = EI + IT$, когда $EI > 0$.

Положение основных отклонений относительно нулевой линии обозначают буквами латинского алфавита, отверстий — прописными, валов — строчными. Обозначение поля допуска состоит из обозначения основного отклонения и квалитета. Таким образом, размер, для которого указывают поле допуска, обозначают числом, за которым следует условное обозначение, состоящее из буквы (иногда из двух букв) и цифры (или двух цифр). Например, 30H7, 30H8, 50H11.

В обозначение посадки входит номинальный размер, общий для обоих соединяемых элементов (отверстия и вала), за которым следует обозначение полей допусков, сначала — отверстия, за тем — вала, например $30 \frac{H8}{d7}$ (или 30H8/d7).

Относительные положения полей допусков (основных отклонений) и их обозначения приведены на рисунке 2. Отклонения А—Н (а—h) предназначены для образования полей допусков в посадках с зазорами; отклонения J—N (j—n) — в переходных посадках; отклонения P—ZC (p—zc) — в посадках с натягом. Для каждого основного отклонения вала

величину и знак определяют по эмпирическим формулам, приводимым в справочниках. Поля допусков валов j_s основных отклонений не имеют. Оба предельных отклонения определяют только исходя из допуска IT данного качества. Поля допусков Js и js располагают симметрично относительно нулевой линии.

Основные отклонения отверстий равны по величине и противоположны по знаку основным отклонениям валов, обозначаемых той же буквой: EI = -es (для отверстий от A до H); ES = -ei (для отверстий от J до ZC). Это правило имеет исключение для основных отклонений отверстий K, M и N с допуском до IT8 включительно и отклонений P — ZC до IT7 включительно размеров свыше 3 мм. Для них установлено специальное правило: ES = — ei + Δ, где Δ = IT_n - IT_{n-1}, т.е. разность между допуском рассматриваемого качества и допуском ближайшего более точного качества. Это правило введено с целью получения равных зазоров и натягов для одинаковых посадок в системе отверстия и в системе вала, когда отверстие данного качества соединяется с валом ближайшего более точного качества, например $\frac{H7}{p6}$ и $\frac{P7}{h6}$.

Рекомендуемые посадки 0...3150 мм приведены в ГОСТ 25347—82.

Методику построения посадок в системе ИСО и ЕСДП отличает то, что для сопрягаемых деталей установлена величина основного отклонения, т. е. расстояние от ближайшей границы поля допуска до нулевой линии. Величина основного отклонения для любого поля допуска не зависит от качества, т. е. она постоянна для одноименных полей всех качеств.

Верхнее (если поле допуска расположено выше нулевой линии) или нижнее (если поле допуска расположено ниже нулевой линии) отклонения определяют по величине основного отклонения и допуску выбранного качества. Например, для вала диаметром 16п5 по ГОСТ 25346—82 величина основного отклонения равна 12 мкм, допуск 5-го качества IT 5 = 8 мкм; следовательно, нижнее отклонение вала ei = +12 мкм, а верхнее отклонение es = 12 + 8 = 20 мкм (рисунок 2.3).

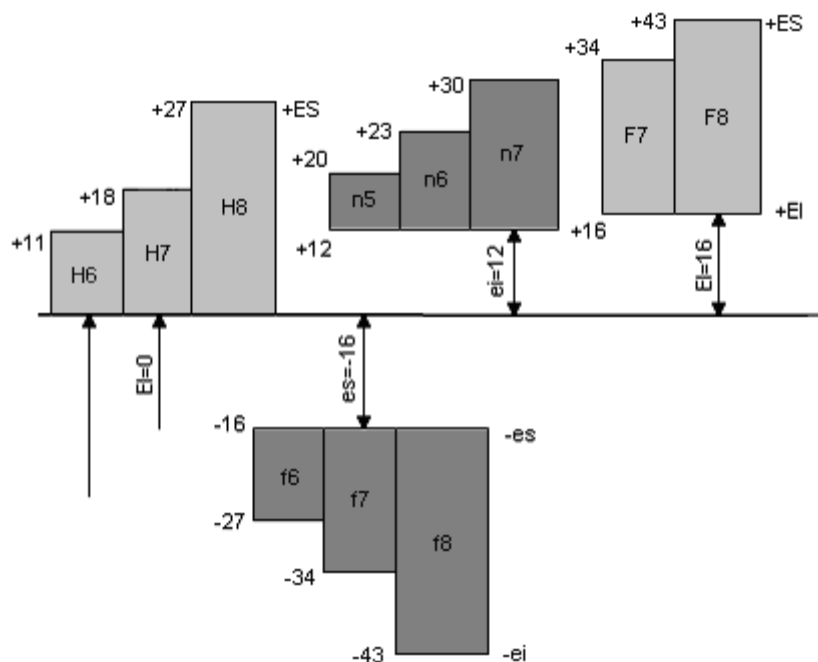


Рисунок 2.3 - Схема расположения полей допусков в системах ИСО и ЕСДП, иллюстрирующая методику построения посадок

Верхнее отклонение полей допусков валов (от а до g) и нижние отклонения соответствующих отверстий (от А до G), применяемые для посадок с зазором, приняты одинаковыми по абсолютной величине. Следовательно, зазоры в одинаковых посадках в системах отверстия и вала будут одинаковы.

Поля допусков для посадок с натягом в системе ИСО и ЕСДП построены таким образом, что верхнее отклонение валов в системе отверстия и нижние отклонения отверстий в системе вала, соответствующие тем же буквам алфавита, одинаковы по абсолютной величине, а следовательно, наибольшие натяги в системах отверстия и вала одинаковы, так как допуски при одном и том же качестве одинаковы.

6. Обозначение предельных отклонений и посадок на чертежах

На сборочных машиностроительных чертежах и на рабочих чертежах отдельных деталей должны быть приведены предельные отклонения размеров, определяющие поля допусков и характер соединения (посадку).

Предельные отклонения показывают непосредственно после номинального размера условными обозначениями или числовыми значениями предельных отклонений (рисунок 1.4, а, б, в) или условными обозначениями с указанием справа в скобках числовых значений предельных отклонений (рисунок 2.4, б). ЕСДП рекомендует применять преимущественно третий способ.

Посадки и предельные отклонения сопряженных размеров деталей на сборочных чертежах указывают в виде дроби: в числителе проставляют предельные отклонения условным обозначением или условным обозначением с указанием справа в скобках числовых значений предельных отклонений отверстия, а в знаменателе — аналогичное обозначение вала (рисунок 2.4, г, д).

Общие записи о неуказанных предельных отклонениях, нормируемых качествами от 12-го и грубее, выполняют следующим образом.

1. Неуказанные предельные отклонения размеров: отверстий H14, валов h14, остальных $\pm IT14/2$.

2. Неуказанные предельные отклонения размеров: диаметров H12, h12, остальных $\pm IT12/2$.

В первом примере отклонения H14 относятся к размерам всех внутренних (в соединениях — отверстий) элементов, а отклонения h14 — к размерам всех наружных (в соединениях — валов) элементов.

Во втором примере отклонения H12 относятся только к диаметрам круглых отверстий, отклонения h12 — к диаметрам круглых валов.

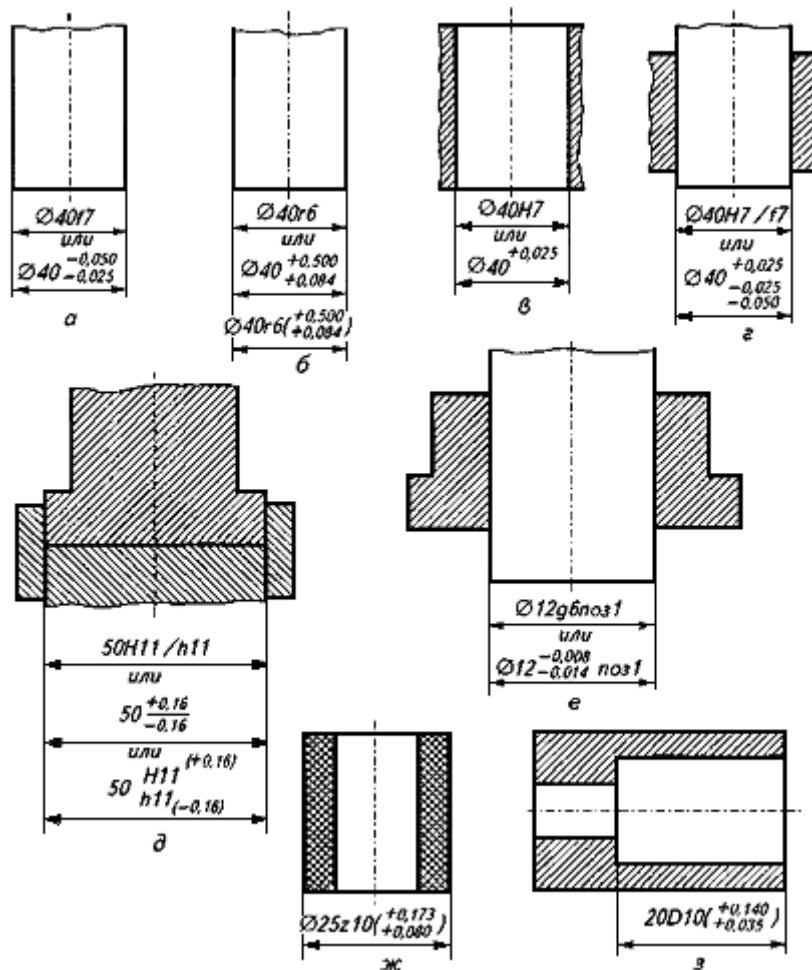


Рисунок 2.4 - Примеры обозначения полей допусков и посадок на чертежах

В общих записях могут быть указаны и другие качества из числа допущенных для применения в отрасли. В общей записи обозначение $\pm IT/2$ рекомендуется для симметричных отклонений потому, что оно распространяется на размеры различных элементов, в том числе и таких, которые не относятся к отверстиям или валам.

На рисунке 2.4, е, ж, з приведены специальные случаи обозначения посадок.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3 АНАЛИЗ ПОСАДОК В ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ

ЦЕЛЬ ВЫПОЛНЯЕМОЙ РАБОТЫ

Закрепить у студента знания о стандартах ЕСДП, получить практические навыки работы с документами ЕСДП. Научиться рационально выбирать стандартные посадки в системах вала и отверстия, вычислять расчетные характеристики посадок.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ЕСДП, ГОСТ 25346-89, ГОСТ 25347-89, сборочные чертежи узлов автотракторной техники и сельскохозяйственных машин.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ГОСТ 25347-89 рекомендует ограниченный набор полей допусков валов и отверстий, сочетания которых образуют посадки в системах вала и отверстия.

Посадки в системе отверстия образуются сочетанием основного отверстия (H) и различных полей допусков вала (рисунки 3.1). Посадки в системе вала - сочетание основного вала (h) с различными полями допусков отверстий.

Посадки в системе отверстия являются предпочтительными, т.к. отверстия сложнее в обработке. При обработке отверстий часто используется размерный (нерегулируемый) инструмент - зенкеры, развертки, протяжки. При обработке таким инструментом поле допуска отверстия можно сместить только в сторону уменьшения размера детали путем перетачивания режущих кромок. На валах технологически проще получать размеры с разными положениями полей допусков

Посадки в системе вала в основном применяют из конструктивных соображений. На длинный вал с одним номинальным размером и полем допуска можно посадить несколько деталей с разными полями допусков. Стандартные и нормализованные детали (наружные кольца подшипников, концы валов электродвигателей, калиброванный прокат заготовок для шпонок и т.п.) имеют уже заданные отклонения (как для основных валов), поэтому для отверстий сопрягаемых с ними деталей поля допусков назначают в системе вала.

В зависимости от взаимного расположения полей допусков отверстия и вала посадка может быть «с зазором», «с натягом» или «переходная».

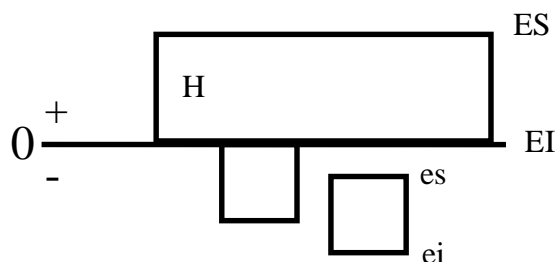
Посадки с зазором применяются для подвижных соединений или для неподвижных соединений, которые должны легко собираться и разбираться.

Посадки с натягом обеспечивают хорошее центрирование осей деталей в неподвижных соединениях, но требуют применения специальных приспособлений и приложения усилий при сборке и разборке.

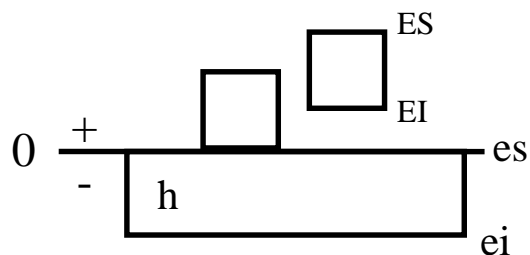
Переходные посадки предназначены для неподвижных разъемных соединений, где требуется обеспечить и центрирование, и относительную легкость сборки.

Посадки с зазором

В системе отверстия

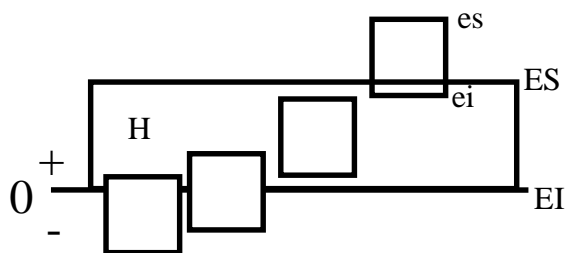


В системе вала

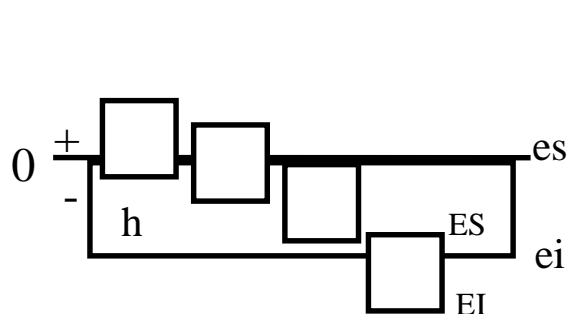


Посадки переходные

В системе отверстия

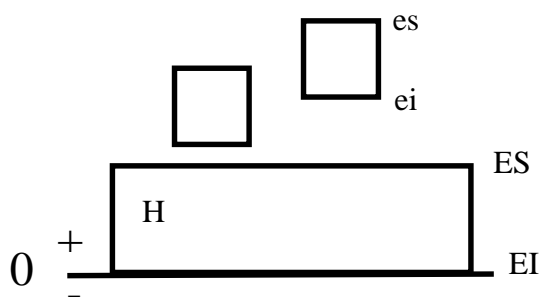


В системе вала

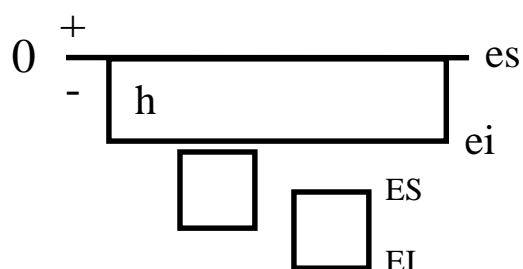


Посадки с натягом

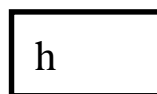
В системе отверстия



В системе вала



Поле допуска
основного отверстия



Поле допуска
основного вала



Поле допуска
сопрягаемого вала



Поле допуска
сопрягаемого отверстия

Рисунок 3.1 - Схемы расположения полей допусков сопрягаемых деталей при различных видах посадок

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с комплектом документов ЕСДП
2. Изучить конструкцию узла «Ролик натяжной»
3. По приведенным в методических указаниях примерам ознакомиться с методикой анализа трех различных посадок.
4. Самостоятельно сделать анализ остальных посадок узла.

5. По указанию преподавателя сделать анализ посадок в узлах автотракторной и с/х техники.
6. Оформить отчет и сдать работу преподавателю.

КОНСТРУКЦИЯ УЗЛА И ПОРЯДОК ЕГО СБОРКИ

Ролик натяжной (рисунок 3.2) применяется в тихоходной плоскоременной передаче. Собирается узел в следующей последовательности. В отверстие кронштейна 3 запрессовывается ось 1. На ось 1 до упора в кронштейн 3 устанавливается упорная втулка 2. В отверстие ролика 4 запрессовывается втулка подшипника 5, затем вставляется втулка стопора 6. Ролик 4 со втулками 2 и 6 устанавливается на ось 1 и фиксируется стопорным кольцом 7 от осевого смещения.

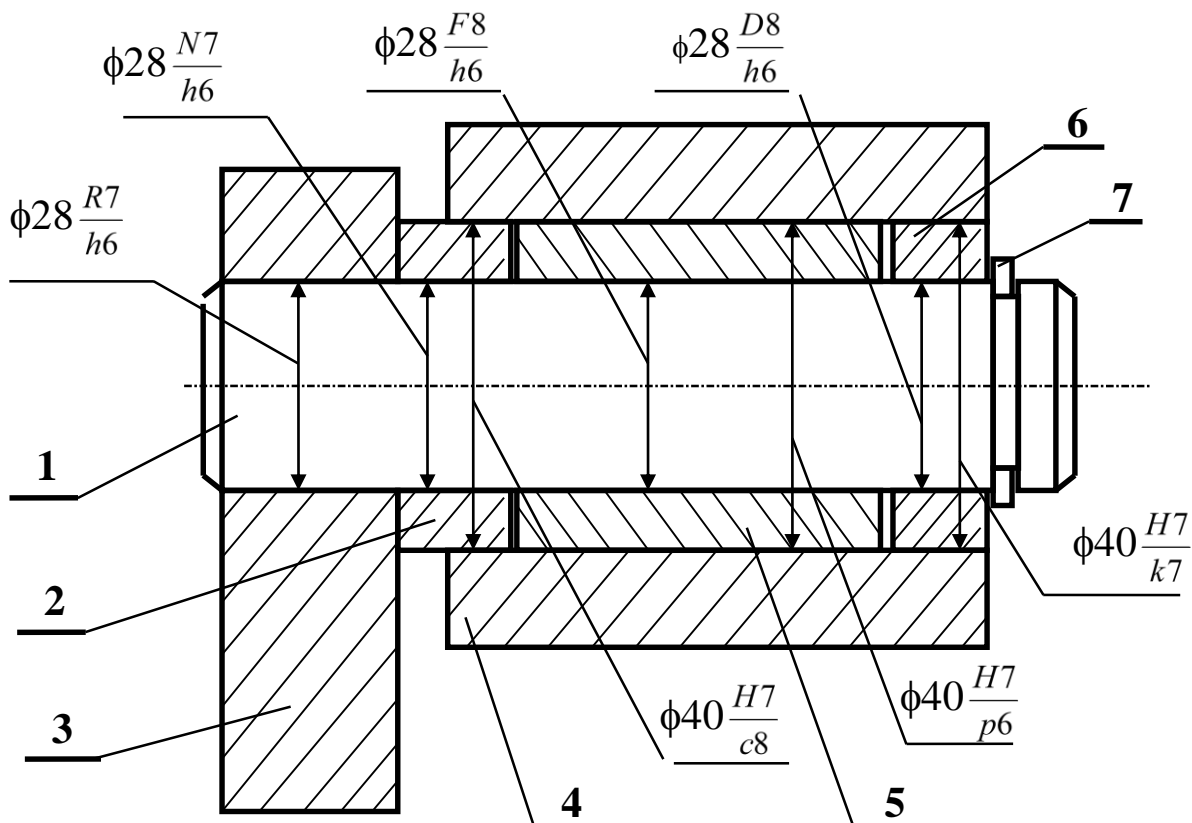


Рисунок 3.2 - Ролик натяжной

1 - ось, 2 - втулка упорная, 3 - кронштейн, 4 - ролик, 5 - втулка подшипника, 6 - втулка стопора, 7 - кольцо стопорное

АНАЛИЗ ПОСАДОК

Посадка $\phi 28 R7/h6$ Буквенное обозначение «h» показывает, что вал является основным, следовательно посадка выполнена в системе вала. По данным таблицы 4 ГОСТ 25347-89 посадка относится к числу рекомендуемых.

Допуск вала находим по ГОСТ 25346-89. Для размера 28 допуск по 6 качеству точности $T_d = 0,013$ мм

Величины предельных отклонений размера вала: основное отклонение верхнее $e_s = 0$, $e_i = -0,013$ мм

Величины предельных отклонений размера отверстия находим по таблице 8 ГОСТ 25347-89. Для 7 квалитета точности и буквенного обозначения «R» отклонения равны: основное отклонение верхнее $ES = -0,020$ мм, нижнее $EI = -0,041$ мм.

Допуск отверстия: $TD = ES - EI = -0,020 - (-0,041) = 0,021$ мм.

Допуск посадки: $TN(S) = TD + Td = 0,021 + 0,013 = 0,034$ мм.

На рисунке 3.3 в условном масштабе показываем расположение полей допусков сопряжения. Поле допуска отверстия (R7) расположилось ниже поля допуска вала (h6). Следовательно, это посадка с натягом.

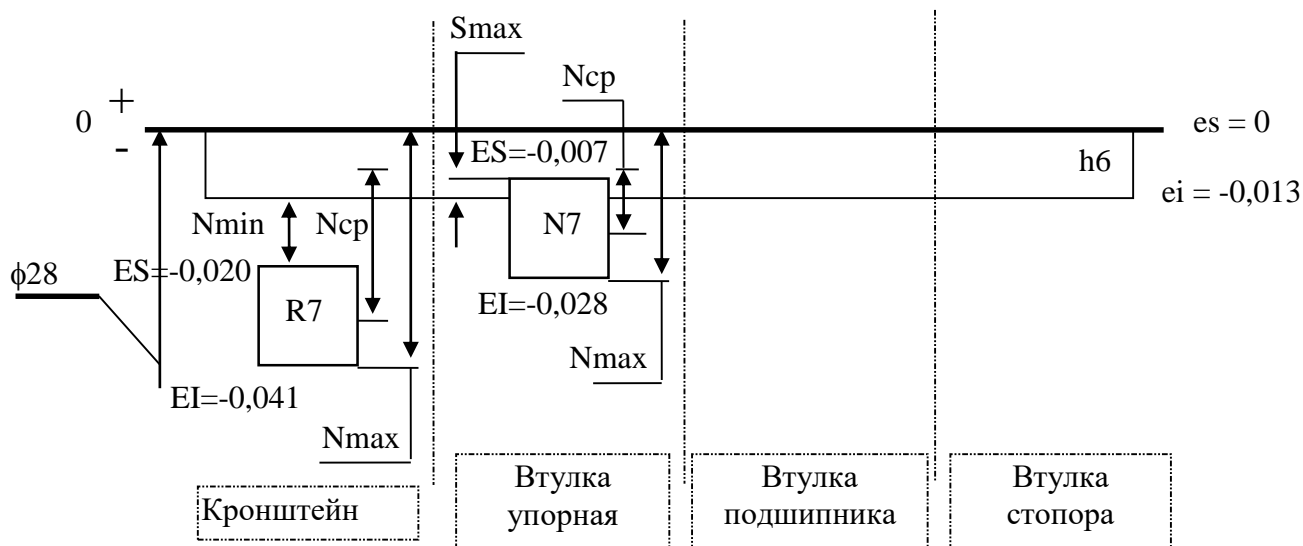


Рисунок 3.3 - Схема расположения полей допусков по размеру $\phi 28$

Расчетные характеристики посадки:

$$N_{\max} = es - EI = 0 - (-0,041) = 0,041 \text{ мм.}$$

$$N_{\min} = ei - ES = -0,013 - (-0,020) = 0,007 \text{ мм.}$$

$$N_{\text{cp}} = (N_{\max} + N_{\min})/2 = (0,041 + 0,007)/2 = 0,024 \text{ мм.}$$

По приложению А определяем способы окончательной обработки поверхностей деталей: для отверстия - развертывание, для вала - шлифование.

Результаты анализа посадки $\phi 28$ R7/h6 заносим в таблицу 3.1

Посадка $\phi 28$ N7/h6 Обозначение «h» показывает, что, как и в первом случае, посадка выполнена в системе вала. По данным ГОСТ 25347-89 посадка относится к числу предпочтительных. Допуск вала: $Td = 0,013$ мм. Величины предельных отклонений размера вала: $es = 0$, $ei = -0,013$.

Величины предельных отклонений размера отверстия находим по ГОСТ 25347-89. Для 7 квалитета точности и буквенного обозначения «N»:

$$ES = -0,007 \text{ мм, } EI = -0,028 \text{ мм.}$$

$$\text{Допуск отверстия: } TD = ES - EI = -0,007 - (-0,028) = 0,021 \text{ мм.}$$

$$\text{Допуск посадки: } TN(S) = TD + Td = 0,021 + 0,013 = 0,034 \text{ мм.}$$

На рисунке 3.1 показываем в условном масштабе положение полей допусков сопряжения. Поле допуска отверстия (N7) частично совпадает с полем допуска вала (h6). Следовательно, это переходная посадка, где возможно образование и натягов, и зазоров.

Расчетные характеристики посадки:

$$N_{\max} = es - EI = 0 - (-0,028) = 0,028 \text{ мм.}$$

$$S_{\max} = ES - ei = -0,007 - (-0,013) = 0,006 \text{ мм.}$$

$$N_{\text{cp}} = (N_{\max} - S_{\max})/2 = (0,028 - 0,006)/2 = 0,011 \text{ мм.}$$

По приложению А определяем способы окончательной обработки поверхностей деталей: для отверстия - чистовое растачивание, для вала - шлифование.

Результаты анализа посадки $\phi 28$ H7/h6 заносим в таблицу 3.1

Посадка $\phi 40$ H7/c8 Буквенное обозначение «Н» показывает, что отверстие является основным, следовательно, посадка выполнена в системе отверстия. По данным ГОСТ 25347-89 посадка относится к числу рекомендуемых.

Величину допуска отверстия находим по ГОСТ 25346-89. Для размера 40 по 7 квалитету точности $TD = 0,025$ мм.

Предельные отклонения размера отверстия: основное отклонение нижнее $EI = 0$, верхнее $ES = 0,025$ мм.

Величины предельных отклонений размера вала находим по ГОСТ 25347-82. Для 8 квалитета точности и буквенного обозначения «с» отклонения равны: основное отклонение верхнее $es = -0,120$ мм, $ei = -0,159$ мм.

Допуск вала: $Td = es - ei = -0,120 - (-0,159) = 0,039$ мм.

Допуск посадки: $TN(S) = TD + Td = 0,025 + 0,039 = 0,064$ мм.

На рисунке 3.4 показываем в условном масштабе положение полей допусков сопряжения. Поле допуска вала (с8) расположилось ниже поля допуска отверстия (H7). Следовательно, это посадка с зазором.

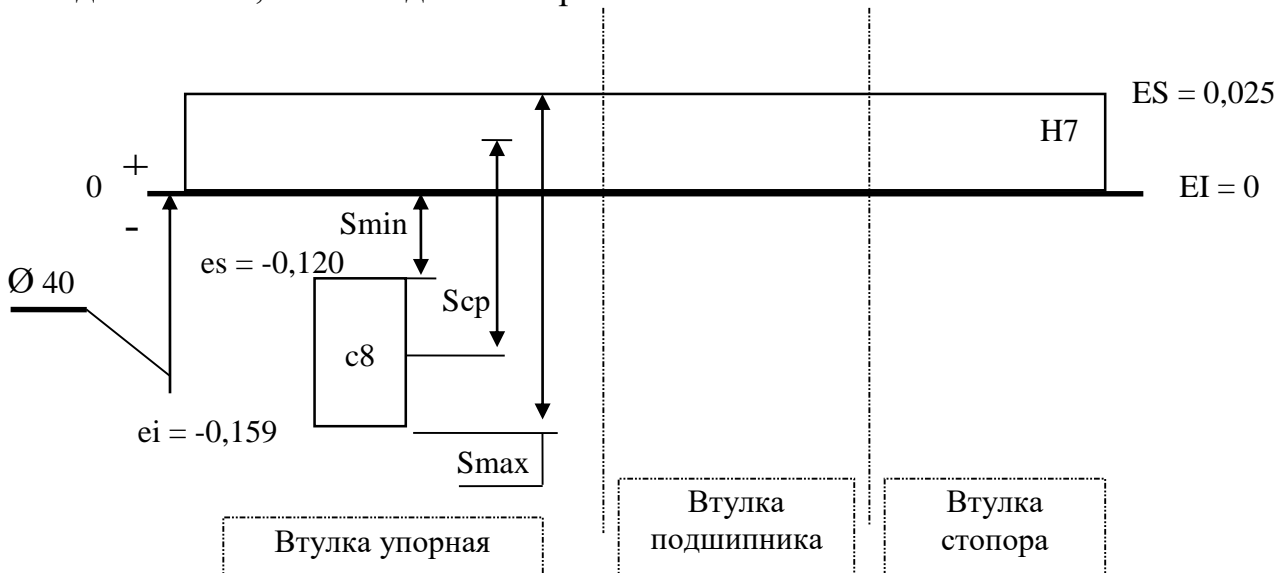


Рисунок 3.4 - Схема расположения полей допусков по размеру $\phi 40$

Расчетные характеристики посадки:

$S_{max} = ES - ei = 0,025 - (-0,159) = 0,184$ мм.

$S_{min} = EI - es = 0 - (-0,120) = 0,120$ мм.

$S_{cp} = (S_{max} + S_{min})/2 = (0,184 + 0,120)/2 = 0,152$ мм.

По приложению А определяем способы окончательной обработки поверхностей деталей: для отверстия - чистовое растачивание, для вала - чистовое точение.

Результаты анализа посадки $\phi 40$ H7/c8 заносим в таблицу 3.1

Таблица 3.1 - Расчетные характеристики посадок, мм

Система посадки		Посадки в системе вала				Посадки в системе отверстия		
Обозначение посадки		$\varnothing 28 \frac{R7}{h6}$	$\varnothing 28 \frac{N7}{h6}$			$\varnothing 40 \frac{H7}{s8}$		
Рекомендац. по применен.		Рекомендуемая	Предпочтитель.			Рекомендуемая		
Отклон. отверст.	в	-0,020	-0,007			0,025		
	н	-0,041	-0,028			0		
Допуск отв.		0,021	0,021			0,025		
Способ обр. отверстия		Развертывание	Чистов. растач.			Чистов. растач.		
Отклон. вала	в	0	0			-0,120		
	н	-0,013	-0,013			-0,159		
Допуск вала		0,013	0,013			0,039		
Способ обр. вала		Шлифование	Шлифование			Чистов. точение		
Допуск посадки		0,034	0,034			0,064		
Зазор max		-	0,006			0,184		
Зазор min		-	-			0,120		
Сред. зазор		-	-			0,152		
Натяг max		0,041	0,028			-		
Натяг min		0,007	-			-		
Сред. натяг		0,024	0,011			-		
Группа посадок		Посадка с натягом	Посадка переходная			Посадка с зазором		

Аналогично определяем расчетные характеристики остальных посадок и заносим их в таблицу.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЯЕМЫХ ПОСАДОК

В рассматриваемом узле применяются две системы посадок: посадки в системе отверстия и посадки в системе вала, что упрощает технологию изготовления деталей и процесс сборки. Посадки деталей с осью выполнены в системе вала, т.е. ось имеет основное поле допуска (h), и с ним сочетаются различные поля допусков сопрягаемых деталей. Посадки деталей с роликом выполнены в системе отверстия: на размер отверстия ролика задано основное поле допуска (H), и с ним сочетаются различные поля допусков других деталей.

Посадка $\varnothing 28 R7/h6$. Посадка с натягом. Обеспечивается неподвижность соединения и хорошее центрирование, что гарантирует перпендикулярность расположения оси к плоскости кронштейна. Для сборки необходимо применение прессы.

Посадка $\varnothing 28 N7/h6$. Посадка переходная. Не потребует приложения больших усилий при сборке и обеспечивает достаточное центрирование.

Посадка Ø 40 H7/c8. Посадка с зазором. Большой зазор между роликом и упорной втулкой необходим для нормальной работы узла.

Аналогично обосновывается применение остальных посадок:

Посадка Ø 28 F8/h6

Посадка Ø 40 H7/p6

Посадка Ø 28 D8/h6

Посадка Ø 40 H7/k7

АНАЛИЗ ПОСАДОК В УЗЛАХ АВТОТРАКТОРНОЙ И С/Х ТЕХНИКИ

- 1 По указанию преподавателя ознакомьтесь с конструкцией узла.
- 2 По буквенному обозначению посадки или по величинам предельных отклонений размеров определите систему посадки.
- 3 Определите: посадка рекомендуемая, предпочтительная или нестандартная.
- 4 Вычислите расчетные характеристики посадки.
- 5 Определите, к какой группе относится посадка: с зазором, с натягом, переходная.
- 6 Дайте свое обоснование применению посадки.

Результаты анализа занесите в таблицу 3.2

Таблица 3.2 - Посадки в узлах машин

Модель машины	Обозн. посад.	Сист. посад.	«Отв» (дет.)	Откл. «Отв»	«Вал» (дет.)	Откл. «Вала»	Мах заз.(нат)	Мин заз.(нат)	Сред. заз.(нат)

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчет по проделанной работе необходимо включить:

- 1 Схемы расположений полей допусков в посадках узла «Ролик» (рисунки 3.1 и 3.2).
- 2 Результаты расчетов характеристик посадок в узле «Ролик» (таблица 3.2)
- 3 Обоснование применяемых посадок в узле «Ролик».
- 4 Результаты анализа посадок в машине (таблица 3.1).
- 5 Обоснование применения посадок в машине.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- 1 Что называется допуском?
- 2 Что означает понятие поле допуска?
- 3 Что характеризует качества?
- 4 Что называется основным отклонением?
- 5 Как обозначаются основные отклонения?
- 6 Какие существуют системы для задания посадок?
- 7 Как получают посадки в системе отверстия?
- 8 Как получают посадки в системе вала?
- 9 Когда применяют посадки в системе отверстия?
- 10 Когда применяют посадки в системе вала?
- 11 Как различают посадки с зазором, с натягом, переходные?
- 12 Когда применяют посадки с зазором?
- 13 Когда применяют посадки с натягом?
- 14 Когда применяют переходные посадки?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4 ВЫБОР СТАНДАРТНЫХ ПОСАДОК ДЛЯ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПО РАСЧЕТНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ЗАЗОРОВ И НАТЯГОВ

ЦЕЛЬ ВЫПОЛНЯЕМОЙ РАБОТЫ

Закрепить у студента понятия: предельные отклонения размеров, допуска на размер, системы посадок, характеры посадок, обозначения стандартных полей допусков и посадок в гладких цилиндрических соединениях. Получить навыки работы с документами ЕСДП по выбору полей допусков и рекомендуемых посадок, научиться обозначать посадки в конструкторской документации.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ГОСТ 25346-89 (СТ СЭВ 145-75), ГОСТ 25347-89 (СТ СЭВ 144-75).

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При проектировании машин конструктор проводит расчеты предельных величин зазоров или натягов, обеспечивающих надежную работу механизмов. Так в узлах подшипников скольжения минимальный зазор должен гарантировать сохранение масляной пленки, а максимальный зазор не допускать разбалтывания узла. В неподвижных соединениях минимальный натяг гарантирует хорошее центрирование или обеспечивает неподвижность сопрягаемых деталей. Максимальный натяг не должен создавать напряжения, вызывающие разрушение деталей при сборке. Обеспечение заданных требований достигается назначением на сборочных чертежах узлов и рабочих чертежах деталей необходимых допусков и посадок.

Использование стандартных допусков и посадок обеспечивает взаимозаменяемость деталей в узлах машин, создает условия для стандартизации конечной продукции, комплектующих изделий, режущего инструмента и калибров, способствует повышению качества продукции.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Установить предварительно квалитет, которому наиболее соответствует по заданным характеристикам соединение.
- 2) Выбрать стандартные поля допусков, уточнить квалитеты точности деталей соединения. Определить, является ли рассчитанная посадка рекомендуемой, предпочтительной или не рекомендуемой.
- 3) Назначить завершающие технологические процессы, обеспечивающие получение требуемой точности размеров и шероховатости поверхностей сопрягаемых деталей.
- 4) Вычертить схему расположения полей допусков деталей соединения.
- 5) Вычертить эскизы соединения и его деталей.
- 6) Решить несколько вариантов заданий, указанных преподавателем.
- 7) Оформить отчет и сдать работу преподавателю.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1 РАСЧЕТ КВАЛИТЕТА СОЕДИНЕНИЯ

Точность (калитет) изготовления деталей соединения можно определить по числу единиц допуска (коэффициенту точности) a_{cp} :

$$a_{cp} = \frac{TS(TN)}{2i},$$

где TS – допуск зазора; TN – допуск натяга;

Допуск зазора (допуск посадки):

$$TS = S_{max} - S_{min} = (ES - ei) - (EI - es) = (ES - EI) + (es - ei) = TD + Td$$

Допуск натяга (допуск посадки):

$$TN = N_{max} - N_{min} = (es - EI) - (ei - ES) = TD + Td$$

Т.е. допуск посадки равен сумме допусков вала и отверстия.

i – единица допуска для заданного размера.

для размеров до 500 мм (калитеты с 5 до 17)

$$i = 0,45 \sqrt[3]{D_m} + 0,001 D_m;$$

для размеров свыше 500 до 10 000

$$i = 0,004 D_m + 2,1,$$

где D_m – средний диаметр интервала, вычисляется как среднее геометрическое значение по формуле

$$D_m = \sqrt{D_{max} * D_{min}}.$$

2 ВЫБОР СТАНДАРТНЫХ ПОЛЕЙ ДОПУСКОВ СОЕДИНЕНИЯ

Стандартные поля допусков назначаются в зависимости от заданной системы посадки путем выбора основных отклонений по ГОСТ 25346-82. При этом должны соблюдаться следующие требования:

$$\begin{array}{ll} S_{c(min)} \geq S_{p(min)} & N_{c(min)} \geq N_{p(min)} \\ S_{c(max)} \leq S_{p(max)} & N_{c(max)} \leq N_{p(max)} \end{array}.$$

где S_c , N_c – зазоры и натяги, полученные при назначении стандартной посадки,

S_p , N_p – расчетные зазоры и натяги, заданные в условии задачи.

Эти требования выполняются, если:

- для посадок с зазором в системе отверстия (сН) $[es] \geq S_{p(min)}$,
в системе вала (ch) $EI \geq S_{p(min)}$;
- для посадок с натягом в системе отверстия (сН) $ei \geq TD + N_{p(min)}$,
в системе вала (ch) $[ES] \geq Td + N_{p(min)}$;

- сумма допусков вала и отверстия рассчитанной стандартной посадки должна быть меньше или равна заданному в условии задачи допуску зазора (натяга).

Если последнее условие не выполняется, то следует скорректировать в сторону ужесточения квалитеты точности сопрягаемых деталей. Более жесткий квалитет рекомендуется назначать для вала, так как технология его обработки проще.

Относиться ли посадка к рекомендуемым, предпочтительным или нет, определяется по таблицам 17, 18 ГОСТ 25347-82.

3 НАЗНАЧЕНИЕ ЗАВЕРШАЮЩЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Завершающие технологический процесс станочные операции должны обеспечивать требования чертежа по точности размеров, форм и шероховатости обрабатываемых поверхностей. Точность (допуски) размеров определяется заданными квалитетами. Допуски формы и взаимного расположения поверхностей в данной контрольной работе условно ограничиваются полем допуска на размер и поэтому не рассчитываются. Шеро-

ховатость поверхности нормируется шестью параметрами: высотами (R_a, R_z, R_{max}), шаговым (S_m, S) и параметром относительной опорной длины профиля (t_p). Наиболее часто употребляемыми параметрами шероховатости являются значения R_a и R_z . Высота шероховатости должна составлять лишь незначительную часть допуска размера (TD, Td). Рекомендуется принимать следующие зависимости:

для квалитетов с 5-го по 10 включительно

$$R_{zD} \leq 0,125TD, \quad R_{zd} \leq 0,125Td,$$

для квалитетов грубее 10-го

$$R_{zD} \leq 0,25TD, \quad R_{zd} \leq 0,25Td.$$

Расчетные величины параметра R_z следует округлять до ближайших стандартных (ГОСТ 2789-73) и выбранные значения проставлять на рабочих чертежах деталей.

Методы обработки деталей с учетом требуемой точности и шероховатости поверхностей назначают по «Приложение Б»

4 СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОЛЕЙ ДОПУСКОВ ДЕТАЛЕЙ СОЕДИНЕНИЯ

Схема расположения полей допусков выбранного стандартного соединения вычерчивается в произвольном масштабе. На схеме должны быть показаны: номинальный размер соединения (D, d), буквенные обозначения полей допусков вала и отверстия и их квалитеты, верхние и нижние отклонения (es, ei, ES, EI), допуски вала и отверстия (TD, Td), предельные размеры вала и отверстия ($D_{max}, D_{min}, d_{max}, d_{min}$) минимальный и максимальный зазоры (S_{max}, S_{min}) или натяги (N_{max}, N_{min}).

5 ЭСКИЗЫ СОЕДИНЕНИЯ И ЕГО ДЕТАЛЕЙ

Эскизы сборочного и рабочих чертежей так же вычерчиваются в произвольном масштабе. На сборочном чертеже рядом с номинальным размером обозначается посадка буквенным выражением. На эскизах детализировки указывается и буквенное обозначение поля допуска и его числовые значения. Числовые значения отклонений записываются до последней значащей цифры, количество знаков в верхнем и нижнем отклонениях выравнивается добавлением нулей. Нулевые отклонения допускаются не указывать, но место для их записи оставляется свободным. Шероховатость поверхностей вала и отверстия обозначается параметром R_z .

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Исходные данные:

Номинальный размер		40	мм
Значения расчетных зазоров	$S_{p(max)} =$	54	мкм
	$S_{p(min)} =$	8	мкм
Система полей допусков		сН	

1 РАСЧЕТ КВАЛИТЕТА СОЕДИНЕНИЯ

Для выбора стандартной посадки необходимо знать точность изготовления деталей сопряжения. Предварительно её можно определить по числу единиц допуска (коэффициенту точности) a_{cp} :

$$a_{cp} = TS / 2 / i = 46 / 2 / 1,56 = 14,74,$$

где TS – допуск зазора (допуск посадки)

$$TS = S_{p(max)} - S_{p(min)} = 54 - 8 = 46 \text{ мкм}$$

i – единица допуска для заданного размера

$$i = 0,45 \sqrt[3]{D_m} + 0,001 D_m = 0,45 \sqrt[3]{38,73} + 0,001 * 38,73 = 1,56,$$

где $D_m = \sqrt{D_{max} * D_{min}} = \sqrt{30 * 50} = 38,73.$

По ГОСТ 25346-82 определяем, что расчетному значению $a_{cp} = 14,74$ наиболее соответствует квалитет точности 7 ($a = 16$).

Допуск номинального размера 40 по принятому 7 квалитету точности $T=25$ мкм.

2 ВЫБОР СТАНДАРТНЫХ ПОЛЕЙ ДОПУСКОВ СОЕДИНЕНИЯ

Для посадок с зазором в системе отверстия основное отклонение вала должно быть отрицательным и по модулю равно или быть больше величины минимального зазора. По ГОСТ 25346-82 выбираем основное (верхнее) отклонение вала $es = -9$, буквенное обозначение «g».

Определяем возможную сумму допусков отверстия и вала.

$$TD + Td = S_p(\max) - [es] = 54 - 9 = 45$$

Назначаем рассчитанный седьмой квалитет:

Вал – седьмой квалитет (IT7), допуск 25 мкм,

Отверстие – седьмой квалитет (IT7), допуск 25 мкм

Сумма допусков: $IT7 + IT7 = 25 + 25 = 50 > 45$. Необходима корректировка.

Уменьшаем допуск вала, как более технологичного в изготовлении.

Вал – шестой квалитет (IT6), допуск 16 мкм.

Сумма допусков: $IT6 + IT7 = 16 + 25 = 41 < 45$

Вычисляем нижнее отклонение вала и записываем выбранную посадку:

$$ei = es - Td = -9 - 16 = -25$$

$$\phi 40 \begin{matrix} \frac{H7}{g6} \\ \left(\begin{array}{c} +0,025 \\ -0,009 \\ -0,025 \end{array} \right) \end{matrix}$$

Проверяем соблюдение условий:

$$S_{c(\max)} \leq S_{p(\max)}$$

$$S_{c(\min)} \geq S_{p(\min)}$$

$$S_{c(\max)} = D_{\max} - d_{\min} = 40,025 - 39,975 = 0,050$$

$$S_{c(\min)} = D_{\min} - d_{\max} = 40 - 39,991 = 0,009$$

$$0,050 < 0,054$$

$$0,009 > 0,008$$

Условие соблюдается, посадка выбрана верно.

По таблице 17 ГОСТ 25347-82 определяем, что данная посадка относится к ряду «предпочтительных».

3 НАЗНАЧЕНИЕ ЗАВЕРШАЮЩЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Для назначения завершающей технологической операции обработки деталей уточняем шероховатость поверхностей вала и отверстия.

$$R_{zd} = 0,125Td = 0,125 \cdot 16 = 2 \text{ мкм}$$

$$R_{zD} = 0,125TD = 0,125 \cdot 25 = 3,125 \text{ мкм}$$

Выбираем стандартные значения шероховатости:

$$R_{zd} = 2 \text{ мкм}$$

$$R_{zD} = 3,2 \text{ мкм}$$

Назначаем завершающий технологический процесс обработки, обеспечивающий требуемую точность и шероховатость.

Вал – шлифование

Отверстие – чистовое растачивание

4 ПОСТРОЕНИЕ СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОЛЕЙ ДОПУСКОВ СОЕДИНЕНИЯ

Проводим нулевую линию номинального размера 40 и от неё в условном масштабе откладываем предельные отклонения полей допусков H7 и g6.

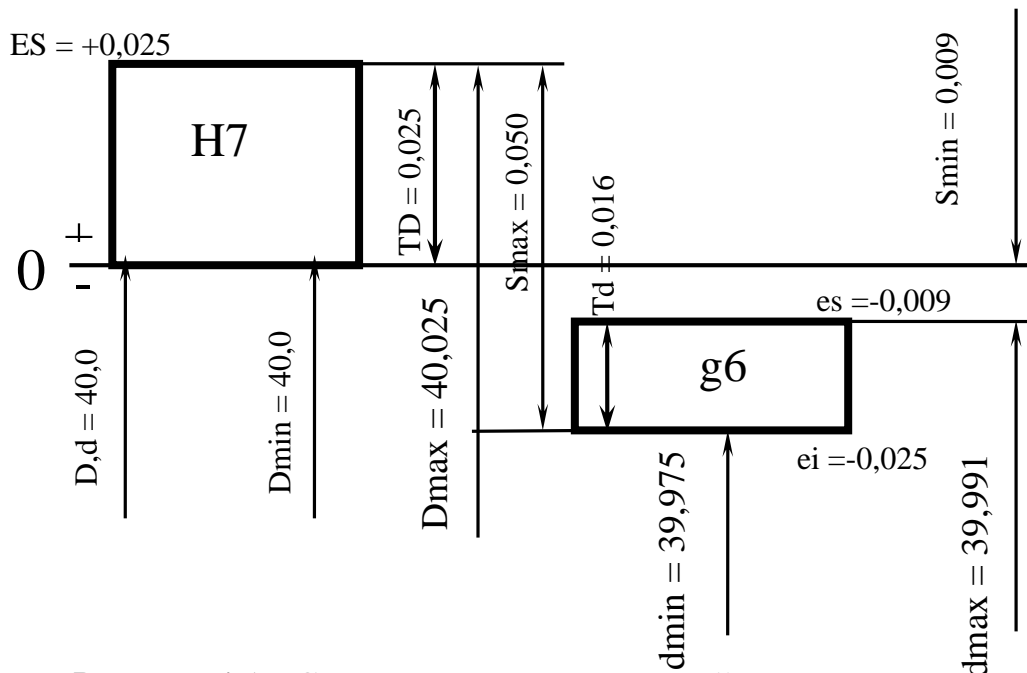


Рисунок 4.1 - Схема расположения полей допусков соединения
5 ЭСКИЗЫ СОЕДИНЕНИЯ И ЕГО ДЕТАЛЕЙ.

В произвольном масштабе вычерчиваем эскизы соединения, вала и часть детали с отверстием. Проставляем на них размеры с обозначением посадки, допускаемых отклонений и шероховатости поверхностей.

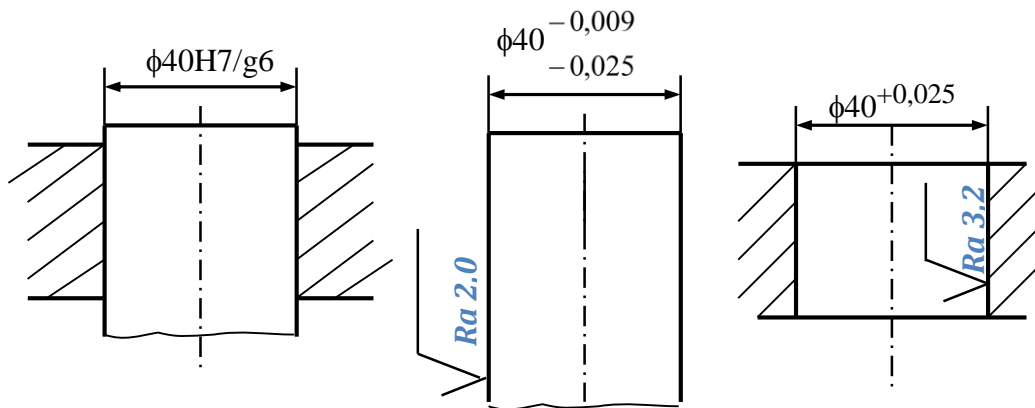


Рисунок 4.2 - Эскизы соединения и его деталей

Обозначения посадки на сборочных чертежах могут быть такими:

$$\phi 40 \frac{H7}{g6} \begin{pmatrix} +0,025 \\ -0,009 \\ -0,025 \end{pmatrix}; \text{ или } \phi 40 \frac{H7}{g6}; \text{ или } \phi 40 \begin{matrix} +0,025 \\ -0,009 \\ -0,025 \end{matrix}$$

6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

6.1 Решение задания по варианту, указанному преподавателем.

6.2 Рисунок, показывающий схему расположения полей допусков.

6.3 Эскиз узла в сборе и эскизы сопрягаемых деталей с размерами.

Выбрать стандартную посадку по заданным значениям зазоров и натягов

Таблица 4.1 - Варианты заданий

Вариант	Задача				Вариант	Задача			
	Номин. раз- мер	Np(max) Sp(max)	Np(min) Sp(min)	Система посадки		Номин. раз- мер	Np(max) Sp(max)	Np(min) Sp(min)	Система посадки
1	12	Np=48	Np=12	cH	17	80	Np=67	Np=33	cH
2	18	Sp=46	Sp=14	cH	18	80	Sp=67	Sp=28	cH
3	13	Np=23	Np=3	ch	19	85	Np=97	Np=23	ch
4	20	Sp=23	Sp=3	ch	20	85	Sp=97	Sp=25	ch
5	14	Np=28	Np=8	cH	21	90	Np=84	Np=20	cH
6	12	Sp=42	Sp=8	cH	22	90	Sp=85	Sp=30	cH
7	15	Np=40	Np=0	ch	23	95	Np=64	Np=5	ch
8	15	Sp=40	Sp=0	ch	24	95	Sp=64	Sp=5	ch
9	16	Np=37	Np=4	cH	25	100	Np=60	Np=25	cH
10	16	Sp=26	Sp=4	cH	26	100	Sp=80	Sp=32	cH
11	18	Np=39	Np=0	ch	27	105	Np=100	Np=31	ch
12	18	Sp=39	Sp=0	ch	28	105	Sp=100	Sp=30	ch
13	20	Np=37	Np=0	cH	29	110	Np=92	Np=23	cH
14	20	Sp=37	Sp=0	cH	30	110	Sp=95	Sp=33	cH
15	21	Np=45	Np=5	ch	31	120	Np=346	Np=236	ch
16	21	Sp=45	Sp=7	ch	32	120	Sp=346	Sp=236	ch

7 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- 7.1 Что называется допуском?
- 7.2 Какие существуют системы для задания посадок?
- 7.3 Как получают посадки в системе отверстия?
- 7.4 Как получают посадки в системе вала?
- 7.5 Что характеризует качества?
- 7.6 Что называется основным отклонением?
- 7.7 Как обозначаются основные отклонения?
- 7.8 Что такое поле допуска?
- 7.8 Как обозначаются посадки на сборочных чертежах?
- 7.9 Как проставляются размеры и допускаемые отклонения на чертежах деталей?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5 ВЕРОЯТНОСТНЫЙ РАСЧЕТ ПОСАДОК

ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ

Ознакомиться с применением теории вероятностей к анализу посадок. Освоить вероятностный расчет соотношения посадок с зазором и натягом в переходных посадках.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В технических расчетах и особенно при изучении закономерностей случайных производственных погрешностей обработки деталей в условиях серийного и массового производства широко применяют теорию вероятностей. Ее используют для изучения случайных событий. Всякий факт, который может произойти в результате рассматриваемого испытания, принято называть случайным событием. Примером случайного события является появление определенного количества деталей с наибольшим (наименьшим) предельным размером в обработанной партии, появление бракованной детали за пределами поля допуска и т.д.

При анализе посадок различных типов определяются предельные значения зазоров, натягов, исходя из предельных размеров отверстия и вала. На практике предельные размеры деталей встречаются редко, а еще реже могут попасть сочетания предельных размеров, например, соединение минимально возможного диаметра вала с максимально возможным диаметром отверстия. Как показали многочисленные исследования, закономерности распределения размеров деталей, обработанных на настроенных станках, при наличии влияния многих независимых и равноценных по величине случайных факторов, близки к теоретическому закону нормального распределения. Применяя закон нормального распределения к размерам деталей в пределах поля допуска можно применить этот закон и к посадкам, в которых сочетаются две детали с определенными характеристиками рассеивания размеров.

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ РАСЧЕТ ПОСАДОК С ЗАЗОРОМ И НАТЯГОМ

Если размеры отверстия и вала распределяются по нормальному закону с центром группирования в середине поля допуска и средним квадратическим отклонением, равным $\frac{1}{6}T$, тогда значения зазора (натяга) также будут распределяться по нормальному закону симметрично относительно среднего значения (S_{cp} или N_{cp}).

Вероятностные характеристики посадки определяются по следующим формулам

- среднее квадратическое отклонение посадки:

$$\sigma_S = \sigma_N = \sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_d^2}$$

- вероятностный допуск посадки:

$$T_{S(N)}^B = 6 \cdot \sigma_{S(N)} = \sqrt{T_D^2 + T_d^2}$$

- вероятностные зазоры и натяги:

$$S(N)_{\max}^B = S(N)_{CP} + 3\sigma_S = S(N)_{CP} + \frac{T_{S(N)}^B}{2}$$

$$S(N)_{\min}^B = S(N)_{CP} - 3\sigma_S = S(N)_{CP} - \frac{T_{S(N)}^B}{2}$$

ПРИМЕР:

Для посадки $\varnothing 24H8/e9$ определить вероятностные зазоры и сравнить их с зазорами, рассчитанными на максимум минимум.

1 По ГОСТ 25346-86 и ГОСТ 25347-86 находим обозначение посадки:

$$\varnothing 24 \frac{H8}{e9} \begin{pmatrix} +0,033 \\ -0,040 \\ -0,092 \end{pmatrix}$$

2 Определим предельные зазоры:

$$S_{\max} = ES - ei = +33 - (-92) = 125 \text{ мкм}$$

$$S_{\min} = EI - es = 0 - (-40) = 40 \text{ мкм}$$

$$S_{CP} = (S_{\max} + S_{\min}) / 2 = (125 + 40) / 2 = 82,5 \text{ мкм}$$

$$T_S = T_D + T_d = 33 + 52 = 85 \text{ мкм}$$

3 Определим вероятностные характеристики посадки:

$$\sigma_D = \frac{T_D}{6} = \frac{33}{6} = 5,5 \text{ мкм} \quad \sigma_d = \frac{T_d}{6} = \frac{52}{6} = 8,67 \text{ мкм}$$

$$\sigma_S = \sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_d^2} = \sqrt{5,5^2 + 8,67^2} = 10,3 \text{ мкм}$$

$$T_S^B = \sqrt{T_D^2 + T_d^2} = \sqrt{33^2 + 52^2} = 61,8 \text{ мкм}$$

$$S_{\max}^B = S_{CP} + 3\sigma_S = 82,5 + 3 \cdot 10,3 = 113,4 \text{ мкм}$$

$$S_{\min}^B = S_{CP} - 3\sigma_S = 82,5 - 3 \cdot 10,3 = 51,6 \text{ мкм}$$

4 Построим схему полей допусков и приведем на ней кривую распределения зазоров:

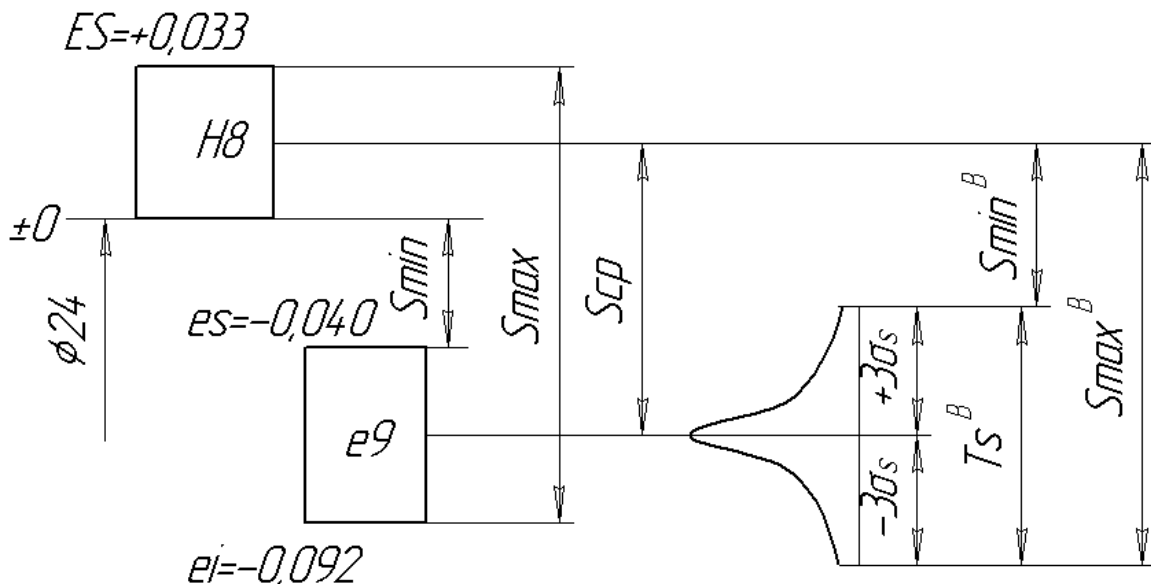


Рисунок 5.1 - Схема полей допусков и распределения вероятных зазоров

Из расчета видно, что вероятностный максимальный зазор уменьшился, а минимальный увеличился. Это показывает, что в посадках крайне редко встречаются сочетания предельных размеров отверстия и вала.

Вероятностный расчет посадки с натягом производится аналогично.

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПОСАДОК

В переходных посадках, где поля допусков отверстия и вала перекрываются, схема полей допусков вероятных зазоров и натягов несколько видоизменяется.

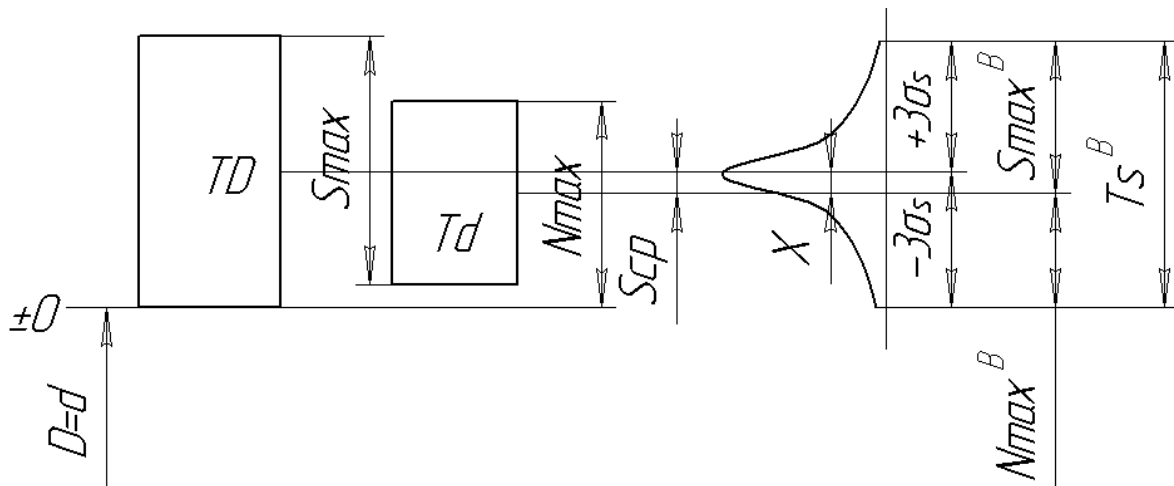


Рисунок 5.2 - Схема полей допусков вероятных зазоров и натягов

Группирование вероятных зазоров и натягов можно представить относительно середины поля допуска одного из элементов соединения (на рисунке 4.2 – относительно середины поля допуска отверстия). Тогда прямая проходящая через середину поля допуска второго элемента соединения будет являться границей в поле рассеивания между зазорами и натягами. Так как расстояние между центрами полей допусков равно среднему зазору или натягу, то граница между зазорами и натягами будет определяться величиной среднего зазора или натяга (рисунок 5.3).

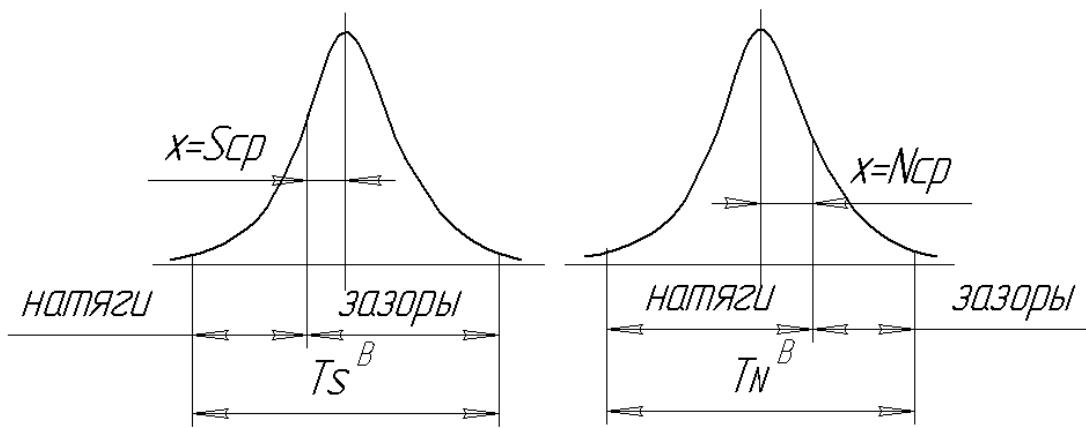


Рисунок 5.3 - Схема к определению вероятностей зазоров и натягов

Пример: Для посадки $\text{Ø}90\text{H}8/k7$ определить процентное соотношение зазоров и натягов.

1 По ГОСТ 25346-86 и ГОСТ 25347-86 находим обозначение посадки

$$\text{Ø}90 \frac{\text{H}8}{k7} \left(\begin{array}{c} +0,054 \\ +0,038 \\ +0,003 \end{array} \right)$$

2 Определим предельные зазоры:

$$S_{\max} = ES - ei = 54 - 3 = 51 \text{ мкм}$$

$$S_{\min} = EI - es = 0 - 38 = -38 \text{ мкм}$$

$$S_{\text{CP}} = (S_{\max} + S_{\min}) / 2 = (51 + (-38)) / 2 = 6,5 \text{ мкм}$$

3 Определим вероятностные характеристики посадки и изобразим схему распределения значений зазоров и натягов:

$$\sigma_D = \frac{T_D}{6} = \frac{54}{6} = 9 \text{ мкм}; \quad \sigma_d = \frac{T_d}{6} = \frac{35}{6} = 5,83 \text{ мкм};$$

$$\sigma_S = \sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_d^2} = \sqrt{9^2 + 5,83^2} = 10,7 \text{ мкм}; \quad T_S^B = 6 \cdot \sigma_S = 6 \cdot 10,7 = 64,2 \text{ мкм}$$

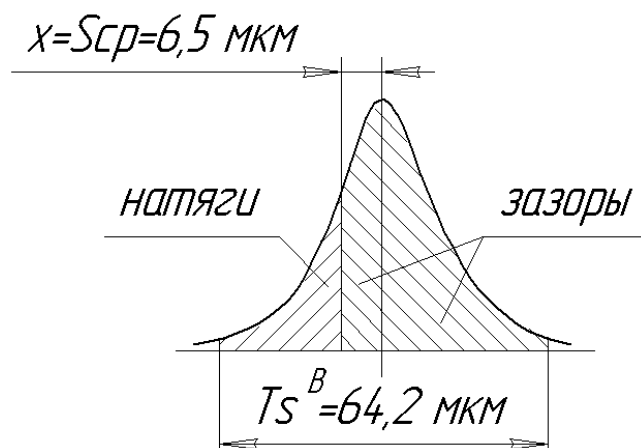


Рисунок 5.4 - Кривая распределения зазоров и натягов

4 Определяем коэффициент риска: $z = \frac{x}{\sigma_S} = \frac{6,5}{10,7} = 0,605$

По таблице приложения 1 [1,2] значение интегральной функции закона нормального распределения составит $\Phi(z)=0,2257$, тогда вероятности получения посадок с натягом и зазором соответственно равны (рисунок 5.4):

$$P_N = 0,5 - \Phi(z) = 0,5 - 0,2257 = 0,2743 = 27,43\%$$

$$P_S = 100 - P_N = 100 - 27,43 = 72,57\%$$

ЗАДАНИЕ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ

Для заданной переходной посадки нарисовать схему полей допусков, определить процентное соотношение зазоров и натягов.

Таблица 5.1 - Варианты заданий

№ п.п	Посадка	№ п.п	Посадка	№ п.п	Посадка	№ п.п	Посадка
1.	71H7/n6	8.	53H7/js6	15.	12H7/k6	22.	22H8/m7
2.	68H6/k5	9.	17H8/k7	16.	8K8/h7	23.	80M8/h7
3.	10M7/h6	10.	16H6/m5	17.	63M6/h5	24.	16H6/js5
4.	45H8/js7	11.	72K6/h5	18.	320H8/k7	25.	3M6/h5
5.	12N7/h6	12.	225H7/k6	19.	48Js6/h5	26.	105H7/n6
6.	56N6/h5	13.	55H8/n6	20.	85H7/m6	27.	300M7/h6
7.	30N9/h7	14.	80M8/h7	21.	12N8/h7	28.	15Js6/h5

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- 1 Почему при вероятностном расчете в соединениях изменяются зазоры и натяги?
- 2 Чем обосновано применение нормального распределения для вероятностного анализа посадок?
- 3 Какова последовательность расчета вероятности зазоров и натягов в переходной посадке?
- 4 Как определяется и что означает коэффициент риска?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6 ОЦЕНКА ГРУБЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с последовательностью исключения из совокупности результатов измерений грубых ошибок на основе существующих критериев для оценки промахов.

2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Классификация погрешностей

По характеру проявления различают систематические, случайные и грубые погрешности (промахи).

Грубые погрешности (промахи) - это такие погрешности, которые при исправных средствах измерений и корректных действиях экспериментатора (оператора) не должны появляться. Проявляются они в том, что результаты отдельных измерений резко отличаются от остальных. При однократном измерении промах может быть обнаружен только путем логического анализа или сопоставления результата с априорным представлением о нем. Если причина промаха установлена, то результат однократного измерения следует признать ошибочным и повторить измерение. При многократном измерении одной и той же величины постоянного размера промахи проявляются в том, что результаты отдельных измерений; входящих в один ряд, резко отличаются от остальных результатов этого ряда.

Промахи возникают из-за ошибок или неправильных действий оператора, вследствие резких кратковременных изменений условий проведения измерений (сбой в работе аппаратуры, скачки напряжения в сети, вибрация и т. п.), других аналогичных причин.

Если промахи обнаруживаются в процессе измерений, то результаты, их содержащие, отбрасывают. Чаще всего промахи выявляют при окончательной обработке результатов измерений с помощью специальных критериев, которые будут рассмотрены далее.

Случайная погрешность - составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) в серии повторных измерений физической величины постоянного размера, проведенных с одинаковой тщательностью в одинаковых условиях. В появлении таких погрешностей не наблюдается какой-либо закономерности, они проявляются при повторных наблюдениях в виде некоторого разброса полученных результатов. Случайные погрешности неустранимы и всегда присутствуют в результате измерения. Описание случайных погрешностей возможно на основе теории случайных процессов и математической статистики. Уменьшение случайных погрешностей возможно путем увеличения числа наблюдений.

Систематическая погрешность - составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной для данного ряда измерений или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях физической величины постоянного размера. Систематические погрешности могут быть предсказаны, обнаружены и исключены (уменьшены) из результата измерений введением поправок. Поправки всегда определяются и вычисляются с некоторой погрешностью. В зависимости от причин возникновения различают следующие систематические погрешности: инструментальная, методическая, субъективная, от влияющих внешних величин и погрешности в результате неправильной установки измерительного устройства.

Грубые погрешности и методы их исключения

Грубая погрешность или промах - это погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда. При однократных измерениях обнаружить промах невозможно. При многократных измерениях для обнаружения промахов используют статистические методы, такие как критерий Романовского, критерий Шарлье, критерий Диксона.

Критерий Романовского.

Критерий Романовского применяется, если число измерений $n < 20$. При этом вычисляется отношение

$$\beta = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s_x}, \quad (6.1)$$

где x_i - проверяемое значение измерения;

\bar{x} - среднее арифметическое значение измеряемой величины;

S_x - среднее квадратическое отклонение;

$x_i - \bar{x} = \Delta$ - абсолютная погрешность измерения.

Среднее арифметическое значение измеряемой величины определяется по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (6.2)$$

Среднее квадратическое отклонение определяется по формуле

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (6.3)$$

Далее расчетное значение β сравнивается с критерием β_T , принятым по таблице 6.1. Если $\beta > \beta_T$, то результат x_i считается промахом и исключается из результатов измерений.

Таблица 6.1 - Значения критерия Романовского

q \ β	n = 4	n = 6	n = 8	n = 10	n = 12	n = 15	n = 20
0,01	1,73	2,16	2,43	2,62	2,75	2,90	3,08
0,02	1,72	2,13	2,37	2,54	2,66	2,80	2,96
0,05	1,71	2,10	2,27	2,41	2,52	2,64	2,78
0,10	1,69	2,00	2,17	2,29	2,39	2,49	2,62

Пример решения

При шестикратном измерении расстояний между ориентирами осей здания получены следующие результаты: 25,155; 25,150; 25,165; 25,165; 25,160; 25,180 м. Последний результат измерения вызывает сомнения. Производим проверку на наличие промахов в измерениях по критерию Романовского.

1. Найдем среднее арифметическое значение

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{25,155 + 25,150 + 25,165 + 25,165 + 25,160 + 25,180}{6} = 25,163 \text{ м.}$$

2. Определяем среднее квадратическое отклонение. Для удобства исходные данные и результаты расчёта сведём в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 - Обработка результатов измерений

№ п/п	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	25,155	-0,008	0,000064
2	25,150	-0,013	0,000169
3	25,165	0,002	0,000004
4	25,165	0,002	0,000004
5	25,160	-0,003	0,000009
6	25,180	0,017	0,000289
-	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 25,163$	-	$\Sigma(x_i - \bar{x})^2 = 0,000539$

3. Оценка среднего квадратического отклонения

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0,0107 \text{ м.}$$

4. Вычисляем β для сомнительного результата

$$\beta = \frac{|x_i - \bar{x}|}{S_x} = \frac{0,017}{0,0107} = 1,58.$$

Критическое значение β при уровне значимости $q=0,05$ и $n=6$ составляет 2,1 (таблица 6.1). Поскольку $1,58 < 2,1$, результат не является промахом и не исключается из результатов измерений.

Критерий Шарлье.

Критерий Шарлье используется, если число измерений велико ($n > 20$). Пользуясь данным критерием, отбрасывается результат, для значения которого выполняется неравенство

$$|x_i - \bar{x}| > K_{\text{ш}} \times S_x, \quad (6.4)$$

где $K_{\text{ш}}$ - значение критерия Шарлье (таблица 6.3).

Таблица 6.3 - Значения критерия Шарлье

n	5	10	20	30	40	50	100
$K_{\text{ш}}$	1,3	1,65	1,96	2,13	2,24	2,32	2,58

Пример решения

При измерении расстояний между колоннами были получены следующие результаты (таблица 6.4).

Таблица 6.4 - Исходные данные измерений и результаты их обработки

№ п/п	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	2	3	4
1	23,67	0	0
2	23,68	0,01	0,0001
3	23,66	-0,01	0,0001
4	23,67	0	0
5	23,67	0	0
6	23,68	0,01	0,0001
7	23,67	0	0
8	23,68	0,01	0,0001
9	23,67	0	0
10	23,68	0,01	0,0001
11	23,66	-0,01	0,0001
12	23,67	0	0
13	23,67	0	0
14	23,68	0,01	0,0001
15	23,68	0,01	0,0001
16	23,68	0,01	0,0001
17	23,67	0	0

Продолжение таблицы 6.4

1	2	3	4
---	---	---	---

18	23,68	0,01	0,0001
19	23,68	0,01	0,0001
20	23,67	0	0
21	23,68	0,01	0,0001
22	23,67	0	0
23	23,67	0	0
24	23,67	0	0
25	23,68	0,01	0,0001
26	23,66	-0,01	0,0001
27	23,68	0,01	0,0001
1	2	3	4
28	23,67	0	0
29	23,67	0	0
30	23,68	0,01	0,0001
-	$\bar{x} = 23,67$	-	$\sum(x_i - \bar{x})^2 = 0,0016$

1. Определяем среднее арифметическое значение, абсолютные погрешности и сумму квадратов абсолютных погрешностей (таблица 6.4).

2. Находим среднее квадратическое отклонение

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{0,016}{29}} = 0,0074 \text{ м.}$$

3. Проверяем сомнительный результат измерения 23,66. Для этого значения не выполняется условие (2.4) где $K_{ш} = 2,13$ (таблица 2.3), т.е. $|23,66 - 23,67| > 2,13 \times 0,0074$.

Таким образом, проверяемое значение 23,66 не является промахом и не отбрасывается.

Критерий Диксона.

При использовании данного критерия полученные результаты измерений записываются в вариационный возрастающий ряд $x_1 < x_2 < \dots < x_n$. Расчетное значение критерия определяется по формуле

$$K_d = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1}. \quad (6.5)$$

В случае, если расчетное значение критерия будет больше критического значения, то проверяемое значение считается промахом и отбрасывается. Критические значения критерия приведены в таблице 2.5.

Таблица 6.5 - Значения критерия Диксона

n	Уровень значимости			
	0,1	0,05	0,02	0,01
4	0,68	0,76	0,85	0,89
6	0,48	0,56	0,64	0,7
8	0,4	0,47	0,54	0,59
10	0,35	0,41	0,48	0,53
14	0,29	0,35	0,41	0,45
16	0,28	0,33	0,39	0,43
18	0,26	0,31	0,37	0,41
20	0,26	0,3	0,36	0,39
30	0,22	0,26	0,31	0,34

Пример решения

Было произведено шесть измерений расстояний между сваями. Получены следующие результаты: 25,1; 25,2; 24,9; 25,6; 25,1; 25,2 м. Результат 25,6 м существенно отличается от остальных. Произведем проверку, не является ли он промахом.

Составим вариационный возрастающий ряд из результатов измерений: 24,9; 25,1; 25,1; 25,2; 25,2; 25,6 м. Для крайнего члена этого ряда 25,6 м расчетный критерий Диксона будет равен

$$K_d = \frac{25,6-25,2}{25,6-24,9} = 0,57.$$

Как следует из таблицы 6.5, по этому критерию результат 25,6 м может быть отброшен как промах при уровне значимости 0,05.

ЗАДАНИЕ

Определить наличие грубых погрешностей в результатах измерений, используя данные таблицы 6.6.

Таблица 6.6 - Исходные данные

№	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆
1	484	485	484	485	483	492	485	484	485	482	481	484	494	485	484	483
2	15,1	15,2	15,5	15,4	15,5	15,6	15,3	15,4	15,4	15,5	15,3	15,5	15,4	15,6	16,2	15,4
3	5,8	6,1	5,7	5,6	5,4	5,6	5,5	5,4	5,6	5,5	5,3	5,1	5,6	5,4	5,5	5,4
4	1,6	1,5	1,7	1,5	1,4	1,6	1,5	1,8	2,2	1,5	1,6	1,7	1,4	1,5	1,4	1,5
5	6,6	6,5	6,5	6,8	6,9	6,4	6,5	6,6	6,5	6,7	6,5	7,3	6,4	6,5	6,5	6,6
6	15,5	15,3	15,3	15,4	15,3	15,2	15,6	15,4	15,3	15,2	15,8	15,4	16,2	15,5	15,3	15,4
7	11,8	11,7	11,8	11,9	11,6	11,5	11,8	11,7	11,8	11,6	11,9	11,7	11,5	10,6	11,6	11,9
8	5,6	5,5	5,8	5,3	5,5	5,6	5,4	5,9	5,5	5,6	5,7	5,4	5,5	5,7	6,3	5,4
9	2,5	2,7	2,8	2,5	2,3	2,2	2,5	2,3	2,4	2,5	2,6	2,9	3,2	2,6	2,1	2,5
10	4,5	4,3	4,1	4,8	4,6	4,8	4,4	4,6	4,3	4,5	4,3	4,4	4,5	4,7	5,2	4,2
11	12,6	12,8	12,4	12,5	12,5	12,2	12,4	12,6	12,2	12,4	11,5	12,3	12,5	12,7	12,4	12,3
12	9,3	9,4	5,1	9,2	9,5	9,2	9,4	9,3	9,4	9,5	10,6	9,7	9,2	9,5	9,3	9,2
13	5,6	5,9	6,2	5,8	5,6	5,8	5,7	6,1	5,9	5,8	6,9	5,8	5,7	5,8	5,7	5,9
14	4,3	4,4	4,6	4,2	4,3	4,6	4,5	4,3	4,6	4,9	4,3	4,6	4,5	4,7	3,8	4,5
15	3,1	3,4	3,2	3,5	3,1	3,6	3,2	3,3	3,4	3,3	3,2	3,4	3,3	3,5	3,3	3,4
16	10,6	10,2	10,5	10,3	10,4	10,3	10,5	10,3	10,6	10,1	10,5	10,4	10,3	10,5	11,4	10,4
17	4,3	4,4	4,5	4,6	4,2	4,1	4,3	4,5	4,4	4,3	1,6	4,8	4,2	4,7	4,6	5,3
18	6,3	6,8	6,5	6,4	6,7	6,6	6,5	6,4	6,2	6,1	6,4	6,7	6,5	6,4	6,7	7,4
19	2,1	2,2	2,1	2,3	2,1	2,4	2,3	2,6	2,1	2,3	2,4	2,6	2,3	2,7	3,5	2,4
20	7,4	7,3	7,2	7,6	7,4	7,5	7,4	7,6	7,9	7,4	7,2	7,1	7,4	7,5	7,6	8,7
21	10,6	10,7	10,4	10,9	11,8	10,6	10,5	10,6	10,4	10,6	10,4	10,5	10,7	10,4	10,6	10,5
22	54	55	54	55	53	62	55	54	55	52	51	54	54	55	54	53
23	45,8	46,1	45,7	45,6	45,4	45,6	45,5	45,4	45,6	45,5	45,3	45,1	45,6	45,4	45,5	45,4
24	0,3	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,9	1,2	0,4	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2
25	55,5	55,3	55,3	55,4	55,3	55,2	55,6	55,4	55,3	55,2	55,8	55,4	56,2	55,5	55,3	55,4
26	1,8	1,7	1,8	1,9	1,6	1,5	1,8	1,7	1,8	1,6	1,9	1,7	1,5	0,6	1,6	1,9
27	25,6	25,5	25,8	25,3	25,5	25,6	25,1	25,9	25,5	25,6	25,7	25,4	25,5	25,7	26,3	25,1
28	54,8	54,6	54,7	54,8	54,6	54,8	54,9	54,6	54,8	54,7	54,8	54,6	54,8	53,9	54,7	54,5

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Исключение известных систематических погрешностей из результатов наблюдений или измерений выполняем введением поправок к этим результатам.

Поправки по абсолютному значению равны этим погрешностям и противоположны им по знаку.

Введением поправок исключаем:

- погрешность, возникающую из-за отклонений действительной температуры окружающей среды при измерении от нормальной;
- погрешность, возникающую из-за отклонений атмосферного давления при измерении от нормального;
- погрешность, возникающую из-за отклонений относительной влажности окружающего воздуха при измерении от нормальной;
- погрешность, возникающую из-за отклонений относительной скорости движения внешней среды при измерении от нормальной;
- погрешность, возникающую вследствие искривления светового луча (рефракции);
- погрешность шкалы средства измерения;
- погрешность, возникающую вследствие несовпадения направлений линии измерения и измеряемого размера.

Поправки по указанным погрешностям вычисляем в соответствии с указаниями таблицы 6.7.

Обозначения, принятые в таблице 6.7:

L - непосредственно измеряемый размер, мм;

$l_{\text{ном.}}$ - номинальная длина мерного прибора, мм;

l_i - действительная длина мерного прибора, мм;

$\Delta l = l_i - l_{\text{ном.}}$

α_1, α_2 - коэффициенты линейного расширения средства измерения и объекта, 10^{-6} мм/град;

t_1, t_2 - температура средства измерения и объекта, °С;

h - величина отклонения направления измерения от направления измеряемого размера, мм;

Q - предельное значение допустимой силы ветра, Н;

P - сила натяжения мерного прибора (рулетки, проволоки), Н.

Таблица 6.7 - Перечень поправок, используемых при исключении систематических погрешностей

Наименование поправок	Указания по определению поправок
1	2
Поправка на температуру окружающей среды	$X_T = -L[\alpha_1(t_1 - 20\text{ °C}) - \alpha_2(t_2 - 20\text{ °C})]$
Поправка на атмосферное давление	Определяется при применении электронно-оптических средств измерений в соответствии с эксплуатационной документацией
Поправка на относительную влажность окружающего воздуха	X_W определяется: а) при применении электронно-оптических средств измерений в соответствии с эксплуатационной документацией; б) при измерении объектов, изменяющих размеры в зависимости от влажности воздуха в соответствии со свойствами материала

Продолжение таблицы 6.7

1	2
---	---

Поправка на относительную скорость внешней среды	$X_C = \frac{Q^2 \times l_{\text{ном.}}}{24 \times P^2}$
Поправка на длину шкалы средства измерения	$X_L = \frac{L}{l_{\text{ном.}}} \Delta l$
Поправка на несовпадение направлений линии измерения и измеряемого размера	$X_H = \frac{h^2}{2 \times L}$
Поправка на рефракцию	X_{Γ} определяется при применении оптических или электронно-оптических приборов в зависимости от условий измерения по специальной методике

Поправки могут не вноситься, если действительная погрешность измерения не превышает предельной.

Пример решения

Определить систематические погрешности и записать результат с учетом различных параметров.

Получен результат измерения длины стальной фермы $L=24003$ мм. Измерение выполнялось трехметровой рулеткой из нержавеющей стали при $t = -20^\circ\text{C}$. При этом: $\alpha_1 = 20,5 \times 10^{-6}$, $\alpha_2 = 12,5 \times 10^{-6}$, $t_1 = t_2 = -20^\circ\text{C}$, $l_{\text{ном.}} = 3000$ мм, $l_i = 3002$ мм, $h = 35$ мм, $P = 9$ Н, $Q = 1,2$ Н.

1. Поправка на температуру окружающей среды

$$X_T = -L[\alpha_1(t_1 - 20^\circ\text{C}) - \alpha_2(t_2 - 20^\circ\text{C})] = -24\,003[20,5 \times 10^{-6}(-20 - 20) - 12,5 \times 10^{-6}(-20 - 20)] = 7,7 \text{ мм.}$$

Действительную длину x_i стальной фермы с учетом поправки на температуру окружающей среды принимаем равной

$$x_t = x_i + X_T = 24003 + 7,7 = 24010,7 \text{ мм.}$$

2. Поправка на относительную скорость внешней среды

$$X_C = \frac{Q^2 \times l_{\text{ном.}}}{24 \times P^2} = \frac{1,2^2 \times 3000}{24 \times 9^2} = 2,22 \text{ мм.}$$

Действительную длину x_i стальной фермы с учетом поправки на относительную скорость внешней среды принимаем равной

$$x_c = x_i + X_C = 24003 + 2,22 = 24005,22 \text{ мм.}$$

3. Поправка на длину шкалы средства измерения

$$X_L = \frac{L}{l_{\text{ном.}}} \Delta l = \frac{24003}{3000} (3002 - 3000) = 16,002 \text{ мм.}$$

Действительную длину x_i стальной фермы с учетом поправки на длину шкалы средства измерения принимаем равной

$$x_l = x_i + X_L = 24003 + 16,002 = 24019,002 \text{ мм.}$$

4. Поправка на несовпадение направлений линии измерения и измеряемого размера

$$X_H = \frac{h^2}{2 \times L} = \frac{35^2}{2 \times 24003} = 0,025 \text{ мм.}$$

Действительную длину x_i стальной фермы с учетом поправки несовпадения направлений линии измерения и измеряемого размера принимаем равной

$$x_h = L + X_H = 24003 + 0,025 = 24003,025 \text{ мм.}$$

6. Действительную длину L стальной фермы с учетом всех поправок принимаем равной

$$L_{\text{д}} = L + X_T + X_C + X_L + X_H = 24003 + 7,7 + 2,22 + 16,002 + 0,025 = 24028,9 \text{ мм.}$$

ЗАДАНИЕ

Определить систематические погрешности при измерениях и записать результат с учетом различных параметров. Данные результатов измерений приведены в таблице 6.8.

Таблица 6.8 - Исходные данные

Вариант	l , мм	$l_{\text{НОМ}}$, мм	l_i , мм	$t_1 = t_2$, °C	h , мм	P , Н	Q , Н
1	2	3	4	5	6	7	8
1	17983	3000	3001	-15	27	8	0,7
2	13005	3000	3002	13	32	12	0,3
3	24153	3000	3001	24	15	10	1,5
4	59670	10 000	10 001	-19	39	9	0,9
5	40309	5000	5002	7	21	11	0,2
6	28012	3000	3001	9	24	7	1,2
7	45180	5000	5001	4	40	12	0,4
8	67000	10 000	10 002	-8	11	7	1,4
9	31500	5000	5002	-12	18	12	1,3
10	18021	3000	3001	-3	35	10	0,6
11	12908	10 000	10002	-4	28	9	1,1
12	23061	5000	5001	11	12	11	0,8
13	60054	3000	3001	8	31	10	0,3
14	40720	5000	4999	-7	19	9	1,5
15	28030	10 000	10 001	24	26	11	0,9
16	45002	3000	3003	-19	13	7	0,2
17	66002	10 000	10 004	7	34	12	1,2
18	31207	5000	5002	9	23	10	0,4
19	23948	3000	3002	4	17	9	1,4
20	60376	5000	5001	-8	38	11	0,6
21	28012	10 000	10001	-12	25	8	1,1
22	66002	5000	5002	-12	23	9	1,4
23	31207	3000	3001	-3	17	11	1,3
24	23948	10 000	10 001	-4	38	8	0,6
25	60376	3000	3001	-5	25	10	1,1

4 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что такое случайные погрешности?
2. Как учитываются систематические погрешности?
3. По какой формуле вычисляется средняя квадратическая погрешность единичного измерения в ряду измерений?
4. Назовите зависимость коэффициента Романовского.
5. Что исключают промахи?
6. На какие погрешности вводят поправки?
7. Как надо понимать доверительный интервал измерений?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7 НОРМИРОВАНИЕ КЛАССОВ ТОЧНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с учётом нормированных метрологических характеристик средств измерений в соответствии с классами точности.

2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для проведения практического занятия необходимо наличие ГОСТ 8.401-80 «Классы точности средств измерений». Лицевые панели вольтметров и амперметров.

При технических измерениях, когда не предусмотрено выделение случайных и систематических составляющих, когда не существенна динамическая погрешность средств измерений (СИ), когда не учитываются влияющие (дестабилизирующие) факторы и т.д., можно пользоваться более грубым нормированием - присвоением СИ определённого класса точности ГОСТ 8.401 - 80.

Класс точности - это обобщённая метрологическая характеристика (МХ), определяющая различные свойства СИ. Например, у показывающих электроизмерительных приборов класс точности помимо основной погрешности включает также вариацию показаний, а у мер электрических величин - величину нестабильности (процентное изменение значения меры в течение года). Класс точности СИ уже включает систематическую и случайную погрешности. Однако он не является непосредственной характеристикой точности измерений, выполняемых с помощью этих СИ, поскольку точность измерения зависит и от метода измерения, взаимодействия СИ с объектом, условий измерения и т.д.

В частности, чтобы измерить величину с точностью до 1%, недостаточно выбрать СИ с погрешностью 1%. Выбранное СИ должно обладать гораздо меньшей погрешностью, так как нужно учесть ещё погрешность метода.

Правда, в некоторых случаях возможна и противоположная ситуация, когда погрешность измерения меньше погрешности прибора (нулевые методы измерения). Например, схема измерения построена так, что стрелка нуль - индикатора при разности измеряемых величин, равной 1%, отклоняется полностью на 100 делений. Пусть погрешность нуль - индикатора равна одному делению. В этом случае возможен остаточный разбаланс также на одно деление, равной 1% разности измеряемых величин. Тогда относительная погрешность измерения не превысит 0,01% т.е. составит одну сотую относительной погрешности нуль - индикатора. Однако, рассмотренный случай можно отнести к исключениям из общего правила.

В связи с большим разнообразием как самих СИ, так и их метрологических характеристик ГОСТ 8.401-80 устанавливает несколько способов назначения классов точности. При этом в основу заложены следующие положения:

- в качестве норм служат пределы допускаемых погрешностей, включающие систематические и случайные составляющие;
- основная погрешность $\delta_{\text{осн}}$ и все виды дополнительных погрешностей нормируются порознь;

Первое положение свидетельствует о необходимости разрабатывать СИ с учётом однократного отсчёта показаний по величине общей погрешности.

Второе положение направлено на обеспечение максимальной однородности однотипных СИ.

Например, можно обеспечить $\delta_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}$ за счёт любого δ_i . Однако, замена одного СИ другим не всегда будет эквивалентной, поскольку одно СИ будет иметь большую температурную погрешность, другое - частотную, что при конкретном измерении неизвестно.

Определяя класс точности, нормируют прежде всего пределы допускаемой и основной погрешности $\delta_{\text{осн.}}$. Пределы допускаемой дополнительной погрешности устанавливают в виде дольного (кратного) значения $[\delta_{\text{осн.}}]$.

Классы точности присваивают СИ при их разработке по результатам государственных приемочных испытаний. Если СИ предназначены для измерения одной и той же физической величины, но в разных диапазонах, или для измерения разных физических величин, то этим СИ могут присваиваться разные классы точности как по диапазонам, так и по измеряемым физическим величинам.

В эксплуатации СИ должны соответствовать этим классам точности. Однако при наличии соответствующих эксплуатационных требований класс точности, присвоенный на производстве, в эксплуатации может понижаться.

Пределы допускаемых основной и относительной погрешностей выражают в форме абсолютной, относительной или приведенной погрешностей. Способ выражения погрешностей зависит от характера изменения погрешности по диапазону измерения, назначения и условий применения СИ.

Если погрешность результатов измерений в данной области измерений принято выражать в единицах измерений величины или делениях шкалы, то принимается форма абсолютных погрешностей (меры, магазины номинальных физических величин). Если границы абсолютных погрешностей в пределах диапазона измерений практически постоянны, то принимается форма приведенной погрешности, а если эти границы нельзя считать постоянными, то форма относительной погрешности.

Поэтому ГОСТ 8.401-80 в качестве основных устанавливает три вида классов точности СИ:

- для пределов допускаемой абсолютной погрешности в единицах измеряемой величины или делениях шкалы;
- для пределов допускаемой относительной погрешности в виде ряда чисел

$$\delta = \pm A \times 10^n, \quad (7.1)$$

где $A = 1; 1,5; (1,6); 2; 2,5; (3); 4; 5$ и 6 ; значения $1,6$ и 3 - допускаемые, но не рекомендуемые; $n = 1; 0; -1; -2; \dots$

Для пределов допускаемой приведенной погрешности с тем же рядом (7.1) $\gamma = \pm A \times 10^n$.

Абсолютная погрешность может выражаться одним числом $\Delta = \pm a$ при неизменных границах, двучленом $\Delta = \pm(ax + b)$ при линейном изменении границ абсолютной погрешности, т.е. при совместном проявлении аддитивной и мультипликативной составляющих, или в виде таблицы, графика функции при нелинейном изменении границ (например, таблица 7.1).

Таблица 7.1 - Пределы допускаемой абсолютной погрешности вольтметра М-366

Показания СИ, В	0	10	20	30	40	50	60	70	75
Погрешность, Д, В	-0,20	-0,10	0	0,10	0,20	0,35	0,45	0,55	0,70

Классы точности СИ, выраженные через абсолютные погрешности, обозначают прописными буквами латинского алфавита или римскими цифрами. При этом, чем дальше буква от начала алфавита, тем больше значения допускаемой абсолютной погрешности. Например, СИ класса С более точен, чем СИ класса М, т. е. это число - условное обозначение и не определяет значение погрешности.

Класс точности через относительную погрешность СИ назначается двумя способами:

- если погрешность СИ имеет в основном мультипликативную составляющую, то пределы допускаемой основной относительной погрешности устанавливаются по формуле

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} \times 100\% = \pm A \times 10^n = \pm q, \quad (7.2)$$

где x - значение измеряемой величины.

Так обозначают классы точности мостов переменного тока, счетчиков электроэнергии, делителей напряжения, измерительных трансформаторов и др.

- если СИ имеют как мультипликативную, так и аддитивную составляющие, то класс точности обозначается двумя цифрами, соответствующими значениям c и d формулы

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right], \quad (7.3)$$

где x_k - предельная величина измерения.

Здесь c и d выражаются также через ряд (3.1). Причем, как правило, $c > d$. Например, класс точности 0,02/0,01 означает, что $c = 0,02$, а $d = 0,01$, т.е. приведенное значение относительной погрешности к началу диапазона измерения $\gamma_n = 0,02\%$, а к концу $\gamma_n = 0,01\%$.

Наиболее широкое распространение (особенно для аналоговых СИ) получило нормирование класса точности по приведенной погрешности:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{x_N} \times 100\% = \pm A \times 10^n, \quad (7.4)$$

Условное обозначение класса точности в этом случае зависит от нормирующего значения x_N , т.е. от шкалы СИ.

Если x_N представляется в единицах измеряемой величины, то класс точности обозначается числом, совпадающим с пределом допускаемой приведенной погрешности. Например, класс 1,5 означает, что $\gamma = 1,5\%$.

Если x_k - длина шкалы (например, у амперметров), то класс 1,5 означает, что $\gamma = 1,5\%$ длины шкалы.

Не всегда число, обозначающее класс точности, показывает предел допускаемой погрешности. В частности, у некоторых однозначных мер электрических величин оно характеризует нестабильность, показывая, на сколько процентов значение меры может изменяться в течение года.

Сравнения способов, выражения погрешностей позволяют высказать, некоторые соображения.

При известном классе точности СИ, выраженном через приведенную погрешность γ , и чувствительности S абсолютная погрешность СИ составит $\Delta = \gamma \times x_N / 100S$, а относительная на отметке x , соответственно, $\delta = \gamma \times x_N / xS$.

Сравнение формул (7.2) и (7.3) показывает, что первая отражает гиперболическую, а вторая - линейную зависимость. При форме записи (7.2) абсолютная погрешность имеет вид

$$\gamma = \frac{x_k}{100} \left[c \times \frac{x}{x_k} + d \left| 1 - \frac{x}{x_k} \right| \right], \quad (7.5)$$

Если $x > 3 \times x_k$, то шкала становится резко нелинейной и производить измерения на этом участке неудобно. Целесообразно перейти на другой диапазон измерения. Расчетные коэффициенты c и d округляются до принятых рядом (7.1), а соотношение их с классом точности по приведенной погрешности γ приведено в таблице 7.2.

Таблица 7.2 - Соотношение классов точности γ и коэффициентов c/d

Класс точности, γ	1,0	1,5	2,5	4,0
Коэффициенты, c/d	4/1,0	6/1,5	10/2,5	15/4,0

Отрицательное влияние аддитивной составляющей погрешности заключается в том, что она не позволяет использовать одно и то же СИ для измерения как больших, так и малых величин. Поэтому на начальной части шкалы СИ измерения, как правило, недопустимы.

Из формулы относительной погрешности $\delta = \Delta/x$ следует, что ее значение растет обратно пропорционально x и изменяется по гиперболе (рисунок 7.1), т.е. относительная погрешность равна классу СИ δ_0 , лишь на последней отметке шкалы ($x = x_k$). При $x \rightarrow 0$ величина $\delta \rightarrow \infty$ при уменьшении измеряемой величины до значения x_{min} относительная погрешность достигает 100%. Такое значение измеряемой величины называется порогом чувствительности. Эта величина ограничивает снизу полный диапазон D_n измеряемых величин. Верхняя граница D_n ограничена пределом измерения x_k .

Отношение $\ddot{A}_i = \frac{x_k}{x_{min}}$, называют ещё полным динамическим диапазоном измерения.

Тогда, задаваясь некоторым значением относительной погрешности δ_3 (например $\delta_3 = 5, 10$ и 20%), можно ограничить снизу рабочий диапазон D_p (рисунок 7.1), т. е. величина D_p назначается достаточно произвольно.

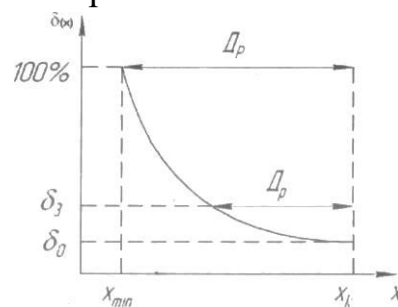


Рисунок 7.1 - Оценка порога чувствительности

Резюмируя изложенное, следует отметить, что, если класс точности СИ установлен по наибольшему допускаемому приведенному значению погрешности (формула (7.4), а для оценки погрешности конкретного измерения необходимо знать значение абсолютной и относительной погрешности в данной точке, то в этом случае выбор СИ, например, класс 1 ($\gamma = 1\%$) для измерения с относительной погрешностью $\pm 1\%$ будет правильным, если верхний, предел x_N СИ равен измеряемому значению x величины. В остальных случаях относительную погрешность измерения необходимо определять по формуле

$$\delta_{\text{изм.}} = \gamma \frac{x_N}{x}, \quad (7.6)$$

Таким образом, снять показание - не значит измерить. Надо оценить еще и погрешность измерения, учитывая, что случайные погрешности делают результат ненадежным, а систематические - неверным. Допускаемая величина относительной погрешности СИ определяется требуемой точностью $\delta_{\text{изм.}}$ измерений. Постоянство вероятности получения наибольшей возможной абсолютной погрешности во всех точках шкалы следует из формулы (7.6). Обычно относительная погрешность в пределах рабочего участка шкалы не может превышать приведенную погрешность более чем в три раза. Выполнение этого, условия по отношению к СИ с равномерной шкалой приводит к тому, что при односторонней шкале рабочий диапазон D_p занимает последние две трети ее длины (рисунок 7.2, а), при двусторонней шкале того же диапазона - одну треть (рисунок 7.2, б), при безнулевой шкале D может распространяться на всю длину шкалы (рисунок 7.2, в), т. е. нерабочая зона шкалы $L_{\text{изм.}} = 0$.

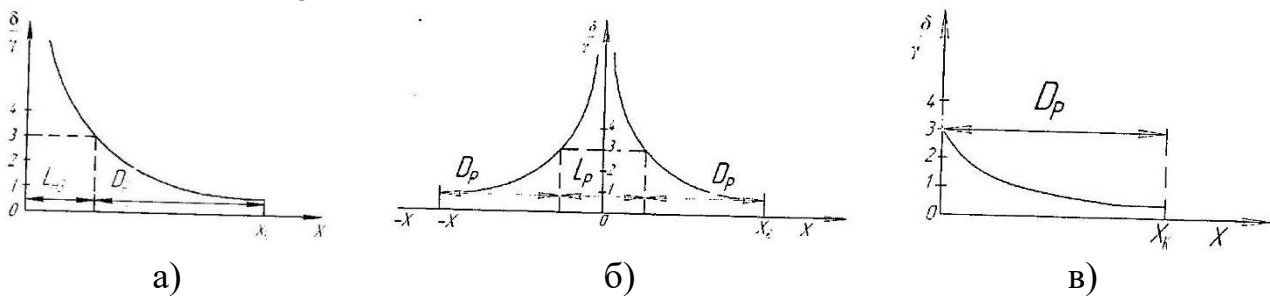


Рисунок 7.2 - Оценка рабочей зоны СИ

Для некоторых СИ характерна сложная зависимость относительной погрешности от измеряемой величины или влияющих факторов, которая приводит к логарифмической характеристике точности. В основном это широкодиапазонные СИ, например мосты постоянного тока, мосты сопротивлений, цифровые частотомеры и т.п. Для них ГОСТ 8.401-80 допускает нормирование классов точности трехчленной формулой

$$\delta(x) = \frac{x_{\min}}{x} + \delta_3 + \frac{x}{x_k}, \quad (7.7)$$

где x_{\min} и x_k - порог и предел чувствительности;

δ_3 - относительная погрешность, ограничивающая снизу рабочий диапазон, в обозначениях рисунок 7.1.

Для оценки пригодности средств измерений к измерениям в известном диапазоне с известной точностью введены метрологические характеристики средств измерения с целью: обеспечения возможности установления точности измерений; достижения взаимозаменяемости средств измерения, сравнения средств измерения между собой и выбора нужных средств измерения по точности и другим характеристикам; оценки технического состояния средств измерения при проверке.

В соответствии с ГОСТ 8.401-80 для пределов допускаемой основной (и дополнительный) погрешности предусмотрены различные способы выражения в виде абсолютной, относительной и приведенной погрешности.

Например, у широкодиапазонного моста сопротивлений в технической документации указано, что относительная погрешность не превосходит значений в диапазонах: $10^2 \dots 10^4$ Ом - 0,5%; $5 \dots 10^5$ Ом - 1%; $0,5 \dots 10^6$ Ом - 5%; $0,2 \dots 2 \times 10^6$ Ом - 10% и $0,1 \dots 4 \times 10^6$ Ом - 20%.

При $\delta_3 = 0,5\%$, $x_{min} = 0,02$ Ом и $x_k = 20 \times 10^6$ Ом для любого x относительная погрешность составит

$$\delta(x) = \left[\frac{0,02}{x} + \frac{0,5}{100} + \frac{x}{20 \times 10^6} \right] 100\%.$$

Обозначения классов точности в документах и на приборах регламентированы.

3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В промышленном производстве измерения составляют в среднем до 10% всех трудозатрат. Измерения могут считаться эффективными, если их результаты обеспечивают необходимое качество управления производством, а метрологическое обслуживание минимально. Для эффективности измерений необходимо: обеспечивать единство измерений; учитывать связи измеряемых параметров с производительностью и технологическим оборудованием, качеством продукции; учитывать потери от неблагоприятных последствий из-за погрешности измерений.

Измерения выполняются с помощью специальных средств с целью нахождения численных значений физической величины. На территории Российской Федерации к измерениям допускаются средства измерений, утвержденные Агентством по техническому регулированию России, зарегистрированные, в государственном реестре средств измерений и удостоверяемые сертификатом соответствия. Даже самые точные приборы не могут показать действительного значения измеряемой физической величины. Обязательно существует погрешность измерения, причинами которой могут быть различные факторы.

При технических измерениях, когда не учитываются различные влияющие дестабилизирующие факторы, как правило, используется более грубое нормирование-присвоение средству измерения определенного класса точности. Классы точности присваивают СИ при их разработке по результатам государственных приемочных испытаний. В таблице 3.3 приведены формулы вычисления погрешности и обозначения классов точности на СИ и в нормативно технической документации (НТД). В таблице 7.4 указаны варианты заданий. Выполнять задания рекомендуется ознакомившись с примером расчёта.

Таблица 7.3 - Формулы вычисления погрешностей и обозначение классов точности СИ

Вид погрешности	Формула по тексту	Примеры пределов допускаемой погрешности	Обозначение класса точности		СИ, рекомендуемые к обозначению таким образом
			в НТД	на СИ	
Абсолютная	$\Delta = \pm a$ $\Delta = \pm(ax + b)$	$\Delta = \pm 0,2 \times A$	Класс точности N или класс точности 3	N 3	Мерь То же
Относительная	2	$\delta = \pm 0,5\%$	Класс точности 0,5	0,5	Мосты, счётчики, делители, измерительные трансформаторы
	3	$\delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\left \frac{x_k}{x} \right - 1 \right) \right]$	Класс точности 0,02/0,01	0,02/0,01	Цифровые СИ, магазины ёмкостей (сопротивлений)
	7	$\delta(x) = \left[\frac{0,02}{x} + \frac{0,5}{100} + \frac{x}{20 \times 10^6} \right] 100\%$	Класс точности С или класс точности 2	С 2	Цифровые частотомеры, мосты сопротивлений

Приведённая	4	а) при $x_N = x_k$ $\gamma = \pm 1,5\%$	Класс точности 1,5	1,5	Аналоговые СИ,; если x_N - в единицах величины
		б) x_N - длина шкалы или её части $\gamma = \pm 0,5\%$	Класс точности 0,5	0,5	Омметры; если x_N определяется длиной шкалы или её части

Пример решения

Отсчет по шкале прибора с пределами измерений 0 - 50А и равномерной шкалой составил 25А. Пренебрегая другими видами погрешностей измерения, оценить пределы допускаемой абсолютной погрешности этого отсчёта при использовании различных СИ класса точности: 0,02/0,01, 0,5 и 0,5

Решение 1. Для СИ класса точности 0,02/0,01:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} \pm \left[c + d \left(\left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right].$$

Так как $x = 25$; $x_k = 50$; $c = 0,02$; $d = 0,01$ и δ - в %, то

$$\delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\left| \frac{50}{25} \right| - 1 \right) \right] = \pm 0,008\text{А}.$$

Решение 2. Для СИ класса точности 0,5:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x}; \Delta = \pm 0,01 \times 25 \times 0,5 = 0,185\text{А}.$$

Решение 3. Для СИ класса точности 0,5:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{x_N}; \text{здесь } x - 50, \text{ тогда}$$

$$\Delta = \pm 0,01 \times 50 \times 0,5 = 0,25\text{А}.$$

4 ВАРИАНТЫ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ

Используя значения таблицы 7.4 рассчитать пределы абсолютной погрешности при использовании СИ различных классов точности.

Таблица 7.4 - Данные для расчёта пределов абсолютной погрешности

№ варианта	Предел измерения физической величины	Числовые значения физической величины по шкале	Обозначение класса точности на приборе		
			0,03/0,01	0,5	<u>1,5</u>
1	0-60	30	0,03/0,01	0,5	<u>1,5</u>
2	0-100	50	0,02/0,01	<u>1,0</u>	1,0
3	0-200	120	0,04/0,02	1,5	<u>0,5</u>
4	0-300	120	0,03/0,02	0,5	<u>1,0</u>
5	0-300	200	0,02/0,01	1,0	<u>1,5</u>
6	0-250	100	0,05/0,03	<u>1,5</u>	1,5
7	0-80	40	0,02/0,01	<u>1,0</u>	0,5
8	0-300	150	0,04/0,02	0,5	<u>1,0</u>
9	0-120	100	0,03/0,02	1,5	<u>1,0</u>

Продолжение таблицы 7.4

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

10	0-150	100	0,04/0,01	1,0	0,5
11	0-180	90	0,03/0,01	2,0	1,5
12	0-250	200	0,04/0,02	2,5	1,5
13	0-100	80	0,02/0,01	1,5	1,0
14	0-200	70	0,03/0,02	1,0	1,0
15	0-180	150	0,04/0,03	0,5	1,0
16	0-150	100	0,04/0,02	2,0	1,5
17	0-120	90	0,04/0,01	1,5	1,0
18	0-90	70	0,03/0,02	1,0	0,5
19	0-80	40	0,03/0,01	0,5	0,5
20	0-50	30	0,05/0,04	1,0	1,0
21	0-350	280	0,05/0,03	1,5	1,0
22	0-320	300	0,05/0,02	2,0	1,5
23	0-300	200	0,04/0,02	2,5	1,5
24	0-280	160	0,03/0,02	2,5	1,0
25	0-220	150	0,02/0,01	2,0	1,5
26	0-240	150	0,03/0,02	1,5	1,0
27	0-200	100	0,04/0,03	1,0	0,5
28	0-180	80	0,05/0,03	1,5	1,0
29	0-160	100	0,03/0,02	1,0	0,5
30	0-180	120	0,05/0,03	2,0	1,0

5 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Как присваивают СИ классы точности?
2. Что такое класс точности СИ?
3. Какие погрешности включает класс точности?
4. На какие виды подразделяют погрешности СИ?
5. Какие виды погрешности применяются в показаниях СИ?
6. В каких единицах измерения выражают абсолютную погрешность?
7. В чем выражается относительная погрешность?
8. Какие СИ допускаются к измерениям на территории Российской Федерации?
9. Какую величину трудозатрат составляет в среднем измерения?
10. Удостоверяются ли соответствием СИ?
11. Какие факторы могут быть причинами погрешностей СИ?
12. Приведите пример обозначения класса точности на СИ абсолютной погрешности?
13. Приведите пример обозначения класса точности на СИ относительной погрешности?
14. Приведите пример обозначения класса точности на СИ приведенной погрешности?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8 ПОСАДКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ

1 Научиться обоснованно назначать поля допусков для размеров деталей, сопрягаемых с подшипниками качения.

2 Научиться строить схему полей допусков деталей сопрягаемых с кольцами подшипников качения.

СОДЕРЖАНИЕ ЗАНЯТИЯ

1. Изучить классификацию и обозначение подшипников качения.
2. Изучить точность размеров и виды нагружения подшипников.
3. Определить вид нагружения колец подшипников по заданным чертежам узлов и значениям нагрузок.
4. Выбрать посадки колец подшипников.
5. Составить отчет о проделанной работе.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Подшипники качения (шариковые и роликовые) представляют собой стандартные узлы и изготавливаются на специализированных заводах.

Правильная работа и эффективность эксплуатации подшипников качения (долговечность и надежность) в значительной степени зависят от точности их сборки, точности присоединительных размеров и характера посадок подшипников на вал и в корпус.

Классификация подшипников качения

Подшипники классифицируют по следующим признакам:

- 1) по направлению воспринимаемой нагрузки:
 - радиальные, воспринимающие преимущественно радиальную нагрузку;
 - радиально-упорные, воспринимающие комбинированную нагрузку (радиальную и осевую одновременно или поочередно с преобладанием одной из них);
 - упорно – радиальные, воспринимающие в основном осевую нагрузку, но способные воспринимать небольшую радиальную нагрузку;
- 2) по форме тела качения – шариковые, роликовые и игольчатые;
- 3) по числу рядов тел качения – однорядные, двухрядные, четырехрядные и многорядные;
- 4) по основным конструктивным признакам:
 - самоустанавливающиеся и несамоустанавливающиеся;
 - с цилиндрическим или конусным отверстием внутреннего кольца;
 - одинарные или двойные;
 - сдвоенные, строенные, счетверенные и т.д.

Точность размеров подшипников качения

По ГОСТ 520-75 предусмотрено 5 классов точности подшипников, которые определяют точность присоединительных размеров, форму и взаимное расположение поверхностей колец подшипников и их шероховатость; точность формы и размеров тел качения в одном подшипнике и шероховатость их поверхностей. Точность изготовления и сборки определяют точность вращения, характеризуемую радиальным и осевым биением дорожек качения и торцов колец.

Классы точности имеют следующие обозначение: нормальный – 0; повышенный – 6; высокий – 5; прецизионный – 4; сверхпрецизионный – 2.

Для большинства механизмов общего машиностроения (тракторах, автомобилях, сельскохозяйственных и гидромелиоративных машинах) применяют подшипники нормального 0 класса точности. Подшипники повышенных классов точности устанавливают на станках, авиационных двигателях, приборах. Например, подшипники 2 класса точности применяют в гироскопических приборах.

Обозначение подшипников качения

Для подшипников с внутренним диаметром от 10 мм и более, исключая подшипники с внутренним диаметром 22, 28, 32 мм, обозначения построены по одному принципу. Рассмотрим их на примере подшипника 60311.

1. Последние две цифры справа, определяют диаметр внутреннего кольца подшипника (от 20 до 495 мм включительно) и являются частными от деления значения этого диаметра на 5. Например, для подшипника 60311 имеем $11 \cdot 5 = 55$ мм – внутренний диаметр подшипника.

Диаметр внутреннего кольца подшипника, равный 10 мм, обозначается цифрами 00 справа, диаметр 12 мм – цифрами 01, 15 мм – цифрами 02, 17 мм – цифрами 03.

2. Цифра, стоящая третья цифра справа, условно указывает серию подшипника. Например, для рассматриваемого случая на третьем месте стоит цифра 3 – средняя серия подшипника.

3. Четвертая цифра, условно обозначает тип подшипника. Существует 10 типов подшипников:

0 - шариковый радиальный;

1 - шариковый радиальный сферический;

2 – роликовый радиальный с короткими цилиндрическими роликами;

3 - роликовый радиальный со сферическими роликами;

4 – роликовый радиальный с длинными цилиндрическими или игольчатыми роликами;

5 - роликовый радиальный с витыми роликами;

6 – шариковый упорный, шариковый упорно – радиальный;

7 – роликовый конический;

8 – шариковый упорный, шариковый упорно-радиальный.

9 – роликовый упорный, роликовый упорно – радиальный.

Для указанного подшипника, например, цифра 0 означает шариковый радиальный.

4. Пятая и шестая цифры справа, условно обозначают конструктивные разновидности подшипника. Например, на пятом – 6, а на шестом подразумевается 0, подшипник имеет одну защитную шайбу.

На тракторах и сельскохозяйственных машинах подшипники обозначаются числами от трехзначного до шестизначного. Согласно ГОСТ 520-75 «Подшипники шариковые и роликовые. Технические требования»), для подшипников установлены следующие классы точности (в порядке повышения точности): 0, 6, 5, 4, 2. Класс точности подшипника указывают соответствующей цифрой перед условным обозначением, отделяя ее тире. Класс точности 0 в условном обозначении не указывают. Например, 60311 – подшипник класса точности 0; 6-60311-подшипник класса точности 6.

Виды нагружения колец подшипников

Различают три основных вида нагружения колец: циркуляционное, местное, колебательное. При **циркуляционном** нагружении кольцо воспринимает результирующую нагрузку P_{Π} последовательно всей окружностью дорожки качения и передает ее также последовательно всей посадочной поверхности вала или корпуса. Такое нагружение имеет место при вращении кольца вместе с сопрягаемой деталью и постоянном направлении действия вращения. **Примеры:** Внутренние кольца с валами КПП, наружные кольца колес автомобилей и т.д.

При **местном** нагружении кольцо воспринимает постоянную по направлению P_{Π} результирующую радиальную нагрузку одним и тем же ограниченным участком окружности дорожки качения и передает ее соответствующему участку посадочной поверхности вала или корпуса. **Примеры:** наружные кольца подшипников КПП, внутренние кольца колес автомобилей.

Колебательное нагружение колец имеет место при сочетании двух или нескольких видов нагрузок (P_{Π} - постоянной по направлению и P_B – вращающейся и меньшей по величине) и передает соответствующему ограниченному участку посадочной поверхности вала или корпуса, когда результирующая сила изменяется по величине и направлению. Примером сложения двух нагрузок является сложение силы веса и неуравновешенной массы ротора.

От силы ротора внутренние кольца подшипников будут испытывать циркуляционное нагружение, а наружное – местное.

От неуравновешенной силы, которая вращается вместе с ротором, нагружение обратное: циркуляционное нагружение будет у наружных колец, а местное – у внутренних. В зависимости от соотношения сил P_{Π} и P_B у колец будет преобладать циркуляционное или местное нагружение, но в общем случае нагрузка будет распределяться на определенный (значительный) участок наружного или внутреннего кольца.

В быстроходных механизмах, например, двигателях внутреннего сгорания, газовых турбинах, а также механизмах, имеющих большие, массивные роторы, например, молотилках сочетается несколько нагрузок, приводящих к колебательному нагружению опор.

ВЫБОР ПОСАДОК ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Выбор посадок осуществляют в зависимости от вида нагружения колец подшипника и режима работы.

Для циркуляционно или колебательно нагруженных колец посадка должна обеспечивать неподвижное соединение с сопрягаемой деталью. Этим обеспечивается равномерный износ беговой дорожки кольца и не будет износа поверхностей в местах контакта кольца с валом или корпусом. При этом учитывается интенсивность нагрузки и условия работы подшипника. Интенсивность нагрузки определяется по формуле:

$$P_R = \frac{R}{B} \cdot K_n \cdot F \cdot F_n, \quad (8.1)$$

где R – радиальная нагрузка, кН;

B – рабочая ширина кольца подшипника, $B = B_k - 2 \cdot r$, мм;

B_k – конструктивная ширина подшипника, мм;

r – радиус закругления или координата фаски, мм;

K_n – динамический коэффициент посадки. При нагрузке с умеренными толчками и вибрацией, перегрузка до 150%, $K_n = 1$. При нагрузке с сильными ударами, перегрузка до 300% $K_n = 1,8$.

F – коэффициент, учитывающий степень ослабления посадочного натяга при полом вале и тонкостенном корпусе. Для сплошного вала и массивного корпуса $F = 1$;

F_A – коэффициент неравномерности распределения интенсивности нагрузки между рядами роликов в двухрядных подшипниках. При отсутствии осевой нагрузки $F_A = 1$.

В зависимости от значения интенсивности нагрузки, выбирается посадка для циркуляционно нагруженного кольца. Для местно нагруженных колец посадку выбирают в зависимости от условий работы, размера подшипника.

ПРИМЕР ПОДБОРА ПОСАДОК ПОДШИПНИКОВ

Задача. Подобрать посадки колец подшипников на вал и в корпус.

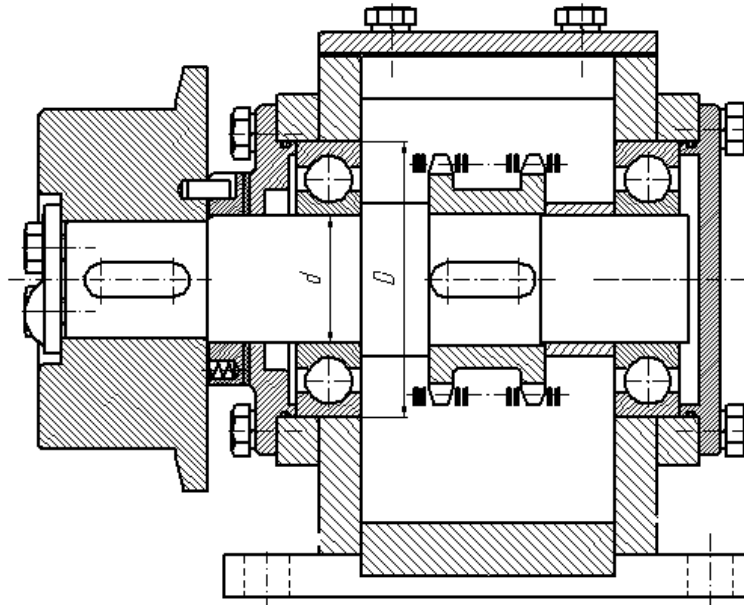


Рисунок 8.1 - Передающий механизм.

Исходные данные:

1. Чертеж узла, в котором используют подшипник качения - рисунок 8.1;
2. Номер подшипника - 312.
3. Значение радиальной нагрузки на опоре подшипника - 6 кН ;
4. Характер нагрузки - вибрация, удары, большая перегрузка.

1. По чертежу узла (рисунок 5.1) определяем вид нагружения колец. В данном узле вращается вал, поэтому наружное кольцо испытывает местную нагрузку, а внутреннее – циркуляционную.

2. Из справочников [3,5] выписываем основные размеры заданного подшипника:
Внутренний диаметр подшипника $d = 60 \text{ мм}$;
Наружный диаметр подшипника $D = 130 \text{ мм}$;
Ширина подшипника $B_k = 31 \text{ мм}$;
Радиус закругления фаски $r = 3.5 \text{ мм}$;

3. Определяем для циркуляционно нагруженного кольца (в нашем случае для внутреннего) интенсивность радиальной нагрузки по формуле (8.1):

$$P_R = \frac{6 \cdot 1000}{(31 - 2 \cdot 3,5) \cdot 1} \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 1 = 450 \text{ кН / м.}$$

4. Определив интенсивность для циркуляционно нагруженного кольца, по таблице 17 /1/ выбираем поле допуска для вала, сопрягаемого с этим кольцом: при $P_R=450 \text{ кН/м}$ и $d=60 \text{ мм}$ выбираем—кб.

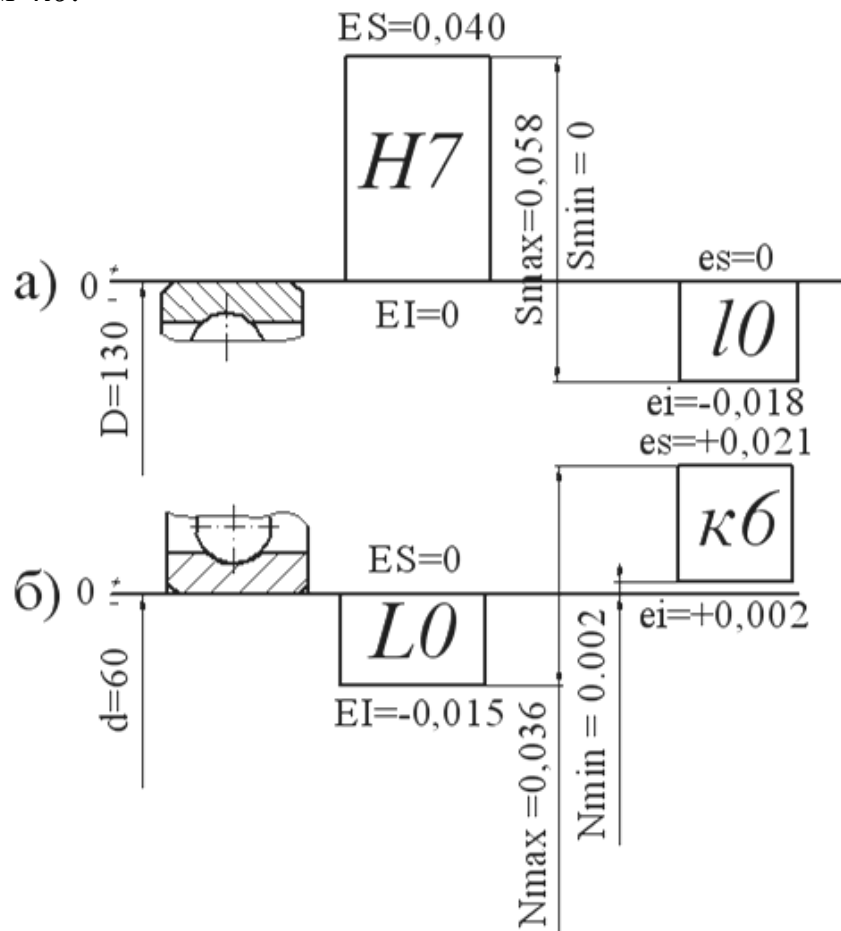


Рисунок 8.2 - Схема расположения полей допусков сопряжений: а) «наружное кольцо – корпус» б) «внутреннее кольцо – вал».

Тогда запишем условное обозначение соединения «внутреннее кольцо–вал»:

$$\varnothing 60L0/кб.$$

где $L0$ –поле допуска внутреннего кольца подшипника нулевого класса точности.

Посадку под кольцо, имеющее местный вид нагружения, выбирают из таблицы 18 /1/. Для $D=130 \text{ мм}$ – $H7$, система отверстия. Условное обозначение соединения «корпус – наружное кольцо подшипника»:

$$\varnothing 130H7/l0,$$

где $l0$ – поле допуска наружного кольца подшипника нулевого класса точности.

5. Исходя из выбранных посадок выполняем схемы полей допусков.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчет по проделанной работе необходимо включить:

1. Классификацию и обозначение подшипников
2. Расчет и подбор посадок подшипника по выданному преподавателем варианту задания.
3. Схему полей допусков выбранных посадок колец подшипника на вал и в корпус.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. По какому принципу построены обозначения подшипников?
2. Виды нагружения колец подшипников. Примеры.
3. Какие применяются посадки колец в зависимости от вида нагружения?
4. Как определяется интенсивность нагрузки для кольца подшипника?
5. Как по интенсивности нагрузки выбирается посадка кольца подшипника качения?
6. Что влияет на выбор посадки кольца подшипника при местном нагружении?
7. Особенности расположения полей допусков колец подшипника и чем они вызваны?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 9 ВЫБОР ПОСАДОК ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ

Научиться обоснованно назначать поля допусков для шпоночных и шлицевых соединений.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

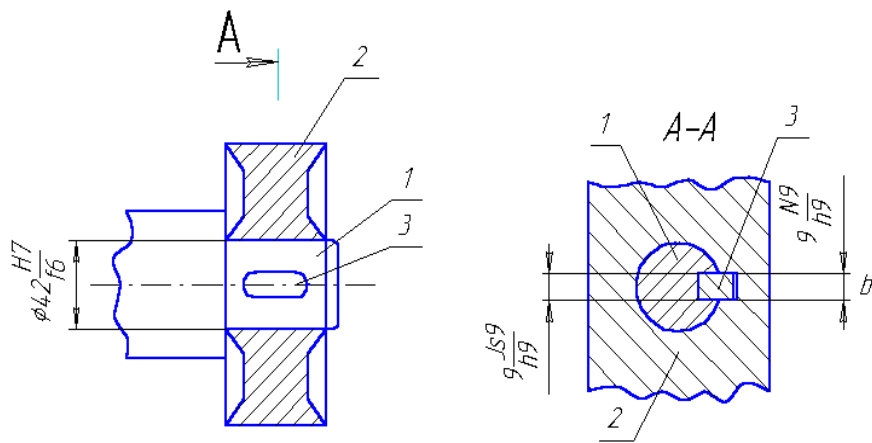
Шпонки предназначены для передачи крутящего момента и в зависимости от характера соединения применяется посадка свободная, нормальная, плотная.

В шпоночных соединениях центрирование осей обеспечивается по цилиндрическим поверхностям вала и втулки.

Шпонки в условиях машиностроительного производства изготавливаются независимо от характера соединения: по ширине h 9, по высоте t по h 11.

Необходимый характер соединений обеспечивается различными полями допусков на ширину паза на валу и во втулке, рисунок 9.2

a)



б)

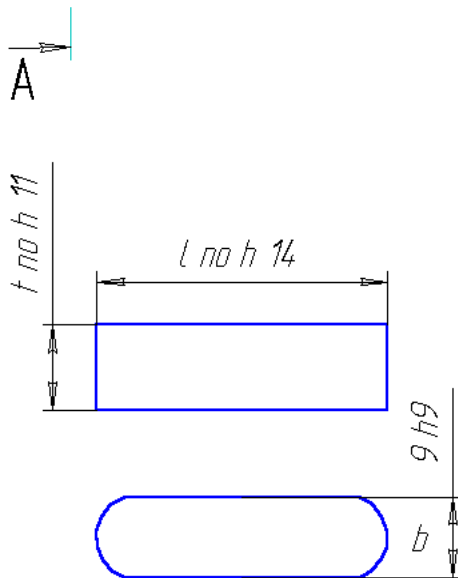


Рисунок 9.1 - а) шпоночное соединение; б) призматическая шпонка
1-вал; 2-шків (маховик); 3-призматическая шпонка.

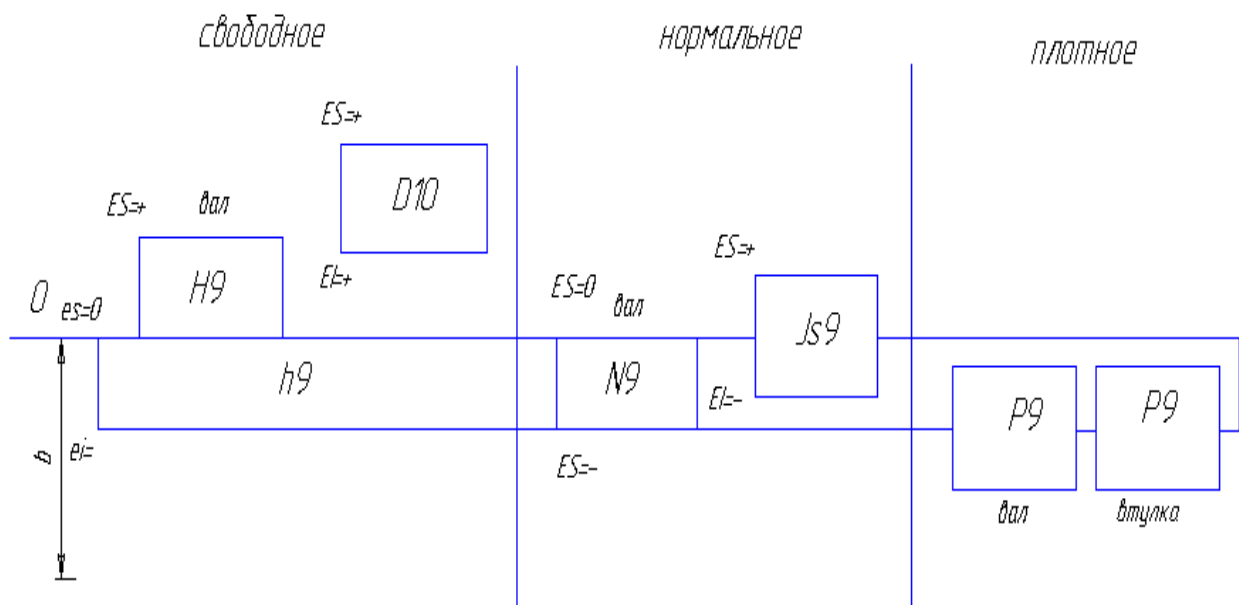


Рисунок 9.2 - Схема полей допусков для соединения с призматической и клиновидной шпонками ГОСТ 23360 -78 И ГОСТ 24068 – 80

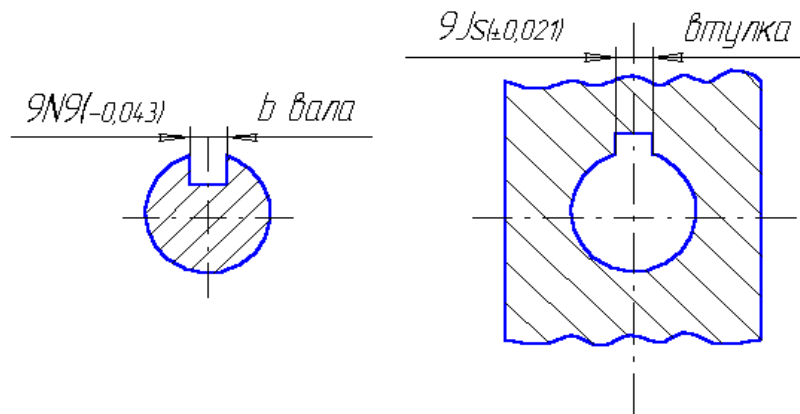


Рисунок 9.3 - Поля допусков паза на валу и во втулке шпоночного соединения

Свободный тип шпоночного соединения применяется для неответственных соединений передающих небольшие нагрузки с целью обеспечения легкости сборки.

Нормальный тип шпоночного соединения применяется для передачи средней по величине нагрузки и стесненных условиях сборки.

Плотное соединение применяется при передаче значительных крутящих моментов и при редкой разборки.

Для выбора полей допусков в соединениях сегментных шпонок с валом или втулкой см. ГОСТ 24071-68.

Шлицевое соединение при одинаковых размерах вала обеспечивает большую передачу крутящего момента по сравнению со шпоночным соединением и хорошее центрирование соединений поверхностей.

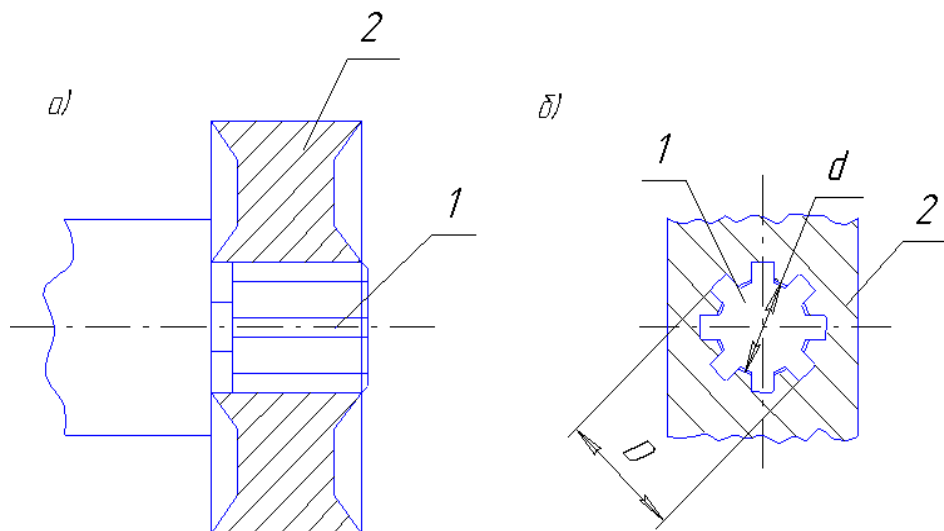


Рисунок 9.4 - а) шлицевое соединение; б) центрирование по наружному диаметру 1-шлицевой вал; 2- шлицевая втулка (зубчатое колесо, маховик).

Для обеспечения нормальной работы шлицевого соединения необходимо обеспечить соосность соединения деталей. Это достигается следующим образом: *центрированием по наружному диаметру*. Тогда шлицевая втулка устанавливается по наружному диаметру D шлицевого вала. Такое центрирование применяется широко, так как оно является технологичным в изготовлении, рисунок 9.4 б)

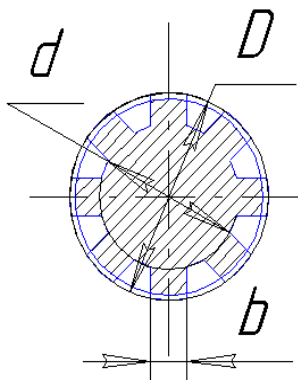


Рисунок 9.5 - Схема центрирования по диаметру d

Точность посадки при центрировании по диаметру D обеспечивается круглым наружным шлифованием.

Центрирование по внутреннему диаметру d применяется когда шлицевая втулка имеет высокую твердость после термообработки, рисунок 9.5

Точность шлицевого соединения обеспечивается внутренним шлифованием, процесс дорогой.

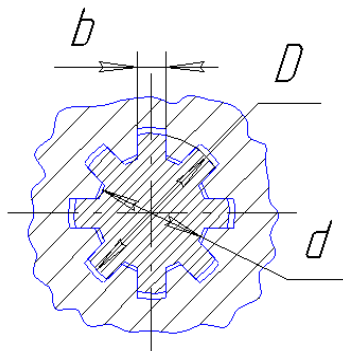


Рисунок 9.6 - Схема центрирования по ширине шлиц b

Допускается не указывать поля допусков у нецентрированного $\varnothing d$. Центрирование по внутреннему $\varnothing d$ применяется в подвижных соединениях.

Точность посадки по внутреннему $\varnothing d$ обеспечивается за счет внутреннего шлифования втулки, а точность по внутреннему $\varnothing d$ шлицевого вала обеспечивается на шлицах шлифовальных станков.

Центрирование по боковым поверхностям зубьев применяется при невысоких требованиях к точности соединения.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какое назначение имеют шпоночные соединения?
2. Какие виды шпоночных соединений применяются в машиностроении?
3. В какой системе осуществляется посадка призматической шпонки в паз втулки и вала и почему?
4. Какие виды посадок призматических шпонок используются в практике?
5. Какое назначение имеют шлицевые соединения?
6. Какие виды шлицевых соединений используются в практической деятельности?
7. Какие способы центрирования шлицевого вала с втулкой применяются в промышленности?
8. Каким образом на сборочном чертеже обозначается шлицевое соединение?
9. Как на рабочем чертеже нормируется точность изготовления шлицов на вале и во втулке?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 10 ПАРАМЕТРЫ МЕТРИЧЕСКОЙ РЕЗЬБЫ

ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ

Научиться обоснованно назначать поля допусков для метрической резьбы.

СОДЕРЖАНИЕ ЗАНЯТИЯ

1. Изучить классификацию и обозначение подшипников качения.
2. Изучить точность размеров и виды нагружения подшипников.
3. Определить вид нагружения колец подшипников по заданным чертежам узлов и значениям нагрузок.
4. Выбрать посадки колец подшипников.
5. Составить отчет о проделанной работе.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В зависимости от назначения резьбовые соединения подразделяются на неподвижные и подвижные. К подвижным и неподвижным относятся крепежные резьбы, к подвижным – кинематические резьбы.

По углу при вершине профиля резьбы различают метрическую, дюймовую, трубную. Кинематические резьбы имеют форму трапецеидальную, конусную. Независимо от назначения резьбовые соединения построены по одним принципам.

Основными элементами метрической резьбы являются α - угол при вершине профиля, P -шаг, d, D – номинальный \varnothing резьбы.

Посадка метрической резьбы осуществляется по боковым поверхностям витков, а не по диаметру.

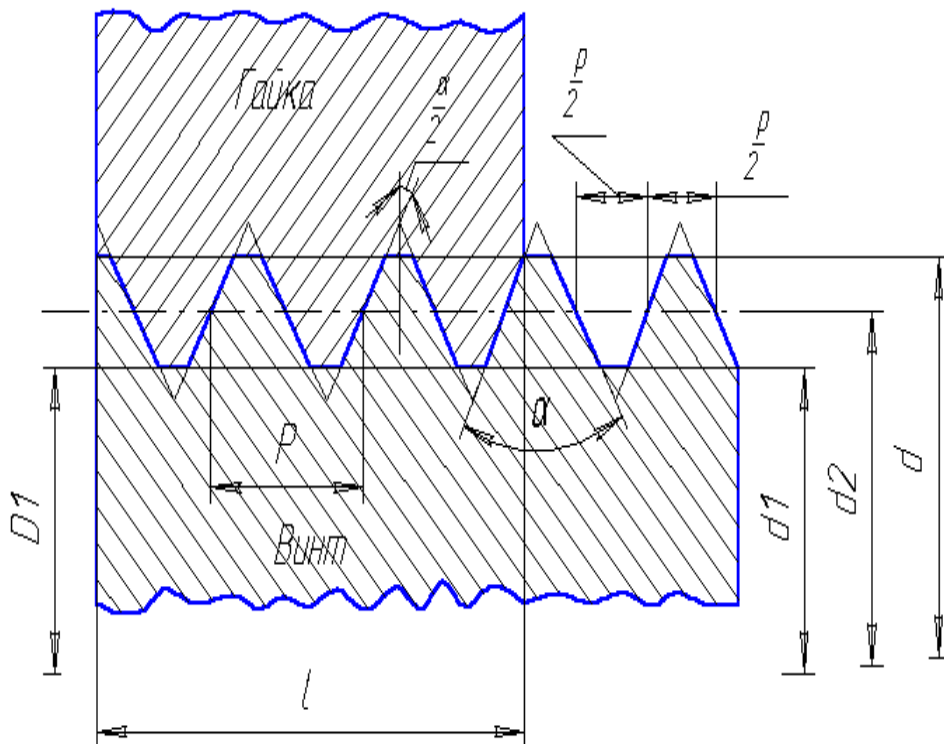


Рисунок 10.1 - Схема резьбового соединения

В соответствии со стандартом на резьбы номинальный диаметр винта и гайки равны: $D = d$, $D_2 = d_2$, $D_1 = d_1$, α - угол при вершине профиля у метрической резьбы 60° .

Средний диаметр резьбы – диаметр воображаемого цилиндра соосного с резьбой, который делит номинальный профиль таким образом, что ширина впадины равна ширине винта.

Посадка резьбовых соединений осуществляется по боковым поверхностям.

Таблица 10.1 - Основные отклонения со степенями точности метрической резьбы с зазором

Поля допусков для наружных резьб			
Класс точности	Длина свинчивания		
	S	N	L
Точный	3h 4h	4g ;4h	5h;4h
Средний	5g6g	6d;6e;6f; 6g	7e;6e;(7h;6h)
Грубый	(5h6h)	8g(8h)*	9g;8g

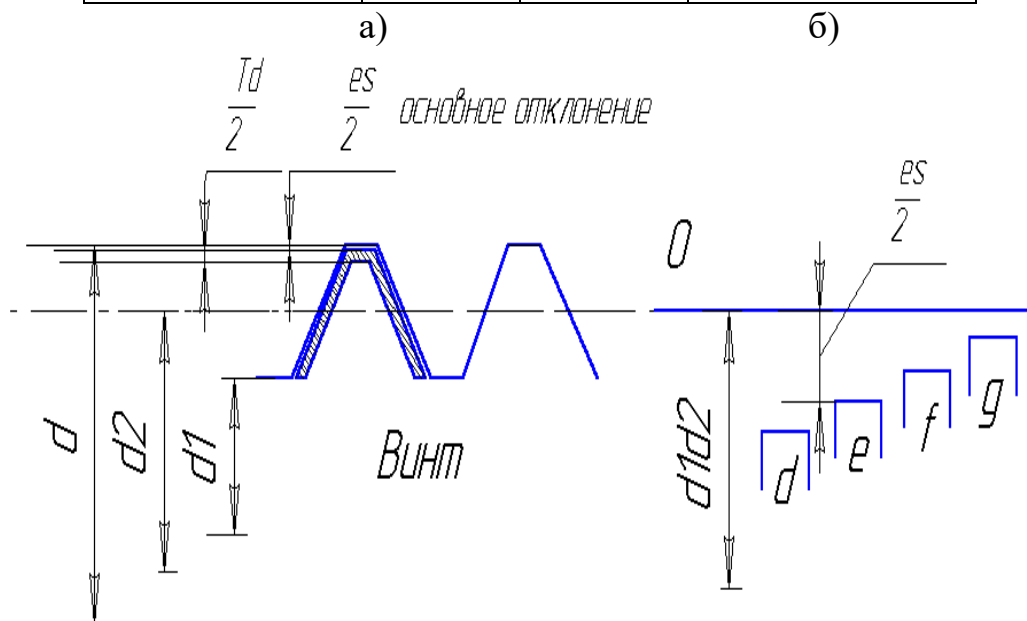


Рисунок 10.2 - Схема положений основных отклонений

а) графическое; б) схематическое

Посадка с зазором поля допусков задаются в материал винта и гайки. Поля допусков образуются сочетанием основного отклонения и допуском по соответствующей степени точности. Допуски и отклонения измеряются в направлении перпендикулярном к оси резьбы.

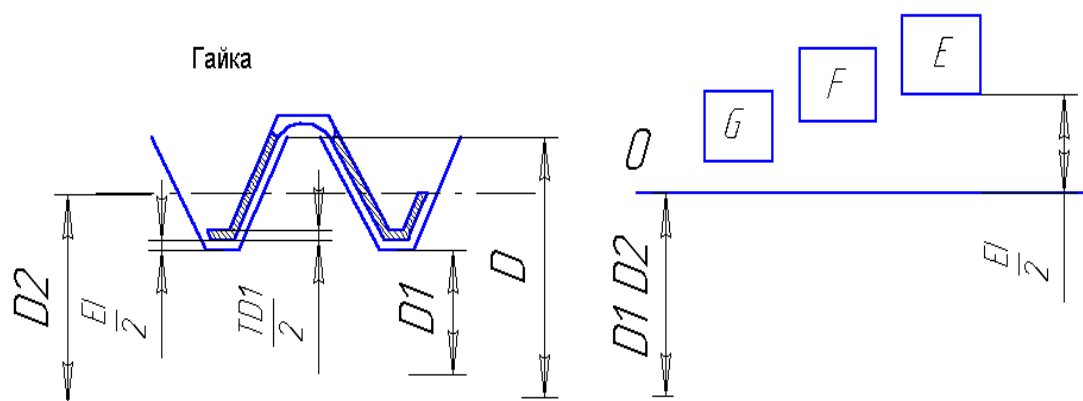


Рисунок 10.3 - Схема основных отклонений внутренней резьбы

Для обеспечения прочности соединения нормируются допусками наружного диаметра винта и внутреннего диаметра гайки.

Таблица 10.2 - Поля допусков резьбы

Поля допусков для внутренних резьб			
Класс точности	Длина свинчивания		
	S	N	L
Точный	4H	4H	6H
Средний	5G5H	6G6H	7G7H
Грубый		7G7H	8G8H

Пример : 5g 6h

где: 5g – диаметр d_2 ; 5 – степень точности; g – основное отклонение.

6h – диаметр d_1

$M12 \times 1 \frac{6H}{6g}$

Если степень точности и основное отклонение одинаковы для d_2 и d_1 , то $M12 \times 1$ - 6g

В процессе изготовления резьбы возникают погрешности, как по диаметрам резьб так и по шагу P и углу при вершине α .

Допуск на погрешности шага и угла при вершине в стандарте ГОСТ16093 – 81 не приведены. Компенсация погрешностей включена в допуск на средний диаметр резьбы.

ОБОЗНАЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ И ПОСАДОК МЕТРИЧЕСКОЙ РЕЗЬБЫ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Обозначение поля допуска резьбы (т. е. сочетание полей допусков по среднему диаметру и по d или D_1) состоит соответственно из обозначений полей допусков среднего диаметра, помещаемого на первом месте, наружного диаметра для болтов и внутреннего для гаек, например 7g6g, 5H6H. Если обозначения полей допусков наружного диаметра болта и внутреннего диаметра гайки совпадают с обозначением поля допусков среднего диаметра, то их в обозначении поля допуска резьбы не повторяют, например 6g, 6H. Обозначение допуска резьбы ставят после указания ее размера. Например, болт

M12-6g, гайка M12-6H, болт M12x1-6g, гайка M12x1-6H. Посадки резьбовых деталей обозначают дробью, в числителе которой указывают поле допуска гайки, а в знаменателе — 6H поле допуска болта. Например, $M12 - \frac{6H}{6g}$, левая резьба $M12x1LH \frac{6H}{6g}$. Если

длина свинчивания отличается от нормальной, то ее указывают в обозначении: M12 - 7g6g - 30, где 30 - длина свинчивания, мм. Примеры обозначения точности по ГОСТ 9000 — 81: M0,5-4H5; M0,5 - $\frac{4H5}{5h3}$ (на первом месте указаны поля допусков среднего диаметра для гайки и для болта, на втором — поля допусков для гайки D₁, для болта d). Примеры обозначения допусков и посадок резьбовых соединений на чертежах показаны на рисунке.

Точность резьбы контролируют дифференцированным (поэлементным) или комплексным методом. Дифференцированный метод контроля применяют в том случае, когда допуски даны отдельно на каждый параметр резьбы. При этом отдельно проверяют собственно средний диаметр, шаг и половину угла профиля. Этот метод сложен, трудоемок, а потому его используют главным образом для контроля точных резьб (калибр пробок, резьбообразующего инструмента и пр.). Наиболее универсальным прибором для измерения параметров резьбы является инструментальный микроскоп различных модификаций. Комплексный метод контроля применяют для резьбовых деталей, допуск среднего диаметра которых является суммарным. Этот метод основан на одновременном контроле среднего диаметра, шага, половины угла профиля, а также внутреннего и наружного диаметров резьбы путем сравнения действительного контура резьбовой детали с предельными. Это достигается главным образом с помощью предельных калибров. Контроль калибрами применяют как в массовом и серийном, так и в мелкосерийном и единичном производствах (за исключением резьб с малыми шагами).

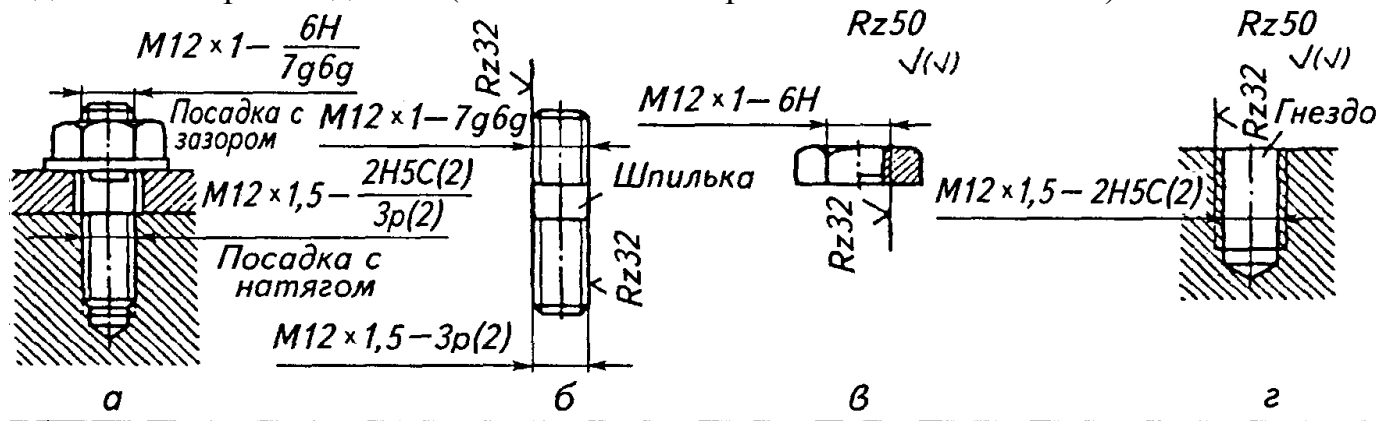


Рисунок 10.4 - Обозначение допусков и посадок на чертежах:

а — соединение деталей с наружной и внутренней резьбой; б — шпилька с резьбой; в — гайка; г — гнездо с внутренней резьбой

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие виды резьбы применяются в машиностроении?
2. Какие параметры метрической резьбы приведены в стандартах?
3. Какие посадки в соединении винт-гайка используются в машиностроении?
4. По какому диаметру осуществляется посадка в паре винт-гайка?
5. В чем отличие в обозначении полей допусков на диаметры резьбы и полей допусков для гладких цилиндрических соединений?

6. Какой термин используется для указания точности параметров резьбы?
7. Что такое приведенный средний диаметр резьбы?
8. Какое условие обеспечивает годность метрической резьбы к дальнейшей эксплуатации?
9. Какие погрешности возникают при нарезании метрической резьбы на токарно-винторезном станке? Как они рассчитываются?
10. Каким образом обеспечивается свинчиваемость гайки в резьбовом соединении с зазором?
11. Как на сборочном чертеже обозначается соединение при помощи метрической резьбы?
12. Как на рабочем чертеже нормируются параметры метрической резьбы?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 11 НОРМИРОВАНИЕ ДОПУСКОВ ФОРМЫ, РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Привить студентам навыки в нормировании допусков формы, расположения поверхностей и параметров шероховатости с учетом точности выполнения линейных размеров.

В соответствии с заданной конструктивной схемой соединения, вариантом номинальных размеров численных значений предельных зазоров и натягов:

- выбрать систему посадок и стандартную посадку;
- рассчитать допуски формы, расположения поверхностей, параметров шероховатости и принять ближайшие стандартные значения;
- начертить эскизы сопрягаемых деталей, поставить на них стандартные значения полей допусков, размеров, параметров шероховатости, допусков форм и расположения поверхностей.

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задана по варианту конструктивная схема № 5. По условиям сборки шпилька 1 должна быть соединена с корпусом 2 с натягом ($N_{\max} = 74$ мкм, $N_{\min} = 8$ мкм), а с крышкой 3 с зазором ($S_{\max} = 106$ мкм, $S_{\min} = 40$ мкм). Уровень относительной точности В. Номинальный диаметр соединения 20 мм.

1) Определяем допуск посадки и допуск на размеры вала и отверстия.

Допуск посадки по диаметру d

$$TN = N_{\max} - N_{\min} = 74 - 8 = 66 \text{ мкм}$$

Допуск на диаметр шпильки и отверстия в корпусе

$$TD = Td = TN / 2 = 66 / 2 = 33 \text{ мкм}$$

Допуск посадки по диаметру d_1

$$TS = S_{\max} - S_{\min} = 106 - 40 = 66 \text{ мкм}$$

$$TD_1 = Td_1 = TS / 2 = 66 / 2 = 33 \text{ мкм}$$

2) По таблице допусков ГОСТ 25346-82 (Приложение А) с учетом номинального размера соединения (20 мм) и расчетного значения допусков размеров (33 и 33 мкм) определяем ближайший номер качества, соответствующий этим допускам. В нашем примере 8 качество.

3) Посадку шпильки в корпус и в крышку принимаем по системе вала (в рассматриваемом примере одна и та же поверхность шпильки соединяется с отверстием по разной посадке). Следовательно, шпилька будет изготавливаться по диаметру с полем допуска h8 (-0,033).

4) Поля допусков на размер отверстия в корпусе и крышке определяем по ГОСТ 25347-82 из условия обеспечения предельных зазоров и натягов, заданных по варианту.

Ближайшая стандартная посадка:

в соединении шпильки с крышкой

$$\varnothing 20 \frac{E8 \left(\begin{array}{c} +0,073 \\ +0,040 \end{array} \right)}{h8 \left(\begin{array}{c} -0,033 \end{array} \right)}$$

в соединении шпильки с корпусом

$$\varnothing 20 \frac{U8 \left(\begin{array}{c} -0,041 \\ -0,074 \end{array} \right)}{h8 \left(\begin{array}{c} -0,033 \end{array} \right)}$$

5) Рассчитаем численные значения высотных параметров шероховатости для поверхности соединяемых деталей. При выборе параметра шероховатости необходимо учитывать, что параметр Ra является предпочтительным.

В нашем примере вал и отверстие изготавливаются по 8 качеству с допуском на диаметр T = 33 мкм.

В соответствии с таблицей 11.1 при уровне относительной геометрической точности В:

$$Ra / T = 0,025, Ra = 0,025 \cdot T = 0,025 \cdot 33 = 0,82 \text{ мкм.}$$

Таблица 11.1 - Зависимость параметров шероховатости Ra или Rz от уровня относительной геометрической точности

Уровень относительной геометрической точности (T _ф / T)	Ra	Rz
	не более	
A (60%)	0,050	0,20
B (40%)	0,025	0,10
C (25%)	0,012	0,05

Расчетную величину параметра Ra приводим к ближайшему стандартному значению (желательно в сторону увеличения).

По ГОСТ 2789-73 (ПРИЛОЖЕНИЕ В) ближайшее стандартное значение Ra = 1 мкм.

б) Рассчитываем численное значение допусков формы.

В рассматриваемом примере цилиндрическое соединение, поэтому рассчитываем допуск на отклонение от круглости и цилиндричности.

На основе анализа соединения приходим к выводу, что в соединении шпильки с отверстием в крышке нет необходимости в нормировании допусков формы (посадка с зазором, максимальная величина которого превышает 0,1 мм);

в соединении шпильки с отверстием в корпусе - посадка с натягом, точность формы может повлиять на прочность соединения. Из таблицы 11.1 для уровня точности В, отношение $T_f / T = 40\%$,

где T_f – допуск на отклонение формы, мкм;

T – допуск на линейный размер, мкм.

Для цилиндрических деталей допуски формы принимаются равными половине допуска формы плоских поверхностей, приведенных в таблице 11.1.

В рассматриваемом примере допуск на диаметр d : $T = 33$ мкм, с учетом уровня геометрической точности В $T_f / T = 0,5 \cdot (40\%)$, отсюда

$$T_f = T \cdot (20\%) = 33 \cdot 0,2 = 6,6 \text{ мкм.}$$

Расчетную величину допуска формы приводим к ближайшему стандартному значению (в сторону увеличения). По ГОСТ 24643-81 (ПРИЛОЖЕНИЕ Д) находим стандартное значение допуска на отклонение от круглости и цилиндричности $T_f = 10$ мкм, что соответствует 7 степени точности формы.

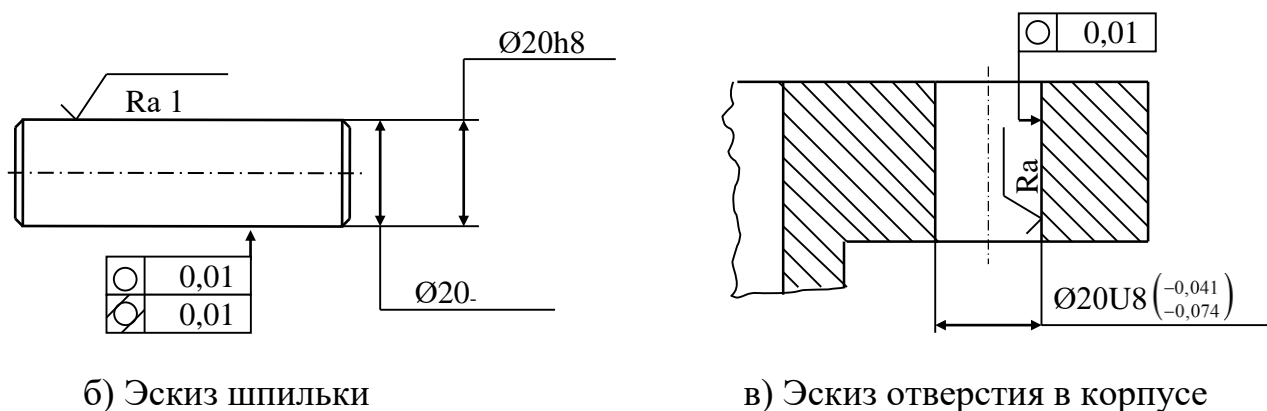
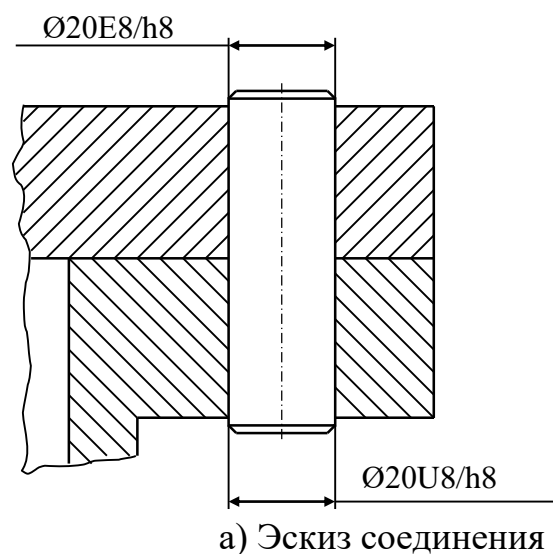


Рисунок 11.1 - Примеры оформления эскизов

ЗАДАНИЕ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ

3.1 Ознакомиться с методикой определения отклонения формы, расположения поверхностей и параметров шероховатости.

3.2 По заданному преподавателем варианту (таблица 11.2) выбрать посадку, рассчитать и определить значение параметра шероховатости вала и отверстия.

4		<p>Подвижное соединение плунжера 1 с корпусом насоса 2 по диаметру d. Легко разборное соединение крышки 3 с корпусом насоса 2 по диаметру d_1</p>	15	$d = 20$ $d_1 = 20$	$S_{\max} = 33, S_{\min} = 7$ $S_{\max} = 46, S_{\min} = 20$	C B
			16	$d = 30$ $d_1 = 30$	$S_{\max} = 62, S_{\min} = 20$ $S_{\max} = 82, S_{\min} = 40$	C B
			17	$d = 40$ $d_1 = 40$	$S_{\max} = 31, S_{\min} = 9$ $S_{\max} = 47, S_{\min} = 25$	C A
			18	$d = 60$ $d_1 = 60$	$S_{\max} = 48, S_{\min} = 10$ $S_{\max} = 68, S_{\min} = 30$	B A
5		<p>Неподвижное соединение штифта 1 с корпусом цилиндра 2 и с зазором с крышкой 3</p>	19	$d_1 = 16$ $d_2 = 16$	$N_{\max} = 39, N_{\min} = 3$ $S_{\max} = 42, S_{\min} = 6$	B -
			20	$d_1 = 30$ $d_2 = 30$	$N_{\max} = 81, N_{\min} = 15$ $S_{\max} = 106, S_{\min} = 40$	A -
			21	$d_1 = 12$ $d_2 = 12$	$N_{\max} = 60, N_{\min} = 6$ $S_{\max} = 70, S_{\min} = 16$	B -
			22	$d_1 = 24$ $d_2 = 24$	$N_{\max} = 48, N_{\min} = 6$ $S_{\max} = 49, S_{\min} = 7$	A -
			23	$d_1 = 20$ $d_2 = 20$	$N_{\max} = 48, N_{\min} = 6$ $S_{\max} = 62, S_{\min} = 20$	B -
6		<p>Неподвижное соединение зубчатого колеса 1 со ступицей 2 по диаметру d и по переходной или с зазором посадке по диаметру d_1</p>	24	$d = 220$ $d_1 = 200$	$N_{\max} = 176, N_{\min} = 84$ $S_{\min} = 69, N_{\max} = 23$	A -
			25	$d = 320$ $d_1 = 300$	$N_{\max} = 247, N_{\min} = 133$ $S_{\max} = 160, S_{\min} = 56$	A -
			26	$d = 160$ $d_1 = 145$	$N_{\max} = 68, N_{\min} = 18$ $N_{\max} = 43, S_{\max} = 37$	A -
			27	$d = 630$ $d_1 = 600$	$N_{\max} = 148, N_{\min} = 8$ $N_{\max} = 55, S_{\max} = 110$	A -
			28	$d = 200$ $d_1 = 185$	$N_{\max} = 308, N_{\min} = 164$ $S_{\max} = 194, S_{\min} = 50$	A -

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 12 АНАЛИЗ И РАСЧЕТ ПЛОСКИХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

ЦЕЛЬ ВЫПОЛНЯЕМОЙ РАБОТЫ

Научиться составлять конструкторские размерные цепи и рассчитывать допуски на их звенья по методу максимум - минимум и вероятностным методом.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ГОСТ 25346-89, ГОСТ 25347-89, ГОСТ 16319-80, ГОСТ 16320-80, сборочные чертежи узлов и рабочие чертежи деталей автотракторной техники, сельскохозяйственных и перерабатывающих машин.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Методы расчета размерных цепей

При расчетах размерных цепей могут решаться прямая и обратная задачи. При решении прямой задачи, исходя из установленных требований к замыкающему звену, определяют номинальные размеры, допуски, координаты середин полей допусков и предельные отклонения всех составляющих размерную цепь звеньев. При решении обратной задачи, исходя из значений номинальных размеров, допусков, координат их середин, предельных отклонений составляющих звеньев, определяют те же характеристики замыкающего звена. Решением обратной задачи можно проверить правильность решения прямой задачи.

В размерных цепях, в которых должна быть обеспечена полная взаимозаменяемость, допуски рассчитывают по методу максимума - минимума. Размерные цепи, для которых экономически оправдан риск возможного выхода за пределы поля допуска замыкающих звеньев, рассчитывают вероятностным методом. Существуют так же методы пригонки, регулирования и групповой взаимозаменяемости (селективной сборки), которые в данной работе не рассматриваются.

Порядок построения размерных цепей

Размерная цепь изображается в виде замкнутой схемы, образованной вокруг замыкающего звена. Обычно замыкающим звеном является расстояние между поверхностями деталей или их осями, которое требуется обеспечить при конструировании (сборке) изделия. Каждое звено цепи представляет конкретный размер какой либо детали. Начинается построение от одной из поверхностей (осей) замыкающего звена. В цепь последовательно включаются только те звенья, которые непосредственно участвуют в решении поставленной задачи. Замыкается цепь у второй поверхности (оси), ограничивающей замыкающее звено.

Основные расчетные формулы

1 Номинальный размер замыкающего звена размерной цепи A_{Δ} связан с остальными звеньями A_i формулой

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai} A_i, \quad (12.1)$$

где $i = 1, 2, \dots, m$ - порядковый номер звена;

ξ_{Ai} - передаточное отношение i -го звена размерной цепи.

Для линейных цепей с параллельными звеньями передаточные отношения равны:

$\xi_i = 1$ - для увеличивающих звеньев;

$\xi_i = -1$ - для уменьшающих звеньев.

Для таких цепей выражение (3.1) примет вид

$$A_{\Delta} = \sum A_{ув} - \sum A_{ум} , \quad (12.2)$$

где $A_{ув}$ - размеры увеличивающих звеньев,

$A_{ум}$ - размеры уменьшающих звеньев.

2 Координата середины поля допуска $ЕС_{\Delta}$ замыкающего звена связана с координатами середин полей допусков остальных звеньев цепи формулой

$$ЕС_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i ЕС_i , \quad (12.3)$$

Для линейных цепей с параллельными звеньями

$$ЕС_{\Delta} = \sum ЕС_{Аувел} - \sum ЕС_{Аумен} , \quad (12.4)$$

где

$$ЕС_{\Delta} = (ES_{\Delta} + EI_{\Delta}) / 2 , \quad (12.5)$$

$$ЕС_i = (ES_i + EI_i) / 2 , \quad (12.6)$$

3 Допуск замыкающего звена T_{Δ} связан с допусками звеньев цепи формулами: при расчете по методу максимума - минимума

$$|T_{\Delta}| = \sum_{i=1}^{m-1} \zeta_i T_i , \quad (12.7)$$

для линейных цепей с параллельными звеньями

$$T_{\Delta} = \sum T_{Аувел} + \sum T_{Аумен} , \quad (12.8)$$

где

$$T_{\Delta} = ES_{\Delta} - EI_{\Delta} , \quad (12.9)$$

$$T_i = ES_i - EI_i , \quad (12.10)$$

при расчете по вероятностному методу

$$T_{\Delta} \geq t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 T_i^2} , \quad (12.11)$$

При нормальном законе распределения отклонений коэффициент λ_i^2 равен $1/9$.

Коэффициент риска t_{Δ} выбирается в зависимости от принятого риска P

Риск P %	32,00	10,00	4,50	1,00	0,27	0,10	0,01
Коэффициент t_{Δ}	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	3,29	3,89

Если принять $P = 0,27\%$, то для линейных цепей с параллельными звеньями уравнение 12.11 примет вид

$$T_{\Delta} \geq \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} T_i^2} , \quad (12.12)$$

4 Верхнее и нижнее отклонения для любого составляющего звена можно определить, пользуясь координатами середины поля допуска $ЕС_i$ и половиной поля допуска $T_{Аi} / 2$.

$$ES_i = ЕС_i + T_i / 2 , \quad (12.13)$$

$$EI_i = ЕС_i - T_i / 2 , \quad (12.14)$$

По аналогии для замыкающего звена

$$ES_{\Delta} = EC_{\Delta} + T_{\Delta} / 2 , \quad (12.15)$$

$$EI_{\Delta} = EC_{\Delta} - T_{\Delta} / 2 , \quad (12.16)$$

Для размерных цепей, решаемых методом полной взаимозаменяемости, отклонения размеров замыкающего звена и всех остальных звеньев цепи связаны уравнениями:

$$ES_{\Delta} = \sum ES_{\text{увел}} - \sum EI_{\text{умен}} , \quad (12.17)$$

$$EI_{\Delta} = \sum EI_{\text{увел}} - \sum ES_{\text{умен}} , \quad (12.18)$$

Если задаться условием, что все звенья, для которых рассчитываются допуски, относятся к одному качеству точности, то средний коэффициент точности a в формуле допуска вычисляется по формулам:

при расчете по методу максимум - минимум:

$$a_{\text{ср}} = (T_{\Delta} - \sum T_{\text{изв}}) / \sum i_{\text{не изв}} , \quad (12.19)$$

где $T_{\text{изв}}$ - допуски известных звеньев;

$i_{\text{не изв}}$ - единицы допуска на размеры звеньев, для которых необходимо определить качество точности;

при расчете по вероятностному методу:

$$a = \sqrt{T_{\Delta}^2 - \sum T_{\text{изв}}^2} / \sqrt{\sum i_{\text{не изв}}^2} , \quad (12.20)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с комплектом документов ЕСДП.
2. Изучить конструкцию узла редуктора.
3. Изучить методику и последовательность решения прямой и обратной задач на примерах, приведенных в методических указаниях.
4. По указанию преподавателя самостоятельно решить прямые и обратные задачи.

КОНСТРУКЦИЯ УЗЛА

Рассмотрим конструкцию узла (рисунок 12.1), для которого решаются задачи по расчетам размерных цепей. На вал 12 установлены: шестерня цилиндрическая 3, распорная втулка 4, шарикоподшипник радиально-упорный 7 (№ 36208), распорная втулка 8, шарикоподшипник радиально-упорный 10 (№ 36208), шестерня коническая 11. Детали прижимаются шайбой 2 к правому буртику вала при затяжке болта 1. Наличие зазоров A_{Δ} , B_{Δ} , и D_{Δ} гарантирует отсутствие осевого люфта при работе узла. Вал вместе с шарикоподшипниками установлен внутри стакана 9. Наружные кольца подшипников поджимаются крышкой 5. Зазор K_{Δ} предназначен для размещения в нем регулировочных прокладок. Стакан вставляется в отверстие корпуса 6. Зазор M_{Δ} между фланцем стакана 9 и корпусом 6 заполняется прокладками при регулировке зазора $0^{+0,08}$ в конической передаче.

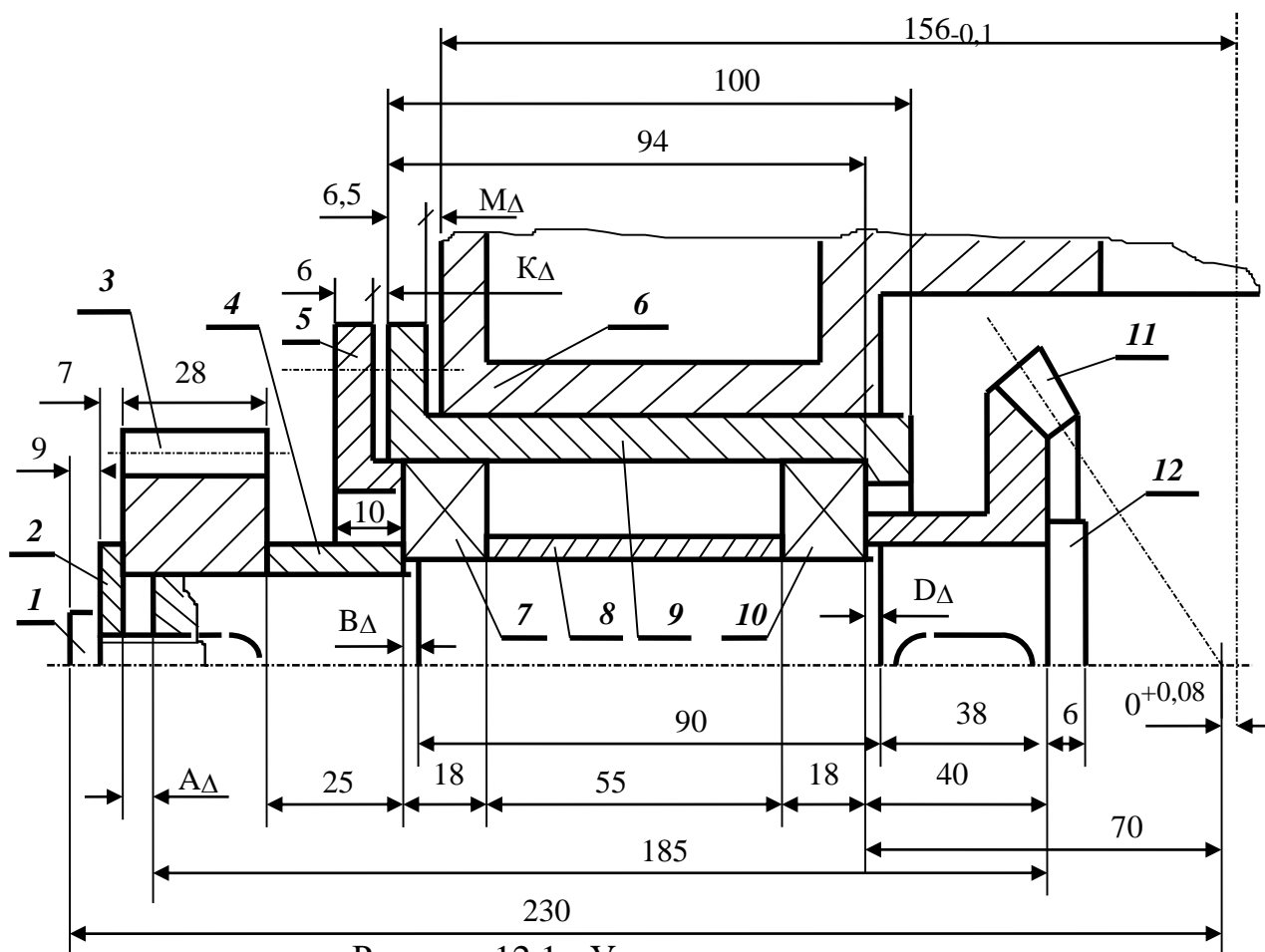


Рисунок 12.1 - Узел редуктора

РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ

Задача. Задан размер и допуск замыкающего звена $A_{\Delta} = 2 \pm 0,5$ (рисунок 12.1). Уточнить размеры, определить допуски, координаты середин полей допусков и предельные отклонения всех составляющих размерную цепь звеньев.

Последовательность решения прямой задачи

- 1 Выполнить размерный анализ цепи с заданным замыкающим звеном.
- 2 Проверить правильность составления размерной цепи.
- 3 Провести расчет допусков на составляющие звенья методом полной взаимозаменяемости (метод максимума - минимума).
 - Вычислить допуск замыкающего звена.
 - Установить единицы допуска составляющих звеньев, допуски которых требуется определить.
 - Вычислить средний коэффициент точности размерной цепи.
 - Установить квалитет, по которому следует назначить допуски на составляющие звенья.
 - По установленному квалитету назначить допуски на составляющие звенья.
 - Сделать проверку правильности назначения допусков, при необходимости изменить допуски для корректируемых звеньев.
 - Назначить отклонения на составляющие звенья.
 - Сделать проверку правильности назначения предельных отклонений, при необходимости рассчитать отклонения корректирующего звена.

4 В аналогичном порядке проводится расчет допусков на составляющие звенья вероятностным методом.

Составление и размерный анализ цепи

При составлении размерной цепи необходимо уяснить, что представляет замыкающее звено, как оно образуется и на что влияет. Выявить детали, влияющие на размер замыкающего звена.

Зазор A_{Δ} (рисунок 12.2) образуется при затяжке болта 1, который шайбой 2 прижимает пакет деталей к буртику вала 12. На размер зазора влияют длинные размеры шестерни цилиндрической 3, распорных втулок 4 и 8, двух подшипников 7 и 10, ширина ступицы конической шестерни 11 и длина вала от буртика до левого торца. Сумма длинных размеров деталей пакета должна быть больше размера вала от буртика до левого торца на величину зазора A_{Δ} .

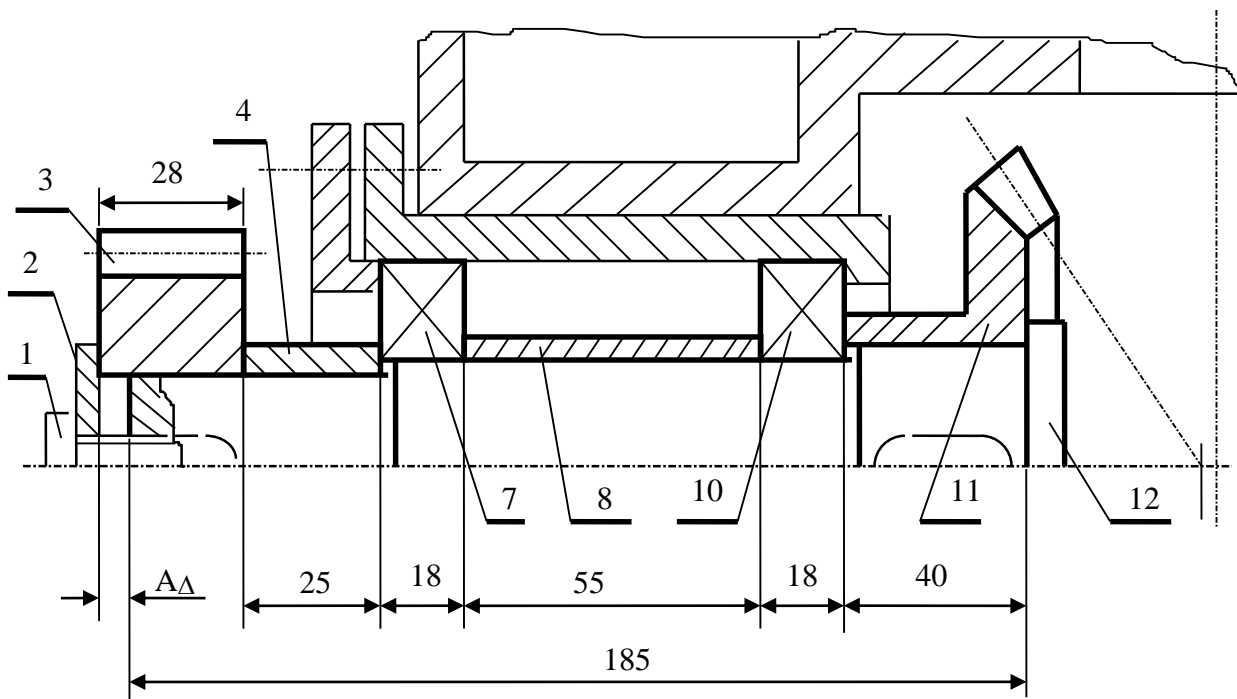


Рисунок 12.2 - Детали размерной цепи

Начинается построение схемы от одной стороны замыкающего звена и заканчивается у другой (рисунок 12.3).

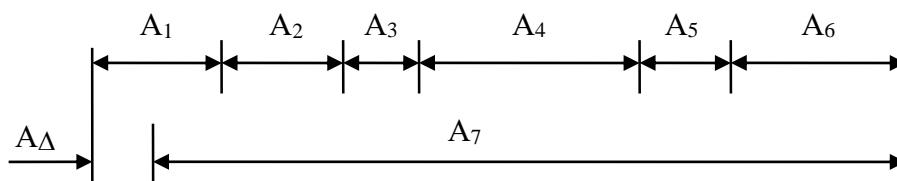


Рисунок 12.3 - Схема размерной цепи

Общее количество звеньев - 8.

Звенья $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ - увеличивающие.

Звено A_7 - уменьшающее.

Правильность составления размерной цепи и согласованность длин звеньев проверяем по формуле 12.2

$$2 = 28 + 25 + 18 + 55 + 18 + 40 - 185$$

$$2 \neq -1$$

Условие не соблюдается, следовательно, необходимо уточнить размер одного из звеньев. Желательно менять размер, корректировка которого не повлечет изменения размеров других деталей. Уменьшим размер вала A_7 на 3 мм, приняв его равным 182 мм.

$$\begin{aligned} \text{Проверка:} \quad & 2 = 28 + 25 + 18 + 55 + 18 + 40 - 182 \\ & 2 = 2 \end{aligned}$$

Расчет размерной цепи по методу полной взаимозаменяемости

Допуск замыкающего звена вычисляем по формуле 12.9

$$T_{\Delta} = ES_{\Delta} - EI_{\Delta} = 0,5 - (-0,5) = 1 \text{ мм} = 1000 \text{ мкм}$$

Выявляем звенья цепи, для которых допуски известны, и те звенья, для которых необходимо их рассчитать.

Шарикоподшипники № 36208 изготавливаются с допускаемыми отклонениями ширины кольца $es = 0$; $ei = -120 \text{ мкм}$ [3]. Допуск на ширину кольца вычисляем по формуле 12.10

$$TA_3 = TA_5 = 0 - (-120) = 120 \text{ мкм.}$$

По типовым технологическим процессам цилиндрические шестерни, нарезаемые в пакете на зубофрезерных станках, шлифуются по боковым поверхностям с точностью не грубее 11 квалитета точности. Для звена A_1 допуск на размер 28 по 11 квалитету точности $TA_1 = 130 \text{ мкм}$. Так как это относительно грубый допуск, то для звена A_1 допуск следует рассчитать.

При строгании зубьев конических шестерен размер по высоте ступицы является технологической базой. Он должен исполняться по 9 квалитету точности. Тогда для звена A_6 допуск на размер 40 по 9 квалитету точности $TA_6 = 62 \text{ мкм}$.

Если принять условие, что размеры остальных звеньев цепи выполнены по какому-либо одному квалитету точности, то для них необходимо вычислить средний коэффициент точности a_{cp} по формуле 12.19. Значения единиц допуска для рассчитываемых звеньев определяем по таблице 2 «Приложения» и заносим в таблицу 12.1

Таблица 12.1 - Значения единиц допуска и допуски звеньев

Обозначение звена	A_1	A_2	A_4	A_7
Номинальный размер	28	25	55	182
Единица допуска	1,31	1,31	1,86	2,89
Допуски табличные, мкм	130	130	190	290
Допуски принятые, мкм	130	130	148	290

Средний коэффициент точности a_{cp} :

$$a_{cp} = (1000 - (120 + 120 + 62)) / (1,31 + 1,31 + 1,86 + 2,89) = 94,71$$

Стандартное ближайшее значение коэффициента точности «а» равно 100 (таблица 3), что соответствует 11 квалитету точности. Находим по принятому квалитету в таблице 1 значения допусков для рассчитываемых звеньев и заносим в предпоследнюю строку таблицы 12.1

Проверяем принятые допуски по условию 9.8

$$1000 = ? = 130 + 130 + 120 + 190 + 120 + 62 + 290$$

$$1000 \neq 1042$$

Условие не выполняется. Необходимо скорректировать допуск одного из звеньев, уменьшив его на 42 мкм. Уменьшить допуск, т. е. сделать его более «жестким», следует для наиболее простого в изготовлении звена. К таким звеньям относятся распорные втулки A_2 и A_4 . Уменьшаем допуск для втулки A_4 , т. к. повышение точности размера A_4

облегчит регулировку затяжки подшипников (рисунок 12.1). Принимаем для него допуск $TA_4 = 148$ мкм.

Отклонения на звенья назначаем, руководствуясь принципом: допуск назначается «в тело», т. е. для охватывающих размеров - как на основное отверстие, для охватываемых - как на основной вал. Если размер не «вал» и не «отверстие», то назначаются симметричные отклонения.

Шестерня, размер A_1 - «вал», $es = 0$, $ei = -130$ мкм

Втулка, размер A_2 - «вал», $es = 0$, $ei = -130$ мкм

Подшипники, размеры $A_3 = A_5$ - «валы», $es = 0$, $ei = -120$ мкм

Втулка, размер A_4 - «вал», $es = 0$, $ei = -148$ мкм

Ступица шестерни, размер A_6 - «вал», $es = 0$, $ei = -62$ мкм

Вал, размер A_7 - «ступень», $es = 145$ мкм, $ei = -145$ мкм

Проверяем назначенные допуски по условиям :

$$ES_{\Delta} = \sum ES_{увел} - \sum EI_{умень} \quad (3.17)$$

$$500 = ? = 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 - (-145)$$

$$500 \neq 145$$

$$EI_{\Delta} = \sum EI_{увел} - \sum ES_{умень} \quad (3.18)$$

$$-500 = ? = (-130) + (-130) + (-120) + (-148) + (-120) + (-62) - 145$$

$$-500 \neq -855$$

Условие не выполняется. Необходима корректировка. В качестве корректируемого звена выбираем вал A_7 . Новые значения ES и EI вычисляем, используя уравнения 12.17 и 12.18

$$500 = 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 - EI_{A7}$$

$$EI_{A7} = -500 \text{ мкм}$$

$$-500 = (-130) + (-130) + (-120) + (-148) + (-120) + (-62) - ES_{A7}$$

$$ES_{A7} = -210 \text{ мкм}$$

Результаты расчетов на максимум - минимум заносим в последнюю строку таблицы 12.1 и в таблицу 12.3.

Расчет размерной цепи вероятностным методом

Средний коэффициент точности размерной цепи вычисляем по уравнению 12.20

$$a_{cp} = \sqrt{10002 - (120^2 + 120^2 + 62^2)} / \sqrt{1,31^2 + 1,31^2 + 1,86^2 + 2,89^2} = 251,9$$

Ближайшее стандартное значение коэффициента точности a равно 250 (таблица 3), что соответствует 13 качеству точности. Находим по принятому качеству в таблице 1 значения допусков для рассчитываемых звеньев и заносим в предпоследнюю строку таблицы 12.2.

Таблица 12.2 - Допуски звеньев при вероятностном расчете

Обозначение звена	A_1	A_2	A_4	A_7
Номинальный размер	28	25	55	182
Единица допуска	1,31	1,31	1,86	2,89
Допуски табличные, мкм	330	330	460	720
Допуски принятые, мкм	130	330	460	780

Проверяем расчетные допуски по условию 12.12

$$1000 \geq \sqrt{330^2 + 330^2 + 120^2 + 460^2 + 120^2 + 62^2 + 780^2}$$

$$1000 > 990,2$$

Условие соблюдается, но по технологическому процессу изготовления шестерни допуск на размер A_1 должен быть выдержан по 11 качеству точности (130 мкм). Если принять для звена A_1 допуск 130 мкм, то для другого звена допуск следует увеличить. Увеличиваем допуск, т. е. делаем его более свободным для звена A_7 , потому что вал сложнее в изготовлении, чем распорные втулки. Путем подбора принимаем $T_{A7} = 780$ мкм.

Проверка:

$$1000 \geq \sqrt{130^2 + 330^2 + 120^2 + 460^2 + 120^2 + 62^2 + 780^2}$$

$$1000 > 989,2$$

Назначаем отклонения на звенья.

Шестерня, размер A_1 - «вал», $es = 0$, $ei = -130$ мкм

Втулка, размер A_2 - «вал», $es = 0$, $ei = -330$ мкм

Подшипники, размеры $A_3 = A_5$ - «валы», $es = 0$, $ei = -120$ мкм

Втулка, размер A_4 - «вал», $es = 0$, $ei = -460$ мкм

Ступица шестерни, размер A_6 - «вал», $es = 0$, $ei = -62$ мкм

Вал, размер A_7 - «ступень», $es = 390$, $ei = -390$ мкм

Вычисляем координаты середин полей допусков по уравнениям:

$$ES_{\Delta} = (ES_{\Delta} + EI_{\Delta}) / 2 ; \quad (9.5)$$

$$ES_i = (ES_i + EI_i) / 2 . \quad (9.6)$$

$$ES_{\Delta} = (500 + (-500)) / 2 = 0$$

$$ES_{A1} = (0 + (-130)) / 2 = -65 \text{ мкм}$$

$$ES_{A2} = (0 + (-330)) / 2 = -165 \text{ мкм}$$

$$ES_{A3} = ES_{A5} = (0 + (-120)) / 2 = -60 \text{ мкм}$$

$$ES_{A4} = (0 + (-460)) / 2 = -230 \text{ мкм}$$

$$ES_{A6} = (0 + (-62)) / 2 = -31 \text{ мкм}$$

$$ES_{A7} = (390 + (-390)) / 2 = 0$$

Координаты середин полей допусков необходимо проверить по условию:

$$ES_{\Delta} = \sum ES_{\text{Аувел}} - \sum ES_{\text{Аумен}} \quad (9.4)$$

$$0 = ? = (-65) + (-165) + (-60) + (-230) + (-60) + (-31) - 0$$

$$0 \neq -611$$

Условие не соблюдается. Смещаем координату середины допуска корректируемого звена A_7 на выявленную разницу в 611 мкм.

$$ES_{A7} = 0 - 611 = -611$$

Проверка:

$$0 = ? = (-65) + (-165) + (-60) + (-230) + (-60) + (-31) - (-611)$$

$$0 = 0$$

Отклонения для корректируемого звена:

$$ES_{A7} = ES_{A7} + T_{A7} / 2 = -611 + 780/2 = -221 \text{ мкм} ; \quad (12.13)$$

$$EI_{A7} = ES_{A7} - T_{A7} / 2 = -611 - 780/2 = -1001 \text{ мкм} . \quad (12.14)$$

Результаты расчетов заносим в таблицу 12.3.

Таблица 12.3 - Результаты расчета размерной цепи

Обозначение звена		A _Δ	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Вид звена	зам.	увел.	увел.	увел.	увел.	увел.	увел.	увел.	умен
Размер по чертежу, мм	2 ±0,5	28	25	18-0,12	55	18-0,12	40	185	
Размер после кор-рект., мм	2 ±0,5	28	25	18-0,12	55	18-0,12	40-0,062	182	
Единица допуска, мкм	–	1,31	1,31	–	1,86	–	–	2,89	
Расчет на максимум - минимум									
Доп., мкм	табл.	–	130	130	–	190	–	–	290
	прин.	–	130	130	–	148	–	–	290
Откл. мкм	верх.	500	0	0	0	0	0	0	-210
	нижн.	-500	-130	-130	-120	-148	-120	-62	-500
Результаты расчета, мм	2	0,5	28	25	18	55	18	40	-0,21
		-0,5	-0,13	-0,13	-0,12	-0,148	-0,12	-0,062	182 -0,50
Расчет вероятностным методом									
Доп., мкм	табл.	–	330	330	–	460	–	–	720
	прин.	–	130	330	–	460	–	–	780
Откл. мкм	верх.	500	0	0	0	0	0	0	-221
	нижн.	-500	-130	-330	-120	-460	-120	-62	-1001
Коорд. сер. поля доп., мкм	0	-65	-165	-60	-230	-60	-32	-611	
Результаты расчета, мм	2	0,5	28	25	18	55	18	40	-0,221
		-0,5	-0,13	-0,33	-0,12	-0,46	-0,12	-0,062	182 -1,001

Вывод: Применение вероятностного метода расчета позволяет увеличить допуски звеньев в 2,5 раза.

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ

Задача. Определить номинальные размеры и предельные отклонения зазоров В_Δ и D_Δ (рисунок 12.1). Известно, что длинные размеры вала 12 имеют отклонения ± IT12/2. Номинальные размеры и предельные отклонения остальных деталей принять по результатам решения прямой задачи на максимум-минимум в таблице 12.3.

Последовательность решения обратной задачи

Выполнить анализ размерной цепи.

Вычислить номинальный размер замыкающего звена.

Вычислить предельные отклонения замыкающего звена и его допуск.

Зазоры B_{Δ} и D_{Δ} образуются при затяжке болта 1, который прижимает пакет деталей к буртику вала 12. На размеры зазоров влияют длинные размеры ступицы конической шестерни 11, подшипников 7 и 10, распорной втулки 8, вала 12.

Начинается построение схем от одной стороны замыкающего звена и заканчивается у другой (рисунок 12.1, рисунок 12.4).

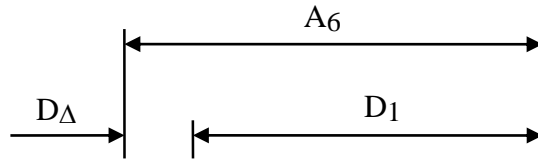


Рисунок 12.4 - Схема размерной цепи для зазора D_{Δ}

Общее количество звеньев - 3

Звено A_6 - увеличивающее.

Звено D_1 - уменьшающее.

Номинальный размер замыкающего звена D_{Δ} вычисляем по формуле 12.2

$$D_{\Delta} = A_6 - D_1$$

$$D_{\Delta} = 40 - 38 = 2$$

Верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена вычисляем по формулам 12.17 и 12.18

$$ES_{D_{\Delta}} = ES_{A_6} - EI_{D_1}$$

Для звена D_1 величины предельных отклонений по 12 качеству равны: $ES = 125$ мкм, $EI = -125$ мкм.

$$ES_{D_{\Delta}} = 0 - (-125) = 125 \text{ мкм}$$

$$EI_{D_{\Delta}} = EI_{A_6} - ES_{D_1}$$

$$EI_{D_{\Delta}} = -62 - 125 = -187 \text{ мкм}$$

Допуск замыкающего звена $T_{D_{\Delta}}$ вычисляем по формуле 12.9

$$T_{D_{\Delta}} = 125 - (-187) = 312 \text{ мкм}$$

Проверка по формуле 12.8

$$T_{D_{\Delta}} = 62 + 250 = 312 \text{ мкм}$$

Решение правильное.

Результаты расчета заносим в таблицу 12.4

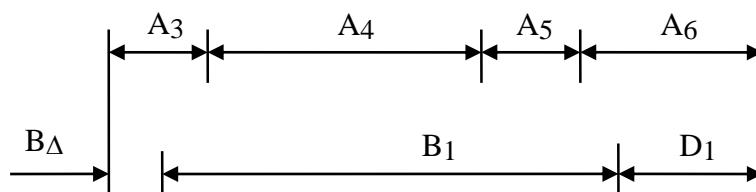


Рисунок 12.5 - Схема размерной цепи для зазора B_{Δ}

Общее количество звеньев - 7

Звенья A_3, A_4, A_5, A_6 - увеличивающие.

Звенья B_1, D_1 - уменьшающие.

Вычисляем номинальный размер замыкающего звена B_{Δ}

$$B_{\Delta} = A_3 + A_4 + A_5 + A_6 - B_1 - D_1$$

$$B_{\Delta} = 18 + 55 + 18 + 40 - 90 - 38 = 3 \text{ мм}$$

Вычисляем верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена B_{Δ}

$$ES_{B_{\Delta}} = ES_{A_3} + ES_{A_4} + ES_{A_5} + ES_{A_6} - EI_{B_1} - EI_{D_1}$$

Для звена B_1 величины предельных отклонений по 12 качеству равны: $ES = 175$ мкм, $EI = -175$ мкм.

$$ES_{B\Delta} = 0 + 0 + 0 + 0 - (-175) - (-125) = 300 \text{ мкм}$$

$$EI_{B\Delta} = EI_{A3} + EI_{A4} + EI_{A5} + EI_{A6} - ES_{B1} - ES_{D1}$$

$$EI_{B\Delta} = (-120) + (-148) + (-120) + (-62) - 175 - 125 = -750 \text{ мкм}$$

Допуск замыкающего звена $T_{B\Delta}$ вычисляем по формуле 9.9

$$T_{B\Delta} = 300 - (-750) = 1050 \text{ мкм}$$

Проверка по формуле 9.8

$$T_{D\Delta} = 120 + 148 + 120 + 62 + 350 + 250 = 1050 \text{ мкм}$$

Решение правильное.

Результаты расчета заносим в таблицу 12.4

Таблица 12.4 - Результаты решения обратной задачи

Обозначение звена		A_3	A_4	A_5	A_6	B_1	D_1	B_{Δ}	D_{Δ}
Вид звена		увел.	увел.	увел.	увел.	умен.	умен.	зам.	зам.
Размер по чертежу, мм		18	55	18	40	90	38	3	2
Допуск звена, мкм		120	148	120	62	350	250	1050	312
Откл. мкм	верх.	0	0	0	0	175	125	300	125
	нижн.	-120	-148	-120	-62	-175	-125	-750	-187

Вывод. Зазор B_{Δ} можно уменьшить за счет увеличения размера звена B_1 .

ЗАДАНИЯ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ

1 Заданы размер и предельные отклонения зазора $M_{\Delta} = 1,5^{+0,6}$ для установки регулировочных прокладок (рисунок 12.1). Уточнить размеры, определить допуски, координаты середин полей допусков и предельные отклонения всех составляющих размерную цепь звеньев.

2 Рассчитать толщину и предельные отклонения набора регулировочных прокладок, устанавливаемых в зазор K_{Δ} (рисунок 12.1).

3 Рассчитать размерные цепи механизма.

4 Рассчитать размерные цепи коробки перемены передач трактора.

5 Рассчитать размерные цепи топливного насоса.

6 Рассчитать размерные цепи механизма высевающего аппарата сеялки.

7 Рассчитать размерные цепи автомобильного двигателя.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1 Что означает термин «Размерная цепь»?

2 Что можно считать звеном размерной цепи?

3 Из каких звеньев состоят размерные цепи?

4 Каким уравнением связаны номинальные размеры звеньев размерной цепи?

5 Каким уравнением связаны координаты середин полей допусков звеньев?

- 6 Объясните термин: «передаточное отношение звена размерной цепи».
 - 7 Какие цели ставят при решении прямой и обратной задач при расчетах размерных цепей?
 - 8 Что гарантирует расчет размерной цепи на максимум-минимум?
 - 9 Какие достоинства у вероятностного метода расчета?
 - 10 При корректировке допусков для каких звеньев цепи допуски следует увеличивать, для каких - уменьшать?
 - 11 Объясните понятие: «параллельно связанные размерные цепи».
- Объясните понятие: «последовательно связанные размерные цепи».

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТАМИ И УГЛОМЕРАМИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Приобретение навыков пользования штангенинструментами и угломерами.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Штангенциркули различных типов; штангенрейсмас; штангенглубиномер; универсальный угломер (тип УН); транспортирный угломер (тип УМ); поверочная плита; плакаты; детали такой формы, которые можно измерить изучаемыми инструментами.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

К штангенинструментам относятся штангенциркуль, штангенглубиномер, штангенрейсмас и угломер. Они предназначены для измерения линейных и угловых размеров абсолютным методом и для воспроизведения размеров при разметке. Принцип измерения основан на применении специального отчетного устройства – нониуса - вспомогательной шкалы, позволяющей более точно отсчитывать дробные доли основной шкалы. В зависимости от точности отсчета существует три типа нониуса: 0,1; 0,05 и 0,02 мм (2' – для угломера).

2 МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТАМИ

2.1 Измерение штангенциркулем

Штангенциркуль состоит из штанги с неподвижными губками, на которую установлена подвижная рамка с губками. К рамке, которую можно фиксировать на штанге винтом, присоединена линейка нониуса. Для установки необходимого размера при разметочных работах некоторые штангенциркули снабжены устройством, состоящим из микрометрического винта, гайки, хомута и зажимного винта. У некоторых штангенциркулей есть дополнительная линейка для измерения глубины.

Перед началом измерительных работ, необходимо проверить соответствие инструмента техническим требованиям. Для проверки пригодности инструмента к измерениям необходимо измерительные губки сдвинуть до полного соприкосновения с помощью усилия большого пальца. Между губками не должно быть просвета, а начальные штрихи основной и нониусной шкал должны совпадать. При этом поверхности губок должны быть без искривлений и забоин. При затяжке стопорного винта рамки не должно возникать сдвига нониусной шкалы относительно основной.

При измерении штангенциркулем линейных размеров необходимо измерительные губки к детали подводить плавно. Измерительное усилие создавать легким прижимом, перемещая рамку по штанге, предварительно ослабив зажимные винты. Затем стопорят рамку инструмента, снимают его с детали и считывают полученный размер следующим образом:

- определяют число целых делений по основной шкале на штанге, после которого поместилось нулевое деление шкалы нониуса;
- находят по шкале нониуса деление, которое полностью совпало с каким-либо делением основной шкалы;

- сложив показания основной шкалы с отчетом по нониусу, получают полный размер.

Пример определения показаний инструмента при точности отсчета 0,05 мм приведен на рисунке 1.1

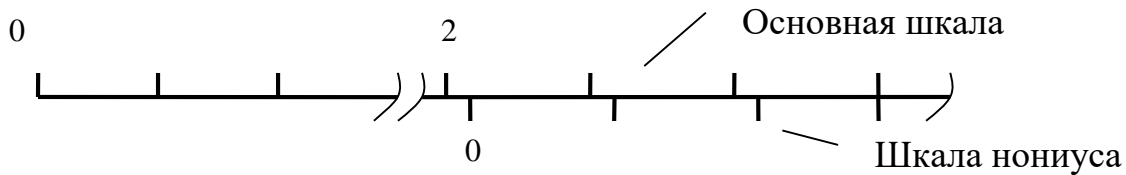


Рисунок 1.1 - Отсчет показаний: $20 + 3 \cdot 0,05 = 20,15$ мм

Примечания:

При измерении внутреннего размера штангенциркулями типа ШЦ-II и ШЦ-III к показанию инструмента прибавляют толщину губок, которая указана на них.

Запрещается создавать измерительное усилие винтом микроподачи, который предназначен только для установки размера.

2.2 Измерение штангенглубиномером

Штангенглубиномер предназначен для измерения расстояния между двумя плоскостями. Основными его частями являются штанга с нанесенными на нее штрихами и подвижная рамка с нониусом (см. плакат). Порядок отсчета показаний такой же, как и у штангенциркуля.

Измерение выполняют в следующем порядке:

- устанавливают штангенглубиномер на деталь так, чтобы поверхность основания плотно прижималась к базовой поверхности детали;
- отпускают штангу до тех пор, пока ее измерительная поверхность не будет плотно, без просвета прижата к измеряемой поверхности детали и прочитывают размер.

2.3 Измерение штангенрейсмасом

Штангенрейсмасом измеряют высоту деталей и проводят разметку. На основании инструмента жестко закреплена штанга. На рамку с нониусом и кронштейном устанавливают сменные наконечники и крепят их хомутом. Положение рамки на штанге фиксируют винтом (см. плакат).

При измерении штангенрейсмас устанавливают по поверочную плиту вместе с деталью. В подвижной рамке укрепляют требуемый наконечник. Опускают или поднимают рамку инструмента так, чтобы наконечник коснулся детали и не было просвета между ними. Закрепив рамку, отодвигают инструмент от детали и прочитывают размер по нониусу.

2.4 Измерение угломером

Угломеры с нониусом предназначены для измерения углов деталей контактным методом с отсчетом по нониусу. Существует два типа угломеров: транспортирные типа УМ и универсальные типа УН. Точность отсчета по нониусам тех и других – $2'$, цена деления основной шкалы – 1° .

Транспортирный угломер предназначен для измерений наружных углов в пределах от 0 до 180° . Основанием угломера является полудиск, на котором нанесена основная шкала на дуге в 120° . С диском жестко скреплена линейка. Подвижная линейка вращается вместе с нониусным сектором вокруг оси. Нониусный сектор связан с микровинтом.

Для точной установки необходимо застопорить винт, и вращая микровинт, добиться требуемого положения нониусной шкалы, зафиксировав его стопорным винтом. На подвижной линейке можно закреплять хомутиком угольник. Углы от 0 до 90° измеряют с установленным угольником. При измерении углов больше 90° угольник снимают. В последнем случае к показаниям угломера нужно прибавить 90° (см. плакат).

Универсальный угломер предназначен для измерений наружных и внутренних углов. Путем различных комбинаций в установке угольника и линейка можно измерять наружные углы от 0 до 180°, а внутренние – от 40 до 180°.

Порядок измерения угломерами следующий:

- устанавливают деталь в удобном для измерения положении;
- собирают угломер для определения заданного угла;
- прижимают угольник, линейку или плоскость сектора к одной грани, а линейку основания ко второй грани измеряемого угла так, чтобы не было просвета;
- результат измерения отсчитывают по нониусу.

3 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ШКАЛЫ НОНИУСА

Принцип построения шкалы нониуса заключается в повышении точности отсчета, связанной с оценкой доли деления основной шкалы.

Точность отсчета по нониусу i в мм определяется по формуле

$$i = c/n,$$

где c – цена деления основной шкалы, мм;

n – число делений шкалы нониуса.

Расстояние между соседними штрихами нониуса (цена деления шкалы нониуса) в мм определяется по формуле

$$b = \gamma \cdot c - i,$$

где γ – модуль, т.е. натуральное число 1, 2, 3, ... служащее для увеличения длины деления шкалы нониуса с целью повышения удобства отсчета.

Длина шкалы нониуса в миллиметрах определяется по формуле

$$l = b \cdot n$$

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Ознакомиться с конструкцией инструментов, методикой подготовки к измерениям и приемами отсчета показаний.

4.2 Провести измерения и вычертить эскиз детали с нанесением измеренных линейных размеров и углов.

4.3 По значениям i , γ , c (таблица 1.1) индивидуально рассчитать и изобразить в относительном масштабе шкалу нониуса.

Таблица 1.1 - Варианты значений для расчета и построения шкалы нониуса

Исходные данные	Варианты											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
i	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05	0,02	0,02	0,02	0,1	0,05	0,02
γ	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	3	3
c	1	2	3	2	4	2	1	2	1	2	1	2

4.4 Заполнить таблицу 1.2 с метрологическими характеристиками инструментов пользуясь таблицей приложения А.

Таблица 1.2 - Метрологические характеристики инструментов

Инструмент	Тип	Основная шкала		Шкала нониуса			Предельная погрешность, мм (мин)
		Цена деления, в мм, (град)	Диапазон измерения, мм, (град)	Точность отсчета, мм (мин)	Модуль	Цена деления, мм (мин)	
Штангенциркуль							
Штангенрейсмус							
Штангенглубиномер							
Угломер							

4.5 Ответить на вопросы и сделать выводы.

5 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- 1 Для каких измерений предназначены штангенинструменты?
- 2 Для чего предназначена нониусная шкала?
- 3 Как проверить пригодность инструментов к измерениям?
- 4 Что такое модуль и как она влияет на удобство отсчета показаний?
- 5 Чем отличаются транспортирный и универсальный угломер?
- 6 Как работать с винтом микроподачи и для чего она предназначена?
- 7 Как производить разметку необходимого размера на заготовке?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ИЗМЕРЕНИЕ АВТОТРАКТОРНЫХ ДЕТАЛЕЙ МИКРОМЕТРИЧЕСКИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Приобретение практических навыков в пользовании микрометрическими инструментами и освоение приемов измерения.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Микрометры гладкие типа МК; нутромеры микрометрические типа НМ; глубиномеры микрометрические типа НМ, автотракторные детали.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Микрометрические измерительные инструменты - это микрометры гладкие для измерения наружных размеров, нутромеры для определения внутренних размеров, глубиномеры, специальные микрометры - листовые, трубные, зубомерные, с резьбовыми вставками и др. Микрометр, микрометрический нутромер и микрометрический глубиномер являются универсальными средствами измерений, которые предназначены для абсолютных измерений линейных размеров контактным методом. Мерительная плоскость пятки и измерительная ножка оснащены пластинками из твердого сплава. Измерительным устройством любого микрометрического инструмента является точно изготовленная микрометрическая головка с диапазоном измерения 0-25 мм, а у микрометрического нутромера 0-13 мм. В микрометрических головках винтовую пару используют как увеличивающее устройство, преобразующее небольшие продольные перемещения винта в большие окружные перемещения шкалы барабана. Цену деления шкалы барабана определяют по формуле

$$i = p/n,$$

где $p=0,5$ – шаг винта, мм;

$n=50$ – число делений шкалы барабана.

$$i = p/n = 0,5/50 = 0,01 \text{ мм}$$

Цену деления шкалы барабана называют точностью отсчета микрометра.

В мировой практике применяются также микрометры с отсчетом показаний на цифровом дисплее. Последнее достижение в области измерительного инструмента — это создание микрометров с мгновенной индикацией, цена деления микрометра 0,01 мм, диапазоны измерения 0...25 и 25...50 мм.

2 МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОМЕТРИЧЕСКИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Перед началом измерений микрометрические инструменты осматривают при необходимости производят установку на нуль. На измерительных поверхностях неподвижной пятке и пятке микровинта, стебле и скошенной части барабана не должно быть царапин, забоин, следов коррозии. Барабан должен свободно и плавно перемещаться вдоль стебля при вращении с помощью трещотки. При зажатом стопоре микрометрический винт не должен проворачиваться от вращения трещотки. Кроме этого проверяют отсутствие люфта в микрометрической головке, для чего прикладывают небольшое продольное усилие к барабану. В случае наличия ощутимого люфта, последний устраняется гайкой, для чего предварительно отворачивается барабан. После проверки микрометры

устанавливают в исходное (нулевое) положение, при котором измерительные поверхности прижаты друг к другу под действием усилия 5...9 Н, обеспечиваемого трещоткой. При правильной установке нулевой штрих шкалы барабана должен совпадать с продольным штрихом на стебле, если этого нет, то инструмент устанавливают на нуль.

Для установки гладкого микрометра на нуль необходимо:

1) Вращением барабана за трещотку свести измерительные поверхности микровинта и неподвижной пятки до соприкосновения (для МК-25, а для остальных пользоваться установочными мерами). Трещоткой провернуть барабан до тех пор, пока ограничитель момента не начнет поворачиваться, о чем свидетельствует наличие характерных щелчков (достаточно 2-3 щелчка);

2) Закрепить микровинт стопором;

3) Придерживая левой рукой барабан за накатанный буртик, правой рукой отвернуть на пол оборота установочный колпачок (для некоторых микрометров необходимо ослабить винт на барабане с шестигранной головкой);

4) Повернуть барабан до совпадения его нулевого штриха с продольной линией на стебле;

5) Придерживая барабан, навернуть установочный колпачок (или затянуть винт);

6) Отпустить стопор, отвести микровинт и трещоткой проверить совпадение нуля.

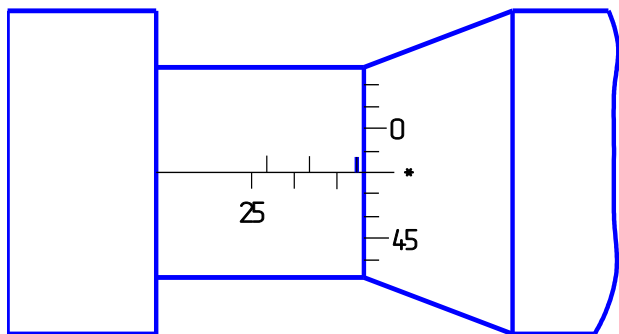
В противном случае повторить установку на нуль.

Настройка глубиномера и нутромера на нуль производится аналогично. Отличие заключается в том, что плотность соприкосновения при настройке нутромера определяется ориентировочно из-за отсутствия у него трещотки. Настройка нутромера осуществляется с применением скобы.

Показания микрометрических инструментов отсчитывают по двум шкалам. Одна из них – основная – нанесена вдоль стебля, а вторая – вспомогательная – на боковой поверхности усеченного конуса барабана.

По делениям шкалы, расположенным под продольной линией стебля, отсчитывают целые миллиметры, по делениям, расположенным над продольной линией, сдвинутым вправо на 0,5 мм относительно нижних – полумиллиметры. Для удобства отсчета каждое пятое нижнее деление шкалы стебля обозначено цифрами 5, 10, 15 и т.д.

Десятые и сотые доли миллиметра отсчитывают по шкале барабана по тому делению, которое совпадает с продольной линией основной шкалы на стебле.



а)

б)

Рисунок 2.1 - Пример считывания размера а) 4,76 мм; б) 27,98 мм.

Установленный на рисунке 2.1 а) размер: $4 + 0,5 + 0,26 = 4,76$ мм т.к. 26-й штрих барабана, отмеченный звездочкой, совпадает с продольной линией основной шкалы. Следует внимательно производить отсчет около нулевого деления на шкале барабана, когда штрих на шкале уже виден.

Установленный на рисунке 2.1 б) размер: $27 + 0,50 + 0,48 = 27,98$ мм, т.к. 48-й штрих барабана, отмеченный звездочкой, совпадает с продольной линией основной шкалы.

Для получения более достоверных результатов измерение производят не менее трех раз и за результат принимают среднее арифметическое из трех измерений.

3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1 Ознакомиться с инструментами, подготовкой к измерениям и отсчетом показаний.

3.2 Начертить эскиз заданной детали с указанием номинального размера измеряемой поверхности.

3.3 Определить допустимое значение отклонения от цилиндричности, от округлости и их условные обозначения показать на эскизе (приложение Ж1).

3.4 Выполнить измерения одной поверхности детали согласно схеме на рисунке 2.2. Результаты измерений занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 - Результаты измерений

Размер	Сечение		
	I-I	II-II	III-III
max			
min			

3.5 Определить действительные значения отклонения от округлости и цилиндричности.

Отклонение от округлости наиболее полно контролируется на специальных приборах – кругломерах, на которых реальный профиль сравнивается с траекторией точного вращения, осуществляемого шпинделем прибора. Возможны также измерения в регулируемом кольце, диаметр которого равен диаметру прилегающей окружности.

Приблизительно отклонение от округлости детали может быть найдено как полуразность между максимальным и минимальным диаметром в измеряемом сечении, рисунок 2.2 а). Максимальные и минимальные диаметры определяются серией измерений в различных направлениях при поворачивании детали относительно инструмента.

Цилиндричность детали может быть определена путем измерения ее в поперечном и продольном сечениях. Отклонение от цилиндричности упрощенно может быть определено как полуразность между наибольшим и наименьшим диаметрами поверхности, измеренными в различных сечениях, например I-I, II-II, III-III рисунок 2.2 б).

Максимальные и минимальные диаметры в каждом сечении определяются серией измерений в различных направлениях при поворачивании детали относительно инструментов. В зависимости от различия размеров в сечениях, отклонение от формы может быть в виде конусности, бочкообразности и седлообразности.

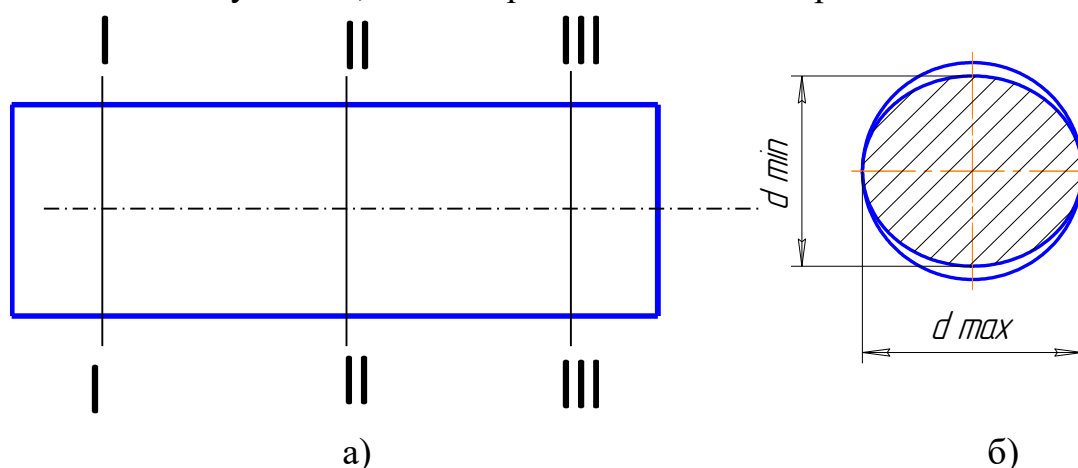


Рисунок 2.2 - Схема измерения отклонения а) от круглости б) от цилиндричности

Выбрав наибольшие и наименьшие диаметры в разных сечениях, определяют отклонение от цилиндричности (упрощенно) по формуле

$$\Delta_{\text{цил}} = (d_{\text{max}} - d_{\text{min}}) / 2,$$

где d_{max} – наибольший диаметр любого сечения, мм;

d_{min} – наименьший диаметр другого сечения, мм.

3.6 Заполнить таблицу с метрологическими характеристиками инструментов руководствуясь таблицей приложения Е.

Таблица 2.2 - Метрологические характеристики инструмента

Инструмент	Тип	Основная шкала		Дополнительная шкала	Предельная погрешность, мкм
		Цена деления, мм	Диапазон измерения, мм	Точность отсчета, мм	
Микрометр гладкий					
Микрометрический нутромер					
Микрометрический глубиномер					

3.7 Действительный размер измеренной поверхности записать с учетом предельной погрешности измерительного инструмента в виде

$$d = d_{\text{изм}} \pm \Delta_{\text{lim}},$$

$d_{\text{изм}}$ – среднее значение измеренного размера, мм;

Δ_{lim} – предельная погрешность инструмента, мм (приложение Е).

3.8 По результатам измерений сделать заключение о годности детали.

4 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- 1 Метод измерения микрометрами?
- 2 Для чего предназначена винтовая пара?
- 3 Как определяют цену деления шкалы барабана?
- 4 Как подготовить микрометр к измерениям?
- 5 Как настроить микрометрический инструмент на нуль?
- 6 Отличия отсчета показаний по гладкому микрометру, нутромеру и глубиномеру?
- 7 Что обеспечивает нормальное усилие контакта при измерении?
- 8 Как определяют отклонение от округлости?
- 9 Как определяют отклонение от цилиндричности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИЗМЕРЕНИЕ ВНУТРЕННИХ И НАРУЖНЫХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ ИНДИКАТОРНЫМИ ПРИБОРАМИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Приобретение практических навыков пользования индикаторными приборами при измерении размеров деталей и определении отклонений формы.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Индикаторы часового типа ИЧ (ГОСТ 15593-70), головки измерительные пружинные (микрокаторы) типа ИГП (ГОСТ 6933 - 81), головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы) типа ИМП (ГОСТ 14712 - 79Е), скобы индикаторные типа СИ (ГОСТ 11098 - 75), нутромеры индикаторные типа НИ (ГОСТ 868-83), концевые меры длины (ГОСТ 9038-83), набор принадлежностей к концевым мерам длины ПК-1 (ГОСТ 4119-76).

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Индикаторные приборы имеют измерительную головку стрелочного типа связанную с перемещением измерительного наконечника через зубчатую или рычажно-зубчатую передачу.

Измерительными головками комплектуются скобы индикаторные (СИ), нутромеры индикаторные (НИ), глубиномеры индикаторные (ГИ). В индикаторных толщиномерах и стенкомерах измерительные головки смонтированы непосредственно в корпусах приборов.

Передаточное отношение механизма передачи определяет цену деления шкалы измерительной головки. Если перемещение измерительного наконечника на 1 мм соответствует одному обороту стрелки, а шкала имеет 100 делений, то цена деления будет равна 0,01 мм. Такое устройство имеется в наиболее распространенных измерительных головках часового типа.

Рычажно-зубчатые измерительные головки имеют более высокую точность, в которых за счет рычажной передачи достигается передаточное отношение, позволяющее получить точность отсчета 0,001 и 0,002 мм. При такой точности диапазон показаний индикаторной головки уменьшается до 0,05 мм.

Совершенно другой принцип положен в основу пружинных измерительных головок, в которых преобразование перемещения измерительного наконечника во вращение (отклонение) стрелки происходит за счет скрученной пружинной нити. На этом принципе основаны устройства микрокаторов, миникаторов, микаторов и оптикаторов. Пружинные измерительные головки имеют цену деления от 0,02 до 10 мкм (0,00002-0,01мм), с диапазоном показаний от 8 до 60 мкм (0,008-0,06 мм).

Большинство индикаторных приборов применяется для измерений относительным методом (методом сравнения). При этом измеряемый размер сравнивается с мерой, на которую предварительно настраивается прибор. В качестве мер могут быть применены концевые меры длины (КМД), калибры, образцы, эталоны. При измерении относительным методом прибор показывает только отклонение от меры, т.е. отклонение от номинального размера.

Номинальный размер определяют по чертежу детали. При его отсутствии размер детали измеряется штангенциркулем и округляется до величины, соответствующий нормальным линейным размерам. Этот размер принимается за номинальный и набирается из КМД.

При наборе номинального размера необходимо соблюдать следующие правила: в наборе не должно быть более четырех плиток; перед установкой плитки следует протереть тряпкой; плитки необходимо прикладывать друг к другу рабочими поверхностями.

Если измеряемый размер меньше диапазона показаний индикаторного прибора, то измерение производят с использованием абсолютного метода, применяя, например, толщиномеры и стенкомеры.

Скобы индикаторные наибольшее распространение получили для измерения цилиндрических деталей в серийном производстве. Скобы удобны в применении, производительны, но обладают относительно невысокой точностью.

Наибольшее распространение в машиностроении получили измерения индикаторными нутромерами диаметров отверстий и отклонений формы этих поверхностей. Эти измерения значительно производительнее, чем измерения микрометрическими нутромерами и обладают более высокой точностью.

Измерительный механизм большинства индикаторных нутромеров выполнен в виде равноплечего рычага. Центрирующий мостик таких нутромеров устанавливает ось измерения, которой является общая ось измерительных стержней наконечников, на совпадение с диаметром отверстия измеряемой детали.

В качестве мер для установки индикаторных нутромеров применяют КМД, которые закрепляются в струбцине между боковиками (рисунок 3.2), а также установочные кольца или микрометр со стойкой.

При настройке и измерении размера отверстия необходимо, чтобы измерительные стержни нутромера находились в диаметральной плоскости. Это положение находят покачиванием нутромера в плоскости измерения по минимальному отклонению стрелки, т.е. по тому положению где большая стрелка меняет направление вращения. В этом положении откручиванием сменного стержня нутромера добиваются, чтобы маленькая стрелка встала напротив деления 1 мм – создают установочный «натяг». Далее поворотом ободка индикаторной головки нулевое деление шкалы устанавливают напротив большой стрелки.

Размер измеряемого отверстия определяется по отклонению стрелок от изначально установленного положения. По отклонению большой стрелки определяют увеличение или уменьшение действительно размера относительно номинального, а по отклонению большой стрелки – величину.

Для измерения отверстий малых размеров выпускаются нутромеры с шариковыми вставками.

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 Ознакомиться с устройством и назначением индикаторных приборов.

2.2 Определить назначение, номинальный, предельно допустимые размеры заданной детали и заполнить таблицу 3.1.

Таблица 3.1 - Исходные данные

Наименование детали	Номинальный размер, мм.		Допуск размера, мм	Предельные размеры, мм	
	С символическим обозначением допуска	С обозначением отклонения		max	min

2.3 Начертить эскиз заданной детали.

2.4 Подготовить приборы к измерениям.

2.5 Произвести измерение отклонения размеров в трех сечениях и двух взаимно перпендикулярных плоскостях, согласно схеме на рисунке 2.2. Действительные размеры определять по формуле:

$$d_d = d_n + \Delta,$$

где d_n - номинальный размер, мм;

Δ - отклонение большой стрелки индикатора с учетом знака, мм.

Результаты измерений занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 - Результаты измерений

Размер	Сечение		
	I-I	II-II	III-III
max			
min			

2.6 По результатам измерений определить среднее значение размера, отклонения от округлости и цилиндричности.

2.7 В зависимости от назначения и условий работы измеряемой детали определить допустимое отклонение формы T_ϕ по приложению Б. Указать одно из допустимых отклонений формы на эскизе детали по приложению.

2.8 Сделать заключение о пригодности детали и ответить на вопросы.

3 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1 Метод измерения индикаторными приборами?

2 Как определить номинальный размер детали для настройки индикаторных приборов?

3 Каким образом обеспечивается точность отсчета индикаторных головок?

4 С какой целью создается установочный «натяг»?

5 Для чего предназначены центрирующий мостик индикаторного нутромера и упорная пятка индикаторной скобы?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ВЫБОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение методики выбора средств измерений в зависимости от точности изготовления и конфигурации измеряемых поверхностей деталей.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Автотракторные детали, технологические карты на дефектацию данных деталей, штангенинструменты, микрометрические инструменты, индикаторные приборы, плакаты.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Линейные размеры можно измерить различными средствами, обеспечивающими разную точность измерений.

Основные требования при выборе средств измерений заключаются в следующем: точность средств измерений должна быть достаточной по отношению к допуску на изготовление детали, а трудоемкость измерений и их стоимость должны быть минимальными, обеспечивающими наиболее высокую производительность труда и экономичность. Неточность измерений приводит к тому, что часть годной продукции бракуют (ошибка первого рода); в то же время другую часть негодной продукции принимают как годную (ошибка второго рода). Излишняя точность измерений повышает трудоемкость и стоимость измерений и ведет к удорожанию производства.

Таким образом, необходимо использовать наиболее простые по конструкции, распространенные и недорогие инструменты, но имеющие достаточную точность.

Наиболее распространенным является выбор средств измерений по известным значениям номинального размера детали, допуска изготовления и допускаемой погрешности. Под допускаемой погрешностью измерения $|\delta|$ понимается наибольшее значение погрешности, при которой полученный в результате измерения размер может быть признан действительным.

Величины допускаемых погрешностей измерений по ГОСТ 8.051-81 приняты равными 20% (для $IT10$ и грубее), 25-30% (для $IT6...IT9$) и 35% (для $IT2...IT5$) от допуска (приложение В).

Основным условием выбора средств измерений является соблюдение условия:

$$\pm \delta \geq \pm \Delta_{lim}, \quad (4.1)$$

Из условия (4.1) следует, что предельная погрешность измерения $\pm \Delta_{lim}$ должна быть меньше или равна допускаемой погрешности $\pm \delta$. Соблюдение этого условия обеспечивает заданную точность измерения. На практике предельные погрешности средств измерений указываются в инструкциях.

Предельные погрешности измерения любым измерительным средством зависят от измеряемого размера. Они определяются для среднего значения каждого интервала размеров по ГОСТ 25346-82 для различных условий настройки и применения средств измерений (а также вариантов применения). Предельная погрешность включает ряд составляющих погрешностей, основными из которых являются погрешности средств измерений, установочных мер, измерительного усилия, шероховатости поверхности, вида контакта, температурные, субъективные и др.

Для уменьшения погрешности от температурных деформаций средство и объект измерения должны иметь одинаковую температуру по объему, а прибор должен иметь надежную теплоизоляцию от тепла рук оператора.

2 ПРИМЕНЕНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВЫБОРУ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Конкретное средство измерения выбирается по таблицам V...IX [9]. В левой части таблиц указаны диапазоны номинальных размеров, сверху квалитеты, а на пересечении горизонтальных строк и вертикальных колонок указаны в виде дроби допускаемые погрешности измерений (числитель) и допуски на изготовление (знаменатель). Под номерами и буквами в таблицах I и II [5] указаны позиции измерительных средств и варианты их использования, при которых предельная погрешность измерений не превышает допускаемых значений, т.е. соблюдается условие (4.1).

Предельные и допускаемые погрешности измерений в таблицах I, II, V – IX указаны без знаков \pm (плюс, минус), т.е. указаны абсолютные значения.

3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1 Выполнить эскиз заданной детали с указанием номинального размера измеряемой поверхности.

3.2 Определить комбинированное обозначение размера пользуясь таблицами ГОСТ [6,7]

3.3 Из таблиц V – IX [9] выписать значение допускаемой погрешности и позиции рекомендуемых средств измерений.

3.4 Из таблиц 1 и 2 [9] выбрать конкретное средство измерения (имеющиеся в наличии средства измерений отмечены кружочками).

3.5 Измерить указанные на эскизе размеры по девять раз, рассчитать средний размер и показать его на схеме полей допусков.

3.6 Полученный средний размер записать с учетом предельных погрешностей средств измерений.

Таблица 4.1 - Основные параметры размеров детали

№№ размеров по эскизу	Условное обозначение размера	Комбинированное обозначение размеров	Допускаемая погрешность измерения	Позиции рекомендуемых средств	Наименование инструмента и предел измерения	Предельная погрешность измерения	Результаты измерения	Абсолютная погрешность отдельных измерений, $X - X_i$	Квадраты абсолютных погрешностей $(X - X_i)^2$
1									
9									

3.7 Вычислить абсолютные погрешности отдельных измерений

$$\Delta X_i = \bar{X} - X_i$$

3.8 Вычислить квадраты абсолютных погрешностей $(\Delta X_i)^2$

3.9 Вычислить сумму квадратов абсолютных погрешностей $\sum_{i=1}^n (\Delta X)^2$

3.10 Вычислить среднеквадратическую погрешность результата серии измерений по формуле:

$$\Delta S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta X_i)^2}{n(n-1)}}, \quad (4.2)$$

где $\Delta S_{\bar{X}}$ - выборочная дисперсия или дисперсия выборки.

При ограниченном числе n величина $\Delta S_{\bar{X}}^2$ является лишь оценкой дисперсии δ^2 , а не равна ей.

Среднеквадратическая погрешность характеризует рассеивание средних арифметических, т.к. из-за случайных погрешностей результаты измерений также являются случайными величинами, и если выполнить еще одну серию измерений, то полученное новое среднее арифметическое будет несколько отличаться от ранее найденного значения.

3.11 Задать значение надежности α (таблица 4.2) и определить коэффициент Стьюдента $t_{\alpha}(n)$.

3.12 Вычислить границы доверительного интервала по формуле:

$$\Delta X = t_{\alpha}(n) \cdot \Delta S_{\bar{X}} \quad (4.3)$$

3.13 Записать разброс значений измеряемого параметра с учетом среднего арифметического значения и доверительного интервала

$$X = \bar{X} \pm \Delta X \quad \text{или} \quad \bar{X} + \Delta X > X > \bar{X} - \Delta X$$

3.14 Величина абсолютной погрешности результата измерений сама по себе еще не определяет точность измерений. Для оценки точности измерений вводится понятие относительной погрешности ε . За меру точности измерения принимают величину, обратную ε .

3.15 Вычислить относительную погрешность с учетом предельной погрешности средства измерения

$$\varepsilon_1 = \pm \frac{\Delta \text{lim}}{\bar{X}} \cdot 100\%$$

3.16 Вычислить относительную погрешность с учетом доверительного интервала

$$\varepsilon_2 = \pm \frac{\Delta X}{\bar{X}} \cdot 100\% ;$$

3.17 Сделать вывод о годности детали и сравнив ε_1 с ε_2 дать заключение о методах оценки точности.

Таблица 4.2 - Коэффициенты Стьюдента, t

α n-1	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
1	6,31	12,7	31,8	63,7	636,6
2	2,92	4,3	6,96	9,92	31,6
3	2,35	3,18	4,54	5,84	12,9
4	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
5	2,02	2,57	3,36	4,03	6,87
6	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96
7	1,89	2,36	3,00	3,50	5,41
8	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
9	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
10	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59
11	1,80	2,20	2,72	3,11	4,44
12	1,78	2,18	2,68	3,05	4,32

4 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- 1 Каким образом производится выбор средства измерения для конкретной детали?
- 2 Что представляет собой предельная и допустимая погрешности?
- 3 К каким последствиям может привести неправильный выбор средства измерения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 ВЫПОЛНЕНИЕ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Овладение правилами выполнения измерений геометрических параметров деталей; оценка точности выполненных измерений и на основании этого - правильный подбор методов и средств измерений.

2 МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Рулетки по ГОСТ 7502 различной длины (3м; 5м; 10м) различных классов точности ценой деления 1,0 мм; линейки по ГОСТ 427 различной длины (500 мм и 1000 мм) различных классов точности ценой деления 1,0; 0,5 мм, штангенциркули, микрометры. Объекты измерения: детали машин и оборудования.

3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Прямые - это измерения, при которых искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных. Прямые измерения можно выразить формулой

$$A=B, \quad (5.1)$$

где A - искомое значение измеряемой величины;

B - значение, непосредственно получаемое из опытных данных.

Примерами таких измерений являются: измерение длины линейкой или рулеткой, измерение диаметра штангенциркулем или микрометром, измерение угла угломером, измерение температуры термометром и т.п.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Выполнить измерения длины a , высоты c и ширины b параллелепипеда.

2. Вычислить среднеарифметическое значение результатов измерений по формуле (5.2)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

3. Определить погрешности отдельных измерений по формуле

$$\Delta = x_i - \bar{x}. \quad (5.2)$$

4. Вычислить квадраты погрешностей отдельных измерений Δ^2 .

5. Если одно или два измерения резко отличаются по своему значению от остальных измерений, то следует проверить, не являются ли они промахами.

6. Определить среднюю квадратическую погрешность среднего арифметического по формуле

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (5.3)$$

7. Задаться значением надёжности α .

8. Определить коэффициент Стьюдента t_p для заданной надёжности и числа проведённых измерений по таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Коэффициенты распределения Стьюдента

P	Число степеней свободы (n-1)							
	3	4	5	6	8	9	10	12
0,90	2,35	2,13	2,10	1,94	1,86	1,83	1,81	1,78
0,95	3,18	2,70	2,57	2,45	2,31	2,27	2,23	2,18
0,99	5,84	4,60	4,03	3,71	3,36	3,25	3,17	3,06

9. Определить границы доверительного интервала

$$\Delta x = t_p \times S_x. \quad (5.4)$$

10. Записать результат измерения в виде

$$x = \bar{x} \pm \Delta x. \quad (5.5)$$

11. Определить относительную погрешность результата измерений

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\bar{x}} 100\%. \quad (5.6)$$

12. Выполнить обработку результатов измерений, результаты расчёта свести в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 - Результаты измерений и их обработки

α	a			b			c		
	\bar{x}	Δx	ε	\bar{x}	Δx	ε	\bar{x}	Δx	ε

5 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что называется измерением?
2. Что называют прямыми измерениями?
3. Что называют средством измерения?
4. Как задаётся надёжность измерений?
5. Что характеризует относительная погрешность?
6. Что характеризуют границы доверительного интервала?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 ВЫПОЛНЕНИЕ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить методику, порядок выполнения и обработку экспериментальных данных косвенных измерений.

2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Косвенные измерения - измерения, в основе которых лежат прямые измерения. При косвенном измерении искомое значение величины определяют на основе известной зависимости между этой величиной и величинами подвергаемыми прямым измерениям. Величины, подвергаемые прямым измерениям, называют измеряемыми аргументами. Исходными данными косвенных измерений являются результаты наблюдений аргументов, которые предварительно обрабатываются по методике обработки результатов прямых измерений.

Пример решения

Рассмотрим оценку результата измерения и характеристик погрешности при прямых измерениях. По результатам прямых измерений определить значения косвенных - площади поверхности детали по уравнению $S = a \times b$. Номинальные значения измеренных величин: $a=120$ мм, $b=50$ мм, неучтенная систематическая погрешность $\Theta = 5$ мм.

Выборочные значения прямых измерений приведены в таблице 6.1. Произвести оценку точности результата косвенного измерения.

Таблица 6.1 - Результаты прямых измерений.

№	1	2	3	4	5	6	7	8
a, мм	121,0	122	119,5	120,5	121,5	119,7	120,3	120,5
b, мм	50,5	50,0	50,7	50,3	49,5	50,2	50,3	50,5

Определяем среднее арифметическое измерений величины a :

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{121+122+119,5+120,5+121,5+119,7+120,3+120,5}{8} = 120,6 \text{ мм.}$$

Определяем среднее арифметическое измерений величины в:

$$\bar{b} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i = \frac{50,5+50+50,7+50,3+49,5+50,2+50,3+50,5}{8} = 50,3 \text{ мм.}$$

Определяем среднее квадратическое отклонение измерения величины а:

$$S_a = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2} = \sqrt{\frac{(121-120,6)^2+(122-120,6)^2+(119,5-120,6)^2+(120,5-120,6)^2+(121,5-120,6)^2+(119,7-120,6)^2+(120,3-120,6)^2+(120,5-120,6)^2}{8-1}} = 0,85 \text{ мм.}$$

Определяем среднее квадратическое отклонение измерения величины в:

$$S_b = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (b_i - \bar{b})^2} = \sqrt{\frac{(50,5-50,3)^2+(50-50,3)^2+(50,7-50,3)^2+(50,3-50,3)^2+(49,5-50,3)^2+(50,2-50,3)^2+(50,3-50,3)^2+(50,5-50,3)^2}{8-1}} = 0,37 \text{ мм.}$$

Проводим оценку промахов при измерениях по критерию Романовского ГОСТ 8.207, исходя из того, что закон распределения считается нормальным и $\beta \leq \beta_T$, (β - расчетное значение критерия Романовского, β_T - табличное значение (таблица 6.1)).

Проводим оценку промахов при измерениях величины а:

$$\beta_a = \frac{|a_{\max} - \bar{a}|}{S_a} = \frac{|122-120,6|}{0,85} = 1,64.$$

При $q=0,05$ $\beta_T=2,27$, условие $\beta \leq \beta_T$ выполняется, промахов нет.

Проводим оценку промахов при измерениях величины в:

$$\beta_b = \frac{|b_{\max} - \bar{b}|}{S_b} = \frac{|50,7-50,3|}{0,37} = 1,1.$$

При $q=0,05$ $\beta_T=2,27$, условие $\beta \leq \beta_T$ выполняется, промахов нет.

Таким образом, условия оценки промахов выполняются, промахов нет.

Определяем среднее квадратическое отклонение среднего арифметического измеряемых величин

$$S_{\bar{a}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2} = 0,3 \text{ мм,}$$

$$S_{\bar{b}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (b_i - \bar{b})^2} = 0,13 \text{ мм.}$$

При малом числе наблюдений $n < 20$ доверительный интервал случайных погрешностей определяем с помощью нормального распределения Стьюдента по формуле

$$\Delta a = t_p \times S_{\bar{a}},$$

$$\Delta b = t_p \times S_{\bar{b}}.$$

Коэффициент Стьюдента принимается по таблице 6.1.

При $P=0,95$ и $n-1=7$, $t_p=2,38$, $\Delta a = 2,38 \times 0,3 = 0,71$ мм, $\Delta b = 2,38 \times 0,13 = 0,31$ мм.

В качестве примера примем неучтенную систематическую погрешность, вызванную отклонениями температуры металлической ленты рулетки от номинальной $\Theta = 5$ мм. Тогда, так как отношение $\frac{\Theta}{S_{\bar{a}}} = \frac{0,005}{0,3} = 0,016 < 0,8$ и $\frac{\Theta}{S_{\bar{b}}} = \frac{0,005}{0,13} = 0,04 < 0,8$, то не-

учтенной систематической погрешностью измерения пренебрежем и примем доверительные границы погрешности результата измерений $\varepsilon_a = \Delta a = 0,71$ мм, $\varepsilon_b = \Delta b = 0,31$ м.

Результат измерений запишем в виде

$$a = 120,6 \pm 0,71 \text{ мм и } b = 50,3 \pm 0,31 \text{ мм.}$$

Таким образом

$$S_{min} = a_{min} \times b_{min} = 119,5 \times 49,5 = 5915,2 \text{ мм}^2,$$

$$S_{max} = a_{max} \times b_{max} = 122 \times 50,7 = 6185,4 \text{ мм}^2.$$

$$\bar{S} = \frac{S_{max} + S_{min}}{2} = \frac{6185,4 + 5915,2}{2} = 6050,3 \text{ мм}^2,$$

$$\text{тогда } \Delta = \frac{S_{max} - S_{min}}{2} = \frac{6185,4 - 5915,2}{2} = 135,1 \text{ мм}^2.$$

Результат $S = 6050,3 \pm 135,1 \text{ мм}^2$, $S_{ном} = 120 \times 50 = 6000 \text{ мм}^2$.

Таблица 6.2 - Варианты заданий

№ вар.		Значения, мм								
		1	2	3	4	5	6	7	8	θ , мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	a	111,0	112,0	109,5	110,5	111,5	109,7	110,3	110,5	7
	b	42,0	41,5	42,2	41,8	41,0	41,7	41,8	42,0	8
2	a	130,5	131,5	129	130	131	129,2	129,8	130,0	9
	b	55,5	55,0	55,7	55,3	54,5	55,2	55,3	55,1	6
3	a	142,5	142,2	142,8	141,8	142,0	143,5	141,6	143,8	9
	b	67,5	67,2	66,8	67,0	66,6	68,3	68,0	68,7	10
4	a	140,0	140,3	140,8	139,5	140,8	140,2	141,6	141,8	7
	b	77,5	77,3	77,0	78,2	77,9	78,8	77,6	79,3	8
5	a	153,5	153,0	153,8	154,2	153,5	154,9	155,0	155,5	9
	b	84,5	85,6	84,9	85,0	86,1	85,8	87,0	86,4	10
6	a	162,5	162,9	163,0	162,3	163,3	163,8	163,5	164,3	7
	b	93,5	93,8	93,0	93,2	94,0	89,5	92,4	95,0	8
7	a	155,0	155,5	154,5	155,6	155,8	156,0	155,2	156,8	9
	b	77,5	77,3	77,0	78,2	77,9	78,8	77,6	79,3	10
8	a	111,0	112	109,5	110,5	111,5	109,7	110,3	110,5	6
	b	93,5	93,8	93,0	93,2	94,0	89,5	92,4	95,0	6
9	a	130,5	131,5	129	130	131	129,2	129,8	130,0	7
	b	67,5	67,2	66,8	67,0	66,6	68,3	68,0	68,7	7
10	a	140,0	140,3	140,8	139,5	140,8	140,2	141,6	141,8	8
	b	42,0	41,5	42,2	41,8	41,0	41,7	41,8	42,0	8
11	a	138,5	138,8	138,5	139,2	139,0	139,6	139,8	140,5	5
	b	25,5	25,0	25,8	25,3	26,0	26,3	26,1	26,5	5
12	a	162,5	162,9	163,0	162,3	163,3	163,8	163,5	164,3	7
	b	42,0	41,5	42,2	41,8	41,0	41,7	41,8	42,0	8
13	a	192,5	192,0	192,8	191,7	193,0	192,5	192,3	193,6	9
	b	72,0	71,5	72,8	72,3	71,7	73,0	72,0	72,2	10
14	a	118,2	118,0	118,5	118,8	118,0	117,4	119,0	117,9	6
	b	56,0	55,7	56,3	55,5	56,8	56,2	56,0	56,5	7
15	a	125,5	125,3	125,8	126,0	125,3	126,3	126,1	126,5	8
	b	38,5	38,0	38,2	39,3	38,3	39,0	38,7	38,0	9
16	a	155,0	155,5	154,5	155,6	155,8	156,0	155,2	156,8	10
	b	55,5	55,0	55,7	55,3	54,5	55,2	55,3	55,1	10

Продолжение таблицы 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

17	<i>a</i>	130,5	131,5	129	130	131	129,2	129,8	130,0	9
	<i>b</i>	72,0	71,5	72,8	72,3	71,7	73,0	72,0	72,2	8
18	<i>a</i>	118,2	118,0	118,5	118,8	118,0	117,4	119,0	117,9	7
	<i>b</i>	42,0	41,5	42,2	41,8	41,0	41,7	41,8	42,0	6
19	<i>a</i>	200,0	199,5	200,8	199,8	200,2	200,0	199,3	200,5	6
	<i>b</i>	38,5	38,0	38,2	39,3	38,3	39,0	38,7	38,0	7
20	<i>a</i>	172,5	172,8	172,0	173,0	172,3	172,0	173,2	173,5	8
	<i>b</i>	93,5	93,8	93,0	93,2	94,0	89,5	92,4	95,0	9

3 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что представляют собой прямые и косвенные измерения?
2. Как определить границы доверительного интервала?
3. Как определяются среднее квадратическое отклонение величин?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7 ПОВЕРКА МЕРИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение методики и правил поверки микрометрических инструментов.

2 МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Набор плоскопараллельных концевых мер длины, гладкие микрометры различных диапазонов измерения.

3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В процессе эксплуатации мерительный инструмент может иметь повреждения, деформацию и износ отдельных частей, что приводит к нарушению работоспособности средства измерения, увеличению погрешности и к метрологическим отказам. Для определения пригодности средств измерения к применению проводят поверку и калибровку.

Поверка средства измерений - это установление органом государственной метрологической службы (ГМС) или другими уполномоченными на то организациями пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждение их соответствия обязательным требованиям.

В сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора могут применяться только поверенные средства измерений. Поверке подвергаются только средства измерений утвержденного типа, то есть внесенные в Государственный реестр средств измерений.

Если при поверке обнаружено его несоответствие хотя бы одному пункту утвержденного типа, средство измерения должно быть забраковано. Положительные результаты поверки удостоверяются поверительным клеймом или свидетельством о поверке.

Поверка средств измерений регламентируется Правилами по метрологии ПР50.2.206-94 «Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения». Согласно Правилам различают пять видов поверки: первичную, периодическую, внеочередную, инспекционную и экспертную.

Поверку средств измерений осуществляют в соответствии с государственной или локальной поверочной схемой, устанавливающей систему передачи физической величины от государственного эталона рабочим средствам измерений.

Для средств измерения применяемых в регионе, отрасли или на отдельном предприятии применяется локальная поверочная схема (рисунок 7.1). При этом она должна быть согласована с органами государственной метрологической службы, осуществляющими для них поверку исходных эталонов.



Рисунок 7.1 - Локальная поверочная схема для средств измерения длины:
 Δ - погрешность средства измерений; L- числовое значение длины, м.

Плоскопараллельные концевые меры длины

Для поверки средств измерения линейных величин используют плоскопараллельные концевые меры длины (КМД). КМД предназначены для передачи размеров от эталона длины основной единицы к изделию. Это основное назначение КМД осуществляется путем применения их для хранения и передачи единицы длины, для проверки и градуирования размеров мер и приборов, для проверки и установки калибров, а также для определения размеров изделий и приспособлений для точных разметочных и координатно-расточных работ, для наладки станков и т.п.

В зависимости от величины отклонения срединной длины мер от номинального размера и отклонения мере от плоскопараллельности устанавливают четыре класса, которые в порядке убывания точности обозначаются 0, 1, 2 и 3. Кроме классов точности, меры делятся на пять разрядов, обозначаемых в порядке убывания точности 1, 2, 3, 4 и 5. Деление мер на разряды производится в зависимости от предельной погрешности определения (измерения) их размеров при аттестации.

При пользовании аттестованными мерами за размер каждой из них принимается действительный размер, указанный в аттестате. В этом случае отклонения срединного размера мер не будет влиять на точность измерения независимо от их принадлежности к тому или иному классу точности. Применение мер по разрядам с учетом их действительных размеров позволяет производить более точные измерения.

КМД могут использоваться совместно с различными приспособлениями для измерения наружных и внутренних размеров, разметочных работ и др. основными приспособлениями являются струбицы (державки) разных размеров, основания, центры, бокловики и др.

Номинальные размеры и градация размеров КМД, а также комплектация их в наборы осуществлены таким образом, чтобы можно было из минимального числа плиток составить блок любого размера до третьего десятичного знака.

Одно из основных свойств КМД - притираемость. Сцепление (адгезия) плиток, происходящее при притирке вызывается молекулярными силами сцепления при наличии тончайшей пленки смазки между измерительными поверхностями мер.

Порядок составления блоков должен быть следующим: вначале производят подсчет необходимых размеров концевых мер в блок; первая мера должна содержать последний или два последних знака размера блока, вторая мера – последние знаки остатка и т.д. Для любого размера количество плиток должно быть минимальным (не более пяти).

Рассмотрим пример набора блока плиток размером 39,675 мм (рисунок 7.2).

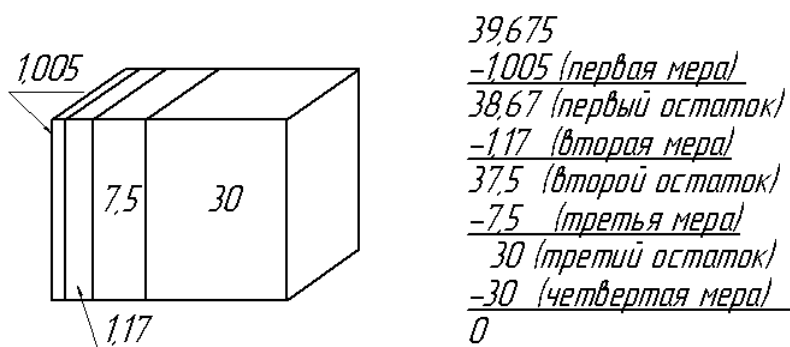


Рисунок 7.2 - Порядок составления блока из плиток КМД

Размер блока равняется сумме размеров концевых мер, входящих в его состав. Подбрав необходимые для составления блока плитки, их очищают от смазки, обезжиривают измерительные поверхности, промывают спиртом и протирают чистой салфеткой. Затем накладывают первую меру на вторую и притирают их, далее к этому блоку притирают третью плитку и т.д. после окончания работы блок следует разобрать, концевые меры протереть и положить в соответствующие ячейки набора.

Микрометрические инструменты

Микрометрические измерительные инструменты - это микрометры гладкие для измерения наружных размеров, нутромеры для определения внутренних размеров, глубиномеры, специальные микрометры - листовые, трубные, зубомерные, с резьбовыми вставками и др. Микрометр, микрометрический нутромер и микрометрический глубиномер являются универсальными средствами измерений, которые предназначены для абсолютных измерений линейных размеров контактным методом. Измерительным устройством любого микрометрического инструмента является точно изготовленная микрометрическая головка с диапазоном измерения 0 - 25 мм, а у микрометрического нутромера 0 - 13 мм. В микрометрических головках винтовую пару используют как увеличивающее устройство, преобразующее небольшие продольные перемещения винта в большие окружные перемещения шкалы барабана. Цену деления шкалы барабана определяют по формуле

$$i = \frac{p}{n}, \quad (7.1)$$

где $i = 0,5$ - шаг винта, мм;

$n = 50$ - число делений шкалы барабана.

$$i = \frac{p}{n} = \frac{0,5}{50} = 0,01 \text{ мм.}$$

Цену деления шкалы барабана называют точностью отсчета микрометра.

Перед началом измерений микрометрические инструменты осматривают, при необходимости производят установку на нуль. На измерительных поверхностях неподвижной пятке и пятке микровинта, стебле и скошенной части барабана не должно быть царапин, забоин, следов коррозии. Барабан должен свободно и плавно перемещаться

вдоль стебля при вращении с помощью трещотки. При зажатом стопоре микрометрический винт не должен проворачиваться от вращения трещотки. Кроме этого проверяют отсутствие люфта в микрометрической головке, для чего прикладывают небольшое продольное усилие к барабану. В случае наличия ощутимого люфта, последний устраняется гайкой, для чего предварительно отворачивается барабан. После проверки микрометры устанавливаются в исходное (нулевое) положение, при котором измерительные поверхности прижаты друг к другу под действием усилия 5...9 Н, обеспечиваемого трещоткой. При правильной установке нулевой штрих шкалы барабана должен совпадать с продольным штрихом на стебле, если этого нет, то инструмент устанавливают на нуль.

Для установки гладкого микрометра на нуль необходимо:

1. Вращением барабана за трещотку свести измерительные поверхности микровинта и неподвижной пятки до соприкосновения (для МК-25, а для остальных пользоваться установочными мерами). Трещоткой провернуть барабан до тех пор, пока ограничитель момента не начнет поворачиваться, о чем свидетельствует наличие характерных щелчков (достаточно 2-3 щелчка);
2. Закрепить микровинт стопором;
3. Придерживая левой рукой барабан за накатанный буртик, правой рукой отвернуть на пол оборота установочный колпачок (для некоторых микрометров необходимо ослабить винт на барабане с шестигранной головкой);
4. Повернуть барабан до совпадения его нулевого штриха с продольной линией на стебле;
5. Придерживая барабан, навернуть установочный колпачок (или затянуть винт);
6. Отпустить стопор, отвести микровинт и трещоткой проверить совпадение нуля.

В противном случае повторить установку на нуль.

Показания микрометрических инструментов отсчитывают по двум шкалам. Одна из них - основная, нанесена вдоль стебля, а вторая - вспомогательная, на боковой поверхности усеченного конуса барабана.

По делениям шкалы, расположенным под продольной линией стебля, отсчитывают целые миллиметры, по делениям, расположенным над продольной линией, сдвинутым вправо на 0,5 мм относительно нижних - полумиллиметры. Для удобства отсчета каждое пятое нижнее деление шкалы стебля обозначено цифрами 5, 10, 15 и т.д.

Десятые и сотые доли миллиметра отсчитывают по шкале барабана по тому делению, которое совпадает с продольной линией основной шкалы на стебле.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Составить блок концевых мер длины из четырех плиток в пределах диапазона измерения гладкого микрометра.
2. Отрегулировать микрометр на нуль.
3. Измерить блок мер, записать значение меры и показание микрометра в таблицу 15.1. Повторить измерения после удаления каждой плитки до последнего.

Таблица 7.1 - Результаты проверки гладкого микрометра

Тип	Предельная погрешность, Δ_{lim} , мкм	Размер блока, x_d , мм	Показание инструмента x_i , мм	Погрешность измерения, $\Delta_{изм}$

4. Определить погрешность каждого измерения: $\Delta_{\text{изм}} = x_i - x_d$.

5. Дать заключение о годности микрометра из условия

$$\Delta_{\text{lim}} > \Delta_{\text{изм}}$$

где $\Delta_{\text{изм}}$ - наибольшая абсолютная погрешность измерения, мкм;

Δ_{lim} - предельная погрешность средства измерения, мкм (таблица 7.2).

Таблица 7.2 - Характеристики микрометрических инструментов

Наименование	Тип (модель)	Диапазон измерения, мм	Цена деления, мм	Пределы допускаемой погрешности (мм) при классе точности						
				0	1	2				
Гладкий микрометр ГОСТ 6507	МК	0...25	0,01	-	±0,002	±0,004				
		25...50 50...75 75...100			±0,0025	±0,004				
		100...125 125...150 150...175 175...200 200...225			±0,003	±0,005				
		225...250 250...275 275...300			±0,004	±0,006				
		300...400 400...500			±0,005	±0,008				
		500...600			±0,006	±0,01				
		Микрометрический глубиномер ГОСТ 7470			ГМ	0...25 25...50 50... 100 100... 150	0,01	-	±0,002	±0,004
						±0,003			±0,004	
±0,003	±0,005									
±0,004	±0,006									
Микрометрический нутромер ГОСТ 10	НМ	75...175 75...575 150...1200	0,01	-	-	±0,004				
		±0,006								
		±0,015								

5 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Назначение и сущность поверки средств измерений?
2. Что определяет точность КМД?
3. Как настроить микрометр на нуль?
4. Что называют локальной поверочной схемой?
5. Цель проведения поверки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8 ИЗМЕРЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление со средствами измерения и контроля шероховатости поверхностей деталей. Приобретение навыков выбора методов и средств измерения и контроля шероховатости. Оценка годности контролируемой детали по измеряемым параметрам шероховатости.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Образцы шероховатости поверхности.
2. Двойной микроскоп МИС - 11.
3. Профилограф-профилометр АБРИС – ПМ 7,2
4. Детали для измерений и техническая документация к ним.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При обработке металлов резанием на обрабатываемой поверхности образуются чередующиеся возвышения и впадины, характеризующиеся высотой H и шагом волны S . Различают шероховатость поверхности (микроотклонения), волнистость и погрешность формы (макроотклонения).

При отношении $S/H < 50$ неровности поверхности относят к шероховатости, при $S/H = 50...1000$ - к волнистости, при $S/H > 1000$ - к погрешности формы.

Под шероховатостью поверхности понимают совокупность неровностей с относительно малыми шагами, которые образуют рельеф поверхности на рассматриваемом участке определенной длины (базовой длины l), которая зависит от предполагаемого класса чистоты. (приложение И)

Параметры и числовые значения параметров шероховатости поверхности регламентируют по ГОСТ 2789-73 и ГОСТ 25142-82.

Критерием оценки шероховатости служат высотные параметры R_a , R_z и R_{max} , шаговые параметры S_m и S , параметр формы t_p . Определение всех параметров проводится на базовой длине l . Величина базовой длины будет достаточной, если она включает не менее пяти характерных неровностей.

2 ВЫБОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ (КОНТРОЛЯ) И РАБОТА С НИМИ

При выборе средств измерения следует учитывать возможность измерения на приборе параметра, установленного в технической документации (на чертеже); пределы измерения и величины допустимых значений параметра; погрешность измерения; конструктивные особенности деталей; требуемую производительность контроля; материал детали и другие условия.

В приведенной таблице 8.1 представлены метрологические характеристики типовых приборов, выпускаемых отечественной промышленностью, которые служат для измерения параметров, определяющих шероховатость поверхности.

Таблица 8.1 - Основные метрологические характеристики приборов для измерения параметров шероховатости поверхности

Тип	Наименование	Определяемый параметр	Пределы измерения	Погрешность	Особенности метода измерения
	Эталоны шероховатости				Визуальное сравнение с эталоном
МС-51	Микроскоп сравнения				Визуальное сравнение с образцом
МИС-11	Двойной микроскоп	R_{zB} $R_{B_{max}}$	0,8...63мкм	32..6%	Световое сечение
263	Профилометр	$R_{B_{aB}}$	0,02...10мкм	16%	Контактный с индуктивным преобразователем
АБРИС-ПМ7,2	Профилограф-профилометр	$R_{B_{aB}}$ R_z R_{max} $S_{B_{mB}}$	0,04...12,5 0,16...50,0 8,0...250,0 мкм	3...5%	Контактный с индуктивным преобразователем

2.1 Образцы (эталон) шероховатости поверхности

Рабочие образцы шероховатости поверхности представляют собой наборы металлических брусков с плоской или цилиндрической рабочей поверхностью, обработанной различными способами при определенных режимах. Образцы должны изготавливаться из того же металла, тем же методом обработки и иметь ту же форму, что и контролируемая деталь.

Работа с образцами. Выбрать соответствующие комплекты образцов шероховатости. Промыть авиационным бензином измерительные поверхности образцов и детали, затем протереть их мягкой тканью. Приложить образцы шероховатости поверхности к поверхности контролируемой детали, сравнить их визуально и определить какой образец из комплекта по качеству обработки наиболее близко совпадает с шероховатостью поверхности контролируемой детали.

2.2 Двойной микроскоп В.П. ЛИННИКА МИС-11

Двойной микроскоп МИС-11 предназначен для измерения по параметру R_z и фотографирования шероховатости поверхности в пределах 3-9-го классов чистоты включительно. Прибор обеспечивает увеличение от 9 до 270 раз. Контроль шероховатости поверхности производится по методу светового сечения. Поле зрения от 0,3 до 1 мм. Пределы измерений прибора определяются выбором соответствующих объективов в зависимости от шероховатости контролируемой поверхности (таблица 8.2).

Таблица 8.2 - Выбор объективов МИС - 11 в зависимости от шероховатости (класса чистоты) контролируемой поверхности

Класс чистоты (Rz)	Шифр объектива	Фокусное расстояние объектива, мм	Кратность увеличения	Погрешность измерения, %
3 - 6 (80..6,3)	ОС - 39	25,0	5,9; 1,8	6 - 22
5 - 7 (20..3,2)	ОС - 40	13,9	10,6	10 - 25
6 - 8 (6,3..1,6)	ОС - 41	8,2	18,0	12 - 30
8 - 9 (3,2...0,8)	ОС - 42	4,3	34,5	25 - 32

Подробное описание прибора МИС-11 и принципа его работы даны в литературных источниках [1], [2]. После ознакомления с микроскопом работа по измерению высоты микронеровностей Rz проводится в следующей последовательности. Ввернуть в тубусы микроскопа два одинаковых объектива, подобранных с учетом ожидаемого класса чистоты контролируемой поверхности. Положить контролируемую деталь на столик микроскопа и включить освещение. Круглой гайкой установить корпус на требуемую высоту (расстояние между контролируемой поверхностью и объективами должно быть в пределах 10 мм) и застопорить винтом. Винтами грубой и точной настройки добиться получения четкой фокусировки изображения световой щели. Поворотом микровинта окулярного микрометра подвести горизонтальную линию перекрестия к вершине, а затем к впадине изгиба щели. Высота неровностей в данном сечении определяется по формуле

$$\Delta h = \frac{10a}{2M}$$

где а - разность показаний окулярного микрометра, мкм;
М - увеличение объективов, установленных на микроскопе.

Величина Rz определяется как среднеарифметическое из пяти наибольших значений Δh на длине участка измерений.

2.3 Профилограф - профилометр АБРИС – ПМ 7,2

Профилограф - профилометр АБРИС–ПМ 7,2 состоит из следующих основных частей (рисунок 6.1):

- первичного преобразователя (датчика) (поз. 1);
- отсчетного устройства (поз. 2);
- адаптера питания (поз. 3);
- системного блока (поз. 4);
- монитора (поз. 5);
- клавиатуры (поз. 6);
- печатающего устройства (поз. 7);
- мыши (поз. 8).

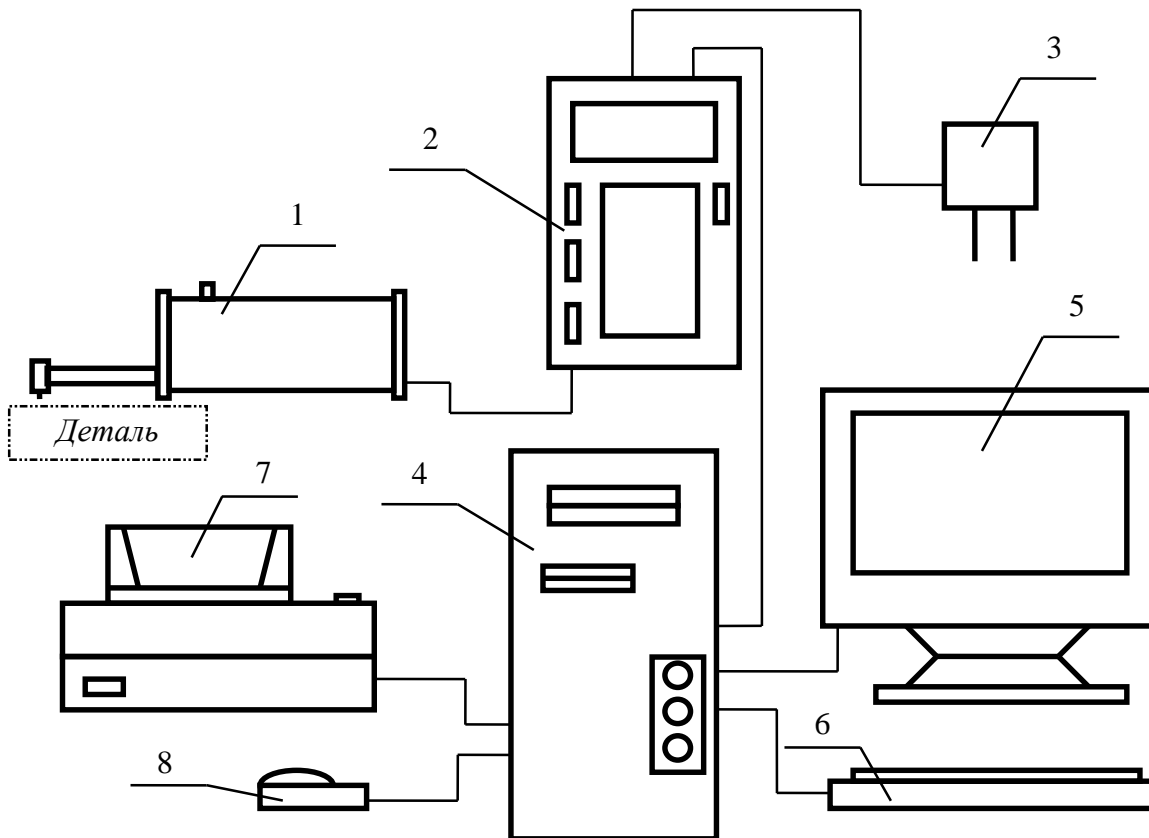


Рисунок 8.1 - Профилограф-профилометр АБРИС – ПМ 7.2

Действие профилографа - профилометра основано на ощупывании неровностей измеряемой поверхности алмазной иглой и преобразовании колебаний щупа датчика в колебания электрического напряжения, пропорциональные этим колебаниям. Колебания напряжения обрабатываются в отсчетном устройстве или персональном компьютере по специальной программе, и результат обработки выводится в цифровом виде на индикатор отсчетного устройства или в цифровом и графическом виде на экран монитора персонального компьютера.

При использовании прибора в качестве профилометра цифровое значение вычисленных параметров выдается в десятичном виде на устройство цифровой индикации отсчетного устройства. При использовании прибора в качестве профилографа подключается персональный компьютер и на мониторе демонстрируются результаты измерений параметров R_a , R_z , R_{max} , S_m , профилограммы измеренной поверхности, гистограмма относительной опорной длины профиля.

Работа на приборе. Предварительная подготовка прибора к работе и его настройка проводится в соответствии с «Руководством по эксплуатации ПМ-7,2». Настроенный первичный преобразователь (датчик) базируется на измеряемую поверхность либо непосредственно основанием, либо с помощью дополнительных приспособлений таким образом, чтобы рабочая поверхность щупа датчика, вершина алмазной иглы и рабочая плоскость преобразователя находились в одной плоскости. При этом индикатор датчика должен светиться тем ярче, чем ближе к сбалансированному положению находится измерительный механизм датчика. Исходя из величины ожидаемой шероховатости, переключателями на корпусе отсчетного устройства устанавливается базовая длина и длина трассы ощупывания. Команда на начало измерения дается однократным нажатием кнопки либо на первичном преобразователе (датчике), либо на отсчетном устройстве,

либо с клавиатуры персонального компьютера. Измерительный механизм перемещает алмазную иглу в направлениях рабочего и холостого ходов. Алмазная игла, копируя неровности поверхности, получает колебания, которые затем преобразуются в колебания электрического напряжения. Счетно-решающее устройство обрабатывает полученные сигналы и выдает на экран вычисленные параметры шероховатости измеряемой поверхности.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

4.1 Ознакомится с технической документацией контролируемых деталей, выбрать средства измерения для каждой контролируемой поверхности.

4.2 Провести необходимые измерения и оценку результатов измерений, результаты занести в таблицу 8.3.

Таблица 8.3 - Результаты измерений параметров шероховатости

Деталь, размер, шероховатость по чертежу	Измеряемый параметр шероховатости	Средство измерения			Заключение о соответствии поверхности установленным параметрам
		Профилометр АБРИС-ПМ 7,2			
	Ra				
	Rz				
	Rmax				
	Sm				

4.3 Дать заключение о соответствии полученных характеристик шероховатости техническим требованиям на деталь.

5 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- 1 Различие между шероховатостью и волнистостью поверхности?
- 2 Как определяются параметры шероховатости?
- 3 Что означает и как определяется базовая длина?
- 4 Методы и средства контроля параметров шероховатости?
- 5 Принцип работы профилометра-профилографа?

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ВОПРОСЫ

1. Направления развития современной метрологии. Основные определения.
2. Различие терминов «сертификация» и «подтверждение соответствия».
3. Сущность стандартизации, основные законы и функции.
4. Преимущества и недостатки дифференциального метода измерения.
5. Сущность агрегатирования.
6. Структура национальной системы сертификации Российской Федерации.
7. Критерии характеристик качества измерений.
8. Комплексная и опережающая стандартизация.
9. Назначение и элементы организационной структуры Системы сертификации ГОСТ Р.
10. Цели и основные направления реформирования системы технического регулирования.
11. Системы сертификации оборудования.
12. Погрешность результата измерения.
13. Основные принципы стандартизации.
14. Основные операции при проведении сертификации продукции.
15. Основные причины возникновения систематических инструментальных погрешностей.
16. Возможные варианты принятия технического регламента.
17. Сертификат соответствия (знак соответствия) Системы сертификации ГОСТ Р.
18. Систематические погрешности в зависимости от характера проявления.
19. Типовая структура технического регламента.
20. Цель и основные элементы сертификационных испытаний.
21. Устранение систематических погрешностей до начала измерений.
22. Основные этапы разработки технического регламента.
23. Основные нормативные документы по сертификации систем качества и производств в России.
24. Способы исключения систематических погрешностей в процессе измерений.
25. Объекты регулирования общего и специального технического регламента.
26. Организационная структура Регистра систем качества.
27. Причины возникновения случайных погрешностей.
28. Принципы маркирования продукции знаком обращения на рынке.
29. Основные этапы при проведении сертификации систем менеджмента качества и производств.
30. Основные положения закона нормального распределения.
31. Характеристика физической величины.
32. Этапы развития стандартизации.
33. Формы обязательного и добровольного подтверждения соответствия.
34. Нормативная база Системы стандартизации Российской Федерации.
35. Сертификация персонала в Системе добровольной сертификации экспертов.
36. Основные числовые характеристики случайных величин.
37. Виды документов в области стандартизации.
38. Основные операции при проведении сертификации экспертов.
39. Точечная оценка случайной величины и требования к ней.

40. Порядок маркирования продукции знаком соответствия национальному стандарту.
41. Основные структурные подразделения органа по сертификации продукции вы знаете.
42. Оценка случайной величины с помощью интервалов.
43. Порядок обозначения национального стандарта Российской Федерации.
44. Основные требования к аккредитованной испытательной лаборатории.
45. Методы исключения грубых погрешностей.
46. Структура органов и служб стандартизации.
47. Цели, принципы и основные подходы к созданию Единой системы аккредитации Российской Федерации по техническому регулированию.
48. Порядок обработки прямых многократных измерений.
49. Виды национальных стандартов.
50. Сущность Глобальной концепции по сертификации и испытаниям.
51. Особенности обработки косвенных измерений.
52. Этапы разработки национальных стандартов.
53. Международные организации по сертификации и аккредитации.
54. Характеристика средств измерений.
55. Порядок обновления и отмены национальных стандартов.
56. Особенности сертификации продукции в странах ЕС.
57. Виды средств измерений.
58. Порядок разработки правил стандартизации, норм и рекомендаций в области стандартизации.
59. Виды и содержание обязательной информации о товарах (услугах), на которую имеет право потребитель.
60. Функции стандартных образцов.
61. Основные общероссийские классификаторы ТЭСИ.
62. Основные автоматизированные информационные системы (базы данных), функционирующие в рамках сети МАКРОНЕТ.
63. Основные характеристики средств измерений.
64. Основные типы шкал физических величин.
65. Сущность системы предпочтительных чисел.
66. Основные различия сертификации и декларирования соответствия.
67. Объекты стандартизации стандартов организаций.
68. Порядок отзыва продукции при нарушении требований технических регламентов.
69. Основные статические характеристики средств измерений.
70. Основные динамические характеристики средств измерений.
71. Международные организации по стандартизации.
72. Этапы проведения сертификации строительных материалов.
73. Виды погрешностей средств измерений.
74. Организационная структура ИСО.
75. Этапы проведения сертификации измерительных приборов.
76. Выбор вида нормирования погрешности средства измерения.
77. Основные направления сотрудничества по стандартизации в СНГ.
78. Особенности проведения сертификации однородной продукции.

79. Обозначение класса точности средства измерения с нормированными пределами допускаемой абсолютной погрешности.
80. Ведущие направления стандартизации МЭК.
81. Схемы обязательной сертификации.
82. Обозначение класса точности средства измерения с нормированными пределами допускаемой приведенной погрешности.
83. Основные положения Федерального закона «О техническом регулировании».
84. Аттестация предприятия (применительно к предприятиям строительной отрасли).
85. Выбор средств измерений.
86. Государственный контроль и надзор за соблюдением технических регламентов и стандартов.
87. Разделы системы менеджмента качества согласно ГОСТ Р ИСО 9001-2001.
88. Поверка средств измерений.
89. Эффективность работ по стандартизации.
90. Схемы декларирования соответствия.
91. Отличие калибровки от поверки средств измерений.
92. Основы гармонизации стандартов.
93. Функции территориальных органов по сертификации.
94. Международная система единиц физических величин СИ.
95. Основные и дополнительные ряды предпочтительных чисел.
96. Структура нормативной базы подтверждения соответствия и пути ее реформирования.
97. Методы поверки средств измерений.
98. Характеристика стандартов серии 9000.
99. Ответственность за нарушение обязательных требований стандартизации и правил обязательной сертификации.
100. Сферы государственного метрологического контроля и надзора.
101. Региональные организации по стандартизации и их характеристика.
102. Приостановка действия сертификата соответствия.
103. Основные положения Федерального закона «Об обеспечении единства измерений».
104. Характеристика международной комиссии (Кодекс Алиментарус).
105. Порядок отмены действия сертификата.
106. Ответственность за нарушение метрологических правил.
107. Категории стандартов и их характеристика.
108. Принципы аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий.
109. Разновидности шкал измерений физических величин.
110. Уровни организации субъектов стандартизации.
111. Условия ввоза на территорию РФ продукции, подлежащей обязательному подтверждению соответствия.
112. Характеристика физических величин СИ.
113. Математические свойства параметрических рядов.
114. Способы регламентации обязательных требований к продукции в технических регламентах.
115. Размерности физических величин.

116. Обозначение рядов предпочтительных чисел.
117. Распространение действия технического регламента.
118. Виды измерений в зависимости от способа получения информации.
119. Общая методология выбора параметрических рядов.
120. Схемы сертификации продукции в Российской Федерации.
121. Признаки построения классификации методов измерений.
122. Понятие унификации и ее видов.
123. Сущность выбора схемы сертификации продукции.
124. Основные функции Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулирования).
125. Оценивание уровня унификации.
126. Дополнительные схемы сертификации и декларирования.

УКАЗАНИЯ К ИНТЕРАКТИВНОЙ ЧАСТИ ЗАНЯТИЙ

Одно из направлений совершенствования подготовки студентов в современном вузе - введение интерактивных форм обучения. В Федеральных государственных стандартах высшего образования одним из требований к организации учебного процесса в вузе является широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (ФГОС ВО) для формирования необходимых профессиональных и общекультурных компетенций.

Практические занятия предусматривают учебные дискуссии, задачи которой обнаружить различия в понимании вопроса и в споре установить истину. Дискуссии могут быть свободными и управляемыми.

К технике управляемой дискуссии относятся: четкое определение цели, прогнозирование реакции оппонентов, планирование своего поведения, ограничение времени на выступления и их заданная очередность.

Групповая дискуссия (обсуждение вполголоса). Для проведения такой дискуссии все студенты, присутствующие на практическом занятии, разбиваются на небольшие подгруппы, которые обсуждают те или иные вопросы, входящие в тему занятия. Обсуждение может организовываться двояко: либо все подгруппы анализируют один и тот же вопрос, либо какая-то крупная тема разбивается на отдельные задания. Традиционные материальные результаты обсуждения таковы: составление списка интересных мыслей, выступление одного или двух членов подгрупп с докладами, составление методических разработок или инструкций, составление плана действий.

Очень важно в конце дискуссии сделать обобщения, сформулировать выводы, показать, к чему ведут ошибки и заблуждения, отметить все идеи и находки группы.

В таблице 9.1 представлено распределение видов учебных занятий на активные и интерактивные формы обучения

Таблица 9.1 - Распределение видов учебных занятий на активные и интерактивные формы обучения

№ п/п	№ модуля	Наименование темы	Вид учебного занятия	Активные и интерактивные формы проведения обучения	Объем, часы*
1	1	Нормирование классов точности средств измерений	Практическое занятие	Учебная дискуссия	2
2	2	Посадки подшипников качения.	Практическое занятие	Учебная дискуссия	2
3	2	Выбор посадок шпоночных и шлицевых соединений.	Практическое занятие	Учебная дискуссия	2
4	2	Параметры метрической резьбы	Практическое занятие	Учебная дискуссия	2
5	2	Нормирование допусков формы, расположения поверхностей и параметров шероховатости.	Практическое занятие	Учебная дискуссия	2
6	2	Анализ и расчет плоских размерных цепей.	Практическое занятие	Учебная дискуссия	4
Итого:					14

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Леонов О.А. Метрология, стандартизация и сертификация. – Москва: КолосС, 2009. – 568с.
2. Анухин В. И. Допуски и посадки. - Питер, 2008. - 206 с.
3. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для студ. вузов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров и магистров, и дипломированных специалистов в области техники и технологии - Москва ; Санкт-Петербург; Нижний Новгород: Питер, 2010. - 463 с.
4. Чижикова Т. В. Стандартизация, сертификация и метрология. Основы взаимозаменяемости. - Москва : КолосС, 2002. - 235 с.
5. Таблицы и альбом по допускам и посадкам: справ. пособие / А. Б. Романов, В. Н. Федоров, А. И. Кузнецов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Санкт-Петербург : Политехника, 2009. - 88 с.
6. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов. 2-е издание – Москва: ЮНИТИ – ДАНА, 2007. – 671с.
7. Палей М. А. Допуски и посадки: справочник: в 2 ч. / М.А. Палей, А.Б. Романов, В.Н. Брагинский. - 9-е изд., испр. и доп. - Санкт-Петербург : Политехника. -Ч. 1. - 2009. - 530с.
8. Палей М. А. Допуски и посадки: справочник: в 2 ч. / М.А. Палей, А.Б. Романов, В.Н. Брагинский. - 9-е изд., испр. и доп. - Санкт-Петербург : Политехника. -Ч. 2. - 2009. - 629с.
9. РД 50-98-86 «Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм (По применению ГОСТ 8.051-81)». – Москва : Издательство стандартов, 1987. – 80 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Таблица А1 - Числовые значения допусков ГОСТ 25346 - 89

Интервалы размеров, мм	Значения допусков для квалитетов, мкм													
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
До 3	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
Св. 3 до 6	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
Св. 6 до 10	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
Св. 10 до 18	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
Св.18 до 30	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
Св.30 до 50	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
Св.50 до 80	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
Св.80 до 120	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
Св.120 до 180	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
Св.180 до 250	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
Св.250 до 315	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
Св.315 до 400	18	25	36	57	89	140	230	360	570	830	1400	2300	3600	5700
Св.400 до 500	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

Таблица А2 - Значения единиц допуска для квалитетов от 5 до 17

Размер, мм														
Свыше	-	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	
до	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315	400	500	
i, мкм	0,54	0,73	0,9	1,08	1,31	1,56	1,86	2,17	2,52	2,89	3,23	3,54	3,9	

Таблица А3 - Формулы допусков квалитетов от 5 до 17

Квалитет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Обозначение до- пуска	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17
Формула допуска: $T = a^* i$	7i	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1000i	1600i

Приложение Б

Таблица Б1 - Шероховатость поверхности и качества точности при различных видах обработки деталей резанием

Вид обработки		Шероховатость Ra	Квалитеты	
			Экономич.	Достижим.
Отрезка на станках	мех. пилой	25...100	15...17	-
	резцом, фрез.	25...50	14...17	-
Подр. торцев	резцом	3,2...12,5	11...13	9
Строгание	черновое	12,5...25	12...14	-
	чистовое	3,2...6,3	11...13	10
Долбление	черновое	25...50	14,15	-
	чистовое	3,2...12,5	12,13	11
Фрезерован. цилиндрич.	черновое	25...50	12...14	11
	чистовое	3,2...6,3	11	10
Фрезерован. торцевое	черновое	6,3...12,5	12...14	11
	чистовое	3,2...6,3	11	10
Обтачивание прод. подач.	черновое	12,5...25	12...14	-
	чистовое	1,6...3,2	8,9	7
Обтачивание попер.подач.	черновое	12,5...25	14,15	-
	чистовое	3,2	11...13	9
Растачивание	черновое	12,5...25	12...14	-
	чистовое	1,6...3,2	8,9	7
Сверление	до 15 мм	6,3...25	12...14	10...11
	св. 15 мм	12,5...25	12...14	-
Зенкерование	черновое	12,5...25	12...14	-
	чистовое	3,2...6,3	10...11	9
Развертыван.	получистов.	6,3...12,5	9,10	8
	чистовое	1,6...3,2	7,8	-
Протяги-вание	получист.	6,3	8,9	-
	чистовое	1,25...3,2	7,8	-
Шлифование круглое	получистов.	3,2...6,3	8...11	-
	чистовое	0,8...1,6	6...8	-
Шлифование плоское	получистов.	3,2	8...11	-
	чистовое	0,8...1,6	6...8	-
Притирка	чистовая	0,4...3,2	6...7	-
	тонкая	0,1...1,6	5	-
Полирование	обычное	0,2...1,6	6	-
	тонкое	0,05...0,1	5	-
Хонингован.	цилиндрич.	0,05...0,2	7	6
Суперфиниш.	цилиндрич.	0,1...0,4	5	-
Шабрение	грубое	1,6...6,3	11	-
	тонкое	0,4...0,8	8,9	6,7

Приложение В

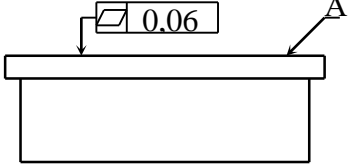
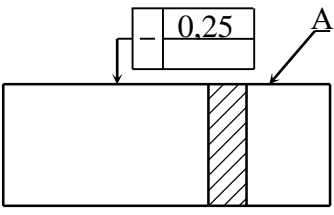
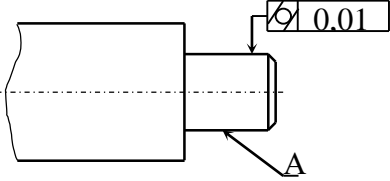
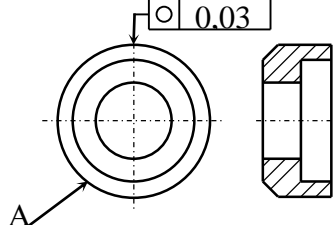
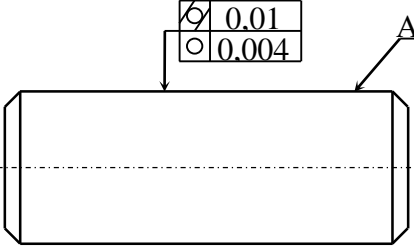
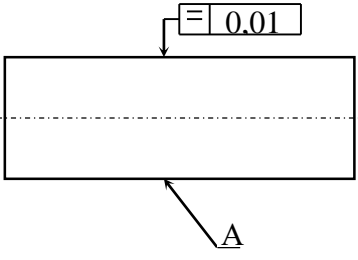
Таблица В1 - Стандартные значения параметров шероховатости по ГОСТ 2789-73

Среднее арифметическое отклонение профиля Ra , мкм			
<u>100</u>	10,0	1,00	<u>0,100</u>
80	8,0	<u>0,80</u>	0,080
63	<u>6,3</u>	0,63	0,063
<u>50</u>	5,0	0,50	<u>0,050</u>
40	4,0	<u>0,40</u>	0,040
32	<u>3,2</u>	0,32	0,032
<u>25</u>	2,5	0,25	0,025
20	2,0	<u>0,20</u>	0,020
16	<u>1,6</u>	0,16	0,016
<u>12,5</u>	1,25	0,125	<u>0,012</u>
Средний шаг неровностей S_m и S , мм			
10,0	1,00	0,100	0,010
8,0	0,80	0,080	0,008
6,3	0,63	0,063	0,006
5,0	0,50	0,050	0,005
4,0	0,40	0,040	0,004
3,2	0,32	0,032	0,003
2,5	0,25	0,025	0,002
2,0	0,20	0,020	
1,6	0,16	0,016	
1,25	0,125	0,0125	

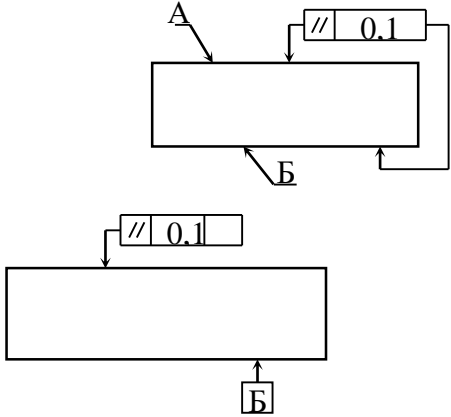
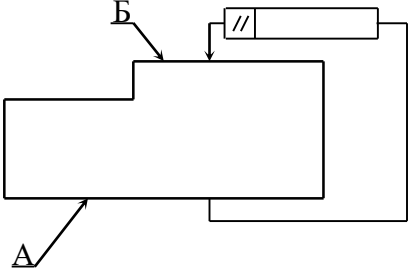
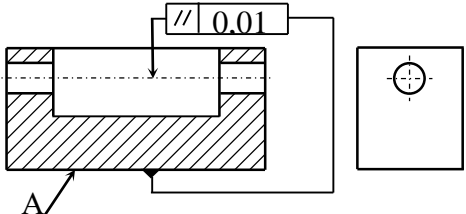
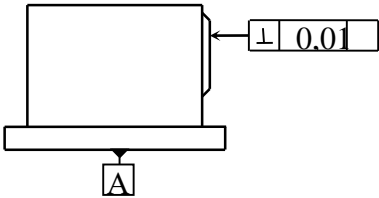
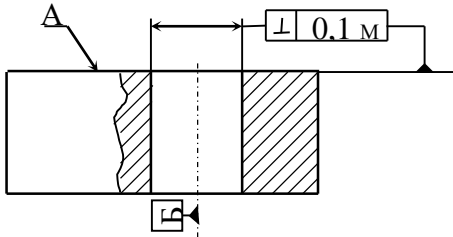
Примечание: Предпочтительные значения параметра шероховатости Ra выделены жирным шрифтом и подчеркнуты

Приложение Г

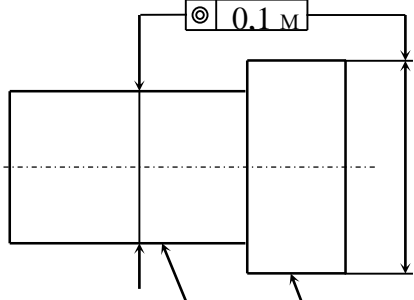
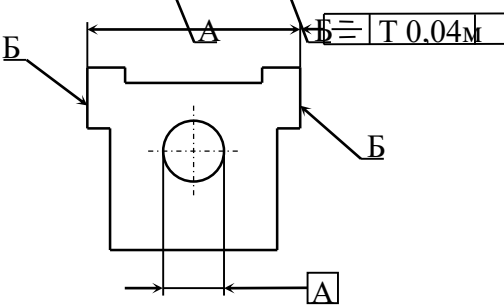
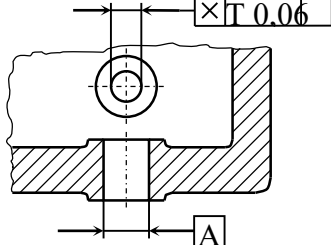
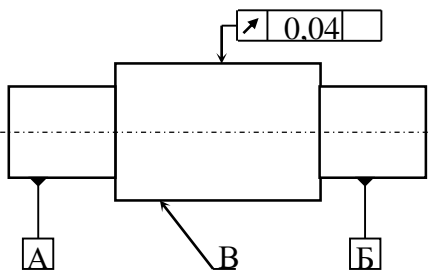
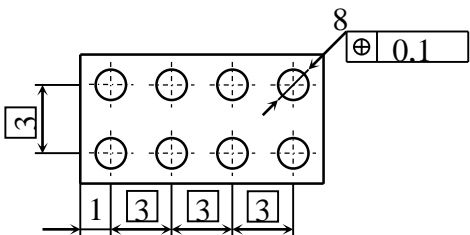
Таблица Г1 - Примеры обозначения отклонений формы и расположения поверхностей

Вид допуска	Условное обозначение символами	Указание в чертеже текстовой записью
1	2	3
Допуск плоскостности		Допуск плоскостности поверхности А не более 0,06 мм
Допуск прямолинейности		Допуск прямолинейности поверхности А не более 0,25 мм на всей длине и не более 0,1 мм на длине 300 мм
Допуск цилиндричности		Допуск цилиндричности поверхности А не более 0,01 мм
Допуск круглости		Допуск круглости поверхности А не более 0,03 мм
Допуск цилиндричности		Допуск цилиндричности поверхности А не более 0,01 мм, круглости не более 0,004 мм
Допуск профиля продольного сечения цилиндрической поверхности		Допуск профиля продольного сечения поверхности А не более 0,01 мм

Продолжение приложения Г1

1	2	3
<p>Допуск параллельности</p>		<p>Допуск параллельности поверхностей А и Б не более 0,1 мм</p>
		<p>Допуск параллельности поверхности Б относительно поверхности А не более 0,01 мм на длине 100 мм</p>
		<p>Допуск параллельности общей оси отверстий относительно поверхности А не более 0,01 мм</p>
<p>Допуск перпендикулярности</p>		<p>Допуск перпендикулярности поверхности Б относительно основания не более 0,01 мм</p>
		<p>Допуск перпендикулярности поверхности оси отверстия Б относительно А не более 0,1 мм (допуск зависимый)</p>

Окончание приложения Г1

1	2	3
<p>Допуск соосности</p>		<p>Допуск соосности поверхностей А и Б не более 0,1 мм (допуск зависимый)</p>
<p>Допуск симметричности</p>		<p>Допуск симметричности поверхности Б относительно оси отверстия не более 0,04 мм (допуск зависимый)</p>
<p>Допуск пересечения</p>		<p>Допуск пересечения осей отверстий не более 0,06 мм</p>
<p>Допуск радиального биения</p>		<p>Допуск радиального биения поверхности В относительно общей оси поверхностей А и Б не более 0,04 мм</p>
<p>Позиционный допуск</p>		<p>Позиционный допуск восьми отверстий не более 0,1 мм (допуск зависимый)</p>

Приложение Д

Таблица Д1 - Допуски формы поверхностей, (по ГОСТ 24643-81)

Интервалы номинальных размеров, мм	Степень точности							
	5	6	7	8	9	10	11	12
Допуски плоскостности и прямолинейности								
До 10	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40
Св 10 до 16	2	3	5	8	12	20	30	50
Св 16 до 25	2,5	4	6	10	16	25	40	60
Св 25 до 40	3	5	8	12	20	30	50	80
Св 40 до 63	4	6	10	16	25	40	60	100
Св 63 до 100	5	8	12	20	30	50	80	120
Св 100 до 160	6	10	16	25	40	60	100	160
Св 160 до 250	8	12	20	30	50	80	120	200
Св 250 до 400	10	16	25	40	60	100	160	250
Св 400 до 630	12	20	30	50	80	120	200	300
Допуски цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения								
Св 3 до 10	2,5	4	6	10	16	25	40	60
Св 10 до 18	3	5	8	12	20	30	50	80
Св 18 до 30	4	6	10	16	25	40	60	100
Св 30 до 50	5	8	12	20	30	50	80	120
Св 50 до 120	6	10	16	25	40	60	100	160
Св 120 до 250	8	12	20	30	50	80	120	200
Св 250 до 400	10	16	25	40	60	100	160	250
Св 400 до 630	12	20	30	50	80	120	200	300

Приложение Е

Таблица Е1 - Характеристики средств измерения наружных и внутренних линейных размеров

Прибор	Тип (модель)	Диапазон измерения, мм	Цена деления, мм	Пределы допускаемой погрешности (мм) при классе точности			Пример обозначения
				0	1	2	
Штангенциркуль (ГОСТ 166-80)	ЩЦ-I	0...125	0,1	±0,05		—	Штангенциркуль ЩЦ-II-250-0,05. ГОСТ 166-80 (пределы измерения 0...250 мм; значение отсчета по нониусу 0,05 мм)
	ЩЦ-II и ЩЦ-III	0...160 0...200 0...250	0,1 и 0,05	±0,05*			
	ЩЦ-III	0...315 0...400 0...500	0,1	±0,06 ±0,07 ±0,08			
Штангенциркуль (ГОСТ 166-80)	ЩЦ-III	250...630	0,1	±0,08		Штангенциркуль ЩЦ-II-250-0,05. ГОСТ 166-80 (пределы измерения 0...250 мм; значение отсчета по нониусу 0,05 мм)	
		250... 800		±0,09			
		320... 1000		±0,1			
		500... 1250		±0,16			
		500... 1600		±0,17			
		500... 1600 800...2000		±0,18 ±0,19			
Штангенглубиномер (ГОСТ 162-80)	ШГ	0...160	0,05	±0,05		Штангенглубиномер ШГ-200. ГОСТ 162-80	
		0...200					
		0...250					
		0...315					
Штангенрейсмас (ГОСТ 164-80)	ШР	0...250	0,05	±0,05		Штангенрейсмас ШР-250-0,05. ГОСТ 164—80	
		40...400					
		60...630	0,1	±0,01			
		100... 1000		±0,15			
		600... 1600		±0,2			
1500...2500							
Угломеры (5378-80)	УН	0...180 (наружн.)	2'	±2'		Угломер УН ГОСТ 5378-80	
	УМ	40...180 (внутрен) 0 - 180	2'	±2'			

Продолжение таблицы Е1

Прибор	Тип (модель)	Диапазон измерения, мм	Цена деления, мм	Пределы допускаемой погрешности (мм) при классе точности			Пример обозначения
				0	1	2	
Гладкий микрометр (ГОСТ 6507-78)	МК	0...25	0,01	—	±0,002	±0,004	Микрометр МК-50-1 ГОСТ 6507-78 (пределы измерения 25...50 мм; класс точности 1)
		25...50			±0,0025	±0,004	
		50...75					
		100...125			±0,003	±0,005	
		125... 150					
		150...175					
		175...200					
		225...250			—	±0,004	
250...275							
300...400	—	±0,005	±0,008				
400...500							
500...600	—	±0,006	±0,01				
Микрометрический глубиномер (ГОСТ 7470-78)	ГМ	0...25	0,01	—	±0,002	±0,004	Глубиномер ГМ-150 ГОСТ 7470-78
		25...50			±0,003	±0,004	
		50... 100			±0,003	±0,005	
Микрометрический нутромер (ГОСТ 10-88)	НМ	75...175	0,01			±0,004	Нутромер НМ-575 ГОСТ 10-88
		75...575				±0,006	
		150...1200				±0,015	
Индикатор часового типа (ГОСТ 577-68)	ИЧ	0...2	0,01	0,01	0,012	—	Индикатор ИЧ 10Б кл. 1 ГОСТ 577-68 (диапазон измерения 0...10 мм)
		0...5		0,012	0,016		
		0...10		0,015	0,02		
		0...25		0,022	0,03		
	ИТ	0...2	0,01	0,01	0,012	—	
Скоба рычажная (ГОСТ 11098-75)	СР	0...25; 25...50; 50...75; 75...100; 100...125;	0,002	±0,002			Скоба СР-50 ГОСТ 11098-75 (диапазон измерений 25...50 мм)

Окончание таблицы Е1

Прибор	Тип (модель)	Диапазон измерения, мм	Цена деления, мм	Пределы допускаемой погрешности (мм) при классе точности			Пример обозначения
				0	1	2	
Рычажный микрометр (ГОСТ 4381-87)**	МР	0...25	0,002	±0,003			Микрометр МР-50 ГОСТ 4381-87 (диапазон измерений 25...50 мм)
		25...50					
		50...75					
		100... 125		±0,004			
		125...150					
		200...250		±0,005			
		250...300					
300...400	±0,006						
400... 500	±0,007						
Рычажный микрометр повышенной точности	02021	0...25	0,001	±0,0025			Микрометр, модель 02121
	02121	25...50					
	02221	50...75					
	02321	75...100					
Оптикатор (ГОСТ 10593-74)	05П	±0,5	0,0005	±0,0004			Оптикатор 1П ГОСТ 10593-74
	1П	±0,125	0,001	±0,0008			
Индикаторный нутромер (ГОСТ 868-82)	НИ	6...10;	0,01	—	0,008	0,012	Нутромер НИ 6-10-1 ГОСТ 868-82 (диапазон измерений 6... 10 мм; класс точности 1)
		10...18		—	0,012	0,015	
		18...50		—	0,015	0,018	
		50... 100		—	0,015	0,018	
		100...160		—	0,015	0,018	
		160...250		—	0,015	0,018	
250...450	—	0,015	0,018				
450...700	—	0,015	0,018				
700... 1000	—	0,015	0,018				

* При нониусе 0,05 и 0,1.

** ГОСТ 4381—87 предусмотрены также рычажные микрометры с диапазоном измерения от 300 до 2000 мм с ценой деления 0,01 мм.

Приложение Ж

Таблица Ж1 - Условные обозначения допусков на отклонения формы и расположения поверхностей

Наименование отклонения по ГОСТ 10356-63	Наименование допуска	Условный знак по ГОСТ 2.308-79
Отклонение от цилиндричности (нецилиндричность)	Допуск цилиндричности (предельное отклонение от цилиндричности).	
Отклонение от круглости (некруглость)	Допуск круглости (предельное отклонение от круглости).	
Отклонение от прямолинейности (непрямолинейность)	Допуск прямолинейности (предельное отклонение от прямолинейности).	
Отклонение от профиля продольного сечения	Допуск профиля продольного сечения (предельное отклонение продольного сечения).	

Таблица Ж2 - Относительная геометрическая точность формы цилиндрических поверхностей

Относительная геометрическая точность.	Среднее соотношение допусков формы и размера ($2 \cdot T_f / T_d$) 100%	Примеры применения
Нормальная	60	Поверхности в подвижных соединениях при небольших скоростях перемещения и нагрузках. Поверхности в соединениях с натягом или с переходными посадками при необходимости разборки сборки.
Повышенная	40	Поверхности в подвижных соединениях при средних скоростях относительных перемещений и нагрузках при повышенных требованиях к плавности хода и герметичности уплотнения.
Высокая	25	Поверхности в подвижных соединениях при высоких скоростях и нагрузках, при повышенных требованиях к плавности хода и герметичности уплотнения.

Таблица ЖЗ - Допуски формы цилиндрических поверхностей по уровням А, В и С относительной геометрической точности

Квали-тет	Уровень точности	Степень точности	Номинальные размеры, мм						
			До 3	Св.3 до 10	Св.10 до 18	Св.18 до 30	Св.30 до 50	Св.50 до 120	Св. 120 до 250
5	А	4	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5
	В	3	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3
	С	2	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2
6	А	5	2	1,6	5	4	5	6	8
	В	4	1,2	1	2	2,5	3	4	5
	С	3	0,8		1,2	1,6	2	2,5	3
7	А	6	3	4	5	6	8	10	12
	В	5	2	2,5	3	4	5	6	8
	С	4	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5
8	А	7	5	6	8	10	12	16	20
	В	6	3	4	5	6	8	10	12
	С	5	2	2,5	3	4	5	6	8
9	А	8	8	10	12	16	20	25	30
	В	7	5	6	8	10	12	16	20
	С	6	3	4	5	6	8	10	12
10	А	9	12	16	20	25	30	40	50
	В	8	8	10	12	16	20	25	30
	С	7	5	6	8	10	12	16	20
11	А	10	20	25	30	40	50	60	80
	В	9	12	16	20	25	30	40	50
	С	8	8	10	12	16	20	25	30

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица 31 - Допускаемые погрешности измерений σ , в зависимости от допусков размеров T

Номинальные размеры, мм	Квалитеты									
	5		6		7		8		9	
	МКМ									
	T	σ	T	σ	T	σ	T	σ	T	σ
До 3	4	1,4	6	1,8	10	3	14	3	25	6
св. 3 до 6	5	1,6	8	2,0	12	3	18	4	30	8
св. 6 до 10	6	2	9	2,0	15	4	22	5	36	9
св. 10 до 18	8	2,8	11	3	18	5	27	7	43	10
св. 18 до 30	9	3	13	4	21	6	33	8	52	12
св. 30 до 50	11	4	16	5	25	7	39	10	62	16
св. 50 до 80	13	4	19	5	30	9	46	12	74	18
св. 80 до 120	15	5	22	6	35	10	54	12	87	20
св. 120 до 180	18	6	25	7	40	12	63	16	100	30
св. 180 до 250	20	7	29	8	46	12	72	18	115	30
св. 250 до 315	23	8	32	10	52	14	81	20	130	30
св. 315 до 400	25	9	35	10	57	16	89	24	140	40
св. 400 до 500	27	9	40	12	63	18	97	26	155	40
$\sigma / T, \%$	35		30		30		25		25	

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Таблица И1 - Значения параметров шероховатости Ra и Rz

Класс шероховатости	Разряд	Параметры шероховатости, мкм				Базовая длина, мм
		Ra		Rz		
1		-	-	от 320	до 160	8,0
2		-	-	от 160	до 80	8,0
3		-	-	от 80	до 40	8,0
4		-	-	от 40	до 20	2,5
5		-	-	от 20	до 10	2,5
6	а	от 2,5	до 2,0	-	-	0,8
	б	от 2,0	до 1,6	-	-	0,8
	в	от 1,6	до 1,25	-	-	0,8
7	а	от 1,25	до 1,0	-	-	0,8
	б	от 1,00	до 0,80	-	-	0,8
	в	от 0,80	до 0,63	-	-	0,8
8	а	от 0,63	до 0,50	-	-	0,8
	б	от 0,50	до 0,40	-	-	0,8
	в	от 0,40	до 0,32	-	-	0,8
9	а	от 0,32	до 0,25	-	-	0,25
	б	от 0,25	до 0,20	-	-	0,25
	в	от 0,20	до 0,16	-	-	0,25
10	а	от 0,160	до 0,125	-	-	0,25
	б	от 0,125	до 0,100	-	-	0,25
	в	от 0,100	до 0,080	-	-	0,25
11	а	от 0,080	до 0,063	-	-	0,25
	б	от 0,063	до 0,050	-	-	0,25
	в	от 0,050	до 0,040	-	-	0,25
12	а	от 0,040	до 0,032	-	-	0,25
	б	от 0,032	до 0,025	-	-	0,25
	в	от 0,025	до 0,020	-	-	0,25
13	а	-	-	от 0,100	до 0,080	0,08
	б	-	-	от 0,080	до 0,063	0,08
	в	-	-	от 0,063	до 0,050	0,08
14	а	-	-	от 0,050	до 0,040	0,08
	б	-	-	от 0,040	до 0,032	0,08
	в	-	-	от 0,032	до 0,025	0,08