

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Владимирский государственный университет

В.В. ТЕРЕГЕРЯ      А.А. ПЕРОВ

ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«МЕТРОЛОГИЯ, ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ,  
СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ»

РАЗДЕЛ «ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ»

Владимир 2010

УДК 006 + 621.753(075.3)  
ББК 30.10.65.2/4.ц  
Т35

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор  
Владимирского государственного университета  
*В.В. Козырев*

Зав. кафедрой технико-технологических дисциплин  
Владимирского государственного гуманитарного университета  
кандидат технических наук, доцент  
*Л.Н. Шарыгин*

Печатается по решению редакционного совета  
Владимирского государственного университета

**Терегеря, В. В.**

Т35 Практикум по дисциплине «Метрология, взаимозаменяемость, стандартизация, сертификация». Раздел «Взаимозаменяемость» / В. В. Терегеря, А. А. Перов ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 118 с. – ISBN 978-5-9984-0051-3.

Включает занятия по разделу «Взаимозаменяемость», к которым приведены основные положения, расчетные зависимости, контрольные вопросы, типовые примеры расчета и задачи для аудиторных занятий и домашних работ, а также тест-контроли полученных знаний, справочные таблицы в объеме, достаточном для решения задач и оформления чертежей курсовых и дипломных проектов. Соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по специальностям 150104 – Литейное производство черных и цветных металлов, 151001 – Технология машиностроения, 240304 – Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов.

Предназначен студентам дневного, заочного и дистанционного обучения, аспирантам и широкому кругу специалистов, изучающих теорию и практику метрологии, системы метрологического обеспечения, стандартизации и взаимозаменяемости.

Ил. 25. Табл. 27. Библиогр.: 18 назв.

УДК 006 + 621.753(075.3)  
ББК 30.10.65.2/4.ц

ISBN 978-5-9984-0051-3

© Владимирский государственный университет, 2010

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Динамичное развитие экономики Российской Федерации невозможно без повышения конкурентоспособности отечественных товаров и услуг как на внутреннем, так и на внешнем рынке. Ориентация только на ценовую конкуренцию в современных условиях решающего успеха уже не гарантирует. Определяющим для потребителей во всех странах мира стало качество.

Основным показателем качества изделий в машиностроении и приборостроении является точность. На практике в основном приходится иметь дело с точностью геометрических параметров, которая определяется посредством отклонений формы и размеров детали или сборочного узла от требований чертежа.

Интенсификация производства связана с повышением качества изделий, развитием стандартизации, обеспечением взаимозаменяемости.

Взаимозаменяемостью изделий (машин, приборов, механизмов и т.д.), их частей или других видов продукции (сырья, материалов, полуфабрикатов и т.д.) называют их свойство равноценно заменять при использовании любой из множества экземпляров изделий, их частей или иной продукции другим однотипным экземпляром.

Практикум составлен в соответствии с программой курса «Метрология, стандартизация, сертификация». Способствует усвоению курса во всем его многообразии, т.е. в области исходных теоретических положений, приобретении навыков решения задач и применения полученных знаний при изучении других предметов.

Справочные сведения издания содержат результаты наиболее используемых в практике методик и дают полное представление о структуре таблиц в действующих стандартах. Наиболее типовые примеры расчетов имеют полное решение. При анализе всех примеров учащиеся обязаны подробно рассмотреть ход решения, проверить правильность выбора всех цифровых данных, привести необходимые эскизы и особенно схемы.

Большинство задач имеют варианты. Номер варианта указывает преподаватель при выдаче задания, причем он может комбинировать варианты в тех задачах, в которых исходные данные сведены в две таблицы. Все эскизы и схемы, если это не оговорено особо, учащиеся могут выполнять от руки, без применения чертежных инструментов или на компьютере.

Ответы на контрольные вопросы должны быть исчерпывающими, но освещать только суть вопроса, содержать необходимые пояснения, определения, выводы, примеры, эскизы, схемы.

## ГЛАВА 1. СТАНДАРТИЗАЦИЯ ДОПУСКОВ И ПОСАДОК

### ЗАНЯТИЕ 1.1. Анализ контроля точности изготовления деталей, определение размеров, отклонений и допусков

**Основные положения.** Все детали, из которых состоят соединения, узлы, агрегаты и машины, характеризуются геометрическими размерами. Размеры выражают числовое значение линейных величин (диаметр, длину, ширину и т.д.) и делятся на номинальные, действительные и предельные. В машиностроении размеры указывают в миллиметрах.

В соединении элементов двух деталей одна из них является внутренней (охватывающей), другая – наружной (охватываемой). В системе допусков и посадок гладких соединений всякий наружный элемент условно называется *валом* и обозначается строчными буквами латинского алфавита, а внутренний элемент – называется *отверстием* и обозначается заглавными буквами латинского алфавита.

Основные термины и определения установлены ГОСТ 25346. *Номинальный размер* – размер, который служит началом отсчета отклонений, относительно которого определяются предельные размеры. Номинальный размер отверстия обозначается  $D_n (D)$ , вала –  $d_n (d)$ .

Номинальный размер является основным размером детали или их соединений (в соединении участвуют две детали – отверстие и вал). Его назначают исходя из расчетов деталей на прочность, износостойкость, жесткость и других параметров, а также на основании конкретных конструктивных, технологических и эксплуатационных соображений. В соединении две детали имеют общий номинальный размер. Значения номинальных размеров, полученных расчетным путем, следует округлять (как правило, в большую сторону).

*Действительный размер* – размер, установленный измерением с допустимой погрешностью. Этот термин введен, потому что невозможно изготовить деталь с абсолютно точными требуемыми размерами и измерить их без внесения погрешности. Действительный размер обозначается для отверстия  $D_d$ , а для вала –  $d_d$ .

*Предельные размеры детали* – два предельно допускаемых размера, между которыми должен находиться или которым может быть ра-

вен действительный размер годной детали. Границы предельных размеров, т.е. диапазон рассеивания действительных размеров, определяются наименьшим предельным размером ( $D_{\min}$ ,  $d_{\min}$ ) и наибольшим предельным размером ( $D_{\max}$ ,  $d_{\max}$ ). Сравнение действительного размера с предельными дает возможность судить о точности изготовления деталей [2].

Для упрощения чертежей введены предельные отклонения от номинального размера. *Предельные отклонения размера* – это алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами.

Различают верхнее и нижнее отклонение, применяя при этом краткие термины – верхнее и нижнее отклонение.

*Верхнее отклонение* ( $ES$  – для отверстия,  $es$  – для вала) – алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами:

$$ES = D_{\max} - D_{\text{н}}, \quad es = d_{\max} - d_{\text{н}}.$$

*Нижнее отклонение* ( $EI$  – для отверстия,  $ei$  – для вала) – алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами:

$$EI = D_{\min} - D_{\text{н}}, \quad ei = d_{\min} - d_{\text{н}}.$$

*Действительным отклонением* называют алгебраическую разность между действительным и номинальным размерами. Отклонение является положительным, если предельный или действительный размер больше номинального, и отрицательным, если указанные размеры меньше номинального.

На машиностроительных чертежах номинальные и предельные линейные размеры и их отклонения проставляют в миллиметрах без указания единиц измерения, например,  $58^{+0,033}_{-0,025}$ ;  $72 \pm 0,2$ ;  $50^{+0,107}$ ;  $42_{-0,024}$ ; угловые размеры и их предельные отклонения – в градусах, минутах или секундах с указанием единицы измерения, например  $0^{\circ} 30' 40''$ ,  $120^{\circ} \pm 20$ .

Отклонение, равное нулю, на чертежах не проставляют, наносят только одно отклонение – положительное на месте верхнего или отри-

цательное на месте нижнего предельного отклонения, например,  $200_{-0,2}; 200^{+0,2}$ . Предельные отклонения в таблицах допусков указывают в миллиметрах.

Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или абсолютное значение алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями называется допуском на размер. Допуск обозначается буквой  $T$ . Для отверстия –  $TD$ , для вала –  $Td$ : ( $TD = D_{\max} - D_{\min}$ ,  $Td = d_{\max} - d_{\min}$ ).

Допуск всегда положительная величина. Он определяет допускаемое поле рассеивания действительных размеров деталей в партии, т.е. заданную точность изготовления. Чем меньше допуск, тем выше требуемая точность детали, при этом стоимость изготовления увеличивается.

Для упрощения допуски можно изображать графически в виде полей допусков (рис. 1.1). При этом ось изделия (на рис. 1.1 не показана) всегда располагают под схемой.

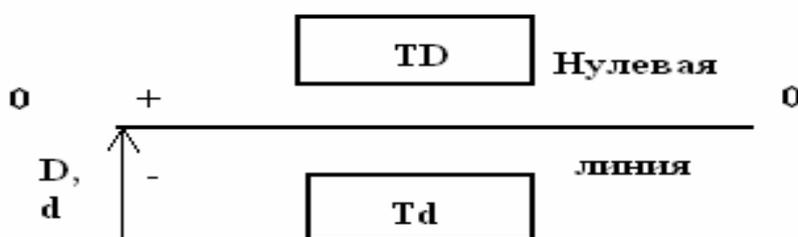


Рис. 1.1. Графическое изображение полей допусков

Поле допуска – поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями. Поля допуска определяются значением допуска и его положением относительно номинального размера. При графическом изображении поле допуска заключено между двумя линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям относительно нулевой линии. Нулевая линия – линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладывают отклонения размеров при графическом изображении допусков и посадок. Если нулевая линия расположена горизонтально, то положительные отклонения откладывают вверх от нее, а отрицательные – вниз.

**Рабочее задание.** Изучите термины и определения, применяемые при анализе контроля точности изготовления деталей. Ответьте на вопросы для самопроверки:

- что такое взаимозаменяемость и принципы ее возникновения?
- какие размеры называют номинальными и как их определяют?
- какие размеры называют действительными и в каких пределах должны находиться их числовые значения?
- какие бывают предельные размеры и каково их назначение?
- что называют допуском и как его определяют?
- что называют отклонением размера?
- выведите формулы для вычисления действительных, предельных и средних отклонений.
- охарактеризуйте графический способ изображения полей допусков через предельные размеры и отклонения.
- правила обозначения допусков и предельных отклонений на чертеже.

**Практические задания.** Определите правильные ответы тест-контроля, постройте график контроля точности изготовления деталей и решите примеры по данной теме.

### Тест-контроль занятия

1. Укажите правильное определение понятия «допуск размера»:
  - размер, который служит началом отсчета отклонений и относительно которого определяют предельные размеры;
  - размер, установленный измерением с допустимой погрешностью;
  - разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или абсолютное значение алгебраической разности верхнего и нижнего отклонения;
  - алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами;
  - алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами.
2. Определите допуск размера вала при  $d_n = 720$ ,  $es = 0$ ;  $ei = -320$ :  
 $Td = 720$ ; 500; 320; 0; 40 мм.

3. Определите действительное отклонение, характеризующее годность отверстия при  $D_H = 10$  мм,  $ES = -11$  мкм,  $EI = -20$  мкм,  $D_d = 3,980$  мм:

$$E_d = -20; 20; -30; 0; 10 \text{ мкм.}$$

4. Определите предельные отклонения деталей при  $d_H = 70$  мм,  $d_{\max} = 69,979$  мм,  $d_{\min} = 69,949$  мм:

- $es = 40, ei = 20$  мкм;
- $es = -10, ei = -20$  мкм;
- $es = 0, ei = -21$  мкм;
- $es = -21, ei = -51$  мкм;
- $es = 30, ei = 10$  мкм.

5. Определите наибольший предельный размер отверстия при  $D_H = 8$  мм,  $ES = -9$  мкм,  $EI = -24$  мкм:

$$D_{\min} = 8,240 \text{ мм}; 7,976 \text{ мкм}; 7,991 \text{ мкм}; 8 \text{ мкм}; 0 \text{ мкм.}$$

### Примеры и методические указания по их решению

*Пример 1.* Для штифтов с номинальным размером 40 мм установлены предельные размеры:  $d_{\max} = 40,009$ ,  $d_{\min} = 39,984$  мм. В партии попались штифты, имеющие действительные размеры  $d_d = 40,012$  и  $d_d = 39,976$  мм. Определите годность этих штифтов путем сравнения действительных размеров с предельными размерами.

*Решение.* Сравниваем действительные размеры с предельными. В первом случае  $d_{d1} > d_{\max}$ ;  $d_{d1} - d_{\max} = 40,012 - 40,009 = 0,003$  мм – брак исправимый. Во втором случае  $d_{d2} < d_{\min}$ ;  $d_{d2} - d_{\min} = 39,976 - 39,984 = -0,008$  мм – брак неисправимый.

*Пример 2.* Для размера 40 мм заданы следующие отклонения, мкм:  
а)  $ES = 89, EI = 50$ ; б)  $ES = 39, EI = 0$ ; в)  $es = 0, ei = -39$ ; г)  $es = 19,5$ ;  
д)  $ES = -39, EI = -64$ . Записать размер с заданными отклонениями, вычислить допуск и найти предельные размеры.

*Пример 3.* Заданы предельные размеры, мм: а) 14,0055 и 13,9945; б) 28,013 и 28; в) 42,042 и 42,026; г) 55,97 и 55,951; д) 90 и 89,978. Определить предельные отклонения, записать номинальные размеры с предельными отклонениями и начертить упрощенные схемы расположения полей допусков.

*Пример 4.* Заданы номинальный диаметр и предельные отклонения вала.

Вариант	$D$ , мм	$es$ , мкм	$ei$ , мкм	Вариант	$D$ , мм	$es$ , мкм	$ei$ , мкм
1	2	- 6	- 12	10	180	- 50	- 96
2	4	0	- 8	11	270	- 190	- 400
3	8	10	1	12	350	- 62	- 151
4	16	23	12	13	450	- 230	- 480
5	20	48	35	14	630	- 550	- 550
6	35	85	60	15	720	265	185
7	68	50	20	16	900	300	210
8	90	0	- 35	17	1100	1555	1450
9	140	20	- 20				

Определить предельные размеры и записать условное обозначение номинального размера с предельными отклонениями.

*Пример 5.* Заданы предельные размеры и действительное отклонение.

Вариант	$d_{max}$ , мм	$d_{min}$ , мм	$e_d$ , мкм	Вариант	$d_{max}$ , мм	$d_{min}$ , мм	$e_d$ , мкм
1	2,475	2,455	+ 1	9	150,015	150,115	100
2	4,970	4,922	- 15	10	200,05	200,235	49
3	7,975	7,885	- 120	11	280,094	280,414	450
4	14,984	14,914	- 30	12	320,19	320,42	100
5	24,935	24,883	- 75	13	500,144	500,515	250
6	49,95	49,911	- 25	14	559,74	559,67	- 500
7	69,97	69,94	- 40	15	670,155	670,030	800
8	99,988	99,934	- 65				

Найти номинальный и действительный размеры детали, вычислить предельные отклонения, определить годность детали по предельным размерам и предельным отклонениям, привести обозначение номинального размера с предельными отклонениями, начертить схемы полей допусков по предельным размерам (не в масштабе) и по предельным отклонениям (в масштабе), показать на них действительный размер и действительное отклонение.

*Пример 6.* Дано: наибольший предельный размер 44,975 мм; наименьший предельный размер 44,950 мм; номинальный размер 45 мм.

Вычислить допуск по предельным размерам и по предельным отклонениям. Начертить схемы полей допуска. Записать номинальный размер с предельными отклонениями.

*Пример 7.* Допуск на диаметр 28 мм равен 52 мкм. На диаметр 280 мм установлены следующие допуски: 52, 130 и 210 мкм. Определите, какой из допусков на диаметр 280 мм больше, равен и меньше, чем допуск на диаметр 28 мм.

*Пример 8.* Для отверстия и вала с номинальными диаметрами  $D = 20$  мм заданы:  $ES = +41$ ,  $ei = -61$ ,  $TD = Td = 21$  мкм. Дать условные обозначения этих размеров с допусками, т.е. записать номинальные размеры с предельными отклонениями, и начертить упрощенную схему полей допусков.

*Пример 9.* Задано: а)  $D_H = 25$  мм,  $ES = +0,098$  мм,  $EI = +0,063$ ; б)  $D_H = 32$  мм,  $ES = 62$  мкм,  $EI = 0$  мкм; в)  $d_H = 60$  мм,  $es = +230$  мкм,  $ei = -230$  мкм; г)  $D_H = 25$  мм,  $ES = -0,065$  мкм,  $EI = -0,098$ ; д)  $d_H = 32$  мм,  $es = 0$  мм,  $ei = -0,062$  мм. Определить номинальные и предельные размеры, предельные отклонения и допуски.

*Пример 10.* Задано а)  $TD = 20$  мкм,  $EI = 0$ ;  $Td = 5$  мкм,  $es = 0$ ; б)  $TD = Td$ ,  $EI = es = 0$ . Начертить схему полей допусков.

## **ЗАНЯТИЕ 1.2. Изучение основных понятий о соединениях и посадках**

**Основные положения.** Две или несколько подвижно или неподвижно соединенные детали называют сопрягаемыми, а поверхности соединяемых элементов – сопрягаемыми поверхностями. Поверхности тех элементов деталей, которые не входят в соединение с поверхностями других деталей, называются несопрягаемыми (свободными) поверхностями. Соединения подразделяют и по геометрической форме сопрягаемых поверхностей – гладкие цилиндрические, плоские и др.

В зависимости от эксплуатационных требований сборку соединений осуществляют с различными посадками.

*Посадкой* называют характер соединения деталей, определяемый разностью между размерами отверстия и вала.

Если размер отверстия больше размера вала, то их разность называется зазором. Зазор обозначается буквой  $S$ , тогда  $S = D - d$ .

Если размер отверстия меньше размера вала, то их разность называется натягом. Натяг обозначается буквой  $N$ , тогда  $N = d - D$ .

Зазор может быть выражен как натяг, только со знаком минус ( $S = -N$ ), а натяг – как зазор со знаком минус ( $N = -S$ ).

В зависимости от взаимного расположения полей допусков отверстия и вала посадка может быть с зазором, натягом или переходной, при которой возможно получение как зазора, так и натяга. Схемы полей допусков для разных посадок даны на рис. 1.2.

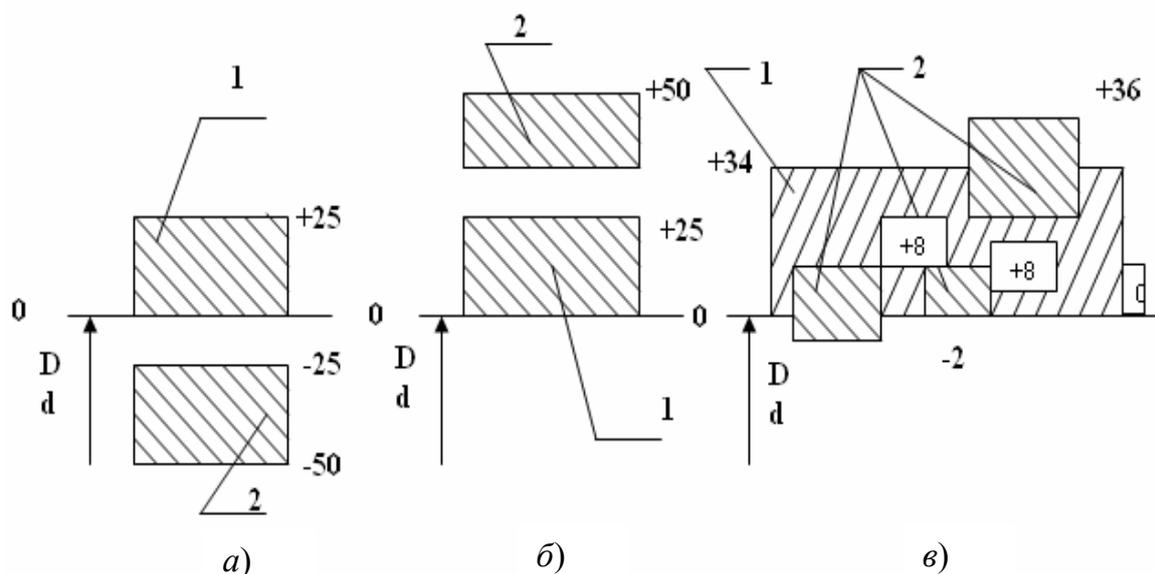


Рис. 1.2. Поля допусков отверстия 1 и вала 2

Посадка с зазором характеризуется наибольшим, наименьшим и средним зазором, которые определяются по формулам:

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei; \quad S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es;$$

$$S_{\text{cp}} = (S_{\max} + S_{\min}) / 2.$$

Посадка с зазором обеспечивает возможность относительного перемещения собранных деталей. К посадкам с зазором относятся также посадки, в которых нижнее отклонение отверстия совпадает с верхним

отклонением вала, т.е.  $S_{\min} = 0$ . В случае посадки с зазором поле допуска вала всегда будет располагаться ниже поля допуска отверстия (рис. 1.2, а).

Посадка с натягом характеризуется: наибольшим, наименьшим и средним натягом, которые определяются по формулам:

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = es - EI; \quad N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = ei - ES;$$
$$N = (N_{\max} + N_{\min}) / 2.$$

Посадка с натягом обеспечивает взаимную неподвижность деталей после их сборки. В случае посадки с натягом поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала (см. рис. 1.2, б).

Переходная посадка – посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга. Она характеризуется наибольшим зазором и натягом. В переходной посадке поля допусков отверстия и вала перекрываются частично или полностью (см. рис. 1.2, в).

Из-за неточности выполнения размеров отверстия и вала зазоры и натяги в соединениях, рассчитанные из эксплуатационных требований, не могут быть выдержаны точно. Отсюда появляется понятие «допуск посадки».

*Допуск посадки* – разность между наибольшим и наименьшим допускаемыми зазорами (допуск зазора  $TS$  в посадках с зазором) или наибольшим и наименьшим допускаемыми натягами (допуск натяга  $TN$  в посадках с натягом), в переходных посадках допуск посадки – сумма наибольшего натяга и наибольшего зазора, взятых по абсолютному значению, а также допуск любой посадки можно определить как сумму допусков отверстия и вала:

$$TS = S_{\max} - S_{\min}; \quad TN = N_{\max} - N_{\min}; \quad Tn = N_{\max} + S_{\max},$$

или

$$TS = TD + Td; \quad TN = TD + Td; \quad Tn = TD + Td.$$

Пример обозначения посадки:  $40_{-0,03} / ^{+0,003}$ , где 40 – номинальный размер, общий для отверстия и вала, в числителе верхнее и нижнее отклонение для отверстия, а в знаменателе – для вала.

*Расчет и выбор посадки с гарантированным зазором.* К соединениям с гарантированным зазором типа подшипников скольжения предъ-

являются требования минимального трения и износа сопрягаемых деталей, что достигается при работе в режиме жидкостного трения [3].

Жидкостное трение в узлах трения создается тогда, когда при определенных конструктивных и эксплуатационных факторах смазочное масло увлекается вращающейся цапфой и возникает гидродинамическое давление, превышающее нагрузку на опору и стремящееся расклинить поверхности цапфы и вкладыша. При определенной частоте вращения вала создается равновесие гидродинамического давления и сил, действующих на опору.

Положение вала в состоянии динамического равновесия будет определяться абсолютным  $\epsilon$  и относительным  $Z = \epsilon / (S/2)$  эксцентриситетами (рис. 1.3).

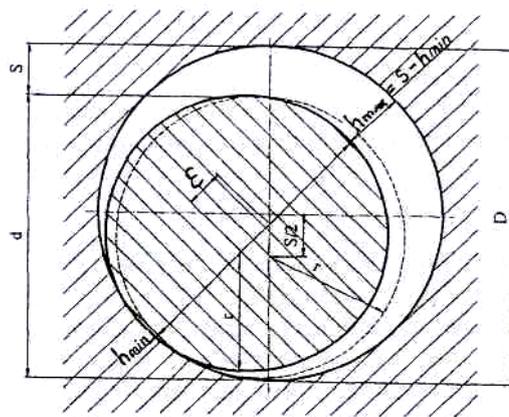


Рис. 1.3. Схема посадки с зазором

Поверхности цапфы и вкладыша подшипника при этом разделены переменным зазором, равным  $h_{\min}$  в месте их наибольшего сближения и  $h_{\max} = S - h_{\min}$  на диаметрально противоположной стороне. Наименьшая толщина масляного слоя  $h_{\min}$  связана с  $Z$  зависимостью

$$h_{\min} = \frac{S_{\text{опт}}}{2} - 1 = \frac{S_{\text{опт}}}{2} - \frac{Z S_{\text{опт}}}{2} = \frac{S_{\text{опт}}}{2} (1 - z). \quad (1.1)$$

Для обеспечения жидкостного трения необходимо, чтобы микронеровности цапфы и вкладыша подшипника не зацеплялись, т.е. чтобы слой смазки не имел разрывов. Это достигается при толщине масляного слоя в самом узком месте

$$h_{\min} \geq h_{\text{ж.т}} \geq Rz_1 + Rz_2 + \Delta_{\text{ф}} + \Delta_{\text{р}} + \Delta_{\text{изг}} + \Delta_{\text{д}}, \quad (1.2)$$

где  $h_{\text{ж.т}}$  – толщина масляного слоя, при котором обеспечивается жидкостное трение;  $Rz_1, Rz_2$  – высоты неровностей поверхностей вкладыша подшипника и цапфы вала;  $\Delta_{\text{ф}}, \Delta_{\text{р}}$  – величины, учитывающие влияние погрешностей формы и расположения поверхностей цапфы и вкладыша;  $\Delta_{\text{изг}}$  – величина, учитывающая влияние изгиба вала и других деформации деталей подшипникового узла;  $\Delta_{\text{д}}$  – добавка, учитывающая отклонения нагрузки, скорости, температуры от расчетных, а также механические включения в масле и другие неучтенные факторы (в большинстве случаев она принимается в размере 2 мкм).

Для упрощения расчета формулу (1.2) иногда заменяют следующей:

$$h_{\min} \geq h_{\text{ж.т}} \geq k_{\text{ж.т}} (Rz_1 + Rz_2 + \Delta_{\text{д}}), \quad (1.3)$$

где  $k_{\text{ж.т}}$  – коэффициент запаса надежности по толщине масляного слоя  $k_{\text{ж.т}} \geq 2$ .

Одновременно с обеспечением жидкостного трения необходимо, чтобы подшипник обладал требуемой несущей способностью, характеризуемой радиальной силой  $R$ . Из гидродинамической теории смазки известно, что несущая способность смазочного слоя в подшипнике (при неразрывности) определяется уравнением

$$R = (\mu \omega / \psi^2) l d C_R, \quad (1.4)$$

где  $R$  – радиальная сила, Н;  $\mu$  – динамическая вязкость смазочного материала, Па·с (значения динамической вязкости  $\mu$  при рабочей температуре 50 °С приведены в табл. 1.1);  $\omega$  – угловая скорость, равная  $\pi n / 30$ , рад/с;  $l, d$  – длина подшипника и диаметр цапфы, мм;  $\psi$  – относительный зазор, равный  $S/d$ ;  $C_R$  – безразмерный коэффициент нагруженности подшипника, зависящий от  $z$  и  $l/d$  [4].

Таблица 1.1

Марка масла	Динамическая вязкость $\mu$ при $t = 50^\circ\text{C}$ , Па·с	Марка масла	Динамическая вязкость $\mu$ при $t = 50^\circ\text{C}$ , Па·с
Индустриальное	0,009 – 0,013 0,015 – 0,021 0,024 – 0,030 0,034 – 0,047 0,038 – 0,052	Турбинное	0,018 – 0,021 0,025 – 0,029 0,040 – 0,043 0,050 – 0,053 0,056 – 0,061
12		22	
20		30	
30		46	
40		57	
50		Моторное Т	

Значения  $C_R$  для подшипников с углом охвата  $180^\circ$  (половинный) приведены в табл. 1.2. Половинные подшипники – подшипники, у которых масляный клин может образовываться на половине окружности.

Таблица 1.2

1	Коэффициент нагруженности $C_R$ при $z$									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$1/d$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
0,2	0,024	0,038	0,059	0,094	0,121	0,161	0,225	0,335	0,548	1,034
0,3	0,052	0,083	0,128	0,203	0,259	0,347	0,475	0,699	1,122	2,074
0,4	0,084	0,141	0,216	0,339	0,431	0,573	0,776	1,079	1,775	3,195
0,5	0,133	0,209	0,317	0,493	0,622	0,819	1,098	1,572	2,428	4,261
0,6	0,182	0,283	0,427	0,655	0,819	0,970	1,418	2,001	3,036	5,214
0,7	0,234	0,361	0,538	0,816	1,014	1,312	1,720	2,399	3,580	6,721
0,8	0,287	0,439	0,647	0,972	1,199	1,538	1,965	2,754	4,053	6,921
0,9	0,339	0,515	0,754	1,118	1,371	1,745	2,248	3,067	4,459	7,294
1,0	0,391	0,589	0,853	1,253	1,528	1,929	2,469	3,372	4,808	7,772
1,1	0,440	0,658	0,947	1,377	1,669	2,097	2,664	3,580	5,106	8,186
1,2	0,487	0,723	1,033	1,489	0,796	2,247	2,838	3,787	5,364	8,533
1,3	0,529	0,784	1,111	1,590	1,912	2,379	2,990	3,968	2,586	8,831
1,5	0,610	0,891	1,248	1,763	2,099	2,600	3,242	4,266	5,947	9,304
2,0	0,763	1,091	1,483	2,070	2,446	2,981	3,671	4,778	6,545	10,09

Из уравнения (1.4) следует, что несущая способность подшипника при постоянной рабочей температуре повышается с увеличением вязкости масла, частоты вращения вала и размеров подшипника и уменьшается с увеличением относительного зазора. Для выбора посадки

необходимо знать зависимость толщины масляного слоя в месте наибольшего сближения цапфы и вкладыша подшипника от величины зазора  $S$ . Вид зависимости  $h_{\min} = f(S)$  при постоянных значениях  $l/d$  и угла охвата подшипника показан на рис. 1.4.

Установлено, что жидкостное трение создается лишь в определенном диапазоне диаметральных зазоров, ограниченном наименьшим  $S_{\min F}$  и наибольшим  $S_{\max F}$  функциональными зазорами.

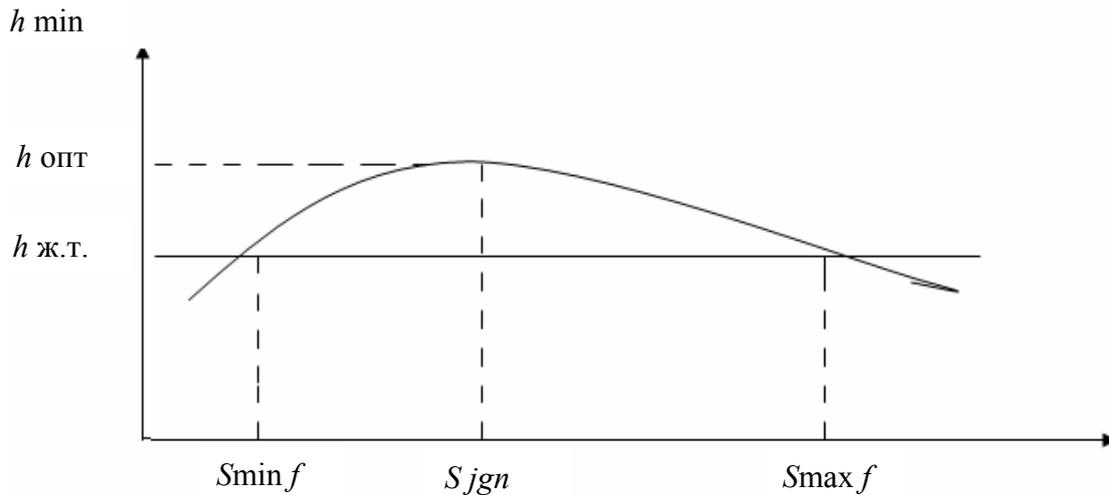


Рис. 1.4. Зависимость наименьшей толщины слоя смазочного материала  $h_{\min}$  от диаметрального зазора  $S$

Если после сборки диаметральный зазор в соединении равен  $S_{\min F}$ , то после приработки и некоторого времени работы механизма этот зазор достигает величины, соответствующей  $S_{\text{опт.}}$ . При дальнейшем износе трущихся деталей зазор увеличивается, и когда он будет близок или равен  $S_{\max F}$ , эксплуатация механизма должна быть прекращена из-за снижения его эксплуатационных показателей и возможности быстрого износа деталей.

Нахождение уравнений для определения предельных функциональных зазоров ( $S_{\min F}$ ,  $S_{\max F}$ ) осуществляется с помощью уравнения (1.4) с введением среднего давления, приходящегося на единицу площади проекции опорной поверхности подшипника  $P = R / l d$ , и коэффициентов  $k$  и  $m$ , зависящих от конструкции подшипников (табл. 1.3).

С учетом всех вышеизложенных положений уравнения для определения  $S_{\min F}$  и  $S_{\max F}$  будут иметь следующий вид:

$$S_{\min F} = [k\mu_1\omega d^2 - \sqrt{(k\mu_1\omega d^2)^2 - 16Ph_{ж.Т}^2 m\mu_1\omega d^2}] / 4P h_{ж.Т}, \quad (1.5)$$

$$S_{\max F} = [k\mu_2\omega d^2 + \sqrt{(k\mu_1\omega d^2)^2 - 16Ph_{ж.Т}^2 m\mu_1\omega d^2}] / 4P h_{ж.Т}. \quad (1.6)$$

Таблица 1.3

$l/d$	$k$		$m$	
	Полный подшипник	Половинный подшипник	Полный подшипник	Половинный подшипник
0,4	0,255	0,409	0,356	0,641
0,5	0,355	0,533	0,472	0,792
0,6	0,452	0,638	0,568	0,893
0,7	0,539	0,723	0,634	0,948
0,8	0,623	0,792	0,698	0,972
0,9	0,690	0,849	0,705	0,976
1,0	0,760	0,895	0,760	0,963
1,1	0,823	0,932	0,823	0,942
1,2	0,880	0,972	0,880	0,972

В уравнения (1.5) и (1.6) необходимо подставить те значения динамической вязкости масла  $\mu_1$  и  $\mu_2$ , которые соответствуют средним температурам смазочного слоя соответственно при  $S_{\min F}$  и  $S_{\max F}$ .

В нашем случае в целях упрощения задачи принимаем, что

$$\mu_1 = \mu_2.$$

В большинстве случаев рабочая температура подшипников должна быть не выше 60 – 75 °С. Для предварительных расчетов  $t_{\text{раб}} = 50$  °С. В соответствии с принятой температурой  $t_{\text{раб}}$  и маркой масла определяют динамическую вязкость масла

$$\mu = \mu_{\text{табл}} (50 / t_{\text{раб}})^{2,8},$$

где  $\mu_{\text{табл}}$  – динамическая вязкость при  $t_{\text{раб}} = 50$  °С по табл. 1.1.

По расчетным значениям  $S_{\min F}$  и  $S_{\max F}$  определяют ближайшую посадку по табл. 1.4 с наименьшим, средним и наибольшим зазорами.

Таблица 1.4

Номинальные размеры, мм	Посадки в системе отверстия							
	<i>H5/g4</i>	<i>H5/h4</i>	<i>H6/f6</i>	-	<i>H6/g5</i>	<i>H6/h5</i>	-	<i>H7/d8</i>
	Посадка в системе вала							
	<i>G5/h4</i>	<i>H5/h4</i>	-	<i>F7/h5</i>	<i>G6/h5</i>	<i>H6/h5</i>	<i>D8/h6</i>	<i>D8/h7</i>
$S_{\max}$ Предельные зазоры , мкм $S_{\min}$								
От 1 до 3	9	7	18	20	12	10	40	44
	2	0	0	6	2	0	20	20
Св. 3 до 6	13	9	16	27	17	13	56	60
	4	0	10	10	4	0	30	30
Св. 6 до 10	15	10	31	34	20	15	71	77
	5	0	13	13	5	0	40	40
Св. 10 до 18	19	13	38	42	25	19	88	95
	6	0	16	16	6	0	50	50
Св. 18 до 30	22	15	46	50	29	22	111	119
	7	0	20	20	7	0	65	65
Св. 30 до 50	27	18	57	61	36	27	135	144
	9	0	25	25	9	0	80	80
Св. 50 до 80	31	21	68	73	42	32	165	176
	10	0	30	30	10	0	100	100
Св. 80 до 120	37	25	80	86	49	37	196	209
	12	0	36	36	12	0	120	120
Св. 120 до 180	44	30	93	101	57	43	233	248
	14	0	43	43	14	0	145	145
Св. 180 до 250	49	34	108	116	64	49	271	288
	15	0	50	50	15	0	170	170
Св. 250 до 315	56	39	120	131	72	55	303	323
	17	0	56	56	17	0	190	190
Св. 315 до 400	61	43	134	144	79	61	335	356
	18	0	62	62	18	0	210	210
Св. 400 до 500	67	47	145	158	87	67	367	390
	20	0	68	68	20	0	230	230

Продолжение табл. 1.4

Номинальные размеры, мм	Посадки в системе отверстия							
	<i>H7/e7</i>	-	<i>H7/e8</i>	<i>H7/f7</i>	-	-	<i>H7/g6</i>	<i>H7/h6</i>
	Посадки в системе вала							
	-	<i>E8/h6</i>	<i>E8/h7</i>	<i>F7/h7</i>	<i>F7/h6</i>	<i>F8/h6</i>	<i>G7/h6</i>	<i>H7/h6</i>
$S_{max}$ Предельные зазоры , мкм $S_{min}$								
От 1 до 3	34	34	38	26	22	26	18	16
	14	14	14	6	6	6	2	0
Св. 3 до 6	44	16	50	34	30	36	24	20
	20	20	20	10	10	10	4	0
Св. 6 до 10	55	56	62	43	37	44	29	24
	25	25	25	13	13	13	5	0
Св. 10 до 18	68	70	77	52	45	54	35	29
	32	32	32	16	16	16	6	0
Св. 18 до 30	82	86	94	62	54	66	41	34
	40	40	40	20	20	20	7	0
Св. 30 до 50	100	105	114	75	66	80	50	41
	50	50	50	25	25	25	9	0
Св. 50 до 80	120	125	136	90	79	95	59	49
	60	60	60	30	30	30	10	0
Св. 80 до 120	142	148	161	106	93	112	69	57
	72	72	72	36	36	36	12	0
Св. 120 до 180	165	173	188	123	108	131	79	65
	85	85	85	43	43	43	14	0
Св. 180 до 250	192	201	218	142	125	151	90	75
	100	100	100	50	50	50	15	0
Св. 250 до 315	214	223	243	160	140	169	101	84
	110	110	110	56	56	56	17	0
Св. 315 до 400	239	250	271	176	155	187	111	93
	125	125	125	62	62	62	18	0
Св. 400 до 500	261	272	295	194	171	205	123	103
	135	135	135	68	68	68	20	0

Продолжение табл. 1.4

Номинальные размеры, мм	Посадки в системе отверстия								
	<i>H8/d8</i>	<i>H8/d9</i>	<i>H8/d8</i>	<i>H8/e8</i> <i>H9/e8</i>	<i>H8/f7</i>	<i>H8/f8</i>	<i>H8/f9</i>	<i>H8/h7</i>	<i>H8/h8</i>
	Посадки в системе вала								
	<i>D9/h8</i>	<i>D9/h8</i>	<i>E8/h8</i>	<i>E9/h8</i>	<i>F8/h7</i>	<i>F8/h8</i>	<i>F9/h8</i>	<i>H8/h7</i>	<i>H8/h8</i>
	$S_{\max}$ Предельные зазоры , мкм $S_{\min}$								
От 1 до 3	48 20	59 20	42 14	53 14	30 6	34 6	45 6	24 0	28 0
Св. 3 до 6	66 30	78 30	56 20	68 20	40 10	46 10	58 10	30 0	36 0
Св. 6 до 10	84 40	98 40	69 25	83 25	50 13	57 13	71 13	37 0	44 0
Св. 10 до 18	104 50	120 50	86 32	102 32	61 16	70 16	86 16	45 0	54 0
Св. 18 до 30	131 65	150 65	106 40	125 40	74 20	86 20	105 20	54 0	66 0
Св. 30 до 50	158 80	181 80	128 50	151 50	89 25	103 25	126 25	64 0	78 0
Св. 50 до 80	192 100	220 100	152 60	180 60	106 30	122 30	150 30	76 0	92 0
Св. 80 до 120	228 120	261 120	180 72	213 72	125 36	144 36	177 36	89 0	108 0
Св. 120 до 180	271 145	308 145	211 85	248 85	146 43	169 43	206 43	103 0	126 0
Св. 180 до 250	314 170	357 170	244 100	287 100	168 50	194 50	237 50	118 0	144 0
Св. 250 до 315	352 190	401 190	272 110	321 110	189 56	218 56	267 56	133 0	162 0
Св. 315 до 400	388 210	439 210	303 125	354 125	208 62	240 62	291 62	146 0	178 0
Св. 400 до 500	424 230	482 230	329 135	387 135	228 68	262 68	320 68	16 0	194 0

Продолжение табл. 1.4

Номинальные размеры, мм	Посадки в системе отверстия								
	$H8/h9$	$H9/d9$	-	$H9/t9$	$H9/f9$	$H9/h9$	$H10/d10$	$H10/h9$	$H10/h10$
	$H9/h8$								
	Посадки в системе вала								
$H8/h9$	$D9/h9$	$D10/h9$	$E9/h9$	$F9/h9$	$H9/h9$	$D10/h10$	$H10/h9$	$H10/h10$	
$H9/h8$									
$S_{max}$ Предельные зазоры , мкм $S_{min}$									
От 1 до 3	39 0	70 20	85 20	64 14	56 6	50 0	100 20	65 0	80 0
Св. 3 до 6	18 0	90 30	108 30	80 20	70 10	60 0	125 30	78 0	96 0
Св. 6 до 10	58 0	112 40	134 40	97 25	85 13	72 0	156 40	92 0	116 0
Св. 10 до 18	70 0	136 50	163 50	118 32	102 16	86 0	190 50	113 0	140 0
Св. 18 до 30	85 0	169 65	201 65	144 40	124 20	104 0	233 65	136 0	168 0
Св. 30 до 50	101 0	204 80	242 80	174 50	149 25	124 0	280 80	162 0	200 0
Св. 50 до 80	120 0	248 100	294 100	208 60	178 30	148 0	340 100	194 0	240 0
Св. 80 до 120	141 0	294 120	347 120	246 72	210 36	174 0	400 120	227 0	280 0
Св. 120 до 180	163 0	345 145	405 145	285 85	243 43	200 0	465 145	23 0	320 0
Св. 180 до 250	187 0	400 170	470 170	330 100	280 50	230 0	540 170	300 0	370 0
Св. 250 до 315	211 0	450 150	530 190	370 110	316 56	260 0	610 190	340 0	420 0
Св. 315 до 400	229 0	490 210	580 210	405 125	342 62	280 0	670 210	370 0	460 0
Св. 400 до 500	252 0	540 230	635 230	445 135	378 68	310 0	730 230	405 0	500 0

Продолжение табл. 1.4

Номинальные размеры, мм	Посадки в системе отверстия							
	<i>H7/c8</i>	<i>H11/a11</i>	<i>H11/b11</i>	<i>H11/c11</i>	<i>H11/d11</i>	<i>H11/h11</i>	<i>H12/b12</i>	<i>H12/h12</i>
	Посадки в системе вала							
	-	<i>A11/h11</i>	<i>B11/h11</i>	<i>C11/h11</i>	<i>D117/h11</i>	<i>H11/h11</i>	<i>B12/h12</i>	<i>H12/h12</i>
$S_{\max}$ Предельные зазоры, мкм $S_{\min}$								
От 1 до 3	84	390	260	180	140	120	340	200
	60	270	140	60	20	0	140	0
Св. 3 до 6	100	420	290	220	180	150	380	240
	70	270	140	70	30	0	140	0
Св. 6 до 10	117	460	330	260	220	180	450	300
	80	280	150	80	40	0	150	0
Св. 10 до 18	140	510	370	315	270	220	510	360
	95	290	150	95	50	0	150	0
Св. 18 до 30	164	560	420	370	325	260	580	420
	110	300	160	110	65	0	160	0
Св. 30 до 40	184	630	490	440	400	320	670	500
	120	310	170	120	80	0	170	0
Св. 40 до 50	194	640	500	450	400	320	680	500
	130	320	180	130	80	0	180	0
Св. 50 до 65	216	720	570	520	480	380	790	600
	140	340	190	140	100	0	150	0
Св. 65 до 80	226	740	580	530	480	380	800	600
	150	360	200	150	100	0	200	0
Св. 180 до 250	259	820	660	610	560	440	920	700
	170	380	220	170	120	0	220	0
Св. 100 до 120	269	850	680	620	560	440	940	700
	180	410	240	180	120	0	240	0

Окончание табл. 1.4

Номинальные размеры, мм	Посадки в системе отверстия							
	<i>H7/c8</i>	<i>H11/a11</i>	<i>H11/b11</i>	<i>H11/c11</i>	<i>H11/d11</i>	<i>H11/h11</i>	<i>H12/b12</i>	<i>H12/h12</i>
	Посадки в системе вала							
	-	<i>A11/h11</i>	<i>B11/h11</i>	<i>C11/h11</i>	<i>D117/h11</i>	<i>H11/h11</i>	<i>B12/h12</i>	<i>H12/h12</i>
$S_{\max}$ Предельные зазоры, мкм $S_{\min}$								
От 120 до 140	303	960	760	700	645	500	1060	800
	200	460	260	200	145	0	260	0
Св. 140 до 160	313	1020	780	710	645	500	1080	800
	210	520	280	210	145	0	280	0
Св. 160 до 180	333	1080	810	730	645	500	1119	800
	230	580	310	230	145	0	310	0
Св. 180 до 200	358	1240	920	820	750	580	1260	920
	240	660	340	240	170	0	340	0
Св. 200 до 225	378	1320	960	840	750	580	1300	920
	260	740	380	260	170	0	380	0
Св. 225 до 250	398	1400	1000	860	750	580	1340	920
	280	820	420	280	170	0	420	0
Св. 250 до 280	433	1560	1120	940	830	640	1520	1040
	300	920	480	300	190	0	480	0
Св. 280 до 315	463	1690	1180	970	830	640	1580	1040
	330	1050	540	330	190	0	540	0
Св. 315 до 355	506	1920	1320	1000	930	720	1740	1140
	360	1200	600	360	210	0	600	0
Св. 355 до 400	546	2070	1400	1120	930	720	1820	1140
	400	1350	680	400	210	0	680	0
Св. 400 до 450	600	2300	1560	1240	1030	800	2020	1260
	440	1500	760	440	230	0	760	0
Св. 450 до 500	640	2425	1640	1260	1030	800	2100	1260
	480	1650	840	480	230	0	840	0

*Расчет и выбор посадки с натягом.* Посадки с натягом предназначаются для образования неподвижных соединений. Разность между диаметром вала и внутренним диаметром втулки до сборки определяет натяг  $N$ . При запрессовке деталей происходят растяжение втулки на величину  $N_D$  и одновременно сжатие вала на величину  $N_d$ , причем  $N = N_d + N_D$ .

Упругие силы, вызываемые натягом, создают по поверхности соединения деталей напряжения, препятствующие их взаимному смещению.

Предельные значения натягов выбранной посадки должны удовлетворять следующим условиям:

1. При наименьшем натяге должна обеспечиваться прочность соединения, т.е. не должно быть относительного поворота деталей от действия внешнего крутящего момента или осевого усилия или их совместного действия. Это условие выполняется, если  $M_{кр} \leq M_{тр}$ , где  $M_{кр}$  – наибольший прикладываемый к одной детали момент кручения;  $M_{тр}$  – момент трения, зависящий от натяга, размеров соединяемых деталей, шероховатости поверхностей и других факторов.

2. При наибольшем натяге должна обеспечиваться прочность соединяемых деталей, т.е. наибольшее напряжение, возникающее в материалах деталей, не должно превышать допустимого значения.

Величину наименьшего натяга при условии, что сопрягаемые поверхности идеально гладкие, рассчитывают по формуле

$$N_{\min \text{ рас}} = p_3 D [(C_D/E_D) + (C_d/E_d)], \quad (1.7)$$

где  $p_3$  – удельное эксплуатационное давление по поверхности контакта, Па;  $D$  – номинальный диаметр соединения, мм;  $E_D, E_d$  – модули упругости материалов соединяемых деталей (для стали  $E \approx 2,06 \cdot 10^{11}$  Па; для чугуна  $E \approx 1,2 \cdot 10^{11}$  Па; для бронзы и латуни  $E \approx 1,1 \cdot 10^{11}$  Па);  $C_D, C_d$  – коэффициенты, определяемые по формулам:

$$C_D = \frac{1 + (D/d_2)^2}{1 - (D/d_2)^2} + \mu_D; \quad C_d = \frac{1 + (D/d_2)^2}{1 - (D/d_2)^2} + \mu_D, \quad (1.8)$$

где  $D$ ,  $d_1$ ,  $d_2$  – соответствующие диаметры сопрягаемых деталей, мм;  $\mu_D$ ,  $\mu_D$  – коэффициенты Пуассона для металлов охватывающей и охватываемой деталей (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Марка материала	$\sigma_T$ , Па	$\mu$	Марка материала	$\sigma_T$ , Па	$\mu$
Сталь 25	$2,74 \cdot 10^8$	0,30	Чугун СЧ 28-48	$2,74 \cdot 10^8$	0,25
Сталь 30	$2,94 \cdot 10^8$		Бронза	$3,92 \cdot 10^8$	
Сталь 35	$3,14 \cdot 10^8$		Бр АЖН-11-6-6		
Сталь 40	$3,30 \cdot 10^8$		Латунь	$3,43 \cdot 10^8$	
Сталь 45	$3,53 \cdot 10^8$		ЛмцОС 58-2-2		

Величина удельного контактного эксплуатационного давления определяется:

$$\text{при осевом сдвигающем усилии } p_3 = P n / \pi D l f; \quad (1.9)$$

$$\text{при крутящем моменте } p_3 = 2M_{кр} n / \pi D l f; \quad (1.10)$$

$$\text{при их совместном воздействии } p_3 = \sqrt{[(2M_{кр})^2 + P^2] / D^2} / \pi D l f, \quad (1.11)$$

где  $P$  – осевое усилие, Н;  $M_{кр}$  – крутящий момент, Н·м;  $D$  и  $l$  – номинальные диаметр и длина соединения, мм;  $n = 1,5 \dots 2$  – коэффициент запаса прочности соединения на возможные перегрузки и воздействие вибраций;  $f$  – коэффициент трения (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Метод запрессовки	Материал детали		Смазка	Коэффициент трения сцепления при распрессовке		
	охватываемой	охватывающей		осевой	круговой	
Механическая запрессовка	Сталь 30 – 50	Сталь 30 – 50	Машинное масло	0,20	0,08	
		Чугун СЧ 28 – 48	То же	0,17	0,09	
		Латунь	Всухую	0,10	0,04	
Нагрев или охлаждение	Сталь 30 – 50	Бронза	»	0,07	–	
		Сталь 30–50	Нагрев	»	0,40	0,35
			Охлаждение	»	0,40	0,16
		Чугун СЧ 28 – 48	»	0,18	0,13	
		Латунь	»	0,25	0,17	
		Бр.ОЦС 6-6-3	Чугун СЧ 15 – 32	»	0,07	–
Бр.АЖ9-4 Бр.АЖН 11-6-6	Сталь 45	»	0,07	–		

Прежде чем приступить к выбору посадки, следует проверить обеспечение прочности соединяемых деталей. Для этого определяют предельное допустимое удельное контактное давление на основе теории наибольших касательных напряжений по формулам:

$$P_{\text{доп } D} = 0,58 \sigma_{TD} [1 - (D^2/d^2)]; \quad (1.12)$$

$$P_{\text{доп } d} = 0,58 \sigma_{Td} [1 - (d^2/D^2)], \quad (1.13)$$

где  $\sigma_{TD}$  и  $\sigma_{Td}$  – условный предел текучести или предел прочности сопрягаемых отверстий и валов (см. табл. 1.5).

Стандартную посадку выбирают из табл. 1.7.

Таблица 1.7

Номинальные размеры, мм	Посадки в системе отверстия							
	H5/n4	H6/p4	H6/r6	H6/s5	H7/p6	H7/r6	H7/s6	H7/s7
	Посадка в системе вала							
	N5/h4	P6/h5	-	-	P7/h6	R7/h6	S7/h6	-
Предельные зазоры $N_{\text{max}}$ , мкм $N_{\text{min}}$								
От 1 до 3	7	17	20	24	20	23	27	31
	0	4	7	11	0	3	7	7
Св. 3 до 6	12	17	20	24	20	23	27	31
	3	4	7	11	0	3	7	7
Св. 6 до 10	14	21	25	29	24	28	32	38
	4	6	10	14	0	4	8	8
Св. 10 до 18	17	26	31	36	29	34	39	46
	4	7	12	17	0	5	10	10
Св. 18 до 30	21	31	37	44	35	41	48	56
	6	9	15	22	1	7	14	14
Св. 30 до 50	24	37	45	54	42	50	59	68
	6	10	18	27	1	9	18	18
Св. 50 до 65	28	45	54	66	51	60	72	83
	7	13	22	34	2	11	23	23
Св. 65 до 80	28	45	56	72	51	62	78	89
	7	13	24	40	2	13	29	29
Св. 80 до 100	33	52	66	86	59	73	93	106
	8	15	29	49	2	16	36	36
Св. 100 до 120	33	52	69	94	59	76	101	114
	8	15	32	57	2	19	44	44
Св. 120 до 140	39	61	81	110	68	88	117	132
	9	18	38	67	3	23	52	52

Продолжение табл. 1.7

Номинальные размеры, мм	Посадки в системе отверстия							
	<i>H5/n4</i>	<i>H6/p4</i>	<i>H6/r6</i>	<i>H6/s5</i>	<i>H7/p6</i>	<i>H7/r6</i>	<i>H7/s6</i>	<i>H7/s7</i>
	Посадка в системе вала							
	<i>N5/h4</i>	<i>P6/h5</i>	-	-	<i>P7/h6</i>	<i>R7/h6</i>	<i>S7/h6</i>	-
	$N_{max}$ Предельные зазоры , мкм $N_{min}$							
Св. 140 до 160	39	61	83	118	68	90	125	140
	9	18	40	75	3	25	60	60
Св. 160 до 180	39	61	86	126	68	93	138	148
	9	18	43	83	3	28	68	68
Св. 180 до 200	45	70	97	142	68	106	151	168
	11	21	48	93	3	31	76	76
Св. 200 до 225	45	70	100	150	79	109	159	176
	11	21	51	101	4	34	84	84
Св. 225 до 250	45	70	104	160	79	113	169	186
	11	21	55	111	4	38	94	94
Св. 250 до 280	50	79	117	181	79	126	190	210
	11	24	62	126	4	42	106	106
Св. 280 до 315	50	79	121	193	88	130	202	222
	11	24	66	138	4	46	118	118
Св. 315 до 355	55	87	133	215	98	144	226	247
	12	26	72	154	5	51	133	133
Св. 355 до 400	55	87	139	233	98	150	244	265
	12	26	78	172	5	57	151	151
Св. 400 до 450	60	95	153	259	108	166	272	295
	13	28	86	192	5	63	169	169
Св. 450 до 500	60	95	159	279	108	172	292	315
	13	28	92	212	5	69	189	189

Продолжение табл. 1.7

Номинальные размеры, мм	Посадки в системе отверстия						
	<i>H7/t6</i>	<i>H7/u7</i>	<i>H8/s7</i>	-	<i>H8/u8</i>	<i>H8/x8</i>	<i>H8/z8</i>
	Посадка в системе вала						
	<i>T7/h6</i>	-	-	<i>U8/h7</i>	-	-	-
	Пределные зазоры $N_{\max}$ , мкм $N_{\min}$						
От 1 до 3	-	28 8	24 0	32 8	32 4	34 6	40 12
Св. 3 до 6	-	35 11	31 1	41 11	41 5	46 10	53 17
Св. 6 до 10	-	43 13	38 1	50 13	50 6	56 12	64 20
Св. 10 до 14	-	51 15	46 1	60 15	60 6	67 13	77 23
Св. 14 до 18	-	51 15	46 1	60 15	60 6	72 18	87 33
Св. 18 до 24	-	62 20	56 2	74 20	74 8	87 21	106 40
Св. 24 до 30	54 20	69 27	56 2	81 27	81 15	97 31	121 55
Св. 30 до 40	64 23	85 35	68 4	99 25	99 21	119 41	151 78
Св. 40 до 50	70 29	98 45	68 4	109 45	109 31	136 58	175 97
Св. 50 до 65	85 36	117 57	83 7	133 57	133 41	168 76	218 126
Св. 65 до 80	94 45	132 72	89 13	148 72	148 56	192 100	256 164
Св. 80 до 100	113 56	159 89	106 17	176 89	178 70	232 124	312 204
Св. 100 до 120	126 69	179 109	114 25	198 109	198 90	264 155	364 256

Окончание табл. 1.7

Номинальные размеры, мм	Посадки в системе отверстия						
	$H7/t6$	$H7/u7$	$H8/s7$	-	$H8/u8$	$H8/x8$	$H8/z8$
	Посадка в системе вала						
	$T7/h6$	-	-	$U8/h7$	-	-	-
	$N_{\max}$ Предельные зазоры , мкм $N_{\min}$						
Св. 120 до 140	147	210	132	233	233	311	428
	82	180	29	130	107	185	302
Св. 140 до 160	159	280	140	253	253	343	478
	94	150	37	150	127	217	352
Св. 160 до 180	171	250	148	278	273	373	528
	106	170	45	170	147	247	402
Св. 180 до 200	195	282	168	308	308	422	592
	120	190	50	190	164	278	448
Св. 200 до 225	209	304	176	330	330	457	647
	134	212	58	212	186	313	503
Св. 225 до 250	225	330	186	356	356	497	712
	150	238	68	238	212	353	568
Св. 250 до 280	250	367	210	396	396	556	791
	166	263	77	263	234	394	629
Св. 280 до 315	272	402	222	431	431	606	871
	188	298	89	298	269	444	709
Св. 315 до 355	304	447	247	479	479	679	989
	211	333	101	333	301	501	811
Св. 355 до 400	330	492	265	524	524	749	1089
	237	378	119	278	346	571	911
Св. 400 до 450	370	553	295	587	587	837	1197
	267	427	135	427	393	643	1003
Св. 450 до 500	400	603	315	637	637	917	1347
	297	477	155	477	443	723	1153

Стандартную посадку выбирают таким образом, чтобы детали не проворачивались относительно друг друга, поэтому

$$N_{\min \text{ расч}} \leq N_{\min \text{ табл}}; \quad N_{\max \text{ расч}} \geq N_{\max \text{ табл}}.$$

Величина  $N_{\max \text{ расч}}$  определяется в соответствии с формулами (1.7)...(1.11) при  $P_{\text{нб}}$ . При этом в качестве  $P_{\text{нб}}$  принимается одно из двух значений  $P_{\text{доп}}$ , рассчитанных по (1.12) и (1.13), имеющее наименьшее значение. Но прежде чем выбрать посадку, следует учесть, что на прочность соединения вала и отверстия оказывают существенное влияние высоты микронеровностей.

Для расчета компенсации влияния микронеровностей рекомендуется пользоваться формулами (1.14) и (1.15), в частности: для материалов с различными механическими свойствами

$$\Delta_{\text{ш}} = 2(k_1 R_{ZD} + k_2 R_{Zd}), \quad (1.14)$$

для материалов с одинаковыми механическими свойствами

$$\Delta_{\text{ш}} = 2k(R_{ZD} + k_2 R_{Zd}), \quad (1.15)$$

где  $k, k_1, k_2$  – коэффициенты, учитывающие смятие микронеровностей поверхностей отверстия и вала, приведенные в табл. 1.8 и [5].

Таблица 1.8

Метод сборки соединения	$k$	$k_1$	$k_2$
		Материал соединения	
		Сталь или чугун	Бронза или сталь
Механическая запрессовка: без смазки со смазкой	0,25 – 0,50	0,1 – 0,2	0,6 – 0,8
	0,25 – 0,35		
С нагревом охватываемой детали С охлаждением вала	0,4 – 0,5	0,3 – 0,4	0,8 – 0,9
	0,6 – 0,7		

Величины микронеровностей выбирают по табл. 1.9 и [4].

Таблица 1.9

Номинальные размеры, мм	Валы				Отверстия			
	s5 r5	n6 p6 r6 t7 u7	h7 s7	u8 x8 z8	H6	H7 R7 U7	H8 U8	H9
$R_z$ , мкм								
От 1 до 3	0,8		1,6					
Св. 3 до 6	1,6	1,6	1,6	6,3	1,6	3,2	3,2	6,3
Св. 6 до 10			3,2					
Св. 10 до 18	1,6	3,2	6,3	10	3,2	6,3	6,3	10
Св. 18 до 30								
Св. 30 до 50	3,2	6,3	10	20	6,3	10	20	20
Св. 50 до 80								
Св. 80 до 120	6,3	10	20	20	6,3	10	20	20
Св. 120 до 180								
Св. 180 до 260	6,3	10	20	20	6,3	10	20	20
Св. 260 до 360								
Св. 360 до 500	10							

Таким образом, значения натягов при выборе посадок:

$$N_{\min \text{ рас}} = N_{\min \text{ рас}} + \Delta_{\text{ш}} \leq N_{\min \text{ табл}},$$

$$N_{\max \text{ рас}} = N_{\max \text{ рас}} + \Delta_{\text{ш}} \geq N_{\max \text{ табл}}.$$

Величины натягов могут также зависеть и от ряда других факторов (температуры при эксплуатации, неоднородности физико-химических свойств, материалов, отклонения формы сопрягаемых поверхностей и др.), которые здесь не рассматриваются.

**Рабочее задание.** Изучите понятия о соединениях и посадках. Ответьте на вопросы для самопроверки:

1. Что называют посадкой и какими параметрами она характеризуется?

2. Назовите виды посадок.
3. Приведите примеры графического изображения посадок.
4. Что называют допуском посадки?
5. Выведите формулу для вычисления допуска посадки через предельные зазоры (натяги).

**Практические задания.** Определите правильные ответы тест-контроля данной темы и решите пример по определению характеристик посадки.

### Тест-контроль занятия

1. Укажите правильное определение понятия «посадка»:
  - разность размеров отверстия и вала, если размер отверстия больше размера вала;
  - разность размеров вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия;
  - посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга;
  - характер соединения деталей, определяемый величиной получающихся в нем зазоров или натягов;
  - разность между наибольшим и наименьшим допустимыми зазорами или натягами.
2. Определите допуск посадки с зазором при  $D_H (d_h) = 40$  мм,  $EI = 0$  мкм,  $ES = 25$  мкм,  $ei = -50$  мкм,  $es = -25$  мкм:  
 $TS = 0,01; 0,025; 0; 0,03; 0,05$  мм.
3. Определите наибольший натяг соединения при  $ES = 0,024$  мм,  $EI = -0,059$  мм,  $es = +0,113$  мм,  $ei = 0,91$  мм:
  - $N_{\max} = 20, N_{\min} = 10$  мкм;
  - $N_{\max} = 300, N_{\min} = 100$  мкм;
  - $N_{\max} = 172, N_{\min} = 115$  мкм;
  - $N_{\max} = 2, N_{\min} = 1$  мкм;
  - $N_{\max} = 0, N_{\min} = 5$  мкм.
4. Определите наибольший и наименьший зазоры соединения при  $ES = +0,025$  мм,  $EI = 0$  мм,  $es = -0,025$  мм,  $ei = 0,050$  мм:

- $S_{\max} = 50$ ,  $S_{\min} = 25$  мкм;
- $S_{\max} = 75$ ,  $S_{\min} = 25$  мкм;
- $S_{\max} = 10$ ,  $S_{\min} = 5$  мкм;
- $S_{\max} = 5$ ,  $S_{\min} = 2$  мкм;
- $S_{\max} = 0$ ,  $S_{\min} = 0$  мкм.

5. Определите максимальный натяг в переходной посадке при  $D_H (d_h) = 40$  мм,  $ES = 25$  мкм,  $EI = 0$  мкм,  $es = 18$  мкм,  $ei = 2$  мкм:

$$N_{\max} = 18; 27; 25; 2; 7 \text{ мкм.}$$

6. Укажите правильное определение термина «посадка в системе вала»:

1) посадки, в которых различные зазоры и натяги получают соединением различных валов с основным отверстием, обозначенным Н;

2) число, которое выражает зависимость допуска от качества и не зависящее от номинального размера;

3) расстояние от ближайшей границы поля допуска до нулевой линии, которое обозначается буквами латинского алфавита;

4) число, которое выражает зависимость допуска только от номинального размера;

5) посадка, в которой различные зазоры и натяги получают соединением разных отверстий с основным валом.

### Примеры и методические указания по их решению

*Пример 1.* Определить характеристики посадки  $45 H7/f7$ , дать эскизы деталей сопряжения и показать на них номинальный диаметр с предельными отклонениями (см. прил. 1); начертить схему расположения полей допусков сопрягаемых по данной посадке деталей. На схеме расположения полей допусков соединения:

- показать номинальный диаметр сопряжения с его значениями и записать условные обозначения полей допусков, предельные отклонения, мкм;
- изобразить графически предельные размеры и допуски отверстия и вала, а также основные характеристики сопряжения с их

значениями, для чего необходимо рассчитать по предельным отклонениям предельные размеры и допуски отверстия и вала;

- рассчитать основные характеристики сопряжения – для посадки с зазором предельные и средние зазоры и допуск посадки;
- результаты решения представить в виде таблицы.

*Решение.* Предельные размеры, допуск: отверстия  $45 H7(+0,025)$ ,  $D_{\min} = 54$  мм,  $D_{\max} = 45 + 0,025 = 45,025$  мм,  $TD = 45,025 - 45,000 = 0,025$  мм; вала  $45 f7 (-0,025/-0,050)$ ,  $d_{\min} = 45 - 0,050 = 44,950$  мм,  $d_{\max} = 45 - 0,025 = 44,975$  мм,  $Td = 44,975 - 44,950 = 0,025$  мм.

Наибольший зазор  $S_{\max} = 45,025 - 44,950 = 0,075$  мм.

Наименьший зазор  $S_{\min} = 45 - 44,975 = 0,025$  мм.

Средний зазор  $S_{\text{ср}} = (S_{\max} + S_{\min}) / 2 = (0,025 + 0,075) / 2 = 0,05$  мм.

Допуск посадки  $TS = S_{\max} - S_{\min} = 0,075 - 0,025 = 0,05$  мм.

Проверка  $TS = TD + Td = 0,025 + 0,025 = 0,05$  мм.

Эскизы сопрягаемых деталей приведены на рис. 1.5, а схема расположения полей допусков – на рис. 1.6.

Результаты решения примера представить по форме табл. 1.10.

По аналогичной методике решаются примеры для переходной посадки или посадки с натягом.

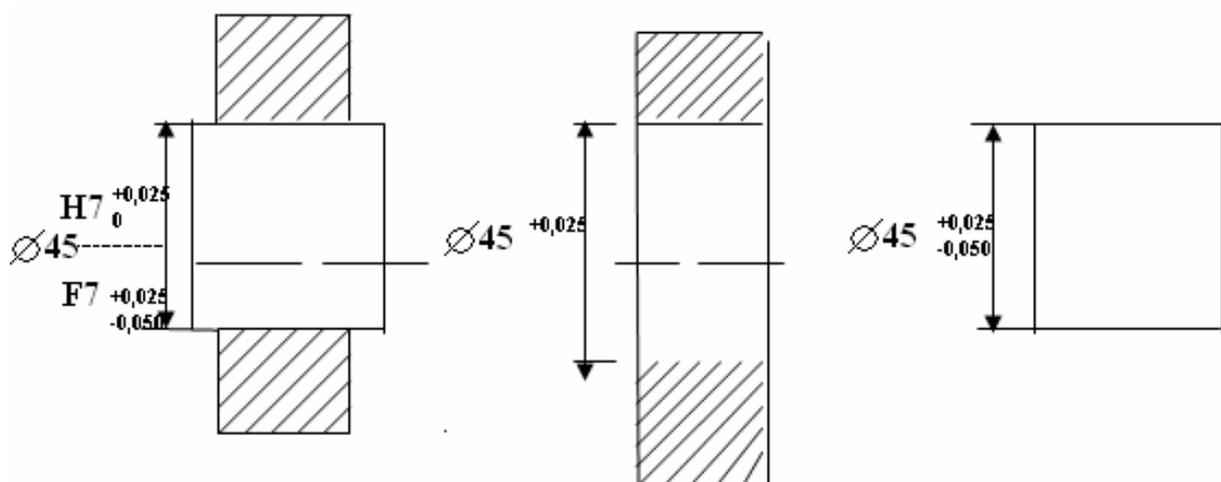


Рис. 1.5. Эскизы соединения сопрягаемых деталей

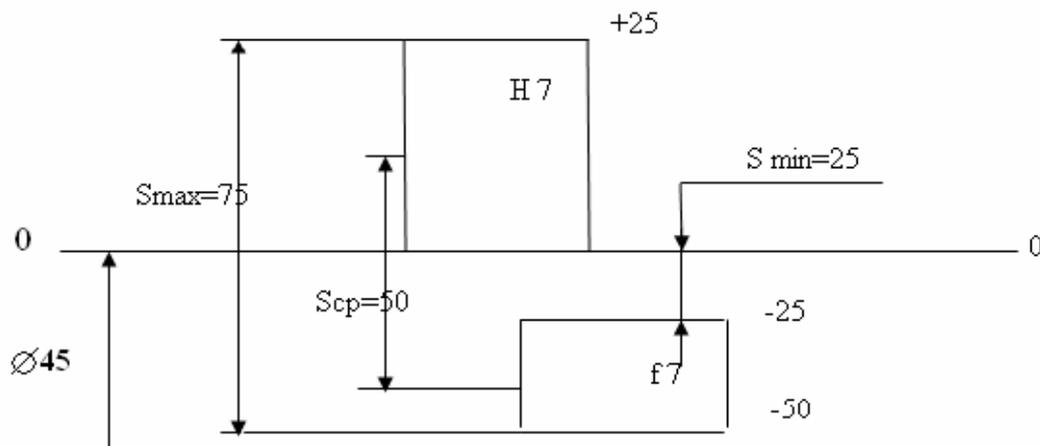


Рис. 1.6. Схема расположения полей допусков  
(на схеме все отклонения проставляют в микрометрах)

Таблица 1.10

Посадка	Отклонение, мкм				Допуск, мкм			Зазоры, мкм		Натяги, мкм	
	вала		отверстия								
	$es$	$ei$	$ES$	$EI$	$Td$	$TD$	$TS; TN$	$S_{max}$	$S_{min}$	$N_{max}$	$N_{min}$
45 H7/f7	-25	-50	+25	0	25	25	50	25	75	-	-

Пример 2. По заданным номинальным размерам (табл. 1.11) определить основные характеристики посадок, приведенных в табл. 1.12.

Таблица 1.11

При- мер	Последняя цифра номера зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	5	8	15	25	35	56	70	125	200	220
2	15	25	35	55	70	126	200	220	5	8
3	55	70	125	200	220	5	8	15	25	35

Таблица 1.12

При- мер	Последняя цифра номера зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$\frac{H7}{e8}$	$\frac{H7}{f7}$	$\frac{H7}{g6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{H8}{d9}$	$\frac{F7}{h6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{E9}{h6}$	$\frac{H8}{h7}$	$\frac{E8}{d9}$
2	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H7}{s6}$	$\frac{P7}{h6}$	$\frac{Y7}{s7}$	$\frac{R7}{h8}$	$\frac{S7}{h6}$	$\frac{H5}{h4}$	$\frac{P6}{h5}$	$\frac{H6}{s5}$
3	$\frac{H7}{j_s6}$	$\frac{H7}{k6}$	$\frac{H7}{n6}$	$\frac{J_s7}{h6}$	$\frac{R6}{h6}$	$\frac{H8}{k8}$	$\frac{H8}{j_s7}$	$\frac{R6}{h6}$	$\frac{K8}{h7}$	$\frac{V8}{n7}$

*Пример 3.* Для отверстия и вала с номинальным диаметром  $D = 20$  мм заданы:  $ES = +0,021$ ,  $EI = 0$  мм;  $es = +0,048$ ,  $ei = +0,035$  мм. Рассчитать посадку с зазором: определить номинальные и предельные размеры; предельные и средние отклонения, предельные зазоры, допуски отверстия, вала и посадки. Построить схемы полей допусков по предельным размерам и упрощенную.

*Пример 4.* Для отверстия и вала с номинальным диаметром  $D = 20$  мм заданы:  $ES = +0,021$ ,  $EI = 0$  мм;  $es = -0,007$ ,  $ei = -0,020$  мм. Рассчитать посадку с натягом: определить номинальные и предельные размеры, предельные и средние отклонения, предельные натяги, допуски отверстия, вала и посадки.

Начертить схемы полей допусков по предельным размерам, отклонениям и упрощенную.

*Пример 5.* Для отверстия и вала с номинальным диаметром  $D = 20$  мм заданы:  $ES = +0,021$ ,  $EI = 0$  мм;  $es = +0,015$ ,  $ei = +0,002$  мм. Рассчитать переходную посадку: определить номинальные и предельные размеры, предельные и средние отклонения, предельные натяги и зазоры, допуски отверстия, вала и посадки. Начертить схемы полей допусков по предельным размерам и упрощенную.

*Пример 6.* Определить предельные размеры и отклонения, допуски и посадки, зазоры и натяги по следующим данным:

$$\text{а) } 18^{+0,011 / -0,006}_{-0,014} ; \text{ б) } 18^{+0,011 / +0,009}_{+0,001} ; \text{ в) } 18^{+0,011 / +0,031}_{+0,023} ; \text{ г) } 18^{+0,014 / +0,011}_{-0,008} .$$

*Пример 7.* Известны следующие размеры соединения: номинальный диаметр 90 мм, наибольший зазор 12 мкм,  $-Td = 10$  мкм,  $ei = -22$  мкм;  $es = 0$ ;  $TD = 35$  мкм. Определить наименьший зазор, предельные размеры, предельные отклонения отверстия и вала, допуск посадки.

*Пример 8.* Даны предельные размеры отверстия  $D_{\max} = 125,040$ ,  $D_{\min} = 125$  мм и вала, мм:

а)  $d_{\max} = 124,915$ ,  $d_{\min} = 124,875$ ;

б)  $d_{\max} = 125,083$ ,  $d_{\min} = 125,043$ ;

в)  $d_{\max} = 125,117$ ,  $d_{\min} = 125,092$ ;

г)  $d_{\max} = 125,020$ ,  $d_{\min} = 124,980$ ;

д)  $d_{\max} = 125,028$ ,  $d_{\min} = 125,003$ .

Определить предельные зазоры, натяги и допуски соединения, начертить упрощенные схемы полей допусков.

*Пример 9.* Задано: номинальный размер соединения 3 мм.  $TD = 20$  мкм,  $EI = 0$ ;  $TD = Td$ ,  $EI = es$ . Начертить схему полей допусков, определить предельные размеры, предельные отклонения, предельные зазоры и допуск посадки.

*Пример 10.* Подобрать посадку с зазором для подшипника с углом охвата  $180^\circ$  ( $d = 150$  мм;  $l = 180$  мм), работающего при  $n = 600$  об/мин, под нагрузкой  $R = 58,8$  кН (6000 кгс), вкладыш цинкового сплава ЦАМ 10-5 с шероховатостью поверхности  $Rz_1 = 3,2$  мкм, цапфа стальная закаленная с шероховатостью поверхности  $Rz_2 = 1,6$  мкм. Применяют масло индустриальное 20 (при  $t_{\text{раб}} = 50^\circ$  С динамическая вязкость  $\mu = 0,017$  Па·с).

*Решение.* Для выбора оптимальной посадки наряду с уравнениями (1.1) и (1.3) используется дополнительное условие, что максимальный табличный зазор  $S_{\max T}$  после введения стандартных полей допусков должен быть примерно равен оптимальному зазору  $S_{\text{опт}}$ . Используя уравнения (1.5), (1.6) и рис. 1.2 находим:  $S_{\min F} = 33$  мкм,  $S_{\max F} = 362$  мкм и  $S_{\text{опт}} = 175$  мкм.

По табл. 1.4 определяем, что ближайшей посадкой для реализации полученных расчетных значений будет посадка  $150 H8^{+0,03}_0 / f8^{+0,043}_{-0,106}$  с наименьшим средним и наибольшим табличными зазорами:

$$S_{\min T} = 43; S_{\text{ср} T} = 106; S_{\max} = 169 \text{ мкм (рис. 1.7).}$$

При этом запас на износ  $S_{\text{и}}$  составляет:

$$S_{\text{и}} = (S_{\max F} - S_{\min T}) - (TD + Td) = (362 - 43) - (63 + 63) = 193 \text{ мкм.}$$

Зная величину запаса на износ и скорость изнашивания сопрягаемых деталей, можно определить время надежной работы соединения.

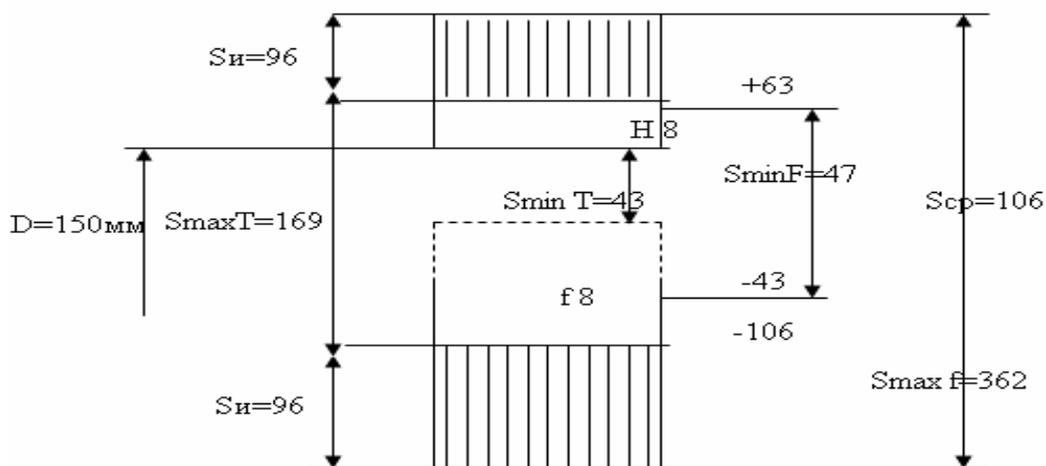


Рис. 1.7. Схема расположения полей допусков к расчету посадки с зазором ( $S_{и}$  – запас на износ)

Примеры 11 – 35. Рассчитать, выбрать посадку с гарантированным зазором и построить расположения полей допусков для гидродинамических подшипников скольжения при исходных данных, представленных в табл. 1.13.

Таблица 1.13

Но- мер при- мера	Номи- нальный диаметр соедине- ния под- шипника $d$ , мм	Длина соеди- нения подшип- ника $l$ , мм	Частота враще- ния цапфы, об/мин	Ради- аль- ная нагру- зка $R$ , кН	Масло (смазочный материал)	$R_{Z1}$ (вкл.), мкм	$R_{Z2}$ (ца- пфа), мкм
11	100	25	500	1,5	Индустриальное 20	1,25	3,2
12	60	30	1250	1,3	Турбинное 30	1,6	4
13	60	42	1000	2	Индустриальное 40	1,25	2,5
14	70	65	2000	3	Индустриальное 30	1,6	4
15	65	40	1500	4	Турбинное 46	1,0	2,5
16	75	60	2500	4,5	Моторное Т	0,80	2,0
17	80	90	3000	5	Индустриальное 50	1,0	2,5
18	85	85	2500	5	Турбинное 46	1,25	3,2
19	90	105	2000	5	Турбинное 30	1,25	3,2
20	95	95	1500	7,5	Индустриальное 20	1,0	2,0
21	100	110	1000	10	Турбинное 22	1,6	2,5
22	105	85	750	12	Индустриальное 30	1,6	4

Окончание табл. 1.13

Но- мер при- мера	Номи- нальный диаметр соедине- ния под- шипника $d$ , мм	Длина соеди- нения подшип- ника $l$ , мм	Частота враще- ния цапфы, об/мин	Ради- аль- ная нагру- зка $R$ , кН	Масло (смазочный материал)	$R_{z1}$ (вкл.), мкм	$R_{z2}$ (ца- пфа), мкм
23	110	100	500	12	Турбинное 30	1,25	3,2
24	115	70	600	0,5	Индустриальное 30	1,0	2,5
25	120	84	1000	15	Турбинное 30	1,0	2,0
26	125	50	1500	17	Турбинное 46	1,25	2,0
27	130	65	2000	18	Турбинное 57	1,25	2,5
28	135	80	2500	18	Турбинное 46	1,25	2,5
29	140	100	3000	20	Индустриальное 50	1,6	4,0
30	150	120	2500	21	Турбинное 46	1,25	3,2
31	55	32	1000	2,0	Турбинное 30	1,6	4,0
32	65	45	1500	2,5	Индустриальное 40	1,25	2,0
33	75	75	2500	4,0	Индустриальное 30	1,6	4,0
34	80	60	3000	4,0	Моторное Т	1,0	2,0
35	90	90	2000	4,5	Турбинное 46	1,25	3,2

*Примечание.* Во всех примерах подшипник разъемный половинный, материалы цапфы и вкладыша могут быть различными.

*Пример 36.* Рассчитать и выбрать посадку с натягом в соединении при следующих исходных данных:

- передаваемый крутящий момент  $M_{кр} = 30$  Н·м;
- номинальный диаметр сопряжения  $D = 25$  мм;
- внутренний диаметр вала  $d_1 = 0$  (вал сплошной);
- наружный диаметр втулки  $d_2 = 35$  мм;
- номинальная длина сопряжения  $l = 45$  мм;
- материал вала и втулки – сталь 45;
- запрессовка механическая при наличии смазки.

*Решение.* Используя уравнения (1.7)...(1.15) согласно теоретическим положениям и алгоритму расчета было установлено

$$N_{\max \text{ расч}} = 47; N_{\min \text{ расч}} = 12 \text{ мкм.}$$

В соответствии с табл. 1.7 принимаем посадку 25 H6/r6 или  $25^{+0,013}_{+0,024} / ^{+0,041}_{+0,024}$ , для которой (рис. 1.8) является характерным следующее:

допуск отверстия  $TD_{\text{таб}} = 0,013 \text{ мм}$ ;

допуск вала  $Td_{\text{табл}} = 0,013 \text{ мм}$ ;

минимальный натяг  $N_{\min \text{ табл}} = 0,015 \text{ мм}$ ;

максимальный натяг  $N_{\max \text{ табл}} = 0,041 \text{ мм}$ ;

допуск посадки  $TN_{\text{табл}} = N_{\max \text{ табл}} - N_{\min \text{ табл}} = 0,026 \text{ мм}$ .

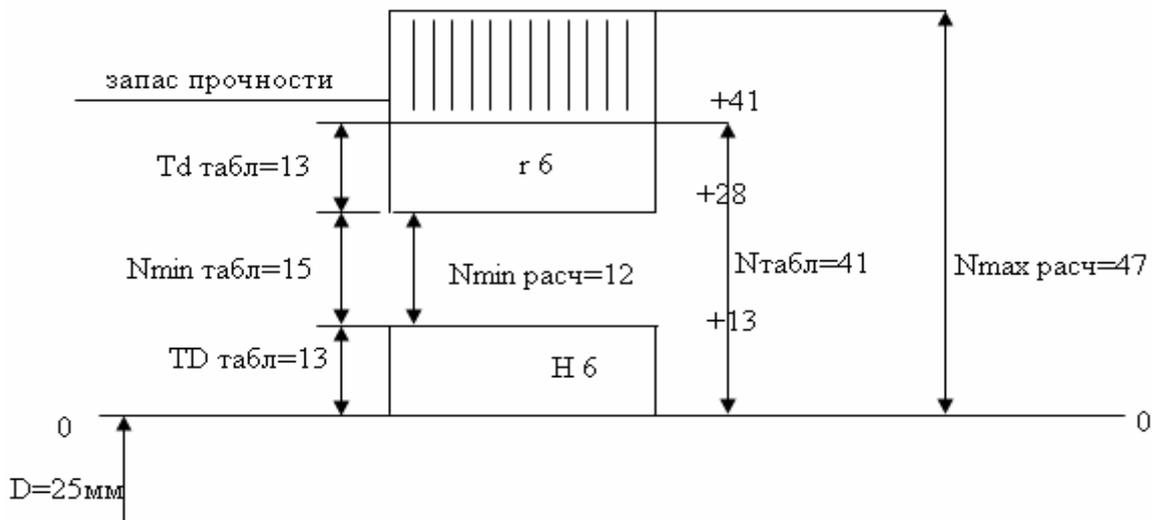


Рис. 1.8. Схема расположения полей допусков посадки с натягом

Решение будет правильным, если выполняются условия:

$$N_{\min \text{ табл}} \geq N_{\min \text{ расч}}; \quad N_{\max \text{ табл}} \leq N_{\max \text{ расч}}.$$

Принятая посадка обеспечивает неподвижность соединения и при наименьшем натяге, так как  $N_{\min \text{ табл}} \geq N_{\min \text{ расч}}$  ( $15 > 12$ ) мкм, а при  $N_{\max \text{ табл}}$  остается еще некоторый запас прочности сопрягаемых деталей, поскольку допускаемый наибольший натяг  $N_{\max \text{ расч}} = 47$ , а  $N_{\max \text{ табл}} = 41$  мкм.

*Примеры 37 – 62.* Рассчитать, выбрать и представить схему расположения полей допусков посадки с натягом с указанием разме-

ров, отклонений из системы ИСО при соответствующих исходных данных, которые представлены в табл. 1.14.

Таблица 1.14

Исходные данные к решению примеров	Номера примеров				
	37	38	39	40	41
Передаваемая осевая сила $P$ , кН	-	20	16	-	-
Передаваемый момент $M_{кр}$ , Н·м	1200	-	-	350	1800
Номинальный диаметр $D$ , мм	80	220	40	50	80
Внутренний диаметр вала $d_1$ , мм	-	55	20	20	-
Наружный диаметр $d_2$ , мм	150	240	120	80	150
Номинальная длина сопряжения $l$ , мм	120	0,5 $D$	1,5 $D$	75	140
Материал: вала втулки	Сталь 30 Сталь 30	Сталь 35 БрАЖН-11-6-6	Чугун 28-48 Сталь 35	Сталь 45 Сталь 45	Сталь 35 Сталь 35
Метод запрессовки	Механический	Механический	Механический	Механический	Механический
Смазка	-	-	-	-	-

Продолжение табл. 1.14

Исходные данные к решению примеров	Номера примеров				
	42	43	44	45	46
Передаваемая осевая сила $P$ , кН	-	-	-	-	-
Передаваемый момент $M_{кр}$ , Н·м	185	250	257	250	80
Номинальный диаметр $D$ , мм	40	50	80	40	100
Внутренний диаметр вала $d_1$ , мм	-	-	40	-	60
Наружный диаметр $d_2$ , мм	80	80	160	60	240
Номинальная длина сопряжения $l$ , мм	60	75	160	60	0,5D
Материал: вала втулки	Сталь 35 Сталь 35	Сталь 35 Сталь 35	Сталь 45 Сталь 45	Сталь 45 Сталь 45	Чугун СЧ-28-48 Сталь 45
Метод запрессовки	Механический	Механический	Механический	Механический	Механический
Смазка	-	-	-	-	Со смазкой

Продолжение табл. 1.14

Исходные данные к решению примеров	Номера примеров				
	47	48	49	50	51
Передаваемая осевая сила $P$ , кН	22	5	4	6	3
Передаваемый момент $M_{кр}$ , Н·м	-	8	18	18	16
Номинальный диаметр $D$ , мм	200	35	40	80	200
Внутренний диаметр вала $d_1$ , мм	50	25	25	30	80
Наружный диаметр $d_2$ , мм	240	80	85	220	270
Номинальная длина сопряжения $l$ , мм	0,5D	35	35	80	100
Материал: вала втулки	Сталь 35 БрАЖН-11- 6-6	Сталь 45 Сталь 30	Сталь 30 Сталь 40	Сталь 50 ЛМиОС 58-2-2-2	Сталь 35 Сталь 35
Метод запрессовки	Механиче- ский	Охлажде- ние вала	Охлажде- ние вала	Механиче- ский	Механи- ческий
Смазка	Со смазкой	-	-	-	-

Продолжение табл. 1.14

Исходные данные к решению примеров	Номера примеров				
	52	53	54	56	57
Передаваемая осевая сила $P$ , кН	-	20	18	2	3
Передаваемый момент $M_{кр}$ , Н·м	1550	-	50	1800	185
Номинальный диаметр $D$ , мм	50	200	70	80	40
Внутренний диаметр вала $d_1$ , мм	-	75	20	-	-
Наружный диаметр $d_2$ , мм	80	240	120	150	80
Номинальная длина сопряжения $l$ , мм	70	100	180	140	60
Материал: вала втулки	Сталь 45 Сталь 45	Сталь 45 Сталь 45	Сталь 30 Сталь 30	Чугун 28 – 48 Сталь 45	Сталь 30 Сталь 30
Метод запрессовки	Нагрев отв.	Механи- ческий	Механи- ческий	Механиче- ский	Механи- ческий
Смазка	-	-	-	Со смазкой	-

Исходные данные к решению примеров	Номера примеров				
	58	59	60	61	62
Передаваемая осевая сила $P$ , кН	40	30	10	5	3
Передаваемый момент $M_{кр}$ , Н·м	1000	300	-	50	30
Номинальный диаметр $D$ , мм	100	180	35	40	150
Внутренний диаметр вала $d_1$ , мм	-	50	25	25	80
Наружный диаметр $d_2$ , мм	200	240	80	65	270
Номинальная длина сопряжения $l$ , мм	60	80	35	40	
Материал: вала втулки	Чугун СЧ28 – 48 Сталь 45	Сталь 45 Сталь 45	Сталь 35 Сталь 35	Сталь 30 Сталь 30	Сталь 45 Сталь 45
Метод запрессовки	Механиче- ский	Механи- ческий	Механи- ческий	Механи- ческий	Механи- ческий
Смазка	Со смазкой	Со смазкой	-	-	-

### ЗАНЯТИЕ 1.3. Изучение государственных стандартов Единой системы допусков и посадок

**Основные положения.** Согласно ГОСТ 25346, ГОСТ 25347, ГОСТ 25348 в системах ИСО и ЕСДП установлены допуски и посадки для размеров менее 1 мм и до 500 мм, от 500 до 3150 мм, а в ЕСДП также для размеров от 315 до 10 000 мм. В ЕСДП поля допусков для размеров менее 1 мм выделены отдельно.

*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 достаточных для практики вариантов допусков и посадок типовых соединений деталей машин.

Системы допусков и посадок ИСО и ЕСДП для типовых деталей машин построены по единым принципам. Предусмотрены посадки в системах отверстия и вала (рис. 1.9).

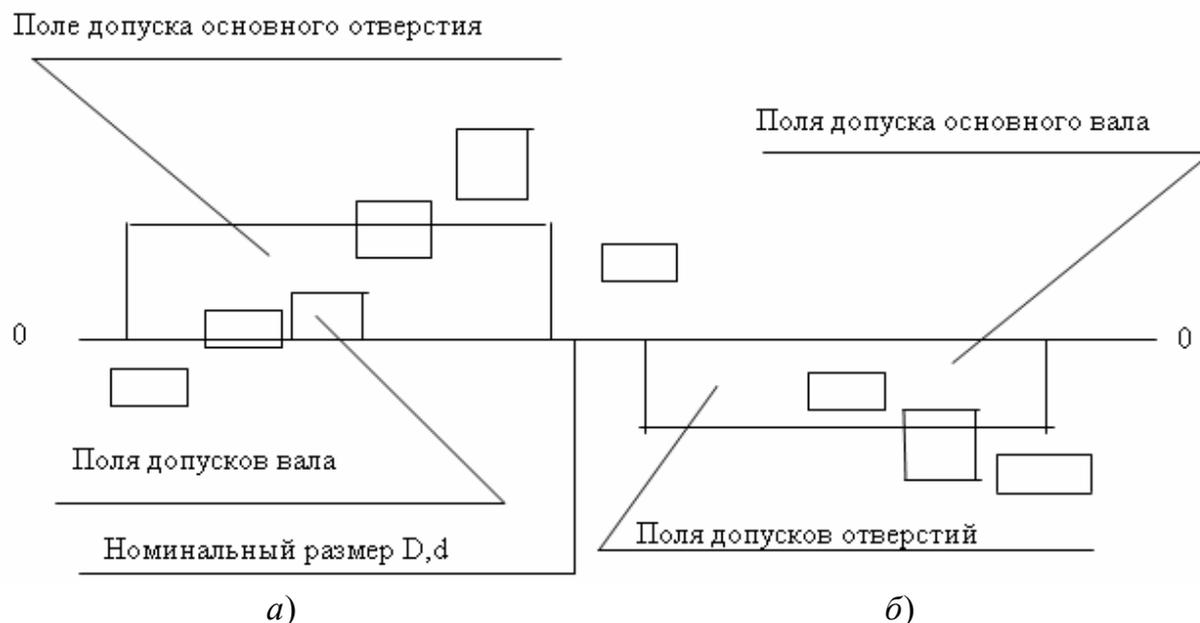


Рис. 1.9. Примеры расположения полей допусков для посадок в системах отверстия (а) и вала (б)

Посадки в системе отверстия – это посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных валов с основным отверстием (рис. 1.9, а), которое обозначают  $H$ . Для всех посадок в системе отверстия нижнее отклонение отверстия  $EI = 0$ , т.е. нижняя граница поля допуска основного отверстия всегда совпадает с нулевой линией, верхнее отклонение  $ES$  всегда положительное и равно цифровому значению допуска, т.е.  $TD = ES - EI = ES - 0 = ES$ . Поле допуска основного отверстия откладывают вверх, т.е. в материал детали.

Посадка в системе вала – это посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных отверстий с основным валом (рис. 1.9, б), который обозначают  $h$ . Для всех посадок в системе вала верхнее отклонение основного вала  $es = 0$ , т.е. верхняя граница поля допуска вала всегда совпадает с нулевой линией, нижнее отклонение отрицательное и равно цифровому значению допуска по модулю, т.е. допуск основного вала так же как и все

допуски положительные ( $Td = es - ei = 0 - (-ei) = |ei|$ ). Поле допуска основного вала откладывается вниз от нулевой линии, т.е. в материал детали.

Такую систему допусков называют односторонней предельной. Характер одноименных посадок (т.е. предельные зазоры и натяги) в системах отверстия и вала примерно одинаков. Выбор систем отверстия и вала для той или иной посадки определяется конструктивными, технологическими и экономическими соображениями.

Точные отверстия обрабатывают дорогостоящим режущим инструментом (зенкерами, развертками, протяжками и т.п.). Каждый из них применяют для обработки отверстия только одного размера с определенным полем допуска. Валы независимо от их размера обрабатывают одним и тем же резцом или шлифовальным кругом. В системе отверстия различных по предельным размерам отверстий меньше, чем в системе вала, а следовательно, меньше номенклатура режущего инструмента, необходимого для обработки отверстий. В связи с этим преимущественное распространение получила система отверстия.

Однако иногда по конструктивным соображениям приходится применять систему вала, например, когда требуется чередовать соединения нескольких отверстий одинакового номинального размера, но с различными посадками на одном валу. При выборе системы посадок нужно также учитывать допуски на стандартные детали и составные части изделий (например, вал для соединения с внутренним кольцом подшипника качения всегда следует изготавливать по системе отверстия, а гнездо в корпусе для установки подшипника – по системе вала).

В некоторых случаях (в ремонтной практике) целесообразно применять посадки, образованные таким сочетанием полей допусков отверстия и вала, когда ни одна из деталей не является основной. Такие посадки называют внесистемными (комбинированными).

Для построения систем допусков устанавливают единицу допуска  $i$  ( $I$ ), которая, отражая влияние технологических, конструктивных и метрологических факторов, выражает зависимость допуска от номинального размера, ограничиваемого допуском, и является мерой точности, а также число единиц допуска ( $a$ ), зави-

сящее от качества изготовления (квалитета) и не зависящее от номинального размера (в ЕСДП установлено 19 квалитетов – совокупность допусков, соответствующих одинаковой степени точности для всех номинальных размеров. Порядковый номер возрастает с увеличением допуска: 01; 0; 1; 2;...17 (допуск по квалитету обозначается через  $IT$  с порядковым номером, например  $IT14$ ).

На основании исследований точности механической обработки установлены следующие эмпирические формулы нахождения единицы допуска для размеров: до 500 мм –  $i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001 D$ ; от 500 до 10000 мм –  $I = 0,004D + 2,1$ , где  $D$  – среднее геометрическое крайних размеров каждого интервала, мм ( $D = \sqrt{D_{\max} D_{\min}}$ );  $i$  ( $I$ ) – единица допуска, мкм,  $0,001D$  учитывает погрешность измерения.

Число единиц допуска ( $a$ ) постоянное для каждого квалитета (качества изготовления) и не зависит от номинального размера. Число единиц допуска при переходе от одного квалитета к другому, начиная с 5-го и по 17-й, изменяется приблизительно по геометрической прогрессии со знаменателем  $\sqrt[3]{10} \approx 1,6$ . Число единиц допуска для этих квалитетов соответственно равно: 7, 10, 16, 25, 40, 64, 100, 160, 250, 400, 640, 1000 и 1600. Начиная с 5-го квалитета допуски при переходе к следующему, более грубому квалитету увеличиваются на 60 %, а через каждые пять квалитетов – в 10 раз. Это правило дает возможность развить систему в сторону более грубых квалитетов. Таким образом, допуск любого квалитета равен  $IT = ai$ .

Все измерения в ЕСДП определены при нормальной температуре, которая во всех странах принята равной  $20 \pm 2$  °С (ГОСТ 9249). Она близка к температуре рабочих помещений машиностроительных и приборостроительных заводов. Градуировку и аттестацию всех линейных и угловых мер и измерительных приборов, а также точные измерения следует выполнять при нормальной температуре, отступления от нее не должны превышать допускаемых значений (ГОСТ 8.050). Температура детали и измерительного средства в момент контроля должна быть одинаковой, что может быть достигнуто совместной выдержкой детали и измерительного средства в одинаковых условиях.

В отдельных случаях погрешность измерения, вызванную отклонением от нормальной температуры и разностью температурных коэффициентов линейного расширения материалов детали и измерительного средства, можно компенсировать введением поправки, равной погрешности, взятой с обратным знаком. Температурную погрешность  $\Delta l$  приближенно определяют по формуле

$$\Delta l = L (\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2),$$

где  $L$  – измеряемый размер, мм;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – температурные коэффициенты линейного расширения материалов деталей и измерительного средства соответственно,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;  $\Delta t_1 = t_1 - 20^{\circ}\text{C}$  – разность между температурой детали и нормальной температурой;  $\Delta t_2 = t_2 - 20^{\circ}\text{C}$  – разность между температурой измерительного средства и нормальной температурой.

Если температура детали и средств измерения одинакова, но не равна  $20^{\circ}\text{C}$ , также неизбежны ошибки вследствие разности температурных коэффициентов линейного расширения детали и измерительного средства. В этом случае (т.е. при  $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t$ ) погрешность

$$\Delta l \approx L \Delta t (\alpha_1 - \alpha_2).$$

Для построения рядов допусков каждый из диапазонов размеров, в свою очередь, разделен на несколько интервалов. Для номинальных размеров от 1 до 500 мм установлено 13 интервалов: до 3, от 3 до 6, от 6 до 10 мм, от 400 до 500 мм. Для полей, образующих посадки с большими зазорами или натягами, введены дополнительные промежуточные интервалы, что уменьшает колебание зазоров и натягов и делает посадки более определенными.

Положение поля допуска относительно нулевой линии (номинального размера) определяется основным отклонением. 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.

*Основное отклонение* – это расстояние от ближней границы поля допуска до нулевой линии (рис. 1.10). Основные отклонения отверстий обозначают прописными буквами латинского алфавита ( $H$ ), валов – строчными ( $h$ ). Отклонение  $A - H$  ( $a - h$ ) предназначены для образования полей допусков в посадках с зазором; отклонения  $J_s - N$  ( $j_s - n$ ) – в переходных посадках, отклонения  $P - ZC$  ( $p - zc$ ) – в посадках с натягом.

Каждая буква обозначает ряд основных отклонений, значение которых зависит от номинального размера. Абсолютное значение и знак каждого основного отклонения вала (верхнего  $es$  для вала  $a - h$  или нижнего  $ei$  для вала  $j - zs$ ) определяют по эмпирическим формулам. Основное отклонение вала не зависит от качества (даже когда формула содержит допуск  $IT$ ). Основные отклонения отверстий построены так, чтобы обеспечить посадки в системе вала, аналогичные посадкам в системе отверстия. Они равны по абсолютному значению и противоположны по знаку основным отклонениям валов, обозначаемым той же буквой.

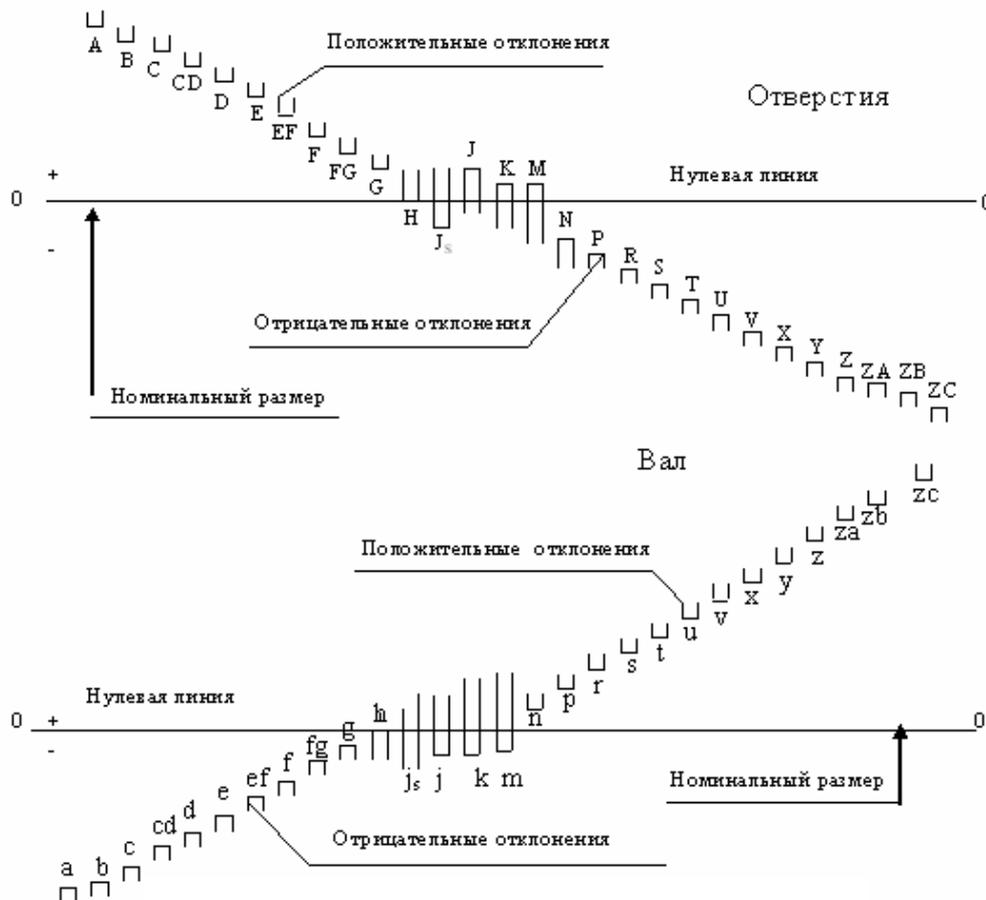


Рис. 1.10. Основные отклонения отверстий и валов

Предельные отклонения линейных размеров указывают на чертежах непосредственно после номинальных размеров (рис. 1.11, а – ж) следующими тремя способами:

1) условными обозначениями полей допусков (основное отклонение и квалитет) или числовыми значениями;

2) условными обозначениями и числовыми значениями, которые помещают справа от условных обозначений, в скобках.

Третий способ применяют в тех случаях, если предельные отклонения назначены:

- на размеры, не включенные в ряды нормальных линейных размеров;
- на определенные виды изделий и их элементы, например на пазы для шпонок;
- на размеры уступов с несимметричным полем допуска;
- на отверстия по системе вала.

Посадки и предельные отклонения размеров деталей, изображенных на чертеже в собранном виде, указывают дробью: в числителе – буквенное обозначение или числовое значение предельного отклонения отверстия либо буквенное обозначение с указанием справа в скобках его числового значения, после буквенного обозначения основного отклонения проставляют цифровое значение квалитета, в знаменателе – аналогичное обозначение поля допуска вала.

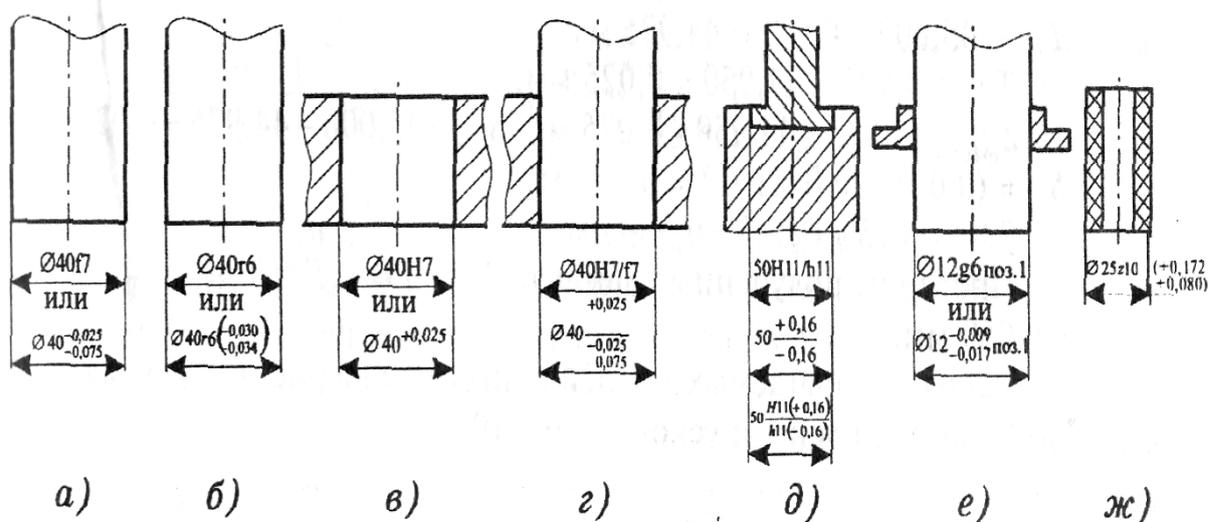


Рис. 1.11. Примеры обозначения полей допусков и посадок на чертежах

**Рабочее задание.** Изучите построение Единой системы допусков и посадок. Ответьте на вопросы для самопроверки:

1. Опишите содержание Единой системы допусков и посадок.
2. Что такое квалитет и как его обозначают?
3. Как определить единицу и число единиц допуска?
4. Объясните способ нахождения допуска по квалитету.
5. Что такое основное отклонение, приведите примеры?
6. Как определить температурную погрешность измерения?
7. Каким образом наносятся размеры на чертеж?

**Практические задания.** Определите правильный ответ по тест-контролю.

### Тест-контроль занятия

1. Определить квалитет, по которому назначен допуск на изготовление вала при  $d_H = 80$  мм,  $IT = 210$  мкм:  $IT$  11; 10; 8; 9; 7.

2. Дана посадка  $60 D8/h7$ . Определить вид посадки: с натягом; зазором; переходная; в системе вала; комбинированная.

3. Дана посадка  $10 N5/h4$ . Определить допуск отверстия и вала (мкм):

- $TD = 10, Td = 6$ ;
- $TD = 16, Td = 10$ ;
- $TD = 6, Td = 4$ ;
- $TD = 9, Td = 8$ ;
- $TD = 20, Td = 10$ .

4. Подобрать посадку в системе отверстия при  $d_H = 40$  мм,  $S_{\max} = 8$  мкм,  $N_{\max} = 33$  мкм:

$40H7/p6$ ;  $40H6/m5$ ;  $40H7/p8$ ;  $40H7/n6$ ;  $40H7/r5$ .

5. Определить квалитет, по которому назначен допуск на изготовление вала при  $d_H = 80$  мм,  $IT = 210$  мкм:

$IT$  11;  $IT$  10;  $IT$  8;  $IT$  9;  $IT$  7.

6. Дана посадка 60 D8/ h7. Определить вид посадки: с натягом; зазором; переходная; в системе вала; комбинированная.

7. Дана посадка 10 N5/ h4. Определить допуск отверстия и вала, мкм.

$$TD = 10, Td = 6; TD = 16, Td = 10; TD = 6, \\ Td = 4; TD = 9, Td = 8; TD = 20, Td = 10.$$

8. Подобрать посадку в системе отверстия при  $d_n$  40 мм,  $S_{\max} = 8$  мкм,  $N_{\max} = 33$  мкм:

40H7/ p6; 40H6/ m5; 40H7/ p8; 40H7/ n6; 40H7/ r5.

9. Определить допуск 10-го качества для размера 100 мм с помощью единицы допуска и числа единиц допуска:

$IT = 100; 133; 145; 120; 130$  мкм.

### Примеры и методические указания по их решению

*Пример 1.* Для посадки в системе вала известны  $D = 63$  мм,  $S_{\max} = 152$  мкм,  $S_{\min} = 60$  мкм,  $TD = Td$ . Определить предельные размеры и отклонения,  $TD$ ,  $Td$ ,  $IT$ ,  $TS$ , начертить схему полей допусков.

*Пример 2.* Для посадки в системе отверстия известны  $D = 40$  мм,  $TD = 25$  мкм,  $Td = 16$  мкм,  $N_{\min} = 18$  мкм. Определить предельные отклонения и размеры, наибольший натяг, допуск соединения, начертить схему полей допусков.

*Пример 3.* Вычислить допуски в 5-м и 10-м качествах для диаметра размером 100 мм.

*Решение.* Вычисляем средний размер  $D$  интервала (св. 80 до 120 мм), в котором находится заданный размер  $D = \sqrt{80 \cdot 120} \approx 98$  мм.

Единица допуска  $i = 0,45 \sqrt[3]{98} + 0,001 \cdot 98 \approx 2,17$  мкм. Число единиц допуска для 5-го и 10-го качеств  $a_5 = 7$ ,  $a_{10} = 64$ . Затем находим допуск для 5-го качества  $IT_5 = a_5 i = 7 \cdot 2,17 = 15,2 \approx 15$  мкм;  $IT_{10} = a_{10} \cdot i = 64 \cdot 2,17 = 139 \approx 140$  мкм. Округленные значения допусков соответствуют табличным (см. прил.1).

*Пример 4.* Задано основное отклонение вала. Вычислить основное отклонение отверстия; записать их условные обозначения и начертить эскизы полей допусков отверстия и вала.

Вариант	Диаметр вала, мм	Основное отклонение вала, мкм	Квалитет		Вариант	Диаметр вала, мм	Основное отклонение вала, мкм	Квалитет	
			вала	отверстия				вала	отверстия
1	2	- 60	8	11	8	90	23	7	8
2	5	- 30	10	8	9	150	43	5	6
3	8	- 25	8	9	10	190	77	6	7
4	12	- 16	6	7	11	280	158	6	7
5	25	- 7	5	6	12	320	268	6	7
6	45	2	7	8	13	420	490	7	8
7	65	11	7	8	14	460	68	6	7

*Пример 5.* Даны посадки:  $H7 / g6$ ,  $H7 / k6$ ,  $H6 / m5$ ,  $H8 / e8$ ,  $H8 / k7$ ,  $H6 / f6$ ,  $H5 / n4$ ,  $H9 / d9$ ,  $H8 / m7$ ,  $H6 / h5$ ,  $D8 / h6$ ,  $R7 / h6$ ,  $E8 / h7$ ,  $K8 / h7$ ,  $U8 / h7$ ,  $D8 / h8$ ,  $Y6 / h5$ ,  $U6 / H5$ . Определить систему и вид посадки. Найти предельные отклонения и допуски; вычислить предельные размеры отверстий и валов; предельные зазоры, натяги и допуски посадок; начертить эскизы полей допусков посадок в масштабе; записать заданные размеры с предельными отклонениями.

## ГЛАВА 2. ТОЧНОСТЬ ФОРМЫ, РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ИХ ШЕРОХОВАТОСТЬ

### ЗАНЯТИЕ 2.1. Указание на чертежах допусков форм и расположения поверхностей

**Основные положения.** Термины и определения, относящиеся к основным видам отклонений и допусков формы и расположения, установлены ГОСТ 24642. Под отклонением формы поверхности (или профиля) понимают отклонение формы реальной поверхности (реального профиля) от формы номинальной поверхности (номинального профиля).

В основу нормирования и количественной оценки отклонений формы и расположения поверхностей положен принцип прилегающих прямых, поверхностей и профилей.

Отклонение формы и расположения поверхностей определяют с помощью универсальных и специальных средств измерения. При этом используют поверочные чугунные плиты и плиты из твердых каменных пород (ГОСТ 10905), поверочные линейки (ГОСТ 8026), угольники (ГОСТ 3749), плоскопараллельные концевые меры длины (ГОСТ 9038), натянутые струны и оптико-механические приборы, в которых роль эталонной прямой выполняет луч света, а также кругломеры (ГОСТ 17353) с вращающимся наконечником или деталью.

Для каждого вида допусков формы и расположения поверхностей согласно ГОСТ 24643 установлено 16 степеней точности. Числовые значения допусков от одной степени к другой изменяются с коэффициентом возрастания 1,6.

Допуски формы и расположения поверхностей в зависимости от интервала номинальных размеров и степени точности приведены в табл. 2.1, 2.2, 2.3, 2.4.

Таблица 2.1

Интервалы номинальных размеров, мм	Степень точности									
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я	7-я	8-я	9-я	10-я
	Допуски плоскостности и прямолинейности, мкм									
До 10	0,25	0,4	0,5	1	1,6	2,5	4	6	10	16
Св. 10 до 16	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20
Св. 16 до 25	0,4	0,8	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25
Св. 25 до 40	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30
Св. 40 до 63	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40
Св. 63 до 100	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50
Св. 100 до 160	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60
Св. 160 до 250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80
Св. 250 до 400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
Св. 400 до 630	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120
Св. 630 до 1000	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160

*Примечание.* Под номинальным размером понимается номинальная длина нормированного участка. Если номинальный участок не задан, то под номинальным размером понимается номинальная длина большей стороны поверхности или номинальный больший диаметр торцевой поверхности.

Таблица 2.2

Интервалы номинальных размеров, мм	Степень точности									
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я	7-я	8-я	9-я	10-я
	Допуски цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения, мкм									
До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20
Св. 3 до 10	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	8	10	16	25
Св. 10 до 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30
Св. 18 до 30	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40
Св. 30 до 50	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50
Св. 50 до 120	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60
Св. 120 до 250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80
Св. 250 до 400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
Св. 400 до 630	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120

*Примечание.* Под номинальным размером понимается номинальный диаметр поверхности.

Таблица 2.3

Интервалы номинальных размеров, мм	Степень точности									
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я	7-я	8-я	9-я	10-я
	Допуски параллельности, перпендикулярности, наклона и торцевого биения, мкм									
До 10	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25
Св. 10 до 16	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30
Св. 16 до 25	0,6	1	1,6	2,5	3	6	10	16	25	40
Св. 25 до 40	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50
Св. 40 до 63	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60
Св. 63 до 100	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80
Св. 100 до 160	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
Св. 160 до 250	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120
Св. 250 до 400	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160
Св. 400 до 630	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200
Св. 630 до 1000	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250

*Примечание.* При назначении допусков параллельности, перпендикулярности, наклона под номинальным размером понимается номинальная длина нормируемого участка или номинальная длина всей рассматриваемой поверхности. При назначении допусков торцевого биения под номинальным размером понимается заданный номинальный диаметр торцевой поверхности.

Таблица 2.4

Интервалы номинальных размеров, мм	Степень точности									
	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я	7-я	8-я	9-я	10-я
	Допуски радиального биения, соосности, симметричности, пересечения осей, мкм									
До 3	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50
Св. 3 до 10	1	1,6	2,0	4	6+	10	16	25	40	60
Св. 10 до 18	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80
Св. 18 до 30	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
Св. 30 до 50	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120
Св. 50 до 120	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160
Св. 120 до 250	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200
Св. 250 до 400	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250
Св. 400 до 630	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300

*Примечание.* При назначении допуска радиального биения под номинальным размером понимается номинальный диаметр рассматриваемой поверхности. При назначении допусков сносности, симметричности, пересечения осей под номинальным размером понимается номинальный диаметр рассматриваемой поверхности вращения или номинальный размер между поверхностями, образующими рассматриваемый симметричный элемент.

В зависимости от соотношения между допуском размера и допусками формы или расположения устанавливают следующие уровни относительной геометрической точности:

А – нормальная относительная геометрическая точность (допуск формы или расположения составляет примерно 60 % допуска размера);

В – повышенная относительная геометрическая точность (допуски формы или расположения составляют примерно 40 % допуска размера);

С – высокая относительная геометрическая точность (допуски формы или расположения составляют примерно 25 % допуска размера).

Допуски формы цилиндрических поверхностей, соответствующие уровням А, В, С, составляют примерно 30, 20, 12 % допуска размера,

так как допуск формы ограничивает отклонение радиуса, а допуск размера – отклонение диаметра поверхности. Допуски формы и расположения можно ограничивать полем допуска размера. Эти допуски указывают только, когда по функциональным или технологическим причинам они должны быть меньше допусков размера или неуказанных допусков по ГОСТ 25670.

Вид допуска расположения и формы на чертежах обозначают знаками (ГОСТ 2.308), приведенными в табл. 2.5.

Знак и числовое значение допуска вписывают в рамку, указывая на первом месте знак, на втором – числовое значение допуска в миллиметрах и на третьем – при необходимости буквенное обозначение базы или поверхности, с которой связан допуск расположения или формы (рис. 2.1, а).

Таблица 2.5

Группа допусков	Вид допуска	Знак
Допуски формы	Допуск прямолинейности Допуск плоскостности Допуск круглости Допуск цилиндричности Допуск профиля продольного сечения	
Допуски расположения	Допуск параллельности Допуск перпендикулярности Допуск наклона Допуск соосности Допуск симметричности Позиционный допуск Допуск пересечения осей	



Рамку соединяют с элементом, к которому относится допуск, сплошной линией, заканчивающейся стрелкой (рис. 2.1, б). Если допуск относится к оси или плоскости симметрии, соединительная линия должна быть продолжением размерной (рис. 2.1, в); если допуск относится к общей оси (плоскости симметрии), соединительную линию проводят к общей оси (рис. 2.1, г).

Суммарные допуски формы и расположения поверхностей, для которых не установлены отдельные графические знаки, обозначают знаками составных допусков: сначала знак допуска расположения, затем знак допуска формы (рис. 2.1, н).

Базу обозначают заштрихованным треугольником, который соединяют линией с рамкой допуска (рис. 2.2, а).

Чаще базу обозначают буквой и соединяют ее с треугольником (рис. 2.2, б). Если базой является ось или плоскость симметрии, треугольник располагают в конце размерной линии соответствующего размера поверхности. В случае недостатка места стрелку размерной линии допускается заменять треугольником (рис. 2.2, в).

Если допуск расположения или формы не указан как зависимый, его считают независимым. Зависимые допуски расположения и формы обозначают условным знаком (рис. 2.3, а), который помещают: после числового значения допуска, если зависимый допуск связан с действительными размерами поверхности (рис. 2.3, б); после буквенного обозначения базы (рис. 2.3, в) или без буквенного обозначения базы в третьей части рамки (рис. 2.3, г), если допуск связан с действительными размерами базовой поверхности; после числового значения допуска и буквенного обозначения базы (рис. 2.3, д) или без буквенного указания базы (рис. 2.3, е), если зависимый допуск связан с действительными размерами рассматриваемого и базового элементов.

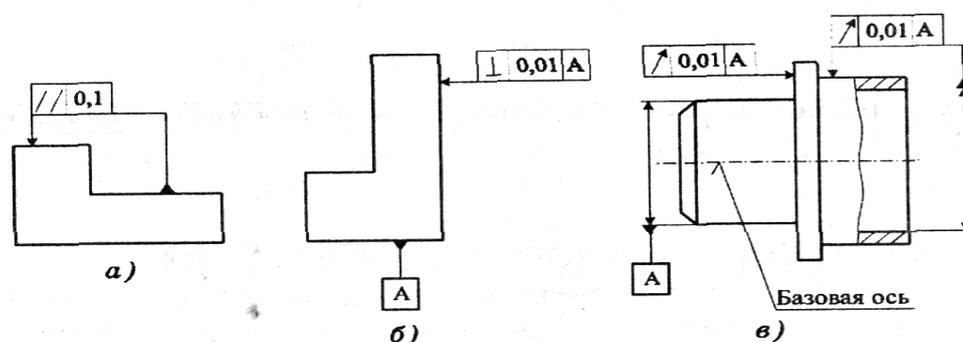


Рис. 2.2. Обозначение базы

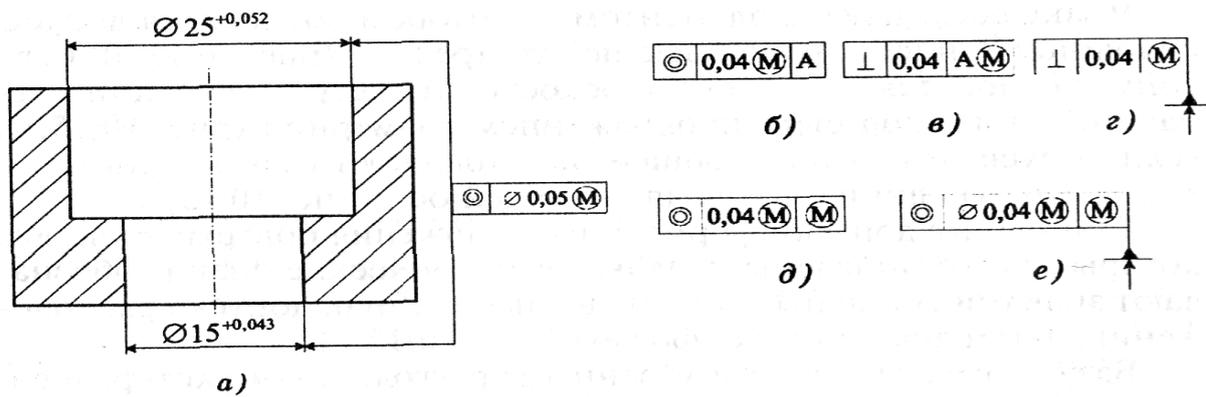


Рис. 2.3. Зависимый допуск сносности отверстий (а) и обозначение зависимых допусков (б – е)

**Рабочее задание.** Изучите теоретические вопросы отклонения форм и расположения поверхностей. Ответьте на вопросы для самопроверки.

1. Что такое комплексный показатель отклонения формы цилиндрической поверхности в поперечном и продольном сечениях?
2. Назовите частные виды отклонения профиля продольного сечения цилиндрической поверхности.
3. Дайте определение частным видам отклонения цилиндрической поверхности в поперечном сечении.
4. Дайте определение суммарному отклонению формы и расположению поверхности.
5. Что такое зависимые и независимые допуски формы и расположения поверхности?
6. Назовите условные обозначения формы и расположения поверхностей.
7. Как располагаются знаки и числовые значения допуска в рамках проставленных на чертеже?

**Практические задания.** Определите правильные ответы тест-контроля, решите примеры по данной теме.

### Примеры и методические указания по их решению

*Пример 1.* Расшифруйте условные обозначения допуска формы поверхностей детали (рис. 2.4): определите вид отклонения и допуск; в

каком выражении задан допуск (диаметральном или радиусном); форму поля допуска; размеры нормируемого участка; степень точности допуска.

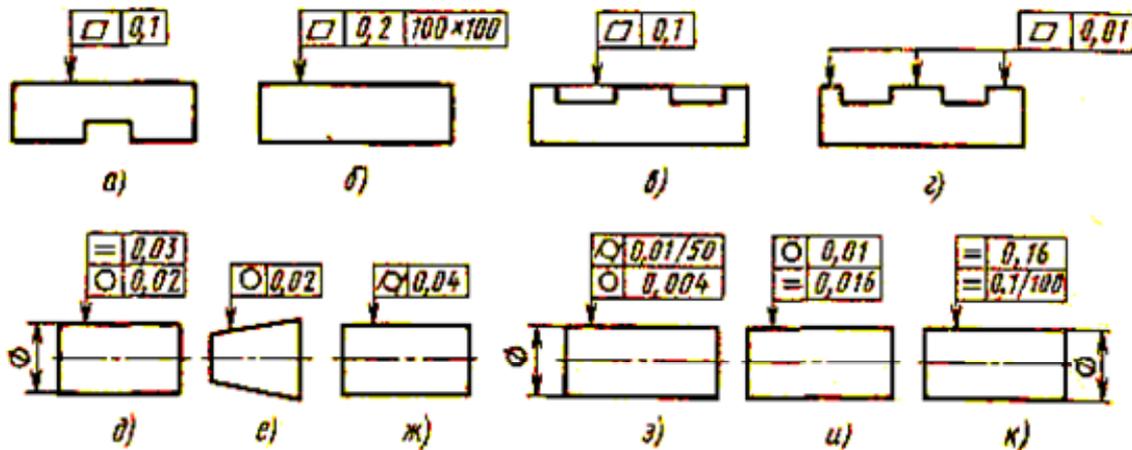


Рис. 2.4. Условные обозначения допуска формы поверхностей детали

Пример 2. Расшифруйте условные обозначения допуска расположения поверхностей детали (рис. 2.5), выполните задание примера 1 и определите базовый элемент.

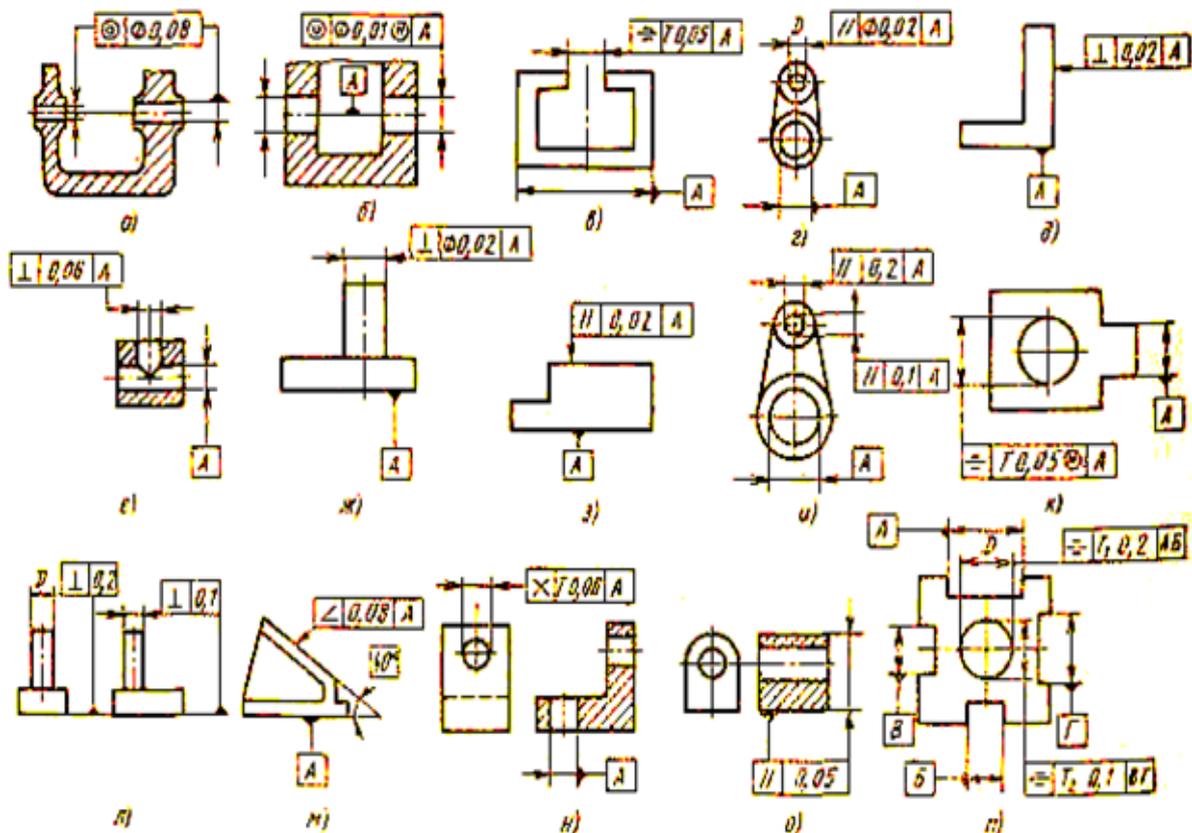


Рис. 2.5. Условные обозначения допуска расположения поверхностей детали



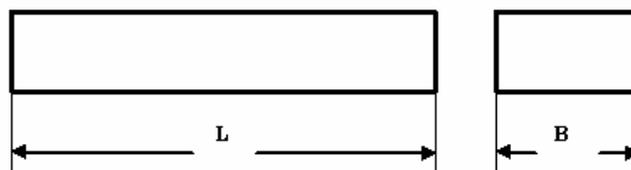


Рис. 2.7. Чертеж бруска

*Пример 5.* Нанести на чертеже требования к непрямолинейности образующей цилиндра в зависимости от заданной длины и степени точности на погрешность формы.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальная длина, мм	80	80	160	160	200	200	500	500	710	710
Степень точности по ГОСТ 24643-81	9	2	3	7	5	1	4	8	9	6

*Пример 6.* На валу закреплен маховик. Определить наименьший и наибольший возможный эксцентриситеты и радиальное биение маховика при вращении вала, зависящее от зазора в сопряжении (без учета влияния биения в подшипниках, погрешностей формы и т.д.). При решении примера считать, что при установке маховика на вал зазор в сопряжении выбран в одну сторону.

Номинальный размер и предельные отклонения, мм	Вариант				
	1	2	3	4	5
Вал	$50_{-0,017}$	$80_{-0,012}^{-0,03}$	$110_{-0,06}^{+0,018}$	$50_{-0,009}^{+0,027}$	$90_{-0,015}$
Отверстие	$50^{+0,027}$	$80^{+0,03}$	$110^{+0,046}$	$50^{+0,027}$	$90^{+0,035}$

*Окончание*

Номинальный размер и предельные отклонения, мм	Вариант				
	6	7	8	9	10
Вал	$120_{-0,040}$	$80_{-0,060}$	$75_{+0,01}^{+0,03}$	$100_{+0,012}^{+0,035}$	$140_{-0,09}^{-0,05}$
Отверстие	$120^{+0,035}$	$80^{+0,06}$	$75^{+0,03}$	$100^{+0,035}$	$140^{+0,04}$

*Пример 7.* Определить допуски форм и расположения поверхностей:

- прямолинейности на длине 100 мм, плоскостности и параллельности плоскости *A* относительно плоскости *B* (рис. 2.8, *a*);
- прямолинейности на длине 100 мм, плоскостности и параллельности плоскости *C* относительно плоскости *D* (рис. 2.8, *a*);
- перпендикулярности плоскости *D* относительно плоскости *B* и плоскости *B* относительно *D* (рис. 2.8, *a*);
- круглости, прямолинейности профиля продольного сечения и цилиндричности цилиндра (рис. 2.8, *б*);
- соосности наружного и внутреннего цилиндров (рис. 2.8, *в*), допуск соосности зависимый;
- параллельности оси отверстий и плоскости *A* (рис. 2.8, *г*);
- симметричности отверстий относительно плоскости симметрии кронштейна (рис. 2.8, *г*), допуск симметричности зависимый;
- соосности отверстий относительно общей оси (рис. 2.8, *г*);
- соосности отверстия диаметром 20 мм относительно оси отверстия диаметром 30 мм и отверстия диаметром 30 мм относительно оси отверстия диаметром 20 мм (рис. 2.8, *г*);
- перпендикулярности осей отверстия диаметром 20 и 32 мм плоскостям *A* и *B* соответственно (рис. 2.8, *д*);
- пересечения осей отверстий диаметром 20 и 32 мм (рис. 2.8, *д*);
- симметричности осей отверстий относительно плоскости симметрии кронштейна (рис. 2.8, *д*), допуск симметричности зависимый;
- соосности поверхностей валов диаметром 100 и 80 мм относительно поверхности вала диаметром 200 мм (рис. 2.8, *е*), допуски соосности зависимые;
- полного радиального биения поверхности вала диаметром 200 мм относительно общей оси (рис. 2.8, *е*);
- полного радиального биения поверхности вала диаметром 200 мм относительно поверхностей диаметром 100 и 80 мм (рис. 2.8, *е*), допуск полного радиального биения зависимый;
- полного торцевого биения и торцевого биения поверхности *A* на радиусе, равном 0,25 мм, от диаметра 250 мм относительно оси (рис. 2.8, *ж*).

*Примечание.* Допуски расположения определять в диаметральном и радиусном выражении для случаев, предусмотренных ГОСТ 24642-81. Для рассматриваемых случаев начертить эскизы и дать определения полей допусков. Для решения примеров значения допусков формы и расположения поверхностей принимать по степени точности, указанной преподавателем.

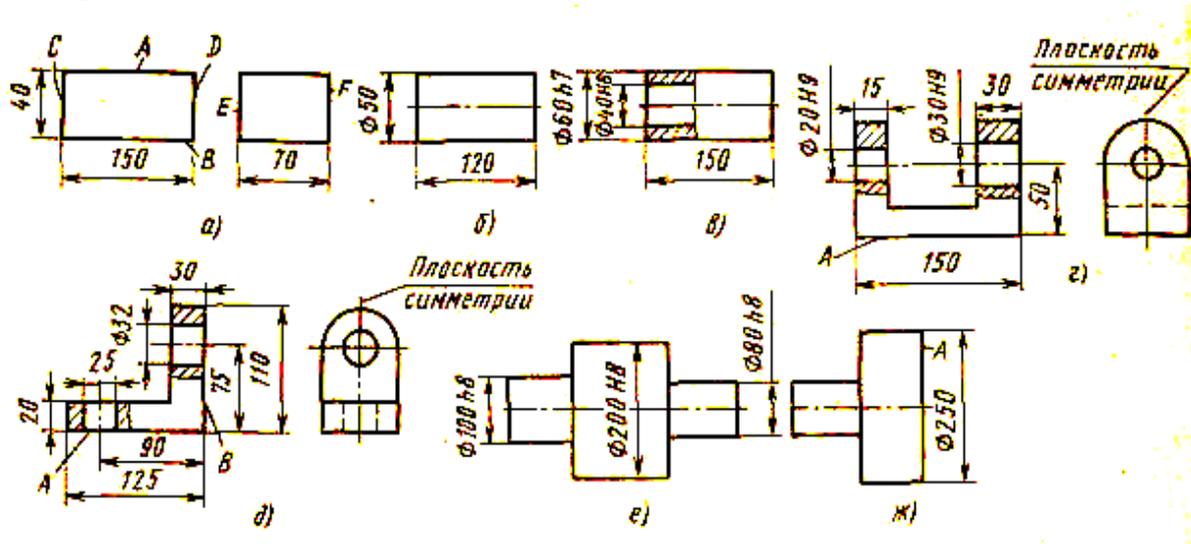
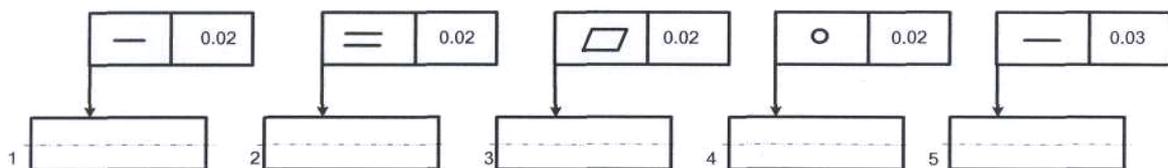


Рис. 2.8

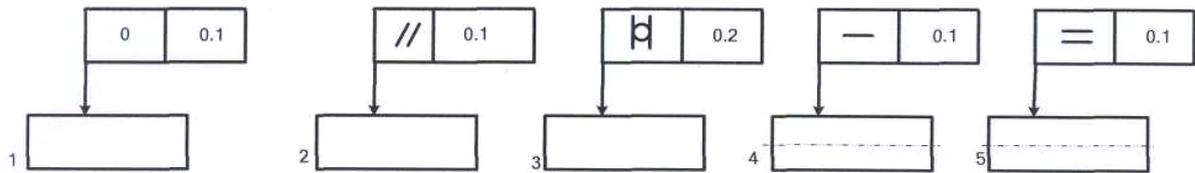
### Тест-контроль занятия

1. Показать эскиз с правильной простановкой требований, предъявляемых к детали по отклонению формы: отклонение от прямолинейности не более 0,02 мм.

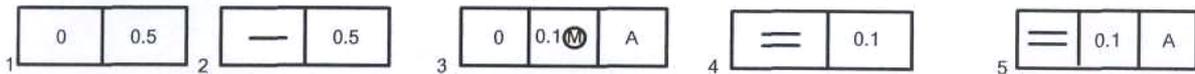


2. Указать правильное условное обозначение допуска прямолинейности на нормированном участке, который может занимать любое положение на поверхности.

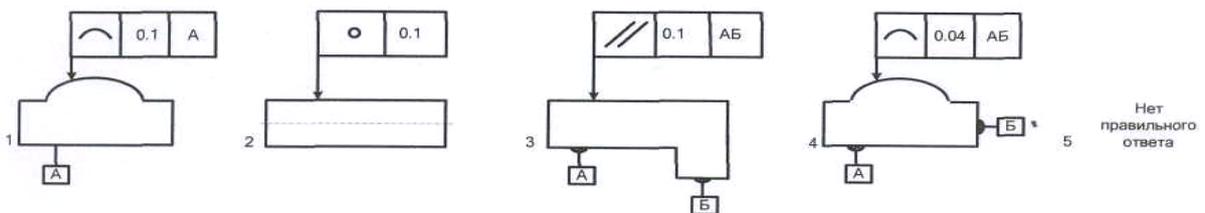
3. Показать эскиз с правильной простановкой требований, предъявляемых к детали по отклонениям расположения поверхностей: отклонение от профиля продольного сечения не более 0,1 мм.



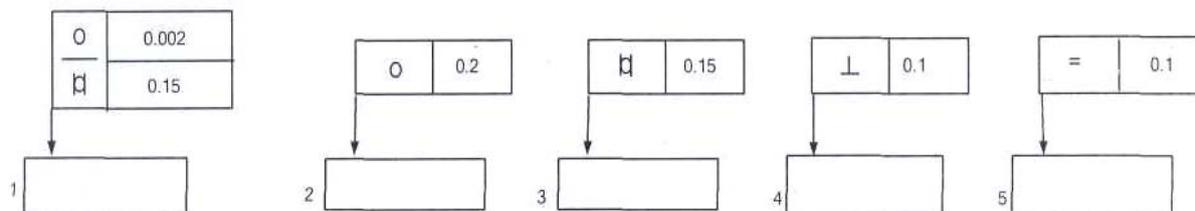
4. Укажите правильное условное обозначение зависимых допусков формы поверхностей.



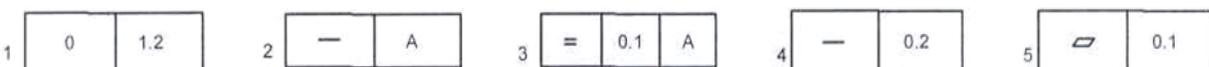
5. Показать эскиз с правильным указанием требований к суммарным допускам формы и расположения: отклонение формы заданного профиля 0,04 мм, базы поверхности А и Б.



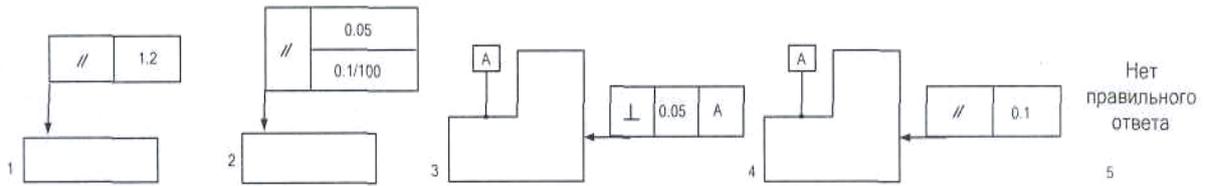
6. Показать эскиз с правильной простановкой требований, предъявляемых к детали по отклонению формы: отклонение от круглости не более 0,002 мм, отклонение от цилиндричности не более 0,15 мм.



7. Указать правильное условное обозначение базовой поверхности допуска формы.



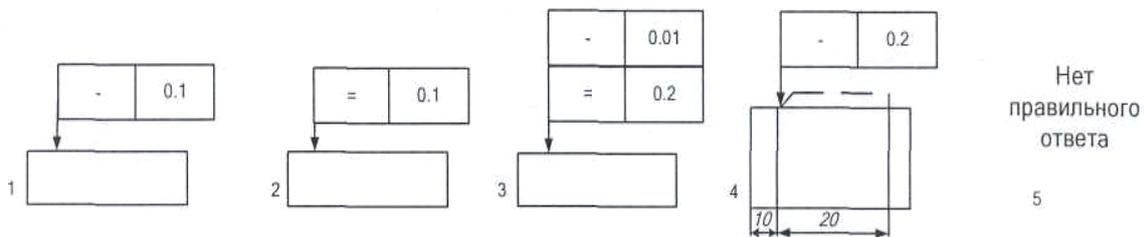
8. Показать эскиз с правильной простановкой требований, предъявляемых к детали по отклонению расположения поверхностей: отклонение от перпендикулярности не более 0,05 мм.



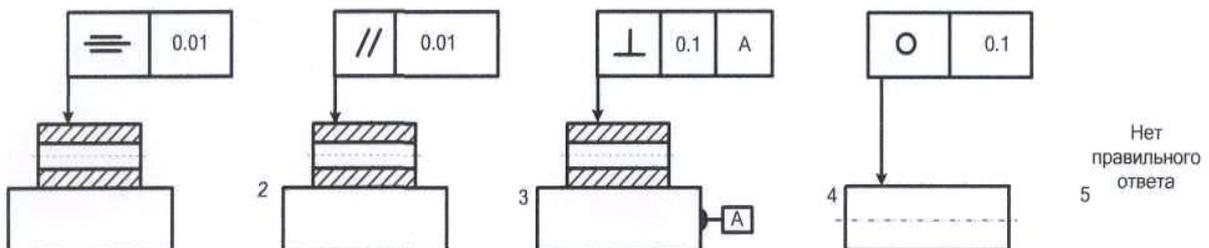
9. Показать эскиз детали с правильным указанием требований к суммарным допускам формы и расположения: радиальное биение  $030d9$  относительно базовой оси  $015Я7$  не более  $0,02$  мм.



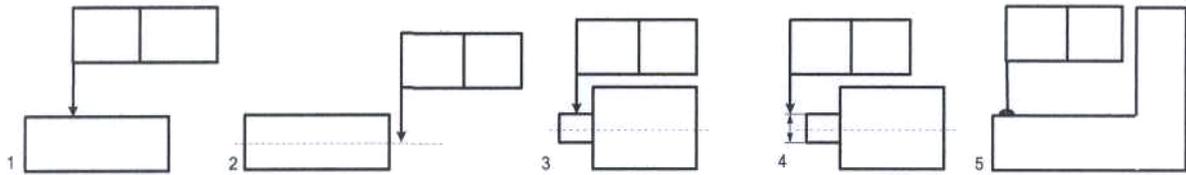
10. Показать эскиз детали с правильной постановкой требований к допуску прямолинейности на нормированном участке.



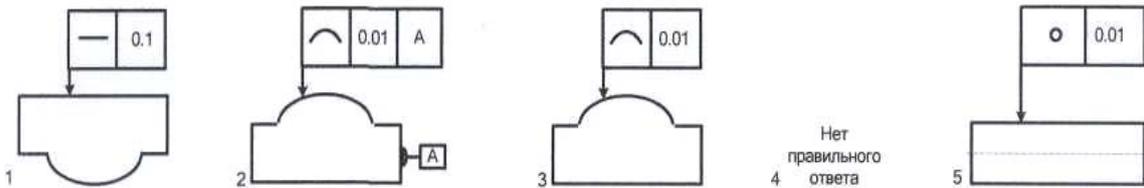
11. Показать эскиз с правильной постановкой требований, предъявляемых к детали по отклонению расположения поверхностей: отклонение от симметричности не более  $0,01$  мм.



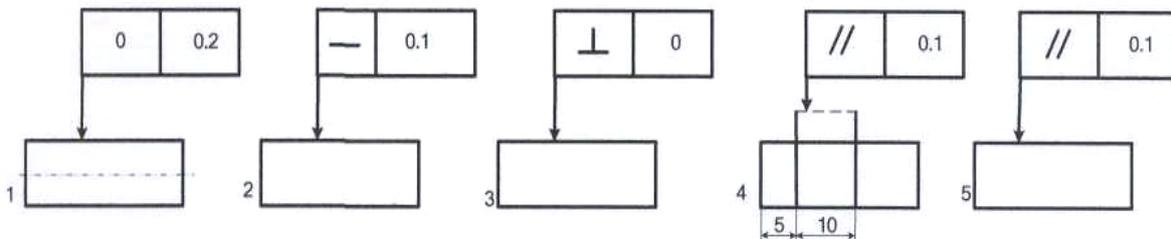
12. Указать правильное условное обозначение соединения рамки с контурной линией элемента детали.



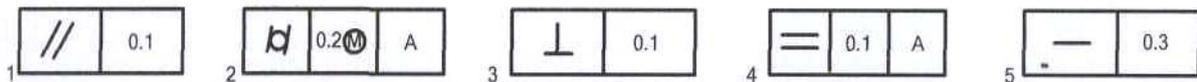
13. Показать эскиз детали с правильным указанием требований к суммарным допускам формы и расположения: отклонение формы заданного профиля 0,01 мм, база поверхности А.



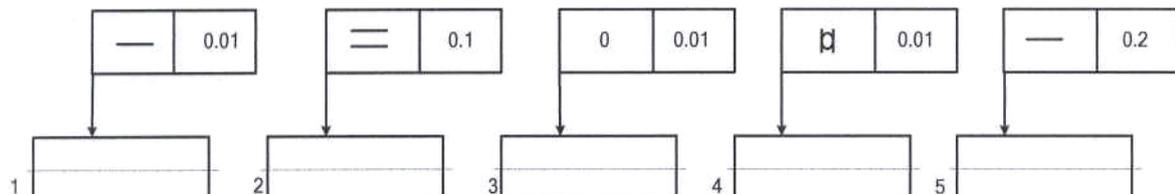
14. Показать эскиз с правильной постановкой требований к допуску параллельности на нормированном участке.



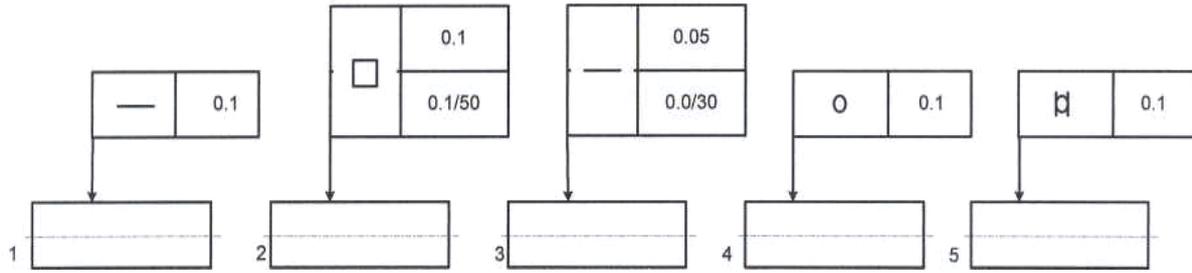
15. Указать правильное условное обозначение зависимых допусков формы поверхности.



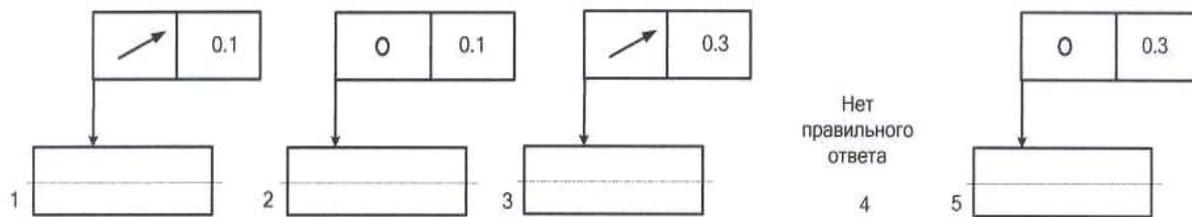
16. Показать эскиз с правильной постановкой требований, предъявляемых к детали по отклонению формы: отклонение от прямолинейности не более 0,01 мм.



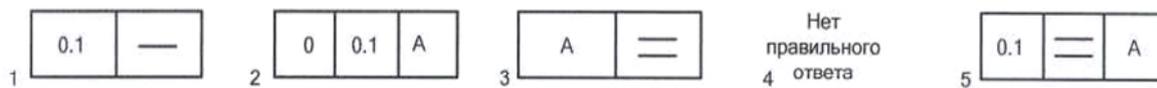
17. Указать правильное условное обозначение допуска плоскостей на всей поверхности и на нормируемом участке, который может занимать любое положение поверхности.



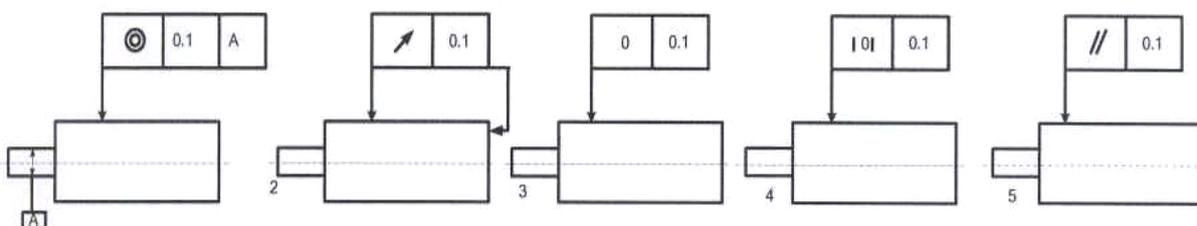
18. Показать эскиз детали с правильным указанием требований к суммарным допускам формы и расположения: радиальное биение не более 0,1 мм.



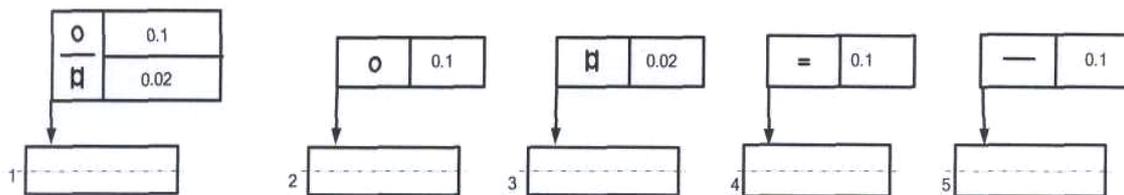
19. Указать правильное условное обозначение знака допуска в прямоугольной рамке.



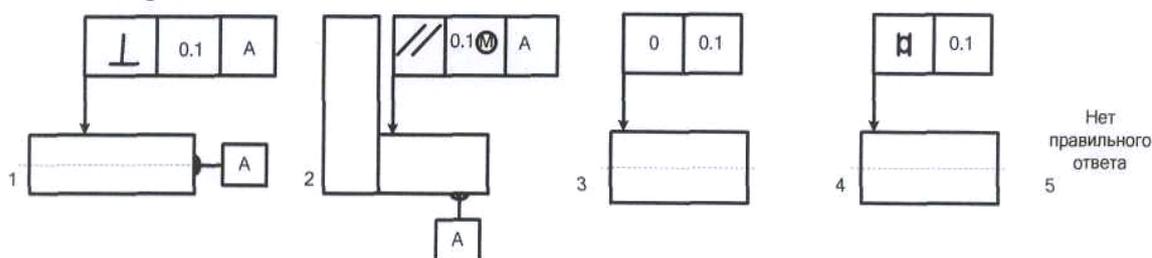
20. Показать эскиз с правильной простановкой требований, предъявляемых к детали по отклонению расположения поверхностей: отклонение соосности не более 0,1 мм.



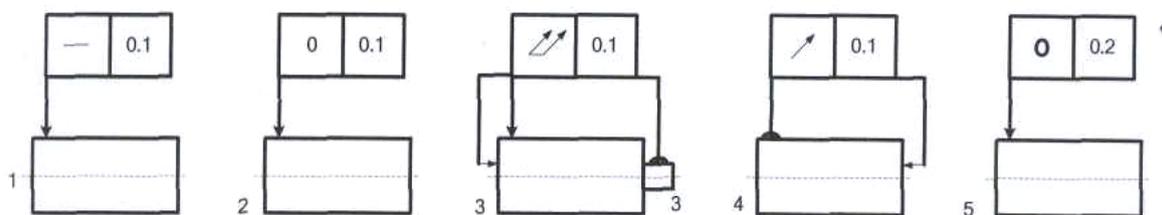
21. Показать эскиз детали с правильной простановкой требований, предъявляемых к детали по отклонению формы: отклонение от круглости не более 0,001 мм, отклонение от цилиндричности не более 0,02 мм.



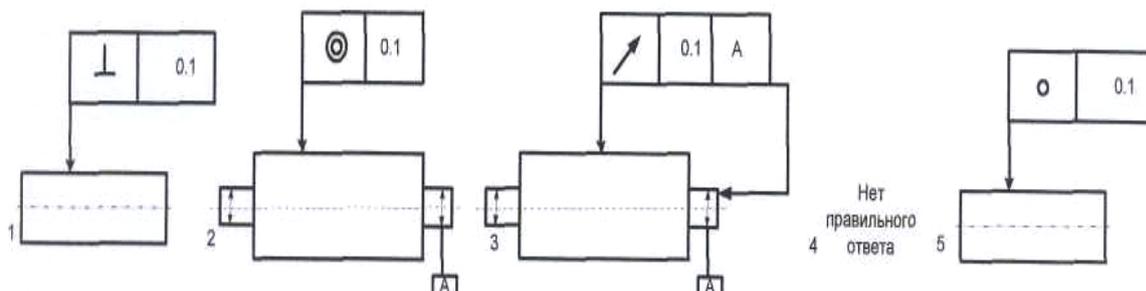
22. Указать правильное условное обозначение зависимых допусков расположения поверхностей.



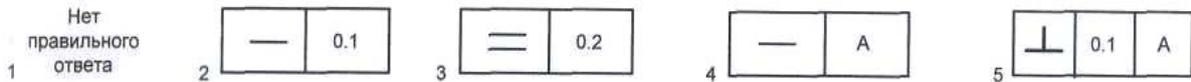
23. Показать эскиз детали с правильным указанием требований к суммарным допускам формы и расположения: полное торцевое биение не более 0,1 мм.



24. Указать правильное условное обозначение зависимых допусков, числовое значение которых связано только с действительными размерами базового элемента.



25. Указать правильное обозначение базы или другого элемента, с которым связан допуск.



## ЗАНЯТИЕ 2.2. Обозначение шероховатости поверхности на чертежах

**Основные положения.** *Шероховатостью поверхности* называют совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенную с помощью базовой длины.

*Базовая длина ( $l$ )* – длина базовой линии, используемой для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности.

*Базовая линия (поверхность)* – линия (поверхность) заданной геометрической формы, определенным образом проведенная относительно профиля (поверхности) и служащая для оценки геометрических параметров поверхности. Числовое значение шероховатости поверхности определяют по единой базе, за которую принята *средняя линия профиля*, т.е. базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднеквадратическое отклонение профиля до этой линии минимально. Система отсчета шероховатости от средней линии профиля называют *системой средней линии*.

Шероховатость является следствием пластической деформации поверхностного слоя детали, возникающей вследствие образования стружки, копирования неровностей режущих кромок инструмента и трения его о деталь, вырывания с поверхности частиц материала и других причин.

Если для определения шероховатости выбран участок поверхности длиной  $l$ , другие неровности, имеющие шаг больше  $l$ , не учитываются. Для надежной оценки шероховатости (с учетом разброса показаний прибора и возможной неоднородности строения неровностей) измерения следует повторять несколько раз в разных местах поверхности и за результат измерения принимать среднее арифметическое

результатов измерения на нескольких длинах оценки. *Длина оценки*  $L$  – длина, на которой оценивают шероховатость. Она может содержать одну или несколько базовых длин  $l$ . Числовые значения базовой длины выбирают из ряда: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм.

Согласно ГОСТ 2789 шероховатость поверхности изделий независимо от материала и способа изготовления (получения поверхности) можно оценивать количественно одним или несколькими параметрами.

*Среднеарифметическое отклонение профиля*  $R_a$  – это среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$R_a = (1/l) \int_0^l |y(x)| dx \quad \text{или} \quad R_a = (1/n) \int_{i=1}^n |y_i|,$$

где  $l$  – базовая длина;  $n$  – число выбранных точек профиля на базовой длине;  $y$  – расстояние между любой точкой профиля и средней линией.

*Высота неровностей профиля по десяти точкам*  $R_z$  – сумма средних абсолютных значений высоты пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины:

$$R_z = 1/5 \left[ \sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right],$$

где  $y_{pi}$  – высота  $i$ -го наибольшего выступа профиля;  $y_{vi}$  – глубина  $i$ -й наибольшей впадины профиля.

*Наибольшая высота неровностей профиля*  $R_{max}$  – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины  $R_{max} = R_p + R_v$  (рис. 2.9).

*Средний шаг неровностей профиля*  $S_m$  – среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины:

$$S_m = (1/n) \sum_{i=1}^n S_{mi},$$

где  $n$  – число шагов неровностей по вершинам в пределах базовой длины  $l$ ;  $S_{mi}$  – шаг неровностей профиля, равный длине отрезка средней линии, пересекающего профиль в трех соседних точках, и ограниченного двумя крайними точками.

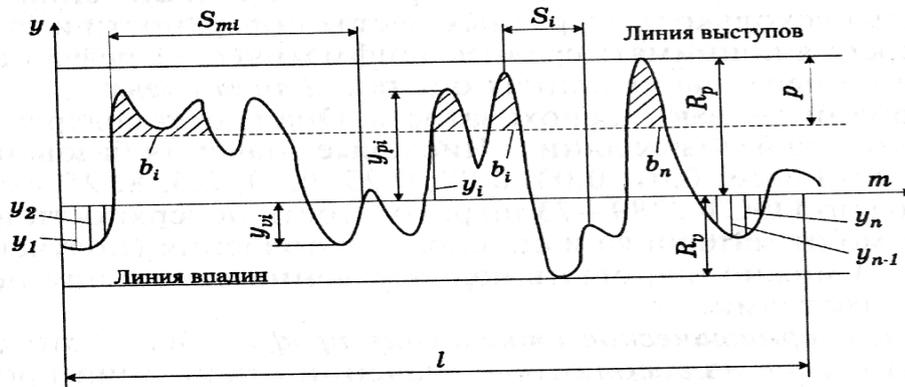


Рис. 2.9. Профилограмма и основные параметры шероховатости поверхности

Средний шаг местных выступов профиля  $S$  – среднее значение шага местных выступов профиля в пределах базовой длины:

$$S = (1/n) \sum_{i=1}^n S_i,$$

где  $n$  – число шагов неровностей по вершинам в пределах базовой линии;  $S_i$  – шаг неровностей профиля по вершинам, равный длине отрезка средней линии между проекциями на нее двух наивысших точек соседних выступов профиля.

Относительная опорная длина профиля  $t_p$  – отношение опорной длины профиля к базовой длине:

$$t_p = \eta_p / l,$$

где  $\eta_p$  – опорная длина профиля – сумма длин отрезков  $b_i$ , отсекаемых на заданном уровне  $p$  в материале профиля линией, эквидистантной средней линии  $m$  в пределах базовой длины (см. рис. 2.9).

$$\eta_p = \sum_{i=1}^m b_i.$$

Опорную длину профиля определяют на уровне сечения профиля, т.е. на заданном расстоянии между линией выступов профиля и ли-

нией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов профиля. *Линия выступов профиля* – линия, эквидистантная средней линии, проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины. Значение уровня сечения профиля отсчитывают по линии выступов и выбирают из ряда: 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 % от  $R_{\max}$ .

Параметр  $R_a$  является предпочтительным по сравнению с  $R_z$  и  $R_{\max}$ , так как параметр  $R_a$  характеризует среднюю высоту всех неровностей профиля;  $R_z$  – среднюю высоту наибольших неровностей;  $R_{\max}$  – наибольшую высоту профиля. Шаговые параметры  $S_m$ ,  $S$  и  $t_p$  введены для учета различной формы и взаимного расположения характерных точек неровностей. Эти параметры позволяют также нормировать спектральные характеристики профиля.

Выбор параметров шероховатости и их числовых значений производят в зависимости от требований к шероховатости поверхностей деталей, исходя из функционального назначения поверхности для обеспечения заданного качества изделий. Если в этом нет необходимости, требования к шероховатости поверхности не устанавливают и шероховатость поверхности не контролируют. Рассмотренный комплекс параметров способствует обоснованному назначению показателей шероховатости для поверхностей различного эксплуатационного назначения. Например, для трущихся поверхностей ответственных деталей устанавливают допускаемые значения  $R_a$  (или  $R_z$ ),  $R_{\max}$  и  $t_p$ , а также направление неровностей; для поверхностей циклически нагруженных ответственных деталей –  $R_{\max}$ ,  $S_m$  и  $S$  и т.д. При выборе параметров  $R_a$  или  $R_z$  следует иметь в виду, что параметр  $R_a$  дает более полную оценку шероховатости, так как для его определения измеряют и суммируют расстояния большего числа точек действительного профиля до его средней линии, тогда как при определении параметра  $R_z$  измеряют только расстояния между пятью вершинами и пятью впадинами неровностей. Влияние формы неровностей на эксплуатационные показатели качества детали параметром  $R_a$  оценить нельзя, так как при различных формах неровностей значения  $R_a$  могут быть одинаковыми. Для лучшей оценки свойств шероховатости необходимо знать ее высотные, шаговые параметры и параметр формы  $t_p$ . Износостойкость, контактная жесткость, прочность посадок с натягом и

другие эксплуатационные свойства сопрягаемых поверхностей деталей связаны с фактической площадью их контакта.

Для определения опорной площади, которая образуется под рабочей нагрузкой, строят кривые относительной опорной длины профиля  $t_p$ . Для этого расстояние между линиями выступов и впадин делят на несколько уровней сечений профиля с соответствующими значениями уровня сечения профиля. Для каждого сечения определяют значение  $t_p$  и строят кривую изменения опорной длины профиля. При выборе значений  $t_p$  следует учитывать, что с его увеличением требуются все более трудоемкие процессы обработки; например, при значении  $t_p \approx 25\%$ , определенном по средней линии профиля, можно применять чистовое точение, а при  $t_p \approx 40\%$  необходимо хонингование. Относительная опорная длина профиля определяет значение пластической деформации поверхностей деталей при их контактировании.

В некоторых случаях устанавливают требования к направлению неровностей (табл. 2.6) и виду (или последовательности видов) обработки, если он единственный обеспечивает качество поверхности.

Наименьшие значения коэффициентов трения и износа трущихся деталей бывают, когда направление движения не совпадает с направлением неровностей, например при произвольном направлении неровностей, возникающем при суперфинишировании и хонинговании.

Требования к шероховатости поверхности устанавливают без учета дефектов поверхности (царапин, раковин и т.д.) и указывают отдельно.

Согласно ГОСТ 2.309 с учетом изменения № 3 (протокол № 21 Международного Совета по стандартизации, метрологии, сертификации от 28.05.2002 г.) шероховатость поверхностей обозначают на чертеже для всех выполняемых по данному чертежу поверхностей детали независимо от методов их образования, кроме поверхностей, шероховатость которых не обусловлена требованиями конструкции. Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис. 2.10, а.

В обозначении шероховатости поверхности, вид обработки которой конструктор не устанавливает, применяют знак, показанный на рис. 2.10, б; этот знак является предпочтительным.

Таблица 2.6

Типы направления неровностей	Обозначение	Типы направления неровностей	Обозначение

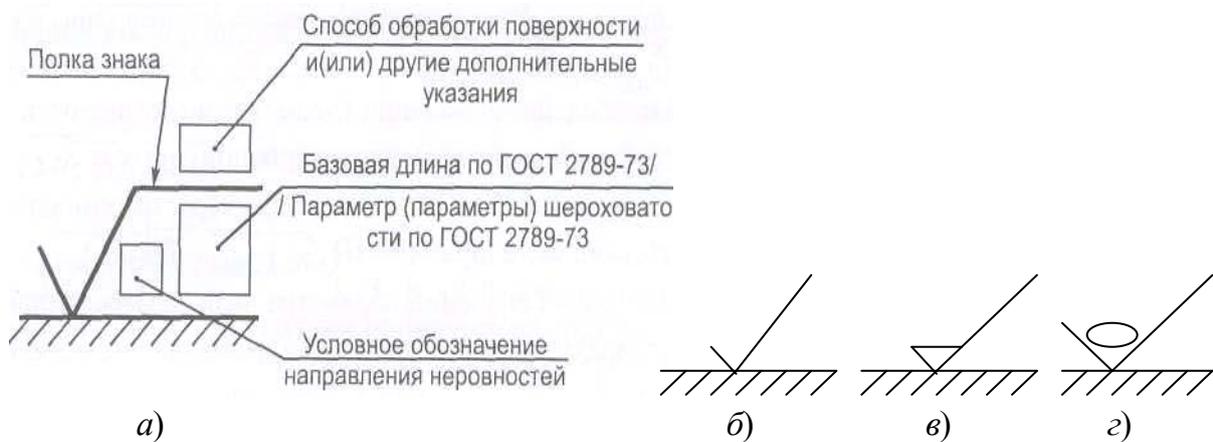


Рис. 2.10. Структура обозначения шероховатости поверхности

В обозначении шероховатости поверхности, образуемой удалением слоя материала, например, точением, фрезерованием, сверлением, шлифованием, полированием, травлением и т.п. применяют знак, указанный на рис. 2.10, в. В обозначении шероховатости поверхности, образуемой без снятия слоя материала, например, литьем, ковкой, объемной штамповкой, прокатом, волочением и т.п. применяют знак, показанный на рис. 2.10, г. При этом поверхности, не обрабатываемые по данному чертежу, обозначают этим знаком. Состояние поверхности, обозначенной этим знаком, должно удовлетворять требованиям, установленным соответствующим стандартом или техническими условиями на сортамент материала.

Значение параметра шероховатости указывают после соответствующего символа, например:  $R_a 0,5$ ;  $R_{\max} 6,3$ ;  $S_m 0,63$ ;  $S 0,32$ ;  $R_z 32$ ;  $t_{50} 70$ .

Здесь указаны наибольшие допустимые значения параметров шероховатости; наименьшие значения не ограничиваются. В примере обозначения  $t_{50} 70$  указана относительная опорная длина профиля  $t_p = 70\%$  при уровне сечения профиля  $p = 50\%$ . При указании диапазона значений параметра шероховатости поверхности (наибольшего и наименьшего) в обозначении приводят пределы значений параметра, размещая их в две строки, например:  $R_a \begin{smallmatrix} 0,90 \\ 0,24 \end{smallmatrix}$ ;  $R_z \begin{smallmatrix} 4,00 \\ 2,63 \end{smallmatrix}$ ;  $R_{\max} \begin{smallmatrix} 2,8 \\ 1,5 \end{smallmatrix}$ ;  $t_{50} \begin{smallmatrix} 70 \\ 50 \end{smallmatrix}$  и т.п.

В верхней строке приведены значения параметра, соответствующие большей шероховатости.

При указании номинального значения параметра шероховатости поверхности в обозначении приводят это значение с предельными отклонениями, например:  $1 \pm 20\%$ ;  $R_z 80_{-10\%}$ ;  $S_m 0,63^{+20\%}$ ;  $t_{50} 70 \pm 40\%$  и т.п.

При указании двух и более параметров шероховатости поверхности в обозначении их значения записывают сверху вниз, как указано на рис. 2.11, а.

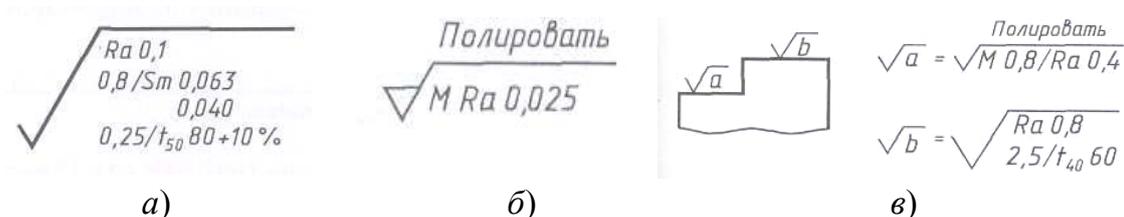


Рис. 2.11. Примеры обозначения шероховатости поверхности

На рис. 2.11, б дополнительно к значению шероховатости поверхности указывают вид обработки, допускается применять упрощенное обозначение шероховатости поверхностей с разъяснением его в технических требованиях чертежа (рис. 2.11, в).

Обозначения шероховатости поверхностей на изображении детали располагают на линиях контура, выносных линиях (по возможности ближе к размерной линии) или на полках линий – выносок. При недостатке места допускается располагать обозначения шероховатости на размерных линиях или на их продолжениях, а также разрывать выносную линию. При изображении изделия с разрывом обозначение шероховатости наносят только на одной части изображения, по возможности ближе к месту указания размеров.

При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей детали обозначение шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображение не наносят (рис. 2.12, в).

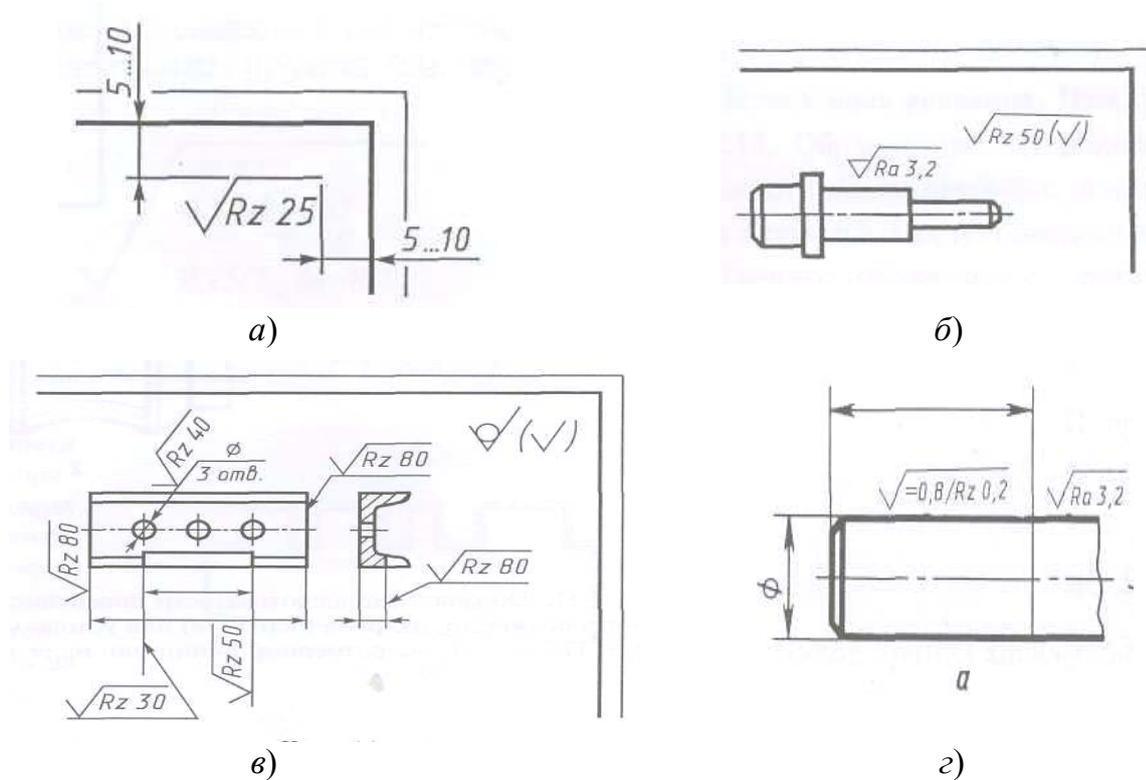


Рис. 2.12. Примеры специфических случаев обозначения шероховатости

При указании одинаковой шероховатости для части поверхностей детали в правом верхнем углу чертежа помещают обозначение одинаковой шероховатости и знак, показанный на рис. 2.12, б. Это означает, что все поверхности, на изображении которых не нанесены обозначения шероховатости или знак, показанный на рис. 2.12, г, должны иметь шероховатость, указанную перед знаком в правом верхнем углу чертежа. Когда часть поверхностей изделия не обрабатывается по данному чертежу, в правом верхнем углу чертежа помещают знаки, показанные на рис. 2.12, в. Если шероховатость одной поверхности различна на отдельных участках, эти участки разграничивают сплошной тонкой линией с нанесением соответствующих размеров и обозначений шероховатости (рис. 2.12, г).

Шероховатость поверхности характеризуется качественным и количественным контролем. *Качественный контроль* шероховатости по-

верхности осуществляют путем сравнения с рабочими эталонами или образцовыми деталями визуально или на ощупь. ГОСТ 9378 устанавливает образцы шероховатости, полученные механической обработкой, снятием позитивных отпечатков гальванопластикой или нанесением покрытий на пластмассовые отпечатки. Наборы или отдельные образцы имеют прямолинейные, дугообразные или перекрещивающиеся дугообразные расположения неровностей поверхности. На каждом образце указаны значение параметра  $R_a$  (в микрометрах) и вид обработки образца. Визуально можно удовлетворительно оценить поверхности с  $R_a = 0,6, \dots, 0,8$  мкм и более. Для повышения точности используют щупы и микроскопы сравнения.

*Количественный контроль* параметров шероховатости осуществляют бесконтактными методами с помощью приборов светового сечения и контактными методами с помощью щуповых приборов – профилометров и профилографов.

При выборе метода и типа прибора необходимо учитывать возможность контроля предписанного чертежом параметра: пределы измерения, допускаемые отклонения контролируемого параметра, погрешность измерения и прибора, производительность средств измерения, форму, размеры и материал детали и другие факторы.

Контактные профилографы и профилометры, имеющие высокую точность, применяют для контроля наиболее ответственных измерений.

**Рабочее задание.** Изучить теоретические вопросы шероховатости поверхностей. Ответить на вопросы для самопроверки.

1. Что называют шероховатостью поверхностей? Укажите общие условия применения ГОСТ 2789.

2. Дайте определения, приведите необходимые эскизы и поясните суть одного из следующих сочетаний терминов, характеризующих шероховатость поверхностей: средняя линия профиля, базовая длина; выступы, впадины и неровности профиля и поверхности; шаг неровностей по средней линии и по вершинам выступов и средний шаг; среднее арифметическое отклонение, высота неровностей профиля по десяти точкам и наибольшая высота неровностей, опорная и относительная длина профиля, а также уровень сечения профиля; виды на-

правления шероховатости. Как обеспечивается нужное направление неровностей?

3. Какими общими соображениями руководствуются при выборе параметров шероховатости?

4. Назначьте параметры шероховатости и направление неровностей для одного из следующих случаев: поверхности работают в условиях трения и высокой интенсивности изнашивания; поверхности испытывают большие контактные напряжения; на поверхности деталей действуют переменные нагрузки; поверхности неподвижных прессовых соединений; поверхности герметических соединений.

**Практические задания.** Определите правильные ответы тест-контроля и решите примеры по данной теме.

### Примеры и методические указания по их решению

*Пример 1.* Определить параметр шероховатости  $R_z$  по профилограмме (рис. 2.13): вертикальное увеличение  $U_B = 2000$  и горизонтальное  $U_T = 80$ ; базовая длина  $l = 2,5$  мм; запись производилась на прямолинейном участке детали.

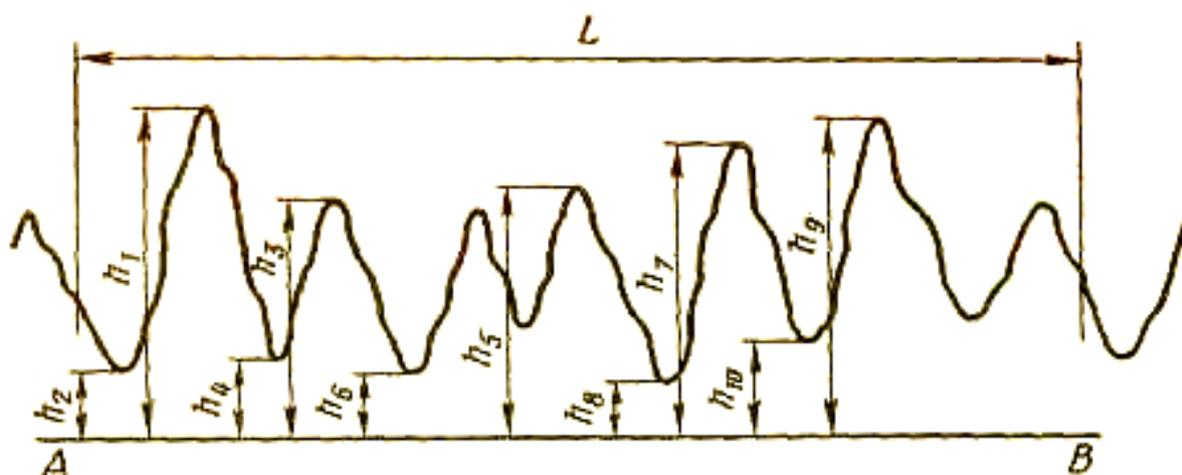


Рис. 2.13. Профилограмма

*Решение.* Так как измерение производилось на прямолинейном участке под профилограммой, проводим параллельно общему направле-

нию профилограммы прямую линию  $AB$ . Эта линия проводится в пределах длины  $L$ , равной  $L = l \times U_r = 2,5 \times 80 = 200$  мм.

Измеряем расстояние от линии  $AB$  до пяти высших выступов:

$h_1 = 56, h_3 = 40, h_5 = 42, h_7 = 49, h_9 = 53$  мм и пяти низших впадин:

$h_2 = 11, h_4 = 12, h_6 = 10, h_8 = 8, h_{10} = 16$  мм.

$$R_z = [(h_1 + h_3 + h_5 + h_7 + h_9) - (h_2 + h_4 + h_6 + h_8 + h_{10})] / 5 U_B = \\ = [(56 + 40 + 42 + 49 + 53) - (11 + 12 + 10 + 8 + 16)] / 5 \times 2000 = 0,0193 \text{ мм} = \\ = 19,3 \text{ мкм.}$$

*Пример 2.* Определить требования к шероховатости поверхности детали, если дан вал размером  $80_{-0,03}$ , допустимое отклонение от круглости 18 мкм.

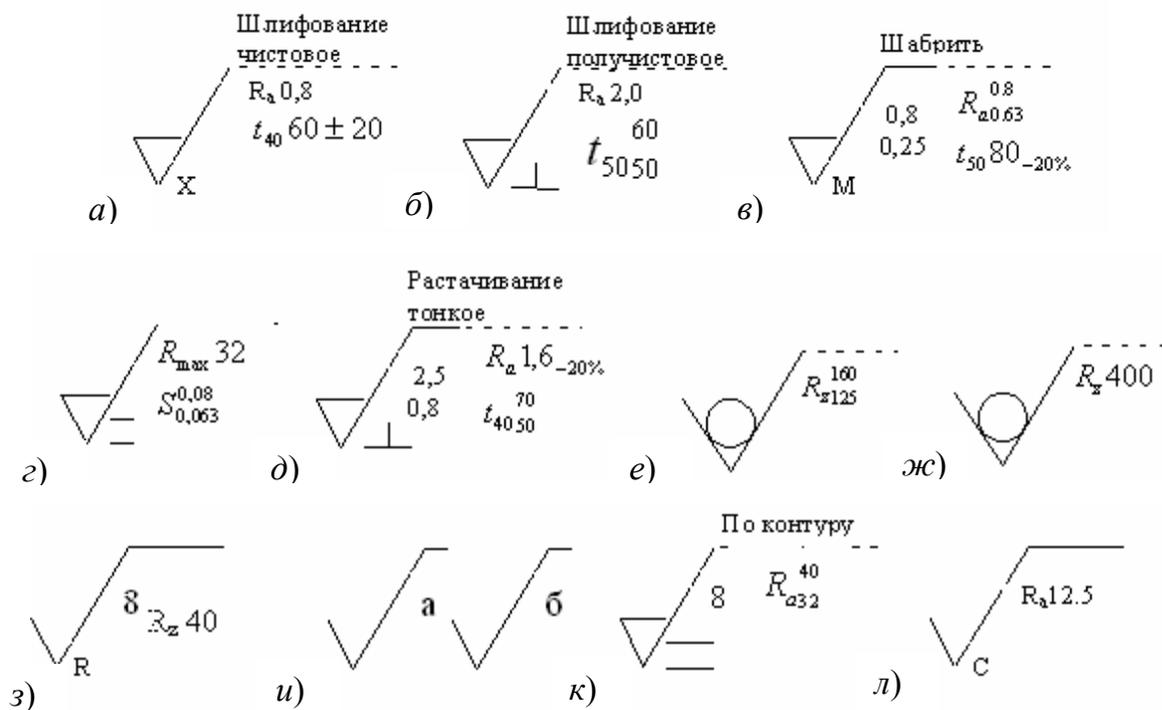
*Решение.* Исходя из номинального размера (80 мм) и допуска размера (30 мкм), по приложению 1 определяем: допуск вала соответствует  $IT7$ . Допуск формы поверхности (18 мкм) составляет 60 % допуска размера. По табл. 2.7 находим – шероховатость поверхности детали  $R_a = 1,6$  мкм.

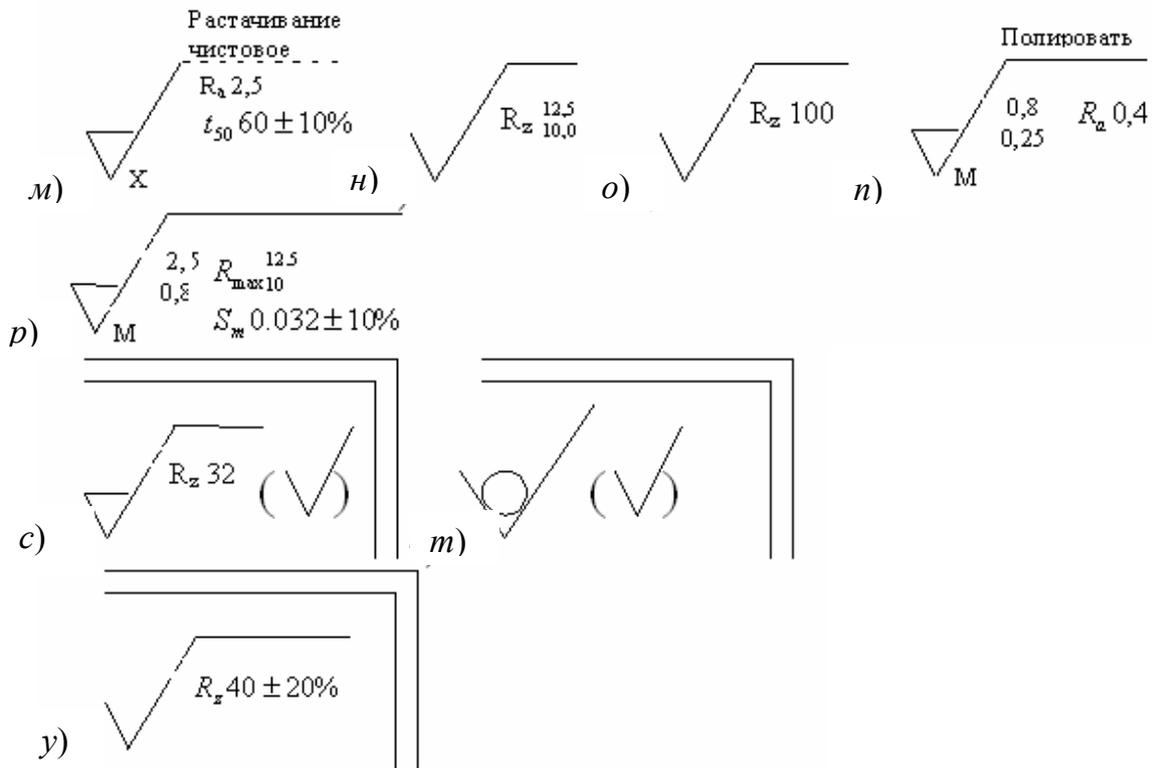
Таблица 2.7

Допуск размера по качеству	Допуск формы, процент от допуска размера	Номинальный размер, мм			
		До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 500
		Значения $R_a$ , мкм, не более			
$IT5$	100	0,4	0,8	1,6	1,6
	60	0,2	0,4	0,8	0,8
	40	0,1	0,2	0,4	0,4
$IT6$	100	0,8	1,6	1,6	3,2
	60	0,4	0,8	0,8	1,6
	40	0,2	0,4	0,4	0,8
$IT7$	100	1,6	3,2	3,2	3,2
	60	0,8	1,6	1,6	3,2
	40	0,4	0,8	0,8	1,6
$IT8$	100	1,6	3,2	3,2	3,2
	60	0,8	1,6	3,2	3,2
	40	0,4	0,8	1,6	1,6
$IT9$	100, 60	2,2	3,2	6,3	6,3
	40	1,6	3,2	3,2	6,3
	25	0,8	1,6	1,6	3,2

Допуск размера по качеству	Допуск формы, процент от допуска размера	Номинальный размер, мм			
		До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 500
		Значения $R_a$ , мкм, не более			
IT10	100, 60	3,2	6,3	6,3	6,3
	40	1,6	3,2	3,2	6,3
	25	1,8	1,6	1,6	3,2
IT11	100, 60	6,3	6,3	12,5	12,5
	40	3,2	3,2	6,3	6,3
	25	1,6	1,6	3,2	3,2

*Пример 3.* Расшифровать условные обозначения шероховатости поверхности. Укажите способ образования поверхности; направление неровностей и какими параметрами нормирована шероховатость; каким способом заданы значения параметров шероховатости и их предельные отклонения (номинальным, предельным и диапазоном значений); длину базовой линии; каким качеством, виду и методу обработки примерно соответствуют числовые значения параметров шероховатости поверхностей; каким условиям работы детали и ее поверхностей соответствуют намеченные параметры шероховатости.





*Пример 4.* Определить значение параметра  $R_z$  шероховатости поверхности по приведенным результатам обработки профилограммы с учетом коэффициента вертикального увеличения  $V_B$ , использованного при записи профилограммы на профилографе (см. рис. 2.13).

Расстояние от базовой линии до высших точек выступов и низших точек впадин, мм	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$h_1$	33	66	31	63	49	42	37	68	41	60
$h_2$	7	16	11	10	8	21	12	18	11	10
$h_3$	37	75	27	55	56	39	36	72	43	55
$h_4$	8	15	9	8	10	19	14	17	9	7
$h_5$	32	65	32	61	48	36	38	63	50	63
$h_6$	15	28	14	12	12	23	11	30	15	15
$h_7$	22	47	36	67	33	38	33	44	54	65
$h_8$	6	13	17	14	7	17	8	12	12	12
$h_9$	30	58	35	68	45	43	45	60	49	63
$h_{10}$	12	23	8	9	11	18	15	25	18	16
Вертикальное увеличение $V_B \times 10^3$	1	2	20	10	1	200	100	4	40	20

Пояснение к решению см. пример 1.

*Пример 5.* Определить требования к шероховатости поверхности в зависимости от номинального размера, допусков размера и формы поверхности детали.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальный размер, мм	4	20	360	50	125	250	63	5	450	110
Допуск размера, мкм	6	52	57	160	250	115	46	8	400	22
Допуск формы, мкм	3,6	20	14	96	100	115	18	4,8	240	5,5

Пояснение к решению см. пример 2.

### Тест-контроль занятия

1. Укажите правильное определение средней линии профиля.

- а) Линия, эквидистантная средней линии, проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины.
- б) Длина базовой линии, используемой для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности.
- в) Длина, на которой оценивают шероховатость.
- г) Линия заданной геометрической формы, определенным образом проведенная относительно профиля и служащая для оценки геометрических параметров поверхности.
- д) Базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально.

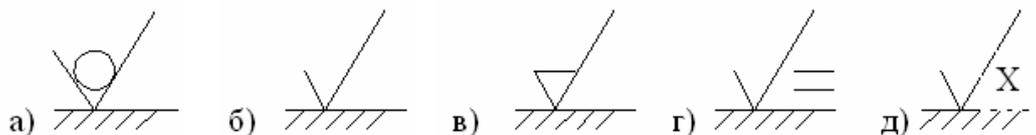
2. Укажите какое стандартное значение базовой длины предписывается для оценки параметра шероховатости  $R_a$ , находящегося в пределах от 0 до 0,025 мкм.

- а) 0,80,   б) 0,25,   в) 2,25,   г) 0,08,   д) 8,00.

3. Укажите параметр шероховатости поверхности: среднее арифметическое отклонение профиля.

- а)  $R_z$ ,   б)  $S$ ,   в)  $R_a$ ,   г)  $S_m$ ,   д)  $R_{max}$ .

4. Укажите обозначения шероховатости поверхности, когда вид обработки не устанавливается.



5. Укажите параметр шероховатости, связанный с формой неровностей профиля.

- а)  $S$ ,      б)  $R_a$ ,      в)  $S_m$ ,      г)  $R_z$ ,      д)  $t_p$ .

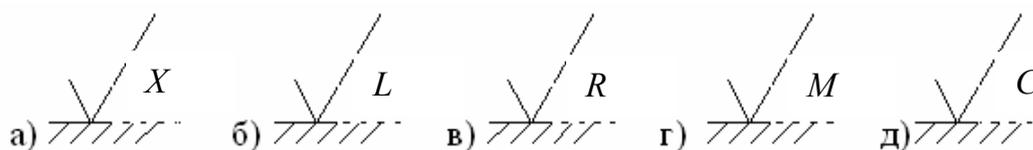
6. Указать определение параметра шероховатости: наибольшая высота неровностей профиля.

- а) Среднее значение шага местных выступов профиля в пределах базовой длины.  
 б) Отношение опорной длины профиля к базовой длине.  
 в) Среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины.  
 г) Расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой линии.  
 д) Среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины.

7. Указать, какой из параметров шероховатости является предпочтительным.

- а)  $R_a$ ,      б)  $R_{max}$ ,      в)  $S$ ,      г)  $R_z$ ,      д)  $t_p$ .

8. Указать обозначение шероховатости поверхности с перпендикулярным направлением неровностей поверхности.



9. Указать правильное определение базовой длины.

- а) Длина, на которой оценивают шероховатость.  
 б) Линия заданной геометрической формы, определенным образом проведенная относительно профиля и служащая для оценки геометрических параметров поверхности.

в) Линия, эквидистантная средней линии, проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины.

г) Базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально.

д) Длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности.

10. Если границу между отклонениями поверхности разного порядка можно установить по значению отношения шага к высоте неровностей, то какое из приведенных отношений относится к шероховатости:

а)  $S/R_{\max} = 0$ ;      б)  $S/R_{\max} > 1000$ ;      в)  $1000 \geq S/R_{\max} \geq 40$ ;

г)  $S/R_{\max} < 40$ ;      д) нет правильного ответа.

11. Если опорная длина профиля есть сумма длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантной средней линии в пределах базовой длины, то какая из представленных формул определяет опорную длину профиля:

а)  $R_a = (1/n) \int_{i=1}^n |y_i|$ ,      б)  $S = (1/n) \sum_{i=1}^n S_i$ ,      в)  $\eta_p = \sum_{i=1}^m b_i$ ,

г)  $S_m = (1/n) \sum_{i=1}^n S_{mi}$ ,      д)  $t_p = \eta_p / l$ .

12. Указать правильное определение шероховатости поверхности детали.

а) Совокупность периодически повторяющихся неровностей, у которых расстояние между смежными возвышенностями или впадинами превышает базовую длину.

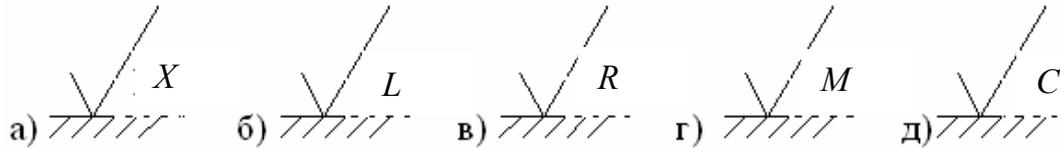
б) Повторяющиеся неровности с шагом более базовой длины.

в) Повторяющиеся неровности с шагом менее базовой длины.

г) Нет правильного ответа.

д) Совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная с помощью базовой длины.

13. Указать обозначение шероховатости поверхности с кругообразным направлением неровностей поверхности.



14. Если средний шаг неровностей профиля есть среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины, то какая из представленных формул определяет средний шаг неровностей профиля:

а)  $R_a = (1/n) \int_{i=1}^n |y_i|$ ,      б)  $S = (1/n) \sum_{i=1}^n S_i$ ,      в)  $\eta_p = \sum_{i=1}^m b_i$ ,

г)  $S_m = (1/n) \sum_{i=1}^n S_{mi}$ ,      д)  $t_p = \eta_p / l$ .

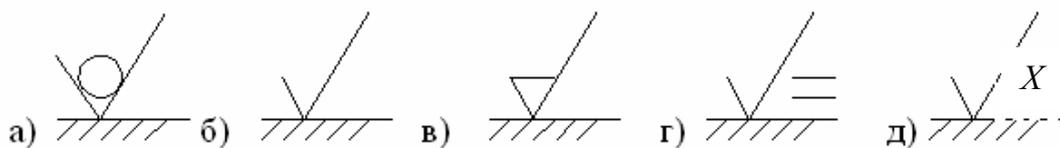
15. Указать, какое стандартное значение базовой длины предписывается для оценки параметра шероховатости  $R_{max}$ , находящегося в пределах от 12,5 до 50 мкм.

- а) 0,08,      б) 2,5,      в) 0,25,      г) 8,0,      д) 0,8.

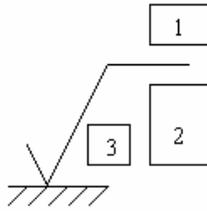
16. Указать, какой из параметров шероховатости поверхности – наибольшая высота неровностей профиля.

- а)  $R_{max}$ ,      б)  $S_m$ ,      в)  $R_z$ ,      г)  $R_a$ ,      д)  $S$ .

17. Указать обозначения шероховатости поверхности, когда поверхность получают без удаления слоя металла.



18. Показать на структурной схеме обозначения шероховатости поверхности, где указывается способ обработки поверхности.

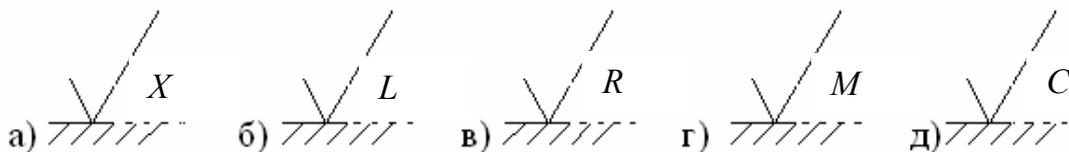


19. Указать правильное определение линии выступов профиля.
- а) Базовая линия, имеющая форму нормального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально.
  - б) Длина базовой линии, используемой для выделения неровностей, характеризующая шероховатость поверхности.
  - в) Длина, на которой оценивают шероховатость поверхности.
  - г) Линия заданной геометрической формы, определенным образом проведенная относительно профиля и служащая для оценки геометрических параметров поверхности.
  - д) Линия, эквидистантная средней линии, проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины.

20. Указать параметр шероховатости, связанный с высотными свойствами неровностей.

- а)  $S$ ,      б)  $S_m$ ,      в)  $R_a$ ,      г)  $t_p$ ,      д) нет правильного ответа.

21. Указать обозначение шероховатости поверхности с радиальным направлением неровностей поверхности.



22. Указать правильное определение среднего шага неровностей профиля.

- а) Базовая линия, имеющая форму нормального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально.
- б) Длина базовой линии, используемой для выделения неровностей, характеризующая шероховатость поверхности.
- в) Длина, на которой оценивают шероховатость поверхности.

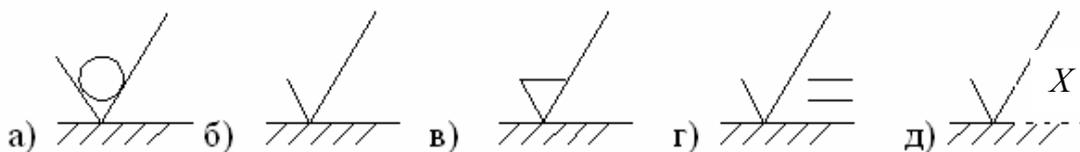
г) Нет правильного ответа.

д) Линия, эквидистантная средней линии, проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины.

23. Укажите параметр шероховатости поверхности: опорная длина профиля.

а)  $R_z$ , б)  $\eta_p$ , в)  $R_a$ , г)  $S_m$ , д)  $R_{\max}$ .

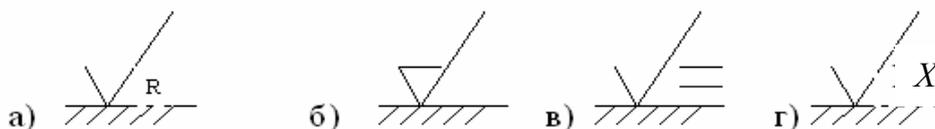
24. Указать обозначения шероховатости поверхности, когда поверхность получают при удалении слоя металла.



25. Укажите формулу, определяющую высоту неровностей профиля по десяти точкам:

$$\begin{aligned} \text{а) } R_a &= (1/n) \int_{i=1}^n |y_i|, & \text{б) } S &= (1/n) \sum_{i=1}^n S_i, & \text{в) } \eta_p &= \sum_{i=1}^m b_i, \\ \text{г) } S_m &= (1/n) \sum_{i=1}^n S_{mi}, & \text{д) } R_z &= 1/5 \left[ \sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right]. \end{aligned}$$

26. Указать обозначение шероховатости поверхности с пересекающимся направлением неровностей поверхности.



### ГЛАВА 3. РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

Размерной цепью называют совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих

замкнутый контур. Основные термины, обозначения и определения размерных цепей установлены ГОСТ 16319. В результате расчета размерных цепей устанавливаются предельные размеры, а следовательно, предельные отклонения и допуски всех звеньев цепи.

Основное уравнение размерной цепи

$$A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n A_j - \sum_{k=n-1}^{m-1} A_k, \quad (3.1)$$

где  $m$  – число звеньев размерной цепи, включая замыкающее;  
 $n$  – число увеличивающих звеньев  $A_j$ ;  $(m - 1)$  – число уменьшающих звеньев  $A_k$ .

Таким образом, номинальный размер замыкающего звена определяется как разность между суммами номинальных увеличивающих и уменьшающих звеньев.

Применяют следующие методы решения (ГОСТ 16320):

- метод полной взаимозаменяемости (расчет по максимуму-минимуму);
- метод неполной взаимозаменяемости (теоретико-вероятностный метод расчета).

Эти задачи можно решить двумя способами.

1. *Способ равных допусков* применяют, если составляющие размеры имеют один порядок (например, входят в один интервал диаметров) и могут быть выполнены с примерно одинаковой точностью. В этом случае можно условно принять

$$TA_1 = TA_2 = \dots = TA_{m-1} = T_{\text{ср}} A_j, \quad (3.2)$$

$$T_{\text{ср}} A_j = TA_{\Delta} / (m - 1). \quad (3.3)$$

Полученный средний допуск корректируют для некоторых составляющих размеров в зависимости от их значений, конструктивных требований и технологических возможностей изготовления, но так, чтобы выполнялось условие

$$TA_{\Delta} \geq \sum_{j=1}^{m-1} TA_j. \quad (3.4)$$

При этом выбирают стандартные поля допусков, желательно предпочтительного применения.

2. *Способ допусков одного качества* применяют, если все составляющие цепь размеры могут быть выполнены с допуском одного качества и допуски составляющих размеров зависят от их номинального значения.

Для выбора требуемого качества определяют коэффициент точности (число единиц допуска) по формулам:

а) при расчете на максимум-минимум

$$a_{cp} = TA_{\Delta} / \sum_{j=1}^{m-1} i_j, \quad (3.5)$$

б) при расчете вероятностным методом

$$a_{cp} = TA_{\Delta} / \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} \xi_j^2 \lambda_j^2 i_j^2}, \quad (3.6)$$

где  $a_{cp}$  – средний коэффициент точности составляющего звена;

$\xi_j$  – передаточное отношение звеньев;

$\lambda$  – коэффициент относительного рассеяния, характеризующий закон распределения  $i$ -го составляющего звена;

$i_j$  – единица допуска соответствующего размера  $A_j$ .

В свою очередь единица допуска определяется по формуле

$$i = 0,45 \sqrt[3]{A_i} + 0,001 A_i.$$

Обобщенные значения единицы допуска даны в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Основные интервалы номинальных размеров, мм	Значение $i$ , мкм
До 3	0,55
3 – 6	0,71
6 – 10	0,90
10 – 18	1,08
18 – 30	1,31
30 – 50	1,56
50 – 80	1,80
80 – 120	2,17
120 – 180	2,52
180 – 190	2,90

По найденному значению коэффициента точности  $a_{cp}$  определяют наиболее подходящий квалитет, пользуясь табл. 3.2, и по таблицам допусков на цилиндрические детали (ГОСТ 25346) находят допуски для составляющих звеньев.

Таблица 3.2

Квалитет точности	Коэффициент точности $a$
5	7
6	10
7	16
8	25
9	40
10	64
11	100
12	160
13	250
14	400
15	540

Суммарный допуск составляющих  $\sum TA_i$  сравнивают с заданным  $[TA\Delta]$ .

$$\sum TA_i \leq [TA\Delta]. \quad (3.7)$$

При этом допускается, чтобы расхождение значений в формуле (3.7) не превышало 5 %. В противном случае необходимо произвести корректировку, в частности, за счет того, что допуск на одно или несколько составляющих звеньев принять в соответствии с другим близлежащим качеством точности.

После произведенного расчета величин допусков необходимо назначить на размеры звеньев цепи предельные отклонения. Наиболее целесообразно установить отклонения на звенья размерной цепи как для основных деталей в системах образования посадок, а именно, для охватываемых размеров в «плюс», для охватывающих – в «минус». Таким путем назначаются предельные отклонения на все размеры цепи за исключением одного из составляющих. Предельные отклонения на этот «последний» предельный размер рассчитываются по формулам в зависимости от принятого метода.

### **ЗАНЯТИЕ 3.1. Метод расчета размерных цепей, обеспечивающих полную взаимозаменяемость**

**Основные положения.** Метод максимума-минимума рассмотрен в [3]. Допуск замыкающего звена

$$TA_{\Delta} = A_{\Delta}^{\max} - A_{\Delta}^{\min} = \sum_{j=1}^{m-1} TA_j, \quad (3.8)$$

т.е. равен сумме допусков составляющих звеньев.

Верхнее отклонение замыкающего звена

$$ES(es)_{A_{\Delta}} = A_{\Delta_{\max}} - A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n ES(es)_{A_j} - \sum_{k=n+1}^{m-1} EI(ei)_{A_k}, \quad (3.9)$$

где  $ES$  и  $EI$  – соответственно верхнее и нижнее отклонения размеров звеньев, относящихся к охватывающим поверхностям («отверстиям»);  $es$  и  $ei$  – соответственно верхнее и нижнее отклонения размеров звеньев, относящихся к охватываемым поверхностям («вала»).

Характер поверхности, к которой относится то или иное звено, определяется из анализа конкретной размерной цепи.

Нижнее отклонение замыкающего звена

$$EI(ei)_{A\Delta} = A_{\Delta_{\min}} - A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n EI(ei)_{Aj} - \sum_{k=n+1}^{m-1} ES(es)_{Ak}. \quad (3.10)$$

**Рабочее задание.** Изучите теоретические вопросы расчета размерных цепей на максимум-минимум.

### Тест-контроль занятия

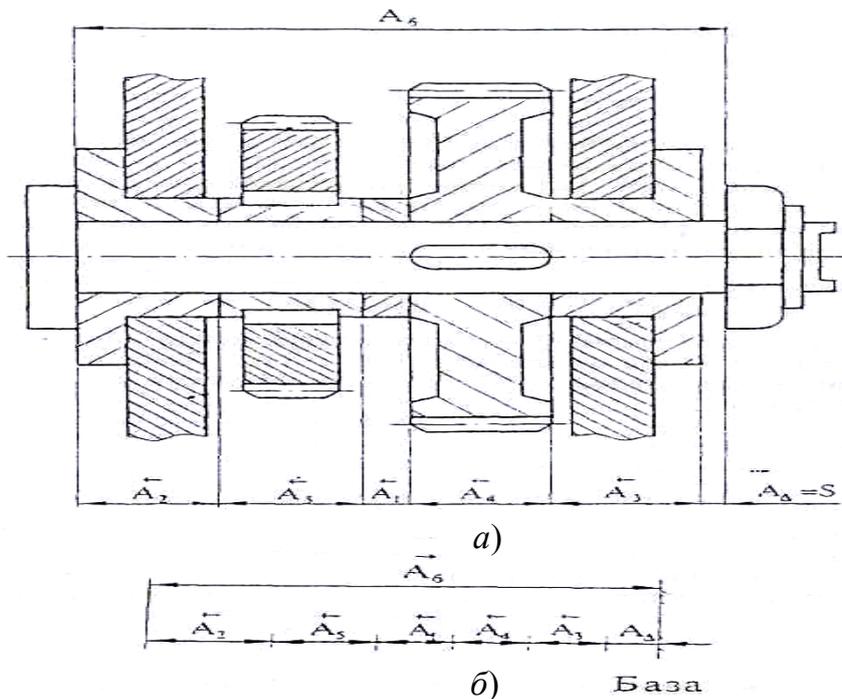
1. Что называют размерной цепью, для решения каких задач используют расчеты размерных цепей?
2. Что называют звеном размерной цепи? Обозначение и виды.
3. Поясните суть и различие: увеличивающих и уменьшающих звеньев; замыкающего и исходного звена; замыкающего (исходного) и составляющих звеньев.
4. Суть и принципиальное отличие методов расчета размерных цепей на максимум-минимум.
5. Достоинства, недостатки и область применения методов расчета размерных цепей на максимум-минимум.
6. Напишите основное уравнение размерной цепи. На каком принципе оно основано?
7. Рассмотрите порядок составления схемы размерной цепи.
8. Какое расположение полей допусков рекомендуется для составляющих увеличивающих и уменьшающих звеньев?
9. Рассмотрите суть, достоинства, недостатки и область применения расчета размерных цепей способом равных допусков и способом допусков одного качества.
10. Рассмотрите основные правила построения размеров на чертежах, руководствуясь методами расчета размерных цепей.
11. Каким способом обеспечивают равенство суммы допусков составляющих звеньев допуску замыкающего звена при расчете размерных цепей на полную взаимозаменяемость?
12. Какое звено называют увязочным и как определяют допуск этого звена при расчете размерных цепей на максимум-минимум?
13. Изложите порядок проектного расчета размерных цепей на полную взаимозаменяемость.

**Практические задания.** Рассчитать размерные цепи, обеспечивающие полную взаимозаменяемость.

### Примеры и методические указания по их решению

*Пример 1.* В редукторе (на рисунке, вид *а*) величина замыкающего звена должна быть в пределах 1,0...1,4 мм ( $TA\Delta = 0,4$  мм). Номинальные размеры звеньев:

$A_1 = 20$ ,  $A_2 = A_3 = 35$ ,  $A_4 = 50$ ,  $A_5 = 60$ ,  $A_6 = 200$  мм. Все составляющие звенья имеют распределение размеров по нормальному закону. Процент риска 3,5. Задачу решить способом назначения допусков одного качества точности, расчет вести на максимум-минимум. Схема размерной цепи с соответствующими размерами составляющих звеньев представлена на рисунке, вид *б*.



Эскиз узла (а) и его размерная цепь (б)

По табл. 3.1 находим значения единиц допуска для составляющих звеньев, мкм:  $i_{A1} = 1,31$ ,  $i_{A2} = 1,56$ ,  $i_{A3} = 1,56$ ,  $i_{A4} = 1,56$ ,  $i_{A5} = 1,86$ ,  $i_{A6} = 2,90$ .

По формуле (3.5) определяем средний коэффициент точности

$$a_{cp} = 400 / (1,31 + 3 \cdot 1,56 + 1,86 + 2,90) = 400 / 10,75 = 37 \approx 40.$$

По табл. 3.2 устанавливаем, что значение  $a_{\text{ср}}$  соответствует точности обработки 9-го качества. По ГОСТ 25346-82 принимаем допуски (мкм) на все составляющие звенья по 9-му качеству:  $TA_1 = 52$ ,  $TA_2 = 62$ ,  $TA_3 = 62$ ,  $TA_4 = 62$ ,  $TA_5 = 74$ ,  $TA_6 = 115$ .

Полученный результат проверяем решением обратной задачи

$$\sum TA_i = 52 + 3 \cdot 62 + 74 + 115 = 427 \text{ мкм.}$$

Таким образом, условие, выраженное формулой (3.8), не соблюдается и необходимо провести корректировку. Чтобы равенство (3.8) удовлетворялось, принимаем допуск звена  $A_5$  по 8-му качеству:  $TA_5 = 46$  мкм.

Определяем номинальный размер и предельные отклонения замыкающего звена  $A_{\Delta} = S$ , а затем назначаем отклонения составляющих звеньев. Размер  $A_6$  – увеличивающее звено, остальные звенья – уменьшающие. По уравнению (3.1)

$$A_{\Delta} = 200 - (20 + 2 \cdot 35 + 60 + 50) = 0.$$

Предельные размеры зазора  $A_{\Delta \text{max}} = 1,4$  и  $A_{\Delta \text{min}} = 1,0$  мм.

Следовательно, предельные отклонения

$$ES_{A_{\Delta}} = +1400, \quad EI_{A_{\Delta}} = +1000 \text{ мкм.}$$

Назначим отклонения всех составляющих звеньев кроме  $A_6$  в «минус», так как все размеры являются охватываемыми, а размер  $A_6$  может иметь отклонения любого знака.

Таким образом,

$$\begin{aligned} A_1 &= 20_{-0,052}, & A_3 &= 35_{-0,062}, & A_5 &= 60_{-0,040}. \\ A_2 &= 35_{-0,062}, & A_4 &= 50_{-0,062}, & & \end{aligned}$$

Отклонение размера  $A_6$  определяем из уравнений (3.9) и (3.10).  
Получим:

$$\begin{aligned} +1400 &= ES_{A_6} - (-52 - 3 \cdot 62 - 46); & ES_{A_6} &= +116 \text{ мкм}; & TA_6 &= 116 \text{ мкм}; \\ +1000 &= EI_{A_6} - 0; & EI_{A_6} &= 1000 \text{ мкм.} \end{aligned}$$

Проверим:

$$TA_{\Delta} = 400 \text{ мкм}, \sum TA_i = 52 + 3 \cdot 62 + 46 + 116 = 400 \text{ мкм},$$

т.е. допуск замыкающего звена равен сумме допусков составляющих звеньев.

Результаты расчета представляем в виде табл. 3.3.

Таблица 3.3

Звено	Номинальный размер, мм	Единица допуска $i$ , мкм	Допуск, мкм	Окончательные размеры
$A_1$	20	1,31	52	$20_{-0,052}$
$A_2$	35	1,56	62	$35_{-0,062}$
$A_3$	35	1,56	62	$35_{-0,062}$
$A_4$	50	1,56	62	$50_{-0,062}$
$A_5$	60	1,86	46	$50_{-0,046}$
$A_6$	200	2,90	115	$200_{-0,115}$
$A_{\Delta}$	0	—	400	$0_{+1,0}^{+1,4}$

*Пример 2.* По заданному значению поля допуска замыкающего звена и номинальным размерам составляющих звеньев найти допуски составляющих звеньев с помощью расчета на максимум-минимум по способу одного качества точности. Варианты и исходные данные приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

№ п/п	Номинальные размеры составляющих звеньев, мм						Замыкающее звено			Закон распределения	Брак, %
							Номинальный размер, мм	Отклонение, мкм			
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$		верхнее	нижнее		
1	$x$	1,0	10	50	10	6,0	1,0	+600	+200	Н	0,8
2	80	1,5	11	$x$	11	7,5	0,5	+300	- 100	Р	1,5
3	85	1,5	13	$x$	13	6,5	0,5	+350	- 100	Н	2,5
4	75	1	13	45	13	8,0	0	+500	+100	Р	1,8
5	75	$x$	14	45	14	5,2	1,0	+400	0	Н	2,6
6	85	$x$	15	55	15	5,0	0,5	+200	- 200	Р	3,2
7	95	1,0	16	$x$	16	6,0	0	+550	- 250	Н	2,7

№ п/п	Номинальные размеры составляющих звеньев, мм						Замыкающее звено			Закон распре- деления	Брак, %
							Номинальный размер, мм	Отклонение, мкм			
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$		верхнее	нижнее		
8	92	$x$	18	52	18	5,0	1,0	+300	- 100	-	2,2
9	100	$x$	20	55	20	7,0	0,5	+400	- 100	Н	2,8
10	96	$x$	19	52	19	10	0	+300	- 100	Р	3,4
11	90	2,5	17	$x$	17	6,5	1,0	+300	- 300	Н	3,1
12	108	$x$	22	60	22	6,0	0,5	+600	+200	Р	2,9
13	120	$x$	21	70	23	8,0	0	+500	+100	Н	2,5
14	$x$	3,0	24	75	24	12	1,0	+500	+100	Р	1,9
15	140	$x$	25	80	25	10	0,5	+500	+100	Н	2,3
16	85	2,0	11	$x$	11	7,5	0	+600	0	-	1,0
17	75	$x$	12	40	12	15	0,5	+300	- 200	Н	1,5
18	90	2,0	15	$x$	15	5,0	0,5	+200	- 200	Р	2,5
19	80	1,0	10	$x$	10	8,0	0	+400	- 100	Н	1,5
20	94	$x$	18	55	18	6,0	0,5	+300	- 200	Р	2,0
21	95	$x$	20	50	20	8,0	0	+400	- 100	Р	3,0
22	100	2,0	22	$x$	22	7,0	1,0	+600	+100	Н	2,5
23	120	$x$	23	65	23	13	0	+400	- 100	Р	1,5
24	130	$x$	24	75	24	12	0,5	+500	0	Т	1,0
25	92	2,0	15	$x$	15	7,0	0	+600	+100	Т	1,5

*Примечание.* «Н» – нормальный закон; «Р» – закон равной вероятности; «Т» – треугольный закон; «–» – закон распределения неизвестный; « $x$ » – номинальный размер, подлежащий определению.

### ЗАНЯТИЕ 3.2. Теоретико-вероятностный метод расчета размерных цепей

**Основные положения.** При решении задач теоретико-вероятностным методом [3], т.е. с учетом характера рассеяния размеров, исключают как мало вероятные предельные сочетания значений размеров звеньев размерной цепи.

В общем случае связь между допуском замыкающего звена и допуском составляющих звеньев выражается формулой

$$TA_{\Delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 (TA_i)^2}, \quad (3.11)$$

где  $\xi_j$  – передаточное отношение звеньев;

$\lambda$  – коэффициент относительного рассеяния, характеризующий закон распределения  $i$ -го составляющего звена;

$\lambda_j^2 = 1/9$  – при нормальном законе распределения (закон Гаусса);

$\lambda_j^2 = 1/6$  – при законе распределения, близком к закону треугольника (закон Симпсона);

$\lambda_j^2 = 1/3$  – при равновероятном законе распределения или если ничего неизвестно о характере кривой распределения;

$t$  – коэффициент риска, характеризующий процент выхода размеров замыкающего звена за пределы установленного допуска.

ГОСТ 16320 дает значения коэффициента  $t$  для некоторых величин процента риска  $P$  (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Процент риска $P$ , %	32	10	405	1,0	0,27	0,1	0,01
Коэффициент $t$	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	3,29	3,89

Для других значений процента риска коэффициент  $t$  может быть найден из соотношения

$$\Phi(t) = 0,5 [1 - (P / 100)], \quad (3.12)$$

где  $\Phi(t)$  – функция Лапласа аргумента  $t$ .

Верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена определяют по формулам:

$$ES(es)_{A\Delta} = [E_c A\Delta + (TA\Delta/2)] - A\Delta, \quad (3.13)$$

$$EI(ei)_{A\Delta} = [E_c A\Delta - (TA\Delta/2)] - A\Delta, \quad (3.14)$$

$$\text{где } E_c A\Delta = \sum_{j=1}^n E_c A_j - \sum_{k=n+1}^{m-1} E_c A_k, \quad (3.15)$$

где  $E_c A\Delta$ ,  $E_c A_j$ ,  $E_c A_k$  – размеры, соответствующие серединам полей допусков. Например, если  $A_j = 20_{-0,1}$ , то  $E_c A_j = 19,95$ .

**Рабочее задание.** Изучите теоретические вопросы расчета размерных цепей по теоретико-вероятностному методу. Ответьте на вопросы для самопроверки.

1. Какое значение имеют расчеты размерных цепей в обеспечении качества машино- и приборостроительной продукции?

2. Суть и принципиальное отличие расчета размерных цепей по теоретико-вероятностному методу.

3. Достоинства, недостатки и область применения расчета размерных цепей по теоретико-вероятностному методу.

4. Рассмотрите порядок составления схемы размерной цепи.

5. Можно ли указывать на чертежах величину и допуск замыкающего (исходного) размера?

6. Какие размеры деталей и сборочных единиц следует принимать в качестве замыкающих размеров?

7. Какими способами можно повысить точность замыкающего размера не завышая стоимость изготовления изделий?

8. Начертите эскиз и рассмотрите простейшую размерную цепь.

9. На каком принципе основан теоретико-вероятностный метод расчета размерных цепей? Рассмотрите суть этого метода на примере расчета простейшей размерной цепи.

10. Как определяют при теоретико-вероятностном методе расчета размерных цепей предельные отклонения и предельные размеры замыкающего и составляющих звеньев?

11. Какому условию должно удовлетворять соотношение допуска замыкающего звена и допусков соответствующих звеньев при расчете размерных цепей теоретико-вероятностным методом? Как обеспечивают требуемое соотношение между этими допусками?

12. Какое звено называют увязочным и как определяют допуск этого звена при расчете размерных цепей по теоретико-вероятностному методу?

13. Изложите порядок проверочного расчета размерных цепей на неполную взаимозаменяемость.

14. Изложите порядок проектного расчета размерных цепей на неполную взаимозаменяемость.

**Практические задания.** Рассчитать размерные цепи с помощью теоретико-вероятностного метода.

### Примеры и методические указания по их решению

*Пример 1.* Задачу решить способом назначения допусков одного качества точности по теоретико-вероятностному методу. Исходные данные изложены в примере 1 занятия 3.1.

*Решение.* Для определения  $a_{\text{ср}}$  необходимо сначала рассчитать значение коэффициента риска  $t$ . Для этого находим значение функции Лапласа по формуле (3.12)

$$\Phi(t) = 0,5 [1 - (3,5 / 100)] = 0,4825.$$

По таблице «Функция Лапласа» (прил. 2) находим, что данному значению функции соответствует  $z = t = 2,11$ .

Поскольку при заданном распределении размеров составляющих звеньев по нормальному закону коэффициент относительного рассеяния  $\lambda^2 = 1/9$ , то по формуле (3.6), учитывая значения единицы допуска для каждого звена, найденные в примере 1 занятия 3.1, получим:

$$A_{\text{ср}} = 400 / [(2,11/3)] \sqrt{1,31^2 + 3 \cdot 1,56^2 + 1,85^2 + 2,90^2} = 400 / 0,70 = 125.$$

Полученное число единиц находится между 11-м и 12-м качествами, но ближе к 11-му качеству (см. табл. 3.2). Поэтому выбираем для всех составляющих звеньев 11-й качество точности и назначаем допуски (мкм) по ГОСТ 25346-82:

$$TA_1 = 130, TA_2 = 150, TA_3 = 190, TA_4 = 160, TA_5 = 160, TA_6 = 290.$$

Поверяем правильность решения

$$(2,11 / 3) \sqrt{130^2 + 3 \cdot 160^2 + 190^2 + 290^2} = 0,702 \sqrt{213900} = 324 < 400.$$

Допуск замыкающего звена существенно больше, т.е. используется не полностью. В данном случае можно поступить двояко.

1. Изменить коэффициент риска в сторону ужесточения, т.е. уменьшения процента брака, новый коэффициент риска определяется как

$$t = 400 / (1/3)\sqrt{213900} \approx 2,6.$$

Значение функции Лапласа будет  $\Phi(t) = 0,4953$ .

Новый процент риска

$$0,4953 = 0,5[1 - (P/100)], \quad P = 0,94 \%$$

2. Часть звеньев выполнить по более грубому качеству, сохранив тот же процент риска. Пусть по более грубому качеству выполняется звено  $A_6$ . Определяем необходимый допуск этого звена по формуле (3.11)

$$(2,11 / 3) \sqrt{[130^2 + 3 \cdot 160^2 + 190^2 + (A_6)^2]} = 400.$$

Решая это уравнение, получим, что  $TA_6 \approx 440$  мкм, что примерно соответствует 12-му качеству точности (допуск по 12-му качеству равен 460 мкм). Номинальный размер звена, как было найдено ранее, равен 0.

Предельные отклонения, мкм,

$$ES_{A\Delta} = +1400, \quad EI_{A\Delta} = +1000.$$

Предельные отклонения всех составляющих звеньев, как и ранее, назначим в «тело» детали.

Таким образом,

$$\begin{array}{lll} A_1 = 20_{-0,13}, & A_3 = 35_{-0,16}, & A_5 = 60_{-0,19}. \\ A_2 = 35_{-0,16}, & A_4 = 50_{-0,16}, & \end{array}$$

Предельные отклонения звена  $A_6$  определим по формулам (3.13)...(3.15).

Находим координаты середины полей допусков:

$$E_c A_1 = 19,935, \quad E_c A_3 = 34,920, \quad E_c A_5 = 59,905$$

$$E_c A_2 = 34,920, \quad E_c A_4 = 49,920, \quad E_c A_{\Delta} = 1,200.$$

По формуле (3.15)

$$1,2 = E_c A_6 - (19,935 + 2 \cdot 34,920 + 49,920 + 59,905), \quad E_c A_6 = 200,8.$$

По формуле (3.13) с учетом того, что  $(AT_6 / 2) = 0,23$ ,  
 $ES_{A_6} = (200,8 + 0,22) - 200 = 1,02$ .

По формуле (3.14)  $EI_{A_6} = (200,8 - 0,22) - 200 = 0,58$ .

Результаты расчета представим в сводной табл. 3.6.

Таблица 3.6

Звено	Номинальный размер, мм	Единица допуска $i$ , мкм	Допуск, мкм	Окончательные размеры
$A_1$	20	1,31	130	$20_{-0,13}$
$A_2$	35	1,56	160	$35_{-0,16}$
$A_3$	35	1,56	160	$35_{-0,16}$
$A_4$	50	1,56	160	$50_{-0,16}$
$A_5$	60	1,86	190	$60_{-0,19}$
$A_6$	200	2,90	440	$200_{-0,44}$
$A_{\Delta}$	0	—	400	$0_{+1,4}^{+1,0}$

*Пример 2.* По заданному значению поля допуска замыкающего звена и номинальным размерам составляющих звеньев найти допуски составляющих звеньев теоретико-вероятностным методом по способу одного качества точности. Варианты и исходные данные приведены в табл. 3.4.

### Тест-контроль занятия

1. Указать правильное определение звеньев размерной цепи.
  - а) Звено размерной цепи, изменение которого вызывает изменение замыкающего звена.
  - б) Размер, при увеличении которого увеличивается замыкающее звено.
  - в) Размер, при увеличении которого уменьшается замыкающее звено.

г) Размеры, образующие размерную цепь.

д) Размер, который получается последним.

2. Определить нижнее отклонение замыкающего звена, если  $A_{yB} = 20H10$ ,  $A_{yM} = 10h8$ .

а)  $ei(A\Delta) = -30$ , б)  $ei(A\Delta) = 55$ , в)  $ei(A\Delta) = 90$ , г)  $ei(A\Delta) = 0$ , д)  $ei(A\Delta) = -20$ .

3. Указать правильное значение среднего числа единиц допуска при решении прямой задачи по способу одного качества точности с учетом расчета вероятностным методом.

Дано:  $TA\Delta = 0,1$  мм;  $i_1 = 2,17$ ;  $i_2 = 2,17$ ;  $t = 1$ ;  $\lambda = 1/9$ .

а)  $A_{cp} \approx 100$ , б)  $A_{cp} \approx 90$ , в)  $A_{cp} \approx 45$ , г)  $A_{cp} \approx 84$ , д)  $A_{cp} \approx 89$ .

4. По заданным допускам (мкм) составляющих звеньев рассчитать допуск исходного звена (мкм).

Дано:  $TA_{1yB} = 10$ ,  $TA_{2yB} = 15$ ,  $TA_{3yM} = 20$ .

а)  $TA\Delta = 40$ , б)  $TA\Delta = 45$ , в)  $TA\Delta = 20$ , г)  $TA\Delta = 15$ , д)  $TA\Delta = 20$ .

5. Указать правильное определение размерной цепи.

а) Звено размерной цепи, изменение которого вызывает изменение замыкающего звена.

б) Размер, при увеличении которого увеличивается замыкающее звено.

в) Размер, при увеличении которого уменьшается замыкающее звено.

г) Размеры, образующие размерную цепь.

д) Размер, который получается последним в процессе обработки детали, узлов машины или измерения.

6. По заданным предельным размерам (мкм) составляющих звеньев детали рассчитать допуск замыкающего звена (мкм).

Дано:  $A_{1max}^{yB} = 5,00$ ,  $A_{1min}^{yB} = 4,92$ ,  $A_{2max}^{yB} = 8,00$ ,  $A_{2min}^{yB} = 7,98$ ,  $A_{3max}^{yM} = 6,02$ ,  $A_{3min}^{yM} = 6,00$ .

а)  $TA\Delta = 100$ , б)  $TA\Delta = 120$ , в)  $TA\Delta = 10$ , г)  $TA\Delta = 80$ , д)  $TA\Delta = 20$ .

7. Указать правильное значение номинального размера (мм) замыкающего звена при условии, что  $A_1^{yB} = 40K6$ ,  $A_2^{yM} = 25h7$ ,  $A_3^{yM} = 10h7$ .

а)  $A_{\Delta} = 40$ , б)  $A_{\Delta} = 30$ , в)  $A_{\Delta} = 25$ , г)  $A_{\Delta} = 10$ , д)  $A_{\Delta} = 5$ .

8. Указать правильное определение увеличивающего звена.

а) Звено размерной цепи, изменение которого вызывает изменение замыкающего звена.

б) Размер, при увеличении которого увеличивается замыкающее звено.

в) Размер, при увеличении которого уменьшается замыкающее звено.

г) Размеры, образующие размерную цепь.

д) Звено размерной цепи, изменение которого вызывает изменение замыкающего звена.

9. Указать правильное значение среднего допуска (мкм) при решении прямой задачи по способу равных допусков с учетом расчета вероятностным методом, принимая закон нормального распределения и  $t = 3,00$ .

Дано:  $TA_{\Delta} = 300$  мкм, общее число звеньев 10.

а)  $TA_{cp} = 50$ , б)  $TA_{cp} = 300$ , в)  $TA_{cp} = 30$ , г)  $TA_{cp} = 100$ , д)  $TA_{cp} = 150$ .

10. Указать правильное определение составляющего звена.

а) Звено размерной цепи, изменение которого вызывает изменение замыкающего звена.

б) Размер, при увеличении которого увеличивается замыкающее звено.

в) Размер, при увеличении которого уменьшается замыкающее звено.

г) Размеры, образующие размерную цепь.

д) Размер, который получается последним в процессе обработки детали, узлов машины или измерения.

11. Указать правильное значение номинального размера замыкающего звена при условии, что  $A_1 = 10$ ,  $A_2 = 20$ ,  $A_3 = 22$ ,  $A_4 = 6$ .

а)  $A_{\Delta} = 2$ , б)  $A_{\Delta} = 4$ , в)  $A_{\Delta} = 6$ , г)  $A_{\Delta} = 10$ , д)  $A_{\Delta} = 20$ .

12. Определить верхнее отклонение (мкм) замыкающего звена, если  $TA_{\Delta} = 200$  мкм,  $ES(A_{\Delta}) = 130$  мкм.

а)  $ES(A_{\Delta}) = 130$ , б)  $ES(A_{\Delta}) = 150$ , в)  $ES(A_{\Delta}) = 200$ , г)  $ES(A_{\Delta}) = 230$ , д)  $ES(A_{\Delta}) = 0$ .

13. Указать правильное значение среднего числа единиц допуска при решении прямой задачи по способу одного качества точности с учетом расчета вероятностным методом.

Дано:  $TA_{\Delta} = 0,2$  мм;  $i_1 = 1,51$ ,  $i_2 = 1,86$ ;  $t = 3$ ;  $\lambda = 1/9$ .

а)  $A_{cp} \approx 20$ , б)  $A_{cp} \approx 48$ , в)  $A_{cp} \approx 94$ , г)  $A_{cp} \approx 87$ , д)  $A_{cp} \approx 109$ .

14. Указать правильное определение уменьшающего звена.

а) Звено размерной цепи, изменение которого вызывает изменение замыкающего звена.

б) Размер, при увеличении которого увеличивается замыкающее звено.

в) Размер, при увеличении которого увеличивается замыкающее звено.

г) Размеры, образующие размерную цепь.

д) Размер, который получается последним в процессе обработки детали, узлов машины или измерения.

15. Определить нижнее отклонение замыкающего звена (мкм), если  $TA_{\Delta} = 320$  мкм,  $ES(A_{\Delta}) = 160$  мкм.

а)  $EI(A_{\Delta}) = 120$ , б)  $EI(A_{\Delta}) = 100$ , в)  $EI(A_{\Delta}) = 20$ , г)  $EI(A_{\Delta}) = 10$ , д)  $EI(A_{\Delta}) = 0$ .

## РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 25346-89. Основные нормы взаимозаменяемости. ЕСДП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 25 с.

2. Сергеев, А.Г. Метрология, стандартизация, сертификация / А.Г. Сергеев, М.В. Латышев, В.В. Терегеря. – М. : Логос, 2001. – С. 345 – 350. – ISBN 5-38439-018-8.

3. Якушев, А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федоров. – 5-е изд., стер. – М. : Машиностроение, 1986. – С. 212 – 216.

4. Зябрева, Н.Н. Пособие к решению задач по курсу «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения» / Н.Н. Зябрева, Е.И. Перельман, М.Я. Шегал. – М. : Высш. шк., 1977. – С. 59 – 64.

5. Саранча, Г.А. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / Г.А. Саранча. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – С 137.
6. ГОСТ 25347-82. Основные нормы взаимозаменяемости. ЕСДП. Поля допусков и рекомендуемые посадки. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 25 с.
7. ГОСТ 25348-82. Ряды допусков основных отклонений и поля допусков для размеров свыше 3150 мм. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 20 с.
8. ГОСТ 24642-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски форм и расположения поверхностей. Числовые выражения. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 38 с.
9. ГОСТ 10950-86. Плиты поверочные и разметочные. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 15 с.
10. ГОСТ 8026-92. Линейки поверочные. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 10 с.
11. ГОСТ 3749-77. Угольники поверочные 90°. Типы. Основные параметры. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 15 с.
12. ГОСТ 9038-90. Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 8 с.
13. ГОСТ 17353-89. Приборы для измерений отклонений формы и расположения поверхностей вращения. Типы. Общие технические требования. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 31 с.
14. ГОСТ 24643-81. Допуски формы и расположения поверхностей. Условные значения. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 25 с.
15. ГОСТ 25670-83. Основные нормы взаимозаменяемости. Предельные отклонения размеров с неуказанными допусками. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 25 с.
16. ГОСТ 2.308-79. ЕСКД. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 25 с.
17. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры, характеристики и обозначения. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 25 с.
18. ГОСТ 16320-80. Цепи размерные. Расчет плоских цепей. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 25 с.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

Поля допусков и рекомендуемые посадки по ГОСТ 25347-82

Квалитеты 4-й и 5-й

Интервалы размеров, мм	Поля допусков														
	<i>g4</i>	<i>h4</i>	<i>Js4</i>	<i>k4</i>	<i>m4</i>	<i>n4</i>	<i>g5</i>	<i>h5</i>	<i>js5</i>	<i>k5</i>	<i>m5</i>	<i>n5</i>	<i>p5</i>	<i>r5</i>	<i>s5</i>
	Предельные отклонения, мкм														
От 1 до 3	-2	0	+1,5	+3	+5	+7	-2	0	+2,0	+4	+6	+8	+10	+14	+18
	-5	-3	-1,5	0	+2	+4	-6	-4	-1,0	0	+2	+4	+6	+10	+14
От 3 до 6	-4	0	+2,0	+5	+8	+12	-4	0	+2,5	+6	+9	+13	+17	+20	+24
	-8	-4	-2,0	+1	+4	+8	-9	-5	-2,5	+1	+4	+8	+12	+15	+19
От 6 до 10	-5	0	+2,0	+5	+10	+14	-5	0	+3,0	+7	+12	+16	+21	+25	+29
	-9	-4	-2,0	+1	+6	+10	-11	-6	-3,0	+1	+6	+10	+15	+19	+23
От 10 до 14	-6	0	+2,5	+6	+12	+17	-6	0	+4,0	+9	+15	+20	+26	+31	+36
От 14 до 18	-11	-5	-2,5	+1	+7	+12	-14	-8	-4,0	+1	+7	+12	+18	+23	+28
От 18 до 24	-7	0	+3,0	+8	+14	+21	-7	0	+4,5	+11	+17	+24	+31	+37	+44
От 24 до 30	-13	-6	-3,0	+2	+8	+15	-16	-9	-4,5	+2	+8	+15	+22	+28	+35
От 30 до 40	-9	0	+3,5	+9	+16	+24	-9	0	+5,5	+13	+20	+28	+37	+45	+54
От 40 до 50	-16	-7	-3,5	+2	+9	+17	-20	-11	-5,5	+2	+9	+17	+26	+34	+43
От 50 до 65														+54	+66
	-10	0	+4,0	+10	+19	+28	-10	0	+6,5	+15	+24	+33	+45	+41	+53
От 65 до 80	-18	-9	-4,0	+2	+11	+20	-23	-13	-6,5	+2	+11	+20	+32	+56	+72
														+43	+59
От 80 до 100	-12	0	+5,0	+13	+23	+33	-12	0	+7,5	+18	+28	+38	+52	+66	+85
	-22	-10	-5,0	+3	+13	+23	-27	-15	-7,5	+3	+13	+23	+37	+51	+71
От 100 до 120														+69	+94
														+54	+79
От 120 до 140	-14	0	+5,0	+15	+27	+39	-14	0	+9,0	+21	+33	+45	+61	+83	+116
														+65	+100
От 140 до 160	-26	-12	-5,0	+3	+15	+27	-32	-18	-9,0	+3	+15	+27	+43	+83	+116
														+65	+100
От 150 до 180														+86	+126
														+68	+108
От 180 до 200	-15	0	+7,0	+18	+31	+45	-15	0	+10,0	+24	+37	+51	+70	+97	+142
														+77	+122
От 200 до 225														+100	+150
	-29	-17	-7,0	+4	+17	+31	-35	-20	-10,0	+4	+17	+31	+50	+80	+130

**Продолжение прил. 1**

Интервалы размеров, мм	Поля допусков														
	<i>g4</i>	<i>h4</i>	<i>Js4</i>	<i>k4</i>	<i>m4</i>	<i>n4</i>	<i>g5</i>	<i>h5</i>	<i>js5</i>	<i>k5</i>	<i>m5</i>	<i>n5</i>	<i>p5</i>	<i>r5</i>	<i>s5</i>
	Предельные отклонения, мкм														
От 225 до 250														+104 +84	+160 +140
От 250 до 280	-17	0	+8,0	+20	+36	+50	-17	0	+11,5	+27	+43	+57	+79	+117 +94	+181 +158
От 280 до 315	-33	-15	-8,0	+4	+20	+34	-40	-23	-11,5	+4	+20	+34	+56	+121 +98	+193 +170
От 315 до 355	-18	0	+9,0	+22	+39	+55	-18	0	+12,5	+29	+45	+62	+89	+133 +108	+215 +190
От 355 до 400	-36	-18	-9,0	+4	+21	+37	-43	-25	-12,5	+4	+21	+37	+62	+139 +114	+233 +208
От 400 до 450	-20	0	+10,0	+25	+43	+60	-20	0	-13,5	+32	+50	+67	+95	+153	+259
От 450 до 500	-40	-20	-10,0	+5	+23	+40	-47	-27	-13,5	+5	+23	+40	+68	+132	+252

**Квалитет 6-й**

Интервал размеров, мм	Поля допусков											
	<i>f6</i>	<i>g6</i>	<i>h6</i>	<i>js6</i>	<i>k6</i>	<i>m6</i>	<i>n6</i>	<i>p6</i>	<i>r6</i>	<i>s6</i>	<i>t6</i>	
	Предельные отклонения, мкм											
От 1 до 3	-6	-7	0	+3,0	+6	+8	+10	+17	+16	+20	-	
	-12	-8	-6	-3,0	0	+2	+4	+6	+10	+14		
От 3 до 6	-10	-4	0	+4,0	+9	+12	+16	+20	+23	+17	-	
	-18	-12	-8	-4,0	+1	+4	+8	+12	+15	+19		
От 6 до 10	-13	-5	0	+4,5	+10	+15	+19	+24	+28	+32	-	
	-22	-14	-9	-4,5	+1	+6	+10	+15	+19	+23		
От 10 до 14	-16	-6	0	+5,5	+12	+18	+23	+29	+34	+39	-	
От 14 до 18	-27	-17	-11	-5,5	+1	+7	+12	+18	+23	+28		
От 18 до 24	-20	-7	0	+6,5	+15	+21	+28	+35	+41	+48	-	
От 24 до 30	-33	-20	-13	-6,5	+2	+8	+15	+22	+28	+35	+54 +41	
От 30 до 40	-25	-9	0	+8,0	+18	+25	+33	+42	+50	+59	+64 +48	
От 40 до 50	-41	-25	-16	-8,0	+2	+9	+17	+26	+34	+43	+70 +54	

**Продолжение прил. 1**

Интервал размеров, мм	Поля допусков										
	<i>f</i> 6	<i>g</i> 6	<i>h</i> 6	<i>j</i> <sub>s</sub> 6	<i>k</i> 6	<i>m</i> 6	<i>n</i> 6	<i>p</i> 6	<i>r</i> 6	<i>s</i> 6	<i>t</i> 6
	Предельные отклонения, мкм										
От 50 до 65	-30	-10	0	+9,5	+21	+30	+39	+51	+60	+72	+85
От 65 до 80									+41	+53	+65
От 65 до 80	-49	-29	-19	-9,5	+2	+11	+20	+32	+62	+78	+94
От 80 до 100									+43	+59	+75
От 80 до 100	-36	-12	0	+11,0	+25	+35	+45	+59	+73	+93	+113
От 100 до 120									+51	+71	+91
От 100 до 120	-58	-34	-22	-11,0	+3	+13	+23	+37	+76	+101	+116
От 120 до 140									+54	+79	+104
От 120 до 140	-43	-14	0	+12,5	+28	+40	+52	+68	+88	+117	+147
От 140 до 160									+63	+92	+122
От 140 до 160	-68	-39	-25	-12,5	+3	+15	+27	+43	+90	+175	+159
От 160 до 180									+65	+100	+134
От 160 до 180	-50	-15	0	+14,5	+33	+46	+60	+79	+93	+135	+171
От 180 до 200									+68	+108	+146
От 180 до 200	-79	-44	-29	+14,5	+9	+17	+31	+31	+106	+151	+195
От 200 до 225									+77	+122	+166
От 200 до 225	-79	-44	-29	+14,5	+9	+17	+31	+31	+109	+159	+209
От 225 до 250									+80	+230	+180
От 225 до 250	-56	-17	0	+16,0	+36	+52	+66	+88	+113	+169	+225
От 250 до 280									+84	+140	+196
От 250 до 280	-88	-49	-32	-15,0	+4	+20	+34	+56	+126	+190	+250
От 280 до 315									+94	158	+218
От 280 до 315	-62	-18	0	+18,0	+40	+57	+73	+98	+130	+202	+272
От 315 до 355									+98	+170	+240
От 315 до 355	-98	-57	-36	-18,0	-4	+21	+37	+62	+144	+226	+304
От 355 до 400									+108	+190	+268
От 355 до 400	-98	-57	-36	-18,0	-4	+21	+37	+62	+150	+244	+330
От 400 до 450									+114	+208	+294

**Квалитет 7-й**

Интервал размеров, мм	Поля допусков									
	<i>e</i> 7	<i>f</i> 7	<i>h</i> 7	<i>j</i> <sub>s</sub> 7	<i>k</i> 7	<i>m</i> 7	<i>n</i> 7	<i>s</i> 7	<i>u</i> 7	
	Предельные отклонения, мкм									
От 1 до 3	-14	-6	0	+5	+10	-	+14	+24	+28	
	-24	-16	-10	-5	0		+4	+14	+18	
От 3 до 6	-20	-10	0	+6	+13	+16	+20	+31	+35	
	-32	-22	-12	-6	+2	+9	+8	+19	+23	

**Продолжение прил. 1**

Интервал размеров, мм	Поля допусков								
	<i>e7</i>	<i>f7</i>	<i>h7</i>	<i>j<sub>s</sub>7</i>	<i>k7</i>	<i>m7</i>	<i>n7</i>	<i>s7</i>	<i>u7</i>
	Предельные отклонения, мкм								
От 6 до 10	-25	-13	0	+7	+16	+21	+25	+38	+43
	-40	-28	-15	-7	+2	+6	+10	+23	+28
От 10 до 14	-32	-16	0	+9	+19	+25	+30	+45	+51
От 14 до 18	-50	-34	-18	-9	+3	+7	+12	+28	+33
От 18 до 24	-40	-20	0	+10	+23	+29	+36	+56	+62
	-61	-41	-21	-10	+2	+8	+15	+35	+41
От 24 до 30	-61	-41	-21	-10	+2	+8	+15	+35	+69
	-61	-41	-21	-10	+2	+8	+15	+35	+48
От 30 до 40	-50	-25	0	+12	+27	+34	+42	+68	+85
	-75	-50	-25	-12	+2	+9	+37	+43	+60
От 40 до 50	-75	-50	-25	-12	+2	+9	+37	+43	+95
	-75	-50	-25	-12	+2	+9	+37	+43	+70
От 50 до 65	-60	-30	0	+15	+32	+41	+50	+83	+117
	-90	-60	-30	-15	+2	+11	+20	+53	+87
От 65 до 80	-90	-60	-30	-15	+2	+11	+20	+89	+132
	-90	-60	-30	-15	+2	+11	+20	+59	+102
От 80 до 100	-72	-36	0	+17	+38	+48	+58	+106	+159
	-107	-11	-35	-17	+3	+13	+23	+71	+124
От 100 до 120	-107	-11	-35	-17	+3	+13	+23	+114	+179
От 120 до 140	-107	-11	-35	-17	+3	+13	+23	+79	+144
	-107	-11	-35	-17	+3	+13	+23	+132	+210
От 140 до 160	-85	-43	0	+20	+43	+55	+67	+92	+170
	-125	-83	-40	-20	+3	+15	+27	+140	+230
От 160 до 180	-125	-83	-40	-20	+3	+15	+27	+100	+190
	-125	-83	-40	-20	+3	+15	+27	+148	+250
От 180 до 200	-125	-83	-40	-20	+3	+15	+27	+108	+210
	-125	-83	-40	-20	+3	+15	+27	+168	+282
От 200 до 225	-100	-50	0	+23	+50	+63	+77	+122	+236
	-146	-96	-46	-23	+4	+7	+31	+176	+301
От 225 до 250	-146	-96	-46	-23	+4	+7	+31	+130	+251
	-146	-96	-46	-23	+4	+7	+31	+186	+330
От 250 до 280	-110	-56	0	+26	+56	+72	+86	+140	+284
	-110	-56	0	+26	+56	+72	+86	+210	+367
От 280 до 315	-162	-108	-52	-26	+4	+20	+34	+158	+301
	-162	-108	-52	-26	+4	+20	+34	+222	+417
От 315 до 355	-125	-62	0	+28	+61	+78	+94	+170	+360
	-182	-119	0	+28	+61	+78	+94	+247	+447
до 355	-182	-119	0	+28	+61	+78	+94	+190	+390

Продолжение прил. 1

Квалитеты 8-й и 9-й

Интервалы размеров, мм	Поля допусков													
	<i>c</i> 8	<i>d</i> 8	<i>e</i> 8	<i>f</i> 8	<i>h</i> 8	<i>j<sub>s</sub></i> 8	<i>u</i> 8	<i>x</i> 8	<i>z</i> 8	<i>d</i> 9	<i>e</i> 9	<i>f</i> 9	<i>h</i> 9	<i>j<sub>s</sub></i> 9
	Предельные отклонения, мкм													
От 1 до 3	-60	-20	-14	-6	0	+7	+32	+34	+40	-20	-14	-6	0	+12
	-74	-34	-28	-20	-14	-7	+18	+20	+20	-45	-39	-31	-25	-12
От 3 до 6	-70	-30	-20	-10	0	+9	+41	+40	+53	-30	-20	-10	0	+15
	-88	-49	-38	-28	-18	-9	+23	+28	+35	-60	-50	-40	-30	-15
От 6 до 10	-80	-40	-25	-13	0	+11	+50	+56	+64	-40	-25	-13	0	+18
	-102	-62	-47	-35	-22	-11	+28	+34	+42	-76	-61	-49	-36	-18
От 10 до 14								+67	+77					
	-95	-50	-32	-16	0	+13	+60	+40	+50	-50	-32	-16	0	+21
От 14 до 18	-122	-77	-59	-43	-27	-13	+33	+72	+87	-93	-75	-59	-43	-21
								+45	+60					
От 18 до 24							+74	+87	+106					
	-110	-65	-40	-20	0	+16	+41	+54	+73	-65	-40	-20	0	+26
От 24 до 30	-143	-98	-73	-53	-33	-16	+81	+97	+121	-117	-92	-72	-52	-26
							+48	+64	+88					
От 30 до 40	-170						+99	+119	+151					
	-159	-80	-50	-25	0	+19	+60	+80	+119	-80	-50	-25	0	+31
От 40 до 50	-130	-	-89	-64	-39	-19	+109	+136	+175	-142	-117	-87	-62	-31
	-169	119					+70	+97	+136					
От 50 до 65	-140						+135	+168	+218					
	-186	-100	-60	-30	0	+23	+87	+122	+172	-100	-60	-30	0	+37
От 65 до 80	-150	-146	-106	-76	-46	-23	+148	+192	+256	-174	-134	-104	-74	-37
	-196						+102	+146	+210					
От 80 до 100	-170						+178	+232	+312					
	-224	-120	-72	-36	0	+27	+124	+178	+258	-120	-72	-36	0	+43
От 100 до 120	-180	-174	-126	-90	-54	-27	+198	+264	+364	-207	-159	-123	-87	-43
	-234						+144	+210	+310					
От 120 до 140	-200						+233	+311	+428					
	-263						+170	+248	+365					
От 140 до 160	-211	-145	-85	-43	0	+31	+253	+343	+478	-145	-85	-43	0	+50
	-273	-203	-148	-106	-63	-31	+190	+280	+415	-245	-185	-143	-100	-50
От 160 до 180	-230						+273	+373	+528					
	-293						+210	+310	+465					
От 180 до 200	-240						+308	+422	+592					
	-312						+236	+350	+500					

**Продолжение прил. 1**

Интервалы размеров, мм	Поля допусков													
	<i>c</i> 8	<i>d</i> 8	<i>e</i> 8	<i>f</i> 8	<i>h</i> 8	<i>j<sub>s</sub></i> 8	<i>u</i> 8	<i>x</i> 8	<i>z</i> 8	<i>d</i> 9	<i>e</i> 9	<i>f</i> 9	<i>h</i> 9	<i>j<sub>s</sub></i> 9
	Предельные отклонения, мкм													
От 200 до 225	-260	-170	-100	-50	0	+36	+330	+457	+647	-170	-100	-50	0	+57
От 225 до 250	-332	-242	-172	-122	-72	-36	+258	+383	+575	-285	-215	-165	-115	-57
От 250 до 280	-280						+356	+497	+712					
От 280 до 315	-381						+284	+425	+640					
От 250 до 280	-300						+396	+556	+791					
От 280 до 315	-361	-190	-110	-56	0	+40	+315	+475	+710	-190	-110	-56	0	+65
От 280 до 315	-330	-271	-191	-137	-81	-40	+431	+606	+871	-320	-240	-186	-130	-65
От 280 до 315	-411						+350	+525	+790					

**Квалитеты 10-...12-й**

Интервал размеров, мм	Поля допусков											
	<i>d</i> 10	<i>h</i> 10	<i>j<sub>s</sub></i> 10	<i>a</i> 11	<i>b</i> 11	<i>c</i> 11	<i>d</i> 11	<i>h</i> 11	<i>j<sub>s</sub></i> 11	<i>b</i> 12	<i>h</i> 12	<i>j<sub>s</sub></i> 12
	Предельные отклонения, мкм											
От 1 до 3	-20	0	+20	-270	-140	-50	-20	0	+30	-140	0	+50
От 3 до 6	-60	-40	-20	-330	-200	-110	-80	-30	-30	-240	-100	-50
От 3 до 6	-30	0	+24	-270	-140	-70	-30	0	+37	-140	0	+60
От 6 до 10	-78	-48	-24	-345	-215	-145	-105	-75	-37	-260	-120	-60
От 6 до 10	-40	0	+29	-280	-150	-60	-40	0	+45	-150	0	+75
От 10 до 14	-93	-58	-29	-370	-240	-170	-130	-90	-45	-300	-150	-75
От 10 до 14	-50	0	+35	-290	-150	-95	-50	0	+55	-150	0	+90
От 14 до 18	-120	-70	-35	-400	-260	-205	-160	-110	-55	-330	-180	-90
От 18 до 24	-65	0	+42	-300	-160	-110	-65	0	+65	-160	0	+105
От 24 до 30	-149	-84	-42	-430	-290	-240	-195	-130	-65	-370	-210	-105
От 30 до 40				-310	-170	-120				-70		
От 30 до 40	-80	0	+50	-470	-330	-280	-80	0	+80	-420	0	+125
От 40 до 50	-180	-10	-50	-320	-160	-130	-240	-160	-80	-180	-250	-125
От 40 до 50				-480	-340	-290				-430		
От 50 до 65				-340	-190	-140				-190		
От 50 до 65	-100	0	+60	-530	-380	-330	-100	0	+95	-490	0	+150
От 65 до 80	-220	-120	-60	-360	-200	-160	-290	-190	-95	-200	-300	-150
От 65 до 80				-550	-390	-340				-500		
От 80 до 100				-380	-220	-120				-220		
От 80 до 100	-120	0	+70	-600	-440	-390	-120	0	+100	-570	0	+175
От 100 до 120	-260	-140	-70	-410	-240	-180	-340	-210	-110	-240	-350	-175
От 100 до 120				-630	-460	-400				-590		

**Продолжение прил. 1**

Интервал размеров, мм	Поля допусков											
	<i>d</i> 10	<i>h</i> 10	<i>j</i> <sub>s</sub> 10	<i>a</i> 11	<i>b</i> 11	<i>c</i> 11	<i>d</i> 11	<i>h</i> 11	<i>j</i> <sub>s</sub> 11	<i>b</i> 12	<i>h</i> 12	<i>j</i> <sub>s</sub> 12
	Предельные отклонения, мкм											
От 120 до 140				-460	-260	-700				-260		
				-710	-510	-450				-660		
От 140 до 160	-145	0	+80	-520	-280	-210	-145	0	+125	-280	0	+200
	-305	-160	-80	-770	-530	-460	-395	-250	-125	-680	-400	-200
От 160 до 180				-560	-310	-130				-310		
				-830	-560	-480				-710		
От 180 до 200				-660	-340	-240				-340		
				-950	-530	-530				-800		
От 200 до 225	-170	0	+92	-740	-380	-260	-170	0	+145	-330	0	+230
	-355	-185	-92	-1030	-670	-550	-460	-290	-145	-840	-460	-230
От 225 до 250				-820	-420	-230				-420		
				-1110	-710	-570				-880		
От 250 до 280	-190	0	+105	-920	-480	-300	-190	0	+160	-480	0	+260
				-1240	-600	-620				-1000		
От 280 до 315	-400	-210	-105	-1050	-540	-330	-510	-320	-160	-540	-520	-260
				-1370	-860	-630				-1060		
От 315 до 355	-210	0	+115	-1200	-600	-360	-210	0	+180	-600	0	+285
				-1560	-960	-720				-1170		
От 255 до 400	-440	-230	-115	-1350	-690	-400	-570	-360	-180	-680	-570	-285
				-1710	-1040	-760				-1250		

**Квалитеты 13-...17-й**

Интервал размеров, мм	Поля допусков									
	<i>h</i> 13	<i>j</i> <sub>s</sub> 13	<i>h</i> 14	<i>j</i> <sub>s</sub> 14	<i>h</i> 15	<i>j</i> <sub>s</sub> 15	<i>h</i> 16	<i>j</i> <sub>s</sub> 16	<i>h</i> 17	<i>j</i> <sub>s</sub> 17
	Предельные отклонения, мкм									
От 1 до 3	0	+70	0	+125	0	+200	0	+300	0	-500
	-140	-70	-250	-125	-400	-200	-600	-300	-1000	-500
От 3 до 6	0	+90	0	+150	0	+240	0	+375	0	+800
	-180	-90	-300	-150	-480	-240	-750	-375	-1200	-800
От 6 до 10	0	+110	0	+180	0	+290	0	+450	0	+750
	-220	-110	-360	-180	-590	-290	-900	-450	-1500	-750
От 10 до 14	0	+135	0	+215	0	+350	0	+550	0	+900
От 14 до 18	-270	-135	-430	-215	-700	-350	-1140	-550	1507	-900
От 18 до 24	0	+165	0	+260	0	+420	0	+650	0	+1050

**Окончание прил. 1**

Интервал размеров, мм	Поля допусков									
	$h_{13}$	$j_{s13}$	$h_{14}$	$j_{s14}$	$h_{15}$	$j_{s15}$	$h_{16}$	$j_{s16}$	$h_{17}$	$j_{s17}$
Предельные отклонения, мкм										
От 24 до 30	-350	-165	-520	-260	-840	-470	-1300	-630	-2100	-1350
От 30 до 40	0	+195	0	+310	0	+500	0	+800	0	1250
От 40 до 50	-390	-195	-670	-310	-1000	-500	-1600	-800	-2500	-1250
От 50 до 65	0	+230	0	+370	0	+600	0	+950	0	+1500
От 65 до 80	-460	-230	-740	-370	-1200	-600	-1900	-950	-3007	-1500
От 80 до 100	0	+270	0	+435	0	+700	0	+1100	0	-1750
От 100 до 120	-540	-270	-840	-435	-1400	-700	-2200	-1100	-3607	-1750
От 120 до 140	0	+315	0	+500	0	+800	0	1250	0	+2000
От 140 до 160	-630	-315	-1000	-500	-1600	-800	-2500	-1250	-4000	-2000
От 160 до 180										
От 180 до 200	0	+360	0	+575	0	+975	0	+1450	0	+2300
От 200 до 225	-720	-360	-1150	-575	-1850	-925	-2900	-1450	-4600	-2300
От 225 до 250										
От 250 до 280	0	+405	0	+650	0	+1050	0	+1600	0	+2600
От 280 до 315	-810	-405	1300	-650	2100	-1050	-3200	1600	-5200	-2600
От 315 до 355	0	+445	0	+700	0	+1150	0	+1800	0	+2550
От 225 до 400	-890	-445	-1400	-700	-2300	-1150	-3600	-11607	-5700	-2550
От 400 до 450	0	+485	0	+775	0	+1250	0	+2000	0	+3160
От 450 до 500	-970	-485	-1550	-775	-2500	-1250	-4000	-2000	-6300	-3150

## Приложение 2

### Функция Лапласа

$z$	$\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$
1,98	0,4761	2,36	0,4909	2,76	0,4971
1,99	0,4767	2,38	0,4913	2,78	0,4973
2,00	0,4772	2,40	0,4918	2,80	0,4974
2,02	0,4783	2,42	0,4922	2,82	0,4976
2,04	0,4793	2,44	0,4927	2,84	0,4977
2,06	0,4803	2,46	0,4931	2,86	0,4979
2,08	0,4812	2,48	0,4934	2,88	0,4980
2,10	0,4821	2,50	0,4938	2,90	0,4981
2,12	0,4830	2,52	0,4941	2,92	0,4982
2,14	0,4838	2,54	0,4945	2,94	0,4984
2,16	0,4846	2,56	0,4948	2,96	0,4985
2,18	0,4854	2,58	0,4951	2,98	0,4986
2,20	0,4861	2,60	0,4953	3,00	0,49865
2,22	0,4968	2,62	0,4956	3,20	0,49931
2,24	0,4875	2,64	0,4959	3,40	0,49966
2,26	0,4881	2,66	0,4961	3,60	0,499841
2,28	0,4887	2,68	0,4963	3,80	0,499928
2,30	0,4893	2,70	0,4965	4,00	0,499968
2,32	0,4898	2,72	0,4967	4,50	0,499997
2,34	0,4904	2,74	0,4969	5,00	0,499997

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	3
<b>Глава 1. Стандартизация допусков и посадок</b> .....	5
<i>Занятие 1.1.</i> Анализ контроля точности изготовления деталей, определение размеров, отклонений и допусков.....	5
<i>Занятие 1.2.</i> Изучение основных понятий о соединениях и посадках.....	11
<i>Занятие 1.3.</i> Изучение государственных стандартов Единой системы допусков и посадок.....	44
<b>Глава 2. Точность формы, расположения поверхностей и их шероховатость</b> .....	53
<i>Занятие 2.1.</i> Указания на чертежах допусков форм и расположения поверхностей.....	53
<i>Занятие 2.2.</i> Обозначение шероховатости поверхности на чертежах.....	71
<b>Глава 3. Размерные цепи</b> .....	89
<i>Занятие 3.1.</i> Метод расчета размерных цепей, обеспечивающих полную взаимозаменяемость.....	93
<i>Занятие 3.2.</i> Теоретико-вероятностный метод расчета размерных цепей.....	98
<b>Рекомендательный библиографический список</b> .....	106
<b>Приложения</b> .....	108

*Учебное издание*

ТЕРЕГЕРЯ Владимир Васильевич  
ПЕРОВ Александр Андреевич

ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МЕТРОЛОГИЯ,  
ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ»

Раздел «Взаимозаменяемость»

Подписано в печать 01.07.10.  
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 6,97. Тираж 150 экз.  
Заказ  
Издательство  
Владимирского государственного университета.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.