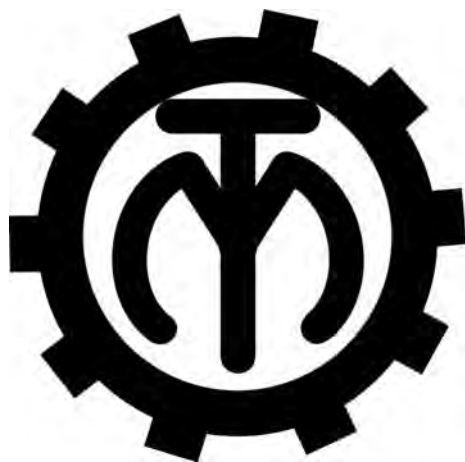


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ МАШИН

*Методические рекомендации к самостоятельной работе
для студентов специальности
1-36 01 01 «Технология машиностроения»
заочной формы обучения*



Могилев 2019

УДК 621.01: 621.757
ББК 34.68
П 79

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «22» апреля 2019 г.,
протокол № 16

Составитель канд. техн. наук, доц. И. Д. Камчицкая

Рецензент канд. техн. наук, доц. В. В. Кутузов

В методических рекомендациях изложены варианты задач и примеры их
решения для выполнения аудиторно-контрольной работы по дисциплине «Про-
ектирование технологических процессов сборки машин».

Учебно-методическое издание

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ МАШИН

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Технический редактор	А. Т. Червинская
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 46 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2019



Содержание

1 Содержание работы.....	4
2 Задача 1. Метод полной взаимозаменяемости.....	8
3 Задача 2. Метод неполной взаимозаменяемости.....	18
4 Задача 3. Метод групповой взаимозаменяемости.....	20
5 Задача 4. Сборка соединений с натягом.....	22
6 Задача 5. Построение схем сборки.....	24
Список литературы.....	28
Приложение А.....	29



1 Содержание работы

Аудиторно-контрольная работа состоит из решения трех задач по выбору преподавателя:

- задачи 1, 4, 5;
- задачи 2, 4, 5;
- задачи 3, 4, 5.

Вариант для решения задач 1, 2, 4 выбирается по двум последним цифрам шифра из таблицы 1. Вариант для решения задачи 3 выдается преподавателем из таблиц 2 и 3. Узел для построения схемы сборки (задача 5) выбирается по номеру рисунка из таблицы 1.

Таблица 1 – Варианты заданий для задач 1, 2, 4

Вариант	Задачи 1 и 2			Задача 4			
	Номер рисунка	Предельные отклонения звена A_{Δ} , мм	Процент риска P , %	d , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	Посадка
1	2	3	4	5	6	7	8
01	3	+0,8 +0,2	0,27	18	0	25	H7/p6
02	6	$\pm 0,3$	0,1	65	0	75	H8/u7
03	5	+0,7 +0,1	0,01	100	50	110	H8/x8
04	9	+0,5 0	1	40	20	44	H7/r6
05	12	$\pm 0,28$	0,27	60	30	66	H7/s6
06	1	+0,6 0	0,1	24	0	30	H7/p6
07	8	$\pm 0,3$	0,01	48	24	54	H7/r6
08	2	+0,5 -0,2	1	80	40	88	H8/x8
09	10	+0,5 0	0,27	20	0	25	H7/r6
10	4	+0,7 +0,2	0,1	36	16	42	H7/s6
11	11	$\pm 0,3$	0,01	50	30	58	H8/u8
12	7	+0,5 0	1	120	40	130	H8/x8
13	2	$\pm 0,32$	0,27	75	30	90	H8/u8
14	4	+0,6 +0,1	0,1	64	20	72	H8/x8
15	11	0 -0,6	0,01	25	0	32	H7/p6
16	7	$\pm 0,3$	1	35	15	40	H7/r6
17	9	+0,8 +0,3	0,27	110	60	120	H7/s6
18	1	$\pm 0,35$	0,1	28	0	36	H7/r6

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
19	5	+0,6 -0,1	0,01	65	35	75	H8/u7
20	10	±0,3	1	42	20	50	H8/s7
21	3	±0,32	0,27	68	38	76	H7/r6
22	8	+0,7 +0,1	0,1	125	75	135	H8/x8
23	12	0 -0,6	0,01	26	0	36	H7/p6
24	6	±0,26	1	48	0	55	H7/r6
25	1	0 -0,7	0,27	95	50	115	H7/s7
26	4	+0,4 -0,2	0,1	80	50	90	H8/u8
27	11	+0,8 +0,3	0,01	78	38	88	H8/x8
28	7	0 -0,6	1	35	0	42	H7/r6
29	3	±0,35	0,27	56	0	64	H7/s7
30	9	+0,5 -0,1	0,1	98	48	108	H7/p6
31	6	+0,7 +0,1	0,01	118	68	130	H8/u7
32	10	0 -0,6	1	44	0	54	H7/r6
33	2	+0,4 -0,2	0,27	115	55	125	H8/x8
34	8	±0,26	0,1	48	0	54	H7/r6
35	12	+0,4 -0,1	0,01	116	0	126	H8/u7
36	5	±0,31	1	37	0	43	H8/s7
37	1	+0,8 +0,2	0,27	24	0	32	H7/p6
38	7	+0,8 +0,3	0,1	15	0	20	H7/p6
39	10	±0,26	0,01	48	30	54	H7/r6
40	3	0 -0,7	1	80	60	90	H8/u8
41	12	±0,31	0,27	36	20	40	H7/s6
42	6	+0,6 +0,2	0,1	140	80	160	H8/x8
43	9	±0,26	0,01	56	20	62	H8/s7
44	4	±0,32	1	120	80	130	H8/u8
45	11	+0,7 +0,2	0,27	82	50	90	H8/s7
46	8	+0,4 -0,1	0,1	90	40	100	H8/x8
47	2	0 -0,6	0,01	136	80	146	H8/u8



Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
48	5	+0,8 +0,3	1	112	60	124	H7/p6
49	8	+0,5 0	0,27	27	0	31	H7/r6
50	12	+0,7 +0,2	0,1	47	0	55	H7/s6
51	1	+0,5 -0,2	0,01	116	70	126	H8/u7
52	5	+0,8 +0,3	1	42	0	48	H8/s7
53	9	0 -0,6	0,27	125	60	135	H8/u8
54	2	±0,28	0,1	43	23	48	H8/s7
55	6	+0,4 -0,1	0,01	62	32	70	H7/r6
53	10	+0,5 -0,1	1	76	46	84	H7/s6
57	3	+0,8 +0,2	0,27	28	0	34	H7/p6
58	7	+0,5 -0,1	0,1	55	30	63	H8/s7
59	11	±0,28	0,01	78	0	90	H8/u7
60	4	0 -0,6	1	105	0	115	H8/x8
61	1	±0,32	0,27	86	46	96	H7/s6
62	5	+0,5 0	0,1	114	64	124	H7/p6
63	9	±0,3	0,01	33	0	40	H7/r6
64	12	+0,8 +0,3	1	115	55	125	H7/s6
65	8	±0,3	0,27	75	40	85	H7/p6
66	4	+0,6 0	0,1	35	20	40	H7/r6
67	11	0 -0,6	0,01	108	50	120	H8/s7
68	7	±0,28	1	28	0	38	H7/p6
69	3	+0,5 -0,2	0,27	64	34	74	H7/r6
70	10	+0,4 -0,1	0,1	43	23	50	H7/p6
71	6	±0,32	0,01	67	37	73	H8/s7
72	2	+0,6 -0,1	1	125	65	133	H7/r6
73	8	0 -0,6	0,27	27	0	37	H7/s6
74	12	±0,3	0,1	49	29	55	H7/p6
75	1	+0,4 -0,2	0,01	96	66	104	H7/r6

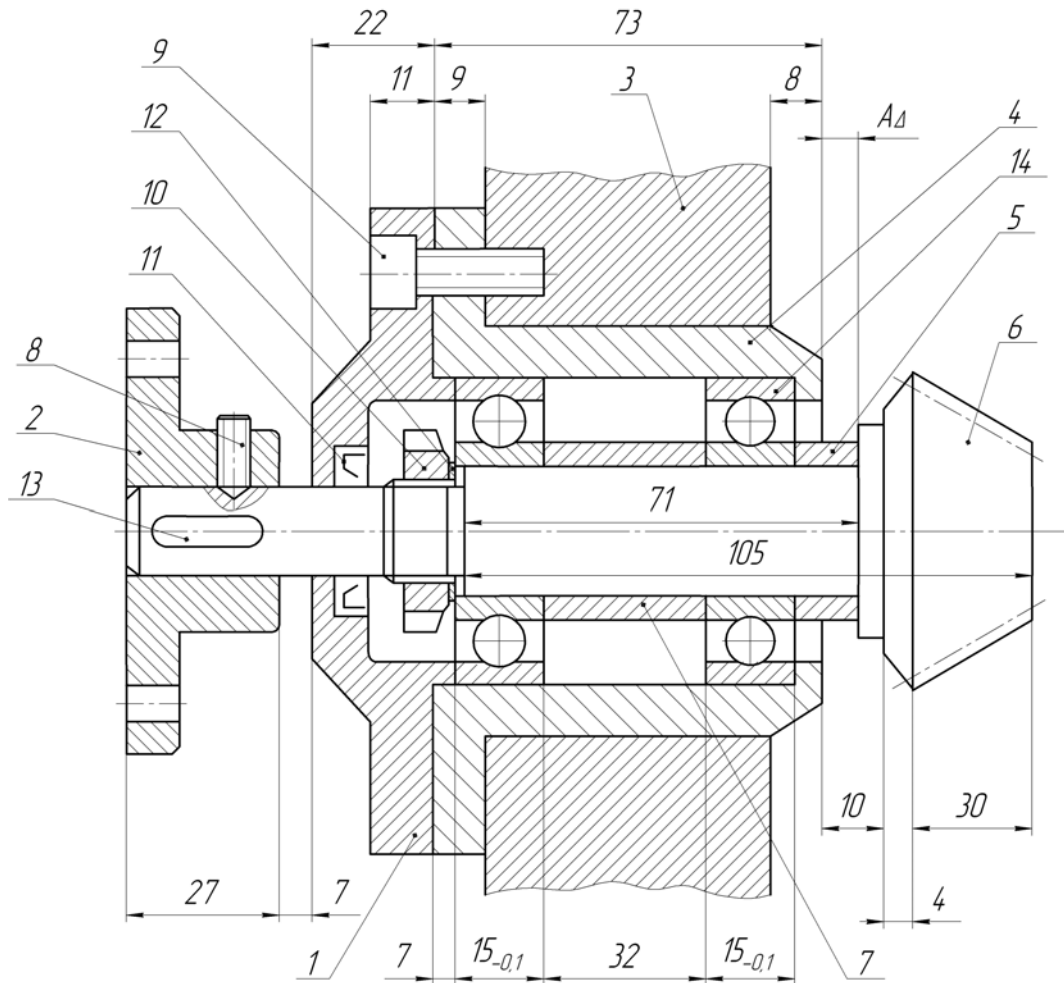
Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
76	5	$\pm 0,28$	1	82	42	90	H7/s6
77	9	+0,6 +0,2	0,27	77	37	87	H8/u8
78	2	+0,7 -0,3	0,1	34	0	40	H7/p6
79	6	+0,8 +0,3	0,01	55	25	63	H8/u8
80	10	+0,6 +0,2	1	97	57	107	H8/x8
81	3	+0,5 -0,1	0,27	116	56	124	H7/p6
82	7	+0,4 -0,1	0,1	45	25	51	H7/s6
83	11	+0,5 0	0,01	112	52	122	H8/u8
84	4	$\pm 0,35$	1	44	0	52	H7/p6
85	1	+0,6 -0,1	0,27	118	0	128	H7/s6
86	12	+0,8 +0,3	0,1	38	18	44	H7/p6
87	8	$\pm 0,28$	0,01	23	0	30	H7/r6
88	5	+0,6 0	1	74	34	82	H7/s6
89	11	+0,4 -0,1	0,27	66	36	76	H8/u8
90	7	+0,7 +0,1	0,1	16	0	20	H7/s6
91	10	$\pm 0,28$	0,01	48	0	56	H8/u8
92	2	+0,6 0	1	80	0	88	H7/r6
93	4	$\pm 0,3$	0,27	36	0	42	H7/p6
94	9	+0,4 -0,1	0,1	138	38	148	H8/u7
95	6	0 -0,6	0,01	55	0	63	H7/r6
96	3	+0,6 -0,1	1	84	44	94	H7/p6
97	1	+0,7 -0,3	0,27	27	0	33	H7/s6
98	2	$\pm 0,35$	0,1	46	0	52	H7/r6
99	3	$\pm 0,28$	0,01	124	54	134	H7/s6
00	4	+0,4 -0,1	1	62	0	69	H7/p6

Примечание – В таблице обозначены: d – номинальный диаметр соединения с натягом; d_1 – диаметр отверстия полого вала; d_2 – наружный диаметр втулки

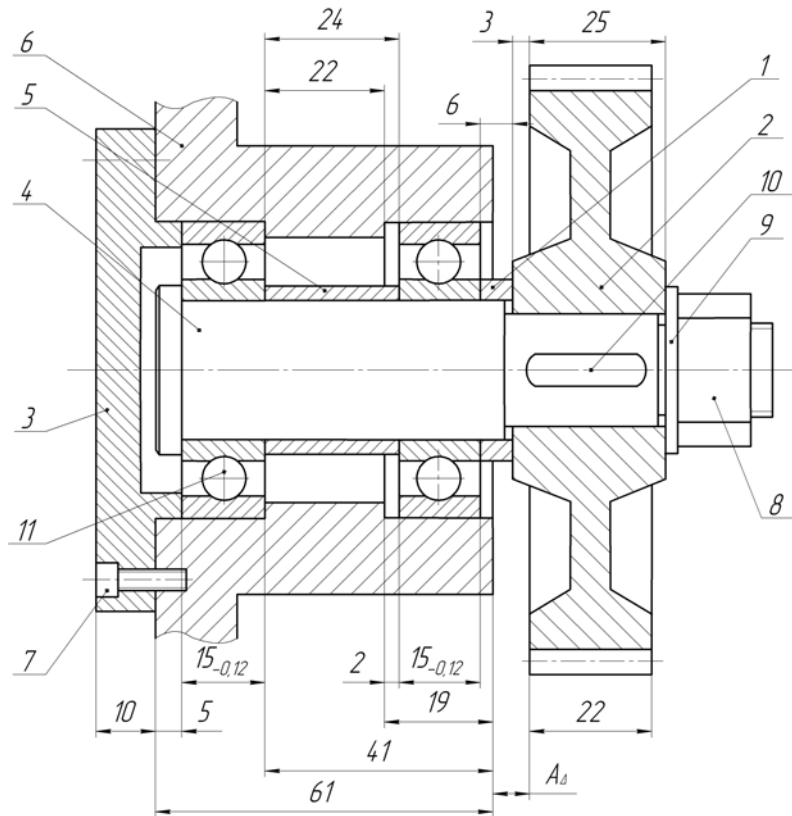
2 Задача 1. Метод полной взаимозаменяемости

Методом максимума-минимума определить допуски и предельные отклонения составляющих звеньев размерной цепи A (рисунки 1–12). Задачу решить двумя способами: назначения допусков одного качества точности и равных допусков. Варианты заданий взять из таблицы 1. Задачу решить в последовательности, приведенной в примере 1.



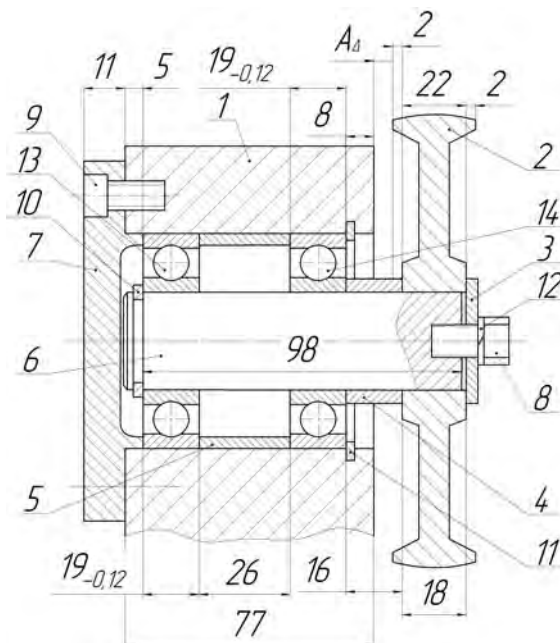
1 – крышка; 2 – полумуфта; 3 – корпус; 4 – стакан; 5 – кольцо; 6 – вал-шестерня; 7 – втулка; 8 – винт; 9 – винт (3 шт.); 10 – гайка; 11 – манжета; 12 – шайба; 13 – шпонка; 14 – подшипник (2 шт.)

Рисунок 1 – Вал первичный



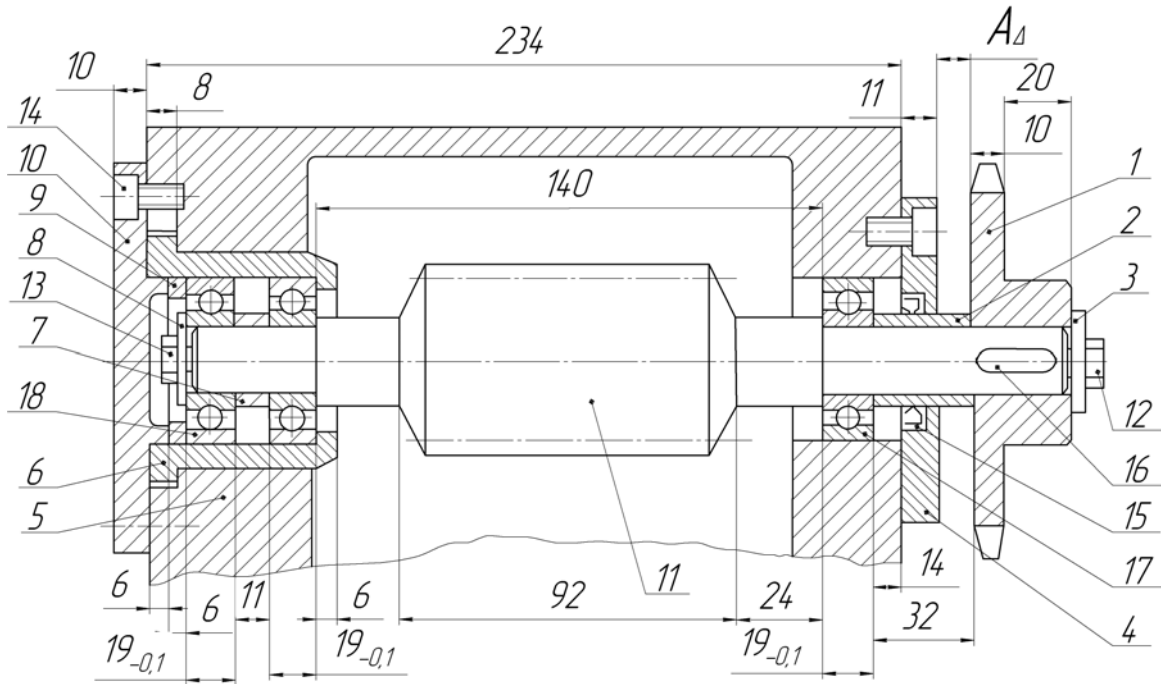
1 – кольцо; 2 – шестерня; 3 – крышка; 4 – вал; 5 – втулка; 6 – корпус; 7 – винт (4 шт.);
8 – гайка; 9 – шайба; 10 – шпонка; 11 – подшипник (2 шт.)

Рисунок 2 – Вал промежуточный



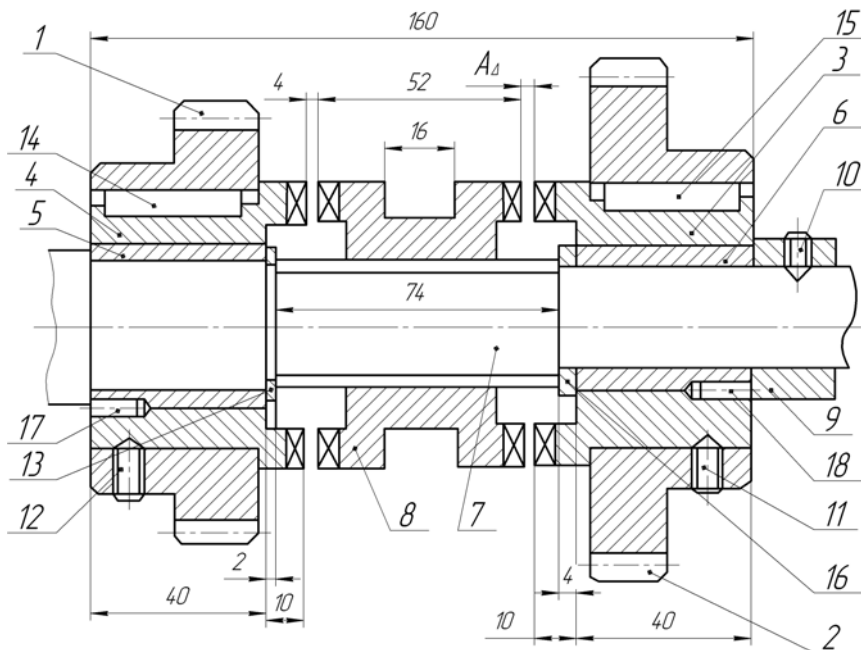
1 – корпус; 2 – шкив; 3 – шайба; 4 – кольцо; 5 – втулка; 6 – вал; 7 – крышка; 8 – болт;
9 – винт (3 шт.); 10 – кольцо стопорное; 11 – кольцо стопорное; 12 – шайба; 13 – подшипник;
14 – подшипник

Рисунок 3 – Шкив натяжной



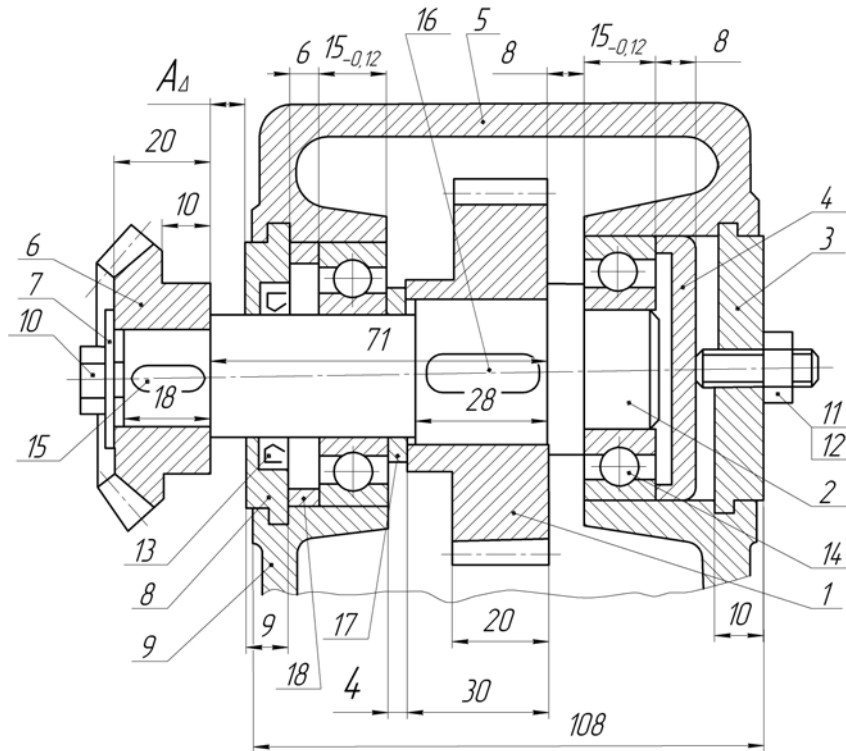
1 – звездочка; 2 – втулка; 3 – шайба; 4 – крышка; 5 – корпус; 6 – стакан; 7 – кольцо; 8 – шайба; 9 – кольцо; 10 – крышка; 11 – червяк; 12 – болт; 13 – болт; 14 – винт (4 шт.); 15 – манжета; 16 – шпонка; 17 – подшипник; 18 – подшипник (2 шт.)

Рисунок 4 – Червяк в сборе



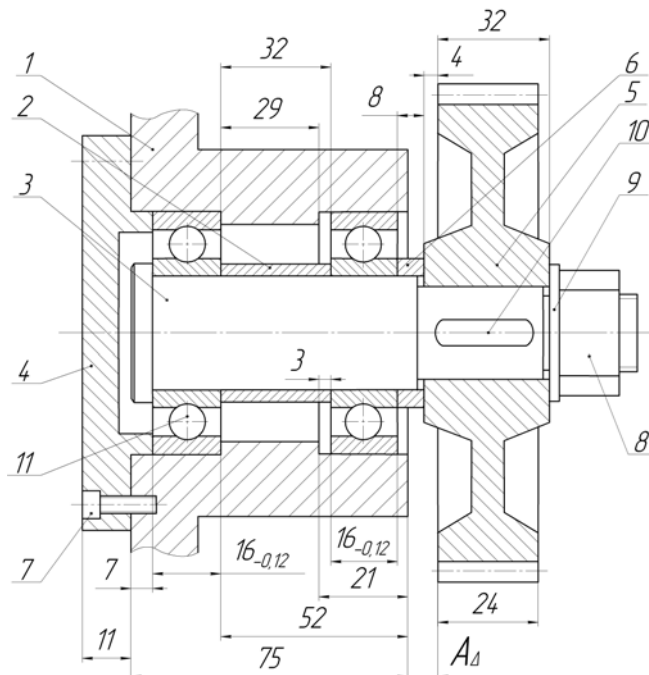
1 – шестерня левая; 2 – шестерня правая; 3 – полумуфта правая; 4 – полумуфта левая; 5 – вкладыш; 6 – вкладыш; 7 – вал; 8 – муфта; 9 – кольцо; 10 – винт; 11 – винт; 12 – винт; 13 – кольцо стопорное; 14 – шпонка; 15 – шпонка; 16 – кольцо; 17 – штифт; 18 – штифт

Рисунок 5 – Муфта кулачковая



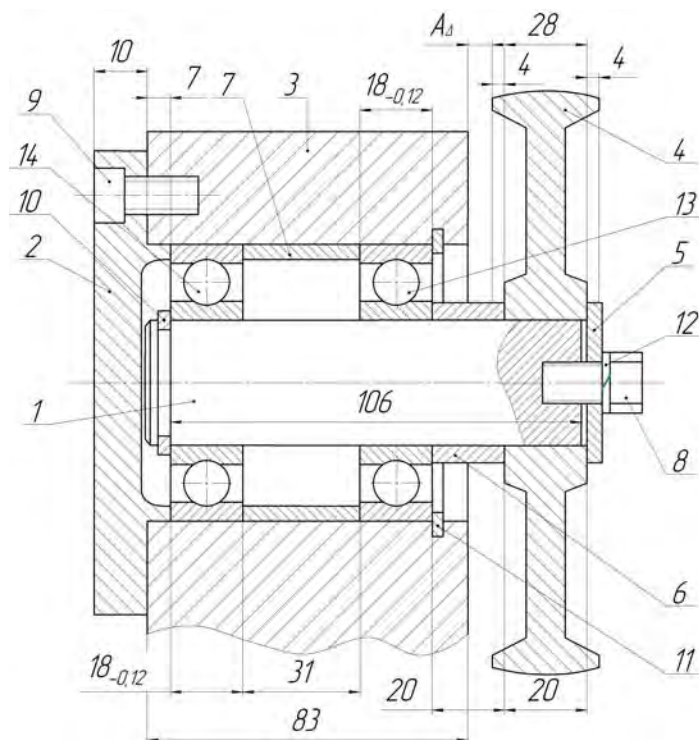
1 – шестерня; 2 – вал; 3 – крышка; 4 – упор; 5 – крышка; 6 – шестерня; 7 – шайба; 8 – крышка; 9 – корпус; 10 – болт; 11 – винт; 12 – гайка; 13 – манжета; 14 – подшипник (2 шт.); 15 – шпонка; 16 – шпонка; 17 – кольцо; 18 – кольцо

Рисунок 6 – Вал выходной



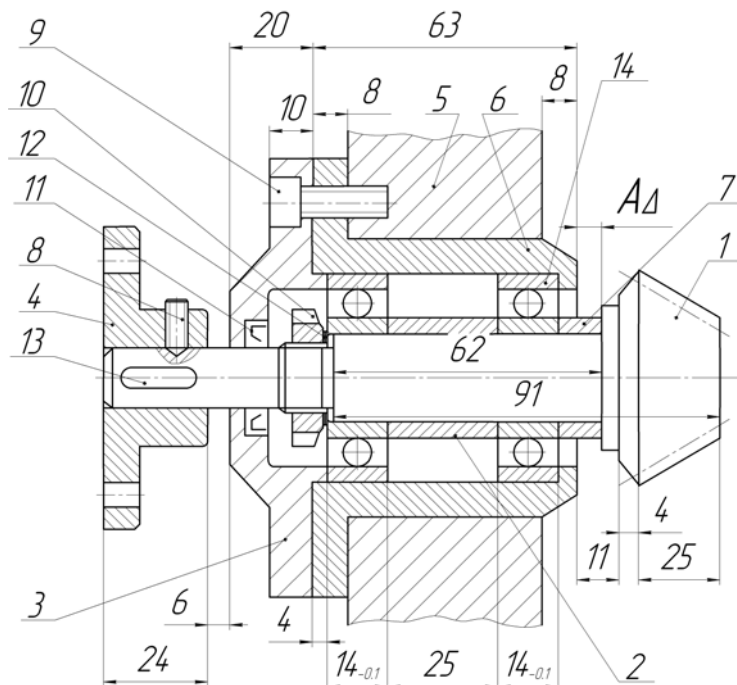
1 – корпус; 2 – втулка; 3 – вал; 4 – крышка; 5 – шестерня; 6 – кольцо; 7 – винт (4 шт.); 8 – гайка; 9 – шайба; 10 – шпонка; 11 – подшипник (2 шт.)

Рисунок 7 – Вал промежуточный



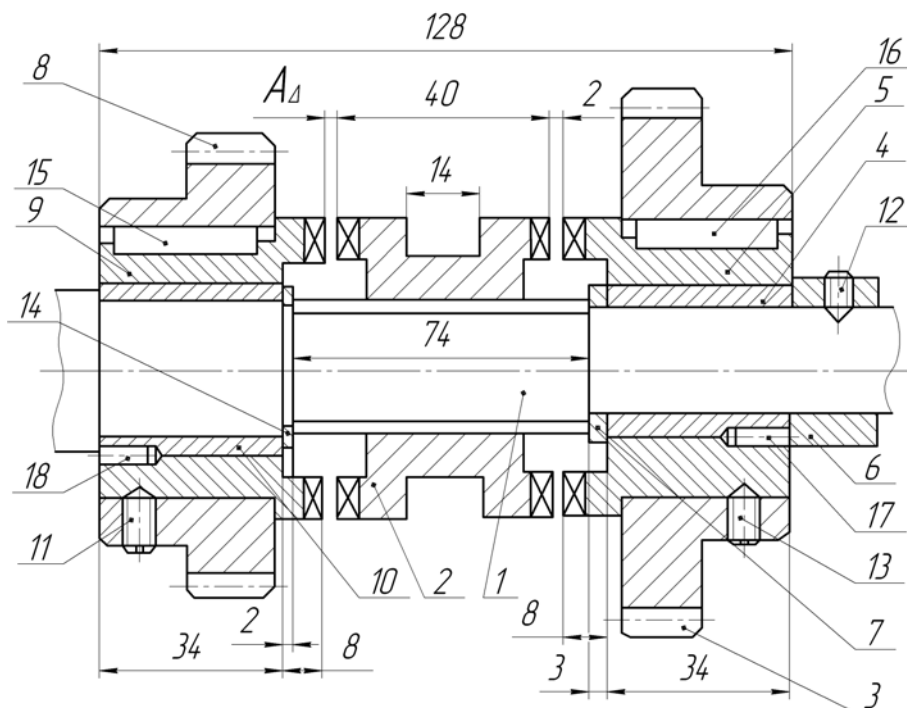
1 – вал; 2 – крышка; 3 – корпус; 4 – шкив; 5 – шайба; 6 – кольцо; 7 – втулка; 8 – болт; 9 – винт (3 шт.); 10 – кольцо стопорное; 11 – кольцо стопорное; 12 – шайба; 13 – подшипник; 14 – подшипник

Рисунок 8 – Шкив натяжной



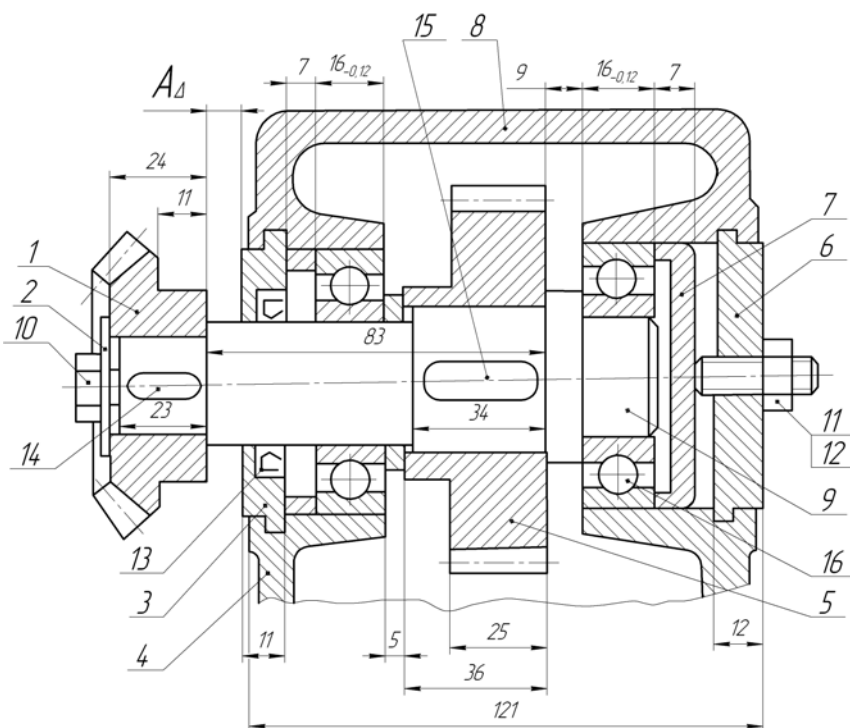
1 – вал-шестерня; 2 – втулка; 3 – крышка; 4 – полумуфта; 5 – корпус; 6 – стакан; 7 – кольцо; 8 – винт; 9 – винт (3 шт.); 10 – гайка; 11 – манжета; 12 – шайба; 13 – шпонка; 14 – подшипник (2 шт.)

Рисунок 9 – Вал первичный



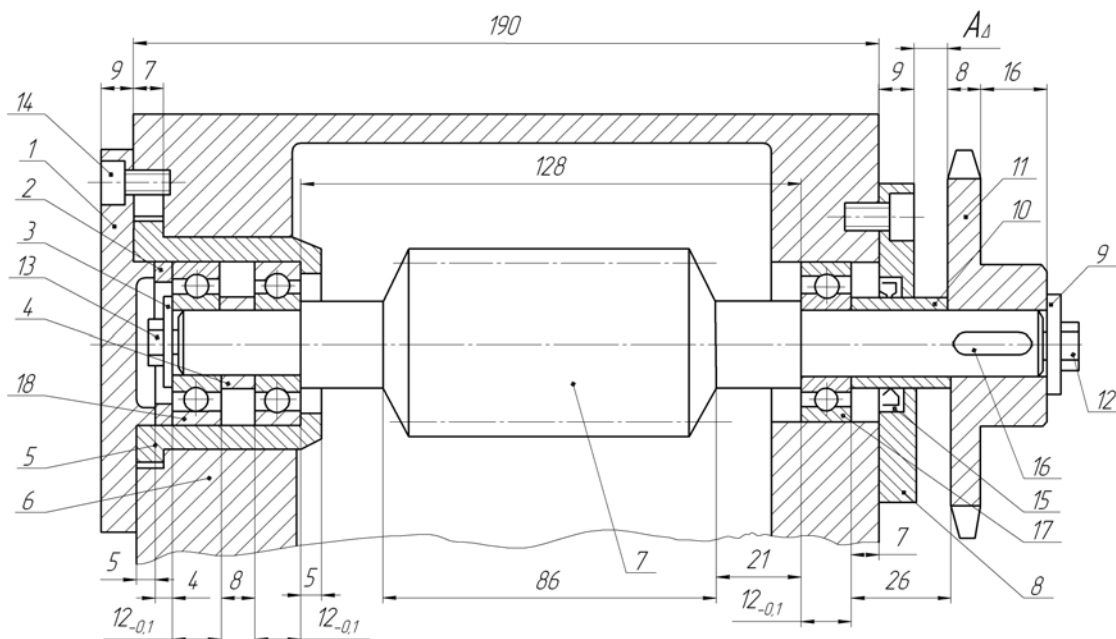
1 – вал; 2 – муфта; 3 – шестерня правая; 4 – вкладыш; 5 – полумуфта правая; 6 – втулка; 7 – кольцо; 8 – шестерня левая; 9 – полумуфта левая; 10 – вкладыш; 11 – винт; 12 – винт; 13 – винт; 14 – кольцо; 15 – шпонка; 16 – шпонка; 17 – штифт; 18 – штифт

Рисунок 10 – Муфта кулачковая



1 – шестерня; 2 – шайба; 3 – крышка; 4 – корпус; 5 – шестерня; 6 – крышка; 7 – упор; 8 – крышка; 9 – вал; 10 – болт; 11 – гайка; 12 – винт; 13 – манжета; 14 – шпонка; 15 – шпонка; 16 – подшипник (2 шт.); 17 – кольцо; 18 – кольцо

Рисунок 11 – Вал выходной



1 – крышка; 2 – кольцо; 3 – шайба; 4 – кольцо; 5 – стакан; 6 – корпус; 7 – червяк; 8 – крышка; 9 – шайба; 10 – втулка; 11 – звездочка; 12 – болт; 13 – болт; 14 – винт (4 шт.); 15 – манжета; 16 – шпонка; 17 – подшипник; 18 – подшипник (2 шт.)

Рисунок 12 – Червяк в сборе

Пример 1 – Методом максимума-минимума определить допуски и предельные отклонения составляющих звеньев размерной цепи A (рисунок 13). Замыкающее звено $A_{\Delta} = 10^{+0,3}_{-0,1}$ мм. Задачу решить способом назначения допусков одного качества точности.

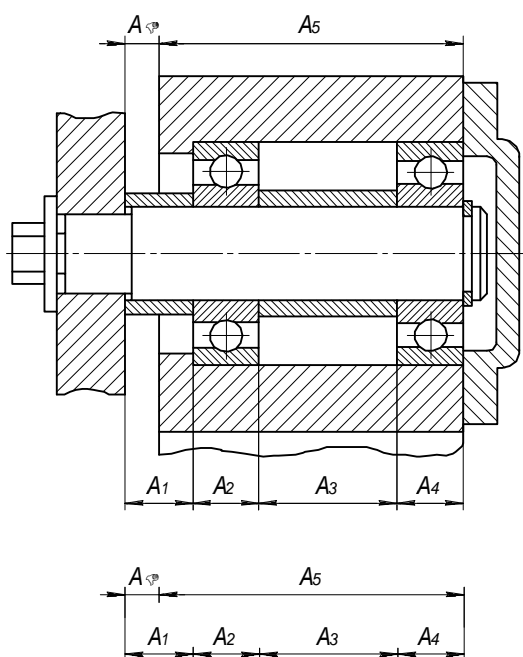


Рисунок 13 – Сборочный чертеж

Решение

1 Задача решается с помощью размерной цепи A , исходным (замыкающим) звеном которой является звено A_{Δ} . Записываем параметры замыкающего звена A_{Δ} : номинальный размер $A_{\Delta} = 10$ мм; верхнее отклонение $ESA_{\Delta} = +0,3$ мм; нижнее отклонение $EIA_{\Delta} = -0,1$ мм; допуск $TA_{\Delta} = 0,3 - (-0,1) = 0,4$ мм; координата середины поля допуска

$$Ec_{\Delta} = \frac{ESA_{\Delta} + EIA_{\Delta}}{2}; \quad (1)$$

$$Ec_{\Delta} = \frac{0,3 - 0,1}{2} = +0,1 \text{ мм.}$$

2 На сборочном чертеже (см. рисунок 13) выявляем все звенья размерной цепи (A_1 – A_5), участвующие в решении поставленной задачи, т. е. влияющие на величину замыкающего звена, и вычерчиваем отдельно размерную цепь. Выявляем увеличивающие и уменьшающие звенья: A_1, A_2, A_3, A_4 – увеличивающие звенья; A_5 – уменьшающее звено.

3 По сборочному чертежу устанавливаем номинальные размеры составляющих звеньев: $A_1 = 18$ мм, $A_2 = A_4 = 19$ мм (подшипники № 306 по ГОСТ 8338-85), $A_3 = 40$ мм, $A_5 = 86$ мм.

Проверяем правильность определения номинальных размеров составляющих звеньев размерной цепи по уравнению

$$A_{\Delta} = \sum^m A_{ув} - \sum^n A_{ум}, \quad (2)$$

где A_{Δ} – номинальное значение замыкающего звена;

$\sum^m A_{ув}$ и $\sum^n A_{ум}$ – сумма увеличивающих и уменьшающих звеньев соответственно;

m, n – число увеличивающих и уменьшающих звеньев соответственно.

$$A_{\Delta} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 - A_5;$$

$$10 = 18 + 19 + 40 + 19 - 86 = 10 \text{ мм.}$$

4 Из таблицы А.2 выписываем единицы допусков составляющих звеньев: $i_1 = 1,08$; $i_3 = 1,53$; $i_5 = 2,17$.

Звенья A_2 и A_4 являются стандартными изделиями (подшипниками) и допуски на них определены по ГОСТ 520–89: $TA_2 = TA_4 = 120$ мкм. Поэтому звенья A_2 и A_4 в определении среднего качества точности не участвуют.

5 Среднее количество единиц допусков рассчитываем по формуле



$$a_{cp} = \frac{TA_{\Delta} - TA_i}{\sum i}, \quad (3)$$

где TA_j – допуски на стандартные изделия, установленные соответствующими стандартами.

$$a_{cp} = \frac{TA_{\Delta} - TA_2 - TA_4}{i_1 + i_3 + i_5};$$

$$a_{cp} = \frac{400 - 120 - 120}{1,08 + 1,53 + 2,17} = 33.$$

6 Полученное значение a_{cp} находится между 8-м и 9-м квалитетами точности (таблица А.3). С учетом технологических возможностей изготовления деталей на звено A_5 назначаем допуск по 9-му квалитету точности, на звено A_3 – по 8-му квалитету (таблица А.1). Таким образом, имеем $TA_2 = 120$ мкм; $TA_3 = 39$ мкм; $TA_4 = 120$ мкм; $TA_5 = 87$ мкм. На звено A_1 назначаем нестандартный допуск, используя формулу

$$TA_{\Delta} = \sum^{m+n} TA_i, \quad (4)$$

где TA_i – допуски составляющих звеньев.

$$TA_{\Delta} = TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4 + TA_5;$$

$$400 = TA_1 + 120 + 39 + 120 + 87; \quad TA_1 = 34 \text{ мкм.}$$

Задаем расположение допусков: «в плюс» для охватывающих размеров, «в минус» для охватываемых размеров, для остальных – симметрично, кроме звена A_1 : $A_2 = 19_{-0,12}$; $A_3 = 40_{-0,039}$; $A_4 = 19_{-0,12}$; $A_5 = 86_{-0,087}$.

7 Рассчитываем координаты середин полей допусков составляющих звеньев A_2 – A_5 , кроме одного звена A_1 по формуле

$$Ec_i = \frac{ESA_i + EIA_i}{2}, \quad (5)$$

где ESA_i и EIA_i – верхнее и нижнее отклонение размера A_i .

$$Ec_2 = \frac{0 - 0,12}{2} = -0,06 \text{ мм}; \quad Ec_3 = \frac{0 - 0,039}{2} = -0,0195 \text{ мм};$$

$$Ec_4 = \frac{0 - 0,12}{2} = -0,06 \text{ мм}; \quad Ec_5 = \frac{0 - 0,087}{2} = -0,0435 \text{ мм}.$$



8 Координату середины поля допуска звена A_1 определяем из уравнения

$$Ec_{\Delta} = \sum^m Ec_{yв} - \sum^n Ec_{yм}, \quad (6)$$

где $\sum^m Ec_{yв}$ и $\sum^n Ec_{yм}$ – сумма координат середин полей допусков увеличивающих и уменьшающих звеньев соответственно.

$$Ec_{\Delta} = Ec_1 + Ec_2 + Ec_3 + Ec_4 - Ec_5;$$

$$Ec_1 = Ec_{\Delta} - Ec_2 - Ec_3 - Ec_4 + Ec_5;$$

$$Ec_1 = 0,1 + 0,06 + 0,0195 + 0,06 - 0,0435 = +0,196 \text{ мм.}$$

9 Рассчитываем предельные отклонения звена A_1 по формулам

$$ESA_1 = Ec_1 + 0,5T_1; \quad EIA_1 = Ec_1 - 0,5T_1; \quad (7)$$

$$ESA_1 = +0,196 + \frac{0,034}{2} = +0,213 \text{ мм;}$$

$$EIA_1 = +0,196 - \frac{0,034}{2} = +0,179 \text{ мм.}$$

Выполняем проверку правильности выполненных расчетов по формулам:

$$ESA_{\Delta} = \sum^m Ec_{yв} - \sum^n Ec_{yм} + 0,5 \sum^{m+n} TA_i; \quad (8)$$

$$EIA_{\Delta} = \sum^m Ec_{yв} - \sum^n Ec_{yм} - 0,5 \sum^{m+n} TA_i. \quad (9)$$

При решении задачи способом назначения равных допусков последовательность такая же как в примере 1. Вместо пп. 4–6 выполнить следующие расчеты.

Рассчитать средний допуск по формуле

$$TA_{i\text{ ср}} = \frac{TA_{\Delta}}{m+n}. \quad (10)$$

По таблице А.1 назначить допуски на все составляющие звенья, кроме подшипников и звена A_1 , близкие к рассчитанному значению $TA_{i\text{ ср}}$.



3 Задача 2. Метод неполной взаимозаменяемости

Теоретико-вероятностным методом определить допуски и предельные отклонения составляющих звеньев размерной цепи A (см. рисунки 1–12). Задачу решить двумя способами: назначения допусков одного качества точности и равных допусков. Варианты заданий взять из таблицы 1. Решить задачу в последовательности, приведенной в примере 2. Сравнить средние качества точности и допуски составляющих звеньев размерной цепи A , полученные различными методами расчётов, и объяснить причины их различия.

Пример 2 – Теоретико-вероятностным методом определить допуски и предельные отклонения составляющих звеньев размерной цепи A (см. рисунок 13). Замыкающее звено $A_{\Delta} = 10^{+0,3}_{-0,1}$ мм, процент риска $P = 1\%$, рассеяние размеров подчиняется нормальному закону ($\lambda_i^2 = 1/9$). Задачу решить способом назначения допусков одного качества точности.

Решение

1 Записываем параметры замыкающего звена A_{Δ} : номинальный размер $A_{\Delta} = 10$ мм; верхнее отклонение $ESA_{\Delta} = +0,3$ мм; нижнее отклонение $EIA_{\Delta} = -0,1$ мм; допуск $TA_{\Delta} = 0,3 - (-0,1) = 0,4$ мм; координата середины поля допуска $Es_{\Delta} = +0,1$ мм.

2 Номинальные размеры и единицы допуска звеньев размерной цепи (определены в примере 1 в пп. 2 и 3): $A_1 = 18$ мм; $A_2 = A_4 = 19$ мм; $A_3 = 40$ мм; $A_5 = 86$ мм.

3 Из таблицы А.2 выписываем единицы допусков составляющих звеньев: $i_1 = 1,08$; $i_3 = 1,53$; $i_5 = 2,17$.

4 Определяем среднее количество единиц допуска, учитывая, что звенья A_2 и A_4 являются стандартными изделиями. На них установлены допуски по ГОСТ 520–89: $TA_1 = TA_2 = 120$ мкм.

$$a_{cp} = \frac{TA_{\Delta} - TA_j}{t \cdot \sqrt{\sum^{m+n} \lambda_i^2 \cdot i^2}}, \quad (11)$$

где TA_j – допуски на стандартные изделия, установленные соответствующими стандартами;

t – коэффициент, зависящий от процента риска, $t = 2,57$ (таблица А.4);

λ_i^2 – коэффициент, характеризующий закон распределения размеров ($\lambda_i^2 = 1/9$ – при законе нормального распределения; $\lambda_i^2 = 1/6$ – при законе равной вероятности; $\lambda_i^2 = 1/3$ – при законе треугольника).

$$a_{cp} = \frac{400 - 120 - 120}{2,57 \sqrt{\frac{1}{9}(1,08^2 + 1,53^2 + 2,17^2)}} = 65.$$



5 Полученное значение a_{cp} примерно соответствует 10-му качеству точности (см. таблицу А.3). На звенья A_3 и A_5 допуски устанавливаем по 10-му качеству точности. Таким образом, имеем $TA_2 = 120$ мкм; $TA_3 = 100$ мкм; $TA_4 = 120$ мкм; $TA_5 = 140$ мкм.

6 На звено A_1 устанавливаем нестандартный допуск, используя формулу

$$TA_{\Delta} = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 \cdot TA_i^2}. \quad (12)$$

$$400 = 2,57 \sqrt{\frac{1}{9} (TA_1^2 + 120^2 + 100^2 + 120^2 + 140^2)}; \quad TA_1 = 400 \text{ мкм.}$$

7 Задаем расположение допусков составляющих звеньев, кроме звена A_1 : $A_2 = 19_{-0,12}$; $A_3 = 400_{-0,1}$; $A_4 = 19_{-0,12}$; $A_5 = 86_{-0,14}$.

8 Рассчитываем координаты середин полей допусков составляющих звеньев, кроме A_1

$$Ec_2 = \frac{0 - 0,12}{2} = -0,06 \text{ мм}; \quad Ec_3 = \frac{0 - 0,01}{2} = -0,005 \text{ мм};$$

$$Ec_4 = \frac{0 - 0,12}{2} = -0,06 \text{ мм}; \quad Ec_5 = \frac{0 - 0,14}{2} = -0,07 \text{ мм.}$$

9 Координату середины поля допуска звена A_1 находим из уравнения (6)

$$Ec_{\Delta} = Ec_1 + Ec_2 + Ec_3 + Ec_4 - Ec_5;$$

$$Ec_1 = Ec_{\Delta} - Ec_2 - Ec_3 - Ec_4 + Ec_5;$$

$$Ec_1 = 0,1 + 0,06 + 0,005 + 0,06 - 0,07 = +0,2 \text{ мм.}$$

10 Рассчитываем предельные отклонения звена A_1 по формулам (7)

$$ESA_1 = 0,2 + \frac{0,4}{2} = +0,4 \text{ мм};$$

$$EIA_1 = 0,2 - \frac{0,4}{2} = 0 \text{ мм.}$$

11 Выполняем проверку правильности выполненных расчетов по формулам

$$ESA_{\Delta} = \sum_{y \in \text{в}}^m Ec_{y \in \text{в}} - \sum_{y \in \text{м}}^n Ec_{y \in \text{м}} + t \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 (0,5TA_i)^2}; \quad (13)$$

$$EIA_{\Delta} = \sum_{y \in \text{в}}^m Ec_{y \in \text{в}} - \sum_{y \in \text{м}}^n Ec_{y \in \text{м}} - t \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 (0,5TA_i)^2}. \quad (14)$$



При решении задачи способом назначения равных допусков последовательность такая же, как в рассмотренном примере. Вместо пп. 2 и 3 выполнить следующие расчеты.

Рассчитать средний допуск по формуле

$$TA_{icp} = \frac{TA_{\Delta}}{t \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2}}. \quad (15)$$

По таблице А.1 назначить допуски на все составляющие звенья, кроме подшипников и звена A_1 , близкие к рассчитанному значению TA_{icp} .

4 Задача 3. Метод групповой взаимозаменяемости

В соединении «вал – вкладыш» обеспечить минимальный и максимальный функциональные зазоры S_{min} и S_{max} , определить производственные допуски деталей, составить карту сортировки деталей. Соединение выполнить в системе отверстия. Варианты заданий взять из таблиц 2 и 3.

Таблица 2 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Диаметр соединения d , мм	40	16	20	35	12	45	24	30	18	42	36	15	22	32	44
Минимальный зазор S_{min} , мкм	7	3	4	7	4	8	5	6	4	7	6	4	5	7	8
Максимальный зазор S_{max} , мкм	21	19	16	29	14	30	17	24	20	29	28	20	23	21	30
Число групп сортировки	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3

Таблица 3 – Варианты заданий

Вариант	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Диаметр соединения d , мм	48	12	38	14	21	33	15	28	50	22	18	30	24	45	20
Минимальный зазор S_{min} , мкм	8	4	7	3	5	6	4	6	8	5	4	5	6	7	5
Максимальный зазор S_{max} , мкм	22	20	29	13	23	20	14	24	30	17	14	17	24	29	17
Число групп сортировки	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4

Пример 3 – В соединении «палец – шатун» обеспечить зазор $S = 6–24$ мкм. Соединение выполнить в системе отверстия. Диаметр соединения $d = 30$ мм. Количество групп сортировки $n = 4$.

Решение

Исходя из заданного диапазона запишем предельные значения зазоров $S_{\min} = 6$ мкм, $S_{\max} = 24$ мкм. Рассчитываем допуск посадки (допуск зазора) по формуле

$$TS = S_{\max} - S_{\min}; \quad (16)$$

$$TS = 24 - 6 = 18 \text{ мкм.}$$

Определяем групповые допуски пальца и отверстия в шатуне по формуле

$$Td_{zp} = TD_{zp} = \frac{TS}{2}; \quad (17)$$

$$Td_{zp} = TD_{zp} = \frac{18}{2} = 9 \text{ мкм.}$$

Определяем производственные допуски изготовления пальца и шатуна по формулам

$$Td_{np} = n \cdot Td_{zp}; \quad (18)$$

$$TD_{np} = n \cdot TD_{zp}; \quad (19)$$

$$Td_{np} = TD_{np} = 9 \cdot 4 = 36 \text{ мкм.}$$

Строим схему полей допусков (рисунок 14), рассчитываем предельные размеры деталей в группах и составляем карту сортировки деталей (таблица 4).

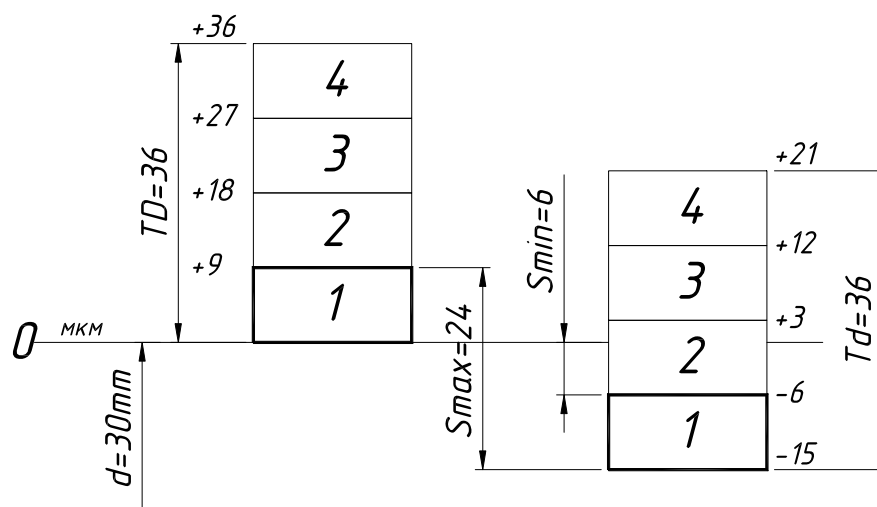


Рисунок 14 – Схема полей допусков соединения

Таблица 4 – Карта сортировки деталей на группы

Номер группы	Предел размеров	Размер, мм	
		отверстия	вала
1	От	$30 + 0 = 30,000$	$30 - 0,015 = 29,985$
	До	$30 + 0,009 = 30,009$	$30 - 0,006 = 29,994$
2	Свыше	30,009	29,994
	До	$30 + 0,018 = 30,018$	$30 + 0,003 = 30,003$
3	Свыше	30,018	30,003
	До	$30 + 0,027 = 30,027$	$30 + 0,012 = 30,012$
4	Свыше	30,027	30,012
	До	$30 + 0,036 = 30,036$	$30 + 0,021 = 30,021$

5 Задача 4. Сборка соединений с натягом

Для сборки соединения с натягом (рисунок 15) рассчитать предельные натяги, усилие запрессовки и увеличение наружного диаметра втулки.

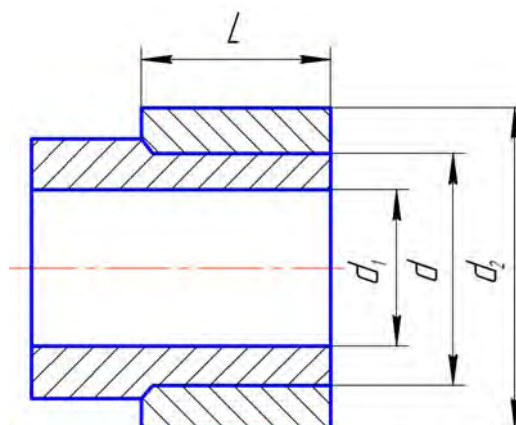


Рисунок 15 – Эскиз соединения с натягом

При сборке соединения с нагревом рассчитать необходимую температуру нагрева. Варианты заданий взять из таблицы 1. Вал и втулка изготовлены из стали. Длина соединения $L = 30$ мм.

Пример 4 – Для сборки соединения $\varnothing 50 H8/x8$ рассчитать усилие запрессовки, увеличение диаметра втулки, подобрать пресс для выполнения операции. При сборке соединения с нагревом втулки рассчитать необходимую температуру ее нагрева. Материал вала и втулки – сталь 45 без термической обработки.

Размеры соединения: $d = 50$ мм, $d_1 = 25$ мм, $d_2 = 60$ мм, $L = 60$ мм.

Решение

Из ГОСТ 25347–82 выписываем предельные отклонения вала и отверстия $ES = +39$ мкм, $EI = 0$ мкм, $es = +136$ мкм, $ei = +97$ мкм.

Рассчитываем максимальный натяг в соединении по формуле

$$N_{\max} = es - EI ; \quad (20)$$

$$N_{\max} = 136 - 0 = 136 \text{ мкм.}$$

Определяем отношения диаметров соединения и коэффициенты C_1 и C_2 зависящие от относительных размеров сопрягаемых деталей (таблица А.5).
 $d_1 / d = 25 / 50 = 0,5$; $C_1 = 1,37$; $d / d_2 = 50 / 60 = 0,83$; $C_2 = 5,75$.

Из таблицы А.6 выписываем модули упругости материалов вала и втулки
 $E_1 = E_2 = 2 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$.

Рассчитываем давление на поверхности контакта по формуле

$$p = \frac{N_{\max} \cdot 10^{-6}}{d \cdot \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)}, \quad (21)$$

где N_{\max} – максимальный натяг в соединении, мкм;

C_1 и C_2 – коэффициенты Ляме для охватываемой (вала) и охватывающей (втулки) деталей соответственно;

E_1 и E_2 – модули упругости материалов соответственно вала и втулки, Н/м^2 .

$$p = \frac{136 \cdot 10^{-6}}{50 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1,37}{2 \cdot 10^{11}} + \frac{5,75}{2 \cdot 10^{11}} \right)} = 76,4 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2.$$

Необходимое усилие запрессовки рассчитываем по формуле

$$P = f \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot p, \quad (22)$$

где f – коэффициент трения на контактных поверхностях, $f = 0,08-0,1$;

d – номинальный диаметр соединения, м;

L – длина сопрягаемых поверхностей, м;

p – давление на поверхности контакта, Н/м^2 .

$$P = 0,1 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot 76,4 \cdot 10^6 = 71967 \text{ Н} = 72 \text{ кН.}$$

Необходимое усилие пресса

$$Q = k \cdot P = 1,5 \cdot P ; \quad (23)$$

$$Q = 1,5 \cdot 72 = 108 \text{ кН.}$$

Принимаем пресс П6320 с номинальным усилием 100 кН.



Увеличение диаметра охватываемой детали (втулки) при запрессовке рассчитываем по формуле

$$\Delta d_2 = \frac{2 \cdot p \cdot d_2 \cdot d^2}{E_2 \cdot (d_2^2 - d^2)} ; \quad (24)$$

$$\Delta d_2 = \frac{2 \cdot 76,4 \cdot 10^6 \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot (50 \cdot 10^{-2})^2}{2 \cdot 10^{11} \left((60 \cdot 10^{-3})^2 - (50 \cdot 10^{-3})^2 \right)} = 104 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 104 \text{ мкм.}$$

При сборке соединения с нагревом охватываемой детали (втулки) ее температуру рассчитывают по формуле

$$t = \frac{N_{\max} + S_{c\bar{o}}}{\alpha \cdot d} + t_{c\bar{o}}, \quad (25)$$

где N_{\max} – максимальный натяг в соединении, мм;

$S_{c\bar{o}}$ – минимально необходимый зазор при сборке, принимается равным S_{\min} в посадке $H7/g6$ (таблица А.7), мм;

α – коэффициент линейного расширения материала детали (таблица А.8), град⁻¹;

d – диаметр соединения, мм;

$t_{c\bar{o}}$ – температура помещения.

В примере имеем: $S_{c\bar{o}} = 0,009$ мм; $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹.

$$t = \frac{0,136 + 0,009}{11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 50} + 20 = 272 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

6 Задача 5. Построение схем сборки

Составить схему и маршрутный техпроцесс сборки сборочной единицы. Варианты заданий взять из таблицы 1. Техпроцесс оформить в виде таблицы 5.

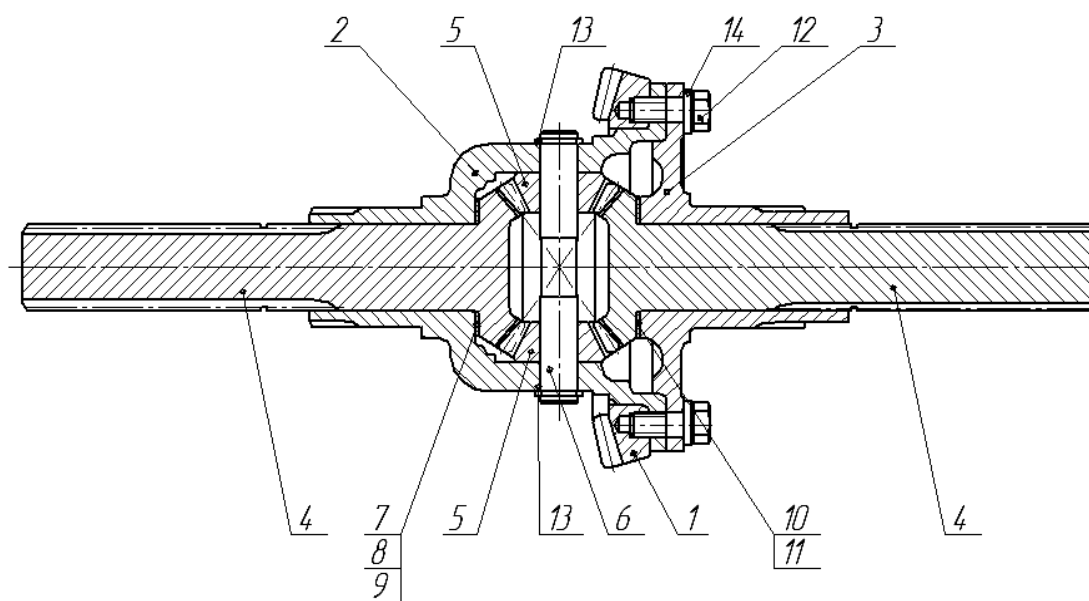
Таблица 5 – Техпроцесс сборки вала выходного

Наименование и содержание операции	Примечание
05 Сборка	
1 Закрепить вал (поз. 1) в тисках	
2 Запрессовать шпонку (поз. 2)	
3 Переустановить вал (поз. 1)	
4 Установить на вал втулку (поз. 3)	
5 Запрессовать на вал (поз. 1) шестерню (поз. 4)	



Схема сборки – наглядное изображение порядка сборки машины и входящих в нее деталей сборочных единиц или комплектов. На схеме каждый элемент изделия обозначают прямоугольником, в котором указывают наименование составной части, позицию на сборочном чертеже изделия, количество. Деталь или ранее собранная сборочная единица, с которой начинают сборку изделия, присоединяя к ней другие детали и сборочные единицы, называется базовой деталью или базовой сборочной единицей. Процесс сборки изображается на схеме горизонтальной (вертикальной) линией в направлении от прямоугольника с изображением базовой детали до прямоугольника, изображающего готовое изделие. Сверху и снизу от горизонтальной или справа и слева от вертикальной линии показывают прямоугольники, условно обозначающие детали и сборочные единицы в последовательности присоединения их к базовой детали. На схеме сборки также условными обозначениями (кружками, треугольниками с буквами) показывают места регулировки, пригонки и другие операции.

Пример 5 – Для дифференциала в сборе (рисунок 16) составить схему сборки и маршрутный техпроцесс сборки.



1 – колесо зубчатое; 2 – корпус; 3 – крышка; 4 – шестерня полуосевая (2 шт.); 5 – сателлит (2 шт.); 6 – ось; 7 – шайба опорная; 8 – шайба опорная; 9 – шайба опорная; 10 – шайба опорная; 11 – шайба опорная; 12 – болт (8 шт.); 13 – кольцо 2 (шт.); 14 – шайба (8 шт.)

Рисунок 16 – Дифференциал в сборе

Базовой деталью дифференциала (см. рисунок 16) является колесо зубчатое (поз. 1), с него начинается построение схемы сборки. Схема сборки дифференциала представлена на рисунке 17.

После составления схемы сборки разрабатывается технологический процесс сборки. В таблице 6 представлен полный техпроцесс сборки дифференциала в заводских условиях.

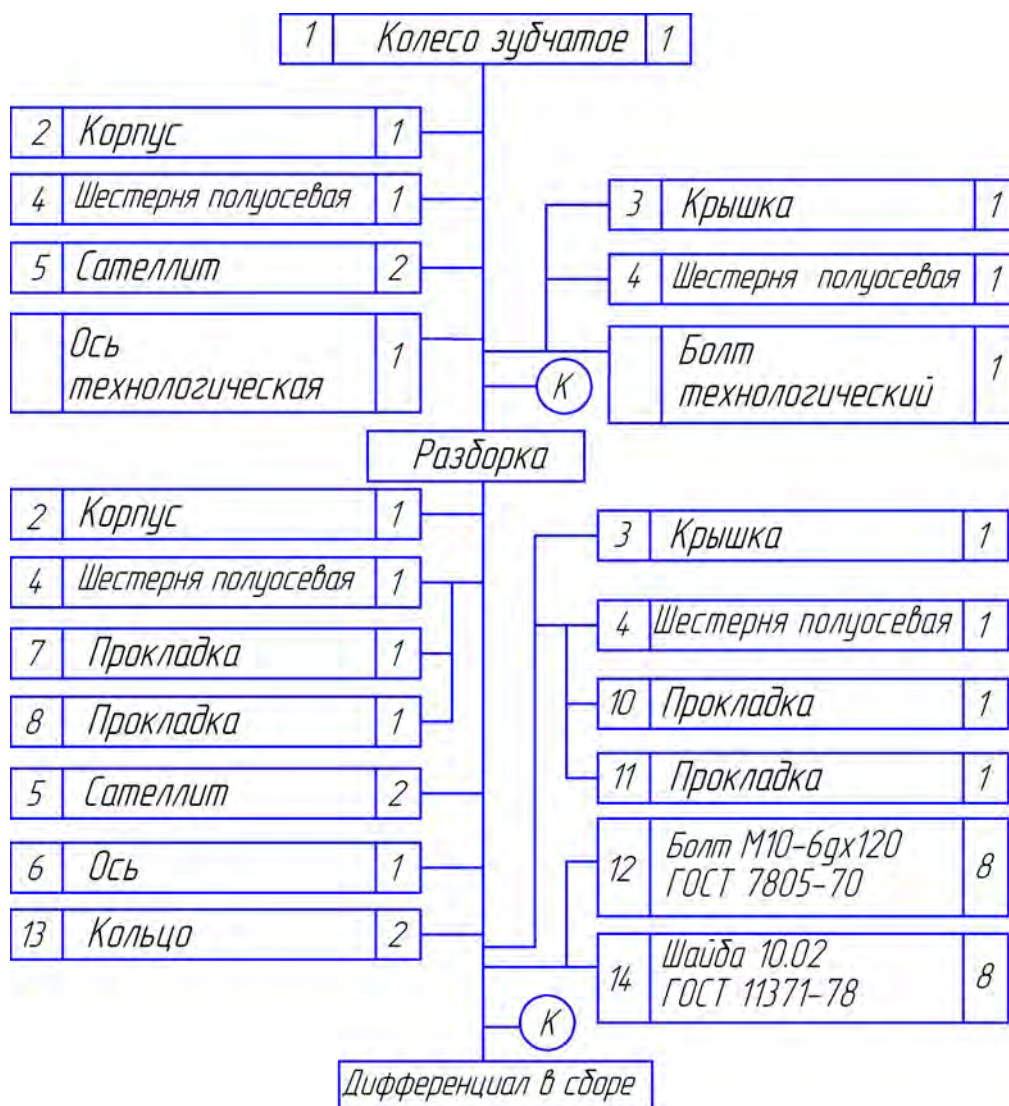


Рисунок 17 – Схема сборки дифференциала

Таблица 6 – Технологический процесс сборки дифференциала

Номер операции	Наименование операции и содержание технологических переходов сборки	Оборудование
1	2	3
05	Транспортирование Переместить детали и сборочные единицы на рабочее место на расстояние до 70 м	Тележка
10	Подготовка 1 Произвести наружный осмотр. Детали и сборочные единицы должны иметь сопроводительные документы или клеймо окончательной приемки, удостоверяющие их качество	Верстак
	2 Проверить соответствие порядковых номеров колеса зубчатого и спаренной шестерни, снять проволоку с дифференциала	–

Окончание таблицы 6

1	2	3
15	3 Перед сборкой смазать тонким слоем смазки трущиеся поверхности деталей 3–8	Ванночка; кисть
	Сборка 1 Установить колесо зубчатое 1 зубчатой поверхностью на подставку, исключив проворачивание его относительно оси	Верстак; подставка
	2 Вставить в отверстие колеса зубчатого корпус 2, шестерню полуосевую 4, сателлиты 5 (2 шт.) и зафиксировать осью технологической	Ось технологическая
	3 Установить на поверхность колеса зубчатого крышку 3 с шестерней полуосевой 4 и закрепить крышку к корпусу болтами технологическими 12 (2 шт.), расположенными диаметрально, затянуть их моментом 56...70 Н·м	Ключ динамометрический; болты технологические 2 шт.
	4 Нажать на полуосевую шестерню через отверстие в корпусе для выбора осевого зазора и замерить поочередно осевой люфт каждой из полуосевых шестерен 4, записать, и с учетом осевого люфта 0,10...0,35 мм выбрать две прокладки из набора прокладок 7–11	Приспособление контрольное
	5 Вывернуть болты технологические, вынуть ось технологическую и произвести полную разборку дифференциала	Ключ; подставка
	6 Одеть на шестерни полуосевые соответствующие прокладки 7–11, произвести сборку дифференциала согласно переходам 1 и 2, зафиксировать осью 6 и установить кольца 13 в канавки оси 6	Плоскогубцы; оправка; молоток
	7 Установить крышку 3 с шестерней полуосевой и прокладками на поверхность колеса зубчатого и закрепить болтами 12 (8 шт.) с шайбами 14, затянув болты моментом 56...70 Н·м	Подставка; ключ динамометрический
	8 Проверить проворачивание полуосевых шестерен 18, которые должны проворачиваться в корпусах 3 и 4 плавно, без заеданий при приложении момента не более 1,0 Н·м	Подставка; ключ динамометрический
	9 Проверить осевой люфт каждой из полуосевых шестерен 4, который должен быть в пределах 0,1...0,35 мм	Приспособление контрольное
10 Снять дифференциал с приспособления, связать со спаренной шестерней проволокой, ранее снятой с дифференциала и уложить в задел	–	
20	Контроль 1 Проверить правильность сборки и комплектность сборочной единицы в соответствии с комплектовочной картой – 100 %	Верстак
	2 Проверить смазывание трущихся поверхностей деталей 3–8 смазкой в процессе сборки – 25 %	–
	3 Проверить затяжку болтов 12 моментом 56...70 Н·м	Подставка; ключ динамометрический
	4 Проверить осевой люфт каждой из полуосевых шестерен 4, который должен быть в пределах 0,1...0,35 мм	Приспособление контрольное
	5 Проверить момент проворачивания дифференциала, который должен быть в пределах 1,0 Н·м не более 100 %	Подставка; ключ динамометрический
	6 Проверит комплектность поставки дифференциала со спаренной шестерней по наличию одного порядкового номера – 100 %	–
	7 Клеймить сборочную единицу 100 %	Клеймо ОТК



Список литературы

1 **Жолобов, А. А.** Технология машиностроения: учебное пособие: в 2 ч. Ч. 1: Формообразование деталей и сборка узлов машин / А. А. Жолобов, А. М. Федоренко. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 519 с.

2 Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – Москва: Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 656 с.

3 Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – Москва: Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.



Приложение А (справочное)

Таблица А.1 – Допуски для размеров от 1 до 500 мм (ГОСТ 25346–82)

Интервал размеров, мм	Квалитет точности											
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Допуск, мкм											
От 1 до 3	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
Св. 3 до 6	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
Св. 6 до 10	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
Св. 10 до 18	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
Св. 18 до 30	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
Св. 30 до 50	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
Св. 50 до 80	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
Св. 80 до 120	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
Св. 120 до 180	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
Св. 180 до 250	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
Св. 250 до 315	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
Св. 315 до 400	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
Св. 400 до 500	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

Таблица А.2 – Значение единиц допуска i для размеров от 1 до 500 мм (ГОСТ 25347–82)

Интервал размеров, мм	i , мкм	Интервал размеров, мм	i , мкм
До 3	0,55	Св. 80 до 120	2,17
Св. 3 до 6	0,73	Св. 120 до 180	2,52
Св. 6 до 10	0,90	Св. 180 до 250	2,90
Св. 10 до 18	1,08	Св. 250 до 315	3,23
Св. 18 до 30	1,31	Св. 315 до 400	3,54
Св. 30 до 50	1,53	Св. 400 до 500	3,89
Св. 50 до 80	1,86		

Таблица А.3 – Количество единиц допуска в допуске качества точности (ГОСТ 2347–82)

Квалитет точности IT	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Количество единиц допуска i	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600



Таблица А.4 – Значения коэффициента t

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

Таблица А.5 – Значения коэффициентов C_1 и C_2

$\frac{d_1}{d} = \frac{d}{d_2}$	$\mu_1 = \mu_2 = 0,3$		$\frac{d_1}{d} = \frac{d}{d_2}$	$\mu_1 = \mu_2 = 0,3$		$\frac{d_1}{d} = \frac{d}{d_2}$	$\mu_1 = \mu_2 = 0,25$		$\frac{d_1}{d} = \frac{d}{d_2}$	$\mu_1 = \mu_2 = 0,25$	
	C_1	C_2		C_1	C_2		C_1	C_2		C_1	C_2
0,002	0,7	1,3	0,5	1,37	1,97	0,002	0,75	1,25	0,5	1,42	1,92
0,1	0,72	1,32	0,6	1,83	2,43	0,1	0,77	1,27	0,6	1,88	2,37
0,2	0,78	1,38	0,7	2,62	3,22	0,2	0,83	1,33	0,7	2,67	3,17
0,3	0,89	1,49	0,8	4,25	4,85	0,3	0,95	1,45	0,8	4,30	4,80
0,4	1,08	1,68	0,9	9,23	9,83	0,4	1,13	1,63	0,9	9,28	9,78

Таблица А.6 – Значения модулей упругости E и коэффициенты Пуассона μ

Материал	$E, \text{Н/м}^2$	μ
Сталь и стальное литье	$(1,96...2,00) \cdot 10^{11}$	0,3
Чугунное литье	$(0,74...1,05) \cdot 10^{11}$	0,25
Бронза	$0,84 \cdot 10^{11}$	0,35
Латунь	$0,78 \cdot 10^{11}$	0,38
Пластмассы	$(0,005...0,35) \cdot 10^{11}$	

Таблица А.7 – Минимально необходимые зазоры $S_{сб}$ (минимальные зазоры посадки $H7/g6$)

Интервал размеров, мм	$S_{сб}, \text{мм}$	Интервал размеров, мм	$S_{сб}, \text{мм}$
До 3	0,002	Св. 80 до 120	0,012
Св. 3 до 6	0,004	Св. 120 до 180	0,014
Св. 6 до 10	0,005	Св. 180 до 250	0,015
Св. 10 до 18	0,006	Св. 250 до 315	0,017
Св. 18 до 30	0,007	Св. 315 до 400	0,018
Св. 30 до 50	0,009	Св. 400 до 500	0,020
Св. 50 до 80	0,010		

Таблица А.8 – Коэффициент линейного расширения α металлов и сплавов

Материал	α , град ⁻¹	Материал	α , град ⁻¹
Сталь незакаленная	$11,5 \cdot 10^{-6}$	Латунь	$(17...21) \cdot 10^{-6}$
Сталь закаленная	$12,0 \cdot 10^{-6}$	Дюралюминий	$22,6 \cdot 10^{-6}$
Чугун	$(10...11,4) \cdot 10^{-6}$	Титановые сплавы	$8,4 \cdot 10^{-6}$
Бронза	$17,5 \cdot 10^{-6}$	Цинковые сплавы	$27,7 \cdot 10^{-6}$

