

Тема 8. Технологические размерные расчеты

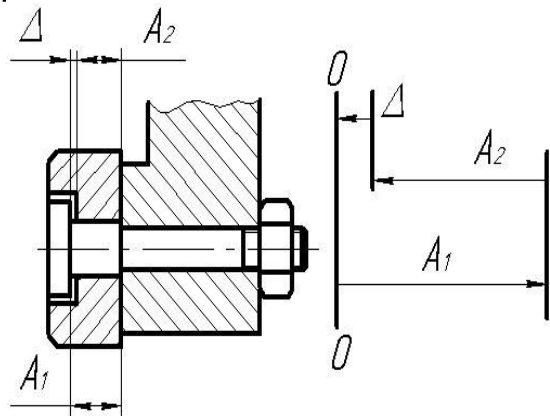
Размерные технологические цепи и их характеристики

Размерной цепью называется совокупность размеров, расположенных по замкнутому контуру. Все размеры деталей, составляющие размерную цепь, называют **звеньями**. Звенья цепи, кроме замыкающего, называют **составляющими**.

На рисунке, для нормальной работы ролика необходимо обеспечить зазор Δ . На величину этого зазора влияют размеры A_1 и A_2 . Для рассматриваемого случая уравнение размерной цепи имеет вид

$$A_1 - A_2 - \Delta = 0.$$

Δ - замыкающее звено. По расположению звеньев размерные цепи делятся на линейные, плоские и пространственные.



Составляющие звенья делятся на **увеличивающие** и **уменьшающие**.

Увеличивающее звено такое, если с его увеличением замыкающее звено увеличивается. Уменьшающее звено при своем увеличении вызывает уменьшение замыкающего звена.

Размерные технологические цепи и их характеристики

Линейная размерная цепь имеет все размеры, параллельные между собой и связанные линейной зависимостью.

Плоская размерная цепь содержит звенья, находящиеся в одной или нескольких параллельных плоскостях, которые могут быть спроектированы без изменения их величины на одну плоскость.

Пространственная размерная цепь состоит из звеньев, которые не параллельные и лежат в непараллельных плоскостях. Звенья могут быть спроектированы на три координатные плоскости. Пространственная размерная цепь может быть приведена к трем плоским размерным цепям. Если в плоской размерной цепи имеются звенья, расположенные под углом к выбранному направлению, то они проектируются на выбранное направление.

Задачи, решаемые при расчете размерных цепей

Прямая задача (проектный расчет).

По заданным параметрам замыкающего звена определяются параметры составляющих звеньев. При этом по известным предельным отклонениям и допуску замыкающего звена, называемому в этом случае исходным, рассчитывают допуски и предельные отклонения размеров составляющих звеньев.

Обратная задача (проверочный расчет).

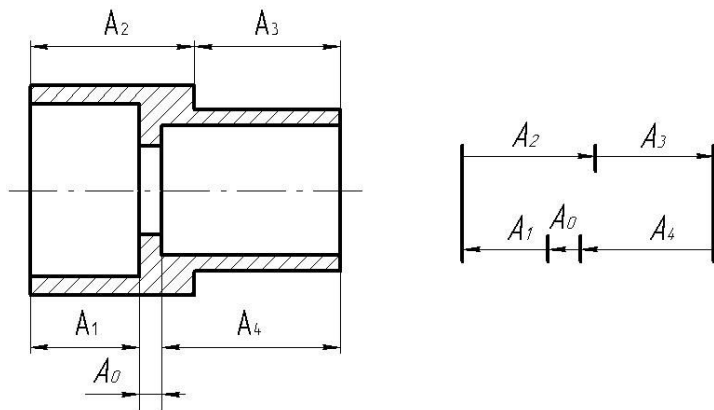
По известным параметрам составляющих звеньев определяются параметры замыкающего звена. При этом по известным номинальным размерам и их предельным отклонениям, допускам и характеристикам рассеяния размеров составляющих звеньев рассчитываются номинальный размер замыкающего звена, его допуск, или поле рассеивания и предельные отклонения.

Технологические размерные цепи рассчитываются следующими способами:

- на максимум-минимум (метод полной взаимозаменяемости);
- вероятностным методом (метод неполной взаимозаменяемости);
- методом групповой взаимозаменяемости (при селективной сборке);
- с учетом регулирования размеров при сборке;
- с учетом пригонки размеров отдельных деталей при сборке.

Выбор способа расчета зависит от принятого в его основу метода достижения требуемой точности изделия.

Расчет размерных цепей на максимум – минимум



Расчет начинают с построения размерной цепи. Уравнение размерной цепи

$$A_2 + A_3 - A_1 - A_0 - A_4 = 0$$

откуда

$$A_0 = (A_2 + A_3) - (A_1 + A_4)$$

В общем случае для любого числа звеньев при m – общем количестве звеньев, включая замыкающее звено, n – количестве увеличивающих звеньев.

$$A_0 = (A_1 + A_2 + \dots + A_n) - (A_{n+1} + A_{n+2} + \dots + A_{m-1})$$

Полученное уравнение запишем в более короткой форме

$$A_0 = \sum_{i=1}^n \vec{A}_i - \sum_{i=n+1}^{m-1} \overleftarrow{A}_i$$

Расчет размерных цепей на максимум - минимум

Наибольший свой размер замыкающее звено получит тогда, когда увеличивающие звенья будут наибольшим, а уменьшающие – наименьшими, т.е.

$$A_0^{\max} = (A_1^{\max} + A_2^{\max} + \dots + A_n^{\max}) - (A_{n+1}^{\min} + A_{n+2}^{\min} + \dots + A_{m-1}^{\min})$$

По аналогии, наименьший размер замыкающего звена

$$A_0^{\min} = (A_1^{\min} + A_2^{\min} + \dots + A_n^{\min}) - (A_{n+1}^{\max} + A_{n+2}^{\max} + \dots + A_{m-1}^{\max})$$

Определим допуск замыкающего звена

$$TA_0 = TA_1 + TA_2 + \dots + TA_{m-1},$$

$$TA_0 = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i$$

Расчет размерных цепей на максимум - минимум

Верхнее предельное отклонение замыкающего звена получим вычитанием из его наибольшего предельного значения номинального, т.е.

$$ESA_0 = \sum_{i=1}^n ES \overrightarrow{A_i} - \sum_{n+1}^{m-1} EI \overleftarrow{A_i}$$

- Аналогично **нижнее предельное отклонение** замыкающего звена получим вычитанием из его наименьшего предельного значения номинального, т.е.

$$EIA_0 = \sum_{i=1}^n EI \overrightarrow{A_i} - \sum_{n+1}^{m-1} ES \overleftarrow{A_i}$$

Расчет размерных цепей, обеспечивающий неполную взаимозаменяемость

Рассмотрим порядок расчета допуска замыкающего звена (обратную задачу).

На практике законы распределения часто неизвестны (при проектных расчетах) поэтому применение вероятностного метода расчета считается правильным при $(m-1) \geq 4$.

В соответствии с положениями теории вероятностей суммирование случайных величин производится квадратично.

Допуск замыкающего звена равен

$$TA_0 = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^2 TA_i^2}$$

где t – коэффициент риска, характеризующий вероятность выхода отклонений замыкающего звена за пределы допуска (нормированный параметр распределения).

При $(m-1) \geq 4$ принимается $t = 3$

Относительное среднее квадратическое отклонение определяется по формуле

$$\lambda_i = \frac{1}{t}$$

Расчет размерных цепей, обеспечивающий неполную взаимозаменяемость

При распределении размеров составляющих звеньев по закону нормального распределения для линейной размерной цепи с числом звеньев, больше 4

$$TA_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} TA_i^2}$$

При проектных расчетах, когда законы распределения неизвестны, условно принимается распределение всех звеньев одинаковым, соответствующим закону Симпсона. Тогда

$$TA_0 = 1,2 \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} TA_i^2}$$

Расчет размерных цепей, обеспечивающий неполную взаимозаменяемость

Выполним расчет допусков составляющих звеньев (рассмотрим прямую задачу).

Расчет начинается с определения величины среднего допуска составляющих звеньев

$$T_{cp} = TA_0 / (1,2\sqrt{m} - 1)$$

Если средняя точность размеров составляющих звеньев соответствует 11-12 квалитетам, то метод неполной взаимозаменяемости считается подходящим, и определенный расчетом квалитет принимается в основу для установления допусков размеров всех составляющих звеньев, кроме регулирующего. Если по расчетам средняя точность размеров составляющих звеньев 7-9 квалитета, то достижение требуемой точности замыкающего звена методом неполной взаимозаменяемости затруднена, необходима пригонка. При необходимости производят выбор и расчет допуска регулирующего звена.

В качестве регулирующего звена выбирается звено с наибольшим номинальным размером, выполнение и измерение которого не вызывает технологических трудностей. Допуск регулирующего звена рассчитывают по формуле

$$TA_p = \frac{1}{k_p} \sqrt{TA_0^2 - \sum_{i=1}^{m-2} k_i^2 TA_i^2}$$

где k_p и k_i коэффициенты относительного рассеяния размеров регулирующего и составляющих звеньев

Задачи, решаемые при расчете размерных цепей

ПОВТОР

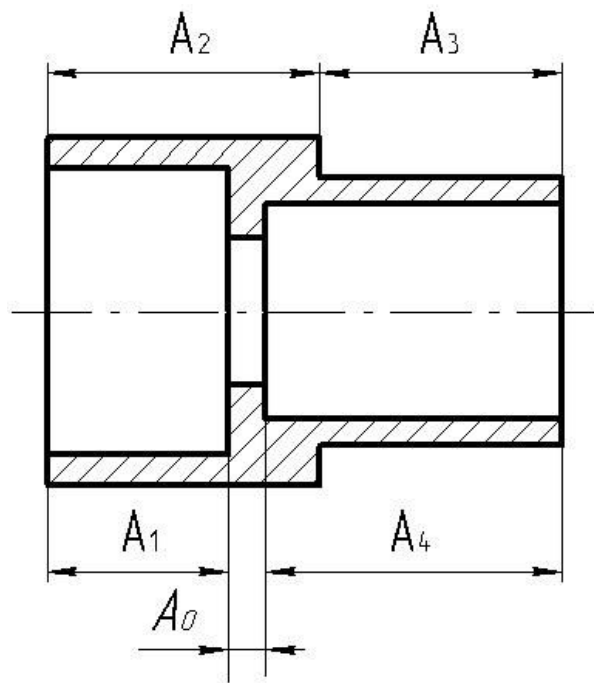
Прямая задача (проектный расчет).

По заданным параметрам замыкающего звена определяются параметры составляющих звеньев. При этом по известным предельным отклонениям и допуску замыкающего звена, называемому в этом случае исходным, рассчитывают допуски и предельные отклонения размеров составляющих звеньев.

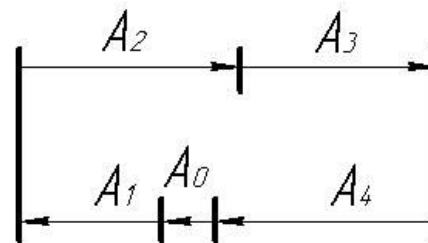
Обратная задача (проверочный расчет).

По известным параметрам составляющих звеньев определяются параметры замыкающего звена. При этом по известным номинальным размерам и их предельным отклонениям, допускам и характеристикам рассеяния размеров составляющих звеньев рассчитываются номинальный размер замыкающего звена, его допуск, или поле рассеивания и предельные отклонения.

Расчет размерных цепей на максимум – минимум



ПРИМЕР 1



$A_2 = 60^{-0,3}$; $A_3 = 20^{+0,13}$ – увеличивающие звенья
 $A_1 = 35^{+0,16}$; $A_4 = 40^{+0,16}$ – уменьшающие звенья
 Требуется определить A_0 ; TA_0 ; ESA_0 ; EIA_0 ; $E_c A_0$.
 (обратная задача)

Расчет размерных цепей на максимум - минимум

$$A_0 = (A_2 + A_3) - (A_1 + A_4) = (60 + 20) - (35 + 40) = 5;$$

$$A_2 = 60_{-0,3}; \quad A_3 = 20^{+0,13}; \quad A_1 = 35^{+0,16}; \quad A_4 = 40^{+0,16}.$$

$$TA_0 = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i$$

$$TA_0 = 0,3 + 0,13 + 0,16 + 0,16 = 0,75;$$

$$ES_{60} = 0; \quad ES_{20} = 0,13; \quad ES_{35} = 0,16; \quad ES_{40} = 0,16;$$

$$EI_{60} = -0,3; \quad EI_{20} = 0; \quad EI_{35} = 0; \quad EI_{40} = 0;$$

$$ESA_0 = \sum_{i=1}^n ES \overrightarrow{A_i} - \sum_{i=1}^{m-1} EI \overleftarrow{A_i} \quad EIA_0 = \sum_{i=1}^n EI \overrightarrow{A_i} - \sum_{i=n+1}^{m-1} ES \overleftarrow{A_i}$$

$$ESA_0 = (0 + 0,13) - (0 + 0) = +0,13;$$

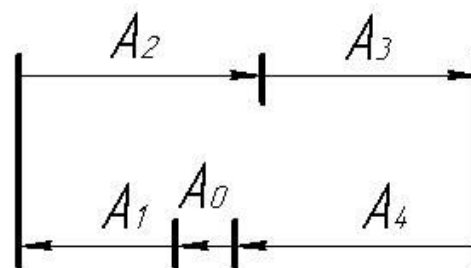
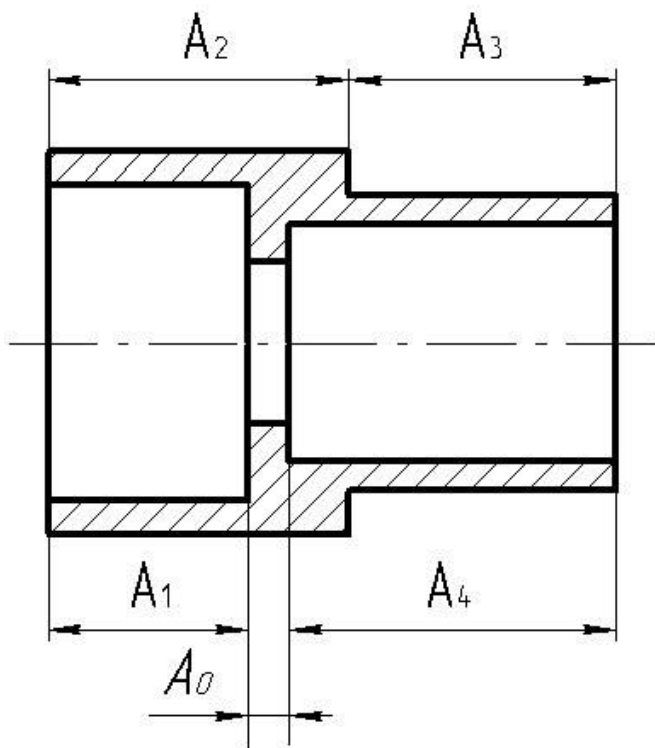
$$EIA_0 = (-0,3 + 0) - (0,16 + 0,16) = -0,62;$$

$$A_0 = 5_{-0,62}^{+0,13}$$

$$E_c A_0 = ESA_0 - \frac{TA_0}{2} = 0,13 - \frac{0,75}{2} = -0,245 \text{ мм}$$

Расчет размерных цепей на максимум – минимум

ПРИМЕР 2



$$A_0 = 5^{+0,2}_{-0,5}$$

$$A_2 = 60; A_3 = 20; A_1 = 35; A_4 = 40; A_0 = 5$$

Требуется определить допуски составляющих звеньев по известному допуску замыкающего звена (*прямая задача*)

Расчет размерных цепей на максимум - минимум

$$TA_0 = 0,7$$

$$TA_{i\text{ ср}} = TA_0 / (m-1) = 0,7/4 = 0,175 \text{ мм.}$$

Для всех составляющих звеньев, кроме одного, самого большого (регулирующего) назначаем допуски по Н или h, соблюдая принцип «допуск в металл» и среднюю величину допуска 0,175 мм. Регулирующим прием размер $A_2 = 60$.

В соответствии с таблицами допусков (Спр. Т.-М. Т.1, стр192)

$$A_1 = 35H11 (+0,16); A_4 = 40H11 (+0,16); A_3 = 20H11 (+0,13).$$

$$TA_1 = 0,16; TA_4 = 0,16; TA_3 = 0,13; E_c A_1 = 0,08; E_c A_4 = 0,08; E_c A_3 = 0,065; E_c A_0 = 0,2 - 0,35 = 0,15.$$

Допуск регулирующего звена.

$$TA_p = TA_0 - \sum_{i=1}^{m-2} TA_i$$

$TA_2 = 0,7 - (0,16 + 0,16 + 0,13) = 0,25 \text{ мм}$, что соответствует 11 качеству (0,19 мм).

Для 12 качества 0,3 мм.

Примем $TA_2 = 0,19$.

Расчет размерных цепей на максимум - минимум

Координаты середины поля допуска регулирующего звена, когда оно **является увеличивающим**:

$$E_c \vec{A}_p = E_c A_0 - \sum_{i=1}^{n-1} E_c \vec{A}_i + \sum_{n+1}^{m-2} E_c \overleftarrow{A}_i \quad A_0 = 5^{+0,2}_{-0,5}$$

$A_1 = 35H11 (+0,16)$; $A_4 = 40H11 (+0,16)$; $A_3 = 20H11 (+0,13)$; $TA_2 = 0,19$.

$E_c A_1 = 0,08$; $E_c A_4 = 0,08$; $E_c A_3 = 0,065$; $E_c A_0 = 0,2 - 0,35 = -0,15$.

Координаты середины поля допуска, если оно является уменьшающим:

$$E_c \overleftarrow{A}_p = \sum_{i=1}^n E_c \vec{A}_i - \sum_{n+1}^{m-2} E_c \overleftarrow{A}_i - E_c A_0$$

Для $A_2 = 60$: $E_c A_2 = -0,15 - 0,065 + (0,08 + 0,08) = -0,055 \text{ мм}$

$ESA_2 = E_c A_2 + TA_2 / 2 = -0,055 + 0,095 = +0,04 \text{ мм}$;

$EIA_2 = E_c A_2 - TA_2 / 2 = -0,055 - 0,095 = -0,15 \text{ мм}$.

$$A_p = 60^{+0,04}_{-0,15}$$

Расчет размерных цепей на максимум - минимум

Окончательная проверка установленных допусков и предельных отклонений производится по формулам

$$TA_0 = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i$$

$$E_c A_0 = \sum_{i=1}^n E_c \overrightarrow{A_i} - \sum_{n+1}^{m-1} E_c \overleftarrow{A_i}$$

$A_1 = 35H11 (+0,16)$; $A_4 = 40H11 (+0,16)$; $A_3 = 20H11 (+0,13)$; $TA_2 = 0,19$.
 $E_c A_1 = 0,08$; $E_c A_4 = 0,08$; $E_c A_3 = 0,065$; $E_c A_0 = 0,2 - 0,35 = -0,15$.
 $E_c A_2 = -0,055$

$TA_0 = 0,16 + 0,16 + 0,13 + 0,19 = 0,64$ мм.

$E_c A_0 = (+0,065 - 0,055) - (+0,08 + 0,08) = -0,15$ мм.

$$A_0 = 5^{+0,2}_{-0,5}$$

Расчет размерных цепей методом неполной взаимозаменяемости

Точность замыкающего звена обеспечивается не у всех деталей, а только у заранее обусловленной их части. При этом предварительно устанавливается процент риска, т.е. процент деталей, у которых может не обеспечиваться точность замыкающего звена. Следует заметить, что процент риска - это лишь вероятность получения бракованных изделий.

В основу метода расчета параметров составляющих звеньев **(прямая задача)** положены следующие математические зависимости.

Уравнение размерной цепи в номиналах и допуск замыкающего звена

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m A_{yB} - \sum_{i=1}^n A_{yM}$$

$$TA_{\Delta} = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 TA_i^2}$$

t – коэффициент, зависящий от процента риска; λ_i – коэффициент, характеризующий закон рассеяния размеров.

Расчет размерных цепей методом неполной взаимозаменяемости

При нормальном законе распределения размеров $\lambda_i^2 = 1/9$,
при известном законе - $\lambda_i^2 = 1/3$, при законе
треугольника $\lambda_i^2 = 1/6$.

Ряд значений коэффициента t приведен в таблице

Процент риска P	32,00	10,00	4,50	1,00	0,27	0,10	0,01
Коэффициент t	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	3,29	3,89

Решение прямой задачи при методе неполной взаимозаменяемости выполняют в такой последовательности:

Расчет размерных цепей методом неполной взаимозаменяемости

- 1) записывают параметры исходного (замыкающего) звена: номинальный размер A_{Δ} , предельные отклонения ESA_{Δ} и EIA_{Δ} , допуск T_{Δ} , координату середины поля допуска $E_c\Delta$;
- 2) по чертежу детали выявляют составляющие звенья A_i , строят размерную цепь, определяют по ней увеличивающие и уменьшающие звенья;
- 3) определяют номинальные размеры составляющих звеньев A_i ;
- 4) проверяют правильность определения номинальных значений составляющих звеньев по уравнению

$$A_{\Delta} = \sum^m A_{ув} - \sum^n A_{ум}$$

Расчет размерных цепей методом неполной взаимозаменяемости

- 5) задаются процентом риска P , определяют значение коэффициента t устанавливают законы распределения составляющих звеньев и коэффициенты λ_i ;
- 6) определяют среднее значение допусков составляющих звеньев (существует способ назначения допусков одного качества точности)

$$T_{icp} = \frac{T_{\Delta}}{t \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2}}$$

- 7) по номинальным размерам составляющих звеньев и с учетом полученного среднего значения на все составляющие звенья, кроме одного, назначают стандартные допуски по ГОСТ 25347-82 (на одно звено может быть установлен нестандартный допуск);

Расчет размерных цепей методом неполной взаимозаменяемости

- 8) проверяют правильность определения допусков составляющих звеньев по формуле

$$TA_{\Delta} = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 TA_i^2}$$

- 9) задают расположение допусков составляющих звеньев, кроме одного звена (для охватывающих поверхностей допуски задают ‘в плюс’, а для охватываемых – “в минус”, для остальных симметрично);
- 10) определяют координаты середин полей допусков составляющих звеньев, кроме одного звена, по формуле

$$E_{ci} = \frac{ESA_i + EIA_i}{2}$$

Расчет размерных цепей методом неполной взаимозаменяемости

- 11) определяют координату середины поля допуска, оставшегося неизвестным звена из уравнения

$$E_{C\Delta} = \sum_{m} E_{c_{yB}} - \sum_{n} E_{c_{yM}}$$

- 12) определяют предельные отклонения оставшегося неизвестным звена по формулам

$$ESA_i = E_{c_i} A_i + 0,5TA_i, \quad EIA_i = E_{c_i} A_i - 0,5TA_i.$$

- 13) выполняют проверку правильности расчетов по формулам

$$ESA_{\Delta} = \sum_{m} E_{C_{yB}} - \sum_{n} E_{C_{yM}} + t \sqrt{\sum_{m+n} \lambda_i^2 (0,5TA_i)^2},$$
$$EIA_{\Delta} = \sum_{m} E_{C_{yB}} - \sum_{n} E_{C_{yM}} - t \sqrt{\sum_{m+n} \lambda_i^2 (0,5TA_i)^2}.$$