

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

В зависимости от разных квалификационных признаков можно указать несколько видов размерных цепей:

По расположению звеньев: различают размерные цепи плоские и пространственные, линейные и угловые..

По назначению: конструкторские, технологические и измерительные.

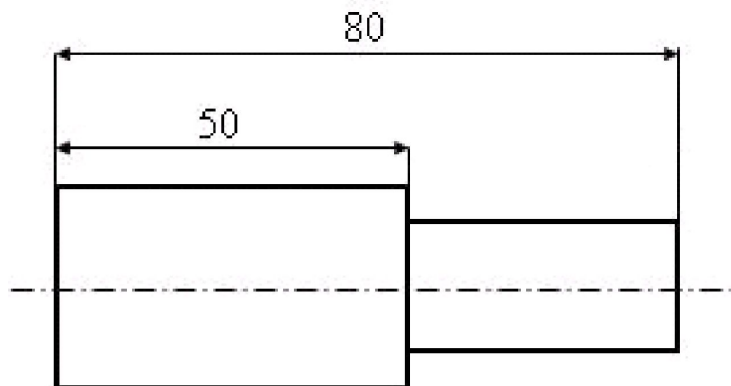
Взаимосвязь размеров элементов детали или отдельных деталей, входящих в конструкцию узла или всего механизма, составляет *размерную цепь*. По ГОСТ 16319-80, который устанавливает термины и определения на размерные цепи,

Размерной цепью называется совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи.

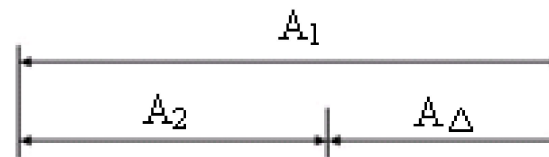
Размеры, входящие в размерную цепь, называют *составляющими звеньями*, или просто звеньями, и обозначают чаще всего прописными русскими буквами с индексами.

Замыкающим звеном называют размер (звено), получаемый в размерной цепи последним при обработке или сборке или размер, который при обработке непосредственно не выдерживается.

Например, на рис «а», показан эскиз простейшей детали, а на рис. «б» – изображение размерной цепи, состоящей из длин ее элементов. Размер, который не указан на чертеже, является замыкающим звеном (размер $A_{\Delta}=30\text{мм}$).



Деталь: а) эскиз,

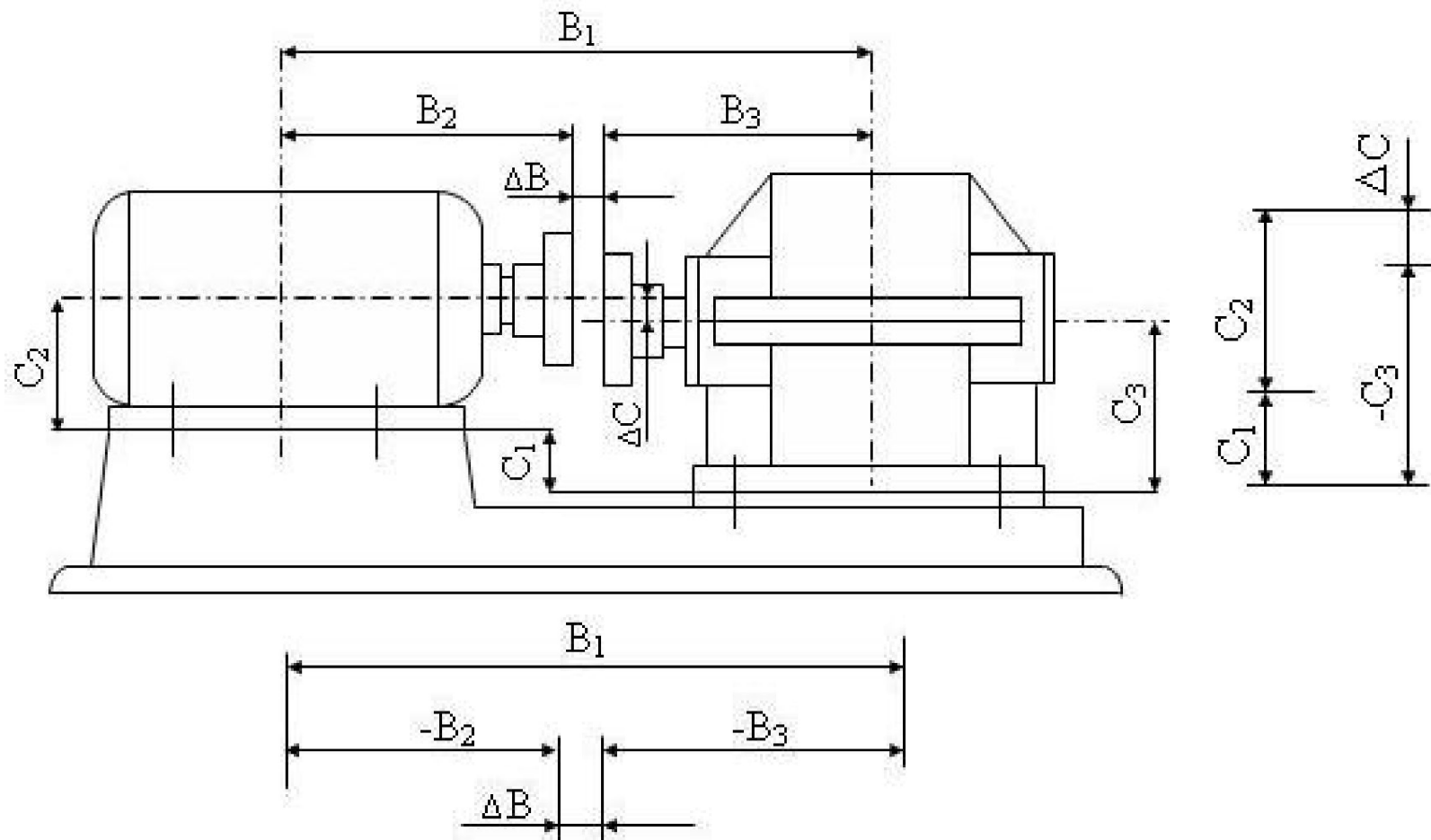


б) схема размерной цепи

Увеличивающим звеном размерной цепи называется звено, с увеличением которого размер замыкающего звена тоже увеличивается (звено A_1).

Уменьшающим звеном размерной цепи называется звено, с увеличением которого замыкающее звено уменьшается (звено A_2).

Сборочная единица "двигатель-редуктор" и схемы размерных цепей по монтажным размерам



Решение размерной цепи заключается в обеспечении точности замыкающего звена

Цель расчета этих размерных цепей заключается в нормировании точности их составляющих звеньев (размеров) так, чтобы двигатель и редуктор можно было соединить без дополнительной обработки. В горизонтальной размерной цепи звено B_{Δ} характеризует расстояние между полумуфтами в горизонтальном направлении, а в вертикальной цепи замыкающее звено C_{Δ} характеризует возможное несовпадение осей двигателя и редуктора. При обеспечении заданной точности размеров этих замыкающих звеньев монтаж редуктора и двигателя будет произведен без дополнительной подгонки.

В зависимости от исходных данных о размерах и точности звеньев размерной цепи, а также от цели, ради которой рассматриваются размеры цепи, решаются две задачи.

1. Прямая (проектировочная).

2. Обратная (проверочная).

Задача 1. Определение предельных размеров составляющих звеньев размерной цепи, если известны предельные размеры замыкающего звена и номинальные значения размеров составляющих звеньев. Когда определена конструкция узла или механизма и установлены номинальные размеры всех деталей, а также стали известны требования к точности замыкающего (исходного) звена – например, известен необходимый зазор, который следует обеспечить при сборке, то при решении такой задачи необходимо определить требования к точности составляющих звеньев (задать допуски на размеры, т.е. установить их предельные значения).

Задача 2. Определение *предельных размеров замыкающего звена* размерной цепи (т. е. точности этого звена), когда известны предельные размеры остальных составляющих звеньев.

В этой задаче необходимо определить, какие предельные значения размера будут у замыкающего звена при заданных предельных размерах составляющих звеньев, и соберется ли узел при принятой точности составляющих звеньев.

При решении этих двух задач возможны два подхода по ГОСТ 16320-80:

1. Обеспечивающий *полную взаимозаменяемость (метод расчета на максимум-минимум)*.

В этом случае следует так учитывать требования к точности составляющих звеньев, чтобы при любом сочетании годных по размерам составляющих звеньев была достигнута цель решения размерной цепи. Например, все детали, которые в размерной цепи являются *увеличивающими звеньями*, имеют наибольшие предельные размеры, а детали, которые в размерной цепи являются *уменьшающими звеньями* имеют наименьшие предельные размеры, или в случае, когда *увеличивающие звенья* имеют наименьшие предельные размеры, а *уменьшающие звенья* имеют наибольшие предельные размеры, и эти детали поступили на сборку, то в обоих случаях будет обеспечена точность замыкающего звена в заданных пределах.

2. Обеспечивающий *неполную взаимозаменяемость (вероятностный метод)*.

Расчет точности размерных цепей при обеспечении полной взаимозаменяемости (метод максимума-минимума)

Задача 1(прямая).

Пусть *известен номинальный размер и допуск замыкающего звена (исходного звена) и номинальные размеры всех составляющих звеньев и требуется определить допуски и отклонения составляющих звеньев.* Эта задача может быть решена двумя способами.

Способ 1 – Назначение **равных допусков на все звенья** размерной цепи.

Этот способ используется в тех случаях, когда **размеры всех составляющих звеньев примерно одинаковы**, например, находятся в одном интервале размеров системы допусков и посадок, а следовательно, могут быть изготовлены с примерно одинаковыми экономическими затратами. При этих условиях допуски всех составляющих звеньев принимают одинаковые, которые определяют делением допуска замыкающего звена на число составляющих звеньев, без замыкающего:

$$T_{A_i} = T_{A_{\Delta}} / (m - 1), (1)$$

T_{A_i} – допуски составляющих звеньев; $T_{A_{\Delta}}$ – допуск замыкающего звена;

m – число составляющих звеньев размерной цепи.

После этого производится корректировка допусков. При корректировке следует назначать большие допуски на те звенья размерной цепи, которые действительно сложнее для изготовления, чем остальные, а на другие звенья, более простые в изготовлении – меньшие.

Затем проводится проверочный расчет, т. е. необходимо убедиться, что допуск замыкающего звена равен сумме допусков составляющих звеньев.

Способ 2 – назначение допусков на размеры звеньев из **одного ряда точности (по одному качеству)**. При этом способе решения, в отличие от предыдущего, учитывается, что номинальные размеры составляющих звеньев не находятся в одном интервале размеров и необходимо на все звенья назначить допуски по одному качеству.

Решение задачи сводится к нахождению того качества, по которому следует назначить допуски на составляющие звенья. Для нахождения качества надо найти число единиц допуска «а», характеризующее определенный качество, так как: $T_A = a \cdot i$.

Значение «а» устанавливается для каждого качества по ГОСТ 25846-89. Поскольку допуск замыкающего звена равен сумме допусков составляющих звеньев, т. е.: $T_{A\Delta} = \sum T_{A_i} = \sum a \cdot i$, то: $a = T_{A\Delta} / \sum i$,
i – единица допуска, мкм;

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

Значение единицы допуска для различных интервалов размеров

Интервалы размеров, мм	до 3	3...6	6...10	10...18	18...30	30...50	50...80	80...120	120...180	180...250
Значение <i>i</i> , мм	0,55	0,73	0,90	1,08	1,31	1,56	1,80	2,17	2,52	2,90

Значение числа единиц допуска для разных качеств

Значение качества	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Число единиц допуска «а»	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640

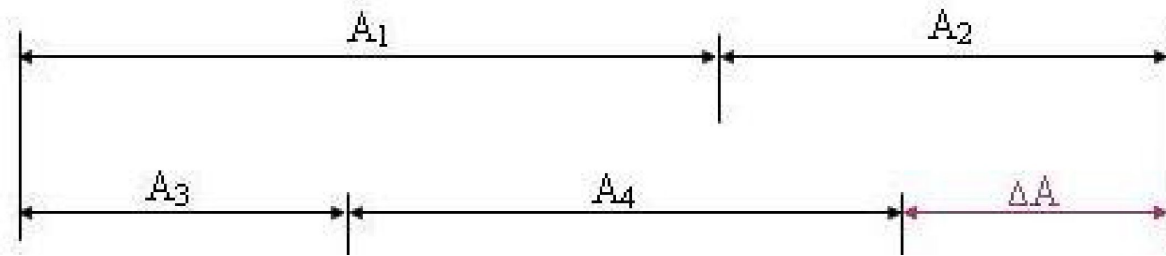
Полученное таким образом число единиц допуска «а» при решении конкретной задачи может не совпадать со значением, которое принято в стандартах для определенного качества. Поэтому выбирается ближайший качество, по которому назначаются стандартные допуски в соответствии с номинальными размерами составляющих звеньев.

Затем проводится корректировка. Если был принят более точный квалитет, чем получился по расчету, то сумма допусков составляющих звеньев будет меньше, чем допуск замыкающего звена, а если был взят более грубый квалитет, то сумма допусков будет больше, чем допуск замыкающего звена. Корректировка сводится к тому, что на более сложные в изготовлении звенья раз мерной цепи назначаются большие допуски, а на относительно простые – меньшие. После корректировки опять необходимо провести проверочный расчет, т. е. убедиться, что сумма допусков размеров, составляющих размерную цепь, меньше или равна допуску замыкающего звена. Обычно предельные отклонения для размеров увеличивающих звеньев принимаются со знаком (+), а для размеров уменьшающих звеньев – со знаком (–) и численно равные допуску.

Задача 2 (обратная).

Известны *предельные допустимые значения всех составляющих звеньев* и требуется определить возможные *предельные размеры замыкающего звена*.

Пример решения размерной цепи, показанной на рисунке:



1. Определяем номинальный размер замыкающего звена:

$$A_{\Delta} = (A_1 + A_2) - (A_3 + A_4), \text{ т. е. } A_{\Delta} = \sum A_{ув} - \sum A_{ум}.$$

Таким образом, номинальный размер замыкающего звена равен разности сумм номинальных размеров увеличивающих и уменьшающих звеньев.

2. Определяем допуск замыкающего звена:

$$A_{\Delta нб} = A_{1нб} + A_{2нб} - A_{3нм} - A_{4нм} ,$$

$$A_{\Delta нм} = A_{1нм} + A_{2нм} - A_{3нб} - A_{4нб} .$$

Разность между наибольшим и наименьшим размерами замыкающего звена равна допуску на это звено, так же как и разности предельных размеров составляющих звеньев равны допускам на каждый из них.

$$(A_{\Delta нб} - A_{\Delta нм}) = (A_{1нб} - A_{1нм}) + (A_{2нб} - A_{2нм}) + (A_{3нб} - A_{3нм}) + (A_{4нб} - A_{4нм})$$

или

$$TA_{\Delta} = TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4, \text{ т. е. } TA_{\Delta} = \sum TA_i.$$

Таким образом, допуск замыкающего звена равен сумме допусков составляющих звеньев. Отсюда следует, что допуск любого звена может быть выявлен, как разность между допуском замыкающего звена и суммой допусков остальных звеньев.

3. Определяем предельные отклонения замыкающего звена.

Верхнее и нижнее отклонение замыкающего звена определяются следующим образом:

$$es(ES) A_{\Delta} = \sum es(ES) A_{ув} - \sum ei(EI) A_{ум}$$

$$ei(EI) A_{\Delta} = \sum ei(EI) A_{ув} - \sum es(ES) A_{ум} .$$

Таким образом, выявлены все зависимости, необходимые для определения требований к точности замыкающего звена.

При расчете размерных цепей методом максимума минимума необходимо выделять основополагающие уравнения:

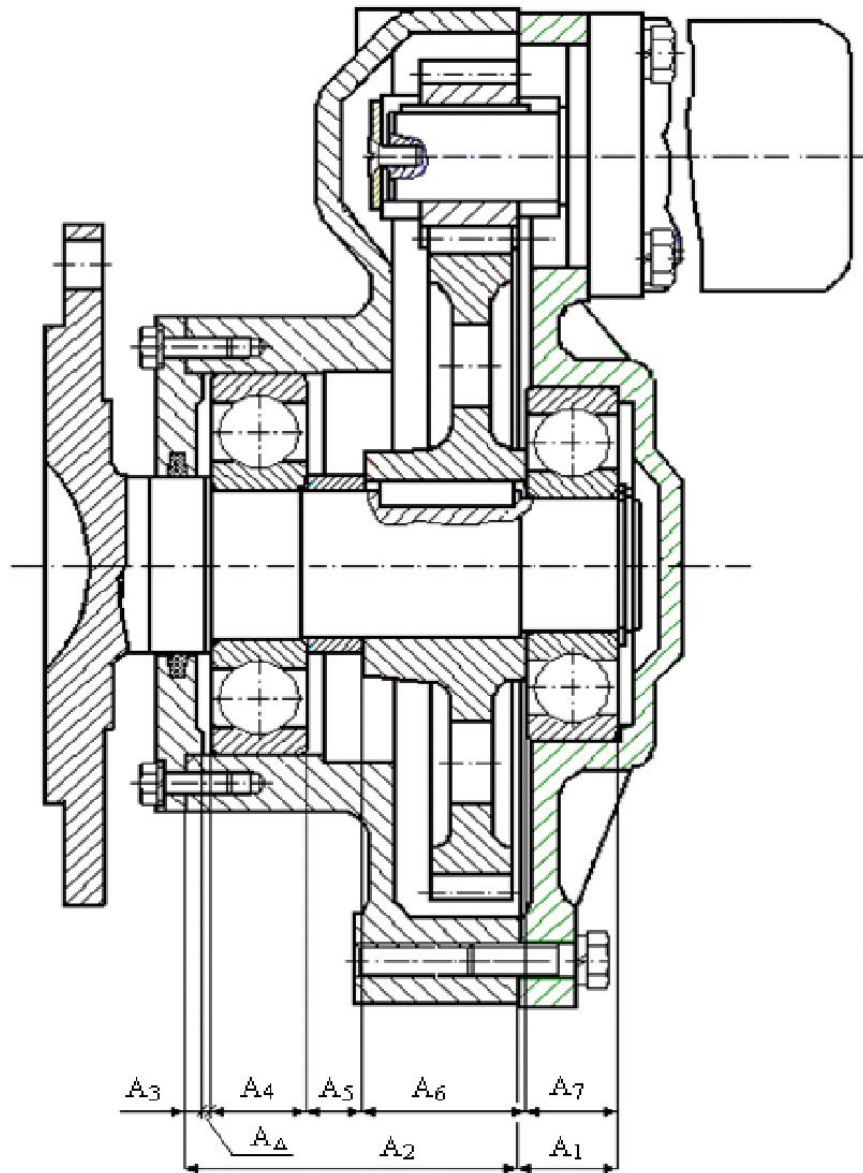
$$A_{\Delta} = \sum A_{ув} - \sum A_{ум} - \text{уравнение номиналов,}$$

$$TA_{\Delta} = \sum TA_i - \text{уравнение допуска замыкающего звена,}$$

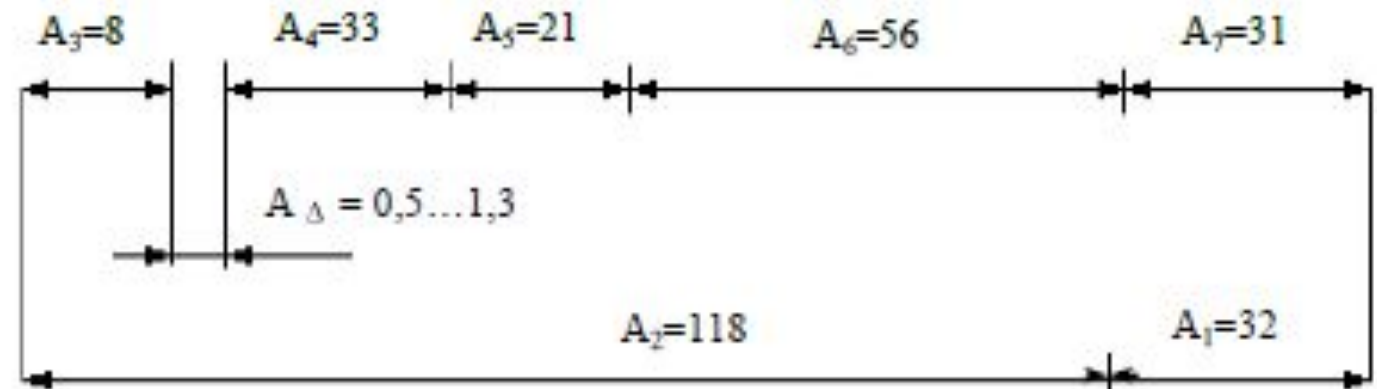
$$es(ES) A_{\Delta} = \sum es(ES) A_{ув} - \sum ei(EI) A_{ум} - \text{уравнение для определения верхнего отклонения замыкающего звена,}$$

$$ei(EI) A_{\Delta} = \sum ei(EI) A_{ув} - \sum es(ES) A_{ум} - \text{уравнение для определения нижнего отклонения замыкающего звена.}$$

Пример: Определить допуски и отклонения размеров составляющих звеньев, если известны их номинальные размеры, а также номинальный размер и допуск замыкающего звена $A_{\Delta} = 0,5 \dots 1,3$ мм.



Строим схему размерной цепи с номинальными размерами составляющих звеньев и допуском на замыкающее звено



Решаем задачу *вторым способом*, так как в нашем случае размеры составляющих звеньев сильно отличаются друг от друга. Размеры A_4 и A_7 являются шириной подшипников качения. Выбираем отклонения для «0» класса точности:

$$A_4 = 33_{-0,150}; A_7 = 31_{-0,120}.$$

Для нахождения качества необходимо найти число единиц допуска «а», так как $TA = a \cdot i$.

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

$$TA_{\Sigma} = \Sigma TA_i = \Sigma a \cdot i, \quad a = TA_{\Sigma} / \Sigma i, \quad i = 0,45 \sqrt[3]{A_i} + 0,001 \cdot A_i, \text{ мкм.}$$

Определяем величину единицы допуска (i) для каждого размера, входящего в размерную цепь по вышеприведенной формуле или выбираем значение единицы допуска для различных интервалов размеров

$$i_1 = 0,45 \sqrt[3]{32} + 0,001 \cdot 32 = 1,461 \text{ мкм,}$$

$$i_2 = 0,45 \sqrt[3]{118} + 0,001 \cdot 118 = 2,325 \text{ мкм;}$$

$$i_3 = 0,45 \sqrt[3]{8} + 0,001 \cdot 8 = 0,908 \text{ мкм,}$$

$$i_5 = 0,45 \sqrt[3]{21} + 0,001 \cdot 21 = 1,262 \text{ мкм,}$$

$$i_6 = 0,45 \sqrt[3]{56} + 0,001 \cdot 56 = 1,777 \text{ мкм.}$$

Единицы допуска для размеров A_4 и A_7 определяются как отношение значения известного допуска к числу единиц допуска «а». В нашем случае $a = 100$, что соответствует 11 качеству точности (IT11).

$$i_4 = 150/a(11) = 150/100 = 1,5 \text{ мкм; } i_7 = 120/a(11) = 120/100 = 1,2 \text{ мкм.}$$

Определяем число единиц допуска «а»:

$$a = 1000 \cdot (1,3 - 0,5) / (1,461 + 2,325 + 0,908 + 1,5 + 1,262 + 1,777 + 1,2) = 800 / 10,433 = 77$$

Полученное значение $a = 77$ находится между табличными значениями $a = 64$ (IT10) и $a = 100$ (IT11). Ближайшее табличное значение $a = 64$, которое установлено для 10 качества, поэтому величины допусков на размеры составляющих звеньев назначаем по 10 качеству.

$$A_1 = 32_{+0,100}; A_2 = 118_{+0,140}; A_3 = 8_{-0,058}; A_4 = 33_{-0,150}; A_5 = 21_{-0,084}; A_6 = 56_{-0,120}; A_7 = 31_{-0,120}.$$

Предельные отклонения для размеров увеличивающих звеньев принимаются со знаком (+), а для размеров уменьшающих звеньев – со знаком (–) и численно равные допуску.

Проверка условия: $T_A = T_{A_i}$

$$1000 \cdot (1,3 - 0,5) = 100 + 140 + 58 + 150 + 84 + 120 + 120$$

$800 = 772$ условие не выполняется (допуски занижены).

Необходимо произвести «волевою» корректировку допусков. Назначить на наиболее сложные в изготовлении звенья допуски по менее точному качеству. Или прибавить к существующему значению допуска одного из звеньев недостающую разницу ($800 - 772 = 28$ мкм) и произвести проверку условия. Допуски на ширину колец подшипников остаются неизменными.

Прибавим разницу 28 мкм к допуску на размер A_2 , т. к. этот размер является наиболее сложным в изготовлении и получим: $A_2 = 118_{+0,168}$.

Проверяем условие $T_A = T_{A_i}$: $1000 \cdot (1,3 - 0,5) = 100 + 168 + 58 + 150 + 84 + 120 + 120$
 $800 = 800$ условие выполняется.

A – увеличивающее звено размерной цепи,

A – уменьшающее звено размерной цепи.

Для того чтобы выделить уменьшающие и увеличивающие звенья в размерной цепи, поступают следующим образом: замыкающему звену условно присваивают индекс уменьшающего (стрелка направлена влево). Затем проводится мысленный обход размерного контура по этой стрелке и в направлении обхода проставляются стрелки над буквами, обозначающими составляющие звенья. Если стрелка будет направлена вправо – звено увеличивающее, а если влево – уменьшающее [11] (рис.7.8).

В литературе можно встретить следующие обозначения увеличивающих и уменьшающих звеньев:

\overrightarrow{A} – увеличивающее звено размерной цепи,
 \overleftarrow{A} – уменьшающее звено размерной цепи.

Для того чтобы выделить уменьшающие и увеличивающие звенья в размерной цепи, поступают следующим образом- замыкающему звену условно присваивают индекс уменьшающего (стрелка направлена влево). Затем проводится мысленный обход размерного контура по этой стрелке и в направлении обхода проставляются стрелки над буквами, обозначающими составляющие звенья. Если стрелка будет направлена вправо – звено увеличивающее, а если влево – уменьшающее

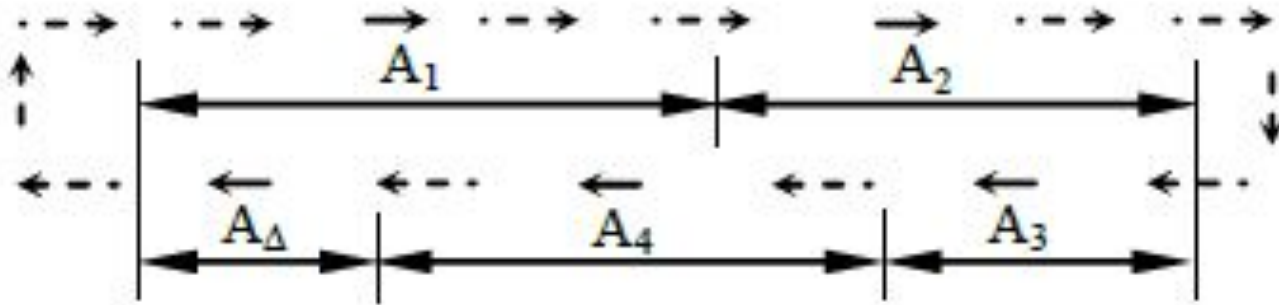


Схема размерной цепи с линией «обхода» для выявления увеличивающих и уменьшающих звеньев

