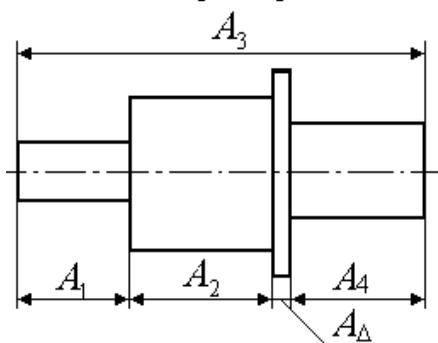


Федеральное агентство по образованию  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники  
(ТУСУР)

# Метод полной взаимозаменяемости в расчете размерных цепей

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы  
по теоретической и прикладной механике  
для студентов всех специальностей



Томск  
2008

Федеральное агентство по образованию  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники  
(ТУСУР)

**Кафедра механики, графики и управления качеством  
(МГУК)**

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой МГУК  
\_\_\_\_\_ Люкшин Б.А.

# Метод полной взаимозаменяемости в расчете размерных цепей

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы по курсам  
«Механика», «Теоретическая механика», «Прикладная  
механика»

Указания рассмотрены и  
одобрены на методическом  
семинаре кафедры МГУК,  
протокол № 30 от 26.02.2008 г.

Разработчик  
Доцент кафедры МГУК  
\_\_\_\_\_ Каминская С.С.  
«5» сентября 2008 г.

Томск

**АННОТАЦИЯ**

Методические указания направлены на закрепление лекционного материала, изучение и углубление знаний по практическому применению и основам расчета и проектирования механизмов машин и приборов.

**СОДЕРЖАНИЕ**

1 Введение .....	4
2 Основные термины и определения .....	4
3 Расчет размерных цепей методом полной взаимозаменяемости .....	8
4 Решение задач первого типа .....	10
5 Решение задач второго типа.....	11
5.1 Задачи второго типа.....	11
5.2 Способ равных допусков.....	11
5.3 Способ равноточных допусков.....	13
6 Исходные данные.....	17
7 Оформление отчета.....	17
8. Контрольные вопросы .....	17
9 Рекомендуемая литература .....	18
Приложение А. Задачи к расчету размерных цепей ...	19
Приложение Б. Значения допусков по ГОСТ 25346-89	22
Приложение В. Предпочтительные поля допусков валов по ГОСТ 25347-82. Предельные отклонения.....	23
Приложение Г. Предпочтительные поля допусков отверстий по ГОСТ 25347-82.....	25
Приложение Д. Предпочтительные посадки по ГОСТ 25347-82 .....	25

## 1. Введение

Мерой точности детали или параметра являются допуски. Допуски разделяются на механические, функциональные и электрические в зависимости от того, какие параметры ограничиваются допусками.

Механические допуски определяют положение детали по отношению к другим деталям. Правильное положение детали в механизме во многом зависит от расчета размерных цепей на отдельные детали и механизмы. Анализ размерных цепей позволяет определить рациональные допуски на взаимосвязанные размеры.

В работе приводятся основные термины, определения и метод расчета плоских размерных цепей (метод полной взаимозаменяемости) Примеры и задачи по расчету размерных цепей, рассматриваемые ниже, являются учебными, т.е. значительно упрощены по сравнению с производственными задачами. Упрощены чертежи изделий и описания технологии обработки размеров детали.

Цель работы:

- закрепить теоретические положения дисциплины, излагаемые в лекциях;
- привить навыки в пользовании справочными материалами и стандартами;
- ознакомить студентов с методом полной взаимозаменяемости в расчете размерных цепей.

## 2. Основные термины и определения

*Размерной цепью* называется совокупность взаимосвязанных размеров, определяющих точность взаимного расположения осей и поверхностей (одной детали) или нескольких деталей в механизме и образующих замкнутый контур. Замкнутость размерного контура – необходимое условие составления и решения размерной цепи.

Размеры, входящие в цепь, обозначают прописными буквами русского или строчными буквами греческого (кроме  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\lambda$  и  $\omega$ ) алфавитов.

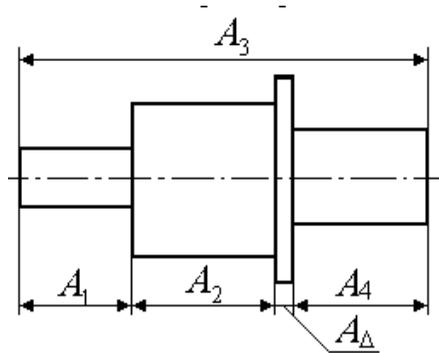
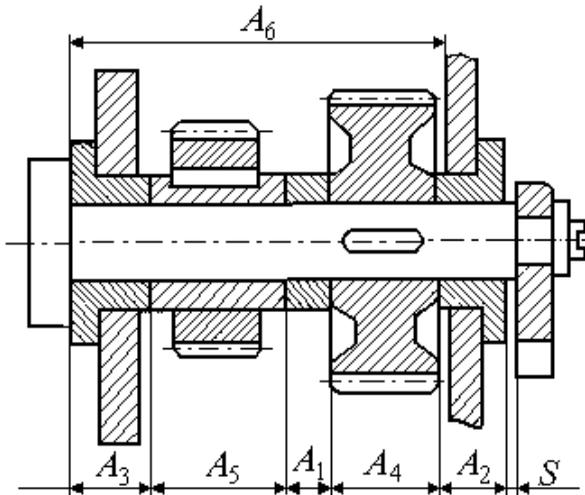


Рисунок. 2.1 – Подetailная размерная цепь

Размерная цепь, определяющая взаимное положение поверхностей детали называется **подetailной размерной цепью** (рис. 2.1).

Размерная цепь, определяющая взаимное положение нескольких деталей в механизме, называется **сборочной размерной цепью** (рис. 2.2).



*Рисунок 2.2 - Сборочная размерная цепь*

Детальная размерная цепь составляется на основании чертежа детали, а сборочная – чертежа прибора (узла).

По расположению размеров в пространстве размерные цепи делятся на линейные, плоские и пространственные.

Размерная цепь называется *линейной*, если все ее размеры параллельны друг другу. Если размеры, входящие в размерную цепь, не параллельны друг другу, но лежат в параллельных плоскостях, то такая цепь называется *плоской*.

*Пространственной* размерной цепью называется цепь, размеры которой не параллельны друг другу и лежат в непараллельных плоскостях.

Ниже будет рассмотрен метод расчета допусков только линейных размерных цепей как наиболее распространенных.

Размеры, входящие в размерную цепь, называют *звеньями размерной цепи*. Размеры подразделяются на составляющие и один замыкающий  $A_{\Delta}$ . Замыкающий размер обозначают той же буквой, что и остальные размеры цепи, но с индексом  $\Delta$ . Например  $A_{\Delta}$ , если составляющие размеры обозначены  $A_1, A_2, A_3...$ )

*Замыкающим размером*  $A_{\Delta}$  размерной цепи называется размер, который получается последним в процессе обработки детали или в процессе сборки (рис. 2.1, 2.2).

Величина и точность замыкающего размера зависит от величины и точности составляющих размеров, которые подразделяются на увеличивающие и уменьшающие.

*Увеличивающими* называют размеры  $A_{i,ув}$ , увеличение которых приводит к увеличению замыкающего размера (контур размерной цепи при этом продолжает оставаться замкнутым).

*Уменьшающими* называются размеры  $A_{i,ум}$ , увеличение которых приводит к уменьшению замыкающего размера (при замкнутом контуре размерной цепи).

Размерную цепь можно изображать графически в виде без масштабной схемы, без изображения самих деталей (рис. 2.3 и 2.4).

Увеличивающие размеры на схемах, рассматриваемых ниже обозначены стрелками, направленными вправо  $\rightarrow$ , уменьшающие – стрелками влево  $\leftarrow$ .

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m A_{i,yв} - \sum_{m+1}^{n-1} A_{i,yм}, \quad (2.1)$$

где  $A_{\Delta}$  - замыкающий размер;

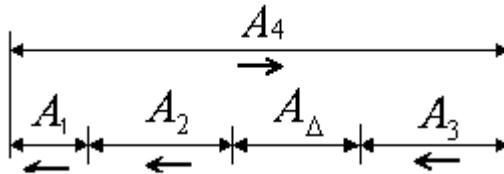
$A_{i,yв}$  - увеличивающие размеры;

$A_{i,yм}$  - уменьшающие размеры;

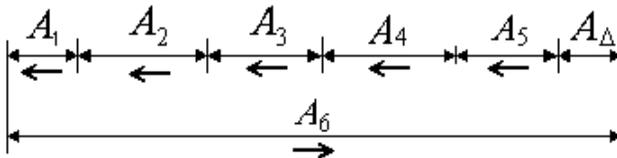
$m$  – число увеличивающих звеньев

$n$  – число звеньев цепи, включающие замыкающее.

Из уравнения (2.1) следует, что номинальное значение замыкающего размера линейной размерной цепи равно разности между суммой всех увеличивающих размеров и суммой всех уменьшающих размеров. Уравнение размерной цепи, решенное относительно замыкающего размера, называется основным уравнением размерной цепи.



*Рисунок 2.3 - Графическое изображение подetailной размерной цепи*



*Рисунок 2.4 – Графическое изображение сборочной размерной цепи*

В детальных размерных цепях замыкающим размером в зависимости от принятого порядка обработки детали может быть любой размер детали, входящий в размерную цепь.

В сборочных размерных цепях замыкающим размером обычно является конструктивный зазор или натяг.

Так как предельные значения зазоров и натягов обычно задаются техническими условиями на изделие, то исходя из значений зазоров и натягов, устанавливаются допуски на увеличивающие и уменьшающие звенья размерной цепи.

### 3. Расчет размерных цепей методом полной взаимозаменяемости

Решить размерную цепь – значит найти такие предельные значения ее увеличивающих и уменьшающих размеров, при которых предельные размеры замыкающего звена отвечали бы требованиям конструкции или технологии. Обычно расчет допусков в размерных цепях сводится к решению одной из следующих задач.

*Тип первый* (прямая задача) – определить допуск и отклонения замыкающего размера, если известны допуски и отклонения уменьшающих и увеличивающих размеров размерной цепи.

*Тип второй* (обратная задача) – определить наиболее рациональные допуски и отклонения увеличивающих и уменьшающих размеров, если известны допуск и отклонения замыкающего размера.

Существует два метода решения размерных цепей: метод полной взаимозаменяемости и метод неполной взаимозаменяемости.

Ниже будет рассмотрен только метод полной взаимозаменяемости. Этот метод решения размерных цепей сводится к так называемому расчету на максимум и минимум.

Учитывая уравнение (2.1), получаем для предельных размеров цепи соотношения:

$$\left. \begin{aligned} A_{\Delta \max} &= \sum A_{i, \text{ув}, \max} - \sum A_{i, \text{ум}, \min} \\ A_{\Delta \min} &= \sum A_{i, \text{ув}, \min} - \sum A_{i, \text{ум}, \max} \end{aligned} \right\}, \quad (3.1)$$

т.е. максимальное значение замыкающего размера ( $A_{\Delta, \max}$ ) равно разности между суммой наибольших значений увеличивающих размеров ( $A_{i, y\phi, \max}$ ) и суммой наименьших значений уменьшающих размеров ( $A_{i, yM, \min}$ ). Минимальное значение замыкающего размера ( $A_{\Delta, \min}$ ) равно разности между суммой наименьших значений увеличивающих размеров ( $A_{i, y\phi, \min}$ ) и суммой наибольших значений уменьшающих размеров ( $A_{i, yM, \max}$ ).

Вычитая почленно из уравнений (3.1) уравнение (2.1) получим уравнение, связывающие предельные отклонения:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{\phi} A_{\Delta} &= \sum \Delta_{\phi} A_{i, y\phi} - \sum \Delta_{M} A_{i, yM} \\ \Delta_{M} A_{\Delta} &= \sum \Delta_{M} A_{i, y\phi} - \sum \Delta_{\phi} A_{i, yM} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Из полученных уравнений можно сделать выводы:

- 1) Верхнее отклонение замыкающего размера ( $\Delta_{\phi} A_{\Delta}$ ) равно разности между суммой верхних предельных отклонений увеличивающих размеров ( $\Delta_{\phi} A_{i, y\phi}$ ) и суммой нижних предельных отклонений уменьшающих размеров ( $\Delta_{M} A_{i, yM}$ ).
- 2) Нижнее отклонение замыкающего размера ( $\Delta_{M} A_{\Delta}$ ) равно разности между суммой нижних предельных отклонений увеличивающих размеров ( $\Delta_{M} A_{i, y\phi}$ ) и суммой верхних предельных отклонений уменьшающих размеров ( $\Delta_{\phi} A_{i, yM}$ ).

Вычитая почленно нижние уравнения из верхних в уравнениях (3.1) или (3.2) получаем уравнение, связывающее допуски в размерной цепи:

$$TA_{\Delta} = \sum_1^{n-1} TA_i, \quad (3.3)$$

т.е. допуск замыкающего размера ( $TA_{\Delta}$ ) равен сумме допусков всех размеров, входящих в размерную цепь. Отсюда вытекает следующее правило, что при заданном допуске на замыкающий размер, нужно стремиться к тому, чтобы количество звеньев в размерной цепи было наименьшим.

#### 4. Решение задач первого типа

Решение производим по формулам (2.1), (3.2) или (3.1) проверку по (3.3)

**Пример 1.** Подсчитать номинальное значение, предельные отклонения замыкающего звена размерной цепи (рис. 2.1)

$$\text{Дано: } A_1 = 30^{+0,17}; A_2 = 20_{-0,14}; A_3 = 20_{-0,24}; A_4 = 75_{-0,2}.$$

**Решение:** 1) Определим увеличивающие и уменьшающие размеры:  $A_4$  – увеличивающий размер,  $A_1, A_2, A_3$  – уменьшающие размеры.

2) Определим номинальное значение замыкающего размера по формуле (1.1)

$$A_{\Delta} = A_4 - (A_1 + A_2 + A_3) = 75 - (30 + 20 + 20) = 5 \text{ мм}.$$

3) Определим отклонения замыкающего размера по формулам (3.2): верхнее отклонение

$$\Delta_e A_{\Delta} = 0 - (-0,14 - 0,24) = +0,38 \text{ мм};$$

нижнее отклонение

$$\Delta_n A_{\Delta} = 0,2 - (0,17 - 0,12) = -0,25 \text{ мм}.$$

Таким образом, замыкающий размер равен  $A_{\Delta} = 5_{-0,25}^{+0,38}$ .

4) Допуск замыкающего звена составит

$$TA_{\Delta} = \Delta_e A_{\Delta} - \Delta_n A_{\Delta} = 0,38 - (-0,25) = 0,63 \text{ мм}.$$

5) Проверку рассчитанных отклонений проведем по формуле (3.3)

$$\sum TA_i = +0,17 + 0,14 + 0,12 + 0,2 = 0,63 \text{ мм}.$$

Результаты проверки показывают, что допуск замыкающего размера и его отклонения определены правильно.

## 5. Решение задач второго типа

### 5.1 Задачи второго типа

В задачах этого типа при конструировании назначается допуск замыкающего размера. Требуется назначить технологически выполняемые допуски составляющих размеров. Предельные размеры, предельные отклонения и допуски составляющих размеров должны удовлетворять уравнениям (2.1, 3,1 - 3,3).

Очевидно, решений может быть множество, если не наложить дополнительные условия. Дополнительными условиями являются нахождение арифметически, путем пропорционального деления допуска замыкающего звена  $TA_{\Delta}$ , ориентировочных значений допусков составляющих размеров. Учитывая технологические трудности изготовления, полученные допуски корректируются.

При предварительном определении допусков арифметически применяют два способа: способ равных допусков и допуск равноточных допусков.

### 5.2 Способ равных допусков

В том случае, когда все размеры цепи входит в один интервал диаметров, можно назначить равные допуски на все составляющие, т.е. принять

$$TA_1 = TA_2 = TA_3 = \dots = TA_{cp}.$$

Уравнение (2.3) примет вид  $TA_{\Delta} = (n-1) TA_{cp}$ , откуда

$$TA_{cp} = \frac{TA_{\Delta}}{(n-1)}, \quad (5.1)$$

где  $n$  – число звеньев цепи, включающее замыкающее.

Если для  $k$  составляющих допуски назначены и сумма этих допусков равна  $f$ , то формула (5.1) примет вид

$$TA_{cp} = \frac{(TA_{\Delta} - f)}{(n-1-k)}. \quad (5.1, a)$$

**Пример 2.** Простейшей сборочной размерной цепью является трехзвенная цепь размеров цилиндрического сопряжения, т.е. отверстия  $D$ , вала  $d$  и зазора  $S$ . Замыкающий размер – зазор

$S = A_{\Delta}$ , диаметр отверстия  $A_1$  - увеличивающий размер, диаметр вала – уменьшающий размер (рис. 5.1). Расчет (по гидродинамической теории смазки) подвижной посадки показывает, что в сопряжении  $\text{Ø}60$  наименьший зазор должен быть равен  $A_{\Delta, \min} = 0,01 \text{ мм}$ . Допустимая несоосность не должна превышать  $0,03 \text{ мм}$ .

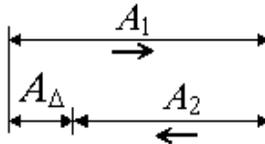


Рисунок 5.1 – К примеру 2 расчета размерных цепей

Решение. Так как несоосность равна половине зазора (рис. 5.2), то наибольший зазор равен удвоенной несоосности  $A_{\Delta, \max} = 0,06 \text{ мм}$ , тогда  $TA_{\Delta} = 0,06 - 0,01 = 0,05 \text{ мм}$ .

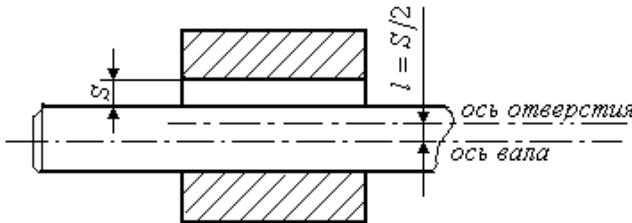


Рисунок 5.2 – Соотношение между величиной зазора  $S$  и несоосностью  $l$

Номинальные размеры отверстия и вала одинаковы, следовательно, можно применить способ равных допусков. По формуле (5.1) получаем для  $n = 3$

$$TA_1 = TA_2 = 0,05/2 = 0,025 \text{ мм}.$$

Допуск  $25 \text{ мкм}$  для диаметра  $60$  (ГОСТ 25346, см. приложение Б) не предусмотрен. Для размера  $60$  по 6-му качеству допуск равен  $19 \text{ мкм}$ , а по 7-му качеству –  $30 \text{ мкм}$ . Так как обычно применяют сопряжения отверстий 7-го качества с валами 6-го качества (см. приложение Д), то приняв  $TA_1 = 30 \text{ мкм}$ , а

$TA_2 = 19 \text{ мкм}$ , получим  $TA_\Delta = 30 + 19 = 49 \text{ мкм}$ . Что удовлетворяет условию примера.

Для окончательного решения следует подобрать наиболее подходящую посадку. По ГОСТ 25346 (см. приложения В, Г) находим, что верхнее отклонение вала  $g6$  равно минус 10, а нижнее отклонение отверстия  $H7$  равно нулю, следовательно такой посадкой является  $\varnothing 60 \frac{H7}{g6}$  (рис. 5.3).

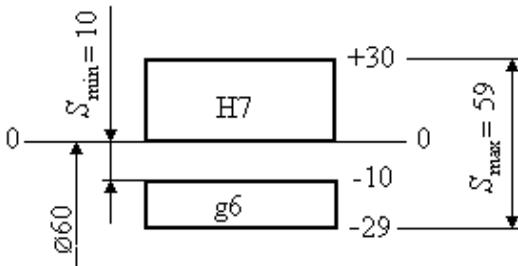


Рисунок 5.3 – Схема поля допуска посадки  $\varnothing 60 \frac{H7}{g6}$

### 5.3 Способ равноточных допусков

При решении задач этим способом условно принимают, что возрастание допуска линейных размеров при возрастании номинального размера имеет место ту же закономерность, что и возрастание допуска диаметра. Эта закономерность выражена формулой для единицы допуска  $i$ . Для 5-17 квалитетов

$$i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D,$$

где  $D$  – в мм,  $i$  – в мкм.

Количество единиц допуска  $i$  в допусках 5-13-го квалитетов, т.е. величина  $a \cdot i$  приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1 - Формула допусков квалитетов от 5 до 15

Обозначения допуска	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13
Формула допуска	$7i$	$10i$	$16i$	$25i$	$40i$	$64i$	$100i$	$160i$	$250i$

Исходя из табл. 5.1 в общем виде формула допуска имеет вид

$$TA_i = a_i \cdot i, \quad (5.2)$$

где

$$i = 0,45\sqrt[3]{A_{i,cp}} + 0,001A_{i,cp}. \quad (5.3)$$

Значения  $i$  для основных интервалов в диапазоне до 315 мм приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2 - Значения  $i$  для основных интервалов

Основные интервалы номинальных размеров, мм		Значения $i$ , мкм
свыше	до	
	3	0,55
3	6	0,73
6	10	0,90
10	18	1,08
18	30	1,31
30	50	1,56
50	80	1,86
80	120	2,17
120	180	2,52
180	250	2,90
250	315	3,23

Выразив допуски всех составляющих в единицах допуска, получаем по (3.3)

$$TA_{\Delta} = \sum_1^{n-1} a_i (0,45\sqrt[3]{A_{i,cp}} + 0,001A_{i,cp}).$$

Полагая, что все размеры равноточны, т.е. должны выполняться по одному качеству, следует принять, что

$$a_1 = a_2 = \dots a_{n-1} = a_{cp},$$

где  $a_{cp}$  - количество единиц допуска или коэффициент точности данной размерной цепи. Вынося  $a_{cp}$  за знак суммы, получаем

$$TA_{\Delta} = a_{cp} \sum_1^{n-1} (0,45\sqrt[3]{A_{i,cp}} + 0,001A_{i,cp}) = a_{cp} \sum i_i, \text{ откуда}$$

$$a_{cp} = \frac{TA_{\Delta}}{\sum i_i}. \quad (5.4)$$

Величины, стоящие в знаменателе, выбирают из табл. 5.2, величина  $AT_{\Delta}$  по условиям задачи задана. Величина  $a_{cp}$  показывает путем сравнения с величинами (табл. 5.1), по какому примерно качеству следует обрабатывать размеры, составляющие цепь. Допуски выбирают из таблицы допусков на диаметры.

Полученное значение  $a_{cp}$  может не совпадать ни с одним из помещенных в табл. 5.1 стандартным значением, поэтому можно использовать допуски различных качеств, учитывая технологические условия. Критерием правильности выбора служит уравнение (3.3), которое должно удовлетворяться.

Допустимо, чтобы  $AT_{\Delta}$  превышало  $\sum TA_i$  на 5-6%, если необходимо назначить допуски, взятые из стандарта, и не изменять их так, чтобы уравнение (3.3) удовлетворялось тождественно.

**Пример 3.** В редукторе (рис. 2.2) величина зазора  $S = A_{\Delta}$  должна быть в пределах 1,0-1,4 мм. Требуется назначить допуски и предельные отклонения на составляющие размеры для условия обеспечения полной взаимозаменяемости, если  $A_1 = 20$ ,  $A_2 = 35$ ,  $A_3 = 35$ ,  $A_4 = 50$ ,  $A_5 = 60$ ,  $A_6 = 200$ .

*Решение.* Это задача второго типа. Замыкающее звено  $S$ . Решение удобнее расположить в виде таблицы (см. табл. 5.3). Схему цепи можно не составлять, т.к. она показана на эскизе.

Определяя  $a_{cp}$  по формуле (5.4), получаем

$$a_{cp} = 400/10,75 \approx 40 \text{ ед. допуска.}$$

Значение  $a_{cp}$  соответствует точности обработки 9-го качества (см. табл. 5.1).

В графе 3 показаны допуски 9-го качества на диаметры соответствующего номинального размера (см. ГОСТ 25346, приложение Б). Сумма допусков меньше допуска замыкающего звена на

27 мкм. Чтобы уравнение (3.3) удовлетворялось, уменьшим допуск  $A_5$ . Принятые размеры приведены в графе 4.

Таблица 5.3 – К решению примера 3

$A_{i,ном}$ , мм	$i$ , мкм	$TA_i$ , мкм	$A_i$ , мм (принятое)
1	2	3	4
$A_1 = 20$	1,31	52	$20_{-0,052}$
$A_2 = 35$	1,56	62	$35_{-0,062}$
$A_3 = 35$	1,56	62	$35_{-0,062}$
$A_4 = 50$	1,56	62	$35_{-0,062}$
$A_5 = 60$	1,86	74	$60_{-0,046}$
$A_6 = 200$	2,90	115	$200_{+1,116}^{+1,000}$
$\Sigma$	10,75	427	

Определим номинальный размер и предельные отклонения замыкающего звена  $A_\Delta = S$ , а затем назначим отклонения составляющих размеров.

Размер  $A_6$  - увеличивающее звено, остальные звенья уменьшающие. По уравнению (2.1)

$$A_\Delta = 200 - (20 + 35 + 35 + 35 + 60 + 50) = 0.$$

Предельные размеры зазора:

$$A_{\Delta,max} = 1,4 \text{ мм} \quad \text{и} \quad A_{\Delta,min} = 1,0 \text{ мм}.$$

Следовательно, предельные отклонения

$$\Delta_g A_\Delta = +1400; \quad \Delta_n A_\Delta = +1000.$$

Назначим отклонения всех составляющих, кроме размера 200 в «минус», так как все размеры являются охватываемыми, а размер 200 мм может иметь отклонения любого знака. Отклонения  $A_6$  можно определить из условия (2.2). Получим:

$$+1400 = \Delta_g A_6 - (52 - 62 - 62 - 62 - 46); \quad \Delta_g A_6 = +1116 \text{ мкм};$$

$$+1000 = \Delta_n A_6 - 0; \quad \Delta_n A_6 = +1000 \text{ мкм}.$$

Проверяем:  $AT_\Delta = 400 \text{ мкм}$  и

$$\sum TA_i = 52 + 62 + 62 + 62 + 46 + 116 = 400 \text{ мкм},$$

т.е. допуск замыкающего размера равен сумме допусков составляющих размеров.

## 6. Исходные данные

Исходные данные и нормативные документы студенты получают у преподавателя в соответствии с указанным вариантом.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7
Номера задач	1 <sub>1</sub> ,	1 <sub>2</sub> ,	1 <sub>3</sub> ,	1 <sub>4</sub> ,	1 <sub>5</sub> ,	1 <sub>6</sub> ,	1 <sub>7</sub> ,
	2 <sub>а</sub> ,	2 <sub>б</sub> ,	3 <sub>а</sub> ,	3 <sub>б</sub> ,	3 <sub>в</sub> ,	5 <sub>а</sub> ,	5 <sub>б</sub> ,
	4 <sub>1</sub>	4 <sub>2</sub>	4 <sub>3</sub>	4 <sub>4</sub>	4 <sub>5</sub>	4 <sub>6</sub>	4 <sub>7</sub>
	6 <sub>1</sub>	6 <sub>2</sub>	6 <sub>3</sub>	6 <sub>4</sub>	6 <sub>5</sub>	6 <sub>6</sub>	6 <sub>7</sub>

## 7. Оформление отчета

Оформить отчет на листах формата А4 в соответствии с требованиями ОС ТУСУР 61-97 \*.

Отчет должен содержать титульный лист, исходные данные, порядок расчета, проверку и результаты расчета. Эскизы и простановка размеров должны быть выполнены в соответствии с ЕСКД.

## 8. Контрольные вопросы

- 7.1 Дайте определение размерной цепи.
- 7.2 Назовите виды размерных цепей.
- 7.3 Дайте определения подетальной и сборочной размерной цепи.
- 7.4 Дайте определения линейных, плоских и пространственных размерных цепей.
- 7.5 Дайте определения замыкающим и составляющим размерам цепи.
- 7.6 Какие размеры цепи называются увеличивающими и уменьшающими?
- 7.7 Запишите уравнение для определения номинального замыкающего размера.
- 7.8 Назовите типы задач расчета размерных цепей и дайте их

определение.

- 7.9 Чему равно максимальное значение замыкающего размера?
- 7.10 Чему равно минимальное значение замыкающего размера?
- 7.11 Чему равно верхнее отклонение замыкающего размера?
- 7.12 Чему равно нижнее отклонение замыкающего размера?
- 7.13 Чему равен допуск замыкающего размера?
- 7.14 Сформулируйте основное условие и запишите уравнение для способа равных допусков?
- 7.15 Как проводится расчет размерных цепей в способе равноточных допусков?
- 7.16 В каких пределах допустимо превышение значения допуска замыкающего размера  $AT_{\Delta}$  в отличие от  $\sum TA_i$  суммы допусков составляющих размеров?

### **9. Рекомендуемая литература**

- 1 ГОСТ 25346-89 ЕСДП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений.
- 2 ГОСТ 24643-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения.
- 3 Тищенко О.Ф., Нестеров А.Г., Коваленко В.А. и др. Элементы приборных устройств: Справочник / Под ред. Тищенко О.Ф. – М.: высшая школа, 1978.
- 4 Справочник конструктора точного приборостроения / Г.А. Верткович, Е.Н. Головенкин, В.А. Голубков и др.; Под общ. ред. К.Н. Явленского, Б.П. Тимофеева, Е.Е. Чадаевой. – Л.: Машинотроение. Ленингр. отд-ние 1989.

### Задачи для расчета размерных цепей

**Задача 1.** Подсчитать номинальное значение, предельные отклонения замыкающего размера размерной цепи изображенной на рис. 2.4. Исходные данные приведены в таблице

Номер варианта	Предельно допустимые размеры, мм					
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$
1	$14_{-0,24}^{-0,12}$	$30_{-0,2}$	$15_{-0,03}^{+0,12}$	$12_{-0,01}^{+0,03}$	$8_{-0,03}^{+0,02}$	$82_{-0,04}^{+0,25}$
2	$12_{+0,01}^{+0,04}$	$22_{-0,15}^{+0,15}$	$13_{-0,03}^{+0,25}$	$10_{-0,15}^{-0,05}$	$14_{-0,01}^{+0,06}$	$74_{-0,24}$
3	$28_{-0,03}^{+0,02}$	$34_{-0,03}^{+0,06}$	$8_{-0,03}^{+0,02}$	$10_{-0,15}^{+0,01}$	$4 \pm 0,01$	$87_{-0,2}$
4	$10_{-0,01}^{+0,02}$	$2_{-0,01}^{+0,01}$	$4_{-0,01}^{+0,03}$	$14_{-0,02}^{+0,06}$	$18 \pm 0,01$	$50_{-0,01}^{+0,3}$
5	$2_{-0,01}$	$10_{-0,01}^{+0,02}$	$14_{-0,01}^{+0,06}$	$8_{-0,03}^{+0,02}$	$26 \pm 0,03$	$64_{-0,01}^{+0,02}$
6	$12_{-0,01}^{+0,03}$	$8_{-0,03}^{+0,02}$	$10_{-0,01}^{+0,02}$	$10_{-0,01}^{+0,02}$	$38 \pm 0,06$	$81_{-0,01}^{+0,02}$
7	$11_{-0,01}$	$16_{-0,01}^{+0,03}$	$12_{-0,01}^{+0,03}$	$30_{-0,02}^{+0,05}$	$27_{-0,02}^{+0,04}$	$98_{-0,04}^{+0,06}$

**Задача 2а.** Подсчитать номинальное значение и предельные отклонения размера  $A_2$  размерной цепи (рис.5.1).

Дано:  $A_1 = 45_{-0,15}^{+0,05}$ ,  $A_\Delta = 5_{-0,05}^{-0,05}$ .

**Задача 2б.** Подсчитать номинальное значение и предельные отклонения размера  $A_2$  размерной цепи (рис. 5.1). Дано:

$A_1 = 60 \pm 0,015$ ,  $A_\Delta = 15_{-0,017}^{+0,016}$  (см. пример 1)

**Задача 3а.** Требуется назначить технологически выполнимые допуски для вала и отверстия сопряжения  $\varnothing 30$ , наименьший зазор должен быть равен  $A_{\Delta, \min} = 7$  мкм. Допустимая несоосность не должна превышать 15 мкм (см. пример 2).

**Задача 3б.** Произвести расчеты трехзвенной цепи размера цилиндрического сопряжения  $\varnothing 40$  наименьший зазор должен быть равен  $A_{\Delta, \min} = 8$  мкм. Допустимая несоосность 20 мкм (см. пример 2).

**Задача 3в.** Произвести расчеты трехзвенной цепи размера цилиндрического сопряжения  $\varnothing 60$  наименьший зазор должен быть равен  $A_{\Delta, \min} = 8$  мкм. Допустимая несоосность 30 мкм (см. пример 2).

**Задача 4.** Подсчитать номинальное значение и предельные отклонения замыкающего размера размерной цепи, изображенной на рисунке. Исходные данные приведены в таблице.

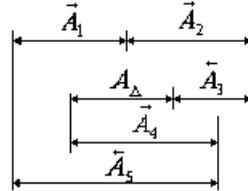


Рисунок к задаче 4

Номер варианта	Предельно допустимые размеры, мм				
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
1	$45^{+0,17}$	$25_{-0,14}$	$10_{-0,15}^{-0,05}$	$18_{-0,24}^{-0,12}$	$68_{+0,2}$
2	$40_{-0,01}^{+0,03}$	$12_{+0,01}^{+0,03}$	$18^{+0,2}$	$16_{-0,24}$	$38^{+0,12}$
3	$32_{-0,02}^{+0,05}$	$22^{+0,03}$	$28_{-0,1}$	$10 \pm 0,1$	$30 \pm 0,2$
4	$12_{-0,01}^{+0,03}$	$40_{-0,01}^{+0,03}$	$20_{-0,34}^{-0,12}$	$38_{-0,2}^{-0,1}$	$30_{-0,24}^{-0,12}$
5	$48_{-0,24}^{-0,12}$	$18 \pm 0,3$	$20_{-0,24}$	$16 \pm 0,1$	$20_{-0,24}^{-0,12}$
6	$12_{-0,01}^{+0,03}$	$25_{-0,14}$	$10_{-0,15}^{-0,05}$	$10_{-0,15}^{-0,05}$	$35^{+0,17}$
7	$45^{+0,17}$	$27_{-0,14}$	$12_{-0,01}^{+0,03}$	$10_{-0,15}^{-0,05}$	$62_{-0,01}^{+0,03}$

**Задача 5а.** На рисунке изображена деталь в двух проекциях. Для проектирования сопряженной детали и для сборки необходимо определить: расстояние от правой стенки паза до  $18_{-0,24}^{-0,12}$  правой грани детали; расстояние между центрами отверстий и расстояние от левой стенки паза до отверстий.

**Задача 5б.** Провести расчеты тех же цепей, при условии, что:  
 $A_1 = 70_{-0,4}$ ;  $A_2 = 40 \pm 0,17$ ;  $A_3 = 12 \pm 12$ ;  $B_1 = 40_{-0,34}$ ;  
 $B_2 = B_4 = 10 \pm 0,1$ ;  $B_1 = A_2 = 40 \pm 0,17$ ;  $B_2 = 20 \pm 0,14$ .

*Примечание.* Все определяемые размеры входят в различные цепи и являются замыкающими, так как точность обрабатываемых размеров задана.

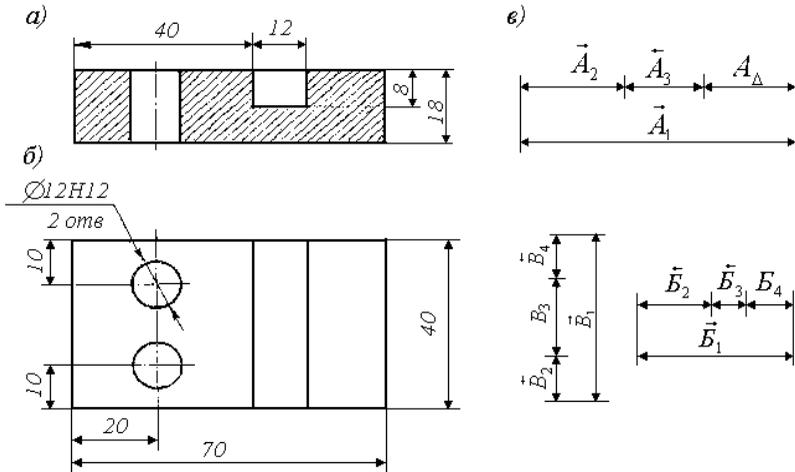


Рисунок к задачам 3а и 3б

**Задача 6.** Требуется назначить допуски и предельные отклонения на составляющие размеры в редукторе (рис.2.2) при условии обеспечения полной взаимозаменяемости (см. пример 3). Исходные данные приведены в таблице

Номер варианта	Величина зазора (в пределах)	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$
		мм					
1	1,00-1,45	35	60	20	70	40	225
2	1,00-1,30	13	30	15	26	7	78
3	1,20-1,30	6	15	8	6	2	37
4	1,30-1,74	26	60	30	26	14	156
5	1,35-1,60	30	50	8	20	18	126
6	1,15-1,40	35	40	20	60	10	165
7	1,20-1,45	20	60	40	15	38	173

## ЗНАЧЕНИЯ ДОПУСКОВ ПО ГОСТ 25346-89, МКМ

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

**ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ ПОЛЯ ДОПУСКОВ ВАЛОВ ПО  
ГОСТ 25347-82. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ**

Номинальные размеры, мм	Предпочтительные поля допусков								
	g6	h6	g <sub>s</sub> 6	k6	n6	p6	r6	s6	s7
	Предельные отклонения, мкм								
От 1 до3	-2	0	+3	+6	+10	+12	+16	+20	+24
	-8	-6	-3	0	+4	+6	+10	+14	+14
Св. 3 до 6	-4	0	+4	+9	+16	+20	+23	+27	+31
	-12	-8	-4	+1	+8	+12	+15	+19	+19
Св. 6 до 10	-5	-5	0	+4,5	+10	+19	+28	+32	+38
	-14	-14	-9	-4,5	+1	+10	+19	+23	+23
Св. 10 до18	-6	0	+5,5	+12	+23	+29	+34	+39	+46
	-17	-11	-5,5	+1	+12	+18	+23	+28	+28
Св. 18 до 30	-7	0	+6,5	+15	+28	+35	+41	+48	+56
	-20	-13	-6,5	+2	+15	+22	+28	+35	+35
Св. 30 до 50	-9	0	+8	+18	+33	+42	+50	+59	+68
	-25	-16	-8	+2	+17	+26	+34	+43	+43
Св. 50 до 65	-10	0	+9,5	+21	+39	+51	+41	+53	+83
	-29	-19	-9,5	+2	+20	+32	+62	+78	+89
Св. 65 до 80							+43	+59	+59
Св. 80 до 100	-12	0	+11	+25	+45	+59	+73	+93	+106
	-34	-22	-11	+3	+23	+37	+51	+71	+71
Св. 100 до 120							+76	+101	+114
							+54	+79	+79
Св. 120 до 140							+88	+117	+132
							+63	+92	+92
Св. 140 до 160	-14	0	+12,5	+28	+52	+68	+90	+125	+140
	-39	-25	-12,5	+3	+27	+43	+65	+100	+100
Св. 160 до 180							+93	+133	+148
							+68	+108	+108
Св. 180 до 200							+106	+151	+168
							+77	+122	+122
Св. 200 до 225	-15	0	+14,5	+33	+60	+79	+109	+159	+176
	-44	-29	-14,5	+4	+31	+50	+80	+130	+130
Св. 225 до 250							+113	+169	+186
							+84	+140	+140

## Продолжение приложения В

Номинальные размеры, мм	Предпочтительные поля допусков								
	f7	h7	e8	h8	u8	d9	h9	d11	h11
	Предельные отклонения, мкм								
От 1 до3	-6	0	-14	0	+32	-20	0	-20	0
	-16	-10	-28	-14	+18	-45	-25	-80	-60
Св. 3 до 6	-10	0	-20	0	+41	-30	0	-30	0
	-22	-12	-38	-18	+23	-60	-30	-105	-75
Св. 6 до 10	-13	0	-25	0	+50	-40	0	-40	0
	-28	-15	-47	-22	+28	-76	-36	-130	-90
Св. 10 до18	-16	0	-32	0	+60	-50	0	-50	0
	-34	-18	-59	-27	+35	-93	-43	-160	-110
Св. 18 до 24	-20	0	-40	0	+74	-65	0	-65	0
					+41				
Св. 24 до 30	-41	-21	-73	-33	+81	-117	-52	-195	-130
					+48				
Св. 30 до 40	-25	0	-50	0	+99	-80	0	-80	0
					+60				
Св. 40 до 50	-50	-25	-89	-39	+109	-142	-62	-240	-160
					+70				
Св. 50 до 65	-30	0	-60	0	+133	-100	0	-100	0
					+87				
Св. 65 до 80	-60	-30	-106	-46	+148	-174	-74	-290	-190
					+102				
Св. 80 до 100	-36	0	-72	0	+178	-120	0	-120	0
					+128				
Св. 100 до 120	-71	-35	-126	-54	+198	-207	-87	-340	-220
					+144				
Св. 120 до 140	-43	0	-85	0	+233	-145	0	-145	0
					+170				
Св. 140 до 160	-83	-40	-148	-63	+253	-245	-100	-395	-250
					+190				
Св. 160 до 180					+273				
					+210				
Св. 180 до 200					+308				
					+236				
Св. 200 до 225	-50	0	-100	0	+330	-70	0	-170	0
					-96				
Св. 225 до 250					+258	-285	-115	-460	-290
					+356				
					+284				

**ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ ПОЛЯ ДОПУСКОВ ОТВЕРСТИЙ  
ПО ГОСТ 25347-82. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ**

Номинальные размеры, мм	Предпочтительные поля допусков										
	H6	H7	J <sub>s</sub>	K7	N7	P7	F8	H8	E9	H9	H11
	Предпочтительные поля допусков, мкм										
От 1 до 3	+6 0	+10 0	+5 -5	0 -10	-4 -14	-6 -16	+20 +6	+14 0	+39 +14	+25 0	+60 0
Св. 3 до 6	+8 0	+12 0	+6 -6	+3 -9	-4 -16	-8 -20	+28 +10	+18 0	+50 +20	+30 0	+75 0
Св. 6 до 10	+9 0	+15 0	+7 -7	+5 -10	-4 -19	-9 -24	+35 +13	+22 0	+61 +25	+36 0	+90 0
Св. 10 до 18	+11 0	+18 0	+9 -9	+6 -12	-5 -23	-11 -29	+43 +16	+27 0	+75 +32	+43 0	+110 0
Св. 18 до 30	+13 0	+21 0	+10 -10	+6 -15	-7 -28	-14 -35	+53 +20	+33 0	+92 +40	+52 0	+130 0
Св. 30 до 50	+16 0	+25 0	+12 -12	+7 -18	-8 -33	-17 -42	+64 +25	+39 0	+112 +50	+62 0	+160 0
Св. 50 до 80	+19 0	+30 0	+15 -15	+9 -21	-9 -39	-21 -51	+76 +30	+46 0	+134 +60	+74 0	+190 0
Св. 80 до 120	+22 0	+35 0	+17 -17	+10 -25	-10 -45	-24 -59	+90 +36	+54 0	+159 +72	+87 0	+220 0
Св. 120 до 180	+25 0	+40 0	+20 -20	+12 -28	-12 -52	-28 -68	+106 +43	+63 0	+185 +85	+100 0	+250 0
Св. 180 до 250	+29 0	+46 0	+23 -23	+13 -33	-14 -60	-33 -79	+122 +50	+72 0	+215 +100	+115 0	+290 0

**ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ ПОСАДКИ ПО ГОСТ 25347-82 ДЛЯ  
НОМИНАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ОТ 1 ДО 500 ММ**

Система отверстия			Система вала		
Посадки с зазором	Переходные посадки	Посадки с натягом	Посадки с зазором	Переходные посадки	Посадки с натягом
$\frac{H7}{e8}; \frac{H7}{f7}$	$\frac{H7}{j_s6}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{F8}{h6}; \frac{H7}{h6}$	$\frac{J_s7}{h6}$	
$\frac{H7}{g6}; \frac{H7}{h6}; \frac{H8}{h7}$	$\frac{H7}{k6}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{E9}{h8}; \frac{H8}{h7}$	$\frac{K7}{h6}$	$\frac{P7}{h6}$
$\frac{H8}{e8}; \frac{H8}{h8}; \frac{H9}{d9}$	$\frac{H7}{n6}$	$\frac{H7}{s6}$	$\frac{H8}{h8}; \frac{H11}{h11}$	$\frac{N7}{h6}$	
$\frac{H9}{d9}; \frac{H11}{d11}; \frac{H11}{h11}$					

