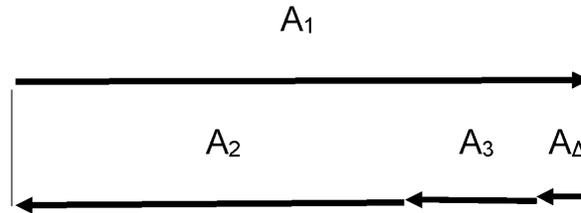


Обеспечение геометрической точности при сборке

В процессе сборки соединение деталей и сборочных единиц должны обеспечивать точность взаимного расположения поверхностей. Совокупность размеров, оказывающих влияние на некоторые геометрические параметры (гарантированный зазор, натяг, габаритный размер и т.п.), могут быть представлены в виде размерной цепи.

Размерная цепь – это замкнутая цепь взаимосвязанных размеров, относящихся к нескольким деталям и координирующих относительное положение поверхностей или осей этих деталей.



Здесь A_1 , A_2 , A_3 – составляющие звенья размерной цепи, A_4 – замыкающее звено размерной цепи.

Размеры составляющих звеньев и замыкающего звена размерной цепи с учетом точности можно представить в виде A_{EI}^{ES}

где A – номинальный размер, ES – верхнее отклонение от номинального размера, EI – нижнее отклонение от номинального размера.

Все размеры, входящие в размерную цепь делятся на «увеличивающие» и «уменьшающие».

«Увеличивающие» - размеры, при увеличении которых и неизменных остальных размерах замыкающее звено увеличивается (в примере – A_1).

«Уменьшающие» – размеры, при увеличении которых замыкающее звено уменьшается (в примере – A_2 , A_3).

МЕТОДЫ РАСЧЕТА РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Сущность расчета размерной цепи заключается в установлении номинальных размеров, допусков и предельных отклонений всех ее звеньев, исходя из требований конструкции и технологии. При этом различают две задачи:

- 1) определение допусков и предельных отклонений размеров составляющих звеньев по заданным номинальным размерам всех размеров цепи и заданным предельным размерам исходного звена (прямая задача, проектный расчет);
- 2) определение номинального размера, предельных отклонений и допуска замыкающего звена по заданным номинальным размерам и предельным отклонениям составляющих звеньев (обратная задача, проверочный расчет).

Применяются следующие методы обеспечения точности при сборке :

- полной взаимозаменяемости;
- неполной взаимозаменяемости;
- пригонки;
- регулирования;
- групповой взаимозаменяемости.

Точность сборки обеспечивается на основе расчета размерных цепей.

Метод полной взаимозаменяемости – это метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается во всех случаях ее реализации путем включения составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их размеров.

При этом методе используется способ расчета на максимум-минимум.

Способ максимума-минимума предполагает, что в процессе сборки узла или обработки детали возможно одновременное сочетание наибольших увеличивающих и наименьших уменьшающих размеров или обратное их сочетание. Однако практически такое сочетание маловероятно, так как отклонение размеров в основном группируется около середины поля допуска.

Метод неполной взаимозаменяемости допускает приемлемый процент изделий, у которых замыкающее звено выйдет за поле допуска, но при этом существенно увеличивается допуск составляющих звеньев.

Метод исходит из предположения, что сочетания действительных размеров составляющих звеньев, входящих в размерную цепь, носят случайный характер, и большая часть значений звеньев группируется около координаты середины поля допуска. Для такого метода применяется **вероятностный способ расчета**.

При анализе размерных цепей обычно решают **два класса задач**:

Обратная задача - задача, в которой известны параметры составляющих звеньев (допуски, поля рассеяния, координаты их середин, предельные отклонения) и требуется определить параметры замыкающего звена (проверочная задача).

Прямая задача - задача, при которой заданы параметры замыкающего звена (номинальное значение, допустимые отклонения и т.д.) и требуется определить параметры составляющих звеньев (проектная задача).

Прямая и обратная задача могут решаться двумя методами: расчетом на «максимум – минимум» и вероятностным расчетом (так как размеры деталей в партии – случайные величины в пределах допуска).

Расчет на «максимум – минимум» проводится для малозвенных цепей с повышенной точностью. При расчете размерных цепей с числом составляющих звеньев более трех целесообразно принять в основу достижения точности метод неполной взаимозаменяемости с использованием вероятностного расчета.

При использовании метода неполной взаимозаменяемости требуемая точность обеспечивается у заранее обусловленной части объектов. Расчет производится с учетом фактического распределения истинных размеров внутри полей допусков и вероятности их различных сочетаний при сборке.

Обратная задача (проверочная)

1. Номинальный размер замыкающего звена

$$A_{\Delta} = \sum_{j=1}^m \overrightarrow{A_j} + \sum_{j=m+1}^n \overleftarrow{A_j}$$

где: A_{Δ} – номинальное значение замыкающего звена; $\sum_{j=1}^m \overrightarrow{A_j}$ – сумма номинальных значений увеличивающих звеньев; $\sum_{j=m+1}^n \overleftarrow{A_j}$ – сумма номинальных значений уменьшающих звеньев.

2. Верхнее предельное отклонение замыкающего звена

$$ES_{\Delta} = \sum_{j=1}^m \overrightarrow{ES_j} - \sum_{j=m+1}^n \overleftarrow{EI_j}$$

где: ES_{Δ} – верхнее предельное отклонение замыкающего звена;
 $\sum_{j=1}^m \overrightarrow{ES_j}$ – сумма верхних предельных отклонений увеличивающих звеньев; $\sum_{j=m+1}^n \overleftarrow{EI_j}$ – сумма нижних предельных отклонений уменьшающих звеньев.

3. Нижнее предельное отклонение замыкающего звена

$$EI_{\Delta} = \sum_{j=1}^m \overleftarrow{EI_j} - \sum_{j=m+1}^n \overrightarrow{ES_j}$$

где: EI_{Δ} – нижнее предельное отклонение замыкающего звена; $\sum_{j=1}^m \overleftarrow{EI_j}$ – сумма нижних предельных отклонений увеличивающих звеньев; $\sum_{j=m+1}^n \overrightarrow{ES_j}$ – сумма верхних предельных отклонений уменьшающих звеньев.

4. Допуск замыкающего звена

$$T_{\Delta} = \sum_{j=1}^n T_j$$

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

ES_{Δ} – верхнее предельное отклонение замыкающего звена;

EI_{Δ} – нижнее предельное отклонение замыкающего звена.

5. Среднее значение поля допуска замыкающего звена

$$EC_{\Delta} = \sum_{j=1}^m \overrightarrow{EC}_j - \sum_{j=m+1}^n \overleftarrow{EC}_j$$

\overrightarrow{EC}_j - среднее значение поля допуска увеличивающих размеров размерной цепи;

\overleftarrow{EC}_j - среднее значение поля допуска уменьшающих размеров размерной цепи.

Верхнее предельное отклонение замыкающего звена

$$ES_{\Delta} = EC_{\Delta} + 0,5T_{\Delta}$$

Нижнее предельное отклонение замыкающего звена

$$EI_{\Delta} = EC_{\Delta} - 0,5T_{\Delta}$$

Прямая задача.

После определения размеров составляющих звеньев в результате конструирования механизма необходимо рассчитать допуски на эти размеры при заданной точности сборки, т. е. заданном допуске замыкающего звена. Решение этой задачи неоднозначное, можно решать одним из способов.

Способ равных допусков применяют, когда все размеры цепи входят в один интервал и могут быть выполнены с одинаковой точностью, т. е. можно принять $T_1 = T_2 = \dots = T_{\text{ср}}$.

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_{\Delta}}{n}$$

Способ допусков одного квалитета применяют, если все составляющие размеры могут быть выполнены с допуском одного квалитета. Допуск размера в зависимости от квалитета точности зависит от единицы допуска i .

$$i = 0,45 \sqrt[3]{A_{\text{ср}}} ,$$

$A_{\text{ср}}$ – среднеквадратическое размеров интервала.

Значения единицы допуска в зависимости от интервала размеров представлены в таблице

Значения единицы допуска

Интервалы размеров, мм	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250	250-315	315-400
Значение i , мкм	0,73	0,90	1,08	1,31	1,56	1,86	2,17	2,52	2,90	3,23	3,54

Количество единиц допуска в некоторых квалитетах

Квалитет	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
Количество единиц допуска (a)	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000

Запись IT8=25i означает, что в 8-м квалитете содержится 25 единиц допуска.

Допуск любого составляющего звена определенного качества определяется по формуле:

$$T_j = a_j \cdot i,$$

где i – единица допуска, зависит от номинального размера $i = 0,45 \sqrt[3]{A_{\text{ср}}}$,

$A_{\text{ср}}$ – среднеквадратическое размеров интервала

a_j - количество единиц допуска i в допусках 5–16 квалитетов (приведены в таблице)

Квалитет задается числом единиц поля допуска.

Считаем, что $a_1 = a_2 = \dots = a_{\text{ср}}$

$$a_{\text{ср}} = \frac{T_{\Delta}}{\sum_{j=1}^n i_j}$$

Величины, стоящие в знаменателе, выбирают из таблицы.

Величина T_{Δ} задана по условиям задачи.

Величина $a_{ср}$, полученная по формуле, путем сравнения с величинами таблицы показывает, по какому примерно качеству следует выбирать размеры, составляющие цепь. Допуски выбирают из таблицы допусков. Полученное значение $a_{ср}$ может не совпадать ни с одним из стандартных значений, приведенных в таблице, поэтому можно использовать допуски различных качеств, учитывая технологические условия.

Правильность решения прямой задачи подтверждается проверочным расчетом (обратная задача).

При этом должно обязательно выполняться условие
$$T_{\Delta} \geq \sum_{j=1}^n T_j$$

Допуски для охватывающих размеров рекомендуется определять, как для основного отверстия, а для охватываемых – как для основного вала. Определив допуски, находят значения и знаки верхних и нижних отклонений составляющих размеров.

Решение прямой задачи способом назначения допусков одного качества более обосновано, чем решение способом равных допусков.

Количество единиц допуска в некоторых квалитетах

Квалитет	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
Количество единиц допуска (a)	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000

Запись IT8=25i означает, что в 8-м квалитете содержится 25 единиц допуска.

Значения единицы допуска

Интервалы размеров, мм	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250	250-315	315-400
Значение i , мкм	0,73	0,90	1,08	1,31	1,56	1,86	2,17	2,52	2,90	3,23	3,54

Размер, мм	Допуск, мкм при качестве																		
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
3—6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
6—10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
10—18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
18—30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	12	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
30—50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
50—80	0,8	1,5	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
80—120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
120—180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
180—250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
250—315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
315—400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
400—500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

Метод неполной взаимозаменяемости исходит из предложения, что сочетание действительных размеров составляющих звеньев в изделии носит случайный характер и вероятность того, что все звенья с самыми неблагоприятными сочетаниями окажутся в одном изделии, весьма мала. Метод допускает малый процент изделий, у которых замыкающее звено выйдет за рамки поля допусков, при этом расширяются допуски составляющих цепь размеров, и тем самым снижается себестоимость изготовления деталей.

Замыкающее звено размерной цепи принимается за случайную величину, являющуюся суммой независимых случайных составляющих звеньев размерной цепи.

При расчете по вероятностному методу поле допуска замыкающего звена рассчитывается по формуле:

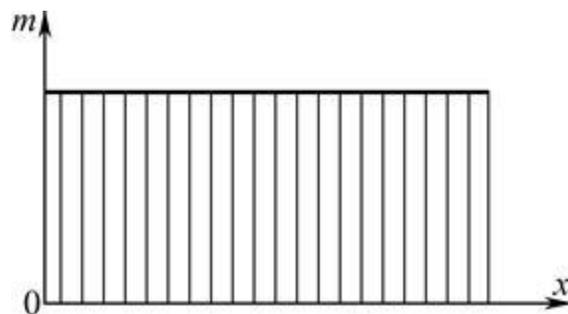
$$T_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum \lambda_j^2 T_j^2}$$

t_{Δ} - коэффициент риска (аргумент функции Лапласа), выбирается из таблицы в зависимости от принятого процента брака P .

λ - коэффициент относительного рассеяния составляющих звеньев, зависит от закона распределения размера составляющего звена.

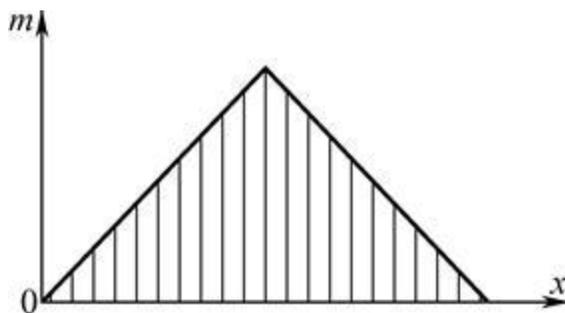
Закон равной вероятности

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{3}}$$



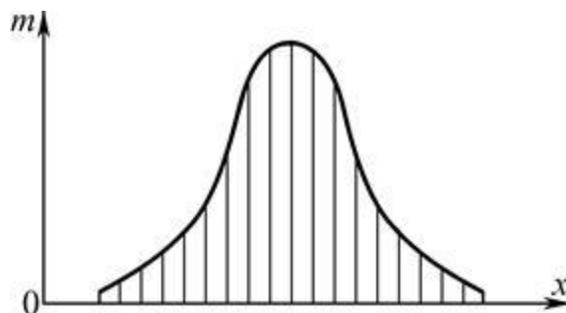
Закон треугольника

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{6}}$$



Закон нормального распределения

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{9}}$$



Метод неполной взаимозаменяемости.

Расчет размерной цепи вероятностным методом.

Размеры деталей (рассеяние их размеров) подчиняются закону нормального распределения.

Вероятностный допуск замыкающего звена определяется по формуле: $T_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum \lambda_j^2 T_j^2}$

t_{Δ} - коэффициент риска (аргумент функции Лапласа), выбирается из таблицы в зависимости от принятого процента брака P .

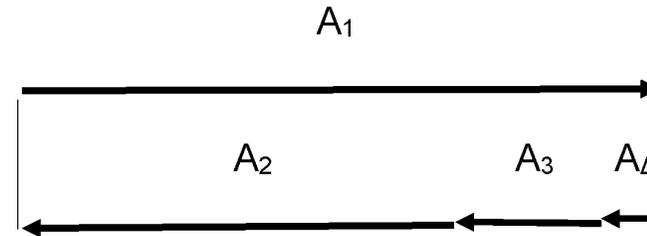
$P \%$	5	4,5	3,6	3	2,8	2,1	2	1,6	1,2	1
t_{Δ}	1,96	2,0	2,1	2,17	2,2	2,3	2,32	2,4	2,5	2,57
$P \%$	0,9	0,69	0,59	0,5	0,37	0,27	0,19	0,14	0,1	0,07
t_{Δ}	2,6	2,7	2,8	2,81	2,9	3	3,1	3,2	3,3	3,4

λ - коэффициент относительного рассеяния, зависит от закона распределения размера.

Координата середины поля допуска замыкающего звена, предельные отклонения замыкающего звена определяются аналогично расчету на max-min.

Порядок выполнения расчетов размерных цепей

На основе анализа и расчета размерных цепей установить наиболее целесообразный метод сборки. Проверяем возможность сборки по методу полной взаимозаменяемости, рассчитывая размерную цепь на максимум – минимум.



Обозначение звена	A_1	A_2	A_3	A_{Δ}
Размер	$190^{+0,2}$			

Уравнение номинальных размеров цепи:

$$A_{\Delta} = A_1 - A_2 - A_3 = 190 - 150 - 40 = 0 \text{ мм}$$

Проверяем возможность обеспечения точности замыкающего звена по методу полной взаимозаменяемости:

$$T_{\Delta} = T_1 + T_2 + T_3 = 0,20 + 0,10 + 0,06 = 0,36 \text{ м}$$

Так как расчетное значение T_{Δ} больше заданного (**$0,36 > 0.2$**), то полная взаимозаменяемость при заданных допусках составляющих звеньев не обеспечивается.

Выполним вероятностный расчет размерной цепи, обеспечивающий сборку по методу частичной взаимозаменяемости.

Полагая закон распределения погрешностей нормальным, принимаем риск получения брака $P=1\%$ и соответствующий ему коэффициент риска, определенный по таблице, $t_{\Delta}=2.57$.

Коэффициент относительного рассеивания для нормального закона распределения $\lambda_j^2 = \frac{1}{9}$

$$T_{\Delta} = \frac{2,57}{3} \sqrt{0,20^2 + 0,10^2 + 0,06^2} = 0,198\text{мм}$$

что меньше заданного допуска замыкающего звена ($T_{\Delta} = 0,2$ мм)

Проверяем расположение середины поля допуска замыкающего звена по формуле

$$ЕС_{\Delta} = ЕС_1 - ЕС_2 - ЕС_3 = 0,1 - 0 - 0 = 0,1 \text{ мм.}$$

Из расчета следует, что при риске получения брака 1% сборка может быть осуществлена методом неполной взаимозаменяемости.

Прямая (проектная) задача расчета размерных цепей

Рассчитать допуски на размеры составляющих звеньев при заданной точности сборки, т. е. заданном допуске замыкающего звена

A_1	A_2	A_3	A_Δ
190	140	50	$0^{+0,2}$

Решение этой задачи неоднозначное, можно решать одним из способов. Способ равных допусков применяют, когда все размеры цепи входят в один интервал, в примере размеры из разных интервалов.

Применим способ равных квалитетов.

Допуск определяется произведением $T_j = a_j \cdot i_j$

a_j — количество единиц допуска, зависит от квалитета; i_j — единица допуска, зависит от номинального размера.

Для равных квалитетов должно выполняться равенство $a_1 = a_2 = \dots a_j = a_{\text{ср}}$

$$a_{\text{cp}} = \frac{T_{\Delta}}{\sum_{j=1}^n i_j}$$

$$a_{\text{cp}} = \frac{200}{\sum_{j=1}^3 2,9 + 2,52 + 1,56} = \frac{200}{6,98} = 28$$

Соответствует 8 – 9 качеству

Определим для:

A_1 - 8 качество. Допуск $T_1 = 72$ мкм. Предельные отклонения $ES_1 = 0,072$ мм, $EI_1 = 0$

A_2 - 8 качество. Допуск $T_2 = 63$ мкм. Предельные отклонения $ES_2 = 0$, $EI_2 = - 0,063$ мм

A_3 - 8 качество точности. Допуск $T_3 = 39$ мкм. Предельные отклонения $ES_3 = 0$, $EI_3 = - 0,039$ мм.

$$T_{\Delta} = 0,2 \text{ мм}$$

$$T_1 + T_2 + T_3 = 0,072 + 0,063 + 0,039 = 0,174 \text{ мм}$$

$$T_{\Delta} > \sum T_j$$

4 задание

Расчет размерных цепей

1. Рассчитать заданную размерную цепь по методу полной взаимозаменяемости (max-min), решить прямую задачу. Допуски на составляющие звенья определять способом равной точности (одного качества).
2. Сделать проверку выполненных расчетов, решить обратную задачу (max-min).
3. Решить обратную задачу вероятностным методом (размеры составляющих звеньев и замыкающего звена имеют нормальный закон распределения).

Вариант	A_1	A_2	A_3	A_{Δ}	Процент брака P%
1	190	140	50	$0^{+0,2}$	1,0
2	250	155	94	$1_{-0,3}$	1,2
3	45	24	20	$1^{+0,1}$	2,0
4	92	50	42	$0^{+0,15}$	0,9
5	100	80	18	$2_{-0,2}$	1,6
6	68	48	20	$0^{+0,2}$	2,1
7	20	15	4	$1_{-0,1}$	0,37
8	57	35	22	$0^{+0,18}$	2,8
9	170	150	20	$0^{+0,2}$	0,59
10	30	25	4	$1_{-0,15}$	3,0