

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Механика»

## **РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ И МЕТОДЫ ИХ РАСЧЕТА**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
по курсовой работе по дисциплине  
«Нормирование точности и технические  
измерения» для студентов специальностей  
1-36 01 01 «Технология машиностроения»  
и 1-53 01 01 «Автоматизация технологических  
процессов и производств (по направлениям)»  
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2022

УДК 621.713/.715+621:53.08(075.8)  
ББК 34.41+30.10я73  
Р17

*Рекомендовано научно-методическим советом  
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 3 от 01.02.2021 г.)*

Составители: *А. Т. Бельский, С. И. Прач*

Рецензент: доц. каф. «Робототехнические системы» ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. техн. наук, доц. *З. Я. Шабакаева*

**Размерные цепи и методы их расчета** : учеб-метод. пособие по курсовой работе по дисциплине «Нормирование точности и технические измерения» для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)» днев. и заоч. форм обучения / сост.: А. Т. Бельский, С. И. Прач. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2022. – 26 с. – Систем. требования: РС не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит принципы расчета размерных конструкторских цепей методом полной взаимозаменяемости и методом регулирования, а также примеры выполнения раздела курсовой работы по дисциплине «Нормирование точности и технические измерения».

Для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.713/.715+621:53.08(075.8)  
ББК 34.41+30.10я73

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2022

## Введение

В разработанных методических указаниях авторы приводят некоторые сведения относящиеся к размерным цепям. Основной идеей написания данного методического указания являлось оказания существенной помощи при выполнении курсовой работы по дисциплине «Нормирование точности и технические измерения»/

Учитывая, что при выполнении курсовой работы студенты производят расчет конструкторской размерной цепи двумя методами: методом полной взаимозаменяемости и методом регулирования, авторы на конкретных примерах показывают расчеты размерной конструкторской цепи этими методами.

### 1 Основные положения размерных цепей

Любая машина состоит из взаимозаменяемых изделий: деталей, сборочных единиц и комплектов. Для сборки и нормальной работы машины необходимо, чтобы каждая отдельная деталь занимала заданное ей положение относительно других деталей. Это обеспечивается расчетом размерных цепей, проводимых на стадии конструирования машин и проектирования технологических процессов и выборе средств и методов измерений на основе стандартов.

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

Так как размерная цепь представляет замкнутый контур из размеров, то величина и допуск любого размера зависит от значения и точности остальных размеров. По аналогии с кинематической цепью, размеры, входящие в размерную цепь, называют звеньями.

Звено размерной цепи – это один из размеров, образующих размерную цепь. Звеньями могут быть линейные и угловые размеры, отклонения формы и расположения поверхностей, зазоры, натяги, расстояния между осями и т. п.

Каждая размерная цепь состоит из одного замыкающего или исходного звена и нескольких составляющих звеньев.

Замыкающим звеном называется звено размерной цепи, являющееся исходным при постановке задачи или получающееся последним в результате ее решения. Оно имеет индекс в виде прописной буквы  $\Delta$ , например  $A_{\Delta}$ ,  $\alpha_{\Delta}$ ,  $\beta_{\Delta}$ .

На схемах размерных цепей звенья условно обозначаются следующим образом: линейные размеры обозначаются двухсторонней стрелкой (рисунок 1,а), параллельность (рисунок 1,б) и перпендикулярность (рисунок 1,в) обозначаются односторонней стрелкой, направленной к базе.

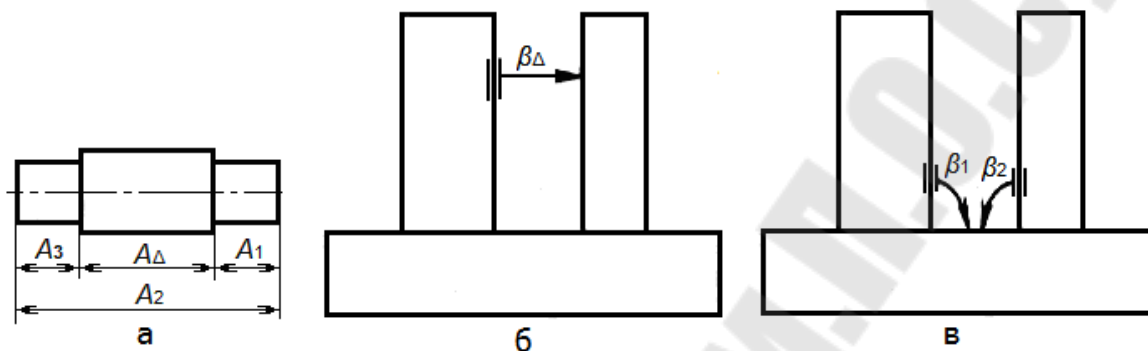


Рисунок 1 – Примеры размерных цепей

Составляющие звенья – это звенья размерной цепи, функционально связанные с замыкающим звеном. Они могут быть увеличивающими или уменьшающими.

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

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

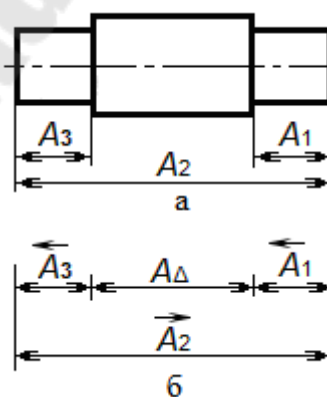


Рисунок 2 – Деталь (а) и ее размерная цепь (б)

На схеме размерной цепи (рисунок 2) увеличивающие звенья отличаются от уменьшающих направлением стрелок, проставляемых над буквенными обозначениями звеньев. Увеличивающие звенья

имеют стрелки, направленные вправо ( $\vec{A}$ ), а уменьшающие звенья — влево ( $\bar{A}$ ). Замыкающее звено обозначают, этой же буквой, но с индексом  $\Delta$ , а составляющие звенья с индексом, соответствующим порядковому номеру составляющего звена, например  $A_1, A_2, \dots, A_i$  и т. д.

## 2 Классификация размерных цепей

**По области применения** размерные цепи подразделяются на конструкторские, технологические и измерительные цепи.

Конструкторская размерная цепь, определяющая расстояние или относительный поворот между поверхностями или осями поверхностей деталей в изделии, решается для обеспечения точности при конструировании изделий.

Технологическая размерная цепь, обеспечивающая требуемое расстояние или относительный поворот между поверхностями изготавливаемого изделия при выполнении операции или ряда операций сборки, обработки, при настройке станка или при расчете межпереходных размеров, решается для обеспечения точности при изготовлении изделий.

Измерительная размерная цепь применяется для решения задачи измерения величин, характеризующих точность изделий.

**По месту в изделии** размерные цепи бывают детальными и сборочными.

Детальная размерная цепь определяет взаимное расположение осей или поверхностей одной и той же детали (рисунок 3).

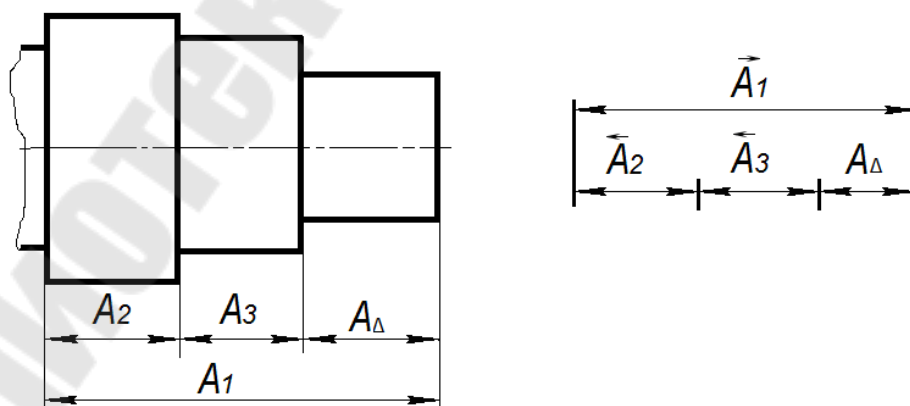


Рисунок 3 – Детальная размерная цепь

На примере детальной размерной цепи хорошо видно, что выбор замыкающего звена во многом зависит от технологии изготовления детали. Если применяется обычная технология, когда вначале вал обрабатывается под больший диаметр на длине  $A_1$ , затем под средний диаметр на длине  $A_1 - A_2$  и, наконец под меньший диаметр на длине  $A_1 - A_2 - A_3$ , то последним выявится размер  $A_\Delta$ .

Сборочная размерная цепь (рисунок 4) определяет точность относительного положения поверхностей или осей деталей, входящих в сборочную единицу.

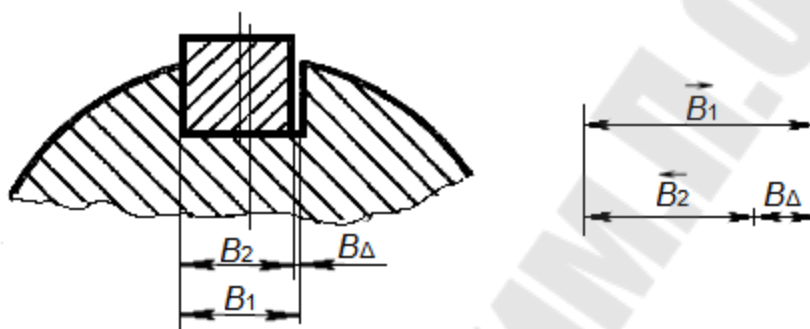


Рисунок 4 – Сборная размерная цепь

**По взаимному расположению звеньев** размерные цепи делятся на линейные, угловые, плоские и пространственные размерные цепи.

Линейная размерная цепь это цепь, звенья которой являются линейными размерами и расположены на параллельных прямых (рисунок 5).

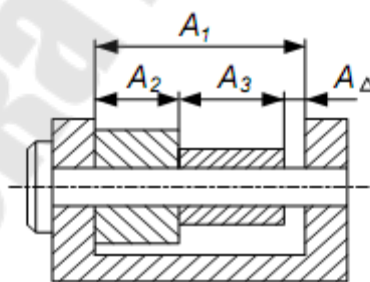


Рисунок 5 – Линейная размерная цепь

Угловая размерная цепь (рисунок 6) – это цепь, звенья которой представляют собой угловые размеры, отклонения которых могут быть заданы в линейных величинах, отнесенных к условной длине, или в градусах.

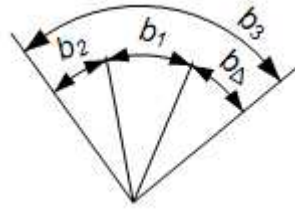


Рисунок 6 – Угловая размерная цепь

Плоская размерная цепь (рисунок 7) – это цепь, звенья которой расположены произвольно в одной или нескольких параллельных плоскостях.

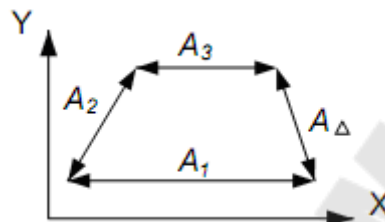


Рисунок 7 – Плоская размерная цепь

Пространственная размерная цепь (рисунок 8) – это цепь, звенья которой расположены в не параллельных плоскостях.

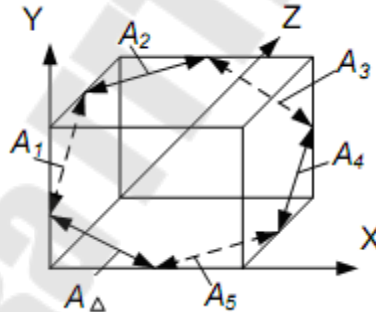


Рисунок 8 – Пространственная размерная цепь

**По характеру звеньев** размерные цепи делятся на скалярные, векторные и комбинированные цепи.

Скалярная размерная цепь характеризуется тем, что все звенья цепи являются скалярными величинами.

Векторная размерная цепь характеризуется тем, что все звенья цепи являются векторными погрешностями.

Комбинированная размерная цепь характеризуется тем, что часть составляющих звеньев цепи являются векторными погрешностями, а остальные звенья представляют скалярные величины.

По характеру взаимных связей различают параллельно связанные, последовательно связанные, комбинированные и независимые размерные цепи.

Параллельно связанные размерные цепи (рисунок 9) имеют хотя бы одно общее звено.

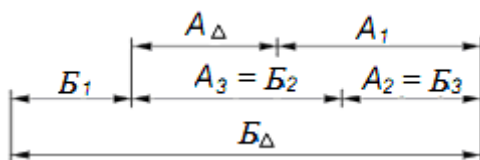


Рисунок 9 – Параллельно связанная размерная цепь

Последовательно связанными называют размерные цепи (рисунок 10), из которых каждая последующая имеет общую базу с предыдущей размерной цепью.

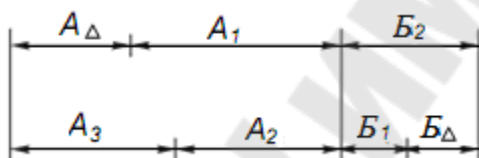


Рисунок 10 – Последовательно связанная размерная цепь

Размерные цепи с комбинированной связью (рисунок 11) имеют между собой как параллельные, так и последовательные связи.

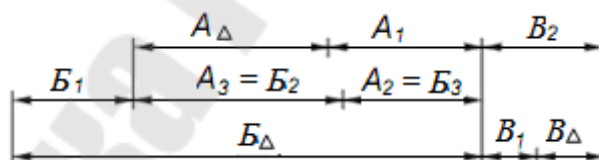


Рисунок 11 – Комбинированная размерная цепь

Независимая размерная цепь (рисунок 12) – это цепь, не имеющая общих звеньев.

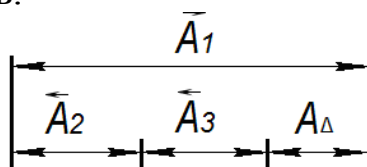


Рисунок 12 – Независимая размерная цепь



### 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, то есть проектный расчет);

2) определение номинального размера, предельных отклонений и допуска замыкающего звена по заданным номинальным размерам и предельным отклонениям составляющих звеньев (обратная задача, то есть проверочный расчет).

Применяются следующие методы расчета размерных цепей:

- полной взаимозаменяемости (максимума-минимума);
- неполной взаимозаменяемости;
- групповой взаимозаменяемости;
- пригонки;
- регулирования.

Для проведения размерного анализа кроме размерной схемы необходимо составить уравнение размерной цепи, вытекающее из условия замкнутости: Если в размерную цепь входит  $n$  увеличивающих звеньев и  $p$  уменьшающих звеньев, то правильность составления линейной размерной цепи проверяют по формуле

$$A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n \vec{A}_j - \sum_{j=1}^p \vec{A}_j, \quad (1)$$

где  $A_j$  – номинальный размер любого звена;

$j$  – индекс звена;

$n$  – число увеличивающих звеньев;

$p$  – число уменьшающих звеньев.

Если равенство имеет место, то размерный анализ проведен верно, и размерная цепь составлена правильно. Нарушение равенства в этой зависимости показывает, что в размерном анализе допущена ошибка, и его надо провести более внимательно.

После составления уравнения размерной цепи (1) и решения его можно определить наибольший ( $A_{\Delta_{нб}}$ ) и наименьший ( $A_{\Delta_{нм}}$ ) размеры замыкающего звена:

$$A_{\Delta нб} = \sum_{j=1}^n \vec{A}_{jнб} - \sum_{j=1}^p \overleftarrow{A}_{jнм}; \quad (2)$$

$$A_{\Delta нм} = \sum_{j=1}^n \vec{A}_{jнм} - \sum_{j=1}^p \overleftarrow{A}_{jнб}. \quad (3)$$

Вычитая почленно из (2) выражение (3) получим формулу для определения допуска замыкающего звена:

$$T_{\Delta} = \sum_{j=1}^n \vec{T}_j + \sum_{j=1}^p \overleftarrow{T}_j. \quad (4)$$

Если из уравнений (2) и (3) вычесть последовательно уравнение (1), получим выражения для определения верхнего ( $B_{\Delta}$ ) и нижнего ( $H_{\Delta}$ ) отклонений замыкающего (исходного) звена:

$$B_{\Delta} = \sum_{j=1}^n \vec{B}_j - \sum_{j=1}^p \overleftarrow{H}_j; \quad (5)$$

$$H_{\Delta} = \sum_{j=1}^n \overleftarrow{H}_j - \sum_{j=1}^p \vec{B}_j. \quad (6)$$

Сложив почленно уравнения (5) и (6) и разделив на два получим среднее отклонение поля замыкающего звена:

$$C_{\Delta} = \sum_{j=1}^n \vec{C}_j - \sum_{j=1}^p \overleftarrow{C}_j. \quad (7)$$

Для решения задач расчетной размерной цепи необходимо располагать еще и соотношениями, связывающими предельные отклонения звеньев. Они также могут выведены из отправных выражений с учетом того, что

$$A_{jнб} = A_j + ES(A_j); \quad (8)$$

$$A_{jнм} = A_j + EI(A_j), \quad (9)$$

где  $ES, EI$  – верхнее и нижнее предельные отклонения.

Тогда

$$ES(A_{\Delta}) = \sum_{j=1}^n ES(\vec{A}_j) - \sum_{j=1}^p EI(\overleftarrow{A}_j); \quad (10)$$

$$EI(A_{\Delta}) = \sum_{j=1}^n EI(\overleftarrow{A}_j) - \sum_{j=1}^p ES(\vec{A}_j). \quad (11)$$

Теперь можно решать задачи расчета размерной цепи.

**Метод полной взаимозаменяемости** – 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 значений.

Чтобы обеспечить полную взаимозаменяемость, размерные цепи рассчитывают по методу максимума и минимума, при котором допуск замыкающего размера определяют арифметическим сложением допусков составляющих размеров. Этот метод обеспечивает заданную точность сборки без какого-либо подбора или пригонки деталей.

Конечная цель расчета допусков составляющих размеров при заданной точности обеспечить выполнение машиной ее служебного назначения.

Точность составляющих размеров должна быть такой, чтобы гарантировалась заданная точность исходного размера. Недостатком этого метода является то, что допуски составляющих звеньев получаются наименьшими из всех методов, что может оказаться неэкономичным. Этот метод применяется в основном в индивидуальном и мелкосерийном производстве, при большей величине допуска на исходное звено и малом числе составляющих звеньев.

Эту задачу можно решать разными способами.

**Способ равных допусков** применяют, если составляющие размеры являются величинами одного порядка (например, входят в один интервал диаметров) и могут быть выполнены с примерно одинаковой экономической точностью. В этом случае можно условно принять

$$TA_1 = TA_2 = \dots + TA_{n-1} = TA_n. \quad (12)$$

**Способ допусков одного качества.** При таком способе предполагают, что все составляющие цепь размеры могут быть выполнены по какому-либо одному качеству, а допуски составляющих размеров зависят от их номинального значения. Известными являются номинальные размеры всех звеньев цепи и предельные отклонения исходного (замыкающего) звена. Требуемый качество определяют следующим образом.

$$a_n = \frac{TA_\Delta}{\sum_{j=1}^{n-1} (0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D)}, \quad (13)$$

где  $TA_\Delta$  – допуск замыкающего звена;

$D$  – диаметр.

По величине  $a_n$  определяют ближайший качество.

**Метод неполной взаимозаменяемости** – метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается с некоторым риском путем включения в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их значений.

Метод исходит из предположения, 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.

Такой метод расчета, который учитывает рассеяние размеров и вероятность их различных сочетаний, называется вероятностным методом расчета. Другими словами, 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.

К недостаткам этого метода можно отнести возможность в некоторых случаях дополнительных затрат на замену или подгонку некоторых деталей.

Данный метод применяется в серийном и массовом производстве, при малом допуске исходного звена и большом числе составляющих звеньев.

**Метод групповой взаимозаменяемости** – метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается путем включения в размерную цепь составляющих звеньев, принадлежащих к соответственным группам, на которые они предварительно рассортированы.

Метод групповой взаимозаменяемости обычно применяется при малом допуске замыкающего звена, обеспечить который методом неполной взаимозаменяемости оказывается затруднительно или даже невозможно.

При использовании метода групповой взаимозаменяемости заданный допуск замыкающего звена  $TA_{\Delta}$  увеличивают в  $N$  раз и получают расширенный допуск

$$T'A_{\Delta} = TA_{\Delta} \cdot N. \quad (14)$$

Расширенный допуск, который еще называется производственным допуском, используют для расчета допусков для составляющих звеньев размерной цепи.

Детали, изготовленные с такими относительно широкими допусками, то есть при меньшей точности, сортируют по размерам на  $N$  групп и каждой группе присваивают номер. Изделие собирают из де-

талей, принадлежащих к одной группе, что позволяет обеспечить требуемый допуск замыкающего звена  $T_{A_{\Delta}}$ .

**Метод пригонки** – метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением значения компенсирующего звена путем удаления с компенсатора определенного слоя материала.

Допуски на все составляющие звенья, кроме компенсатора, назначаются по экономически приемлемым качествам, соответствующим уровню данного производства. Рекомендуется назначать допуски составляющих звеньев по 12 качеству для точных механизмов, по 14 качеству для механизмов нормальной точности и по 17 качеству для изделий из пластмасс и неточных механизмов.

Смысл расчета заключается в определении припуска на пригонку, достаточного для компенсации величины превышения предельных значений замыкающего звена и вместе с тем, наименьшего для оптимизации объема пригонки.

Роль компенсатора обычно выполняет деталь, простая по конструкции и легкодоступная при разборке механизма.

Метод пригонки может быть использован при единичном и мелкосерийном производстве. Для осуществления пригонки одна из деталей размерной цепи изготавливается с припуском на номинальный размер. Этот припуск называется компенсацией, а деталь, размер которой дорабатывается на сборке, называется компенсатором. Если в качестве компенсатора выбран охватывающий размер детали (отверстие), то размер его делается на величину компенсации меньше. Если в качестве компенсатора выбирается охватываемый размер (вал), то он изготавливается на величину компенсации больше исходного номинального размера.

В целях сокращения затрат на пригонку величина компенсации должна быть минимальной, но достаточной для того, чтобы для всех собираемых узлов обеспечить заданный размер замыкающего звена. Величина компенсации рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{к}} = \sum_{j=1}^{m-1} T_j - T_{A_{\Delta}}. \quad (15)$$

**Метод регулирования** – метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением значения компенсирующего звена без удаления материала с компенсатора.

Роль неподвижных компенсаторов обычно играют комплекты сменных колец, втулок, шайб и других деталей, подбираемых при сборке. В комплект входит несколько ступеней сменных деталей, количество которых определяется допуском замыкающего звена  $TA_{\Delta}$  и необходимой величиной компенсации  $TA_k$ .

Номинальный размер компенсатора  $A_k$  определяется из уравнения

$$A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n \vec{A}_j - \sum_{j=1}^p \vec{A}_j \pm A_k. \quad (16)$$

Знак «+» соответствует случаю, когда компенсатор является увеличивающим звеном, знак «-» когда компенсатор – уменьшающее звено.

Диапазон регулирования компенсатора  $V_k$  определяется из уравнения

$$TA_{\Delta} = \sum_{j=1}^{m-1} TA_j - V_k. \quad (17)$$

Такие задачи обычно решаются на стадии проектирования изделия. При этом все детали, входящие в размерную цепь (кроме стандартных деталей), могут быть выполнены с расширенными, то есть экономически приемлемыми допусками для данного производства. Решение таких задач возможно как методом максимума-минимума, так и вероятностным методом.

#### 4 Расчет размерной цепи методом “max-min”

На рисунке 13 приведена схема сборочного узла.

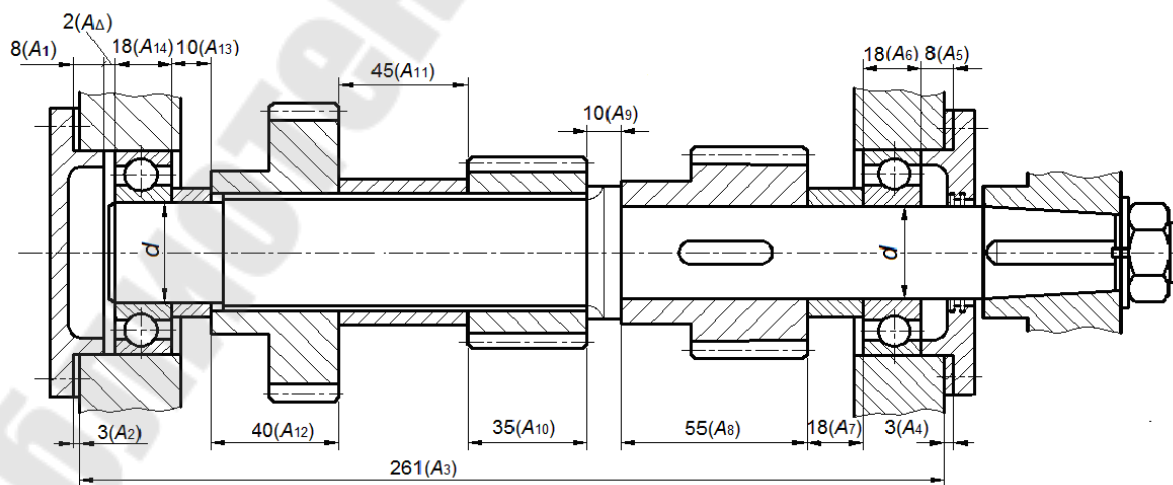


Рисунок 13 – Схема сборочного узла

При сборке сборочного узла необходимо обеспечить осевой зазор  $A_{\Delta} = 2_{-0,5}^{+0,7}$  мм (замыкающее звено) между торцом крышки и наружным кольцом подшипника. Номинальный размер вала под подшипником  $d = 40$  мм, тип подшипника 6-208. Геометрические размеры некоторых радиальных подшипников приведены в таблице 1.

Обозначение звеньев и их размеры, входящих в размерную цепь, показаны на рисунке 1.

Номинальный размер ширины подшипника легкой серии шестого класса точности 6-208 по ГОСТ 8338 – 75 (таблица 1) равен  $B = 18$  мм, тогда  $A_6 = A_{14} = 18$  мм.

Звенья  $A_2$ ,  $A_3$  и  $A_4$  - увеличивающие, звено  $A_{\Delta}$  - замыкающее, а остальные звенья – уменьшающие. В качестве увязочного звена примем звено  $A_{13}$ .

Проверим номинальный размер 13-го звена из условия

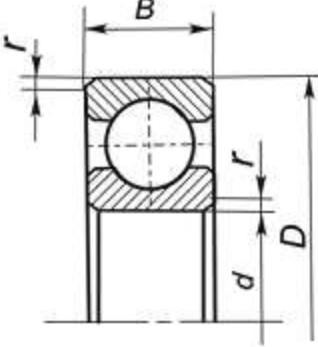
$$A_{\Delta} = \Sigma \vec{A}_j - \Sigma \bar{A}_j,$$

где  $A_{\Delta}$  – номинальный размер замыкающего звена;

$\Sigma \vec{A}_j$  – сумма номинальных размеров увеличивающих звеньев;

$\Sigma \bar{A}_j$  – сумма номинальных размеров уменьшающих звеньев.

Таблица 1 – Геометрические размеры радиальных подшипников (из ГОСТ 8338 – 75)



Легкая серия

Обозначение	Размеры, мм			
	$d$	$D$	$B$	$r$
204	20	47	14	1,5
205	25	52	15	1,5
206	30	62	16	1,5
207	35	72	17	2,0
208	40	80	18	2,0
209	45	85	19	2,0
210	50	90	20	2,0
211	55	100	21	2,5
212	60	110	22	2,5
213	65	120	23	2,5
214	70	125	24	2,5
215	75	130	25	2,5
216	80	140	26	3,0

Для данного сборочного узла

$$A_{\Delta} = A_2 + A_3 + A_4 - A_1 - A_5 - A_6 - A_7 - A_8 - A_9 - A_{10} - A_{11} - A_{12} - A_{13} - A_{14}.$$

Откуда получаем

$$A_{13} = A_2 + A_3 + A_4 - A_1 - A_5 - A_6 - A_7 - A_8 - A_9 - A_{10} - A_{11} - A_{12} - A_{14} - A_{\Delta} = \\ = 3 + 261 + 3 - 8 - 8 - 18 - 18 - 55 - 10 - 35 - 45 - 40 - 18 - 2 = 10 \text{ мм}.$$

Следовательно, размерная цепь составлена правильно.

Назначаем значение единиц допуска в зависимости от номинального размера (таблица 2) кроме звеньев, для которых известен допуск (подшипники качения  $A_6$ ,  $A_{14}$  и замыкающее звено  $A_{\Delta}$ ).



Таблица 2 – Значения единиц допуска  $i$  для размеров до 250 мм.

Интервал размеров, мм	Значение единиц допуска, мкм
До 3	0,55
Св. 3 до 6	0,73
Св. 6 до 10	0,90
Св. 10 до 18	1,08
Св. 18 до 30	1,31
Св. 30 до 50	1,56
Св. 50 до 80	1,86
Св. 80 до 120	2,17
Св. 120 до 180	2,52
Св. 180 до 250	2,89
Св. 250 до 250	3,23

В нашем случае имеем следующие значения единиц допуска (таблица 3) согласно размерам звеньев и табл. 2.

Таблица 3 – Значение единиц допуска

Обозначение	Номинальный размер, мм	Значение единиц допуска $i$ , мкм	Обозначение	Номинальный размер, мм	Значение единиц допуска $i$ , мкм
$A_1$	8	0,9	$A_9$	10	0,90
$A_2$	3	0,55	$A_{10}$	35	1,56
$A_3$	261	3,23	$A_{11}$	45	1,56
$A_4$	3	0,55	$A_{12}$	40	1,56
$A_5$	8	0,9	$A_{13}$	10	0,90
$A_6$	18	-	$A_{14}$	18	-
$A_7$	18	1,08	$A_{\Delta}$	2	-
$A_8$	55	1,86	Сумма		15,55

Допуски замыкающего звена и подшипников качения (таблица 4) определим по формуле:

$$T_j = V_j - H_j,$$

где  $j$  – индекс звена;

$V_j$  – верхнее отклонение  $j$  – того звена;

$H_j$  – нижнее отклонение  $j$  – того звена.

Таблица 4 – Предельные отклонения ширины шариковых и роликовых радиальных и шариковых радиально-упорных подшипников В, мкм

Номинальный внутренний диаметр $d$ , мм	Класс точности					
	0		6		5	
	Верхнее отклонение, В	Нижнее отклонение, Н	Верхнее отклонение, В	Нижнее отклонение, Н	Верхнее отклонение, В	Нижнее отклонение, Н
Св. 10 до 18	0	-120	0	-120	0	-80
Св. 18 до 30	0	-120	0	-120	0	-120
Св. 30 до 50	0	-120	0	-120	0	-120
Св. 50 до 80	0	-150	0	-150	0	-150
Св. 80 до 120	0	-200	0	-200	0	-200

Допуск замыкающего звена

$$T_{\Delta} = 700 - (-500) = 1200 \text{ мкм.}$$

Отклонения на ширину кольца по 6-му классу точности  $B = 0$ ,  $H = -200$  мкм (табл. 4), тогда допуск подшипников качения

$$T_6 = T_{14} = T_c = 0 - (-120) = 120 \text{ мкм.}$$

Определим среднюю точность размерной цепи (числа единиц допуска)

$$a = \frac{T_{\Delta} - \sum_{j=1}^{n_c} T_{ci}}{n+p-n_c-1} = \frac{1200 - 120 - 120}{15,55} = 62,$$

где  $n$  – число увеличивающих звеньев;

$p$  – число уменьшающих звеньев;

$n_c$  – число стандартных звеньев.

В соответствии таблицы 5 найденное число единиц допуска лежит в пределах стандартных значений:  $a = 40 (IT = 9)$  и  $a = 64 (IT = 10)$ .

Выбираем ближайшее значение числа единиц допуска  $a$  по сравнению с найденным, поэтому выбираем 10 квалитет.

Таблица 5 – Закон изменения величины допусков

Число единиц допуска $a$	5	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400
Квалитеты	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

В таблице 6 приводятся величины допусков.

Таблица 6 – Величины допусков, мкм

Квалитеты	Интервалы, мм										
	До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315
4	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16
5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23
6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32
7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52
8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81
9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130
10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210
11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320
12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520
13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810
14	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300

Предельные отклонения на составляющие звенья, кроме звена  $A_{13}$ , рекомендуется назначать на размеры, относящиеся к валам (охватываемым) по  $h$ , а на остальные размеры (уступы) – симметричные отклонения  $\pm \frac{IT}{2}$ . В рассматриваемой размерной цепи к уступам с отклонениями  $\pm \frac{IT}{2}$  относятся размеры крышек  $A_1$  и  $A_5$ , а остальные размеры – к валам (таблица 7).

Таблица 7 – Поля допуска и качества

Обозначение звена	Номинальный размер, мм	Обозначение поля допуска	Квалитет	Допуск, $T$	Верхнее отклонение, $V$	Нижнее отклонение, $H$	Середина поля допуска, $C$
$A_1$	8	$IT/2$	10	58	29	-29	0
$A_2$	3	$h$	10	40	0	-40	-20
$A_3$	261	$h$	10	210	0	-210	-105
$A_4$	3	$h$	10	40	0	-40	-20
$A_5$	8	$IT/2$	10	58	29	-29	0
$A_6$ (Станд.)	18	–	–	120	0	-120	-60
$A_7$	18	$h$	10	70	0	-70	-35
$A_8$	55	$h$	10	120	0	-120	-60
$A_9$	10	$h$	10	58	0	-58	-29
$A_{10}$	35	$h$	10	100	0	-100	-50
$A_{11}$	45	$h$	10	100	0	-100	-50
$A_{12}$	40	$h$	9	62	0	-62	-31
$A_{13}$ (Увязоч.)	10	$h$		44	152	108	130
$A_{14}$ (Станд.)	18	–		120	0	-120	-60
$A_{\Delta}$ (Замык.)	2	–		1200	700	-500	100

С целью увеличения допуска увязочного звена одно из уменьшающих звеньев взято с 9 квалитетом (в нашем случае звено  $A_{12}$ ).

В зависимости от номинального размера звена и качества по таблице 6 определим значения допусков звеньев и занесем их в табл.7

Допуск увязочного звена  $A_{13}$  определим по зависимости:

$$\begin{aligned}
 T_{13} &= T_{\Delta} - T_1 - T_2 - T_3 - T_4 - T_5 - T_6 - T_7 - T_8 - T_9 - T_{10} - T_{11} - T_{12} - T_{14} = \\
 &= 1200 - 58 - 40 - 210 - 40 - 58 - 120 - 70 - 120 - 58 - 100 - 100 - 62 - 120 = \\
 &= 44 \text{ мкм.}
 \end{aligned}$$

Координаты середины поля допусков звеньев определяем по зависимости:

$$C_j = \frac{B_j - H_j}{2},$$

где  $B_j$  – верхнее отклонение  $j$  – того звена;

$H_j$  – нижнее отклонение  $j$  – того звена.

Результаты вычислений сведем в таблице 7

Координату середины поля допуска увязочного звена определяем из выражения:

$$C_{\Delta} = \sum \vec{C}_j - \sum \bar{C}_j,$$

откуда

$$C_{13} = C_2 + C_3 + C_4 - C_1 - C_5 - C_6 - C_7 - C_8 - C_9 - C_{10} - C_{11} - C_{12} - C_{14} - C_{\Delta} = \\ = -20 - 105 - 20 + 0 + 0 + 60 + 35 + 60 + 29 + 50 + 50 + 31 + 60 - 100 = 130 \text{ мкм.}$$

Предельные отклонения увязочного звена

$$B_{13} = \left( C_{13} + \frac{T_{13}}{2} \right) = \left( 130 + \frac{44}{2} \right) = 152 \text{ мкм};$$

$$H_{13} = \left( C_{13} - \frac{T_{13}}{2} \right) = \left( 130 - \frac{44}{2} \right) = 108 \text{ мкм.}$$

Для проверки правильности решения определим координаты середины поля допуска замыкающего звена

$$C_{\Delta} = C_2 + C_3 + C_4 - C_1 - C_5 - C_6 - C_7 - C_8 - C_9 - C_{10} - C_{11} - C_{12} - C_{13} - C_{14} = \\ = -20 - 105 - 20 - 0 - 0 + 60 + 35 + 60 + 29 + 50 + 50 + 31 - 130 + 60 = 100 \text{ мкм.}$$

Следовательно, расчеты выполнены правильно.

## 5 Расчет размерной цепи методом регулирования

Метод регулирования или конструкторский метод заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена достигается изменением (регулировкой) одного из звеньев, которое называется компенсационным.

Роль компенсатора обычно выполняют специальные звенья конструкторского плана в виде прокладок, упоров, клиньев, регулировочных винтов и т. д. При этом остальные звенья размерной цепи обрабатываются со сравнительно большими допусками.

Таблица 8 – Поля допуска и квалитет

Обозначение звена	Номинальный размер, мм	Обозначение поля допуска	Квалитет	Допуск, $T$	Верхнее отклонение, $V$	Нижнее отклонение, $H$	Середина поля допуска, $C$
				МКМ			
$\bar{A}_1$	8	$IT/2$	12	150	75	-75	0
$\bar{A}_2$ (Компенс.)	3	–	–	1490	–	–	-270
$\bar{A}_3$	261	$h$	12	520	0	-520	-260
$\bar{A}_4$	3	$h$	12	100	0	-100	-50
$\bar{A}_5$	8	$IT/2$	12	150	75	-75	0
$\bar{A}_6$ (Станд.)	18	–	–	120	0	-120	-60
$\bar{A}_7$	18	$h$	12	180	0	-180	-90
$\bar{A}_8$	55	$h$	12	300	0	-300	-150
$\bar{A}_9$	10	$h$	12	150	0	-150	-75
$\bar{A}_{10}$	35	$h$	12	250	0	-250	-125
$\bar{A}_{11}$	45	$h$	12	250	0	-250	-125
$\bar{A}_{12}$	40	$h$	12	250	0	-250	-125
$\bar{A}_{13}$	10	$h$	12	150	0	-150	-75
$\bar{A}_{14}$ (Станд.)	18	–	–	120	0	-120	-60
$A_{\Delta}$ (Замык.)	2	–	–	1200	700	-500	100

В качестве компенсатора примем прокладку  $A_2$ , а для размеров остальных звеньев экономически приемлем 12 квалитет.

Назначим согласно табл. 6 для всех звеньев допуски по 12 квалитету кроме компенсирующего и стандартных звеньев и значения занесем в табл. 8.

Определим требуемую величину компенсации

$$\begin{aligned} T_2 &= T_{\Delta} - T_1 - T_3 - T_4 - T_5 - T_6 - T_7 - T_8 - T_9 - T_{10} - T_{11} - T_{12} - T_{13} - T_{14} = \\ &= 1200 - 150 - 520 - 100 - 150 - 120 - 180 - 300 - 150 - 250 - 250 - 250 - \\ &- 150 - 120 = 1490 \text{ мкм.} \end{aligned}$$

Следовательно, при самом неблагоприятном сочетании размеров необходимо будет с компенсатора снять слой материала толщиной 1,49 мм, чтобы замыкающее звено попало в предписанные пределы.

Для определения предельных размеров компенсатора определим середину его поля допуска из условия

$$C_{\Delta} = \Sigma \vec{C}_j - \Sigma \vec{C}_j,$$

откуда

$$\begin{aligned} C_2 &= C_{\Delta} - C_3 - C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9 + C_{10} + C_{11} + C_{12} + C_{13} + C_{14} = \\ &= 100 + 260 + 50 - 0 - 60 - 90 - 150 - 75 - 125 - 125 - 125 - 75 - 60 = \\ &= -475 \text{ мкм.} \end{aligned}$$

Определяем верхнее и нижнее отклонения поля допуска компенсатора

$$\begin{aligned} B_2 &= C_2 + \frac{T_2}{2} = -0,475 + \frac{1,49}{2} = 0,27 \text{ мм;} \\ H_2 &= C_2 - \frac{T_2}{2} = -0,475 - \frac{1,49}{2} = -1,22 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Тогда предельные размеры компенсатора

$$\begin{aligned} A_{\max 2} &= A_2 + B_2 = 3 + 0,27 = 3,27 \text{ мм;} \\ A_{\min 2} &= A_2 + H_2 = 3 - 1,22 = 1,78 \text{ мм.} \end{aligned}$$

На основании рекомендации ГОСТ 25346-81 допуск на отдельный компенсатор определим по 10 квалитету, то есть  $T_K = 40$  мкм.

Необходимое число компенсаторов

$$N_{\min} = \frac{T_2 + T_K}{T_{\Delta} - T_K} + 1 = \frac{1490 + 40}{1200 - 40} + 1 = 2,32.$$

Принимаем число компенсаторов  $N = 3$ .

Определим величину ступени компенсации

$$\Delta = \frac{T_2 + T_K}{N - 1} = \frac{1490 + 40}{3 - 1} = 765 \text{ мкм.}$$

Размеры компенсаторов в комплекте

$$K_1 = (A_{\min 2})_{-T_K} = 1,78_{-0,04} \text{ мм};$$

$$K_2 = (A_{\min 2} + \Delta)_{-T_K} = (1,78 + 0,765)_{-0,04} = 2,545_{-0,04} \text{ мм};$$

$$K_3 = (A_{\min 2} + 2\Delta)_{-T_K} = (1,78 + 2 \cdot 0,765)_{-0,04} = 3,31_{-0,04} \text{ мм.}$$

Проверка правильности расчетов заключается в определении номинального размера последней ступени

$$K_3 = A_{\max} + T_K = 3,27 + 0,4 = 3,31 \text{ мм.}$$

Следовательно, расчеты выполнены верно.



## Литература

1 Анухин, В. И. Допуски и посадки : учеб. пособие для вузов / В. И. Анухин. – 3-е изд. – СПб. : Питер, 2005. – 206 с.

2 Дроздова, Н. А. Основы взаимозаменяемости : учеб. пособие / Н. А. Дроздова, Т. Т. Ереско, И. В. Трифанов ; под общ. ред. И. В. Трифонова. – Красноярск : Сиб гос. аэрокосм. ун-т им. акад. М. Ф. Решетнева, 2006. – 256 с.

3 Допуски и посадки : справочник: в 2 ч. Ч. 2 / В. Д. Мягков, М. А. Палей. А. Б. Романов, В. А. Брагинский. – Л. : Машиностроение, 1983. – 448 с.

4 Мерзликина, Н. В. Взаимозаменяемость и нормирование точности : учеб. пособие / Н. В. Мерзликина, В. С. Секацкий, В. А. Титов. – Красноярск : ИПЦ СФУ, 2011. – 178 с.

5 Марков, Н. Н. Нормирование точности в машиностроении: учебник / Н. Н. Марков, В. В. Осипов, М. Б. Шабалина ; под ред. Ю. М. Соломенцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Академия, 2001. – 336 с.

6 Никифоров, А. Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения : учеб. пособие / А. Д. Никифоров. – 2-е изд. – М. : Высш. шк., 2002. – 510 с.

## Содержание

Введение.....	3
1 Основные положения размерных цепей.....	3
2 Классификация размерных цепей.....	5
3 Методы расчета размерных цепей.....	9
4 Расчет размерной цепи методом “max-min”.....	14
5 Расчет размерной цепи методом регулирования.....	22
Литература.....	25

# **РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ И МЕТОДЫ ИХ РАСЧЕТА**

**Учебно-методическое пособие  
по курсовой работе по дисциплине  
«Нормирование точности и технические  
измерения» для студентов специальностей  
1-36 01 01 «Технология машиностроения»  
и 1-53 01 01 «Автоматизация технологических  
процессов и производств (по направлениям)»  
дневной и заочной форм обучения**

**Составители: Бельский Алексей Тимофеевич  
Прач Светлана Игоревна**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 11.05.22.

Рег. № 16Е.  
<http://www.gstu.by>