

Результаты расчета технологических размерных цепей

Исходное звено	Размер исходного звена	Исходное уравнение	Определяемые размеры, мм			
			Номинальный размер	Допуск	Технологический размер	Предельные значения припуска
A3	$A3 = S2$	$A3 = S2$	90	0,87	$S2 = 90-0.87$	90
A1	$A1 = S8$	$A1 = S8$	18,2	0,4	$S8 = 18 \pm 0.2$	18,2
A2	$A2 = S2-S7$	$S7 = S2-A2$	56,2	0,4	$S7 = 34^{+0.2}_{-1.07}$	34,2
Z7	$Z7 = S4-S7$	$Z7 = S4-S7$	1,87	1,52	$S4 = 34.8-0.25$	34,8
Z8	$Z8 = S3-S4$	$Z8 = S3-S4$	0,85	0,35	$S3 = 35.45-0.1$	35,45
Z6	$Z6 = S6-S4+S7-S8$	$Z6 = S6-S4+S7-S8$	2,354	2,004	$S6 = 20.504-0.084$	20,504
Z5	$Z5 = S5-S6$	$Z5 = S5-S6$	0,794	0,294	$S5 = 21.214-0.21$	21,214
Z4	$Z4 = S1-S2+S4-S5$	$Z4 = S1-S2+S4-S5$	3,68	1,63	$S1 = 79.014-0.3$	79,014
Z9	$Z9 = 31+S2-S3-S1$	$31 = S3-S2+S1+Z9$	5,136	2,27	$31 = 28^{+0.7}_{-0.3}$	28,7
Z11	$Z11 = 32-S1+31$	$32 = S1-31+Z11$	5,786	2,5	$32 = 53.5^{+0.8}_{-0.4}$	54,3
Z2	$Z2 = 33-32-31+S1-S2$	$33 = 32+31-S1+S2+Z2$	7,984	4,77	$33 = 98.5^{+0.9}_{-0.5}$	99,4

## ЛИТЕРАТУРА

1. Размерный анализ технологических процессов: сборник практических работ/ сост.: Г.Я. Беляев [и др.]. – Минск: БНТУ, 2010.-351с.
2. Размерный анализ технологических процессов: курс лекций / Г. Я. Беляев. – Минск: БНТУ, 2010. – 164 с. : ил., табл.

УДК 6.21.81:658.512

Крыжченко А.П., Беляев Г.Я.

**РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ  
ВАЛА-ШЕСТЕРНИ ПО ЛИНЕЙНЫМ РАЗМЕРАМ**

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

*Размерный анализ технологических процессов позволяет еще на стадии технологического проектирования решить важнейшие задачи, приводящие к значительной экономии материальных затрат на производство с улучшением качества проектируемых технологических процессов и изделия в целом.*

В данной статье выполнен размерный анализ вала-шестерни с использованием теории графов. Приведена наиболее типичная задача размерного анализа технологического процесса по линейным размерам и дан пример её решения. В ходе анализа определены межоперационные размеры, размеры припусков и заготовки, допуски, и отклонения всех вышеперечисленных размеров.

### 1. Разработка размерной схемы технологического процесса и выявление технологических размерных цепей.

Строим технологическую размерную цепь рассматриваемого техпроцесса (рис.1).

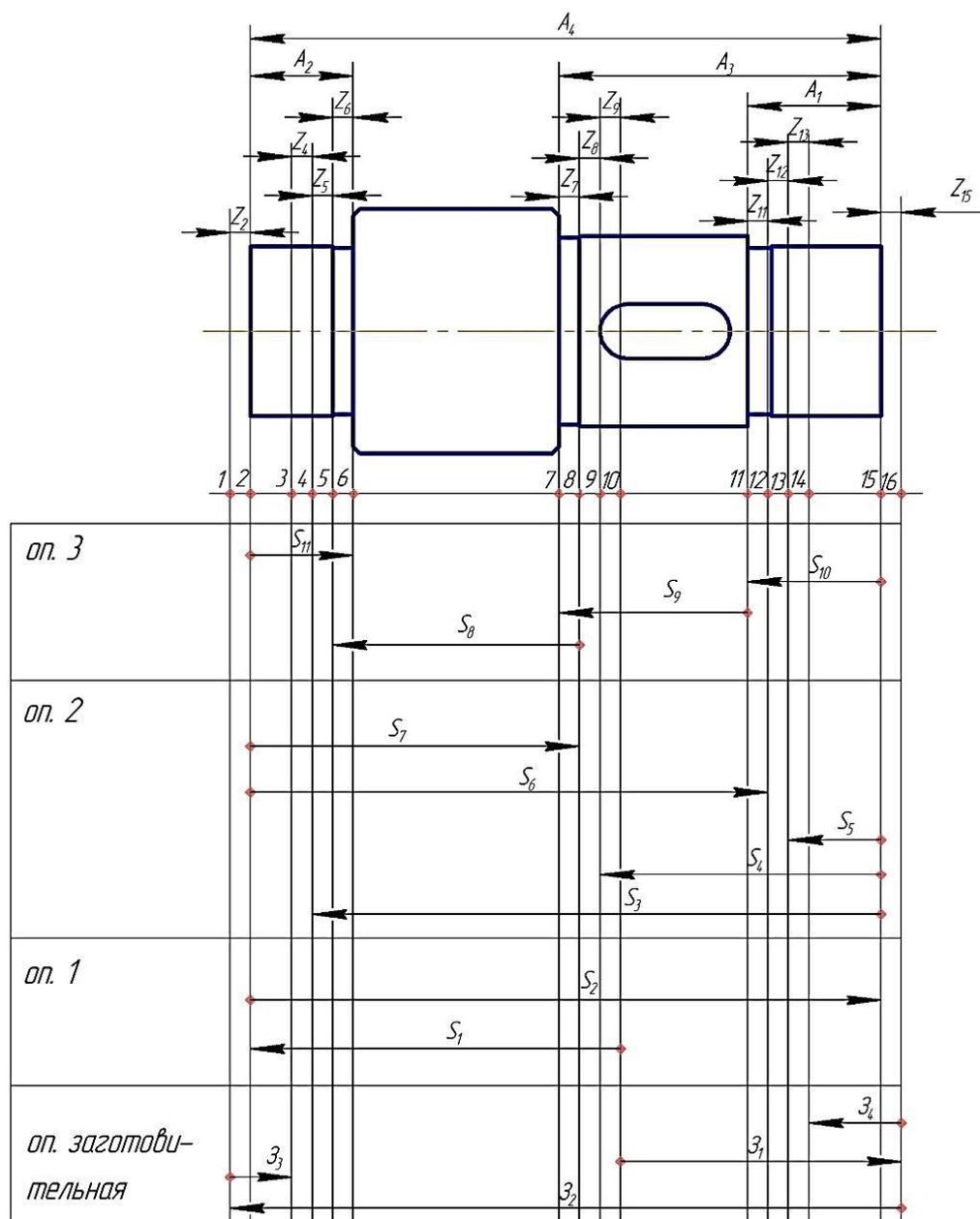


Рис. 1. Размерная схема техпроцесса

### 2. Выявление технологических размерных цепей с помощью теории графов.

Приняв поверхности заготовки и детали за вершины, размерные связи между ними за ребра, чертеж детали с конструкторскими и технологическими размерами можно представить в виде двух деревьев. Дерево с конструкторскими размерами и припусками

на обработку называется исходным (рис. 3.), а дерево с технологическими размерами и размерами заготовки – производным или технологическим (рис. 2.). Если оба дерева совместить, то такой совмещенный граф позволяет в закодированной форме представить геометрическую структуру технологического процесса обработки детали (рис. 4.). По нему выявляют технологические размерные цепи (рис. 5.).

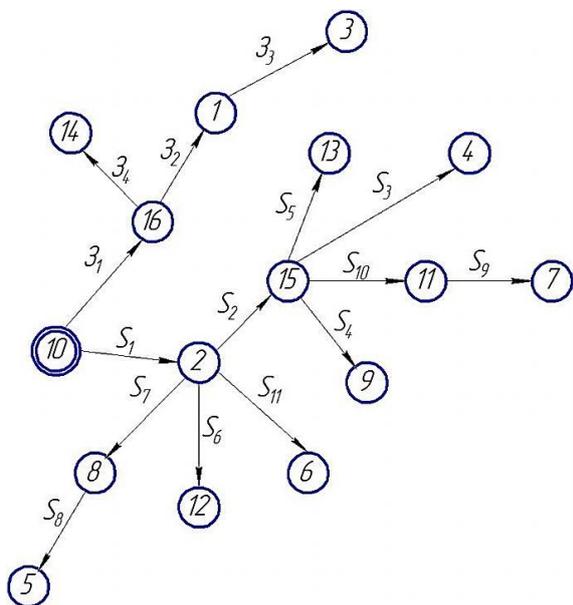


Рис. 2. Граф производного дерева

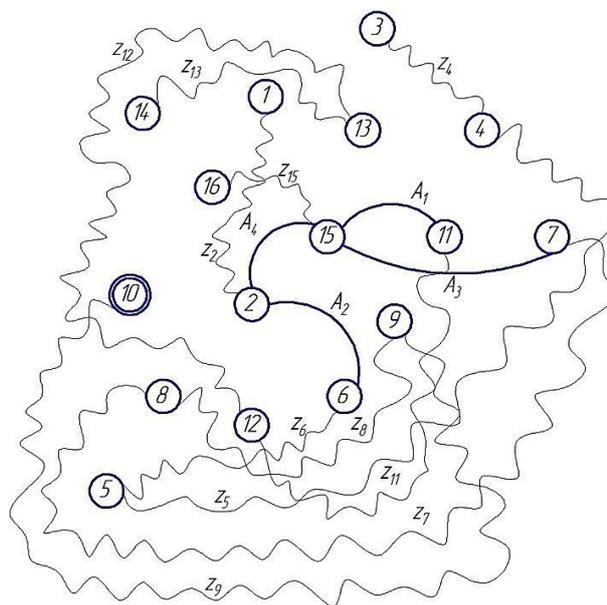


Рис. 3. Граф исходного дерева

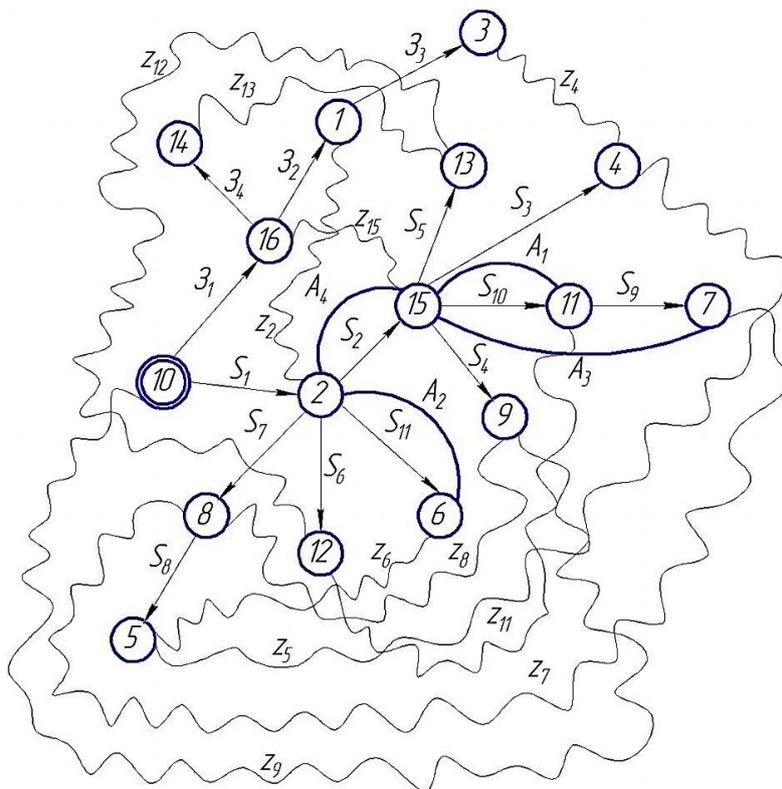
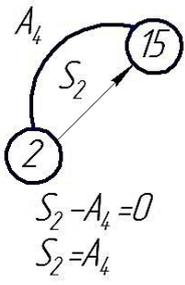
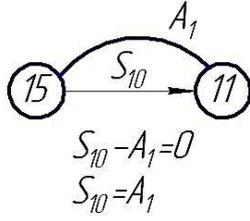


Рис. 4. Граф совмещенного дерева

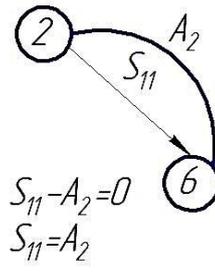
Цепь №1



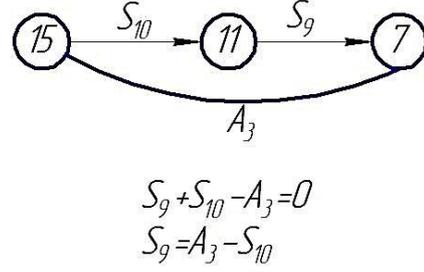
Цепь №2



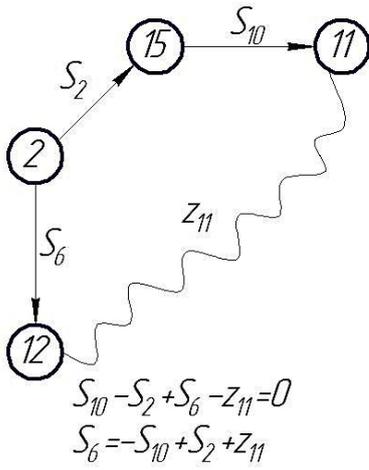
Цепь №3



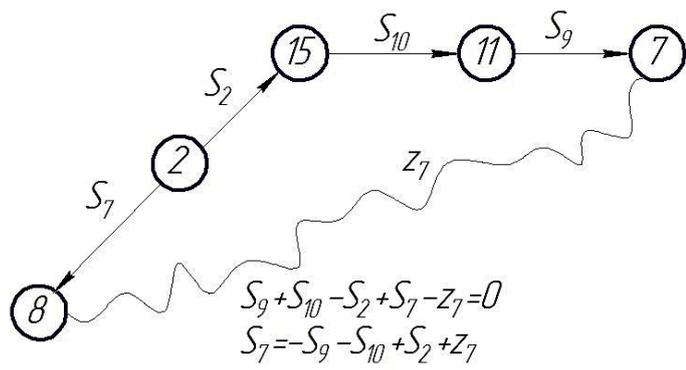
Цепь №4



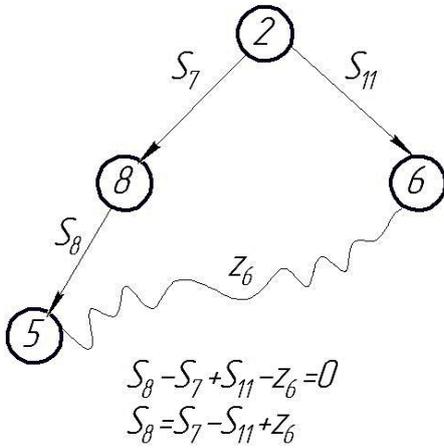
Цепь №5



Цепь №6



Цепь №7



Цепь №8

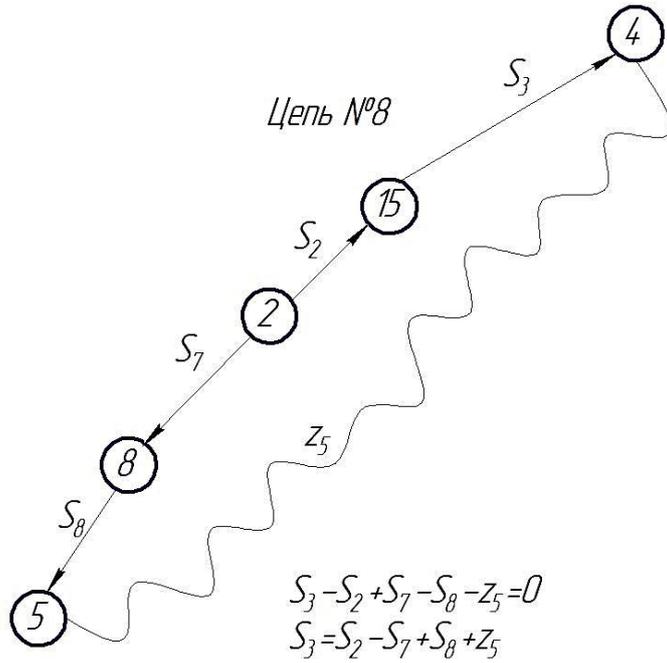


Рис. 5. Технологические размерные цепи

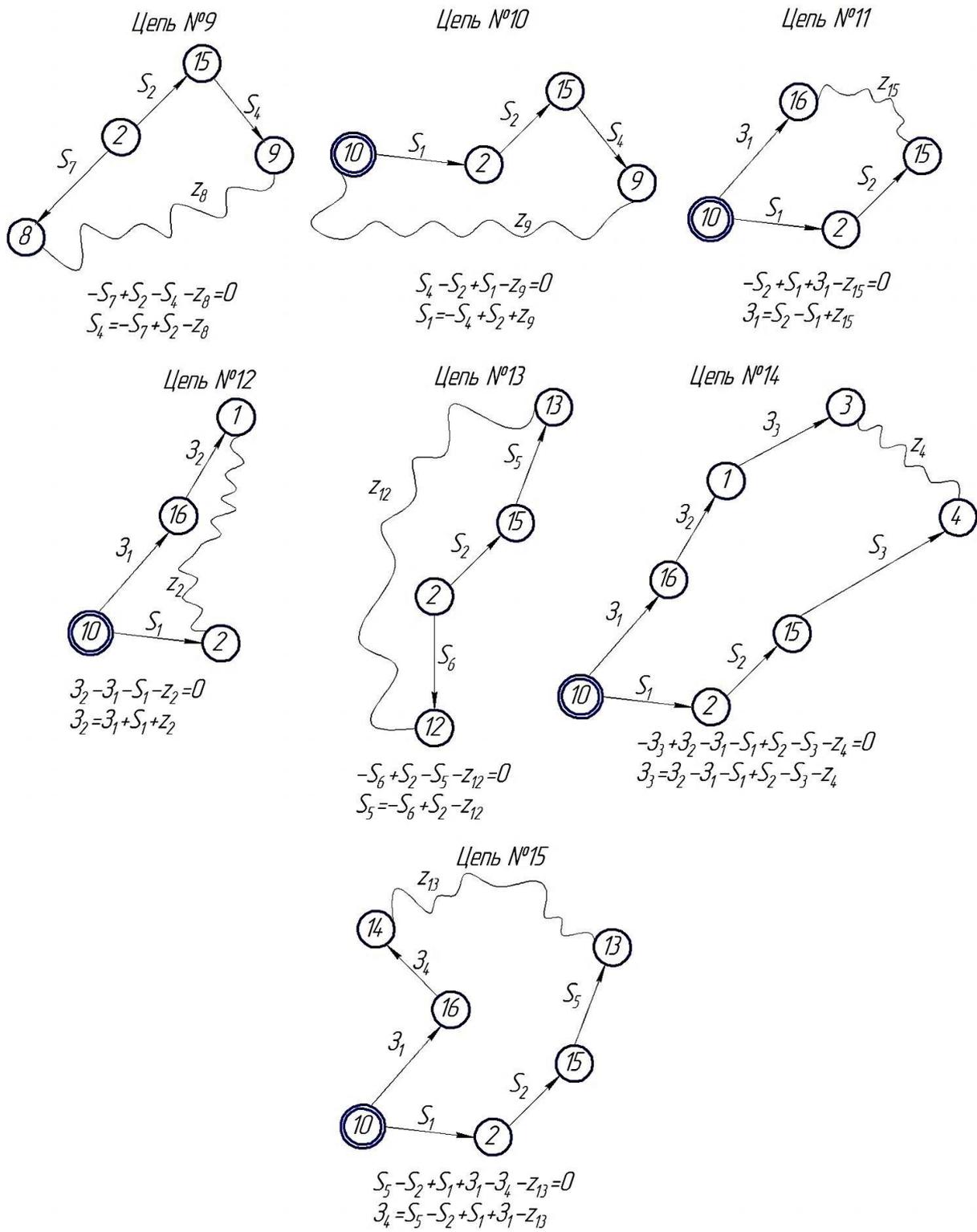


Рис. 5. Технологические размерные цепи (окончание)

Составляем расчетные и исходные уравнения выявленных размерных цепей (табл. 1).

Таблица 1

Расчетные зависимости для определения размерных параметров составляющих звеньев технологических размерных цепей.

№ п/п	Расчетное уравнение	Исходное уравнение	Определяемый размер
1	$S_2 - A_4 = 0$	$A_4 = S_2$	$S_2$
2	$S_{10} - A_1 = 0$	$A_1 = S_{10}$	$S_{10}$
3	$S_{11} - A_2 = 0$	$A_2 = S_{11}$	$S_{11}$
4	$S_9 + S_{10} - A_3 = 0$	$A_3 = S_9 + S_{10}$	$S_9$
5	$S_{10} - S_2 + S_6 - Z_{11} = 0$	$Z_{11} = S_{10} - S_2 + S_6$	$S_6$
6	$S_9 + S_{10} - S_2 + S_7 - Z_7 = 0$	$Z_7 = S_9 + S_{10} - S_2 + S_7$	$S_7$
7	$S_8 - S_7 + S_{11} - Z_6 = 0$	$Z_6 = S_8 - S_7 + S_{11}$	$S_8$
8	$S_3 - S_2 + S_7 - S_8 - Z_5 = 0$	$Z_5 = S_3 - S_2 + S_7 - S_8$	$S_3$
9	$-S_7 + S_2 - S_4 - Z_8 = 0$	$Z_8 = -S_7 + S_2 - S_4$	$S_4$
10	$S_4 - S_2 + S_1 - Z_9 = 0$	$Z_9 = S_4 - S_2 + S_1$	$S_1$
11	$-S_2 + S_1 + Z_3 - Z_{15} = 0$	$Z_{15} = -S_2 + S_1 + Z_3$	$Z_3$
12	$Z_2 - Z_3 - S_1 - Z_2 = 0$	$Z_2 = Z_3 - S_1 - Z_2$	$Z_2$
13	$-S_6 + S_2 - S_5 - Z_{12} = 0$	$Z_{12} = -S_6 + S_2 - S_5$	$S_5$
14	$-Z_3 + Z_2 - Z_3 - S_1 + S_2 - S_3 - Z_4 = 0$	$Z_4 = -Z_3 + Z_2 - Z_3 - S_1 + S_2 - S_3$	$Z_4$
15	$S_5 - S_2 + S_1 + Z_3 - Z_4 - Z_{13} = 0$	$Z_{13} = S_5 - S_2 + S_1 + Z_3 - Z_4$	$Z_4$

### 3. Расчет технологических размерных цепей.

Методика расчета технологических размерных цепей зависит от того, что является замыкающим звеном размерной цепи – припуск или конструкторский размер. В первом случае расчеты значительно сложнее.

Конструкторские размеры по чертежу детали:

$$A_1 = 20_{-0,52} \text{ мм}; A_2 = 16_{-0,43} \text{ мм}; A_3 = 48_{-0,62} \text{ мм}; A_4 = 94_{-0,87} \text{ мм}.$$

Назначаем припуски на механическую обработку:

$$Z_{2min} = Z_{4min} = Z_{9min} = Z_{13min} = Z_{15min} = 2,2 \text{ мм}; Z_{5min} = Z_{8min} = Z_{12min} = 0,5 \text{ мм};$$

$$Z_{6min} = Z_{7min} = Z_{11min} = 0,3 \text{ мм}.$$

**Цепь №1:**  $S_2 - A_4 = 0$ ;  $S_2 = A_4 = 94_{-0,87} \text{ мм}.$

**Цепь №2:**  $S_{10} - A_1 = 0$ ;  $S_{10} = A_1 = 20_{-0,52} \text{ мм}.$

**Цепь №3:**  $S_{11} - A_2 = 0$ ;  $S_{11} = A_2 = 16_{-0,43} \text{ мм}.$

**Цепь №4:**  $S_9 + S_{10} - A_3 = 0$ ;  $S_9 = A_3 - S_{10} = 48_{-0,62} - 20_{-0,52} = 28_{-0,62}^{+0,52} \text{ мм}.$

**Цепь №5:**  $S_{10} - S_2 + S_6 - Z_{11} = 0$ ;  $Z_{11min} = S_{10min} - S_{2max} + S_{6min}$ ;

$$S_{6min} = S_{2max} - S_{10min} + Z_{11min} = 94 - 19,48 + 0,3 = 74,82 \text{ мм}.$$

Назначаем допуск на размер  $S_{6min}$  по 10 качеству и по посадке  $h$ , т.е.:

$$TS_{6min} = 0,12 \text{ мм}, ES = 0 \text{ мм}; EI = -0,12 \text{ мм}.$$

Максимальный размер  $S_6$ , он же и является номинальным:

$$S_{6max} = S_{6min} + TS_6 = 74,82 + 0,12 = 74,94 \text{ мм}.$$

На операционном эскизе будет проставлен размер:  $S_6 = 74,94_{-0,12} \text{ мм}.$

Номинальный размер и предельные отклонения припуска  $Z_{11}$ :

$$Z_{11} = S_{10} - S_2 + S_6 = 20_{-0,52} - 94_{-0,87} + 74,94_{-0,12} = 0,94_{-0,64}^{+0,87} \text{ мм}.$$

**Цепь №6:**  $S_9 + S_{10} - S_2 + S_7 - Z_7 = 0$ ;  $Z_{7min} = S_{9min} + S_{10min} - S_{2max} + S_{7min}$ ;

$$S_{7min} = S_{2max} - S_{9min} - S_{10min} + Z_{7min} = 94 - 27,38 - 19,48 + 0,3 = 47,44 \text{ мм}.$$

Назначаем допуск на размер  $S_{7min}$  по 8 качеству и по посадке  $h$ , т.е.:

$TS_{7min}=0,039$  мм,  $ES=0$  мм,  $EI=-0,039$  мм.

Максимальный размер  $S_7$ , он же и является номинальным:

$$S_{7max}=S_{7min}+TS_7=47,44+0,039=47,479 \text{ мм.}$$

На операционном эскизе будет проставлен размер:  $S_7=47,44_{-0,039}$  мм.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска  $Z_7$ :

$$Z_7=S_9+S_{10}-S_2+S_7=28_{-0,62}^{+0,52}+20_{-0,52}-94_{-0,87}+47,44_{-0,039}=1,44_{-1,179}^{+1,39} \text{ мм.}$$

**Цель №7:**  $S_8-S_7+S_{11}-Z_6=0$ ;  $Z_{6min}=S_{8min}-S_{7max}+S_{11min}$ ;

$$S_{8min}=S_{7max}-S_{11min}+Z_{6min}=47,44-15,57+0,3=32,17 \text{ мм.}$$

Назначаем допуск на размер  $S_{8min}$  по 8 качеству и по посадке  $h$ , т.е.:

$$TS_{8min}=0,039 \text{ мм, } ES=0 \text{ мм, } EI=-0,039 \text{ мм.}$$

Максимальный размер  $S_8$ , он же и является номинальным:

$$S_{8max}=S_{8min}+TS_8=32,17+0,039=32,209 \text{ мм.}$$

На операционном эскизе будет проставлен размер:  $S_8=32,209_{-0,039}$  мм.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска  $Z_6$ :

$$Z_6=S_8-S_7+S_{11}=32,209_{-0,039}-47,44_{-0,039}+16_{-0,43}=0,769_{-0,469}^{+0,039} \text{ мм.}$$

**Цель №8:**  $S_3-S_2+S_7-S_8-Z_5=0$ ;  $Z_{5min}=S_{3min}-S_{2max}+S_{7min}-S_{8max}$ ;

$$S_{3min}=S_{2max}-S_{7min}+S_{8max}+Z_{5min}=94-47,401+32,209+0,5=79,308 \text{ мм.}$$

Назначаем допуск на размер  $S_{3min}$  по 10 качеству и по посадке  $h$ , т.е.:

$$TS_{3min}=0,12 \text{ мм, } ES=0 \text{ мм, } EI=-0,12 \text{ мм.}$$

Максимальный размер  $S_3$ , он же и является номинальным:

$$S_{3max}=S_{3min}+TS_3=79,308+0,12=79,428 \text{ мм.}$$

На операционном эскизе будет проставлен размер:  $S_3=79,428_{-0,12}$  мм.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска  $Z_5$ :

$$Z_5=S_3-S_2+S_7-S_8=79,428_{-0,12}-94_{-0,87}+47,44_{-0,039}-32,209_{-0,039}=0,659_{-0,159}^{+0,909} \text{ мм.}$$

**Цель №9:**  $-S_7+S_2-S_4-Z_8=0$ ;  $Z_{8min}=S_{2min}-S_{7max}-S_{4max}$ ;

$$S_{4max}=S_{2min}-S_{7max}-Z_{8min}=93,13-47,44-0,5=45,19 \text{ мм.}$$

Назначаем допуск на размер  $S_{4max}$  по 12 качеству и по посадке  $h$ , т.е.:

$$TS_{4max}=0,25 \text{ мм, } ES=0 \text{ мм, } EI=-0,25 \text{ мм.}$$

Максимальный размер  $S_4$ , он же и является номинальным.

На операционном эскизе будет проставлен размер:  $S_4=45,19_{-0,25}$  мм.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска  $Z_8$ :

$$Z_8=-S_7+S_2-S_4=-47,44_{-0,039}+94_{-0,87}-45,19_{-0,25}=1,37_{-0,87}^{+0,289} \text{ мм.}$$

**Цель №10:**  $S_4-S_2+S_1-Z_9=0$ ;  $Z_{9min}=S_{4min}-S_{2max}+S_{1min}$ ;

$$S_{1min}=S_{2max}-S_{4min}+Z_{9min}=94-44,94+2,2=51,26 \text{ мм.}$$

Назначаем допуск на размер  $S_{1min}$  по 12 качеству и по посадке  $h$ , т.е.:

$$TS_{1min}=0,3 \text{ мм, } ES=0 \text{ мм, } EI=-0,3 \text{ мм.}$$

Максимальный размер  $S_1$ , он же и является номинальным:

$$S_{1max}=S_{1min}+TS_1=51,26+0,3=51,56 \text{ мм.}$$

На операционном эскизе будет проставлен размер:  $S_1=51,56_{-0,3}$  мм.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска  $Z_9$ :

$$Z_9=S_4-S_2+S_1=45,19_{-0,25}-94_{-0,87}+51,56_{-0,3}=2,75_{-0,55}^{+0,87} \text{ мм.}$$

**Цель №11:**  $-S_2+S_1+3_1-Z_{15}=0$ ;  $Z_{15min}=-S_{2max}+S_{1min}+3_{1min}$ ;

$$3_{1min}=S_{2max}-S_{1min}+Z_{15min}=94-51,26+2,2=44,94 \text{ мм.}$$

Принимаем допуски и предельные отклонения на размер заготовки по ГОСТ 2590-88

$$TZ_{15min}=0,6 \text{ мм, } ES_{31}=+0,1 \text{ мм, } EI_{31}=-0,5 \text{ мм.}$$

Максимальный размер  $3_1$ , он же и является номинальным:

$$3_{1max}=3_{1min}+TS_{31}=44,94+0,6=45,54 \text{ мм.}$$

На эскизе заготовки будет проставлен размер:  $3_1=45,54_{-0,5}^{+0,1}$  мм.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска  $Z_{15}$ :

$$Z_{15} = -S_2 + S_1 + 3_1 = -94_{-0,87} + 51,56_{-0,3} + 45,54_{-0,5}^{+0,1} = 3,1_{-0,8}^{+0,97} \text{ мм.}$$

**Цель №12:**  $3_2 - 3_1 - S_1 - Z_2 = 0$ ;  $Z_{2min} = 3_{2min} - 3_{1max} - S_{1max}$ ;

$$3_{2min} = 3_{1max} + S_{1max} + Z_{2min} = 45,64 + 51,56 + 2,2 = 99,4 \text{ мм.}$$

Принимаем допуски и предельные отклонения на размер заготовки по ГОСТ 2590-88

$$T_{32min} = 1,4 \text{ мм, } ES_{32} = +0,3 \text{ мм, } EI_{32} = -1,1 \text{ мм.}$$

Максимальный размер  $3_2$ , он же и является номинальным:

$$3_{2max} = 3_{2min} + TS_{32} = 99,4 + 1,4 = 100,8 \text{ мм.}$$

На эскизе заготовки будет проставлен размер:  $3_2 = 100,8_{-1,1}^{+0,3}$  мм.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска  $Z_2$ :

$$Z_2 = 3_2 - 3_1 - S_1 = 100,8_{-1,1}^{+0,3} - 45,54_{-0,5}^{+0,1} - 51,56_{-0,3} = 3,7_{-1,2}^{+1,1} \text{ мм.}$$

**Цель №13:**  $-S_6 + S_2 - S_5 - Z_{12} = 0$ ;  $Z_{12min} = -S_{6max} + S_{2min} - S_{5max}$ ;

$$S_{5max} = S_{2min} - S_{6max} - Z_{12min} = 93,13 - 74,94 - 0,5 = 17,69 \text{ мм.}$$

Назначаем допуск на размер  $S_{5max}$  по 12 качеству и по посадке  $h$ , т.е.:

$$TS_{5max} = 0,18 \text{ мм, } ES = 0 \text{ мм, } EI = -0,18 \text{ мм.}$$

Максимальный размер  $S_5$ , он же и является номинальным.

На операционном эскизе будет проставлен размер:  $S_5 = 17,69_{-0,18}$  мм.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска  $Z_{12}$ :

$$Z_{12} = -S_6 + S_2 - S_5 = -74,94_{-0,12} + 94_{-0,87} - 17,69_{-0,18} = 1,37_{-0,87}^{+0,3} \text{ мм.}$$

**Цель №14:**  $-3_3 + 3_2 - 3_1 - S_1 + S_2 - S_3 - Z_4 = 0$ ;  $Z_{4min} = -3_{3max} + 3_{2min} - 3_{1max} - S_{1max} + S_{2min} - S_{3max}$ ;

$$3_{3max} = 3_{2min} - 3_{1max} - S_{1max} + S_{2min} - S_{3max} - Z_{4min} = 99,7 - 45,64 - 51,56 + 93,13 - 79,428 - 2,2 = \text{мм.}$$

Принимаем допуски и предельные отклонения на размер заготовки по ГОСТ 2590-88

$$T_{33max} = 0,4 \text{ мм, } ES_{33} = +0,1 \text{ мм, } EI_{33} = -0,3 \text{ мм.}$$

Максимальный размер  $3_3$ , он же и является номинальным.

На эскизе заготовки будет проставлен размер:  $3_3 = 14,002_{-0,3}^{+0,1}$  мм.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска  $Z_4$ :

$$Z_4 = -3_3 + 3_2 - 3_1 - S_1 + S_2 - S_3 = -14,002_{-0,3}^{+0,1} + 100,8_{-1,1}^{+0,3} - 45,54_{-0,5}^{+0,1} - 51,56_{-0,3} + 94_{-0,87} - 79,428_{-0,12} = 4,27_{-2,17}^{+1,52} \text{ мм.}$$

**Цель №15:**  $S_5 - S_2 + S_1 + 3_1 - 3_4 - Z_{13} = 0$ ;  $Z_{13min} = S_{5min} - S_{2max} + S_{1min} + 3_{1min} - 3_{4max}$ ;

$$3_{4max} = S_{5min} - S_{2max} + S_{1min} + 3_{1min} - Z_{13min} = 17,51 - 94 + 51,26 + 45,04 = 19,81 \text{ мм.}$$

Принимаем допуски и предельные отклонения на размер заготовки по ГОСТ 2590-88

$$T_{34max} = 0,4 \text{ мм, } ES_{34} = +0,1 \text{ мм, } EI_{34} = -0,3 \text{ мм.}$$

Номинальный размер:  $3_4 = 3_{4max} - ES_{34} = 19,126 - 0,1 = 19,026 \text{ мм.}$

Максимальный размер  $3_4$ , он же и является номинальным.

На эскизе заготовки будет проставлен размер:  $3_4 = 19,026_{-0,3}^{+0,1}$  мм.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска  $Z_{13}$ :

$$Z_{13} = S_5 - S_2 + S_1 + 3_1 - 3_4 = 17,69_{-0,18} - 94_{-0,87} + 51,56_{-0,3} + 45,54_{-0,5}^{+0,1} - 19,026_{-0,3}^{+0,1} = 1,764_{-1,08}^{+1,27} \text{ мм.}$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Размерный анализ технологических процессов: сборник практических работ/ сост.: Г.Я. Беляев (и др.). – Минск: БНТУ, 2010.–351 с.