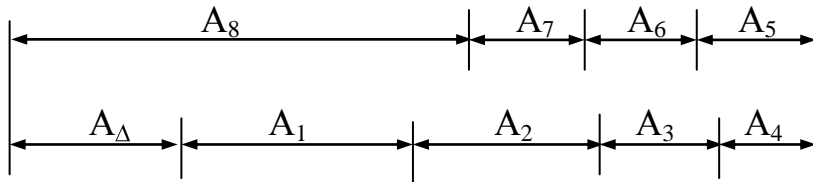


## Задача 2

### Расчет размерных цепей

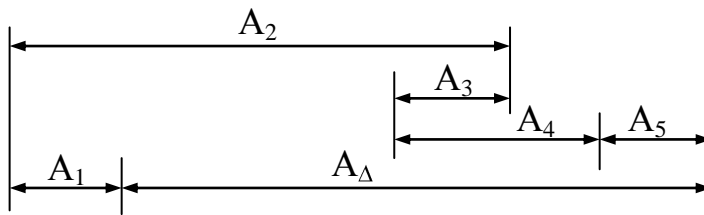
**Условие.** Рассчитать заданную на рис 8.1 – рис. 8.12 и в табл. 8.1 – табл. 8.12 размерную цепь, обосновав выбор метода расчета.



*Рис. 8.1*

**Таблица 8.1**

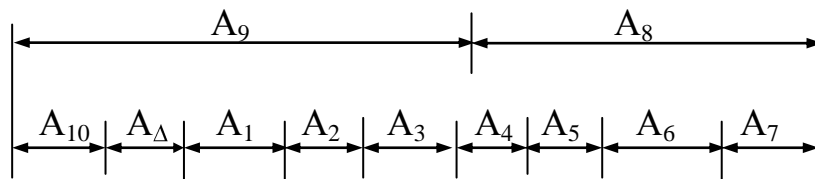
Вариант	$A_{\Delta}$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$
1	?	20h14	14 <sub>-0,12</sub>	10h14	50±0,31	20 <sub>-0,12</sub>	5h14	9h14	60h14
2	?	20 <sub>-0,52</sub>	15 <sub>-0,12</sub>	10 <sub>-0,36</sub>	50±0,31	21 <sub>-0,12</sub>	5 <sub>-0,3</sub>	9 <sub>-0,36</sub>	60 <sub>-0,74</sub>
3	0±2	40	16 <sub>-0,12</sub>	20	80	23 <sub>-0,12</sub>	13	20	100
4	0±3	50 <sub>-0,62</sub>	17 <sub>-0,12</sub>	20 <sub>-0,52</sub>	?	24 <sub>-0,12</sub>	12 <sub>-0,43</sub>	20 <sub>-0,52</sub>	110 <sub>-0,87</sub>



*Рис. 8.2*

**Таблица 8.2**

Вариант	$A_{\Delta}$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
5	100±0,8	45	142	10	12	1 <sup>+0,4</sup>
6	200±1,2	70	266	12	15	1 <sup>+0,5</sup>
7	80±0,5	30	107	8	10	1 <sup>+0,5</sup>
8	150±1	50	205	10	13	1 <sup>+0,5</sup>



*Рис. 8.3*

**Таблица 8.3**

Вариант	$A_{\Delta}$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$	$A_{10}$
9	0,6 - 2,2	11 <sub>-0,1</sub>	10	50	50	10	11 <sub>-0,1</sub>	9	140	23	11 <sub>-0,1</sub>
10	0,8 - 2,8	14 <sub>-0,1</sub>	10	50	80	10	14 <sub>-0,1</sub>	20	185	30	14 <sub>-0,1</sub>
11	1 - 2,5	16 <sub>-0,1</sub>	12	90	120	12	16 <sub>-0,1</sub>	12	262	35	15 <sub>-0,1</sub>
12	1 - 2	17 <sub>-0,12</sub>	12	120	150	12	17 <sub>-0,12</sub>	25	330	40	17 <sub>-0,12</sub>

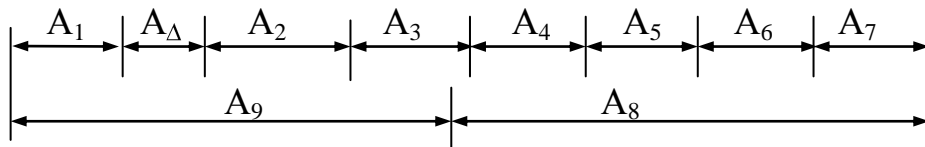


Рис. 8.4

Таблица 8.4

Вариант	$A_{\Delta}$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
13	3 <sub>-1,0</sub>	5	18	3	12	3	5	17 <sub>-0,12</sub>	51	15
14	3 <sub>-1,0</sub>	8	20	5	14	5	7	19 <sub>-0,12</sub>	61	20
15	3 <sub>-1,0</sub>	10	20	5	16	5	7	20 <sub>-0,12</sub>	64	22
16	3 <sub>-1,0</sub>	10	22	5	18	5	10	23 <sub>-0,12</sub>	72	24

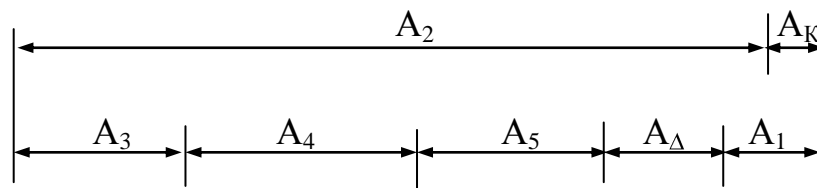


Рис. 8.5

Таблица 8.5

Вариант	$A_{\Delta}$	$A_1$	$A_2$	$A_3 = A_5$	$A_K$	$A_4$
17	0,05 - 0,1	10	89	20 <sub>-0,072</sub>	3±0,02	42
18	0,05 - 0,15	10	106	21 <sub>-0,09</sub>	3±0,02	57
19	0,1 - 0,4	12	124	22 <sub>-0,09</sub>	2±0,02	70
20	0,1 - 0,6	15	135	24 <sub>-0,03</sub>	2±0,02	74

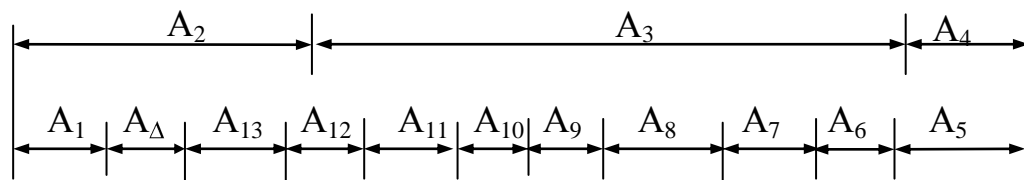


Рис. 8.6

Таблица 8.6

Размер	Вариант			Размер	Вариант		
	21	22	23		21	22	23
$A_{\Delta}$	1 <sup>+4</sup>	1 <sup>+3</sup>	1 <sup>+3</sup>	$A_7$	5	4	4 <sub>-0,08</sub>
$A_1$	4 <sup>+0,08</sup>	4 <sup>+0,08</sup>	5 <sup>+0,08</sup>	$A_8$	30 <sub>-0,18</sub>	30	25 <sub>-0,19</sub>
$A_2$	5 <sup>+0,08</sup>	5	5 <sup>+0,08</sup>	$A_9$	40 <sub>-0,16</sub>	40	40 <sub>-0,16</sub>
$A_3$	200	200	200	$A_{10}$	60	60	60
$A_4$	5	5	5 <sub>-0,08</sub>	$A_{11}$	30 <sub>-0,19</sub>	25	20
$A_5$	5	5	?	$A_{12}$	3 <sub>-0,14</sub>	7	6 <sub>-0,08</sub>
$A_6$	16 <sub>-0,12</sub>	17 <sub>-0,12</sub>	21 <sub>-0,12</sub>	$A_{13}$	16 <sub>-0,12</sub>	17 <sub>-0,12</sub>	21 <sub>-0,12</sub>

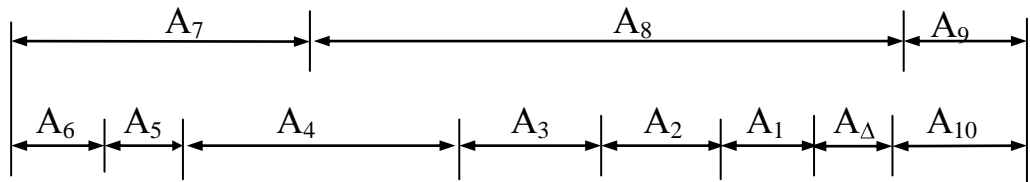


Рис. 8.7

Таблица 8.7

Вариант	$A_{\Delta}$	$A_1 = A_5$	$A_2 = A_3$	$A_4$	$A_6 = A_7$	$A_8$	$A_9$	$A_{10}$
24	$1^{+2}$	$16_{-0,12}$	30	95	6	185	6	3
25	?	$17_{-0,12}$	40h11	80h12	$6^{+0,12}$	$194_{-1,15}$	$6^{+0,12}$	$5^{+0,12}$
26	$1^{+2}$	$18_{-0,12}$	40	85	6	200	6	4
27	?	$15_{-0,12}$	10h11	50h14	$6^{+0,3}$	100 h14	6 h14	$5^{+0,3}$
28	$1^{+3}$	$19_{-0,12}$	25	100	$6^{+0,12}$	?	$6^{+0,12}$	$5^{+0,12}$

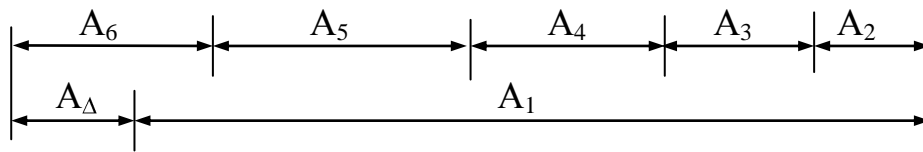


Рис. 8.8

Таблица 8.8

Вариант	$A_{\Delta}$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$
29	?	$82^{+0,87}$	$5_{-0,3}$	$16_{-0,12}$	$5_{-0,3}$	$45_{-0,62}$	$14_{-0,12}$
30	$3_{-2,45}$	100	10	$18_{-0,12}$	?	$50_{-0,62}$	$16_{-0,12}$
31	$3_{-2,45}$	104	10	$20_{-0,12}$	9	?	$18_{-0,12}$
32	?	$100^{+0,87}$	$10_{-0,2}$	$22_{-0,12}$	$10_{-0,2}$	$50_{-0,39}$	$20_{-0,12}$

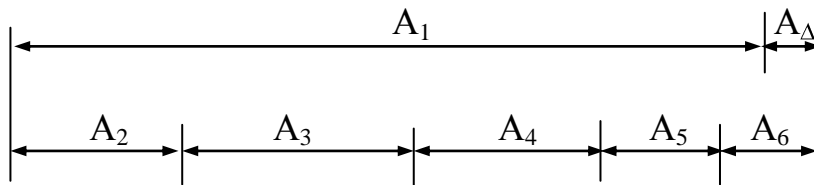


Рис. 8.9

Таблица 8.9

Вариант	$A_{\Delta}$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$
33	?	$126^{+1}$	$40_{-0,39}$	$30_{-0,21}$	$16_{-0,12}$	$20_{-0,21}$	$20_{-0,21}$
34	$0^{+2,3}$	?	40	30	$18_{-0,12}$	20h11	20h11
35	$0^{+2,3}$	$126^{+1}$	40	30	$20_{-0,12}$	?	20h11
36	?	126H14	40h14	30h14	$22_{-0,12}$	20h14	20h14

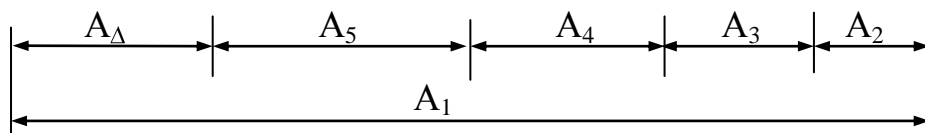


Рис. 8.10

Таблица 8.10

Вариант	$A_{\Delta}$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
37	?	62H11	$20_{-0,12}$	16h11	$20_{-0,12}$	6h11
38	?	72H11	$24_{-0,12}$	17h11	$24_{-0,12}$	7h11
39	?	80H11	$30_{-0,12}$	14h11	$30_{-0,12}$	6h11
40	$0 \div 0,8$	?	$34_{-0,12}$	20	$34_{-0,12}$	8

41	$0 \div 0,6$	?	$40_{-0,12}$	20	$40_{-0,12}$	8
----	--------------	---	--------------	----	--------------	---

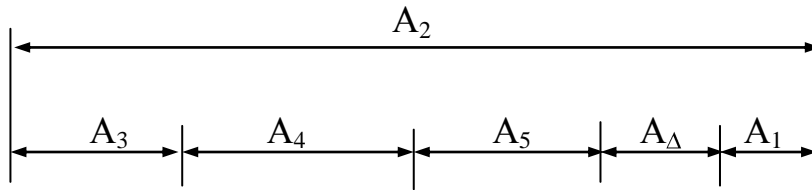


Рис. 8.11

Таблица 8.11

Вариант	$A_{\Delta}$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
42	$0,5 \div 2,5$	4	$58^{+0,74}$	$16^{+0,25}$	20	$17_{-0,12}$
43	?	$6^{+0,12}$	$62^{+0,96}$	$17^{+0,25}$	$20_{-0,19}$	$18_{-0,12}$
44	$1 \div 2$	6	65	$19 \pm 0,25$	20	$19_{-0,12}$
45	$0,5 \div 1,3$	8	72	$20 \pm 0,25$	24	$20_{-0,12}$
46	$0,3 \div 1$	8	76	$21^{+0,2}$	25	$21_{-0,12}$

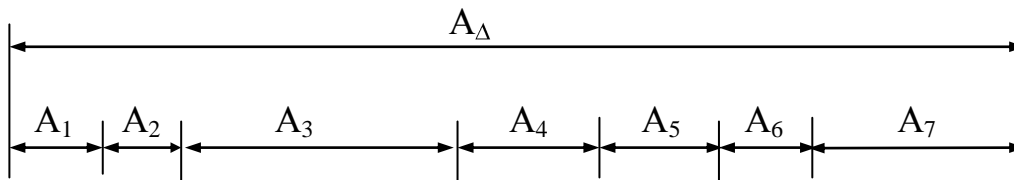


Рис. 8.12

Таблица 8.12

Вариант	$A_{\Delta}$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$
47	$2000 \pm 3$	45	40h12	$33_{-0,12}$	?	$33_{-0,12}$	40h12	45
48	$2000 \pm 3$	55	?	$40_{-0,12}$	$1700_{-3}$	$40_{-0,12}$	?	$55 \pm 0,5$
49	$2000 \pm 3$	65	?	$43_{-0,12}$	$170h14$	$43_{-0,12}$	?	$65 \pm 0,5$
50	$2000 \pm 3$	80	48	$46_{-0,12}$	$1650_{-3}$	$46_{-0,12}$	50	80

### Указания к решению

Размерной цепью называется совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих замкнутый контур (ГОСТ 16319-80). Они делятся на:

- 1) конструкторские (решают задачу по обеспечению точности при конструировании);
- 2) технологические (решают задачу по обеспечению точности при изготовлении машин);
- 3) измерительные (решают задачу обеспечения точности при измерении).

Размеры, образующие размерную цепь, называются звеньями. Любая размерная цепь состоит из составляющих звеньев и одного замыкающего.

*Замыкающее звено*  $A_{\Delta}$  – то звено, которое непосредственно не выдерживается, а получается в результате выполнения размеров составляющих звеньев.

Составляющие звенья бывают *увеличивающимися*  $\vec{A}_j$  (с увеличением которых замыкающее звено увеличивается) и *уменьшающимися*  $\bar{A}_j$  (те, с увеличением которых замыкающее звено уменьшается).

Расчет размерной цепи следует начинать с установления уравнения размерной цепи и метода достижения точности. Для этого выявляют все звенья, входящие в цепь, путем обхода контура взаимозаменяемых звеньев, начиная с одной из поверхностей (осей), ограничивающих замыкающее (исходное) звено, и доводят до второй поверхности (оси), ограничивающей замыкающее звено.

*Метод полной взаимозаменяемости* – метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи получается при любом сочетании размеров составляющих звеньев. При этом полагают, что в размерной цепи одновременно могут оказаться все звенья с предельными значениями, причем в любом из двух наиболее неблагоприятных сочетаний (все увеличивающие звенья с верхними предельными размерами, а уменьшающие – с нижними или наоборот). Такой метод расчета, который учитывает неблагоприятные сочетания, называется методом расчета на *максимум – минимум*.

Поясним расчет размерной цепи фрагмента конструкции, изображенной на рис. 1, по методу полной взаимозаменяемости.

Задача № 1 (прямая задача). Необходимо обеспечить при сборке осевой зазор  $A_{\Delta} = 0,2^{+0,25}$  между торцом крышки и наружным кольцом подшипника. Осевой зазор необходим для компенсации тепловых деформаций деталей, возникающих во время работы узла. Требуется назначить допуски и отклонения на составляющие звенья для обеспечения 100% годности

собираемых механизмов при любом сочетании размеров составляющих звеньев.

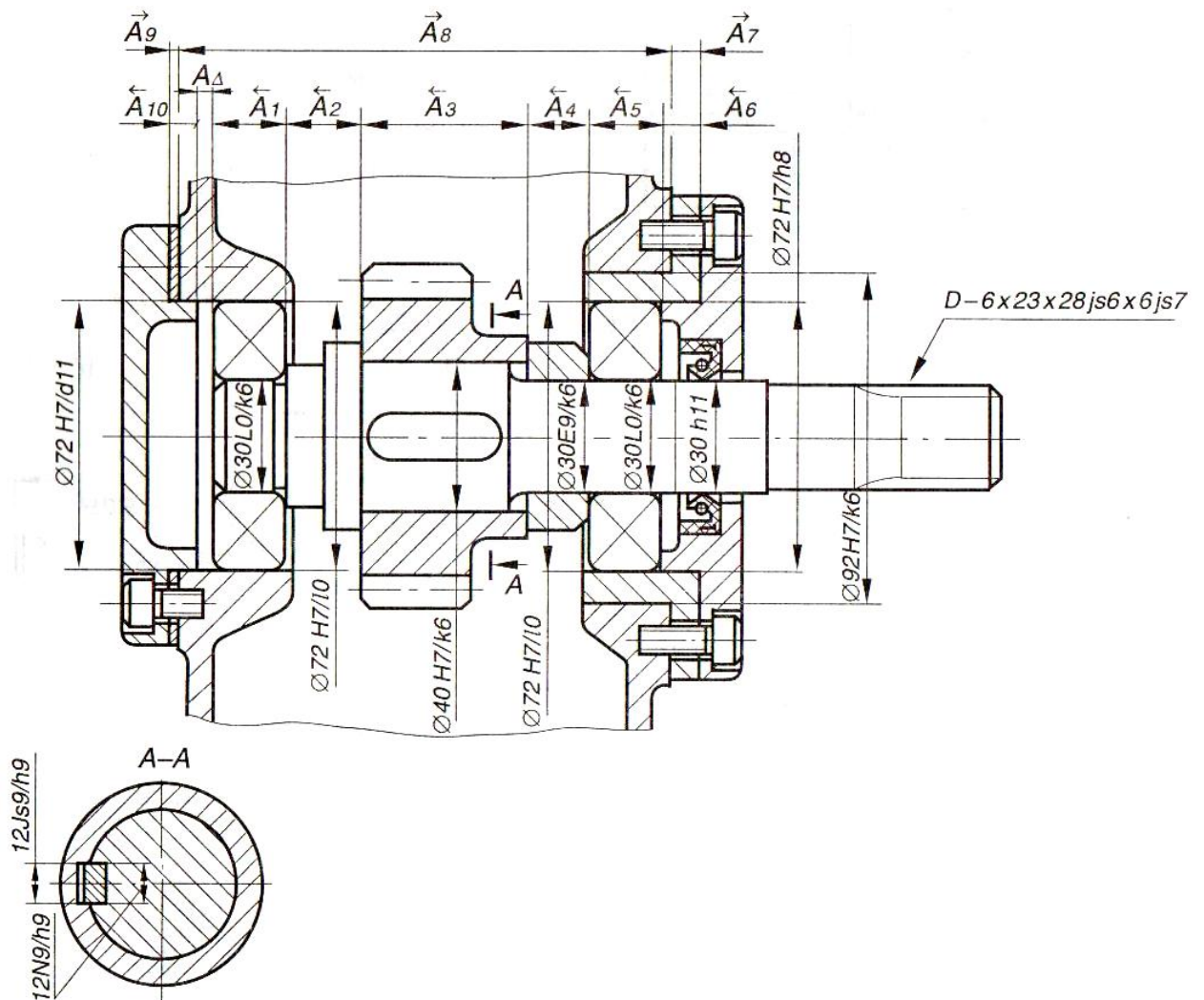


Рис. 1

### Решение

1. Определение номинальных размеров составляющих звеньев.

Номинальные размеры стандартных деталей, например, подшипников качения, находят по соответствующим стандартам. Остальные размеры составляющих звеньев, кроме звена  $\vec{A}_9$ , определяют непосредственно по чертежу узла.

Для нахождения номинального размера  $\vec{A}_9$  воспользуемся зависимостью:

$$A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n \vec{A}_j - \sum_{j=1}^p \vec{A}_j;$$

$$A_{\Delta} = \vec{A}_7 + \vec{A}_8 + \vec{A}_9 - \vec{A}_1 - \vec{A}_2 - \vec{A}_3 - \vec{A}_4 - \vec{A}_5 - \vec{A}_6 - \vec{A}_{10};$$

$$0,2 = 8 + 130 + \bar{A}_9 - 19 - 20 - 42 - 20 - 19 - 10 - 10;$$

$$\bar{A}_9 = 2,2 \text{ мм.}$$

2. Определение средней точности размерной цепи.

Найдем  $k$  по формуле:

$$k = \frac{T_{\Delta}}{\sum_{j=1}^{m-1} i_j} = \frac{250}{1,31 + 1,31 + 1,56 + 1,31 + 1,31 + 0,9 + 0,9 + 2,52 + 0,55 + 0,9} \approx 19,9,$$

где  $k$  – число единиц допуска или значение, характеризующее точность, с какой следует получать все составляющие звенья размерной цепи (величина постоянная для одного квалитета);

$i_j$  – единица допуска, характеризующая ту часть допуска, которая меняется с изменением размера, значение которой приведены в табл. 2 (для размеров до 500 мм).

Таблица 1

Квалитет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$k$	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600

Таблица 2

Основные интервалы номинальных размеров, мм	Значение единицы допуска $i_j$ , мкм	Основные интервалы номинальных размеров, мм	Значение единицы допуска $i_j$ , мкм
До 3	0,55	Свыше 80 до 120	2,17
Свыше 3 до 6	0,73	Свыше 120 до 180	2,52
Свыше 6 до 10	0,90	Свыше 180 до 250	2,90
Свыше 10 до 18	1,08	Свыше 250 до 315	3,23
Свыше 18 до 30	1,31	Свыше 315 до 400	3,54
Свыше 30 до 50	1,56	Свыше 400 до 500	3,89
Свыше 50 до 80	1,86		

Как видно из табл. 1, найденное число единиц допуска лежит в пределах стандартных значений  $k = 16$  (7 квалитет) и  $k = 25$  (8 квалитет). Отсюда следует, что часть звеньев должна изготавливаться по 7-му квалитету, а часть – по 8-му. При этом следует назначать допуски таким образом, чтобы допуск звена  $\bar{A}_9$  лежал в пределах между 7-м и 8-м квалитетами, либо соответствовал одному из этих квалитетов.

Предельные отклонения на составляющие звенья, кроме  $\bar{A}_9$ , рекомендуется назначать на размеры, относящиеся к валам – по  $h$ ,

относящиеся к отверстиям – по  $H$ ; а остальные -  $\pm \frac{IT}{2}$ , т.е. симметричные предельные отклонения.

Результаты расчетов сведем в табл. 3.

Таблица 3

Обозначение звена	Номинальный размер, мм	$i_j$ , мкм	Обозначение основного отклонения	Квалитет	Допуск Т	Верхнее отклонение $E_S$	Нижнее отклонение $E_I$	Середина поля допуска $E_C$
$A_\Delta$	0,2	-	-	-	250	+ 250	0	+ 125
$\bar{A}_1$	19	1,31	$h$	7	21	0	- 21	- 10,5
$\bar{A}_2$	20	1,31	$h$	7	21	0	- 21	- 10,5
$\bar{A}_3$	42	1,56	$h$	8	39	0	- 39	- 19,5
$\bar{A}_4$	20	1,31	$h$	7	21	0	- 21	- 10,5
$\bar{A}_5$	19	1,31	$h$	7	21	0	- 21	- 10,5
$\bar{A}_6$	10	0,9	$\pm \frac{IT}{2}$	7	15	+ 7,5	- 7,5	0
$\bar{A}_7$	8	0,9	$h$	7	15	0	- 15	- 7,5
$\bar{A}_8$	130	2,52	$h$	8	63	0	- 63	- 31,5
$\bar{A}_9$	2,2	0,55	-	7...8	12	+108,5	+ 96,5	+102,5
$\bar{A}_{10}$	10	0,9	$\pm \frac{IT}{2}$	8	22	+11	- 11	0

3. Определение допуска звена  $\bar{A}_9$ :

$$T_\Delta = \sum_{j=1}^{m-1} T_j$$

$$250 = 21 + 21 + 39 + 21 + 21 + 15 + 15 + 63 + T_9 + 22 \quad T_9 = 12 \text{ мкм.}$$

4. Определение предельных отклонений звена  $\bar{A}_9$ :

$$E_S A_\Delta = \sum_{j=1}^n E_S \bar{A}_j - \sum_{j=1}^p E_I \bar{A}_j,$$

где  $E_S A_\Delta$ ,  $E_I A_\Delta$  – верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена;

$E_S \bar{A}_j$ ,  $E_I \bar{A}_j$  – верхнее и нижнее отклонения увеличивающих звеньев;

$E_S \bar{A}_j$ ,  $E_I \bar{A}_j$  – верхнее и нижнее отклонения уменьшающих звеньев.

$$+ 250 = 0 + 0 + E_S \bar{A}_9 - \left( \leftarrow 21 \right) - \left( \leftarrow 21 \right) - \left( \leftarrow 39 \right) - \left( \leftarrow 21 \right) - \left( \leftarrow 21 \right) - \left( \leftarrow 7,5 \right) - \left( \leftarrow 11 \right);$$

$$E_S \bar{A}_9 = +108,5 \text{ мкм.}$$

Из формулы:



$$E_I A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n E_I \bar{A}_j - \sum_{j=1}^p E_S \bar{A}_j;$$

$$0 = \left( -15 \right) + \left( -63 \right) + E_I \bar{A}_9 - \left( -7,5 \right) - \left( -11 \right); \quad E_I \bar{A}_9 = 96,5 \text{ мкм.}$$

### 5. Проверка

Чтобы убедиться в правильности проведенных расчетов, воспользуемся следующей зависимостью для координат середины полей допусков:

$$E_{C\Delta} = \sum_{j=1}^n \bar{E}_{Cj} - \sum_{j=1}^p \bar{E}_{Cj}$$

$$+125 = \left( -7,5 \right) + \left( -31,5 \right) + 102,5 - \left( -10,5 \right) - \left( -10,5 \right) - \left( -19,5 \right) - \left( -10,5 \right) - \left( -10,5 \right);$$

$$+125 = +125,$$

что свидетельствует о правильности проведенных вычислений.

Пример решения обратной задачи с проверкой ее решения можно найти в книге Анухин В.И. Допуски и посадки (раздел 4.3)