РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

Размерная цепь – это совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур и определяющих точность взаимного расположения осей и поверхностей одной детали (*подетальная размерная цепь*) или нескольких деталей в узле или механизме (*сборочная размерная цепь*).

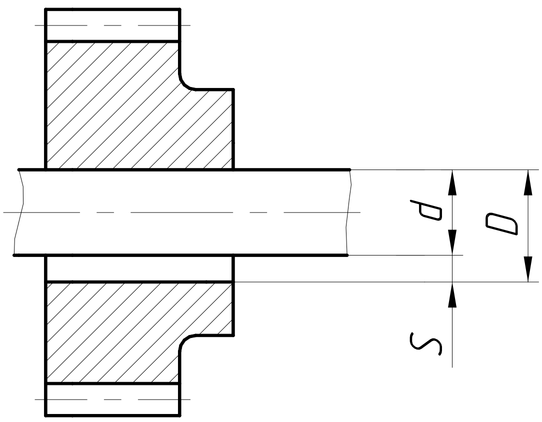


Рис.1 Сборочная размерная цепь

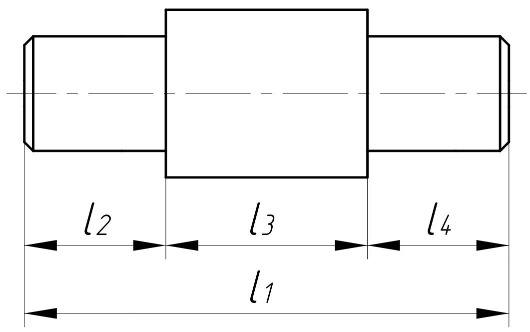
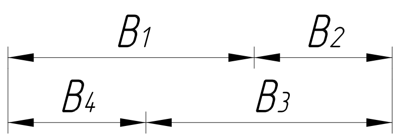
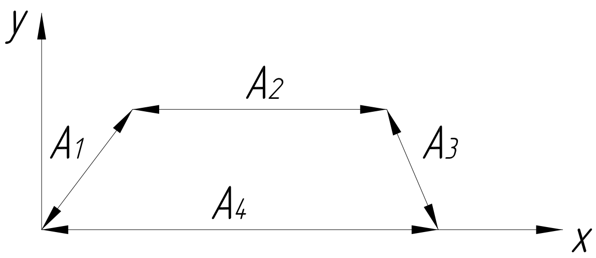


Рис.2 Подетальная размерная цепь

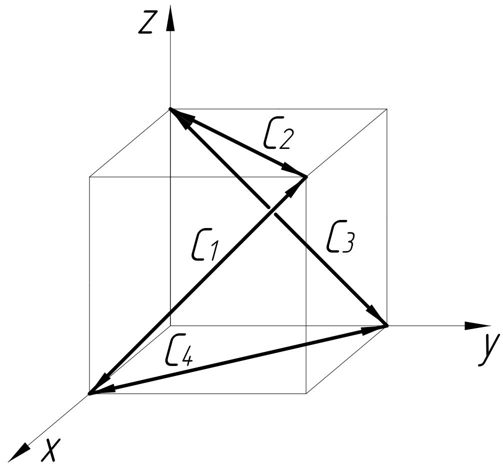
По взаимному расположению звеньев размерные цепи делятся на:
1. линейные



2. плоские



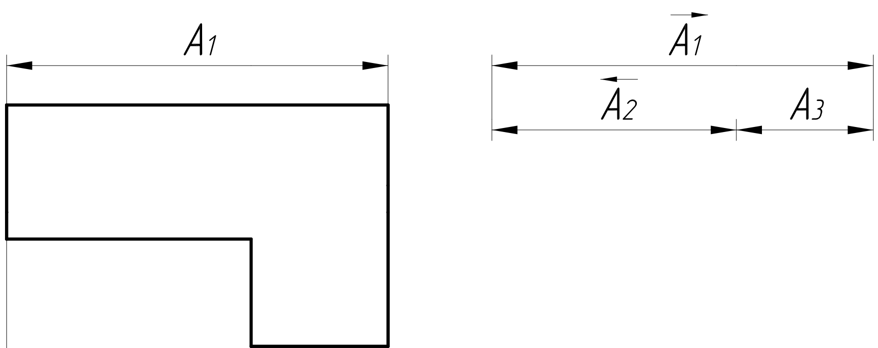
3. пространственные



Все звенья размерных цепей делятся на составляющие и одно замыкающее. *Замыкающий размер* – это размер, который получается последним в ходе обработки детали или сборки узла. Это необрабатываемый размер, его величина и точность зависят от величины и точности остальных размеров цепи, называемых *составляющими*.

Пример 1.

Последовательность обработки: $A_1 - A_2$.



Замыкающий размер: $A_0 = A_3$.

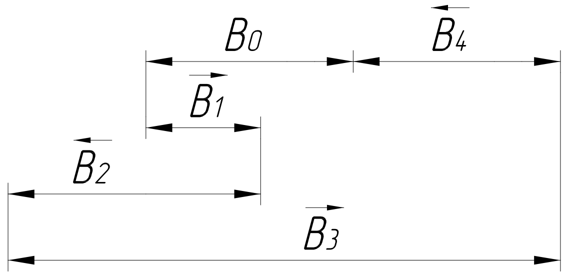
Составляющие размеры: A_1 и A_2.

В зависимости от влияния на замыкающий размер A_0 составляющие размеры делят на увеличивающие и уменьшающие.

Увеличивающий размер – это составляющий размер, с увеличением которого замыкающий размер увеличивается.

Уменьшающий размер – это составляющий размер, с увеличением которого замыкающий размер уменьшается.

Пример 2.



Увеличивающие размеры: B_1 и B_3.

Уменьшающие размеры: B_2 и B_4.

Среди всех звеньев цепи выделяют исходный размер. *Исходный размер* – это размер, определяющий функционирование механизма (зазор, натяг и т.п.). Исходя из его точности, определяют точность остальных размеров цепи.

При решении размерных цепей встречаются два типа задач:

1. задача анализа или проверочный расчет: необходимо определить номинальный размер и предельные отклонения замыкающего звена по заданным номинальному размеру и предельным отклонениям составляющих звеньев.
2. задача синтеза или проектный расчет: необходимо назначить допуски и предельные отклонения на составляющие размеры по заданным допуску и предельным отклонениям замыкающего звена и номинальным размерам всех звеньев цепи.

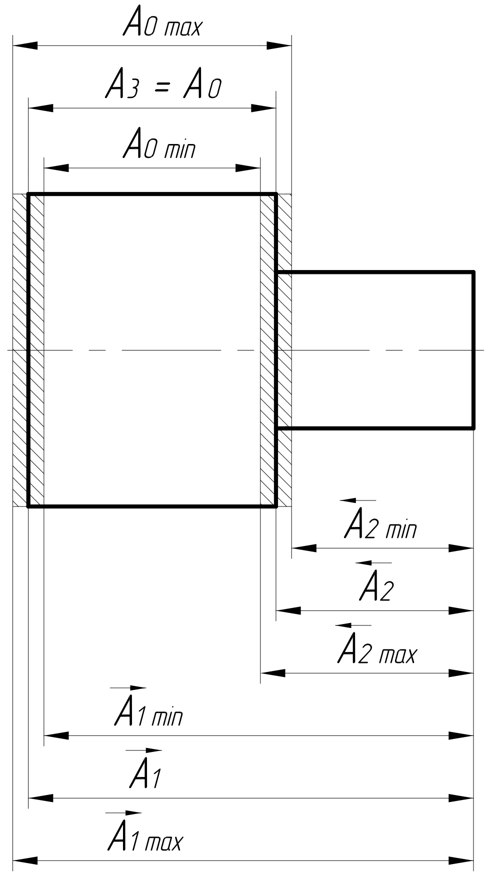
При решении размерных цепей используют следующие методы:

1. метод полной взаимозаменяемости (метод максимума-минимума);
2. вероятностный метод;
3. метод регулирования;
4. метод групповой взаимозаменяемости (селективная сборка);
5. метод пригонки.

Расчет размерных цепей методом полной взаимозаменяемости

Этот метод позволяет производить сборку без дополнительной обработки, пригонки, регулирования. Используется в размерных цепях с небольшим числом составляющих размеров.

1. задача анализа



Последовательность обработки: $A_1 - A_2$.

Номинальный размер замыкающего звена: $A_0 = \vec{A}_1 - \overleftarrow{A}_2$.

В общем случае номинальный размер замыкающего звена:

$$A_0 = \sum_{j=1}^{n} A_{j\ ув} - \sum_{j=n+1}^{p} A_{j\ ум}, \tag{1}$$

где n – это число увеличивающих звеньев; p – число составляющих звеньев.

Предельные размеры замыкающего звена:

$$A_{0\min} = \vec{A}_{1\min} - \overleftarrow{A}_{2\max},$$

$$A_{0\max} = \vec{A}_{1\max} - \overleftarrow{A}_{2\min}.$$

В общем случае предельные размеры замыкающего звена:

$$A_{0\max} = \sum_{j=1}^{n} \left(A_{j\max}\right)_{ув} - \sum_{j=n+1}^{p} \left(A_{j\min}\right)_{ум}, \tag{2}$$

$$A_{0\min} = \sum_{j=1}^{n} \left(A_{j\min}\right)_{\text{ув}} - \sum_{j=n+1}^{p} \left(A_{j\max}\right)_{\text{ум}} . \tag{3}$$

Из формул (2) и (3) получаем:

$$A_{0\max} - A_{0\min} = \sum_{j=1}^{n} \left(A_{j\max}\right)_{\text{ув}} - \sum_{j=1}^{n} \left(A_{j\min}\right)_{\text{ув}} + \sum_{j=n+1}^{p} \left(A_{j\max}\right)_{\text{ум}} - \sum_{j=n+1}^{p} \left(A_{j\min}\right)_{\text{ум}} ,$$

$$TA_0 = \sum_{j=1}^{n} \left(TA_j\right)_{\text{ув}} + \sum_{j=n+1}^{p} \left(TA_j\right)_{\text{ум}} ,$$

$$TA_0 = \sum_{j=1}^{m-1} TA_j , \tag{4}$$

где m – это общее число звеньев: $m - 1 = p$.

Формула (4) выражает сущность расчета размерных цепей методом максимума-минимума: допуск замыкающего звена равен сумме допусков составляющих звеньев.

Из формулы (4) следуют два вывода:

1. размер, к которому предъявляют наиболее высокие точностные требования, т.е. исходный размер, по возможности должен быть составляющим, а не замыкающим;
2. размерная цепь должна быть наикратчайшей, т.е. содержать наименьшее число звеньев.

Введем обозначение:

$$A_{j\max} = A_j + E_s\left(A_j\right), \tag{5}$$

$$A_{j\min} = A_j + E_i\left(A_j\right), \tag{6}$$

где A_j − это номинальный размер j-ого звена; $E_s\left(A_j\right)$ и $E_i\left(A_j\right)$ − верхнее и нижнее отклонения j-ого звена соответственно.

Подставляя выражения (5) и (6) в формулы (2) и (3), получим:

$$\mathrm{A_0} + \mathrm{Es}\left(\mathrm{A_0}\right) = \sum_{j=1}^{n} \mathrm{A}_{j\ \text{ув}} + \sum_{j=1}^{n} \mathrm{Es}\left(\mathrm{A_j}\right)_{\text{ув}} - \sum_{j=n+1}^{p} \mathrm{A}_{j\ \text{ум}} - \sum_{j=n+1}^{p} \mathrm{Ei}\left(\mathrm{A_j}\right)_{\text{ум}} ,$$

$$\mathrm{Es}\left(\mathrm{A_0}\right) = \sum_{j=1}^{n} \mathrm{Es}\left(\mathrm{A_j}\right)_{\text{ув}} - \sum_{j=n+1}^{p} \mathrm{Ei}\left(\mathrm{A_j}\right)_{\text{ум}} , \tag{7}$$

$$\mathrm{Ei}\left(\mathrm{A_0}\right) = \sum_{j=1}^{n} \mathrm{Ei}\left(\mathrm{A_j}\right)_{\text{ув}} - \sum_{j=n+1}^{p} \mathrm{Es}\left(\mathrm{A_j}\right)_{\text{ум}} . \tag{8}$$

Решение задачи анализа производится по формулам (1), (7), (8) с проверкой по формуле (4).

2. задача синтеза

Эта задача решается двумя способами:

а) способ равных допусков

Если номинальные размеры всех составляющих звеньев попадают в один интервал размеров, то можно принимать, что

$$TA_1 = TA_2 = \ldots = TA_j\,,$$

$$TA_0 = \sum_{j=1}^{m-1} TA_j = (m-1)\ TA_j\,,$$

$$TA_j = \frac{TA_0}{m-1}. \tag{9}$$

б) способ равноточных допусков

Предполагают, что все составляющие размеры обрабатываются по одному и тому же квалитету, а допуск в каждом квалитете подсчитывается по формуле:

$$\mathrm{TA}_j = \mathrm{k}_j\ \mathrm{i}_j = \mathrm{k}_j\ \left(0{,}45\ \sqrt[3]{\mathrm{A}_{\mathrm{j_{cp}}}} + 0{,}001\mathrm{A}_{\mathrm{j_{cp}}}\right),$$

где k_j − это коэффициент, зависящий от квалитета; i_j − единица допуска, зависящая от номинального размера; $\mathrm{A}_{\mathrm{j_{cp}}}$ − средний номинальный размер интервала, в который попадает размер A_j.

Так как все составляющие размеры обрабатываются по одному квалитету, то

$$\mathrm{k}_1 = \mathrm{k}_2 = \mathrm{k}_3 = \ldots = \mathrm{k}_{\mathrm{cp}}\,,$$

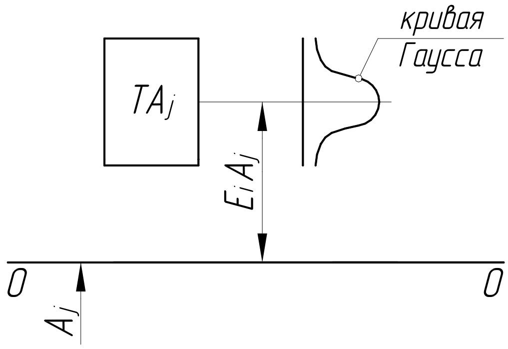
где k_{cp} − это средний коэффициент точности размерной цепи.

$$\mathrm{TA}_0 = \sum_{j=1}^{m-1} \mathrm{TA}_j = \sum_{j=1}^{m-1} \left(\mathrm{k}_j\ \mathrm{i}_j\right) = \mathrm{k}_{\mathrm{cp}} \sum_{j=1}^{m-1} \mathrm{i}_j\,,$$

$$\mathrm{k}_{\mathrm{cp}} = \frac{\mathrm{TA}_0}{\sum_{j=1}^{m-1} \mathrm{i}_j}. \tag{10}$$

По значению среднего коэффициента точности размерной цепи k_{cp} по таблице 3 находят ближайший квалитет. По этому квалитету назначают допуски на все составляющие размеры и проверяют, выполняется ли формула (4). Если она не выполняется, то на один размер, называемый *звеном увязки*, корректируют допуск таким образом, чтобы формула (4) выполнялась. После корректировки допусков назначают предельные отклонения на все составляющие размеры кроме звена увязки. Предельное отклонение звена увязки рассчитывают по формулам (7) и (8). При назначении предельных отклонений руководствуются принципом назначать допуск в тело металла

Вероятностный метод расчета размерных цепей



С доверительной вероятностью $P = 0{,}9973$

$$TA_j = 6\ \sigma_j ,$$

где σ_j − это среднее квадратическое отклонение.

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} \sigma_j^2} ,$$

$$\mathrm{TA}_0^{\text{вер}} = \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} \mathrm{TA}_j^2} . \tag{11}$$

Формула (11) выражает сущность расчета размерной цепи вероятностным методом: допуски складываются квадратически.

Следует помнить, что у 0,027% деталей размеры могут оказаться за пределами поля допуска. Если такой риск допустим, то можно использовать вероятностный метод; если недопустим (связан с опасностью для жизни людей) – то метод максимума-минимума.

1. задача анализа (проверочный расчет)

Определяют допуск по формуле (11):

$$\mathrm{TA}_0^{\text{вер}} = \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} \mathrm{TA}_j^2} .$$

Определяют координаты середины поля допуска звена

$$\mathrm{Ec}(\mathrm{A}_0) = \sum_{j=1}^{n} \mathrm{Ec}(\mathrm{A}_j)_{\text{ув}} - \sum_{j=n+1}^{p} \mathrm{Ec}(\mathrm{A}_j)_{\text{ум}} , \tag{12}$$

$$\mathrm{Es}(\mathrm{A}_0) = \mathrm{Ec}(\mathrm{A}_0) + \frac{\mathrm{TA}_0^{\text{вер}}}{2} , \tag{13}$$

$$\mathrm{Ei}(\mathrm{A}_0) = \mathrm{Ec}(\mathrm{A}_0) - \frac{\mathrm{TA}_0^{\text{вер}}}{2} . \tag{14}$$

Формулы (7) и (8) не выполняются.

2. задача синтеза

а) способ равных допусков

$$TA_1 = TA_2 = ... = TA_j \, ,$$

$$TA_0 = \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} TA_j^2} = TA_j \; \sqrt{m-1} \, ,$$

$$\mathrm{TA}_{\mathrm{j}}^{\text{вер}} = \frac{\mathrm{TA}_0}{\sqrt{\mathrm{m}-1}} \, . \qquad (15)$$

б) способ равноточных допусков

$$\mathrm{TA}_0 = \sqrt{\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{m}-1} \mathrm{TA}_{\mathrm{j}}^2} = \sqrt{\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{m}-1} \mathrm{k}_{\mathrm{j}}^2 \; \mathrm{i}_{\mathrm{j}}^2} = \mathrm{k}_{\text{ср}} \; \sqrt{\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{m}-1} \mathrm{i}_{\mathrm{j}}^2} \, ,$$

$$\mathrm{k}_{\text{ср}}^{\text{вер}} = \frac{\mathrm{TA}_0}{\sqrt{\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{m}-1} \mathrm{i}_{\mathrm{j}}}} \, . \qquad (16)$$

Вероятностный метод по сравнению с методом максимума-минимума позволяет:

1. при решении задачи анализа получить более узкий, но более вероятный допуск замыкающего звена.

$$TA_j = 0{,}1 \text{ мм},$$

$$m - 1 = 4 \, ,$$

$$TA_0^{\max-\min} = 4 \; 0{,}1 = 0{,}4 \text{ мм},$$

$$\mathrm{TA}_0^{\text{вер}} = \sqrt{4 \; 0{,}1^2} = 2 \; 0{,}1 = 0{,}2 \text{ мм}.$$

2. при решении задачи синтеза при том же допуске замыкающего звена назначить более широкие допуски составляющих звеньев.

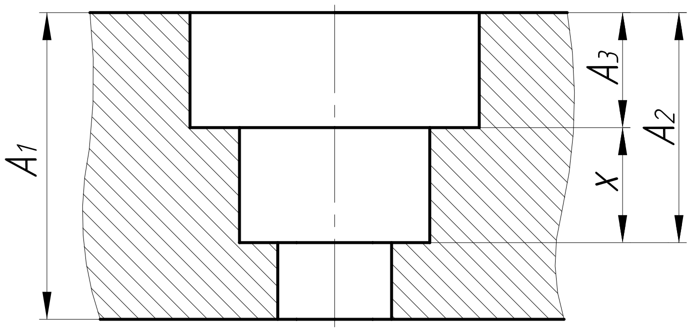
$$TA_0 = 0{,}8 \text{ мм},$$

$$m - 1 = 4 \, ,$$

$$TA_j^{\max-\min} = \frac{0{,}8}{4} = 0{,}2 \text{ мм},$$

$$\mathrm{TA}_{\mathrm{j}}^{\text{вер}} = \frac{\mathrm{TA}_0}{\sqrt{\mathrm{m}-1}} = \frac{0{,}8}{\sqrt{4}} = 0{,}4 \text{ мм}.$$

Пример 1.



Последовательность обработки: $A_1 - A_2 - A_3$.

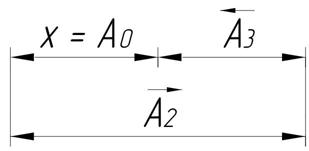
$$A_1 = 80_{-0,3},$$

$$A_2 = 60^{+0,3},$$

$$A_3 = 30^{+0,2}.$$

Определить *x*.

Решение.



$$x = \overrightarrow{A}_2 - \overleftarrow{A}_3 = 60 - 30 = 30 \text{ мм}.$$

1. метод максимума-минимума

$$\mathrm{Es}(x) = \mathrm{Es}\left(\overrightarrow{A}_2\right) - \mathrm{Ei}\left(\overleftarrow{A}_3\right) = 0,3 - 0 = 0,3 \text{ мм},$$

$$\mathrm{Ei}(x) = \mathrm{Ei}\left(\overrightarrow{A}_2\right) - \mathrm{Es}\left(\overleftarrow{A}_3\right) = 0 - 0,2 = -0,2 \text{ мм},$$

$$x = 30^{+0,3}_{-0,2}.$$

Проверка: $Tx = \quad TA_j = TA_2 + TA_3 = 0,3 + 0,2 = 0,5$ мм.

2. вероятностный метод

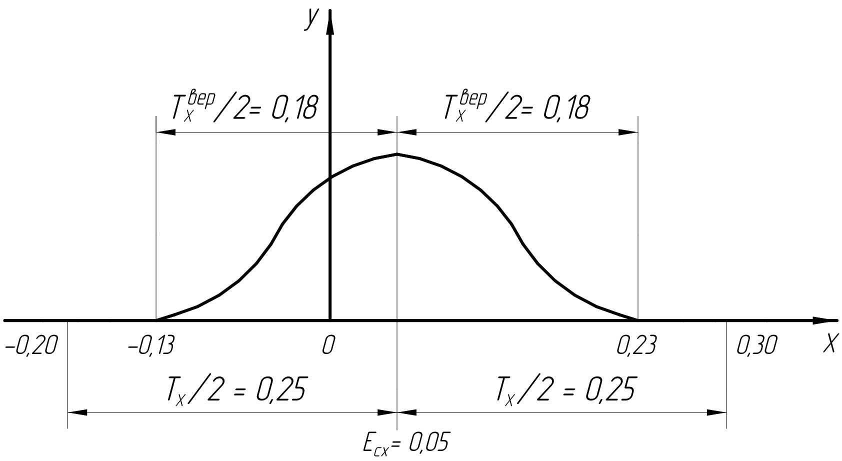
$$T_x^{\text{вер}} = \sqrt{TA_2^2 + TA_3^2} = \sqrt{0,3^2 + 0,2^2} = 0,36 \text{ мм},$$

$$\mathrm{Ec}(x) = \mathrm{Ec}\left(\overrightarrow{A}_2\right) - \mathrm{Ec}\left(\overleftarrow{A}_3\right) = 0,15 - 0,1 = 0,05 \text{ мм},$$

$$\mathrm{Es}(x) = \mathrm{Ec}(x) + \frac{T_x^{\text{вер}}}{2} = 0,05 + \frac{0,36}{2} = 0,23 \text{ мм},$$

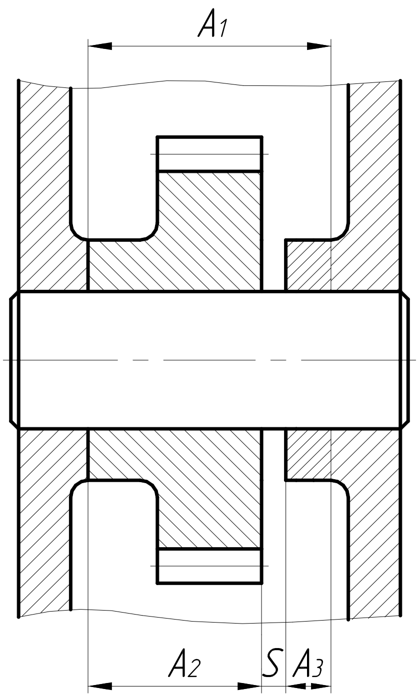
$$\mathrm{Ei}(x) = \mathrm{Ec}(x) - \frac{T_x^{\text{вер}}}{2} = 0,05 - \frac{0,36}{2} = -0,13 \text{ мм},$$

$$x = 30^{+0,23}_{-0,13}.$$



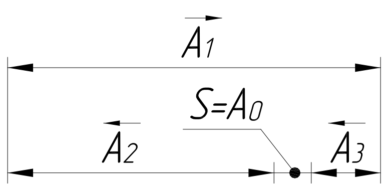
Вероятностный метод позволяет получить более узкий допуск замыкающего звена по сравнению с методом максимума-минимума.

Пример 2.



$$A_1 = 60\text{ мм},$$
$$A_2 = 50\text{ мм},$$
$$A_3 = 10\text{ мм},$$
$$S = 0{,}1 \ldots 0{,}2\text{ мм}.$$

Решение.



$$S = 0^{+0,2}_{+0,1}.$$

Это задача синтеза (проектный расчет). Решаем ее способом равноточных допусков.

$$\mathrm{k}_{\text{ср}} = \frac{\mathrm{TA}_0}{\mathrm{ij}} = \frac{100}{1,88 + 1,56 + 0,9} = 23,4 \;\rightarrow\; IT8:\; k = 25.$$

	$IT8$	Корректировка
$A_1 = 60$ мм	46	46
$A_2 = 50$ мм	39	39
$A_3 = 10$ мм	22	15
	107	$TA_0 = 100$

$$A_1 = 60^{+0,046},$$

$$A_2 = 50_{-0,039},$$

$$\mathrm{Es}(\mathrm{S}) = \mathrm{Es}(\vec{\mathrm{A}}_1) - \left[\mathrm{Ei}(\overleftarrow{\mathrm{A}}_2) + \mathrm{Ei}(\overleftarrow{\mathrm{A}}_3)\right],$$

$$0,2 = 0,046 - \left[-0,039 + E_i(A_3)\right],$$

$$\mathrm{Ei}(\mathrm{A}_3) = -0,115 \text{ мм},$$

$$\mathrm{Ei}(\mathrm{S}) = \mathrm{Ei}(\vec{\mathrm{A}}_1) - \left[\mathrm{Es}(\overleftarrow{\mathrm{A}}_2) + \mathrm{Es}(\overleftarrow{\mathrm{A}}_3)\right],$$

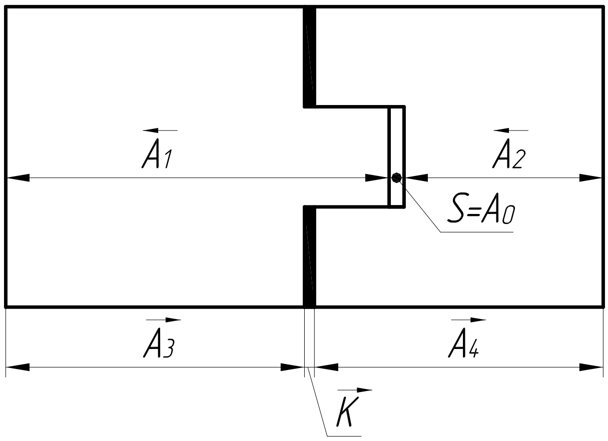
$$0,1 = 0 - \left[0 + \mathrm{Es}(\overleftarrow{\mathrm{A}}_3)\right],$$

$$\mathrm{Es}(\mathrm{A}_3) = -0,1 \text{ мм},$$

$$A_3 = 10^{-0,100}_{-0,115}.$$

Расчет размерных цепей методом регулирования

При методе регулирования составляющие размеры обрабатывают с расширенными технологически легко выполнимыми точностями, а заданная точность замыкающего звена получают изменением размеров (регулированием) одного из заранее выбранных звеньев, называемого *компенсатором*. В качестве компенсаторов используют наборы прокладок, клинья и т.п.



Номинальный размер компенсатора *K*

$$A_0 = \sum_{j=1}^{n} A_{j\ ув} - \sum_{j=n+1}^{p} A_{j\ ум} \pm K, \qquad (1)$$

где "+" − при *K* – увеличивающее звено; "-" − при *K* – уменьшающее звено.

Предельные отклонения компенсатора:

а) *K* – увеличивающее звено

$$Es(A_0) = \sum_{j=1}^{n} Es(A_j)_{ув} - \sum_{j=n+1}^{p} Ei(A_j)_{ум} + Ei(K), \qquad (2)$$

$$Ei(A_0) = \sum_{j=1}^{n} Ei(A_j)_{ув} - \sum_{j=n+1}^{p} Es(A_j)_{ум} + Es(K), \qquad (3)$$

б) *K* – уменьшающее звено

$$Es(A_0) = \sum_{j=1}^{n} Es(A_j)_{ув} - \sum_{j=n+1}^{p} Ei(A_j)_{ум} - Es(K), \qquad (4)$$

$$Ei(A_0) = \sum_{j=1}^{n} Ei(A_j)_{ув} - \sum_{j=n+1}^{p} Es(A_j)_{ум} - Ei(K). \qquad (5)$$

Вычитая (3) из (2) или (5) из (4), получим:

$$TA_0 = \sum_{j=1}^{m-1} TA_j + Ei(K) - Es(K) = \sum TA_j - [Es(K) - Ei(K)],$$

$$TA_0 = \sum_{j=1}^{m-1} TA_j - V_K, \qquad (6)$$

где $V_K = Es(K) - Ei(K)$ − это диапазон регулирования компенсатора.

Из формулы (6) следует, что метод регулирования используется в том случае, если

$$\sum_{j=1}^{m-1} TA_j > TA_0.$$

Расчет числа и толщины прокладок компенсатора

Компенсатор выпускаются в виде набора прокладок двух типов:

1. одна постоянная прокладка $S_{пост}$ и несколько сменных прокладок одинаковой толщины *S*;
2. несколько прокладок разной толщины.

$\mathrm{S}_{\text{пост}} \quad \mathrm{K}_{\min}$ из стандартного ряда $Ra10$, $Ra20$, $Ra40$.

Толщина сменной прокладки:

$$S < TA_0 .$$

Поэтому число прокладок

$$N = \frac{V_K}{TA_0} + 1$$

округляем до целого числа в меньшую сторону.

$$S = \frac{V_K}{N}$$

округляем в меньшую сторону до стандартного значения из ряда $Ra10$.

Проверка:

$$\mathrm{S}_{\text{пост}} + \mathrm{N} \quad \mathrm{S} \quad \mathrm{K}_{\max} ,$$

$$\mathrm{S}_1 = \mathrm{S}_{\text{пост}} ,$$

$$\mathrm{S}_2 = \mathrm{S}_{\text{пост}} + \mathrm{S} ,$$

$$\mathrm{S}_3 = \mathrm{S}_{\text{пост}} + 2\mathrm{S} .$$

Преимущества метода регулирования:

1. при решении задачи анализа позволяет получить более узкий допуск замыкающего звена при тех же допусках составляющих звеньев (по сравнению с методом максимума-минимума);
2. при решении задачи синтеза позволяет при том же допуске замыкающего звена назначить более широкие допуски составляющих звеньев.

Недостатки:

1. усложняется конструкция узла из-за использования дополнительных деталей;
2. увеличивается трудоемкость сборки.

Пример выполнения ДЗ номер 2.

См. эскиз I.

Обработка размеров L_1, L_3, L_5, L_6 производится по $IT10$.

L_1 по $js10$.

Величина размера L_6 равна половине длины ступицы зубчатого колеса.

$$TL_6 = \frac{1}{2} T\left(2L_6\right)$$

L_0 − это допускаемое смещение плоскости колеса передачи;

L_7 − допуск радиального биения червяка относительно его подшипников;

L_8 − допуск торцового биения средней плоскости червячного колеса;

L_2 − компенсатор.

$L_0 = \pm 0{,}085$ мм,

$L_1 = 100$ мм,

$L_4 = 29{,}5_{-0{,}5}$,

$L_3 = 10$ мм,

$L_5 = 62$ мм,

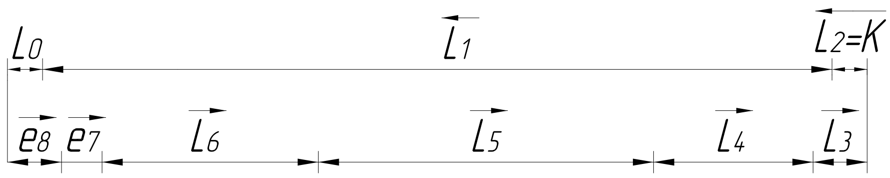
$L_6 = 40$ мм,

$L_7 = 0{,}015$ мм,

$L_8 = 0{,}02$ мм.

Решение.

1. схема размерной цепи



2. назначаем предельные отклонения на составляющие размеры (в тело металла):

$L_1 = 100 \pm 0{,}08$ (по $js10$),

$L_3 = 10_{-0{,}058}$ (по $h10$),

$L_5 = 62_{-0{,}12}$ (по $h10$),

$L_6 = 40_{-0{,}06}$,

$$T(2L_6) = T(80) = 120 \text{ мкм},$$

$$TL_6 = \frac{1}{2} T(2L_6) = 60 \text{ мкм},$$

$$e_7 = \pm \frac{L_7}{2} = \pm \frac{0{,}015}{2} = \pm 0{,}0075 \text{ мм},$$

$$e_8 = \pm \frac{L_8}{2} = \pm \frac{0{,}02}{2} = \pm 0{,}01 \text{ мм}.$$

$$L_0 = \quad L_{jув} - \quad L_{jум} - K,$$

$$0 = (10 + 29{,}5 + 62 + 40 + 0 + 0) - 100 - K,$$

$$K = 1{,}5 \text{ мм}.$$

4. находим предельные отклонения компенсатора

$$\mathrm{Es}(\mathrm{L}_0) = \quad \mathrm{Es}(\mathrm{L}_\mathrm{j})_{\text{ув}} - \quad \mathrm{Ei}(\mathrm{L}_\mathrm{j})_{\text{ум}} - \mathrm{Es}(\mathrm{K}),$$

$$0{,}085 = (0 + 0 + 0 + 0{,}0075 + 0{,}01) - (-0{,}08) - E_s(K),$$

$$\mathrm{Es}(\mathrm{K}) = +0{,}0125\ \text{мм};$$

$$\mathrm{Ei}(\mathrm{L}_0) = \quad \mathrm{Ei}(\mathrm{L}_\mathrm{j})_{\text{ув}} - \quad \mathrm{Es}(\mathrm{L}_\mathrm{j})_{\text{ум}} - \mathrm{Ei}(\mathrm{K}),$$

$$-0{,}085 = (-0{,}058 - 0{,}5 - 0{,}12 - 0{,}06 - 0{,}0075 - 0{,}01) - 0{,}08 - E_i(K),$$

$$\mathrm{Ei}(\mathrm{K}) = -0{,}7505\ \text{мм};$$

$$K = 1{,}5^{+0,0125}_{-0,7505},$$

$$K_{\max} = 1{,}5125\ \text{мм},$$

$$K_{\min} = 0{,}7495\ \text{мм},$$

$$V_K = K_{\max} - K_{\min} = 1{,}5125 - 0{,}7495 = 0{,}763\ \text{мм}.$$

Проверка:

$$TA_0 = \quad TA_j - V_K,$$

$$0{,}17 = 0{,}16 + 0{,}058 + 0{,}5 + 0{,}12 + 0{,}06 + 0{,}015 + 0{,}02 - 0{,}763,$$

$$0{,}17 = 0{,}17.$$

6. определяем число и толщину прокладок компенсатора

$$N = \frac{V_K}{TA_0} + 1 = \frac{0{,}763}{0{,}17} + 1 = 4{,}5 + 1 = 5{,}5 \approx 6,$$

$$S = \frac{V_K}{N} = \frac{0{,}763}{6} = 0{,}128\ \text{мм},$$

$$S = 0{,}12\ \text{мм из ряда } Ra10,$$

$$\mathrm{S}_{\text{пост}} \quad \mathrm{K}_{\min} = 0{,}7495\ \text{мм},$$

$$\mathrm{S}_{\text{пост}} = 0{,}71\ \text{мм из ряда } Ra40.$$

Проверка:

$$\mathrm{S}_{\text{пост}} + \mathrm{N} \quad \mathrm{S} \quad \mathrm{K}_{\max},$$

$$0{,}71 + 6 \quad 0{,}12 = 1{,}43\ \text{мм} < K_{\max} = 1{,}5125\ \text{мм}.$$

Увеличиваем число прокладок: $N = 7$.

$$0{,}71 + 7 \quad 0{,}12 = 1{,}55\ \text{мм} > K_{\max} = 1{,}5125\ \text{мм},$$

$$S_1 = 0{,}71\,\text{мм},$$

$$S_2 = 0{,}83\,\text{мм},$$

$$S_3 = 0{,}95\,\text{мм}.$$

Пример 2.

Назначить допуски и предельные отклонения для двух вариантов обработки вала:

а) l_1, l_2, l_3, l_4;

б) l_1, l_2, l_3, l_5.

$l_1 = 190\,\text{мм}$,

$l_2 = 78\,\text{мм}$,

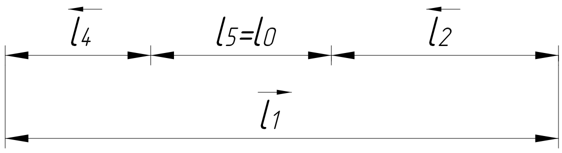
$l_3 = 40\,\text{мм}$,

$l_4 = 50\,\text{мм}$,

$l_5 = 62_{-0{,}12}$ (по $IT10$).

Решение.

а) l_1, l_2, l_3, l_4



Исходный размер: $l_5 = l_0 = 62_{-0{,}12}$.

Это задача синтеза. Решаем ее способ равноточных допусков.

$$k_{ср} = \frac{TA_0}{\sum_{j=1}^{m-1} i_j} = \frac{120}{2{,}90 + 1{,}88 + 1{,}56} = \frac{120}{6{,}34} = 18 \text{ (по таблице 2)},$$

$$IT7 \rightarrow k_{ср} = 16 \text{ (по таблице 3)},$$

$$IT8 \rightarrow k_{ср} = 25.$$

$IT7$	$IT8$	Корректировка
46	72	46
30	46	30
25	39	44
$101 < Tl_0 = 120$	$157 > Tl_0 = 120$	$120 = Tl_0$

Назначаем предельные отклонения на все размеры кроме звена увязки (в тело металла):

$$l_1 = 190_{-0{,}046},$$

$$l_2 = 78^{+0,03},$$

$$\mathrm{Es}(\mathrm{l}_0) = \mathrm{Es}(\vec{\mathrm{l}}_1) - [\mathrm{Ei}(\overleftarrow{\mathrm{l}}_2) + \mathrm{Ei}(\overleftarrow{\mathrm{l}}_4)],$$

$$0 = 0 - [0 + \mathrm{Ei}(\mathrm{l}_4)],$$

$$\mathrm{Ei}(\mathrm{l}_4) = 0;$$

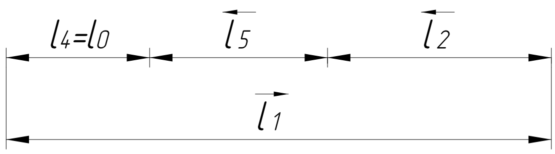
$$\mathrm{Ei}(\mathrm{l}_0) = \mathrm{Ei}(\vec{\mathrm{l}}_1) - [\mathrm{Es}(\overleftarrow{\mathrm{l}}_2) + \mathrm{Es}(\overleftarrow{\mathrm{l}}_4)],$$

$$-0,12 = -0,046 - [0,03 + E_s(l_4)],$$

$$\mathrm{Es}(\mathrm{l}_4) = +0,044\ \text{мм},$$

$$l_4 = 50^{+0,044}.$$

б) l_1, l_2, l_3, l_5



Исходный размер $l_5 = 62_{-0,12}$ является составляющим, а не замыкающим. Поэтому на все составляющие размеры назначаем допуски по тому же квалитету, что и на размер l_5, т.е. по $IT10$.

$$l_1 = 190_{-0,185},$$

$$l_2 = 78^{+0,12},$$

$$l_3 = 40^{+0,1}.$$

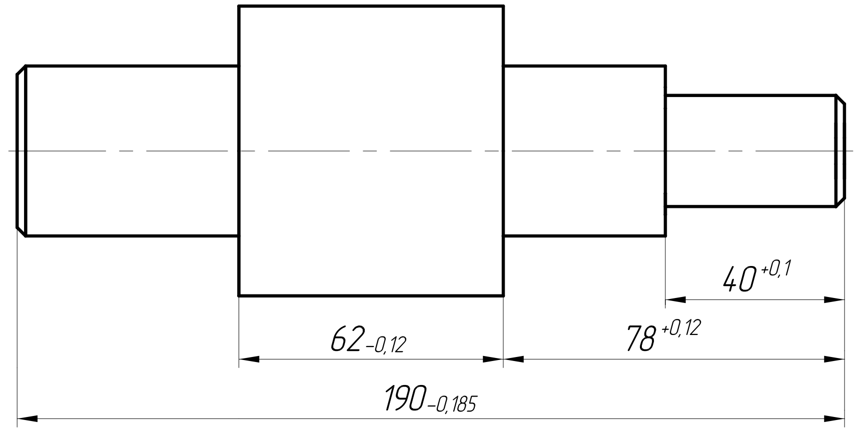
Определим замыкающий размер:

$$\mathrm{Es}(\mathrm{l}_4) = \mathrm{Es}(\mathrm{l}_0) = \mathrm{Es}(\vec{\mathrm{l}}_1) - [\mathrm{Ei}(\overleftarrow{\mathrm{l}}_2) + \mathrm{Ei}(\overleftarrow{\mathrm{l}}_5)] = 0 - [0 - 0,12] = +0,12\ \text{мм},$$

$$\mathrm{Ei}(\mathrm{l}_4) = \mathrm{Ei}(\mathrm{l}_0) = \mathrm{Ei}(\vec{\mathrm{l}}_1) - [\mathrm{Es}(\overleftarrow{\mathrm{l}}_2) + \mathrm{Es}(\overleftarrow{\mathrm{l}}_5)] = -0,185 - [0,12 + 0] = -0,305\ \text{мм},$$

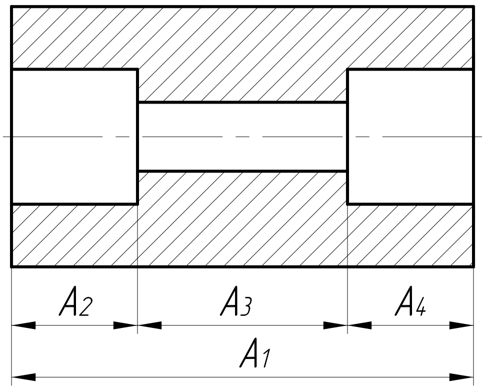
$$l_4 = 50^{+0,120}_{-0,305}.$$

Вывод: вариант обработки б) экономически более выгодный, т.к. размеры обрабатываются с большими допусками ($IT10$ вместо $IT7$).


40 +0,1
62 −0,12
78 +0,12
190 −0,185

Примеры решения задач

Пример 1.



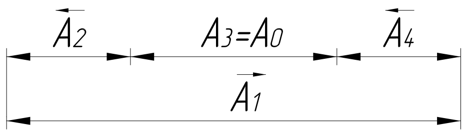
Последовательность обработки: $A_1 - A_2 - A_4$.

$$A_2 = A_4 = 30^{+0,1},$$

$$A_3 = 50 \pm 0,15.$$

Определить A_1 вероятностным методом.

Решение.



$$TA_0 = \sqrt{\quad TA_j^2} = \sqrt{TA_1^2 + TA_2^2 + TA_4^2},$$

$$0,3 = \sqrt{TA_1^2 + 0,1^2 + 0,1^2},$$

$$TA_1 = \sqrt{0,3^2 - 2\ \ 0,1^2} = 0,264\,\text{мм};$$

$$\mathrm{Ec}(\mathrm{A}_0) = \mathrm{Ec}(\vec{\mathrm{A}}_1) - \left[\mathrm{Ec}(\overleftarrow{\mathrm{A}}_2) + \mathrm{Ec}(\overleftarrow{\mathrm{A}}_4)\right],$$

$$0 = \mathrm{Ec}(\mathrm{A}_1) - (0,05 + 0,05),$$

$$\mathrm{Ec}(\mathrm{A}_1) = 0,1\,\text{мм};$$

$$\mathrm{Es}(\mathrm{A}_1) = \mathrm{Ec}(\mathrm{A}_1) + \frac{\mathrm{TA}_1}{2} = 0,1 + \frac{0,264}{2} = 0,232\,\text{мм},$$

$$\mathrm{Ei}(\mathrm{A}_1) = \mathrm{Ec}(\mathrm{A}_1) - \frac{\mathrm{TA}_1}{2} = 0,1 - \frac{0,264}{2} = -0,034\,\text{мм};$$

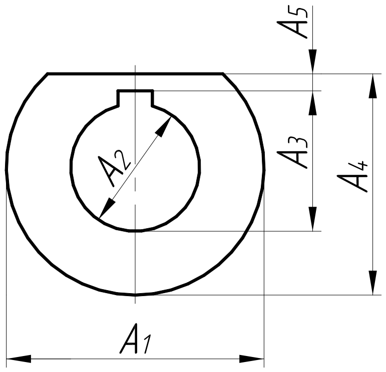
$$A_0 = \vec{A}_1 - \left(\overleftarrow{A}_2 + \overleftarrow{A}_4\right),$$

$$50 = A_1 - 2\ \ 30,$$

$$A_1 = 110\,\text{мм}.$$

Ответ: $A_1 = 110^{+0,232}_{-0,034}$.

Пример 2.



Последовательность обработки: $A_1 - A_2 - A_3 - A_4$.

$$A_1 = \varnothing 60^{-0,1}_{-0,2},$$

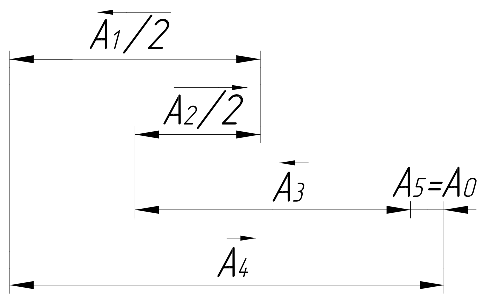
$$A_2 = \varnothing 30^{+0,2},$$

$$A_3 = 33^{+0,1},$$

$$A_4 = 52_{-0,1}.$$

Определить A_5.

Решение.



$$\frac{A_1}{2} = 30^{-0,05}_{-0,01},$$

$$\frac{A_2}{2} = 15^{+0,1};$$

$$A_0 = A_5 = \quad \frac{\vec{A}_2}{2} + \vec{A}_4 \quad - \quad \frac{\overleftarrow{A}_1}{2} + \overleftarrow{A}_3 \quad = (15 + 52) - (30 + 33) = 4 \text{ мм},$$

$$\mathrm{Es}(\mathrm{A}_0) = \mathrm{Es}(\mathrm{A}_5) = \quad \mathrm{Es} \; \frac{\vec{\mathrm{A}}_2}{2} \; + \mathrm{Es}(\vec{\mathrm{A}}_4) \; - \; \mathrm{Ei} \; \frac{\overleftarrow{\mathrm{A}}_1}{2} \; + \mathrm{Ei}(\overleftarrow{\mathrm{A}}_3) \; ,$$

$$\mathrm{Es}(\mathrm{A}_5) = [0,1 + 0] - [-0,1 + 0] = +0,2 \text{ мм},$$

$$\mathrm{Ei}(\mathrm{A}_0) = \mathrm{Ei}(\mathrm{A}_5) = \ \mathrm{Ei}\ \frac{\vec{\mathrm{A}}_2}{2}\ + \mathrm{Ei}(\vec{\mathrm{A}}_4)\ -\ \mathrm{Es}\ \frac{\overleftarrow{\mathrm{A}}_1}{2}\ + \mathrm{Es}(\overleftarrow{\mathrm{A}}_3)\ ,$$

$$\mathrm{Ei}(\mathrm{A}_5) = [0 - 0{,}1] - [0{,}05 + 0{,}1] = -0{,}15 \text{ мм.}$$

Ответ: $A_5 = 4^{+0,20}_{-0,15}$.