

**Министерство образования и науки
Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический
университет им. Д.И.Менделеева»**

Новомосковский институт (филиал)

Бегова А.В.

***Расчет сборочных размерных цепей
методами взаимозаменяемости***

Методические указания по выполнению расчетно-графического задания для студентов всех форм обучения по профилю подготовки «Машины и аппараты химических производств»

**Новомосковск
2013**

УДК 621.753.3
ББК 34.4
Р 248

Рецензент:

кандидат технических наук, доцент Суменков А.Л.
(ФГБОУ ВПО РХТУ им. Д.И.Менделеева, Новомосковский институт)

Бегова А.В.

Р 248 Расчет сборочных размерных цепей методами взаимозаменяемости. Методические указания по выполнению расчетно-графического задания для студентов всех форм обучения по профилю подготовки «Машины и аппараты химических производств» / ФГБОУ ВПО РХТУ им. Д.И.Менделеева, Новомосковский институт (филиал); Новомосковск, 2013. – 58 с.

Методические указания по выполнению расчетно-графического задания «**Расчет сборочных размерных цепей методами взаимозаменяемости**» по дисциплине "Основы взаимозаменяемости и нормирование точности изделий машиностроения" включают варианты и исходные данные, основные теоретические положения, справочную информацию, содержание и порядок выполнения расчетно-графического задания, являются дополнением к теоретическому курсу, а также содержат типовые примеры выполнения задания с краткими пояснениями.

Предназначены для самостоятельного выполнения контрольных работ и расчетно-графических заданий студентами всех форм обучения по профилю подготовки «Машины и аппараты химических производств».

Табл. 15. Ил. 16. Библиогр.: 6 назв.

УДК 621.753.3
ББК 34.4

© ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический
университет им. Д.И.Менделеева
Новомосковский институт (филиал), 2013

1 Выбор вариантов и исходные данные

Исходные данные для выполнения расчетно-графического задания (РГЗ) представлены в таблице 1.1.

Варианты расчетно-графического задания выдаются преподавателем для студентов дневной формы обучения или выбираются по двум последним цифрам шифра зачетной книжки студентами заочной формы обучения (табл.1.2) при выполнении контрольной работы.

Таблица 1.1 - Варианты и исходные данные для студентов дневной формы обучения

Вариант	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆
1	8	107	8	11	100	11
2	7	113	7	12	102	12
3	9	113	9	13	104	13
4	10	115	10	14	106	14
5	7	125	7	15	108	15
6	9	127	9	17	110	17
7	10	131	10	19	112	19
8	7	143	7	21	114	21
9	9	145	9	23	116	23
10	10	149	10	25	118	25
11	7	161	7	27	120	27
12	9	163	9	29	122	29
13	10	167	10	31	124	31
14	7	183	7	35	126	35
15	9	185	9	37	128	37
16	10	189	10	39	130	39
17	7	201	7	41	132	41
18	9	203	9	43	134	43
19	10	207	10	45	136	45
20	7	219	7	47	138	47
21	9	219	9	48	140	48
22	10	227	10	52	142	52
23	7	147	7	8	144	8
24	9	161	9	16	146	16
25	10	165	10	18	148	18
26	10	205	10	23	178	23
27	7	215	7	24	180	24
28	9	183	9	9	182	9
29	10	187	10	11	184	11
30	8	195	8	12	186	12

Таблица 1.2 - Варианты РГЗ для выполнения контрольной работы для студентов заочной формы обучения

$\begin{matrix} \text{б} \\ \text{a} \end{matrix}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	11	21	30	20	10	4	14	29	3
1	2	12	22	29	19	9	5	15	22	5
2	3	13	23	28	18	8	6	16	25	7
3	4	14	24	27	17	7	7	17	21	9
4	5	15	25	26	16	6	8	18	23	1
5	6	16	26	25	15	5	9	19	27	2
6	7	17	27	24	14	4	10	20	28	4
7	8	18	28	23	13	3	1	11	26	6
8	9	19	29	22	12	2	2	12	21	8
9	10	20	30	21	11	1	3	13	24	10
Примечание: а, б – последняя и предпоследняя цифра зачетной книжки										

2 Теоретическая часть

2.1 Основные законы рассеяния размеров деталей

Закон рассеяния устанавливает зависимость между числовыми значениями случайной величины (размером детали) и частотой их появления y (плотностью вероятности p). Эмпирическую совокупность распределения размеров деталей в партии приблизительно можно описать соответствующим законом рассеяния.

В теории размерных цепей наиболее часто применяются следующие основные законы рассеяния размеров деталей: нормальный закон, закон равной вероятности, закон треугольника, а также закон Максвелла и модуля разности нормально распределенных величин.

Нормальный закон (закон Гаусса)

Это наиболее часто встречающийся и применяемый в технических приложениях теоретический закон рассеяния случайных погрешностей. Характеризует рассеяние линейных и угловых размеров деталей при обработке их на настроенных станках (особенно станках-автоматах), если соблюдаются на производстве определенные условия (стабильность работы оборудования и приспособлений, незначительный износ режущего инструмента и др.).

Теоретическая кривая плотности вероятности (распределения размеров) нормального закона (рис.2. 1.1, кривая 1) определяется уравнением

$$P(y) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{[A_i - M(A_i)]^2}{2\sigma_i^2}}, \quad (2.1)$$

где p или y – плотность вероятности или частота появления случайной величины (определенного размера); A_i – текущее значение случайной величины (размер); $M(A_i) \approx \bar{A}$ – математическое ожидание случайной величины, приблизительно равное среднему арифметическому значению размера; σ_i – среднее квадратичное отклонение случайной величины (размера).

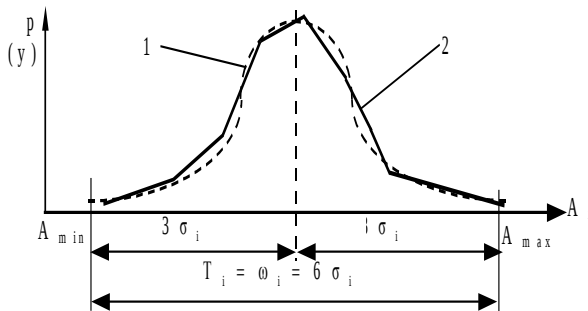


Рис. 2.1.1- Плотность вероятности размеров при нормальном законе распределения: 1 – теоретическая кривая, 2 – экспериментальная кривая

Применительно к размерам деталей среднее арифметическое значение

$$\bar{A} = \sum_{i=1}^n A_{iд} / n \approx M(A_i), \quad (2.2)$$

где n – число деталей в партии; $A_{iд}$ – действительные размеры деталей (на рис. 2.1.1, кривая 2 рассеяния построена по действительным размерам деталей).

Среднее квадратичное отклонение, характеризующее рассеяние или разброс размеров, определяется выражением

$$\sigma_i = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} [A_i - M(A_i)]^2 p \, dA} \approx \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n}} \quad (2.3)$$

За величину поля рассеяния принимают зону

$$\omega_i = \pm 3\sigma_i = 6\sigma_i. \quad (2.4)$$

В пределах этой зоны будет находиться приблизительно 99,73 % деталей из партии и только около 0,27 % всех деталей будут иметь размеры, большие, чем $A_{max} = \bar{A} + 3\sigma$, и меньшие, чем $A_{min} = \bar{A} - 3\sigma$.

В общем случае поле (зона) рассеяния может не совпадать с полем допуска T_i . На рис. 2.1.1 показано, что $T_i = \omega_i$.

Закон равной вероятности

Рассеяние размеров детали может быть приблизительно описано законом равной вероятности, если среди причин, вызывающих производственные погрешности, имеется одна, резко доминирующая по силе воздействия и равномерно изменяющаяся во времени (например, влияние равномерного значительного износа режущего инструмента или нагрева).

Плотность вероятности (частота появления размера) является в этом случае постоянной величиной (рис. 2.1.2):

$$p = \frac{1}{A_{\max} - A_{\min}} = \frac{1}{\omega} \quad (2.5)$$

Математическое ожидание

$$M(A) = \frac{A_{\max} + A_{\min}}{2} \approx \bar{A} \quad (2.6)$$

Среднее квадратичное отклонение

$$\sigma_i = \sqrt{\int_{A_{\min}}^{A_{\max}} [A_i - M(A)]^2 p \, dA} = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{2\sqrt{3}} = \frac{\omega_i}{2\sqrt{3}} \quad (2.7)$$

При $\omega_i = T_i$ (см. рис. 2.1.2)

$$\sigma_i = \frac{T_i}{2\sqrt{3}} \quad (2.8)$$

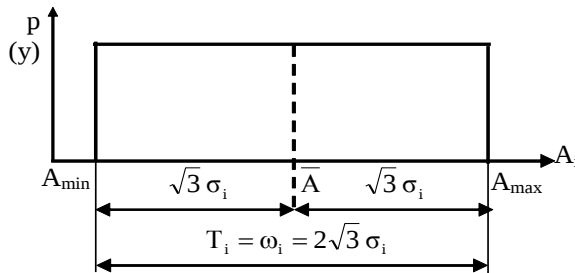


Рис.2.1.2 - Плотность вероятности размеров при законе равной вероятности распределения

Закон треугольника (закон Симпсона)

Закон треугольника может возникать при суммировании (сочетании) двух независимых случайных величин, распределение размеров которых подчиняется закону равной вероятности. Иногда этот закон применяется как упрощенное теоретическое описание кривых рассеяния, построенных по дей-

ствительным размерам.

Зависимость плотности вероятности (частоты появления размера) имеет вид, показанный на рис.2.1.3.

Математическое ожидание размера

$$M(A) = \frac{A_{\max} + A_{\min}}{2} \approx \bar{A}. \quad (2.9)$$

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_i = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{2\sqrt{6}} = \frac{\omega_i}{2\sqrt{6}}. \quad (2.10)$$

При $\omega_i = T_i$ (рис.2.1.3)

$$\sigma_i = \frac{T_i}{2\sqrt{6}}. \quad (2.11)$$

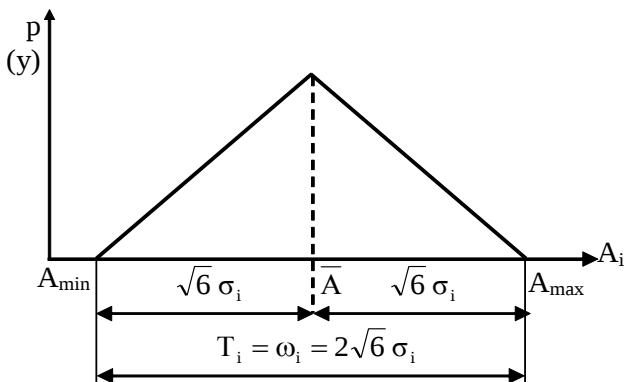


Рис.2.1.3- Плотность вероятности размеров при треугольном законе распределения

2.2 Основные термины и определения

Размерная цепь – совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи.

Обозначение: прописная буква русского или строчная буква греческого (кроме букв α , δ , ξ , λ , ω) алфавитов без индексов.

База – поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования.

Звено размерной цепи – один из размеров, образующих размерную цепь.

Обозначение: прописная буква русского или строчная буква греческого (кроме букв α , δ , ξ , λ , ω) алфавитов с индексом.

Схема размерной цепи – графическое изображение размерной цепи. На схемах размерных цепей звенья условно обозначаются:

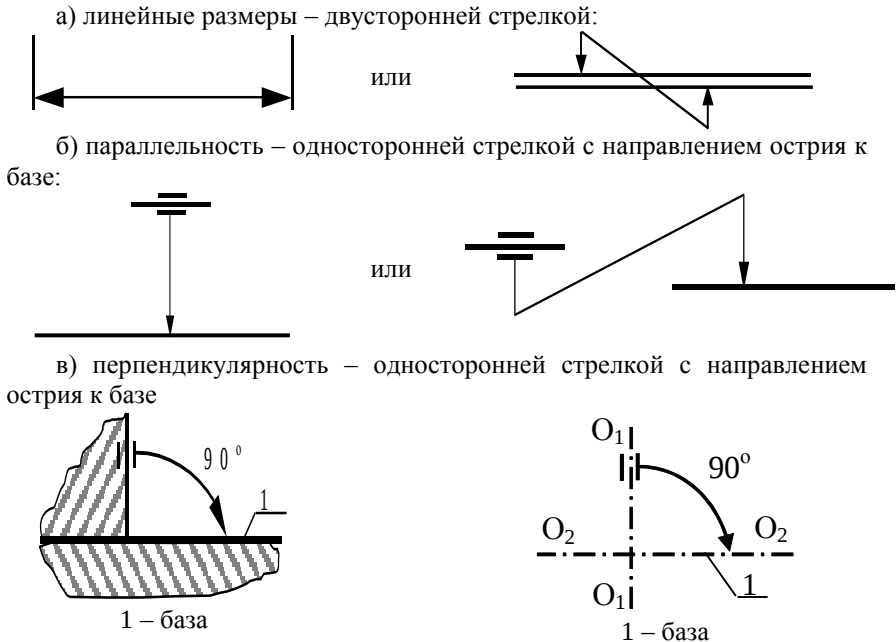


Рис. 2.2.1- Схема размерной цепи

2.3 Звенья размерных цепей

Замыкающее звено – звено размерной цепи, являющееся исходным при постановке задачи или получающееся последним в результате ее решения.

Обозначение: прописная буква русского или строчная буква греческого (кроме букв α , δ , ξ , λ , ω) алфавитов с индексом Δ .

Составляющее звено – звено размерной цепи, функционально связанное с замыкающим звеном.

Обозначение: прописная буква русского или строчная буква греческого (кроме букв α , δ , ξ , λ , ω) алфавитов с индексом, соответствующим порядковому номеру составляющего звена.

Составляющие размеры размерной цепи делятся на 2 группы: увеличивающие и уменьшающие.

Увеличивающее звено – составляющее звено размерной цепи, с увеличением которого замыкающее звено увеличивается.

Уменьшающее звено – составляющее звено размерной цепи, с увеличением которого замыкающее звено уменьшается.

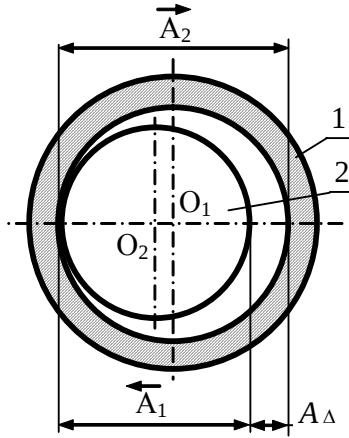


Рис. 2.3.1- Составляющие размеры размерной цепи

1 – втулка; 2 – вал

A_{Δ} – зазор; A_1 – уменьшающее звено; A_2 – увеличивающее звено

Компенсирующее звено – составляющее звено размерной цепи, изменением значения которого достигается требуемая точность замыкающего звена. Обозначение: соответствующей буквой, заключенной в прямоугольник.

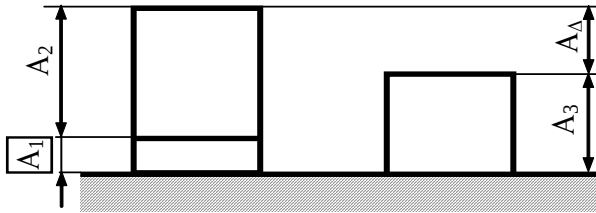
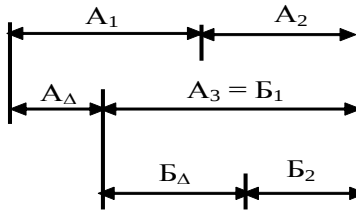


Рис. 2.3.2- Составляющие размеры размерной цепи с компенсирующим

звеном: A_1 – компенсирующее звено

Общее звено – звено, одновременно принадлежащее нескольким размерным цепям.

Обозначение: формируется из обозначений звеньев размерных цепей, в которые входит данное звено со знаком равенства между ними.



2.4 Виды размерных цепей

Размерные цепи классифицируются по ряду признаков (табл. 2.1)

Основная размерная цепь – размерная цепь, замыкающим звеном которой является размер, обеспечиваемый в соответствии с решением основной задачи.

Производная размерная цепь – размерная цепь, замыкающим звеном которой является одно из составляющих звеньев основной размерной цепи.

Конструкторская размерная цепь – размерная цепь, определяющая расстояние или относительный поворот между поверхностями или осями поверхностей деталей в изделии.

Технологическая размерная цепь – размерная цепь, обеспечивающая требуемое расстояние или относительный поворот между поверхностями изготавливаемого изделия при выполнении операции или ряда операций сборки, обработки, при настройке станка, при расчете межпереходных припусков.

Измерительная размерная цепь – размерная цепь, возникающая при определении расстояния или относительного поворота между поверхностями, их осями или образующими поверхности изготавливаемого или изготовленного изделия.

Линейная размерная цепь – размерная цепь, звеньями которой являются линейные размеры.

Плоская размерная цепь – размерная цепь, звенья которой расположены в одной или нескольких параллельных плоскостях.

Пространственная размерная цепь – размерная цепь, звенья которой расположены в непараллельных поверхностях.

Угловая размерная цепь – размерная цепь, звеньями которой являются угловые размеры.

Обозначение звена угловой размерной цепи: строчная буква греческого алфавита (кроме букв α , δ , ξ , λ , ω) с индексом, соответствующим порядковому номеру звена.

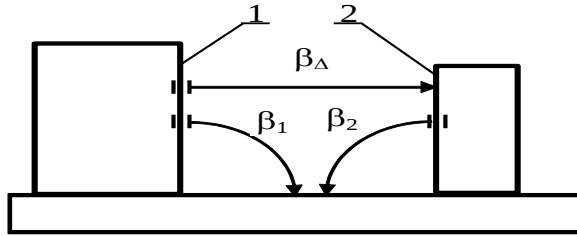
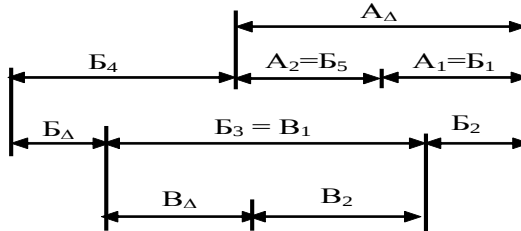
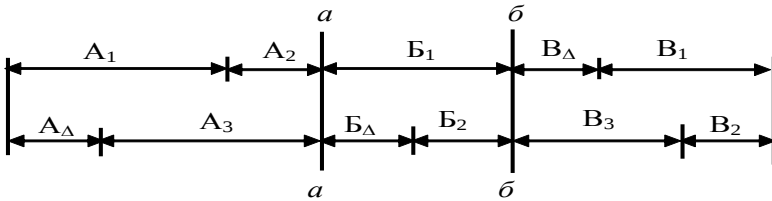


Рис. 2.4.1-Угловая размерная цепь β , определяющая параллельность поверхности 1 по отношению к поверхности 2

Параллельно связанные размерные цепи – размерные цепи, имеющие одно или несколько общих звеньев.

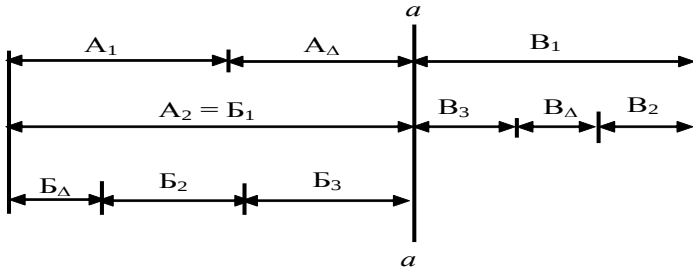


Последовательно связанные размерные цепи – размерные цепи, из которых каждая последующая имеет одну общую базу с предыдущей.



$a - a, б - б$ – общие базы

Размерные цепи с комбинированной связью – размерные цепи, между которыми имеются параллельные и последовательные связи.



$a - a$ – общая база

Таблица 2.1 - Классификация размерных цепей

Классификационный признак	Название размерной цепи	Назначение, характеристика
Область применения	Конструкторская	Решается задача обеспечения точности при конструировании изделий
	Технологическая	Решается задача обеспечения точности при изготовлении изделий
	Измерительная	Решается задача измерения величин, характеризующих точность изделий
Место в изделии	Детальная	Определяет точность относительного положения поверхностей или осей одной детали
	Сборочная	Определяет точность относительного положения поверхностей или осей деталей, входящих в сборочную единицу
Расположение звеньев	Линейная	Звенья цепи являются линейными размерами. Звенья расположены на параллельных прямых
	Угловая	Звенья цепи представляют собой угловые размеры, отклонения которых могут быть заданы в линейных величинах, отнесенных к условной длине, или в градусах
	Плоская	Звенья цепи расположены произвольно в одной или нескольких параллельных плоскостях
	Пространственная	Звенья цепи расположены произвольно в пространстве
Характер звеньев	Скалярная	Все звенья цепи являются скалярными величинами
	Векторная	Все звенья цепи являются векторными погрешностями
	Комбинированная	Часть составляющих звеньев размерной цепи – векторные погрешности, остальные – скалярные величины
Характер взаимных связей	Параллельно связанные	Размерные цепи (две или более), имеющие хотя бы одно общее звено
	Независимые	Размерные цепи, не имеющие общих звеньев

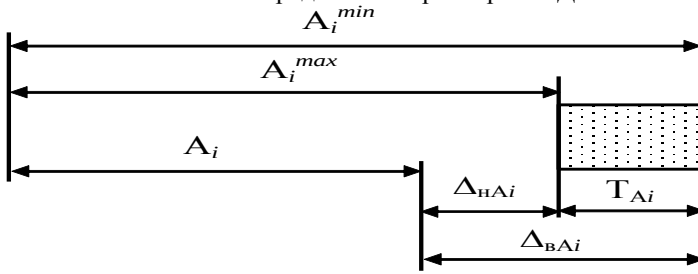
2.5 Параметры звеньев размерных цепей

Составляющие, замыкающие и исходные звенья характеризуются:

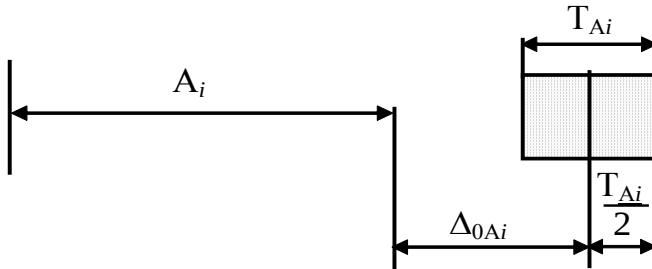
- номинальным (A_0, A_i), действительным и предельными размерами ($A_{0\max}, A_{0\min}, A_{i\max}, A_{i\min}$);
- верхним [ESA_0, ESA_i] и нижним [EIA_0, EIA_i] предельными отклонениями;
- допуском (ITA_0, ITA_i) и полем допуска.

Здесь индексом "0" обозначено замыкающее (исходное) звено, а индексом "i" – порядковый номер соответствующего составляющего звена.

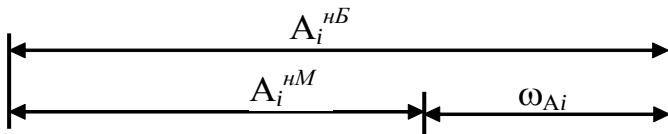
Поле допуска – поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями или наибольшим и наименьшим предельными размерами. Для i -го звена



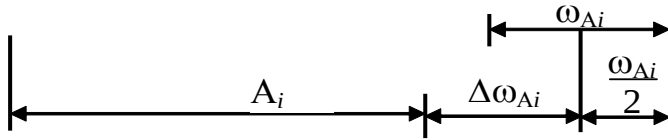
Координата середины поля допуска – координата, определяющая положение середины поля допуска относительно номинального размера



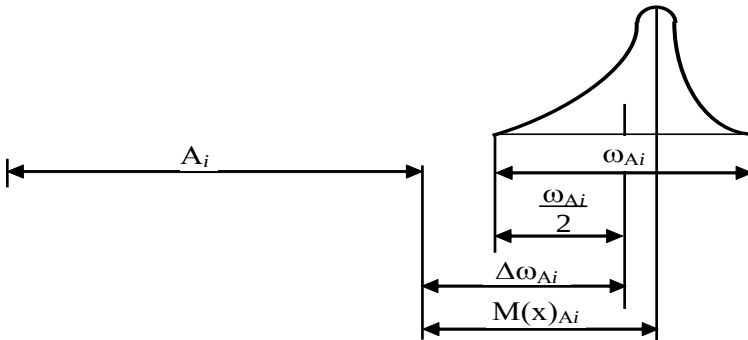
Поле рассеяния – разность между наибольшим и наименьшим размерами в партии изделий



Середина поля рассеяния – координата, определяющая положение середины поля рассеяния относительно номинального размера



Координата центра группирования – координата, определяющая положение центра группирования относительно номинального размера



2.6 Расчетные коэффициенты

Относительное среднее квадратическое отклонение – коэффициент, характеризующий закон рассеяния размеров или их отклонений.

Коэффициент риска – коэффициент, характеризующий вероятность выхода отклонений замыкающего звена за пределы допуска.

Коэффициент относительной асимметрии – коэффициент, характеризующий асимметрию кривой рассеяния размеров.

Передаточное отношение составляющего звена – коэффициент, характеризующий степень влияния отклонения составляющего звена на отклонение замыкающего.

2.7 Цели и методы расчета размерных цепей

Расчет размерных цепей является необходимым этапом конструирования, производства и эксплуатации широкого класса изделий (машин, механизмов, приборов, аппаратов и т.д.).

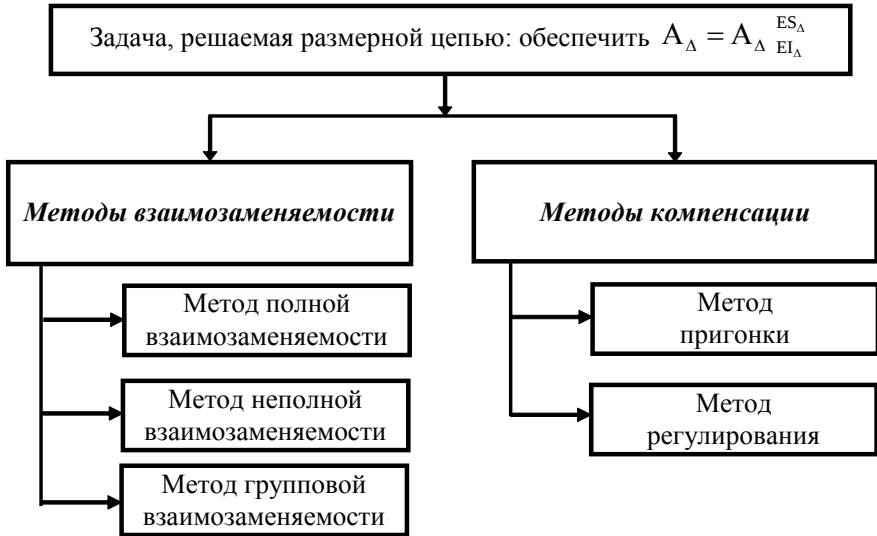
Таким образом, цель расчета размерных цепей – достижение заданной точности исходного (замыкающего) звена – должна достигаться с наименьши-

ми технологическими и эксплуатационными затратами.

Решить сборочную размерную цепь – означает на стадии проектирования изделия выбрать способ обеспечения с заданной точностью замыкающего размера, т.е. обеспечить его в пределах заданного поля допуска

$$A_{\Delta} = A_{\Delta}^{\frac{ES_{\Delta}}{EI_{\Delta}}}$$

Существуют следующие методы решения этой задачи:



Метод полной взаимозаменяемости – требуемая точность замыкающего звена размерной цепи обеспечивается при включении в нее или замене в ней любого звена без выбора, подбора, регулировки или изменения его величины.

Метод неполной взаимозаменяемости – требуемая точность замыкающего звена достигается не у всех объектов, а у заранее обусловленной их части при включении в размерную цепь или замене в ней любого звена без выбора, подбора или изменения его величины.

Метод групповой взаимозаменяемости – требуемая точность замыкающего звена достигается путем включения в размерную цепь составляющих звеньев, принадлежащих к одной группе, на которые они предварительно рассортированы.

Метод пригонки – требуемая точность замыкающего звена достигается изменением значения компенсирующего звена путем удаления с компенсатора определенного слоя материала.

Метод регулирования – требуемая точность замыкающего звена достигается изменением значения компенсирующего звена без удаления слоя ма-

териала с компенсатора.

Классификация методов достижения заданной точности замыкающего (исходного) звена, их преимущества и недостатки, а также область применения представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2 - Классификация методов достижения заданной точности замыкающего (исходного) звена

Характеристика	Преимущества и недостатки	Область применения. Примеры
Метод полной взаимозаменяемости		
Детали собираются на сборке без пригонки, регулирования и подбора. При любом сочетании на сборке размеров деталей, изготовленных в пределах расчетных допусков, значения замыкающего звена не выходит за пределы. Расчет размерной цепи производится методом максимума-минимума.	Преимущества: простота и экономичность сборки; упрощение организации поточности сборочных процессов; возможность широкого кооперирования заводов; упрощение системы изготовления запасных частей и снабжения ими потребителей. Недостатки: допуски составляющих звеньев получаются меньшими (при прочих равных условиях), чем при всех остальных методах, что может оказаться неэкономичным	Обычно в индивидуальном и мелкосерийном производствах: при малой величине допуска на исходное звено и небольшом числе составляющих звеньев размерной цепи; при большой величине допуска на исходное звено
Вероятностный метод		
Детали соединяются на сборке, как правило, без пригонки, регулировки, подбора, при этом у небольшого (заранее принятого) количества изделий (обычно 3 изделия на 1000, процент риска 0,27 %) значения замыкающих звеньев могут выйти за установленные пределы. Расчет размер-	Преимущества: те же, что и у метода полной взаимозаменяемости плюс экономичность изготовления деталей за счет расширения полей допусков (по сравнению с методом полной взаимозаменяемости). Недостатки: возможны, хотя и маловероятны, дополнительные затраты на	Обычно в серийных и массовых производствах; при малой величине допуска исходного звена и относительно большом числе составляющих звеньев

Характеристика	Преимущества и недостатки	Область применения. Примеры
ной цепи производится вероятностным методом	замену или подгонку некоторых деталей тех изделий, у которых значения замыкающего звена вышли за установленные пределы	
Метод групповой взаимозаменяемости (селективной сборки)		
Детали соединяются на сборке без пригонки и регулировки. Расчетное значение допуска ($T_{гр}$) размера составляющего звена увеличивается в несколько раз до экономически целесообразного производственного допуска T_i определяемого $T_i = n_{гр} T_{гр}$. После изготовления детали рассортировываются по значениям действительных размеров на ряд групп в пределах расчетного допуска. При сборке соединяют детали соответствующих групп для получения размера замыкающего звена в заданных пределах. Расчет размерной цепи ведется обычно методом максимума-минимума	Преимущества: возможность достижения высокой точности замыкающего звена при экономически целесообразных производственных допусках размеров составляющих звеньев. Недостатки: увеличение незавершенного производства; дополнительные затраты на проверку и рассортировку деталей; некоторое усложнение сборки и хранения деталей до сборки; усложнение снабжения запасными частями	Обычно в массовых и крупносерийных производствах для мало-звенных размерных цепей. Подбор шариков и колец шарикоподшипников; подбор поршневых колец и поршней. В размерных цепях: палец – отверстие поршня – зазор, палец – отверстие верхней головки шатуна двигателя ДВС – зазор др.
Метод пригонки		
Требуемая точность исходного звена достигается при сборке за счет пригонки заранее намеченной детали (компенсатора), на которую при механической обработке	Преимущества: на составляющие звенья могут быть установлены экономически целесообразные допуски. Недостатки: значительное удорожание	Чаще в индивидуальном и мелкосерийном производстве. Достижение совпадения центров передней и задней бабок некоторых токарных станков в

Характеристика	Преимущества и недостатки	Область применения. Примеры
(под сборку) устанавливают определенный припуск. Величина необходимого съема припуска компенсатора определяется после предварительной сборки деталей и измерений. Расчет размерной цепи производится методом максимума-минимума или вероятностным методом	сборки и удлинение ее сроков; усложнение планирования производства; усложнение снабжения запасными частями	вертикальной плоскости
Метод регулирования		
Требуемая точность исходного звена достигается при сборке за счет изменения размера компенсирующего звена без снятия слоя материала. Изменение размера в сборке обеспечивается или специальными конструкциями (компенсаторов) с помощью непрерывных или периодических перемещений деталей по резьбе, клиньям, коническим поверхностям и т.д., или подбором сменных деталей типа прокладок, колец, втулок. Расчет размерных цепей производится методом максимума-минимума или вероятностным методом	Преимущества: на составляющие звенья назначаются экономически целесообразные допуски; возможность регулировки размера замыкающего звена не только при сборке, но и в процессе эксплуатации (для компенсации износа); возможность обеспечения (в некоторых случаях) автоматичности регулирования точности. Недостатки: возможное усложнение конструкции изделия; увеличение (в некоторых случаях) количества деталей в размерной цепи; усложнение сборки из-за необходимости регулировки и изменений	Весьма широко распространен во всех производствах, особенно для цепей, отличающихся высокой точностью. Достижение параллельности оси вала плоскости; обеспечение малых осевых перемещений вращающихся деталей (шпинделей станков, червяков, валов с зубчатыми колесами), а также минимального зазора между опорами и шейками шпинделей при работе станка и т.п.

2.8 Задачи и способы расчета размерных цепей

С помощью теории размерных цепей решаются конструкторские, технологические и метрологические задачи, вся совокупность которых подразделяется на два вида, отличающихся последовательностью расчета:

Прямая задача – задача, при которой заданы параметры замыкающего звена (номинальное значение, допустимые отклонения и т.д.) и требуется определить параметры составляющих звеньев размерной цепи (проектный расчет размерной цепи);

Обратная задача – задача, в которой известны параметры составляющих звеньев (допуски, поля рассеяния, координаты их середин и т.д.) и требуется определить параметры замыкающего звена (проверочный расчет размерной цепи).

Правильность прямой задачи рекомендуется проверять решением обратной задачи.

Статическая задача – задача, решаемая без учета факторов, влияющих на изменение звеньев размерной цепи во времени.

Динамическая задача – задача, решаемая с учетом факторов, влияющих на изменение звеньев размерной цепи во времени.

Способ расчета на максимум-минимум – способ расчета, учитывающий только предельные отклонения звеньев размерной цепи и самые неблагоприятные их сочетания.

Вероятностный способ расчета – способ расчета, учитывающий рассеяние размеров и вероятность различных сочетаний отклонений составляющих звеньев размерной цепи.

Совпадение действительных размеров деталей, выполненных равными предельными размерами, в цепи маловероятно. Поэтому, задаваясь некоторым допустимым процентом риска (процентом изделий, размеры замыкающих звеньев которых выйдут за установленные пределы), определяют возможное расширение полей допусков составляющих размеров.

Расчеты размерных цепей могут производиться двумя методами:

а) метод полной взаимозаменяемости (максимума-минимума).

Основные расчетные зависимости между звеньями размерной цепи при полной взаимозаменяемости получим из расчета той же плоской линейной цепи с параллельными звеньями (рис. 2.8.1).

Номинальный размер замыкающего звена:

$$A_0 = \sum_{j=1}^{m-1} \xi_j A_j . \quad (2.12)$$

Учитывая знаки увеличивающих и уменьшающих звеньев, получим

$$A_0 = \sum_{j=1}^n \xi_j A_{j_{yb}} - \sum_{j=n+1}^{n+p} \xi_j A_{j_{ym}} , \quad (2.13)$$

где n и p – число увеличивающих и уменьшающих звеньев соответственно.

Допуск исходного звена (при решении прямой задачи) или замыкающего звена (при решении обратной задачи)

$$IT A_0 = \sum_{j=1}^{m-1} |\xi_j| \cdot IT A_j \quad (2.14)$$

или

$$IT A_0 = \sum_{j=1}^n A_{j_{yB}} + \sum_{j=n+1}^{n+p} A_{j_{yM}} = IT A_1 + IT A_2 + \dots + IT A_{m-1} \quad (2.15)$$

Верхнее отклонение исходного (замыкающего) звена

$$ESA_0 = \sum_{j=1}^n ESA_{j_{yB}} - \sum_{j=n+1}^{n+p} EIA_{j_{yM}} \quad (2.16)$$

Нижнее отклонение исходного (замыкающего) звена

$$EIA_0 = \sum_{j=1}^n EIA_{j_{yB}} - \sum_{j=n+1}^{n+p} ESA_{j_{yM}} \quad (2.17)$$

Координаты середины поля допуска

$$EmA_0 = \sum_{j=1}^{m-1} \xi_j EmA_j \quad (2.18)$$

или

$$EmA_0 = \sum_{j=1}^{m-1} \xi_j EmA_{j_{yB}} - \sum_{j=1}^{m-1} \xi_j EmA_{j_{yM}} \quad (2.19)$$

б) метод неполной взаимозаменяемости (теоретико-вероятностный).

На рис. 2.8.1, *а* показано соединение с зазором втулки 1 и вала 2. На рис. 2.8.1, *б* (по разрезу Б – Б) показана плоская размерная цепь, имеющая два составляющих размера: вала 2 и втулки 1. Замыкающим звеном является размер A_0 – зазор. Схема размерной цепи приведена на рис. 2.8.1, *в*.

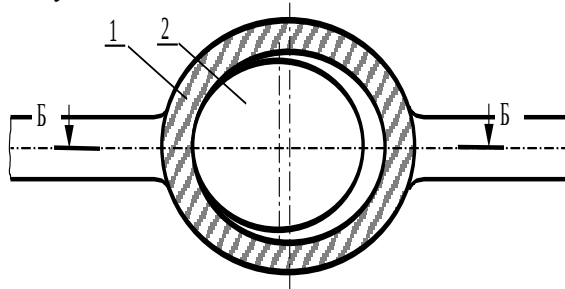
В теории вероятностей одной из основных характеристик рассеяния случайной величины служит среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n (X_i - X_c)^2} \quad (2.20)$$

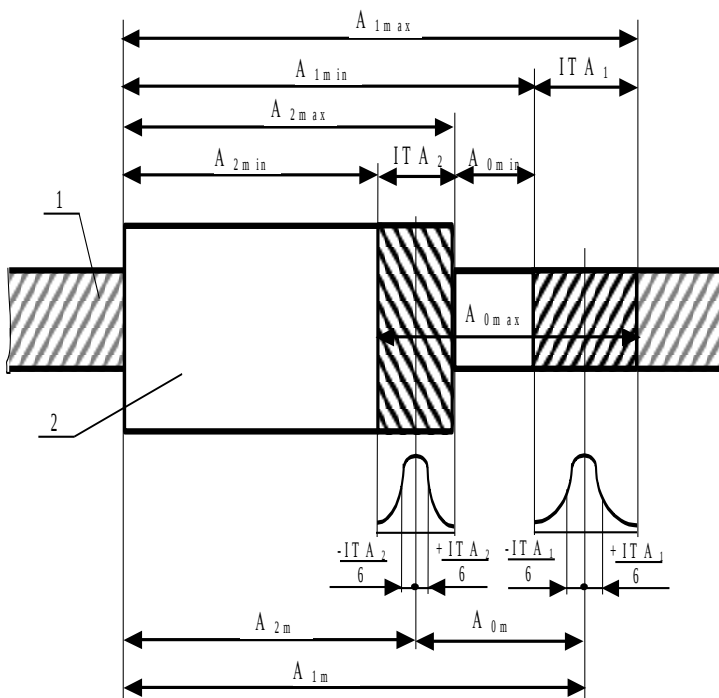
где X_i – результат очередного измерения; X_c – среднее значение данного размера; n – число измерений.

Среднее квадратическое отклонение является мерой предела поля рассеяния случайной величины. Так как за пределы этого поля может выходить лишь незначительное число случайных отклонений, то допуск должен удовлетворять следующему условию: $IT > \omega$. Допуск IT и поле рассеяния ω можно выразить через σ . Для закона нормального распределения (закона Гаусса) (см. п. 2.1): $IT \geq \omega = 6\sigma$.

а) соединение втулки и вала



б) плоская размерная цепь, имеющая два составляющих размера



в) схема размерной цепи

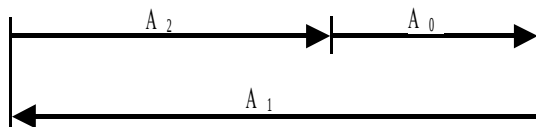


Рис. 2.8.1- Соединение втулки и вала с зазором: 1 – втулка, 2 – вал

Математическое ожидание $M(A_j)$ случайной величины A_j приблизительно равно среднему арифметическому значению размера A_{mj} и является координатой центра группирования случайных величин A_j .

Около 68 % всех случайных погрешностей находятся вблизи центров группирования в зонах, ограниченной кривой и ординатами, отстоящими от центра группирования на расстояниях $\pm \frac{IT}{6}$. Поэтому одновременное соче-

тание отверстий и валов, обработанных по предельным размерам (A_{1min} A_{2max} или A_{1max} A_{2min}), и получение предельных зазоров (A_{0min} или A_{0max}) маловероятно. Наиболее часто получаются средние A_{0m} или близкие к ним зазоры.

В теории вероятностей было доказано, что при любых законах распределения нескольких независимых случайных величин (например, случайных отклонений A_1, A_2 , составляющих размерную цепь) их сумма также является случайной величиной, подчиняющейся определенному закону распределения, и может быть вычислена по формуле

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2} \quad (2.21)$$

Эта формула является исходной для получения основных формул вероятностного метода расчета размерных цепей.

Учитывая, что $IT \geq (6 \cdot \sigma)$, получим формулу для вычисления допуска замыкающего (исходного) звена путем квадратического суммирования допусков составляющих звеньев

$$(ITA_0)^2 = t^2 \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 (ITA_i)^2, \quad (2.22)$$

или

$$ITA_0 = t \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 (ITA_i)^2}, \quad (2.23)$$

где t – коэффициент риска выбирается из таблиц значений функции Лапласа $\Phi(t)$ в зависимости от принятого процента риска P ; ξ – коэффициент приведения (в плоских размерных цепях с параллельными звеньями $\xi_i = +1$ для увеличивающих звеньев и $\xi_i = -1$ для уменьшающих звеньев) показывает влияние величины поля рассеяния i -го составляющего звена на величину поля рассеяния замыкающего звена; λ_i^2 – коэффициент относительного рассеяния (см. раздел 2.1).

При нормальном законе распределения отклонений и равновероятном их выходе за обе границы поля допуска значение P связано со значением $\Phi(t)$ формулой

$$P = 100 \cdot [1 - 2 \cdot \Phi(t)] \, \%.$$

Ряд значений коэффициента t приведен в табл. 2.3.

Таблица 2.3- Значения коэффициента t от риска

Риск Р, %	32	23	16	9	4,6	2,1	0,94	0,51	0,27	0,1
Коэффициент t	1	1,2	1,4	1,7	2	2,3	2,6	2,8	3	3,3

Значения коэффициента λ_1^2 зависят от закона распределения отклонений. Его величины для некоторых законов распределения отклонений приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4- Значения коэффициента λ_1^2

Закон распределения отклонений	Значения λ_1^2
Нормальный закон распределения (закон Гаусса)	1/9
Треугольный закон распределения (закон Симпсона)	1/6
Закон равной вероятности	1/3

С учетом всего вышеизложенного для закона нормального распределения при $P=0,27\%$ (для плоской размерной цепи с параллельными звеньями)

$$IT A_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} (IT A_i)^2}, \quad (2.24)$$

где m – количество звеньев цепи.

Координата середины поля допуска замыкающего звена

$$EmA_0 = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i EmA_i \quad (2.25)$$

Предельные отклонения замыкающего звена:

$$\begin{aligned} &\bullet \text{ ве} \quad ESA_0 = EmA_0 + 0,5 \cdot ITA_0 \\ &\text{рхнее} \\ &\bullet \text{ ни} \quad EIA_0 = EmA_0 - 0,5 \cdot ITA_0 \\ &\text{жнее} \end{aligned}$$

в) метод групповой взаимозаменяемости (селективной сборки)

При селективной сборке расчет выполняют обычно методом максимума – минимума (см. п. 2.7., а).

Число групп ($n_{гр}$), на которые рассортировываются детали, обработанные с экономически приемлемыми допусками, определяется при заданном допуске исходного звена по формуле (с округлением до целого числа)

$$n_{\text{гр}} = \frac{\sum_1^{m+n} T_i}{[T_{\Delta}]}, \quad (2.26)$$

где T_i – экономически приемлемые производственные допуски составляющих звеньев.

Обычно $n_{\text{гр}}$ принимают в пределах от 2 до 5 и лишь в отдельных случаях (производство подшипников) $n_{\text{гр}} = 10 \dots 15$.

Допуск составляющего размера (групповой допуск) в пределах группы равен

$$T_{\text{гр}i} = \frac{T_i}{n_{\text{гр}}}, \quad (2.27)$$

и, следовательно,

$$\sum_1^{m+n} T_{\text{гр}i} = [T_{\Delta}]. \quad (2.28)$$

При решении размерной цепи методом групповой взаимозаменяемости рекомендуется соблюдать равенство сумм допусков увеличивающих и уменьшающих звеньев

$$\sum^m T_{\text{ув}} = \sum^n T_{\text{ум}}; \quad \sum^m T_{\text{гр} \text{ув}} = \sum^n T_{\text{гр} \text{ум}}. \quad (2.29)$$

При невыполнении условия (2.29) не обеспечивается однотипность (однородность) соединений, т.е. в этом случае предельные размеры замыкающих звеньев в различных группах не совпадают. На рис. 2.8.2.*а, б* показаны поля допусков отверстия $T_D (A_1)$ и валов $T_d (A_2)$, образующих подвижную посадку (отверстие – вал – зазор, трехзвенная размерная цепь). Если допуски отверстия и вала равны $T_D = T_d$ то предельные размеры зазоров $S_{\min}$ и $S_{\max}$ во всех группах совпадают (рис. 2.8.2.*а*). Если же $T_D \neq T_d$ однородность соединений не достигается, т.к. $S_{\max 4} > S_{\max 3} > S_{\max 2} > S_{\max 1}$ и $S_{\min 4} > S_{\min 3} > S_{\min 2} > S_{\min 1}$ (что следует из рис. 2.8.2.*б*).

Используя формулы (2.29) и (2.26), получим

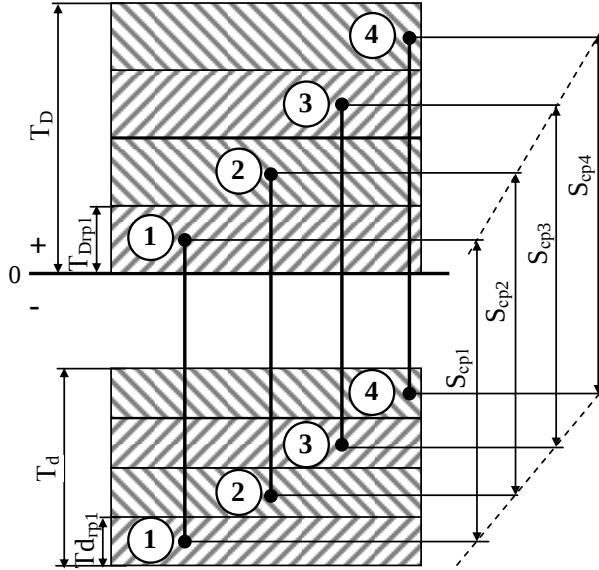
$$\sum^m T_{\text{ув}} = \sum^n T_{\text{ум}} = \frac{1}{2} n_{\text{гр}} [T_{\Delta}]. \quad (2.30)$$

При условии (2.27) из (2.30) найдем

$$\sum^m T_{\text{гр} \text{ув}} = \sum^n T_{\text{гр} \text{ум}} = \frac{1}{2} n_{\text{гр}} [T_{\Delta}]. \quad (2.31)$$

Средний равный допуск увеличивающих звеньев равен

$$T_{CyB} = \frac{n_{ip}}{2 \cdot m} \cdot [T_{\Delta}] \quad (2.32)$$



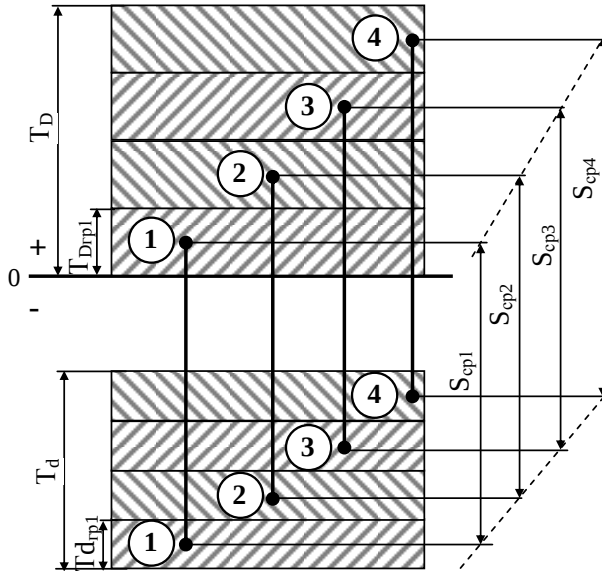


Рис. 2.8.2- Схема разделения полей допусков втулки и вала при селективной сборке

и, соответственно, средний (равный) допуск уменьшающих звеньев

$$T_{\text{сyv}} = \frac{n_{\text{пр}}}{2 \cdot n} \cdot [T_{\Delta}]. \quad (2.33)$$

Аналогично средние групповые допуски составляющих (увеличивающих и уменьшающих) звеньев равны

$$T_{\text{пр yв}} = \frac{[T_{\Delta}]}{2m}; \quad T_{\text{пр ум}} = \frac{[T_{\Delta}]}{2n}. \quad (2.34)$$

Для уменьшения объема незавершенного производства необходимо, чтобы количество соединяемых на сборке деталей одноименных групп было одинаково. Это достигается, если кривые рассеяния размеров деталей близки (сходны) по форме и коэффициентам α_i , λ_i . При несходности кривых рассеяния уменьшения объема незавершенности производства можно достигнуть за счет деления производственного допуска на неравные части.

2.9 Способы назначения допусков составляющих звеньев

2.9.1 Способ равных допусков

Если составляющие размеры являются величинами одного порядка (например, входят в один интервал размеров) и могут быть выполнены примерно с одинаковой экономической точностью, то для определения допуска и предельных отклонений составляющих звеньев может быть применен метод назначения равных допусков

Способ равных допусков прост, но не достаточно точен, т.к. возможная корректировки допусков составляющих размеров произвольна.

а) по методу максимума-минимума

Из зависимости (2.15) при $IT_1=IT_2=\dots=IT_{A_{j\text{cp}}}$ и $|\xi_j|=+1$ получим
 $ITA_0=(m-1)IT_{A_{j\text{cp}}}$, откуда

$$IT_{A_{j\text{cp}}} = \frac{ITA_0}{m-1}. \quad (2.35)$$

б) по теоретико-вероятностному методу

Из зависимости (2.22) при $IT_1=IT_2=\dots=IT_{A_{j\text{cp}}}$ и $\xi_j=+1$ получим

$$(ITA_0)^2 = t^2 \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 (IT_{A_i})_{\text{cp}}^2 = t^2 (IT_{A_i})_{\text{cp}}^2 (m-1) \lambda_i^2.$$

Откуда

$$IT_{A_{i\text{cp}}} = \frac{ITA_0}{t \sqrt{(m-1) \lambda_i^2}}. \quad (2.36)$$

2.9.2 Способ назначения допусков в едином качестве

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

Требуемый качество определяют следующим образом.

При назначении допусков составляющих звеньев в едином качестве сначала следует определить число единиц допуска (коэффициент точности)

а. Коэффициент точности может быть определен несколькими методами:

а) по методу максимума - минимума

Так как $IT_{A_j} = \alpha_j i_j$, из зависимости (2.14) при $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_j$ получим

$$\alpha = \frac{ITA_0}{\sum_{j=1}^{m-1} |\xi_j| i_j}. \quad (2.37)$$

б) по теоретико-вероятностному методу

$$\begin{aligned}
 (ITA_0)^2 &= t^2 \sum_{j=1}^{m-1} \xi_j^2 \cdot \lambda'_j \cdot (ITA_j)^2 = \\
 &= t^2 \sum_{j=1}^{m-1} \xi_j^2 \cdot \lambda'_j \cdot (\alpha_j \cdot i_j)^2 = \alpha^2 \cdot t^2 \sum_{j=1}^{m-1} \xi_j^2 \cdot \lambda'_j \cdot i_j^2
 \end{aligned}$$

Отсюда

$$\alpha = \frac{ITA_0}{\sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} \xi_j^2 \cdot \lambda'_j \cdot i_j^2}}. \quad (2.38)$$

При $t=3$ ($P=0,27\%$); $\lambda'_j=1/9$; $\xi_j^2=+1,0$ получим

$$\alpha = \frac{ITA_0}{\sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} i_j^2}}. \quad (2.39)$$

По полученному значению α выбирают ближайший квалитет. Число единиц допуска α , вычисленное по приведенным формулам, в общем случае не равно какому-либо значению α , определяющему квалитет, поэтому выбирают ближайший квалитет.

Рекомендуется назначать для охватывающих поверхностей (отверстий) поля допусков как для основного отверстия - **H**; для охватываемых поверхностей (валов) как для основного вала - **h**; для остальных - JS (js).

3 Содержание расчетно-графического задания

3.1 Условие задания

Выполнить расчет размерной цепи (например, определяющей размер зазора Δ между торцами крышки и наружного кольца подшипника промежуточного вала зубчатого редуктора (рис. 5.1) методами полной (максимума-минимума) и неполной (теоретико-вероятностным) взаимозаменяемости, приняв риск $P=0,27\%$. Исходные данные приведены в таблице заданий.

3.2 Цель задания

- 1) привить навыки в размерных расчетах,
- 2) освоить методику расчета размерных цепей методами полной взаимозаменяемости и вероятностным методом.
- 3) закрепить и углубить лекционный материал по теории размерных цепей.

3.3 Общие указания

Общими требованиями к РГЗ являются:

- краткость и логическая последовательность изложения материала;
- наличие расчетных схем, эскизов;

- точные и конкретные ссылки на литературные источники.

РГЗ должно содержать:

- титульный лист;
- оглавление;
- исходные данные заданного варианта;
- эскиз сборочной единицы;
- перечень пунктов задания, подлежащих выполнению;
- основную расчетную и пояснительную часть;
- список литературы.

РГЗ следует выполнять на листах писчей бумаги формата А4 (210×297) с полями: слева – 20 мм, с трех остальных сторон – по 5 мм. Титульный лист должен быть оформлен по методике, принятой на кафедре.

3.4 Требуется выполнить

- 1) составить схему и уравнение размерной цепи, обозначить ее звенья;
- 2) выбрать способ назначения допусков составляющих звеньев цепи;
- 3) определить квалитеты и допуски составляющих звеньев цепи по ГОСТ 25346-89 (не выше 8-го квалитета);
- 4) назначить предельные отклонения размеров составляющих звеньев цепи по ГОСТ 25347-82. В обоснованных случаях разрешается создание не предусмотренного ГОСТ 25347-82 поля допуска по правилам образования полей допусков ЕСДП (с использованием основного отклонения и допуска квалитета по ГОСТ 25346-89). Предельные отклонения на размер ширины колец подшипника принять по ГОСТ 520-2011;
- 5) проверить правильность назначенных предельных отклонений решением обратной задачи: определить номинальный размер, допуск, координату середины поля допуска, верхнее и нижнее предельные отклонения замыкающего звена. Сравнить полученные значения с заданными.

4 Методические указания по расчету сборочных размерных цепей

Наиболее ответственным этапом в решении размерных цепей является выявление замыкающего размера, определение его поля допуска и выявление составляющих размеров размерной цепи.

После того, как выявлена размерная цепь, необходимо:

- 1) составить график размерной цепи,
- 2) составить уравнение размерной цепи,
- 3) подобрать метод достижения заданной точности замыкающего размера.

При составлении графика размерной цепи размерам придают направле-

ния, совпадающие с направлением движения, необходимого для захвата размера на график. На графике все размеры размерной цепи обозначаются прописными буквами русского и строчными буквами греческого (кроме букв α , δ , λ , ω) алфавитов с индексом.

Общий вид уравнения размерной цепи описывается выражением:

$$A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n \xi_j A_j \quad (4.1)$$

где n – число составляющих размеров; ξ_j – передаточное отношение между замыкающим размером A_{Δ} и составляющим размером A_j .

В размерных цепях с параллельными звеньями (линейные цепи)

$$|\xi_j| = 1.$$

В плоских и пространственных цепях (общий случай)

$$\xi_j = \frac{\partial A_{\Delta}}{\partial A_j}.$$

Передаточное отношение размеров размерных цепей учитывают степень и направленность влияния составляющих размеров на замыкающий размер.

В линейных размерных цепях передаточные отношения увеличивающихся размеров равны $+1$, уменьшающихся размеров равны -1 .

При выборе метода достижения требуемой точности замыкающего размера (решения размерных цепей) рекомендуется в первую очередь использовать или метод полной взаимозаменяемости, или вероятностный метод, при которых сборка производится без подбора, подгонки и регулирования и собранные изделия отвечают всем требованиям взаимозаменяемости.

а) Метод полной взаимозаменяемости заключается в том, что требуемая точность замыкающего размера обеспечивается при любом сочетании размеров деталей, попавших в сборочный комплект.

При расчете размерных цепей методом полной взаимозаменяемости используются следующие зависимости:

$$N_{\Delta} = \sum_{j=1}^n \xi_j N_j, \quad (4.2)$$

$$E_{C\Delta} = \sum_{j=1}^n \xi_j E_{Cj}, \quad (4.3)$$

$$T_{\Delta} = \sum_{j=1}^n |\xi_j| T_j, \quad (4.4)$$

где N_{Δ} и N_j – номинальное значение замыкающего и j – го составляющего

размеров; E_{CA} и E_{Cj} - среднее отклонение замыкающего и j - го составляющего размеров; T_{Δ} и T_j - допуск замыкающего и j - го составляющего размеров.

Величина среднего отклонения связана со значениями верхнего ES и нижнего EI отклонений следующими уравнениями:

$$E_{CA} = \frac{ES_{\Delta} - EI_{\Delta}}{2}; \quad (4.5)$$

для j -го составляющего размера

$$E_{Cj} = \frac{ES_j - EI_j}{2}; \quad (4.6)$$

Предельные значения замыкающего размера $A_{\Delta\max}$ и $A_{\Delta\min}$ определяются по выражению:

$$A_{\Delta\max(\min)} = N_{\Delta} + E_{CA} \pm 0,5T_{\Delta}. \quad (4.7)$$

Предельные отклонения замыкающего размера определяются по уравнениям:

$$ES_{\Delta} = E_{CA} + 0,5T_{\Delta}; \quad (4.8)$$

$$EI_{\Delta} = E_{CA} - 0,5T_{\Delta}. \quad (4.9)$$

б) Теоретико-вероятностный метод расчета заключается в том, что требуемая точность замыкающего размера достигается не у всех, а у заранее обусловленной части сборок при любом сочетании размеров деталей, попавших в сборочный комплект.

При расчете размерных цепей вероятностным методом используют уравнение (4.2), а также

$$E_{CA} = \sum_{j=1}^n \xi_j \left(E_{Cj} + \alpha_j \frac{T_j}{2} \right) - \alpha_{\Delta} \frac{T_{\Delta}}{2}, \quad (4.10)$$

$$T_{\Delta} = \frac{1}{\lambda_{\Delta}} \sqrt{\sum_{j=1}^n \xi_j^2 \lambda_j^2 T_j^2} \quad (4.11)$$

где α_{Δ} и α_j - коэффициенты относительной асимметрии законов распределения значений замыкающего и j - го составляющего размеров; λ_{Δ} и λ_j - относительные средние квадратические отклонения законов распределения значений замыкающего и j - го составляющего размеров.

Если известны законы распределения составляющих размеров, то значения α_{Δ} и λ_{Δ} можно определять по уравнениям

$$\alpha_{\Delta} = \frac{0,59 \sum_{j=1}^n \xi_j \alpha_j T_j}{\sum_{j=1}^n |\xi_j| T_j} \quad (4.12)$$

$$\lambda_{\Delta} = \frac{1}{3} + \frac{0,183}{\sum_{j=1}^n |\xi_j| T_j} \left(3 \sqrt{\sum_{j=1}^n \xi_j^2 \lambda_j^2 T_j^2} - \sqrt{\sum_{j=1}^n \xi_j^2 T_j^2} \right) \quad (4.13)$$

Численные значения α_j и λ_j зависят от условий и масштаба производства и различны для различных категорий размеров, технологических операций и методов обработки.

В табл. 4.1 приведены для трех категорий размеров ориентировочные значения коэффициентов α_j и λ_j .

Таблица 4.1- Значения коэффициентов α_j и λ_j .

Категории размеров	α_j	λ_j
Охватывающие (размеры отверстий)	(+0,25)...(-0,25)	0,37...0,47
Охватываемые (размеры валов)	(+0,3)...(-0,2)	0,33...0,47
Остальные (размеры, не относящиеся ни к валам, ни к отверстиям)	(+0,2)...(-0,2)	0,33...0,47

Примечания:

1. Значения α_j рекомендуется принимать для охватываемых размеров положительными, для охватывающих – отрицательными, для остальных – равными нулю.

2. Значения λ_j рекомендуется принимать при более жестких допусках (T_j) ближе к верхнему пределу, а при расширенных допусках – ближе к нижнему пределу.

При проектных расчетах и при выполнении курсовой и расчетной работы можно принимать следующие значения коэффициентов:

- $\alpha_{\Delta} = 0$; для замыкающего размера;
- $\alpha_j = + 0,2$ для охватываемых размеров (размеров валов);
- $\alpha_j = - 0,2$ для охватывающих размеров (размеров отверстий);
- $\alpha_j = 0$ для остальных размеров;
- $\lambda_{\Delta} = 0,333$ при допустимом количестве брака на сборке равном 0,27 %;

- $\lambda_{\Delta} = 0,333 \cdot K_0$ при допустимом количестве брака на сборке, отличающемся от 0,27 %. Коэффициент K_0 определяется по табл. 4.2
- $\lambda_j = 0,4$ для всех видов размеров.

Таблица 4.2 - Значения коэффициентов K_0

Допустимое количество брака, %	0,05	0,10	0,20	0,27	0,50	1,00	1,50	2,00	3,00	4,00	5,00
K_0	0,86	0,91	0,97	1,00	1,06	1,16	1,23	1,29	1,38	1,46	1,52

Практически предельные значения замыкающего размера, ограничивающие область его значений, вероятностью попадания в которую задается заранее, определяются по уравнению (4.7).

4.1 Расчет линейных размерных цепей методом полной взаимозаменяемости

4.1.1 Прямая задача

При решении прямой задачи в качестве исходных данных задаются номинальный размер и предельные отклонения замыкающего размера, а также номинальные значения составляющих размеров.

В процессе решения задачи производят следующие действия:

1) По заданной величине предельных отклонений замыкающего размера вычисляют величину его допуска

$$T_{\Delta} = ES_{\Delta} - EI_{\Delta}$$

и значение его среднего отклонения

$$E_{C_{\Delta}} = \frac{ES_{\Delta} + EI_{\Delta}}{2},$$

а также предельные значения замыкающего размера

$$A_{\Delta \max} = N_{\Delta} + ES_{\Delta},$$

$$A_{\Delta \min} = N_{\Delta} + EI_{\Delta}.$$

2) Составляют график размерной цепи.

3) Составляют уравнение размерной цепи.

4) Осуществляют проверку правильности назначения номинальных размеров по уравнению (4.2). В том случае, когда проверка дает неудовлетворительные результаты, в номинальные размеры одного или нескольких составляющих размеров вносят необходимые коррективы.

5) Осуществляют увязку допусков замыкающего и составляющих размеров. Для этого допуск замыкающего размера T_{Δ} распределяют между составляющими размерами. Одним из способов распределения допуска T_{Δ} является способ одной степени точности, при котором принимают, что все со-

ставляющие размеры выполнены с одной степенью точности (одного качества, см. п. 2.8.2).

При способе одной степени точности ориентируются на среднюю степень точности (калитет) составляющих звеньев a_C .

Величина a_C определяется выражением:

$$a_C = \frac{T_\Delta}{\sum_{j=1}^n i_j} = \frac{T_\Delta}{\sum_{j=1}^n (0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001D)}, \quad (4.14)$$

где T_Δ - допуск замыкающего размера, мкм; i_j - значение единицы допуска, мкм; D - среднее геометрическое значение интервала размеров, мм.

Значения i_j для диапазона размеров до 630 мм (5...17 квалитетов) приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3- Значение $i_j = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001D$

Интервалы размеров, мм	i_j , мкм	Интервалы размеров, мм	i_j , мкм
До 3	0,55	св. 80 до 120	2,17
св. 3 до 6	0,73	св. 120 до 180	2,52
св. 6 до 10	0,90	св. 180 до 250	2,89
св. 10 до 18	1,08	св. 250 до 315	3,22
св. 18 до 30	1,31	св. 315 до 400	3,54
св. 30 до 50	1,56	св. 400 до 500	3,89
св. 50 до 80	1,86	св. 500 до 630	4,34

Если в размерную цепь в качестве составляющих звеньев входят стандартные (покупные детали и изделия, например, подшипники качения, муфты, электродвигатели и др.), то их допуски для рассчитываемой размерной цепи являются заданными, и тогда уравнение для определения величины a_C будет иметь вид

$$a_C = \frac{T_\Delta - \sum_{j=1}^m T_{cm}}{\sum_{j=1}^{n-m} i_j}, \quad (4.15)$$

где T_{cm} - допуски стандартных изделий; m - число стандартных деталей с заданными допусками.

В размерных цепях, в состав которых входит ширина колец подшипников качения, допуск на ширину следует брать в зависимости от диаметра посадочного отверстия d и класса точности подшипника.

В узлах, используемых в качестве заданий для расчета размерных цепей, применяются подшипники нулевого класса с размерами d , лежащими в пределах от 2,5 до 50 мм. Для таких подшипников допуск ширины равен 0,12 мм.

6) Вычисленное по формулам (4.14) или (4.15) значение a_C сопоставляют с числом единиц допуска по квалитетам (табл.4.4) и приближенно определяют среднюю степень точности (квалитет) составляющих размеров цепи и их допуски.

Таблица 4.4- Число единиц допуска

Квалитет	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
a	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000

Так как полученное значение a_C может не совпадать ни с одним табличным значением, то можно использовать допуски различных квалитетов, учитывая технологические условия.

7) Осуществляют проверку правильности назначения допусков. Критерием правильности назначения допусков служит уравнение (4.4), которое должно удовлетворяться. В случае, если условие (4.4) не удовлетворяется, то на один из составляющих размеров (называемый увязочным размером) A_x

назначают нестандартный допуск, определяемый как $T_x = T_\Delta - \sum_{j=1}^n |\xi_j| T_j$.

При этом, если $\sum_{j=1}^n |\xi_j| T_j > T_\Delta$, то приходится ужесточать допуск T_x на увязочный размер; если $\sum_{j=1}^n |\xi_j| T_j < T_\Delta$, то можно расширить допуск T_x увязочного размера.

Если же на все размеры необходимо назначить стандартные допуски, то допустимо, чтобы T_Δ превышало $\sum_{j=1}^n |\xi_j| T_j$ не более чем на 5...6 %.

При назначении допусков рекомендуется на охватываемые размеры назначать допуски с основным отклонением **H**, т.е. использовать поля **H5**, **H6**, ..., **H17**; на охватываемые размеры назначать допуски с основным отклонением **h**, т.е. использовать поля **h5**, **h6**, ..., **h17**; на остальные размеры назначать допуски с основным отклонением **Js**, т.е. использовать поля **Js5**, **Js6**, ..., **Js17**.

8) Осуществляют увязку средних отклонений замыкающего и составля-

ющего размеров. Для чего, вначале, исходя из назначенных полей допусков, выбирают предельные отклонения (ES , EI) всех составляющих размеров, кроме увязочного, а затем по выражению (4.6) находят средние отклонения E_C для каждого составляющего размера.

Среднее отклонение увязочного размера определяют исходя из выражения (4.3), а его предельные отклонения – исходя из выражений (4.8) и (4.9).

Правильность найденных отклонений увязочного размера может быть проверена по формуле

$$E_{C_x} - E_{i_x} = T_x$$

где T_x – допуск увязочного размера, который был установлен при распределении допуска замыкающего размера.

Так как рассчитанные предельные отклонения увязочного размера чаще всего не совпадают со стандартными, то в качестве увязочных рекомендуется выбирать такие звенья размерной цепи, которые наиболее просто изготавливаются и измеряются универсальными средствами (например, размеры глубин, высот, толщин и т.д.)

4.1.2 Обратная задача

При решении обратной задачи заданы номинальные значения и предельные отклонения всех составляющих размеров, полученных в результате решения прямой задачи.

Процесс решения заключается в том, что по исходным данным составляющих размеров вычисляют номинальное значение N_Δ , среднее отклонение $E_{C\Delta}$ и допуск T_Δ замыкающего размера, а также его предельные размеры $A_{\Delta\max}$, $A_{\Delta\min}$ и отклонения ES_Δ , EI_Δ .

Для вычисления указанных величин следует воспользоваться выражениями (4.2)...(4.4), (4.7).

После вычисления величин $A_{\Delta\max}$, $A_{\Delta\min}$ производят сравнение их с заданными значениями замыкающего размера. При этом должны обеспечиваться условия:

$$\left. \begin{aligned} A_{\Delta\max \text{ расчетное}} &\leq A_{\Delta\max \text{ заданное}} \\ A_{\Delta\min \text{ расчетное}} &\geq A_{\Delta\min \text{ заданное}} \end{aligned} \right\} \quad (4.16)$$

Если условия (4.16) не выполняются, то результаты можно считать удовлетворительными при:

$$\frac{A_{\Delta\max \text{ расчетное}} - A_{\Delta\max \text{ заданное}}}{T_\Delta} \leq 10\%,$$

$$\frac{A_{\Delta \min \text{ заданное}} - A_{\Delta \min \text{ расчетное}}}{T_{\Delta}} \leq 10\% .$$

В противном случае необходимо откорректировать исходные величины составляющих размеров, т.е. решить прямую задачу.

4.2 Расчет линейных размерных цепей вероятностным методом

4.2.1 Прямая задача

В процессе решения прямой задачи по известному номинальному размеру и предельным отклонениям замыкающего размера вычисляются T_{Δ} , E_{CA} , $A_{\Delta \max}$, $A_{\Delta \min}$, после чего допуск замыкающего размера T_{Δ} распределяют между составляющими звеньями.

Распределение допусков осуществляют исходя из величины a_C , которая при допустимом количестве брака на сборке, равном 0,27 %, определяется выражением

$$a_C = \frac{T_{\Delta}}{1,2 \sqrt{\sum_{j=1}^n i_j^2}} . \quad (4.17)$$

Если в размерную цепь входят стандартные (покупные) детали, то:

$$a_C = \sqrt{\frac{0,694 T_{\Delta}^2 - \sum_{j=1}^m T_{cm}^2}{\sum_{j=1}^{n-m} i_j^2}} . \quad (4.18)$$

При увязке допусков следует добиваться выполнения условия (4.11). Увязка средних отклонений осуществляется на основании выражения (4.10). Значения коэффициентов λ в выражении (4.11) и коэффициентов α в выражении (4.10) берутся согласно рекомендациям к табл. 4.1.

Последовательность решения и рекомендации по решению задачи аналогичны изложенным для метода полной взаимозаменяемости (см. п. 4.1.1).

4.2.2 Обратная задача

При решении обратной задачи вероятностным методом по заданным номинальным значениям и предельным отклонениям всех составляющих размеров вычисляют номинальное значение N_{Δ} , среднее отклонение E_{CA} и допуск T_{Δ} замыкающего размера, а также его предельные размеры $A_{\Delta \max}$, $A_{\Delta \min}$.

Для вычисления указанных величин следует пользоваться выражениями (4.2), (4.10), (4.11), (4.7).

5 Примеры расчетов размерных цепей

5.1 Задача 1

Вал сборочного комплекта, изображенного на рис. 5.1, уложен в два подшипника качения. По служебному назначению узла требуется, чтобы между правым подшипником и крышкой был выдержан зазор B_{Δ} , лежащий в пределах от 1,10 до 1,95 мм.

Требуется:

- 1) определить допуски и отклонения всех размеров деталей, влияющих на величину указанного зазора (прямая задача);
- 2) по заданным значениям размеров всех деталей, влияющих на зазор B_{Δ} , определить предельные значения указанного зазора (обратная задача) и сравнить его с заданными значениями.

5.1.1 Прямая задача. Метод полной взаимозаменяемости

По условиям задачи 1 назначить допуски и отклонения составляющих размеров с таким расчетом, чтобы обеспечить значение замыкающего размера, равное $B_{\Delta} = 1^{+0,95}_{+0,10}$ мм.

На детали, входящие в сборочный комплект, назначены следующие значения номинальных размеров: $N_1 = 8$ мм; $N_2 = 147$ мм; $N_3 = 8$ мм; $N_4 = 29$ мм; $N_5 = 104$ мм; $N_6 = 29$ мм.

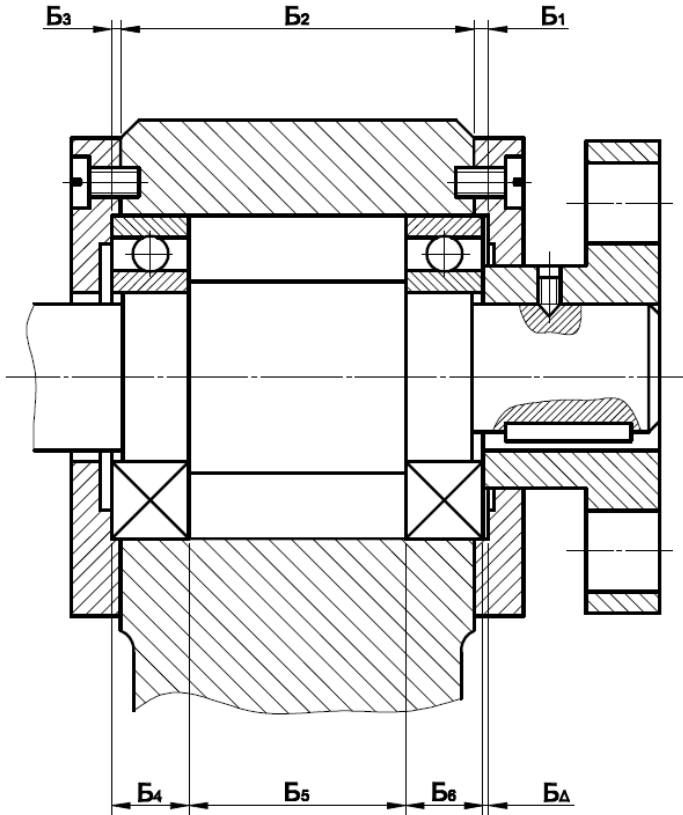


Рис. 5.1. Чертеж сборочного комплекта

1. Согласно заданию имеем

$$N_{\Delta} = 1 \text{ мм};$$

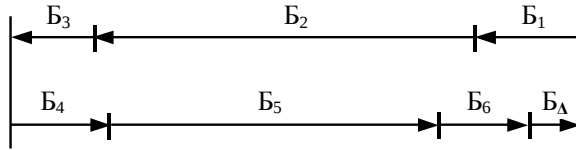
$$T_{\Delta} = +0,95 - (+0,10) = 0,85 \text{ мм};$$

$$E_{C_{\Delta}} = \frac{+0,95 + 0,10}{2} = +0,525 \text{ мм};$$

$$B_{\Delta \max} = 1 + 0,95 = 1,95 \text{ мм};$$

$$B_{\Delta \min} = 1 + 0,10 = 1,10 \text{ мм}.$$

2. Составим график размерной цепи:



3. Составим уравнение размерной цепи:

$$B_{\Delta} = \xi_1 B_1 + \xi_2 B_2 + \xi_3 B_3 + \xi_4 B_4 + \xi_5 B_5 + \xi_6 B_6$$

Значения коэффициентов ξ со знаками сведем в табл. 5.1.

Таблица 5.1- Значения передаточных отношений

Обозначение передаточных отношений	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_5	ξ_6
Численное значение ξ_j	+1	+1	+1	-1	-1	-1

4. Произведем проверку правильности назначения номинальных значений составляющих размеров:

$$N_{\Delta} = + 8 + 147 + 8 - 29 - 104 - 29 = 1.$$

Так как по условию задачи $N_{\Delta} = 1$, следовательно, номинальные размеры назначены правильно.

5. Осуществим увязку допусков, для чего, исходя из величины T_{Δ} , рассчитаем допуски составляющих размеров.

Так как в узел входят подшипники качения, допуски которых являются заданными, то для определения величины a_C воспользуемся зависимостью (4.15)

$$a_C = \frac{T_{\Delta} - \sum_{j=1}^m T_{cm}}{\sum_{j=1}^{n-m} i_j}$$

С учетом изложенного к формуле (4.15) допуск ширины подшипников равен 0,12 мм, т.е. $T_4 = T_6 = 0,12$ мм.

Следовательно,

$$a_C = \frac{850 - 2 \cdot 120}{0,90 + 2,52 + 0,90 + 2,1} = 94.$$

6. По таблице 4.4. устанавливаем, что такому значению a_C соответствует точность, лежащая между 10 и 11 квалитетами. Примем для всех размеров

11 квалитет, тогда:

$$T_1 = 0,09 \text{ мм}; \quad T_2 = 0,25 \text{ мм}; \quad T_3 = 0,09 \text{ мм}; \quad T_5 = 0,22 \text{ мм}.$$

7. Произведем проверку правильности назначения допусков составляющих размеров по уравнению (4.4)

$$\sum_{j=1}^6 T_j = 0,09 + 0,25 + 0,09 + 0,12 + 0,12 + 0,22 = 0,89 \text{ мм}.$$

Полученная сумма допусков превышает заданный допуск замыкающего размера на величину равную 0,04 мм, что составляет $\sim 4\%$ от T_Δ . Следовательно, допуски можно оставить без изменения.

8. Осуществим увязку средних отклонений, для чего примем следующий характер расположения полей допусков составляющих размеров.

$$B_1 = 8JS11 (\pm 0,045) \text{ мм},$$

$$B_2 = 147h11 (-0,250) \text{ мм},$$

$$B_3 = 8JS11 (\pm 0,045) \text{ мм},$$

$$B_4 = 29_{-0,12} \text{ мм},$$

$$B_5 = 104h11 (-0,220) \text{ мм},$$

$$B_6 = 29_{-0,12} \text{ мм}.$$

Сведем данные для расчета в табл. 5.2

Таблица 5.2- Расчетные данные

Обозначение размера	Размер	ξ_j	E_{Cj}	$\xi_j E_{Cj}$
B_1	8 JS11($\pm 0,045$)	+1	0	0
B_2	147 h11($-0,250$)	+1	- 0,125	- 0,125
B_3	8 JS11 ($\pm 0,045$)	+1	0	0
B_4	29 $-0,12$	-1	- 0,060	+ 0,060
B_5	104 h11 ($-0,220$)	-1	- 0,110	+ 0,110
B_6	29 $-0,12$	-1	- 0,060	+ 0,060

По уравнению (4.3) найдем среднее отклонение замыкающего размера и сравним его с заданным

$$E_{C\Delta} = 0 - 0,125 + 0 + 0,060 + 0,110 + 0,060 = + 0,105 \text{ мм}.$$

Так как полученное значение не совпадает с заданным, то произведем увязку средних отклонений за счет среднего отклонение B_2 , принятого в качестве увязочного. Величину среднего отклонения размера B_2 найдем из уравнения (4.3), т.е.

$$+ 0,525 = 0 - E_{C2} + 0 + 0,060 + 0,11 + 0,060$$

Откуда: $E_{C2} = - 0,295 \text{ мм}.$

Предельные отклонения B_2 :

$$ES_2 = - 0,295 + 0,5 \cdot 0,250 = - 0,420 \text{ мм};$$

$$EI_2 = - 0,295 - 0,5 \cdot 0,250 = - 0,170 \text{ мм}.$$

Таким образом, $B_2 = 147 \begin{smallmatrix} -0,42 \\ -0,17 \end{smallmatrix} \text{ мм.}$

5.1.2 Обратная задача. Метод полной взаимозаменяемости

По условию задачи 1 найти предельные значения замыкающего размера B_Δ при значениях составляющих размеров, полученных в результате решения предыдущего примера (см. п. 5.1.1).

Сведем данные для расчета в табл. 5.3.

Таблица 5.3 - Расчетные значения

Обозначение размера	Размер	ξ_j	N_j	E_{Cj}	T_j	$\xi_j \cdot N_j$	$\xi_j \cdot E_{Cj}$	$ \xi_j \cdot T_j$
B_1	8 JS11($\pm 0,045$)	+ 1	8	0	0,090	+ 8	0	0,090
B_2	$147 \begin{smallmatrix} -0,17 \\ -0,42 \end{smallmatrix}$	+ 1	147	- 0,295	0,250	+ 147	- 0,295	0,250
B_3	8 JS11($\pm 0,045$)	+ 1	8	0	0,090	+ 8	0	0,090
B_4	$29_{-0,12}$	- 1	29	- 0,060	0,120	- 29	+ 0,060	0,120
B_5	$104 h11_{(-0,22)}$	- 1	104	- 0,110	0,220	- 104	+ 0,110	0,220
B_6	$29_{-0,12}$	- 1	29	- 0,060	0,120	- 29	+ 0,060	0,120

1. Номинальное значение замыкающего размера

$$N_\Delta = +8 + 147 + 8 - 29 - 104 - 29 = 1 \text{ мм.}$$

2. Среднее отклонение замыкающего размера

$$E_{C\Delta} = 0 - (-0,295) + 0 + 0,060 + 0,110 + 0,060 = + 0,525 \text{ мм.}$$

3. Допуск замыкающего размера

$$T_\Delta = 0,090 + 0,025 + 0,090 + 0,120 + 0,220 + 0,120 = 0,890 \text{ мм.}$$

Предельные значения замыкающего размера определяются по выражению (4.7)

Предельные значения замыкающего размера

$$B_{\Delta \max} = 1 + 0,525 + 0,5 \cdot 0,89 = 1,970 \text{ мм;}$$

$$B_{\Delta \min} = 1 + 0,525 - 0,5 \cdot 0,89 = 1,080 \text{ мм.}$$

Сравниваем полученные результаты с заданными

$$B_{\Delta \max \text{ расч.}} = 1,97 > B_{\Delta \max \text{ задан.}} = 1,95,$$

$$B_{\Delta \min \text{ расч.}} = 1,08 < B_{\Delta \min \text{ задан.}} = 1,10$$

Так как условия (4.16) не выполняются, то осуществим проверку допустимости расчетных значений $B_{\Delta \max}$ и $B_{\Delta \min}$

$$\frac{B_{\Delta \max \text{ расч.}} - B_{\Delta \max \text{ задан.}}}{T} = \frac{1,97 - 1,95}{0,85} = 0,023 = 2,3\%;$$

$$\frac{B_{\Delta \min \text{ задан.}} - B_{\Delta \min \text{ расч.}}}{T} = \frac{1,10 - 1,08}{0,85} = 0,023 = 2,3\%.$$

Полученные значения не превышают установленных 10%.

Следовательно, изменения предельных отклонений составляющих размеров не требуется.

5.1.3 Прямая задача. Теоретико-вероятностный метод

По условию задачи 1 назначить допуски и отклонения составляющих размеров с таким расчетом, чтобы обеспечить значение замыкающего размера, равное $B = 1^{+0,95}_{+0,10}$ мм. Расчет произвести вероятностным методом, исходя из допустимого процента брака на сборке, равного 0,27%.

На детали, входящие в сборочный комплект, назначены следующие значения номинальных размеров:

$N_1 = 8$ мм; $N_2 = 147$ мм; $N_3 = 8$ мм; $N_4 = 29$ мм; $N_5 = 104$ мм; $N_6 = 29$ мм;

1. Согласно заданию имеем

$$N_{\Delta} = 1 \text{ мм};$$

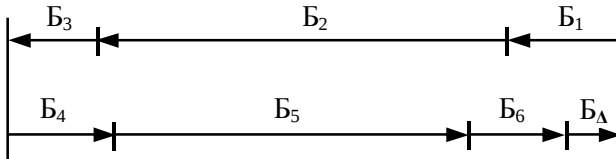
$$T_{\Delta} = +0,95 - (+0,10) = 0,85 \text{ мм};$$

$$E_{C_{\Delta}} = \frac{+0,95 + 0,10}{2} = +0,525 \text{ мм};$$

$$B_{\Delta \max} = 1 + 0,95 = 1,95 \text{ мм};$$

$$B_{\Delta \min} = 1 + 0,10 = 1,10 \text{ мм}.$$

2. Составим график размерной цепи:



3. Составим уравнение размерной цепи:

$$B_{\Delta} = \xi_1 B_1 + \xi_2 B_2 + \xi_3 B_3 + \xi_4 B_4 + \xi_5 B_5 + \xi_6 B_6$$

Значения коэффициентов ξ со своими знаками сведем в табл. 5.4.

Таблица 5.4- Значения передаточных отношений

Обозначение передаточных отношений	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_5	ξ_6
Численное значение ξ_j	+1	+1	+1	-1	-1	-1

4. Произведем проверку правильности назначения номинальных значений составляющих размеров:

$$N_{\Delta} = +8 + 147 + 8 - 29 - 104 - 29 = 1.$$

Так как по условию задачи $N_{\Delta} = 1$, следовательно, номинальные размеры назначены правильно.

5. Осуществим увязку допусков, для чего, исходя из величины T_{Δ} , считаем допуски составляющих размеров.

Так как в узел входят подшипники качения, допуски которых являются заданными, то для определения величины a_c воспользуемся зависимостью (4.18).

С учетом изложенного к формуле 4.15 допуск ширины подшипников равен 0,12 мм, т.е. $T_4 = T_6 = 0,12$ мм.

Следовательно,

$$a_c = \sqrt{\frac{0,694 \cdot 850^2 - 2 \cdot 120^2}{0,90^2 + 2,82^2 + 0,90^2 + 2,17^2}} = 182$$

6. По таблице 4.4 устанавливаем, что полученное значение a_c больше принятого для качества 12, но меньше, чем для качества 13.

Установим для всех размеров допуски по 12 качеству, тогда:

$$T_1 = 0,15 \text{ мм}; \quad T_2 = 0,40 \text{ мм}; \quad T_3 = 0,15 \text{ мм}; \quad T_5 = 0,35 \text{ мм}.$$

7. Произведем проверку правильности назначения допусков составляющих размеров по уравнению (4.11)

$$\sum_{j=1}^6 T_j = 1,2 \sqrt{0,15^2 + 0,40^2 + 0,15^2 + 0,12^2 + 0,35^2 + 0,12^2} = 1,2 \sqrt{0,597} = 0,716 \text{ мм}$$

Полученная сумма допусков оказалась меньше заданного допуска замыкающего размера. Для того, чтобы полностью использовать заданный допуск заданный допуск замыкающего размера, расширим допуск размера B_2 и найдем его из уравнения (4.11)

$$0,85 = 1,2 \sqrt{0,15^2 + T_2^2 + 0,15^2 + 0,12^2 + 0,35^2 + 0,12^2}.$$

Откуда $T_2 = 0,55$ мм.

8. Осуществим увязку средних отклонений. Увязку будем производить за счет среднего отклонения размера B_2 , принятого в качестве увязочного.

Примем следующий характер расположения полей допусков составляющих размеров

$$B_1 = B_3 = 8JS12(\pm 0,075) \text{ мм};$$

$$B_4 = B_6 = 29_{-0,12} \text{ мм};$$

$$B_5 = 104h12(-0,35) \text{ мм}.$$

Сведем данные для расчета в табл. 5.5.

Таблица 5.5- Расчетные данные

Обозначение размера	Размер	ξ_j	E_{Cj}	T_j	α_j	$\alpha_j \frac{T_j}{2}$	$E_{Cj} + \alpha_j \frac{T_j}{2}$	$E_{C\Delta}$
B_1	8JS12($\pm 0,075$)	+ 1	0	0,15	0	0	0	0
B_2	147	+ 1	E_{C2}	0,55	+ 0,2	0,055	$E_{C2} + 0,055$	$+(E_{C2} + 0,055)$
B_3	8JS12($\pm 0,075$)	+ 1	0	0,15	0	0	0	0
B_4	29 $_{-0,12}$	- 1	- 0,060	0,12	+ 0,2	0,012	- 0,048	+ 0,048
B_5	104h12($_{-0,35}$)	- 1	- 0,175	0,35	+ 0,2	0,035	- 0,140	+ 0,140
B_6	29 $_{-0,12}$	- 1	- 0,060	0,12	+ 0,2	0,012	- 0,048	+ 0,048

По уравнению (4.10) найдем среднее отклонение размера B_2
 $+0,525 = 0 + (E_{C2} + 0,055) + 0 + 0,048 + 0,140 + 0,048,$
откуда $E_{C2} = + 0,234$ мм.

Предельные отклонения размера B_2 :

$$ES_2 = + 0,234 + 0,5 \cdot 0,55 = + 0,509 \approx + 0,510 \text{ мм};$$

$$EI_2 = + 0,234 - 0,5 \cdot 0,55 = - 0,041 \approx - 0,040 \text{ мм}.$$

Таким образом $B_2 = 147 \begin{matrix} +0,510 \\ -0,040 \end{matrix}$ мм.

5.1.4 Обратная задача. Теоретико-вероятностный метод

По условию задачи 1 найти предельные значения замыкающего размера B_Δ при значениях составляющих размеров, полученных в результате решения примера по п. 5.1.3. Расчет произвести вероятностным методом, исходя из допустимого процента брака на сборке, равного 0,27 %.

Сведем данные для расчета в табл. 5.6.

1. Номинальное значение замыкающего размера

$$N_\Delta = +8 + 147 + 8 - 29 - 104 - 29 = 1 \text{ мм}.$$

2. Среднее отклонение замыкающего размера

$$E_{C\Delta} = 0 + 0,289 + 0 + 0,048 + 0,140 + 0,048 = + 0,525 \text{ мм}.$$

3. Допуск замыкающего размера (4.11)

$$T_\Delta = 1,2\sqrt{0,4988} = 1,2 \cdot 0,706 \approx 0,85 \text{ мм}.$$

Таблица 5.6- Таблица расчетных данных

Обозначение размера	Размер	ξ_j	E_{c_j}	T_j	α_j	$\alpha_j \frac{T_j}{2}$	$\frac{E_{c_j} + T_j}{2}$	$\xi_j \cdot (E_{c_j} + \frac{T_j}{2})$	$ \xi_j \cdot T_j$	$(\xi_j \cdot T_j)^2$
B ₁	8JS12(±0,075)	+ 1	0	0,15	0	0	0	0	0,15	0,0225
B ₂	147 ^{+0,510} _{+0,040}	+ 1	+ 0,234	0,55	+ 0,2	0,055	+ 0,289	+ 0,289	0,55	0,3025
B ₃	8JS12(±0,075)	+ 1	0	0,15	0	0	0	0	0,15	0,0225
B ₄	29 _{-0,12}	- 1	- 0,060	0,12	+ 0,2	0,012	- 0,048	+ 0,048	0,12	0,0144
B ₅	104h12 _(- 0,35)	- 1	- 0,175	0,35	+ 0,2	0,035	- 0,140	+ 0,140	0,35	0,1225
B ₆	29 _{-0,12}	- 1	- 0,060	0,12	+ 0,2	0,012	- 0,048	+ 0,048	0,12	0,0144

4. Предельные отклонения замыкающего размера

$$B_{\Delta \max} = 1 + 0,525 + 0,5 \cdot 0,85 = 1,95 \text{ мм};$$

$$B_{\Delta \min} = 1 + 0,525 - 0,5 \cdot 0,85 = 1,10 \text{ мм}.$$

Сравниваем полученные результаты с заданными

$$B_{\Delta \max \text{ расч.}} = 1,95 = B_{\Delta \max \text{ задан.}} = 1,95,$$

$$B_{\Delta \min \text{ расч.}} = 1,10 = B_{\Delta \min \text{ задан.}} = 1,10$$

Следовательно, изменения предельных отклонений составляющих размеров не требуется.

5.2 Задача 2

Обеспечить требуемый зазор между торцами зубчатого колеса и проставочного кольца механизма (рис. 5.2). Из служебного назначения механизма следует, что минимальный зазор должен быть равен 0, а максимальный зазор + 0,2 мм. Прямая задача. Задачу решить различными методами достижения требуемой точности замыкающего звена.

Замыкающим звеном является размер A_{Δ} , связывающий торцы зубчатого колеса и проставочного кольца. Следовательно, поле допуска на зазор будет равно:

$$T_{A_{\Delta}} = 0,2 - 0 = 0,2 \text{ мм},$$

а координата середины поля допуска:

$$\Delta_{0A_{\Delta}} = \frac{0,2 + 0}{2} = +0,1 \text{ мм}.$$

Уравнение размерной цепи, определяющей величину зазора, согласно

рис. 5.2.

$$A_{\Delta} = -A_1 + A_2 - A_3.$$

Задача решается пятью методами достижения требуемой точности замыкающего звена с целью их сопоставления.

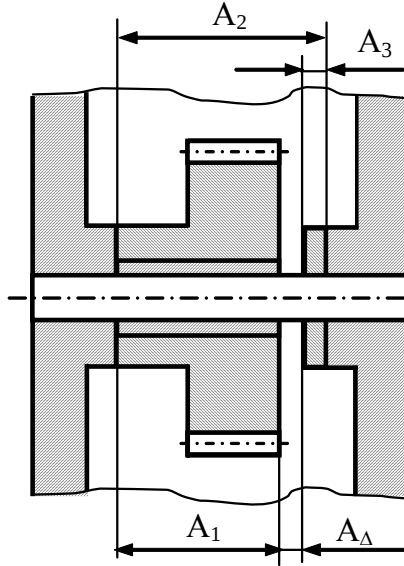


Рис. 5.2- Чертеж сборочной единицы

5.2.1 Метод полной взаимозаменяемости

При этом методе должно быть соблюдено условие $\sum_{i=1}^{m-1} |\xi_{A_i}| T_{A_i} = T_{A_{\Delta}}$

в линейной размерной цепи $|\xi_{A_i}| = 1$.

Учитывая степень сложности достижения требуемой точности составляющих звеньев, устанавливаем подбором: $T_{A1}=0,03$ мм, $T_{A2}=0,15$ мм, $T_{A3}=0,02$ мм.

Принимаем координаты середин полей допусков $\Delta_{0A1} = -0,015$ мм, $\Delta_{0A2}=+0,075$ мм.

Координату середины поля допуска третьего звена находим из уравнения

$$\Delta_{0A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^n \vec{\Delta}_{0A_i} - \sum_{n+1}^{m-1} \vec{\Delta}_{0A_i} = -\Delta_{0A1} + \Delta_{0A2} - \Delta_{0A3},$$

$$0,1 = 0,015 + 0,075 - \Delta_{0A3}$$

Следовательно, $\Delta_{0A3} = -0,01$ мм.

Правильность назначения допусков проверяем с учетом формул (2.26) и (2.27), представив значения $\Delta_{0A\Delta}$ и $T_{A\Delta}$ соответственно через Δ_{0Ai} и T_{Ai} , установленные при расчете допусков:

$$\Delta_{HA\Delta} = \Delta_{0A\Delta} - \frac{T_{A\Delta}}{2} = 0,015 + 0,075 + 0,01 - \frac{0,03 + 0,15 + 0,02}{2} = 0 \text{ мм}$$

$$\Delta_{HA\Delta} = \Delta_{0A\Delta} + \frac{T_{A\Delta}}{2} = 0,015 + 0,075 + 0,01 + \frac{0,03 + 0,15 + 0,02}{2} = 0,2 \text{ мм}$$

Сопоставление полученных результатов с условиями задачи показывает, что допуски установлены верно.

5.2.2 Прямая задача. Метод неполной взаимозаменяемости

Задаем значения коэффициента риска t_{Δ} и относительного среднего квадратического отклонения λ_{Ai} .

Допустим, что в данном случае риск $P=1$ %, при котором $t_{\Delta}=2,57$, экономически оправдан (интерполяция данных табл. 2.3).

Полагая, что условия изготовления деталей таковы, что распределение отклонений размеров будут близкими к закону Гаусса, принимаем $\lambda_{Ai}^2=1/9$.

Учитывая трудности достижения требуемой точности каждого составляющего звена, устанавливаем подбором следующие величины полей допусков: $T_{A1}=0,1$ мм; $T_{A2}=0,20$ мм; $T_{A3}=0,06$ мм.

Правильность подбора допусков можно проверить по формуле (2.23):

$$T_{A\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai}^2 \lambda_{Ai}^2 T_{Ai}^2} = 2,57 \sqrt{\frac{1}{9} (0,1^2 + 0,2^2 + 0,06^2)} = 0,2 \text{ мм}.$$

Устанавливаем следующие координаты средин полей допусков: $\Delta_{0A1}=0$; $\Delta_{0A2}=0,1$ мм.

Значение Δ_{0A3} находим из уравнения:

$$\Delta_{0A\Delta} = -\Delta_{0A1} + \Delta_{0A2} - \Delta_{0A3} \\ 0,1 = 0 + 0,1 - \Delta_{0A3}; \quad \text{отсюда} \quad \Delta_{0A3} = 0.$$

Правильность установленных допусков может быть проверена по формулам:

$$\Delta_{HA\Delta} = \left(\sum_{i=1}^n \bar{\Delta}_{0Ai} - \sum_{n+1}^{m-1} \bar{\Delta}_{0Ai} \right) - t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai}^2 \lambda_{Ai}^2 \left(\frac{T_{Ai}^2}{2} \right)} = 0,1 - 0,1 = 0 \text{ мм}$$

$$\Delta_{HA\Delta} = \left(\sum_{i=1}^n \bar{\Delta}_{0Ai} - \sum_{n+1}^{m-1} \bar{\Delta}_{0Ai} \right) + t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai}^2 \lambda_{Ai}^2 \left(\frac{T_{Ai}^2}{2} \right)} = 0,1 + 0,1 = 0,2 \text{ мм}$$

Предельные отклонения размеров составляющих звеньев:

$$A_1 \pm 0,05; \quad A_2^{+0,2}; \quad A_3 \pm 0,03; \quad .$$

5.2.3 Метод групповой взаимозаменяемости

При решении задачи методом групповой взаимозаменяемости, прежде всего, необходимо установить число групп на которые должны быть рассортированы детали после изготовления, и значение производственного допуска замыкающего звена.

Допустим, что расширение $T_{\Delta\Delta}$ в три раза в данном случае является экономически обоснованным, в связи с чем число групп n равно 3.

Таким образом, $T'_{\Delta\Delta} = T_{\Delta\Delta} \cdot n = 0,2 \cdot 3 = 0,6$ мм.

При расчете допусков должно быть соблюдено условие

$$\sum_{i=1}^k |\xi_i| \vec{T}_i' = \sum_{k=1}^{m-1} |\xi_i| \vec{T}_i',$$

где $\vec{T}_i'$ и $\vec{T}_i'$ – допуски увеличивающих и уменьшающих звеньев.

Согласно этому условию

$$T'_{A_2} = T'_{A_1} + T'_{A_3} = \frac{1}{2} T'_{A_{\Delta}}.$$

Отсюда

$$T'_{A_2} = \frac{1}{2} T'_{A_{\Delta}} = 0,3 \text{ мм}$$

и

$$T'_{A_1} + T'_{A_3} = \frac{1}{2} T'_{A_{\Delta}} = 0,3 \text{ мм}.$$

Сообразуясь со степенью сложности изготовления деталей, установим $T'_{A_{\Delta}} = 0,24$ мм и $T'_{A_3} = 0,06$ мм. Устанавливаем поля допусков и координаты их середин для деталей каждой группы (табл. 5.7).

При назначении координат середин полей допусков уравнение должно быть следующего вида $\Delta_{0\Delta\Delta} = -\Delta_{0A_1} + \Delta_{0A_2} - \Delta_{0A_3}$.

Две последние колонки табл. 5.7 показывают, что при соединении деталей в каждой из групп требуемые пределы зазора будут обеспечены.

Предельные отклонения размеров составляющих звеньев приведены в табл. 5.8.

Таблица 5.7- Расчетные данные

Группа	T_{A_1}	Δ_{oA_1}	T_{A_2}	Δ_{oA_2}	T_{A_3}	Δ_{oA_3}	$T_{A_{\Delta}}$	$\Delta_{oA_{\Delta}}$
I	0,08	-0,04	0,1	+0,05	0,02	-0,01	0,2	+0,01

Группа	T_{A_1}	Δ_{oA_1}	T_{A_2}	Δ_{oA_2}	T_{A_3}	Δ_{oA_3}	T_{A_Δ}	Δ_{oA_Δ}
II	0,08	+ 0,04	0,1	+ 0,15	0,02	+ 0,01	0,2	+ 0,01
III	0,08	+ 0,12	0,1	+ 0,25	0,02	+ 0,03	0,2	+ 0,01

Таблица 5.8- Предельные отклонения размеров

Группа	A_1	A_2	A_3
I	– 0,08	+ 0,1	– 0,02
II	+ 0,08	+ 0,2 + 0,1	+ 0,02
III	+ 0,16 + 0,08	+ 0,3 + 0,2	+ 0,04 + 0,02

5.2.4 Метод пригонки

Для достижения требуемой точности зазора методом пригонки выберем в качестве компенсирующего звена размер A_3 проставочного кольца, изменение которого проще всего осуществить.

Установим на составляющие звенья экономически целесообразные значения полей допусков и координаты их середин (табл. 5.9).

Таблица 5.9- Поля допусков и координаты их середин

Звено	T'_{A_i}	Δ'_{oA_i}
A_1	0,3	– 0,15
A_2	0,4	+ 0,20
A_3	0,1	+ 0,25

Тогда производственный допуск замыкающего звена расширится до значения

$$T'_{A_\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_{A_i}| T'_{A_i} = 0,3 + 0,4 + 0,1 = 0,8 \text{ мм.}$$

Наибольшая величина компенсации может быть равной:

$$\delta_k = T'_{A_\Delta} - T_{A_\Delta} = 0,8 - 0,2 = 0,6 \text{ мм.}$$

Для того, чтобы создать на звене A_3 необходимый для пригонки слой материала, в координату середины поля допуска этого звена следует ввести поправку Δ_k :

$$\Delta_K = \frac{\delta_K}{2} + \Delta'_{0A_\Delta} - \Delta_{0A_\Delta} = \frac{0,6}{2} + (0,15 + 0,2 - 0,25) = 0,3 \text{ мм}$$

Поэтому следует установить

$$\Delta_{0A_3} = 0,25 + 0,3 = 0,55 \text{ мм.}$$

Предельные отклонения размеров составляющих звеньев:

$$A_1 -0,3; \quad A_2^{+0,4}; \quad A_3^{+0,6}_{+0,5}.$$

5.2.5 Метод регулирования с применением неподвижного компенсатора

Выберем в качестве компенсатора то же звено, что было взято при решении задачи по методу пригонки, и установим следующие допуски T'_{A_i} :

0,2 – для звена A_1 ; 0,4 – для звена A_2 ; 0,05 – для звена A_3 .

В размерной цепи А (рис. 5.2) компенсации подлежат отклонения только звеньев A_1 и A_2 , которые в сумме могут составлять

$$T'_{A_\Delta} = \sum_{i=1}^{m-2} |\xi_{A_i}| T'_{A_i} = T'_{A_1} + T'_{A_2} = 0,2 + 0,4 = 0,6 \text{ мм.}$$

В соответствии с этим наибольшая величина компенсации будет:

$$\delta_K = T'_{A_\Delta} - T_{A_\Delta} = 0,6 - 0,2 = 0,4 \text{ мм.}$$

Число ступеней компенсаторов вычисляются по формуле:

$$N = \frac{T'_{A_\Delta}}{T_{A_\Delta} - T_{\text{комп}}}$$

В данной задаче:

$$N = \frac{0,6}{0,2 - 0,05} = 4$$

С целью упрощения расчета размеров компенсаторов рекомендуется назначать координаты середин полей допусков составляющих звеньев так, чтобы совместить одну из границ расширенного поля допуска замыкающего звена с соответствующей границей его поля допуска, заданного служебным назначением изделия.

В связи с этим, при совмещении нижних границ полей допусков замыкающего звена (рис. 5.3), необходимо соблюсти условие:

$$\begin{aligned} \Delta'_{\text{н}A_\Delta} &= \Delta_{\text{н}A_\Delta}; \\ \Delta'_{\text{о}A_\Delta} - \frac{T'_{A_\Delta}}{2} &= \Delta_{\text{н}A_\Delta}; \end{aligned}$$

$$\Delta'_{oA_\Delta} = \Delta_{nA_\Delta} + \frac{T'_{A_\Delta}}{2};$$

$$\Delta'_{oA_\Delta} = 0 + \frac{0,6}{2} = 0,3 \text{ мм.}$$

Поскольку компенсации подлежат отклонения звеньев A_1 и A_2 , то в расчете координат середин полей допусков компенсатор участвовать не должен.

Координата середины его поля допуска должна быть установлена независимо от координат середин полей составляющих звеньев A_1 и A_2 . С целью упрощения расчета размеров компенсаторов рекомендуется задавать координату середины поля допуска компенсирующего звена равной половине его поля допуска со знаком минус.

В данной задаче

$$\Delta'_{oA_3} = -\frac{T'_{A_3}}{2} = -\frac{0,05}{2} = -0,025 \text{ мм.}$$

Таким образом,

$$\Delta'_{oA_\Delta} = -\Delta'_{oA_1} + \Delta'_{oA_2} = +0,3 \text{ мм.}$$

Установим:

$$\Delta'_{oA_1} = -0,1 \text{ мм и } \Delta'_{oA_2} = +0,2 \text{ мм}$$

При установленных координатах середин полей допусков звеньев A_1 и A_2 поле допуска займет относительно заданного поля допуска положение показанное на рис.5.3.

При величине ступени компенсации, равной

$$T_{A_\Delta} - T_{\text{комп}} = 0,2 - 0,05 = 0,15 \text{ мм}$$

и числе групп компенсаторов $N=4$, поле производственного допуска будет разбито на 4 зоны с границами, показанными на рис. 5.3. Отклонения, возникающие в пределах той или иной зоны, должны компенсироваться путем постановки в изделие соответствующего проставочного кольца (компенсатора).

Размер компенсатора первой ступени равен его номинальному размеру. Размеры компенсаторов каждой следующей ступени будут отличаться от размеров компенсаторов предшествующей ступени на величину ступени компенсации.

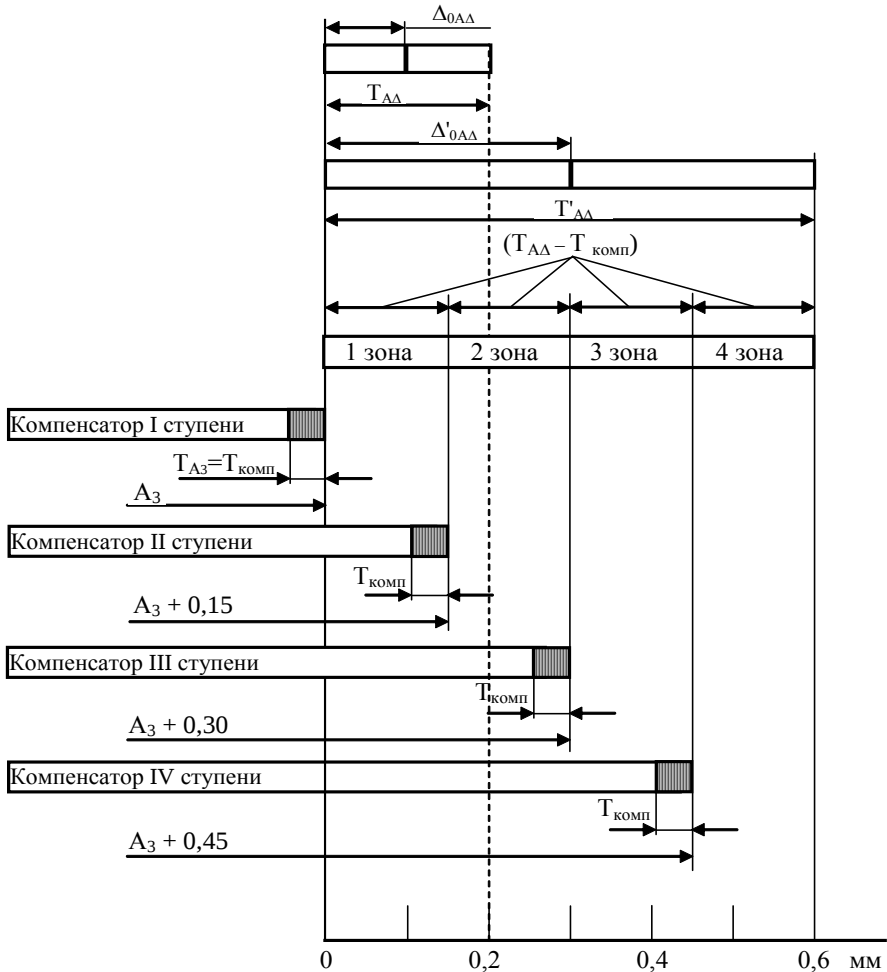


Рис. 5.3- Расположение полей допусков

С учетом допуска на изготовление компенсаторов их размеры будут:

- I ступень $A_3 - 0,05$ мм;
- II ступень $(A_3 + 0,15) - 0,05$ мм;
- III ступень $(A_3 + 0,30) - 0,05$ мм;
- IV ступень $(A_3 + 0,45) - 0,05$ мм;

При задании размеров компенсаторов разницу в номиналах целесообразно перенести на координаты середин полей их допусков. Тогда размеры ком-

пенсаторов должны быть равны:

I ступень	$A_3 - 0,05$ мм;
II ступень	$A_{3+0,10}^{+0,15}$ мм
III ступень	$A_{3+0,25}^{+0,30}$ мм
IV ступень	$A_{3+0,40}^{+0,45}$ мм

На рис. 5.3 можно видеть, как осуществляется компенсация отклонений, находящихся в различных зонах T'_{A_Δ} .

Если координаты средин полей допусков составляющих звеньев A_1 и A_2 установлены произвольно, то при определении размера компенсаторов первой ступени необходимо внести поправку в координату середины поля допуска компенсирующего звена причем значения установлены произвольно.

$$\Delta'_k = \frac{\delta_k}{2} - \Delta'_{oA_\Delta},$$

$$\Delta'_{oA_\Delta} = \sum_{i=1}^n \vec{\Delta}'_{oA_i} - \sum_{n+1}^{m-2} \vec{\Delta}'_{oA_i}.$$

причем значения Δ'_{oA_i} установлены произвольно.

Если компенсатор является увеличивающим звеном, поправку Δ'_k вносят со своим знаком, а если уменьшающим звеном – с противоположным знаком.

Рекомендуемая литература

1. Марков Н.Н., Осипов В.В., Шабалина М.Б. Нормирование точности в машиностроении: Учеб. для машиностроит. спец. вузов./Под ред. Ю.М. Соломенцева.-2-е изд., испр.и доп. - М.: Высшая школа.; Издательский центр «Академия», 2001.- 335 с.
2. Зайцев С.А., Куранов А.Ю., Толстов А.Н. Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении: Учебник для нач.проф.образования – 5-е изд., -М.: Изд.центр «Академия», 2008 – 240 с.
3. Допуски и посадки. В 2-х ч. / Под ред. В.Д. Мягкова. Л.: Машиностроение. 1982.
4. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник для вузов / А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов. - М.: Машиностроение, 1987.
5. ГОСТ 25347-82. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки.
6. РД 50 – 635 – 87. Методические указания. Цепи размерные. Методы расчета линейных и угловых цепей. – М.: Изд-во стандартов, 1987 . – 45 с.

Оглавление

1. Выбор вариантов и исходные данные	3
2. Теоретическая часть	4
2.1. Основные законы рассеяния размеров деталей	4
2.2. Основные термины и определения	7
2.3. Звенья размерных цепей	8
2.4. Виды размерных цепей	10
2.5. Параметры звеньев размерных цепей	13
2.6. Расчетные коэффициенты	14
2.7. Цели и методы расчета размерных цепей	14
2.8. Задачи и способы расчета размерных цепей	19
2.9. Способы назначения допусков составляющих звеньев	26
2.9.1. Способ равных допусков	26
2.9.2. Способ назначения допусков в едином качестве	27
3. Содержание расчетно-графического задания	28
3.1. Условие задания	28
3.2. Цель задания:	28
3.3. Общие указания	28
3.4. Требуется выполнить:	28
4. Методические указания по расчету сборочных размерных цепей	29
4.1. Расчет линейных размерных цепей методом полной взаимозаменяемости	32
4.1.1. Прямая задача	32
4.1.2. Обратная задача	35
4.2. Расчет линейных размерных цепей вероятностным методом	36
4.2.1. Прямая задача	36
4.2.2. Обратная задача	37
5. Примеры расчетов размерных цепей	37
5.1. Задача 1	37
5.1.1. Прямая задача. Метод полной взаимозаменяемости	37
5.1.2. Обратная задача. Метод полной взаимозаменяемости	41
5.1.3. Прямая задача. Теоретико-вероятностный метод	42
5.1.4. Обратная задача. Теоретико-вероятностный метод	44
5.2. Задача 2	45
5.2.1. Метод полной взаимозаменяемости	46
5.2.2. Прямая задача. Метод неполной взаимозаменяемости	47
5.2.3. Метод групповой взаимозаменяемости	48
5.2.4. Метод пригонки	49
5.2.5. Метод регулирования с применением неподвижного компенсатора	50
Рекомендуемая литература	54
Приложения	56

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Допуски для размеров до 500 мм

Допуски для размеров до 500 мм по ГОСТ 25346-82

Номинальные размеры, мм	Квалитеты																
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Допуски, мм			
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000				
Св. 3 до 6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200				
Св. 6 до 10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500				
Св. 10 до 18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800				
Св. 18 до 30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100				
Св. 30 до 50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500				
Св. 50 до 80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000				
Св. 80 до 120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500				
Св. 120 до 180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000				
Св. 180 до 250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600				
Св. 250 до 315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200				
Св. 315 до 400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700				
Св. 400 до 500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300				

Допустимые погрешности измерения, мкм

Квалитеты	Номинальные размеры, мм			
	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80
5	2,8	3	4	4
6	3	4	5	5
7	5	6	7	9

Учебное издание

**Расчет сборочных размерных цепей
методами взаимозаменяемости**

Методические указания по выполнению расчетно-графического задания для студентов всех форм обучения по профилю подготовки «Машины и аппараты химических производств» по дисциплине «Основы взаимозаменяемости и нормирование точности изделий машиностроения»

Бегова Анастасия Владимировна

Редактор Туманова Е.М.

Подписано в печать Формат 60×84¹/₁₆

Бумага «Снегурочка». Отпечатано на ризографе.

Усл. печ. л. 2,09. Уч. изд. л. 1,5.

Тираж 50 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический
университет им. Д.И. Менделеева»

Новомосковский институт (филиал). Издательский центр.

Адрес университета: 125047, Москва, Миусская пл., 9

Адрес института: 301650, Новомосковск, Тульская обл., ул. Дружбы, 8