

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

# ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ МАШИН

*Методические рекомендации к практическим занятиям  
для студентов специальности  
1-36 01 01 «Технология машиностроения»  
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2023

УДК 621.01: 621.757  
ББК 34.44  
Т38

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «22» мая 2023 г.,  
протокол № 14

Составители: ст. преподаватель М. А. Рабыко;  
канд. техн. наук, доц. Е. Н. Антонова;  
канд. техн. наук, доц. А. В. Капитонов

Рецензент канд. техн. наук, доц. Д. М. Свирепа

Изложены перечень и содержание практических работ по дисциплине  
«Технология сборки машин», даны рекомендации по выполнению всех прак-  
тических заданий и приведены контрольные вопросы к каждой работе.

Учебное издание

## ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ МАШИН

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Корректор	И. В. Голубцова
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 31 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, г. Могилев.

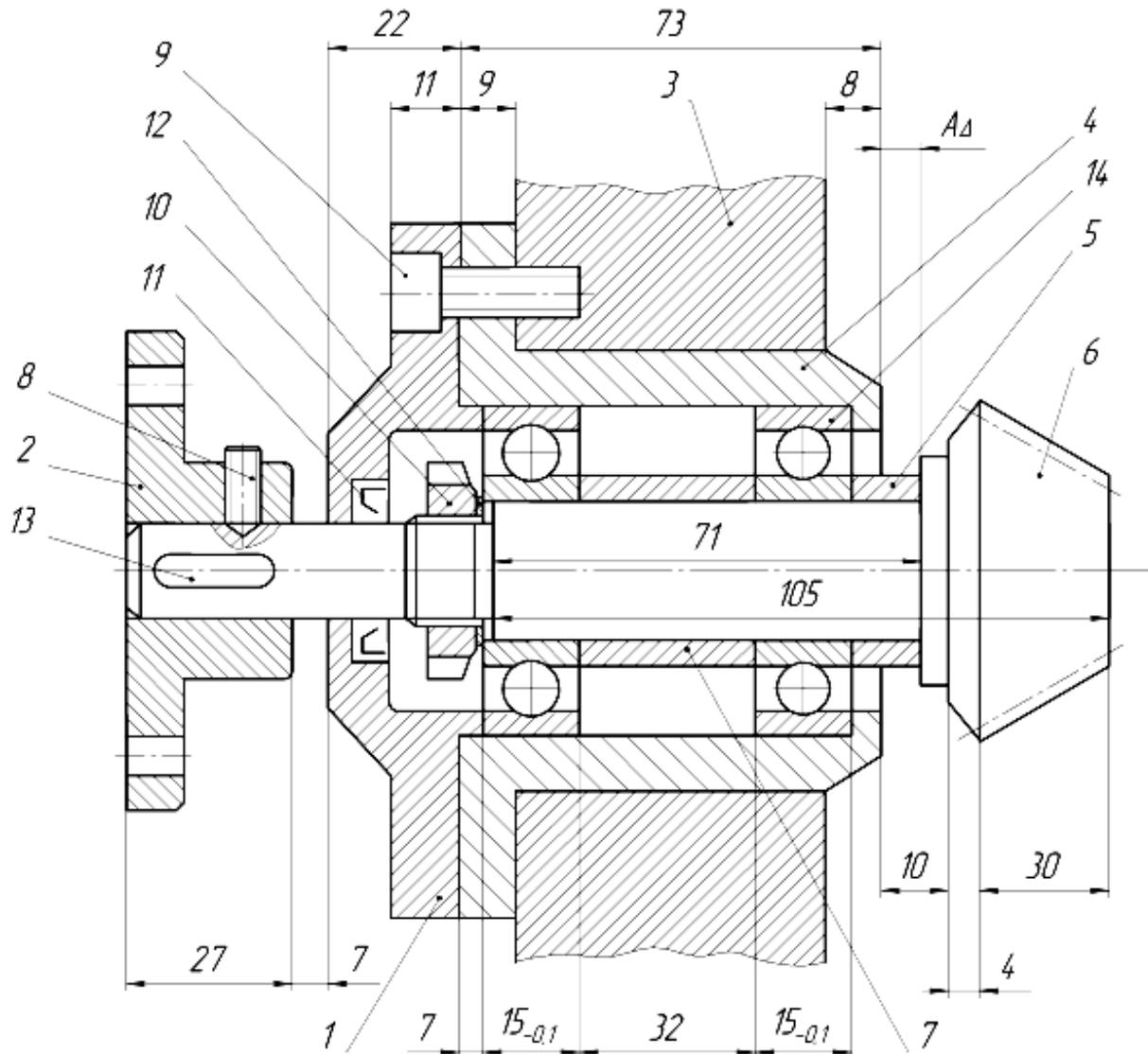
© Белорусско-Российский  
университет, 2023

## Содержание

1 Метод полной взаимозаменяемости.....	4
2 Метод неполной взаимозаменяемости.....	14
3 Метод групповой взаимозаменяемости.....	17
4 Метод регулирования и пригонки.....	19
5 Расчёт режимов сборки соединений с натягом.....	24
6 Расчёт режимов сборки подшипников скольжения.....	27
7 Расчёт режимов сборки узлов с подшипниками качения.....	30
8 Составление схемы и техпроцесса сборки.....	32
Список литературы.....	35
Приложение А.....	36
Приложение Б.....	40

## 1 Метод полной взаимозаменяемости

**Задача 1.** 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

Таблица 1 – Варианты заданий

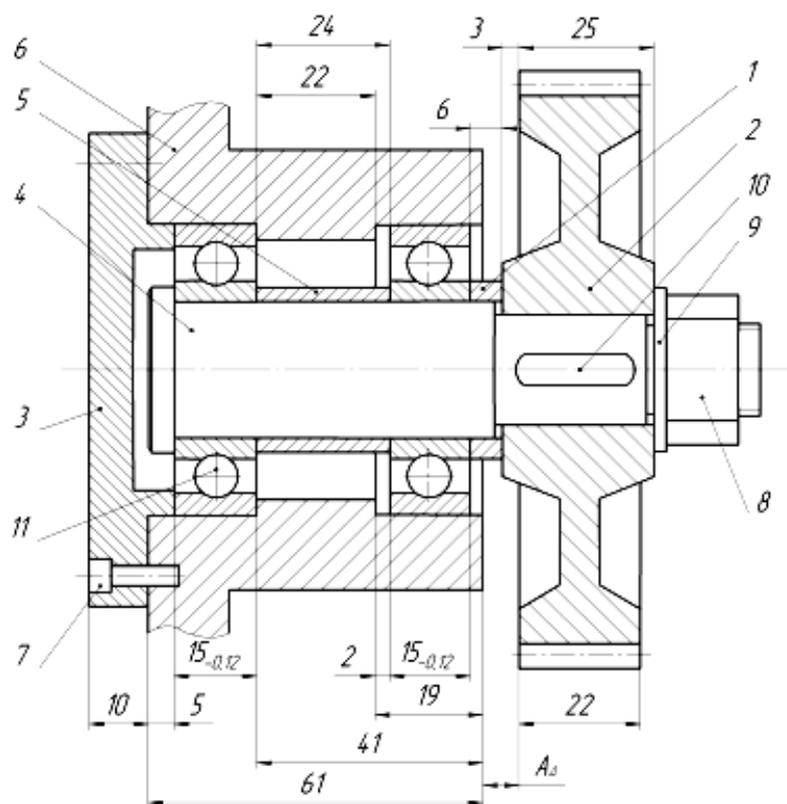
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер рисунка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Предельное отклонение звена $A_{\Delta}$ , мм	+0,5 0	$\pm 0,4$	+0,6 0	$\pm 0,6$	+0,8 0	+0,2 -0,5	$\pm 0,3$	+0,4 -0,2	$\pm 0,3$	+0,4 -0,5

Продолжение таблицы 1

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер рисунка	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
Предельное отклонение звена $A_{\Delta}$ , мм	+0,62 0	+1,1 0	+0,4 -0,2	+0,3 -0,6	+0,7 0	+0,5 -0,6	+0,3 -0,6	+0,8 +0,1	+0,6 0	+0,3 -0,6

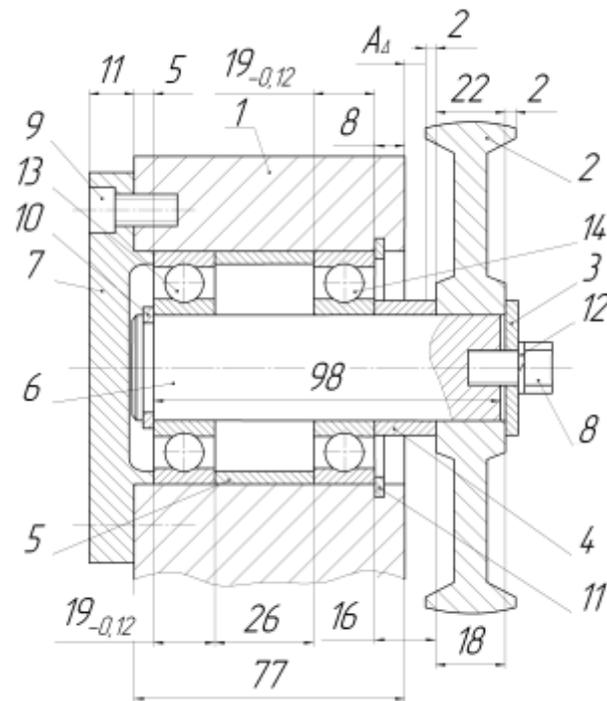
Продолжение таблицы 1

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номер рисунка	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
Предельное отклонение звена $A_{\Delta}$ , мм	+0,7 0	$\pm 0,3$	+0,9 +0,2	+0,6 -0,5	+0,3 -0,5	+1,0 +0,1	+0,4 -0,5	+0,9 -0,1	+0,3 -0,2	+0,5 -0,4



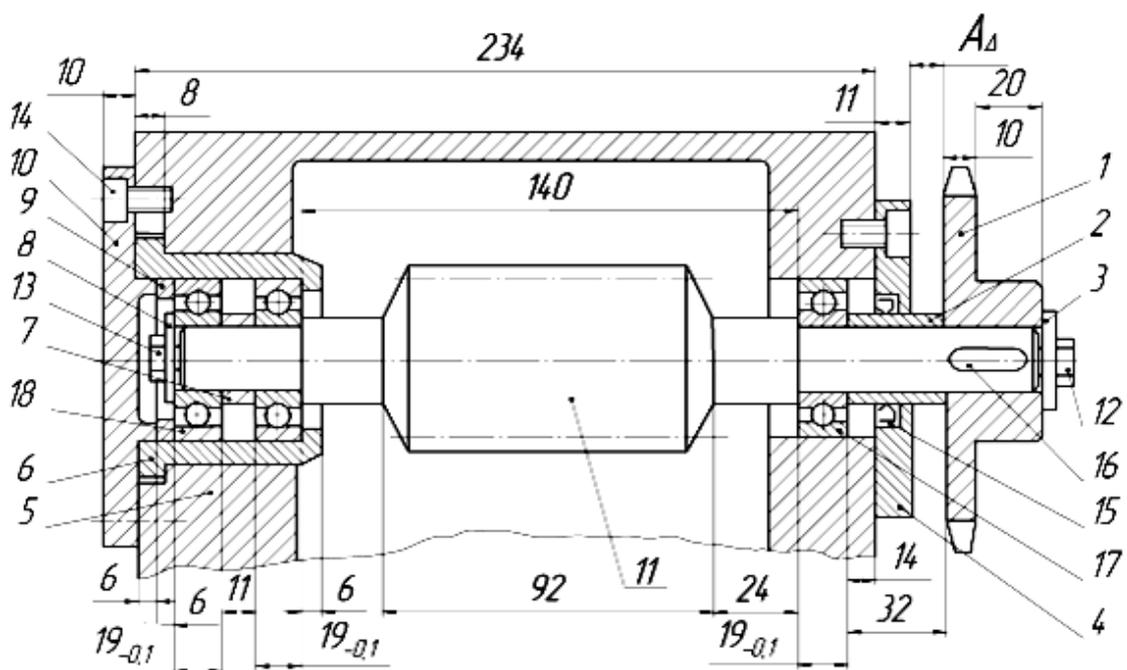
1 – кольцо; 2 – шестерня; 3 – крышка; 4 – вал; 5 – втулка; 6 – корпус; 7 – винт (4 шт.); 8 – гайка; 9 – шайба; 10 – шпонка; 11 – подшипник (2 шт.)

Рисунок 2 – Вал промежуточный



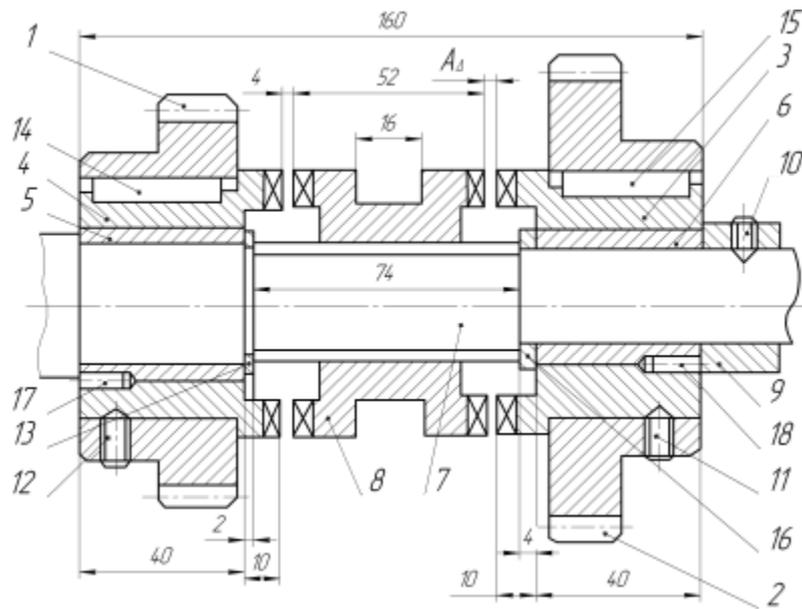
1 – корпус; 2 – шкив; 3 – шайба; 4 – кольцо; 5 – втулка; 6 – вал; 7 – крышка; 8 – болт; 9 – винт (3 шт.); 10 – кольцо стопорное; 11 – кольцо стопорное; 12 – шайба; 13 – подшипник; 14 – подшипник

Рисунок 3 – Шкив натяжной



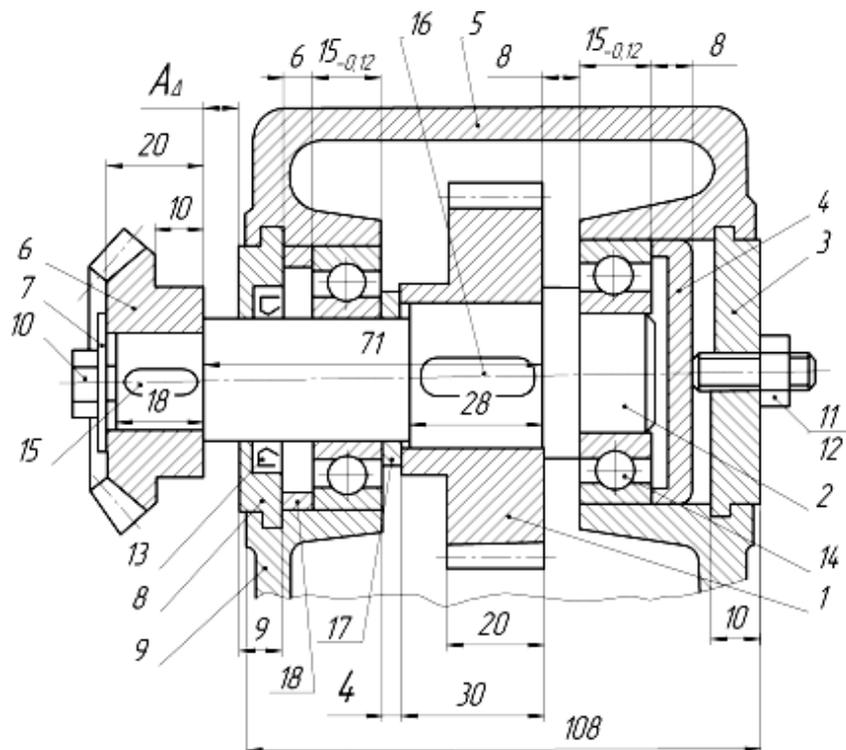
1 – звездочка; 2 – втулка; 3 – шайба; 4 – крышка; 5 – корпус; 6 – стакан; 7 – кольцо; 8 – шайба; 9 – кольцо; 10 – крышка; 11 – червяк; 12 – болт; 13 – болт; 14 – винт (4 шт.); 15 – манжета; 16 – шпонка; 17 – подшипник; 18 – подшипник (2 шт.)

Рисунок 4 – Червяк в сборе



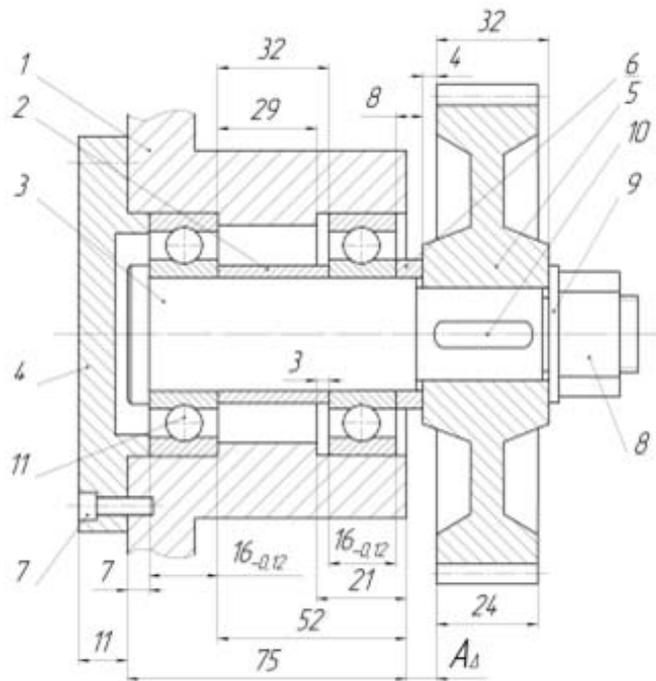
1 – шестерня левая; 2 – шестерня правая; 3 – полумуфта правая; 4 – полумуфта левая; 5 – вкладыш; 6 – вкладыш; 7 – вал; 8 – муфта; 9 – кольцо; 10 – винт; 11 – винт; 12 – винт; 13 – кольцо стопорное; 14 – шпонка; 15 – шпонка; 16 – кольцо; 17 – штифт; 18 – штифт

Рисунок 5 – Муфта кулачковая



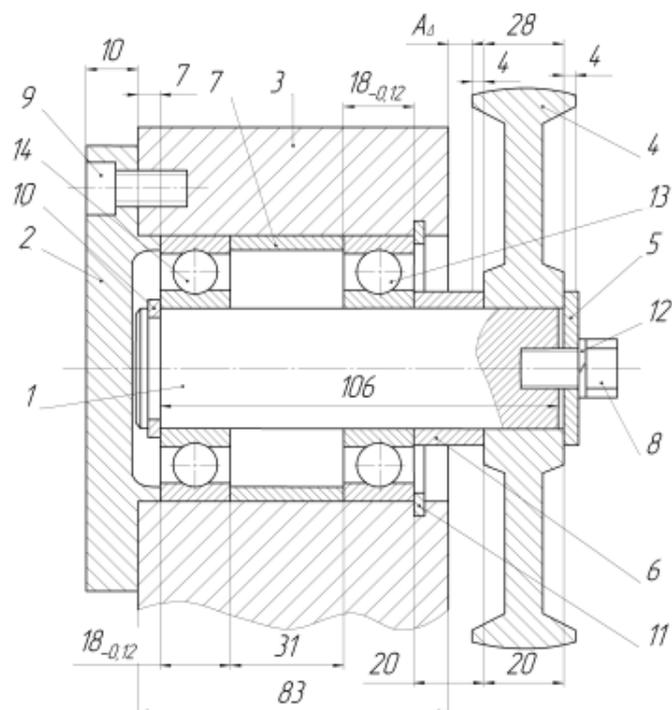
1 – шестерня; 2 – вал; 3 – крышка; 4 – упор; 5 – крышка; 6 – шестерня; 7 – шайба; 8 – крышка; 9 – корпус; 10 – болт; 11 – винт; 12 – гайка; 13 – манжета; 14 – подшипник (2 шт.); 15 – шпонка; 16 – шпонка; 17 – кольцо; 18 – кольцо

Рисунок 6 – Вал выходной



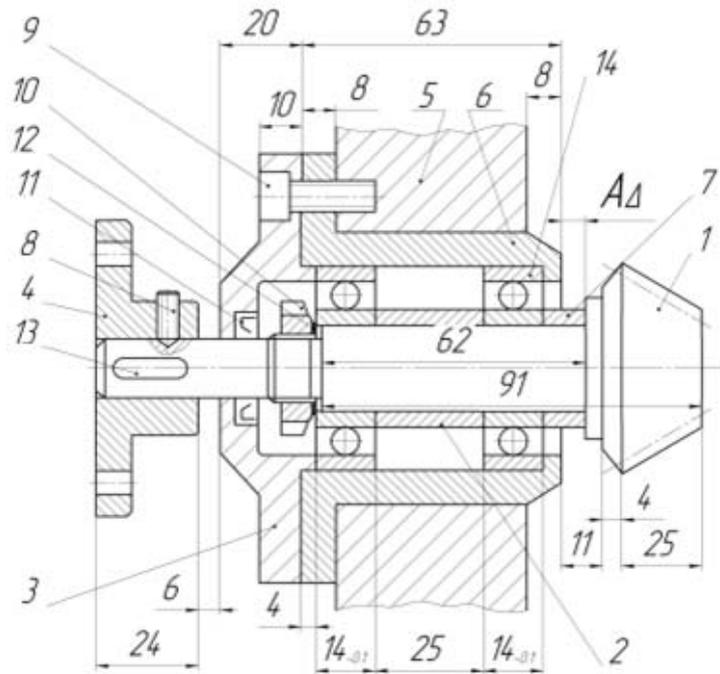
1 – корпус; 2 – втулка; 3 – вал; 4 – крышка; 5 – шестерня; 6 – кольцо; 7 – винт (4 шт.); 8 – гайка; 9 – шайба; 10 – шпонка; 11 – подшипник (2 шт.)

Рисунок 7 – Вал промежуточный



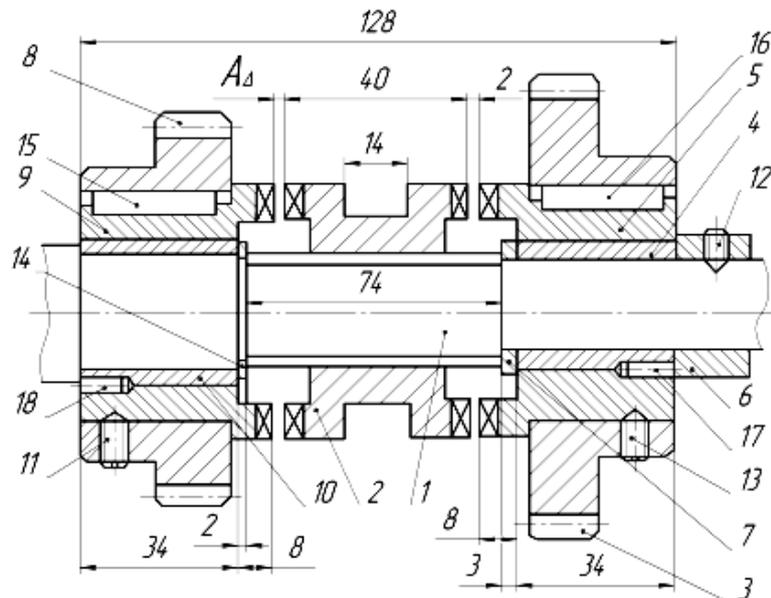
1 – вал; 2 – крышка; 3 – корпус; 4 – шкив; 5 – шайба; 6 – кольцо; 7 – втулка; 8 – болт; 9 – винт (3 шт.); 10 – кольцо стопорное; 11 – кольцо стопорное; 12 – шайба; 13 – подшипник; 14 – подшипник

Рисунок 8 – Шкив натяжной



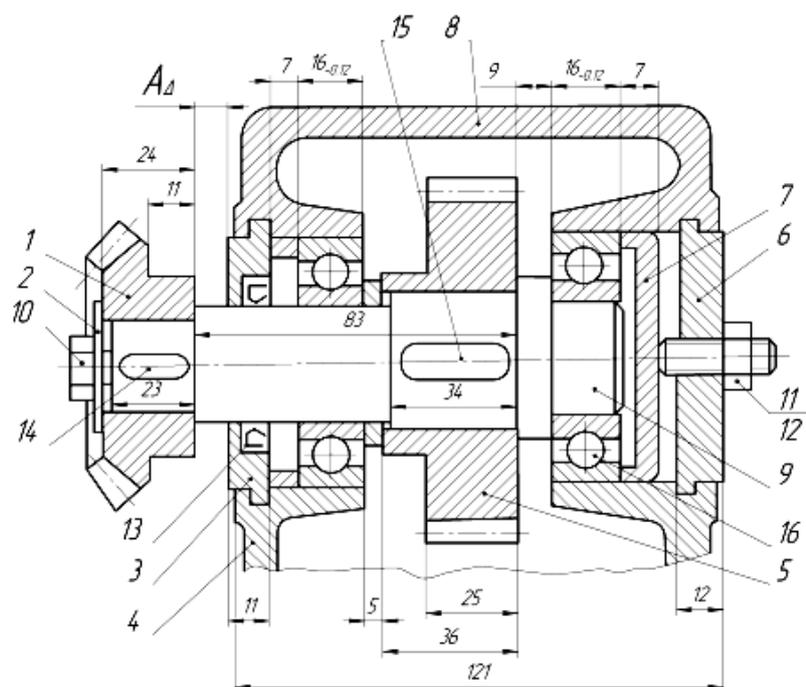
1 – вал-шестерня; 2 – втулка; 3 – крышка; 4 – полумуфта; 5 – корпус; 6 – стакан; 7 – кольцо; 8 – винт; 9 – винт (3 шт.); 10 – гайка; 11 – манжета; 12 – шайба; 13 – шпонка; 14 – подшипник (2 шт.)

Рисунок 9 – Вал первичный



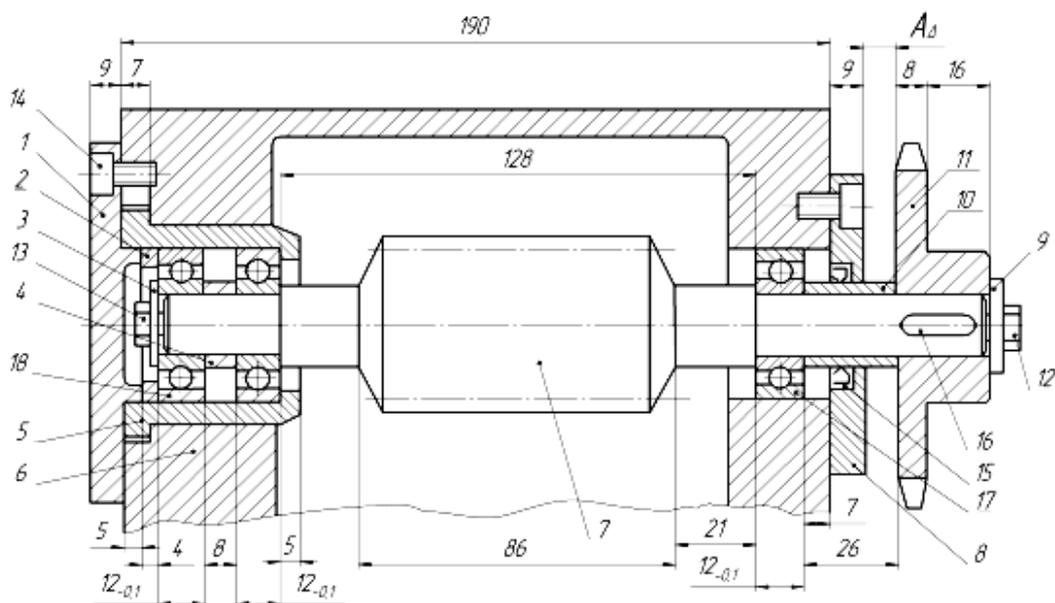
1 – вал; 2 – муфта; 3 – шестерня правая; 4 – вкладыш; 5 – полумуфта правая; 6 – втулка; 7 – кольцо; 8 – шестерня левая; 9 – полумуфта левая; 10 – вкладыш; 11 – винт; 12 – винт; 13 – винт; 14 – кольцо; 15 – шпонка; 16 – шпонка; 17 – штифт; 18 – штифт

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.

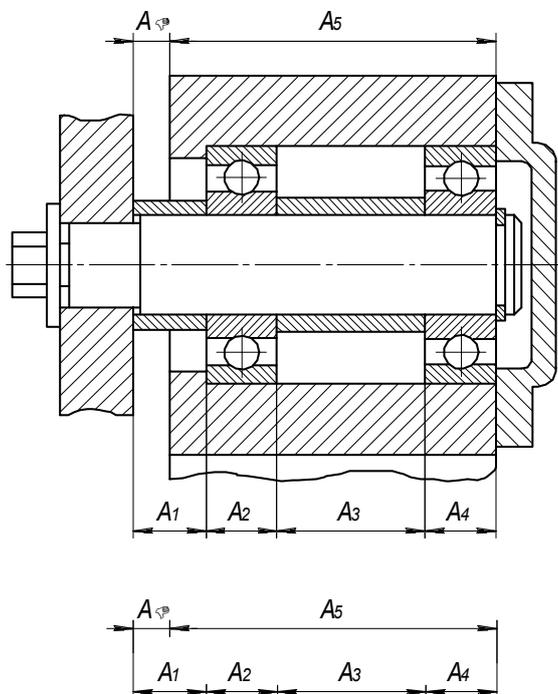


Рисунок 13 – Сборочный чертеж

### Решение

1 Задача решается с помощью размерной цепи  $A$ , исходным (замыкающим) звеном которой является звено  $A_{\Delta}$ . Записываем параметры замыкающего звена  $A_{\Delta}$ : 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:  $A_1$ – $A_4$  – 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

$$A_{\Delta} = \sum^m A_{y\bar{e}} - \sum^n A_{y\underline{m}}, \quad (2)$$

где  $A_{\Delta}$  – номинальное значение замыкающего звена;

$\sum^m A_{y\bar{e}}$ ,  $\sum^n A_{y\underline{m}}$  – сумма увеличивающих и уменьшающих звеньев соот-

ветственно;

$m$ ,  $n$  – 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

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

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 и 9 качествами точности (таблица А.3). С учетом технологических возможностей изготовления деталей на звено  $A_5$  назначаем допуск по 9 качеству точности, на звено  $A_3$  – по 8 качеству (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.

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

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

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

9 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  $ESA_i$ ,  $EIA_i$  – верхнее и нижнее отклонение размера  $A_i$ .

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

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

10 Координату середины поля допуска звена  $A_1$  определяем из уравнения

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

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

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

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

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

11 Рассчитываем предельные отклонения звена  $A_1$  по формулам

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

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

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

Производим проверку правильности выполненных расчетов по формулам

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

$$EIA_{\Delta} = \sum^m Ec_{y_{\text{в}}} - \sum^n Ec_{y_{\text{м}}} - 0,5 \sum^{m+n} TA_i; \quad (9)$$

$$ESA_{\Delta} = Ec_1 + Ec_2 + Ec_3 + Ec_4 - Ec_5 + 0,5 \times (TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4 + TA_5);$$

$$+ 0,3 = 0,196 - 0,06 - 0,0195 - 0,06 + 0,0435 +$$

$$+ 0,5 \cdot (0,04 + 0,12 + 0,039 + 0,12 + 0,087);$$

$$EIA_{\Delta} = Ec_1 + Ec_2 + Ec_3 + Ec_4 - Ec_5 - 0,5 \cdot (TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4 + TA_5);$$

$$- 0,1 = 0,196 - 0,06 - 0,0195 - 0,06 + 0,0435 -$$

$$- 0,5 \cdot (0,04 + 0,12 + 0,039 + 0,12 + 0,087).$$

Проверка показывает, что расчеты выполнены правильно.

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  $TA_{i \text{ ср}}$ .

## 2 Метод неполной взаимозаменяемости

**Задача 2.** 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, приведенном 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  $A_{\Delta} = 10_{-0,1}^{+0,3}$  мм; процент риска  $P = 1$  %; рассеяние размеров подчиняется нормальному закону ( $\lambda_i^2 = 1/9$ ). Задачу решить способом назначения допусков одного качества точности.

### Решение

Записываем параметры замыкающего звена  $A_\Delta$ : 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  $Ec_\Delta = +0,1$  мм.

2 Номинальные размеры и единицы допуска звеньев размерной цепи (определены в примере 1 в п. 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.

$$a_{cp} = \frac{TA_\Delta - TA_j}{t \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 \cdot i^2}}, \quad (11)$$

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

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

$\lambda_i^2$  – 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 качеству точности (см. таблицу А.3). На звенья  $A_3$  и  $A_5$  допуски устанавливаем по 10 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  $A_1$ :

$$Ec_2 = \frac{0 - 0,12}{2} = -0,06 \text{ мм}; \quad Ec_3 = \frac{0 - 0,01}{2} = -0,05 \text{ мм};$$

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

9 Координату середины поля допуска звена  $A_1$  определяем из уравнения (6):

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

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

$$Ec_1 = 0,1 + 0,06 + 0,05 + 0,06 - 0,07 = +0,2 \text{ мм}.$$

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 Производим проверку правильности выполненных расчетов по формулам

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

$$ESA_{\Delta} = \sum^m Ec_{y_{\text{в}}} - \sum^n Ec_{y_{\text{м}}} - t \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 (0,5TA_i)^2}; \quad (14)$$

$$ESA_{\Delta} = Ec_1 + Ec_2 + Ec_3 + Ec_4 - Ec_5 + 2,57 \sqrt{\frac{1}{9} \cdot 0,25 \cdot (TA_1^2 + TA_2^2 + TA_3^2 + TA_4^2 + TA_5^2)};$$

$$+ 0,3 = 0,2 - 0,06 - 0,05 - 0,06 + 0,07 +$$

$$+ 2,57 \sqrt{\frac{1}{9} \cdot 0,25 \cdot (0,4^2 + 0,12^2 + 0,1^2 + 0,12^2 + 0,14^2)} = +0,3;$$

$$- 0,1 = 0,2 - 0,06 - 0,05 - 0,06 + 0,07 -$$

$$- 2,57 \sqrt{\frac{1}{9} \cdot 0,25 \cdot (0,4^2 + 0,12^2 + 0,1^2 + 0,12^2 + 0,14^2)} = -0,1.$$

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  $TA_{icp}$ .

### 3 Метод групповой взаимозаменяемости

**Задача 3.** 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 таблицы 2.

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

Продолжение таблицы 2

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 записываем 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 3).

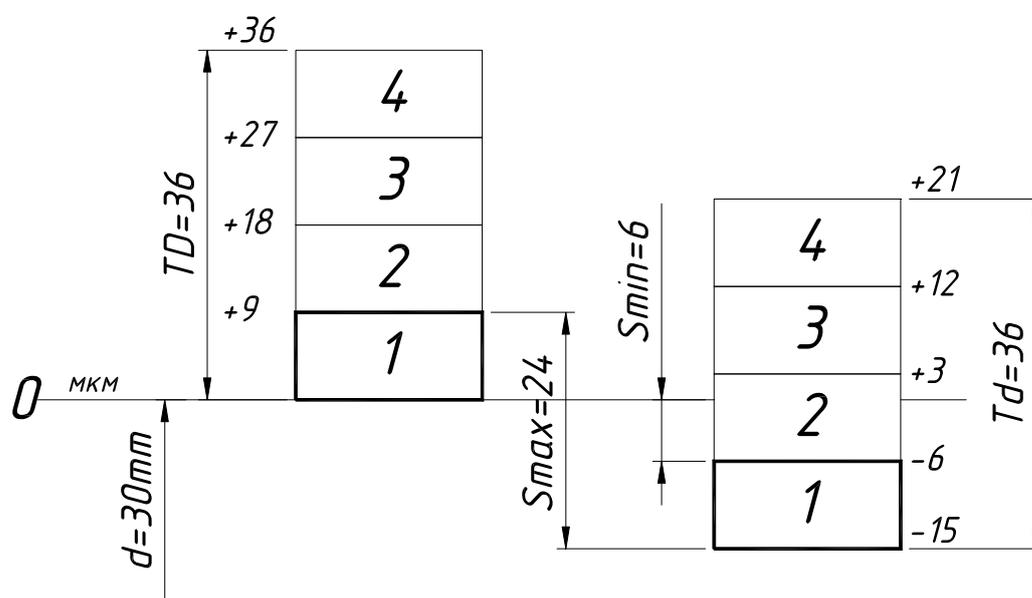


Рисунок 14 – Схема полей допусков соединения

Таблица 3 – 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	$30 + 0,036 = 30,036$	$30 + 0,021 = 30,021$

## 4 Метод регулирования и пригонки

**Задача 4.** Методом регулирования обеспечить осевой зазор в радиально-упорных подшипниках сборочной единицы (рисунки 15–18). Варианты заданий взять из таблицы 4. Задачу решить по примеру 4.

Таблица 4 – Варианты заданий

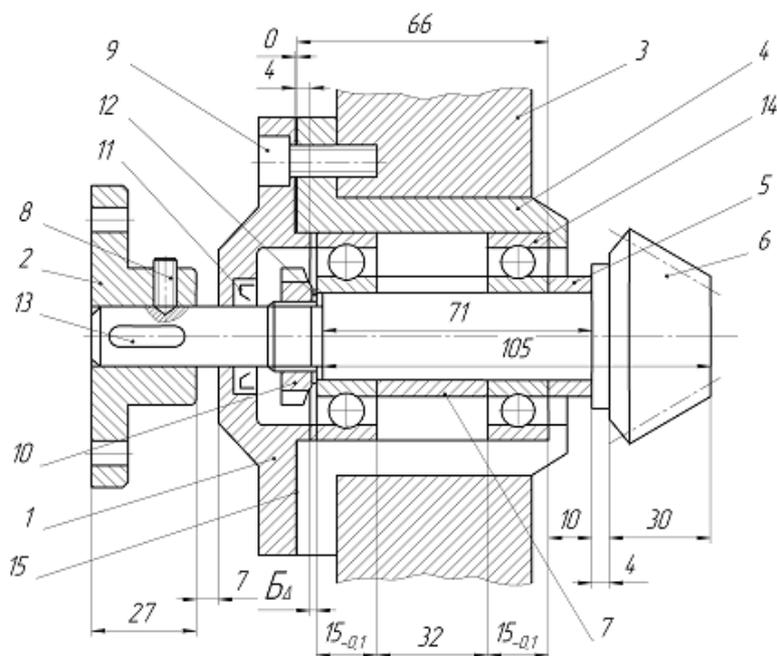
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Предельное отклонение звена $B_{\Delta}$ , мм	+0,1	+0,14	+0,12	+0,18	+0,12	+0,17	+0,14	+0,16	+0,15	+0,18
	0	+0,02	0	+0,05	+0,02	+0,06	+0,02	+0,02	0	+0,05
Номер рисунка	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16

Продолжение таблицы 4

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Предельное отклонение звена $B_{\Delta}$ , мм	+0,17	+0,11	+0,15	+0,12	+0,68	+0,12	+0,18	+0,15	+0,16	+0,14
	+0,06	+0,01	+0,05	0	+0,05	0	+0,05	+0,05	0	+0,02
Номер рисунка	15	16	15	16	17	18	15	16	17	18

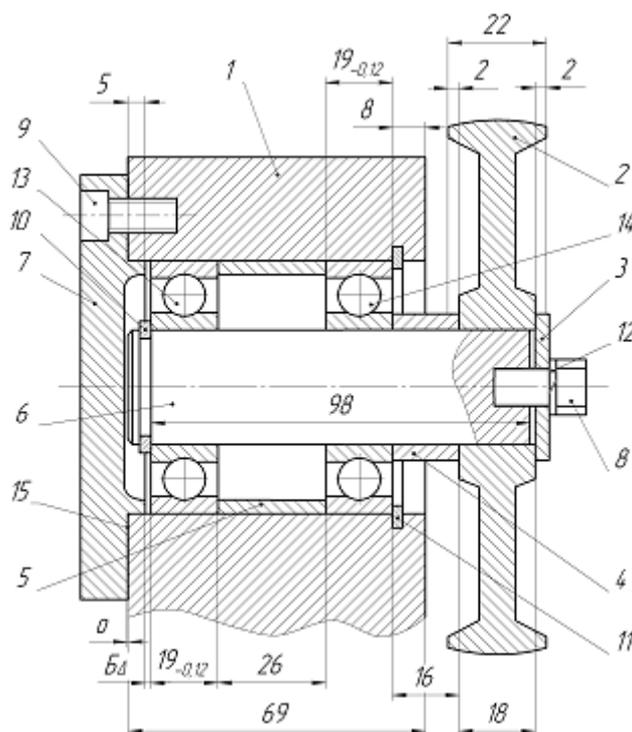
Продолжение таблицы 4

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Предельное отклонение звена $B_{\Delta}$ , мм	+0,17	+0,12	+0,1	+0,14	+0,14	+0,1	+0,12	+0,1	+0,12	+0,16
	+0,06	+0,02	0	0	+0,02	0	+0,02	0	0	+0,01
Номер рисунка	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16



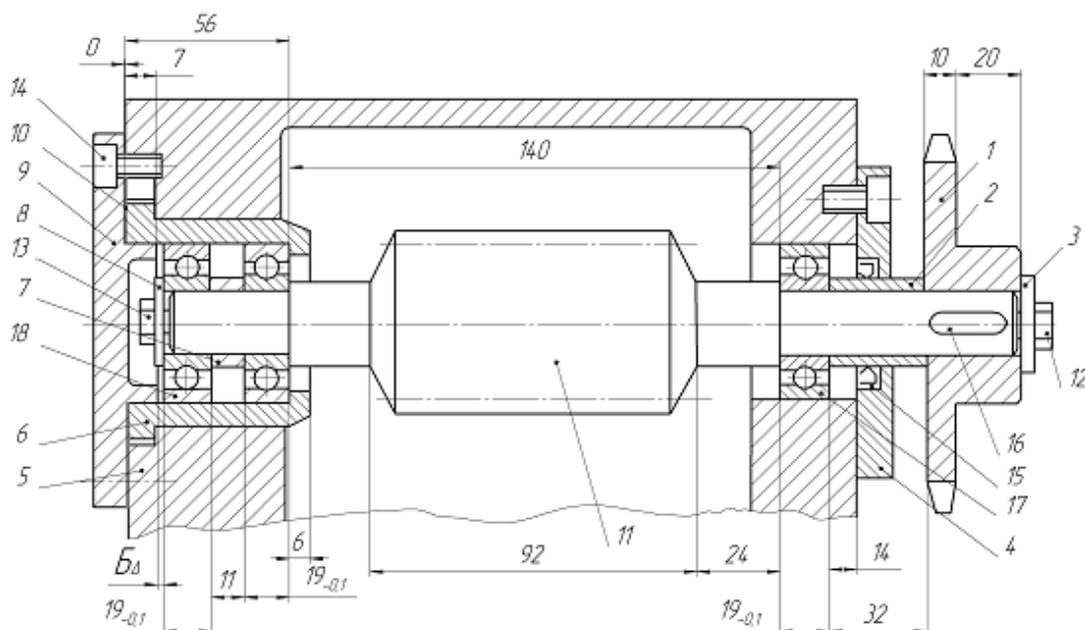
1 – крышка; 2 – полумуфта; 3 – корпус; 4 – стакан; 5 – кольцо; 6 – вал-шестерня; 7 – втулка 8 – винт; 9 – винт (3 шт.); 10 – гайка; 11 – манжета; 12 – шайба; 13 – шпонка; 14 – подшипник (2 шт.); 15 – прокладка

Рисунок 15 – Вал первичный



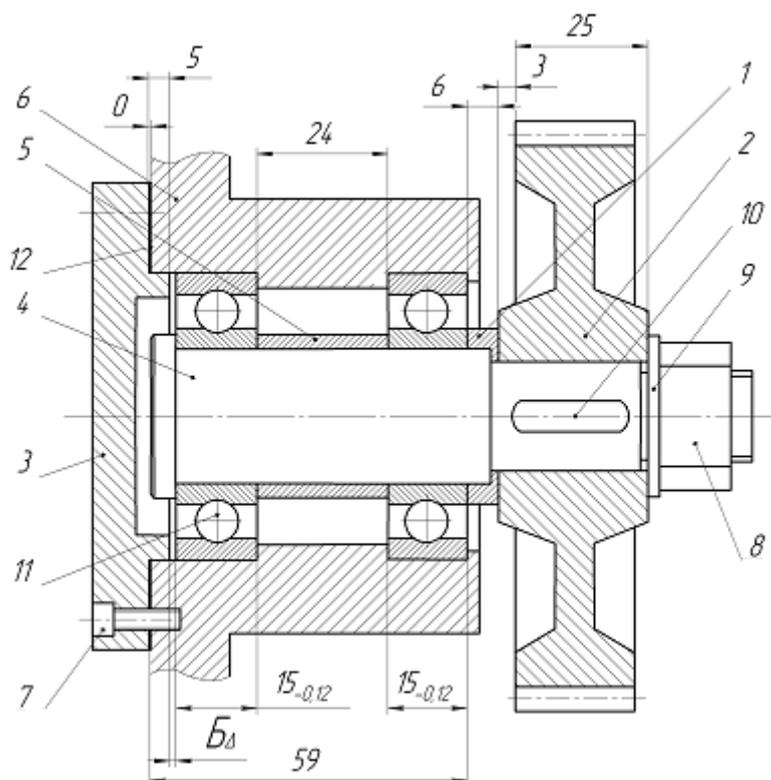
1 – корпус; 2 – шкив; 3 – шайба; 4 – кольцо; 5 – втулка; 6 – вал; 7 – крышка; 8 – болт; 9 – винт (3 шт.); 10 – кольцо; 11 – кольцо; 12 – шайба; 13 – подшипник; 14 – подшипник; 15 – прокладка

Рисунок 16 – Шкив натяжной



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

Рисунок 17 – Червяк в сборе



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.); 12 – прокладка

Рисунок 18 – Вал промежуточный

**Пример 4** – Обеспечить осевой зазор в конических роликовых подшипниках задней опоры шпинделя агрегатного станка в пределах  $S = 0 \dots 0,1$  мм с помощью прокладок (рисунок 19).

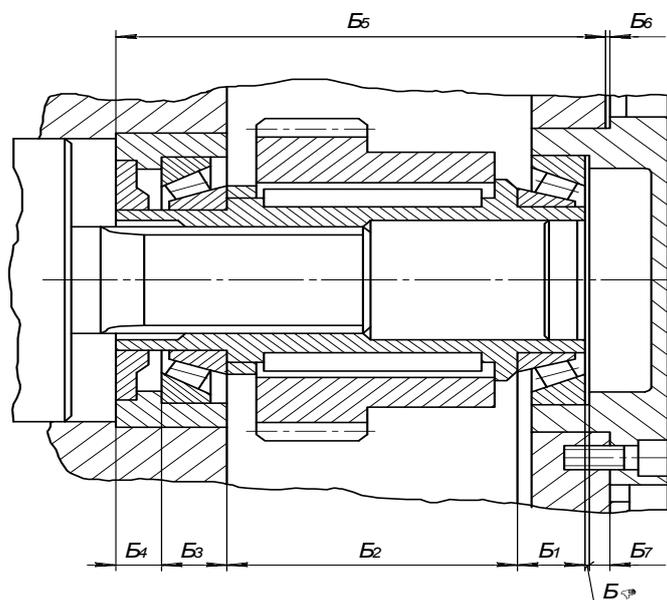


Рисунок 19 – Задняя опора шпинделя агрегатного станка

Допускаемая величина осевого зазора в конических роликовых подшипниках составляет 0,1 мм на два подшипника. На сборочном чертеже (см. рисунок 19) зазор условно отнесён к одному подшипнику.

Таким образом, исходным (замыкающим) звеном является звено  $B_{\Delta} = 0^{+0,1}$  мм. Составляющими звеньями являются  $B_1$ – $B_7$ .

#### Решение

Записываем параметры замыкающего звена:  $TB_{\Delta} = 0,1$  мм;  $ESB_{\Delta} = +0,1$  мм;  $EIB_{\Delta} = 0$  мм;  $E_{C\Delta} = +0,05$  мм.

Звенья  $B_5$  и  $B_6$  являются увеличивающими,  $B_1$ – $B_7$  – уменьшающими. Звено  $B_6$  – компенсирующее.

По сборочному чертежу устанавливаем номинальные значения составляющих звеньев:  $B_1 = 15$  мм;  $B_2 = 70$  мм;  $B_3 = 15$  мм;  $B_4 = 10$  мм;  $B_5 = 118$  мм;  $B_6 = 0$ ;  $B_7 = 8$  мм.

Проверяем правильность определения номинальных размеров составляющих звеньев по уравнению (2):

$$B_{\Delta} = B_5 + B_6 - B_1 - B_2 - B_3 - B_4 - B_7;$$

$$0 = 118 + 0 - 15 - 70 - 15 - 10 - 8 = 0.$$

По ГОСТ 25347–82 устанавливаем производственные (экономически целесообразные – по 9–12 квалитетам точности) допуски на составляющие звенья, кроме компенсирующего звена  $B_6$  и подшипников ( $TB'_1 = TB'_3 = 0,12$  мм), по таб-

лице А.1:  $TB'_2 = 0,074$  мм (IT10);  $TB'_4 = 0,058$  мм (IT10);  $TB'_5 = 0,14$  мм (IT10);  $TB'_7 = 0,058$  мм (IT10).

Задаем расположение полей допусков звеньев, кроме компенсатора:  $B_1 = B_3 = 15_{-0,12}$  (монтажная ширина подшипников);  $B_2 = 70_{-0,074}$ ;  $B_4 = 10_{-0,058}$ ;  $B_5 = 118 \pm 0,07$ ;  $B_7 = 8 \pm 0,029$ .

Рассчитываем координаты середин полей допусков составляющих звеньев по формуле (5):

$$Ec'_1 = \frac{0 - 0,12}{2} = -0,06 \text{ мм}; \quad Ec'_2 = \frac{0 - 0,074}{2} = -0,037 \text{ мм};$$

$$Ec'_3 = \frac{0 - 0,12}{2} = -0,06 \text{ мм}; \quad Ec'_4 = \frac{0 - 0,058}{2} = -0,029 \text{ мм};$$

$$Ec'_5 = \frac{0,07 - 0,07}{2} = 0 \text{ мм}; \quad Ec'_7 = \frac{0,029 - 0,029}{2} = 0 \text{ мм}.$$

Рассчитываем производственный допуск замыкающего звена без учета компенсатора  $B_6$  по формуле

$$TB'_\Delta = \sum TB'_i; \quad (20)$$

$$TB'_\Delta = TB'_1 + TB'_2 + TB'_3 + TB'_4 + TB'_5 + TB'_7;$$

$$TB'_\Delta = 0,12 + 0,074 + 0,12 + 0,058 + 0,14 + 0,058 = 0,57 \text{ мм}.$$

Определяем величину необходимой компенсации по формуле

$$T_k = TB'_\Delta - TB_\Delta + T_{mk}, \quad (21)$$

где  $T_{mk}$  – допуск на изготовление компенсатора,  $T_{mk} = 0,03$  мм.

$$T_k = 0,57 - 0,1 + 0,03 = 0,5 \text{ мм}.$$

Определяем координату середины поля производственного допуска замыкающего звена по формуле

$$Ec'_\Delta = \sum^m Ec'_{y\delta} - \sum^n Ec'_{ym}; \quad (22)$$

$$Ec'_\Delta = Ec'_1 - Ec'_2 - Ec'_3 - Ec'_4 + Ec'_5;$$

$$Ec'_\Delta = 0 + 0,06 + 0,037 + 0,06 + 0,029 - 0 = +0,186.$$

Определяем величину компенсации координаты середины поля производственного допуска замыкающего звена по формуле

$$Ec_k = \pm (Ec_\Delta - Ec'_\Delta). \quad (23)$$

В формуле (23) знак «плюс» ставится в том случае, если компенсатор явля-

ется увеличивающим звеном, а знак «минус» – уменьшающим.

Согласно рисунку 19 компенсирующее звено  $B_6$  является увеличивающим. Поэтому

$$Ec_k = +0,05 - 0,186 = -0,136 \text{ мм.}$$

Определяем предельные отклонения величины необходимой компенсации по формулам

$$ES_k = Ec_k + \frac{T_k}{2}; \quad EI_k = Ec_k - \frac{T_k}{2};$$

$$ES_k = -0,136 + \frac{0,5}{2} = -0,144 \text{ мм}; \quad EI_k = -0,136 - \frac{0,5}{2} = -0,386 \text{ мм.}$$

В связи с тем, что  $EI_k < 0$ , изменяем координату середины поля допуска звена  $B_5$ . Новую координату рассчитываем по формуле

$$Ec''_i = Ec'_i - EI_k \text{ (для увеличивающих звеньев);}$$

$$Ec''_i = Ec'_i + EI_k \text{ (для уменьшающих звеньев);}$$

$$Ec''_5 = 0 - (-0,386) = +0,386 \text{ мм.}$$

Рассчитываем новые предельные отклонения звена  $B_5$  по формулам (7):

$$ESB_5 = 0,386 + \frac{0,14}{2} = 0,456 \text{ мм}; \quad EIB_5 = 0,386 - \frac{0,14}{2} = 0,136 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину одной прокладки по условию  $S \leq TB_{\Delta}$ ,  $S = TB_{\Delta} = 0,1$  мм.

Необходимое количество прокладок рассчитываем по формуле

$$N = \frac{T_k}{S}; \quad N = \frac{0,5}{0,1} = 5.$$

## 5 Расчёт режимов сборки соединений с натягом

**Задача 5.** Для сборки соединения с натягом (рисунок 20) рассчитать предельные натяги, усилие запрессовки и увеличение наружного диаметра втулки.

При сборке соединения с нагревом рассчитать необходимую температуру нагрева. Варианты заданий взять из таблицы 5. Вал и втулка изготовлены из стали. Длина соединения  $L = 30$  мм.

**Пример 5** – Для сборки соединения  $\varnothing 50$  Н8/х8 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.

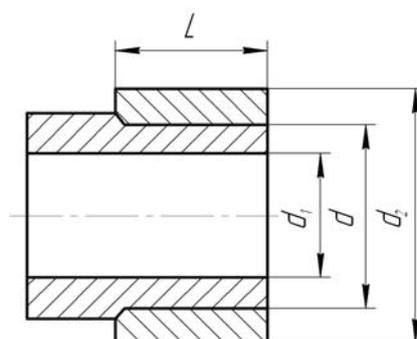


Рисунок 20 – Эскиз соединения с натягом

Таблица 5 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d$ , мм	32	55	82	40	15	25	30	24	48	55
$d_1$ , мм	0	20	40	20	0	0	16	0	20	25
$d_2$ , мм	40	60	90	50	20	31	40	30	60	70
Посадка	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H7}{s6}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H8}{x8}$	$\frac{H7}{t6}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H8}{u7}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H7}{s6}$

Продолжение таблицы 5

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$d$ , мм	42	36	20	60	18	28	34	44	52	60
$d_1$ , мм	24	18	0	30	0	15	18	20	20	34
$d_2$ , мм	50	42	28	70	28	40	40	50	60	70
Посадка	$\frac{H7}{s7}$	$\frac{H8}{u7}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H7}{t6}$	$\frac{H7}{s6}$	$\frac{H7}{u7}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H7}{p6}$

Продолжение таблицы 5

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$d$ , мм	58	14	28	36	48	27	64	70	68	62
$d_1$ , мм	20	0	0	0	15	0	30	40	0	48
$d_2$ , мм	70	20	40	40	54	35	76	88	76	74
Посадка	$\frac{H7}{s7}$	$\frac{H8}{u7}$	$\frac{H7}{t6}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H7}{s7}$	$\frac{H7}{u7}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H7}{p6}$

*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

$$N_{\max} = es - EI; \quad (24)$$

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

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

$$p = \frac{N_{\max} \cdot 10^{-6}}{d \cdot \left( \frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)}, \quad (25)$$

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

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

$E_1, E_2$  – модули упругости материалов соответственно вала и втулки,  $\text{Н/м}^2$ .

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

Необходимое усилие запрессовки рассчитываем по формуле

$$P = f \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot p, \quad (26)$$

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

$d$  – номинальный диаметр соединения, м;

$L$  – длина сопрягаемых поверхностей, м;

$p$  – давление на поверхности контакта,  $\text{Н/м}^2$ .

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

Необходимое усилие прессы

$$Q = k \cdot P = 1,5 \cdot P; \quad (27)$$

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

Принимаем пресс П6320 с номинальным усилием 100 кН.

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

$$\Delta d_2 = \frac{2 \cdot p \cdot d_2 \cdot d^2}{E_2 \cdot (d_2^2 - d^2)}; \quad (28)$$

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

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

$$t = \frac{N_{\max} + S_{cб}}{\alpha \cdot d} + t_{cб}, \quad (29)$$

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

$S_{cб}$  – минимально необходимый зазор при сборке, принимается равным  $S_{\min}$  в посадке Н7/г6 (таблица А.7), мм;

$\alpha$  – коэффициент линейного расширения материала детали (таблица А.8), град<sup>-1</sup>;

$d$  – диаметр соединения, мм;

$t_{cб}$  – температура помещения.

В примере имеем

$$S_{cб} = 0,009 \text{ мм}; \quad \alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}.$$

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

## 6 Расчёт режимов сборки подшипников скольжения

**Задача 6.** Сборка неразъемного подшипника скольжения (рисунок 21) выполняется механической запрессовкой вкладыша в корпус. Рассчитать величину уменьшения диаметра отверстия вкладыша и решить вопрос о необходимости дополнительной обработки отверстия после сборки.

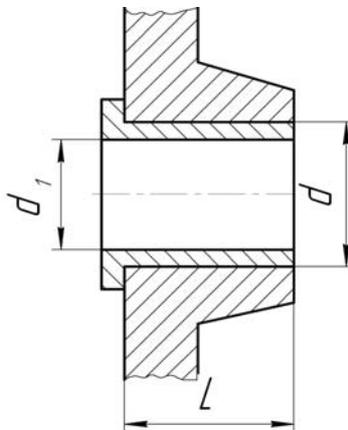


Рисунок 21 – Подшипник скольжения

Дополнительные условия сборки: материал вкладыша – бронза, материал

корпуса – сталь; корпус имеет большие размеры ( $d_2 = \infty$ ); длина соединения  $L = 1,5d$ ; поле допуска отверстия (диаметра  $d_1$ ) – H7.

Варианты заданий взять из таблицы 6.

Таблица 6 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d$ , мм	42	70	24	36	55	60	40	20	64	35
$d_1$ , мм	38	64	19	30	50	54	35	16	58	30
Посадка	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H7}{s7}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H7}{s6}$	$\frac{H8}{u8}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H7}{s6}$	$\frac{H7}{r6}$

Продолжение таблицы 6

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$d$ , мм	48	64	38	56	74	44	28	34	68	58
$d_1$ , мм	40	59	34	50	68	38	24	28	64	54
Посадка	$\frac{H7}{s6}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H8}{u7}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H7}{t6}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H7}{u7}$	$\frac{H7}{p6}$

Продолжение таблицы 6

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$d$ , мм	36	54	27	23	41	62	72	33	47	18
$d_1$ , мм	31	48	23	19	35	54	66	29	42	14
Посадка	$\frac{H7}{s6}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H8}{u7}$	$\frac{H7}{s7}$	$\frac{H7}{u7}$	$\frac{H7}{s6}$	$\frac{H8}{u8}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H8}{s7}$

**Пример 6** – Сборка неразъемного подшипника скольжения выполняется механической запрессовкой. Рассчитать необходимое усилие запрессовки и величину уменьшения диаметра отверстия вкладыша. При сборке подшипника с охлаждением вкладыша рассчитать температуру его охлаждения.

Исходные данные: номинальный диаметр  $d$  и посадка соединения  $\text{Ø}50 \text{ H7/p6}$ ; диаметр отверстия вкладыша  $\text{Ø}40 \text{ H7}$ ; материал вкладыша – бронза, материал корпуса – чугун серый; корпус имеет большие размеры ( $d_2 = \infty$ ); длина соединения  $L = 60$  мм.

*Решение*

Выписываем предельные отклонения вкладыша  $d_1$  ( $\text{Ø}50 \text{ p6}$ ) и отверстия в корпусе ( $\text{Ø}50 \text{ H7}$ ):  $es = +42$  мкм;  $ei = 26$  мкм;  $ES = +25$  мкм;  $EI = 0$  мкм.

Рассчитываем максимальный натяг в соединении по формуле (24):

$$N_{\max} = 42 - 0 = 42 \text{ мкм.}$$

Рассчитываем коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$ , учитывая, что вкладыш изготовлен из бронзы, а корпус из чугуна, т. е.  $E_1 = 0,84 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$ ;  $\mu_1 = 0,35$ ;  $E_2 = 0,9 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$ ,  $\mu_2 = 0,25$ .

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1 ; \quad C_2 = \frac{d_2^2 - d^2}{d_2^2 - d^2} + \mu_2, \quad (30)$$

где  $d_1$  – диаметр отверстия пустотелого вала;

$d_2$  – наружный диаметр втулки;

$\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты Пуассона для охватываемой и охватывающей деталей соответственно.

$$C_1 = \frac{50^2 + 40^2}{50^2 - 40^2} - 0,35 = 4,2.$$

При массивном корпусе ( $d_2 = \infty$ )  $C_2 = 1 + \mu_2 = 1 + 0,25 = 1,25$ .

Рассчитываем давление на поверхности контакта вкладыша и корпуса по формуле (25):

$$p = \frac{42 \cdot 10^{-6}}{50 \cdot 10^{-3} \left( \frac{4,2}{0,84 \cdot 10^{11}} + \frac{1,25}{0,9 \cdot 10^{11}} \right)} = 13 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2.$$

Необходимое усилие запрессовки рассчитываем по формуле (26):

$$P = 0,1 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot 13 \cdot 10^6 = 12246 \text{ Н}.$$

Уменьшение диаметра отверстия во вкладыше рассчитываем по формуле

$$\Delta d_1 = \frac{2p \cdot d_1 \cdot d^2}{E_1 (d^2 - d_1^2)} ; \quad (31)$$

$$\Delta d_1 = \frac{2 \cdot 13 \cdot 10^6 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot (50 \cdot 10^{-2})^2}{0,84 \cdot 10^{11} \left( (50 \cdot 10^{-3})^2 - (40 \cdot 10^{-3})^2 \right)} = 34 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 34 \text{ мкм}.$$

При сборке подшипника с охлаждением вкладыша температуру охлаждения рассчитываем по формуле

$$t = t_{c\bar{o}} - \frac{N_{\max} + S_{c\bar{o}}}{\alpha \cdot d} ; \quad (32)$$

$$t = 20 - \frac{0,042 + 0,009}{17,5 \cdot 10^{-6} \cdot 50} = -38 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

## 7 Расчёт режимов сборки узлов с подшипниками качения

**Задача 7.** Рассчитать необходимое условие при запрессовке подшипника на вал и величину уменьшения натяга при запрессовке подшипника с нагревом. Класс точности подшипника – 0.

Варианты заданий взять из таблицы 7. Размеры подшипников и предельные отклонения их внутренних колец приведены в таблицах А.9 и А.10.

Таблица 7 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер подшипника	220	304	410	219	305	409	218	306	408	217
Поле допуска вала	к6	м6								

Продолжение таблицы 7

Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер подшипника	307	404	216	308	405	215	309	406	214	310
Поле допуска вала	к6	м6								

Продолжение таблицы 7

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номер подшипника	407	213	311	210	312	211	313	212	314	316
Поле допуска вала	к6	м6								

**Пример 7** – Рассчитать необходимое усилие при запрессовке подшипника на вал и величину уменьшения натяга при запрессовке подшипника с нагревом.

Исходные данные: радиальный шарикоподшипник № 314; класс точности подшипника – 6; поле допуска вала – н6.

*Решение*

Из таблицы А.9 выписываем размеры подшипника № 314:  $D = 150$  мм;  $d = 70$  мм;  $B = 35$  мм.

Из ГОСТ 25347–82 выписываем предельные отклонения вала  $\varnothing 70$  н6:  $es = +0,039$  мм;  $ei = +0,020$  мм.

Из таблицы А.10 выписываем предельные отклонения внутреннего кольца подшипника:  $ES = 0$  мм;  $EI = -0,012$  мм.

Рассчитываем максимальный натяг в соединении подшипника и вала по формуле (23):

$$N_{\max} = 0,039 - (-0,012) = 0,051 \text{ мм.}$$

Рассчитываем фактический натяг в соединении по формуле

$$N_{\phi} = 0,8 N_{\max};$$

$$N_{\phi} = 0,8 \cdot 0,051 = 0,04 \text{ мм.}$$

Рассчитываем условный диаметр внутреннего кольца подшипника по формуле

$$d_0 = d + 0,25(D - d), \quad (33)$$

где  $D, d$  – наружный и внутренний диаметры подшипника.

$$d_0 = 70 + 0,25(150 - 70) = 90 \text{ мм.}$$

Рассчитываем необходимое усилие запрессовки по формуле

$$P = 0,5 \cdot 10^{-6} N_{\phi} \cdot f \cdot \pi \cdot B \cdot E \left(1 - \frac{d}{d_0}\right)^2, \quad (34)$$

где  $N_{\phi}$  – фактический натяг в соединении, мм;

$f$  – коэффициент трения,  $f = 0,1 \dots 0,15$ ;

$B$  – ширина подшипника, мм;

$E$  – модуль упругости материала подшипника,  $E = 2,12 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$ .

$$P = 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,04 \cdot 0,1 \cdot 3,14 \cdot 35 \cdot 2,12 \cdot 10^{11} \left(1 - \frac{70}{90}\right)^2 = 2300 \text{ Н.}$$

При сборке соединения с нагревом подшипника величину уменьшения натяга рассчитываем по формуле

$$\Delta N = \Delta t \cdot \alpha \cdot d, \quad (35)$$

где  $\Delta t$  – разность температур подшипника и вала;

$\alpha$  – коэффициент линейного расширения,  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ .

Допускаемая температура нагрева подшипника составляет  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Принимая, что температура вала равна температуре окружающей среды  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ , их разность составит

$$\Delta t = 100 - 20 = 80 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Уменьшение натяга в соединении может составить

$$\Delta N = 80 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 70 = 0,067 \text{ мм.}$$

Таким образом, уменьшение натяга превышает его максимальную величину, т. е.  $0,067 > 0,051$ . Это значит, что нагретый подшипник может быть установлен с зазором.

## 8 Составление схемы и техпроцесса сборки

**Задача 8.** Составить схему и маршрутный техпроцесс сборки сборочной единицы. Варианты заданий взять из таблицы 1. Техпроцесс оформить в виде таблицы 8. При записи операций и переходов использовать ключевые слова из ГОСТ 3.1703–79.

Таблица 8 – Техпроцесс сборки вала выходного

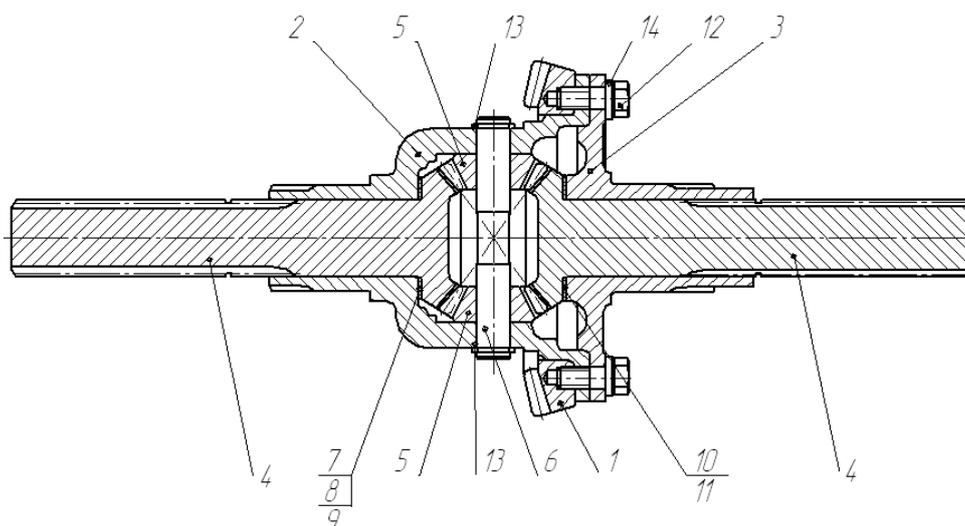
Наименование и содержание операции	Примечание
05 Сборка	
1 Закрепить вал (поз. 1) в тисках	
2 Запрессовать шпонку (поз. 2)	
3 Переустановить вал (поз. 1)	
4 Установить на вал втулку (поз. 3)	
5 Запрессовать на вал (поз. 1) шестерню (поз. 4)	

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 8** – Для дифференциала в сборе (рисунок 22) составить схему сборки и маршрутный техпроцесс сборки.

Базовой деталью дифференциала (см. рисунок 22) является колесо зубчатое (поз. 1), с него начинается построение схемы сборки. Схема сборки дифференциала представлена на рисунке 23.

После составления схемы сборки разрабатывается технологический процесс сборки. В таблице 9 представлен полный техпроцесс сборки дифференциала в заводских условиях. Примеры оформления операционных эскизов сборки приведены на рисунке Б.1.



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 22 – Дифференциал в сборе

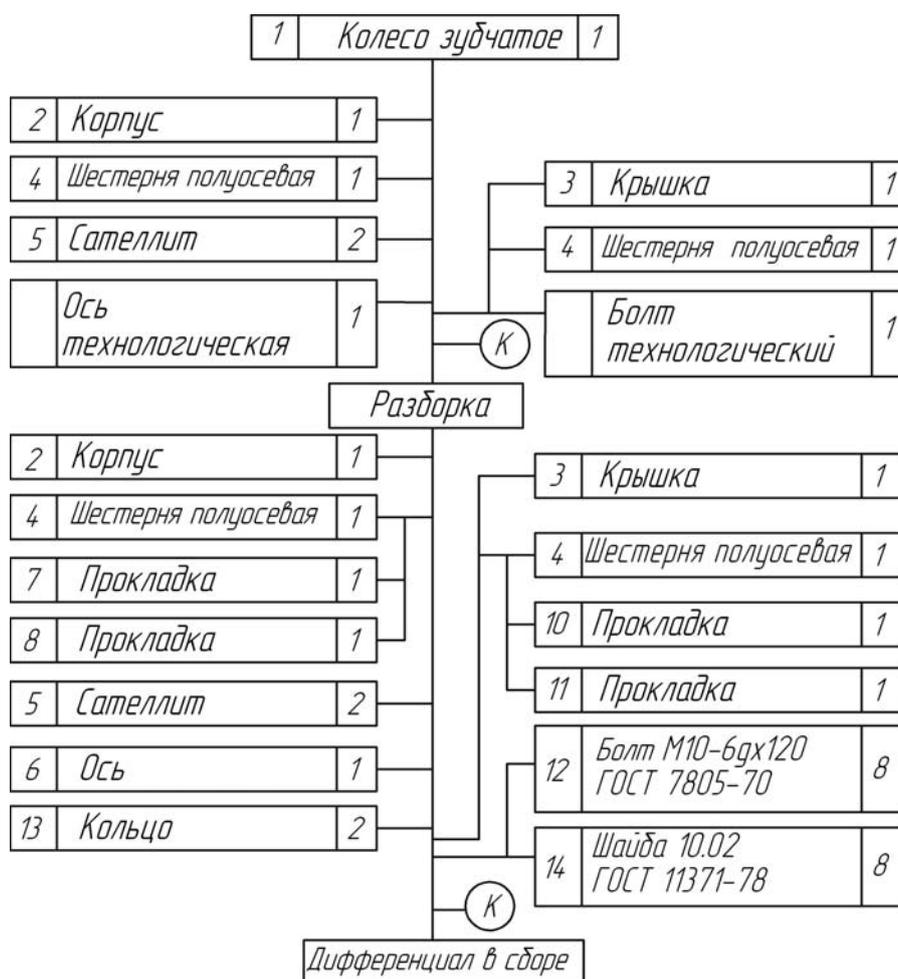


Рисунок 23 – Схема сборки дифференциала

Таблица 9 – 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	–
	3 Перед сборкой смазать тонким слоем смазки трущиеся поверхности деталей 3–8	Ванночка; кисть
15	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

Окончание таблицы 9

1	2	3
15	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 Проверить комплектность поставки дифференциала со спаренной шестерней по наличию одного порядкового номера – 100 %	–
7 Клеймить сборочную единицу – 100 %	Клеймо ОТК	

### Список литературы

- 1 Проектирование технологических процессов сборки машин / А. А. Жолобов [и др.] ; под общ. ред. А. А. Жолобова. – Минск : Новое знание, 2005. – 410 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.
- 4 Технология изготовления типовых деталей машин : учебное пособие / И. В. Шрубченко [и др.]. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 358 с.
- 5 **Иванов, И. С.** Технология машиностроения: производство типовых деталей машин : учебное пособие / И. С. Иванов. – Москва : ИНФРА-М, 2022. – 224 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  $\mu$ 

Материал	$E, \text{Н/м}^2$	$\mu$
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	$(0,005...0,35) \cdot 10^{11}$	0,42

Таблица А.7 – Минимально необходимые зазоры  $S_{сб}$  (минимальные зазоры посадки Н7/г6)

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  $\alpha$  металлов и сплавов

Материал	$\alpha, \text{град}^{-1}$	Материал	$\alpha, \text{град}^{-1}$
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	$27,7 \cdot 10^{-6}$

Таблица А.9 – Основные размеры радиальных шарикоподшипников

Обозначение подшипника	Размер, мм				Обозначение подшипника	Размер, мм			
	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>r</i>	<i>B</i>		<i>D</i>	<i>d</i>	<i>r</i>	<i>B</i>
Лёгкая серия					310	110	55	3	27
210	90	50	2	20	311	120	55	3	29
211	100	55	2,5	21	312	130	60	3,5	31
212	110	60	2,5	22	313	140	65	3,5	33
213	120	65	2,5	23	314	150	70	3,5	35
214	125	70	2,5	24	315	160	75	3,5	37
215	130	75	2,5	25	316	170	80	3,5	39
216	140	80	3	26	317	180	85	4	41
217	150	85	3	28	318	190	90	4	43
218	160	90	3	30	319	200	95	4	45
219	170	95	3,5	32	320	215	100	4	47
220	180	100	3,5	34	Тяжёлая серия				
Средняя серия					404	72	20	2	19
304	52	20	2	15	405	80	25	2,5	21
305	62	25	2	17	406	90	30	2,5	23
306	72	30	2	19	407	100	35	2,5	25
307	80	35	2,5	21	408	110	40	3	27
308	90	40	2,5	23	409	120	45	3	29
309	100	45	2,5	25	410	130	50	3,5	31

Таблица А.10 – Предельные отклонения внутренних колец подшипников по ГОСТ 520–89

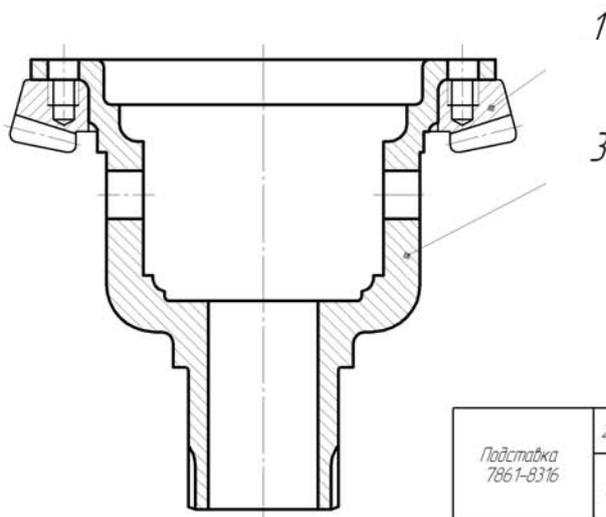
Интервал диаметров <i>d</i> , мм	Класс точности подшипника				Интервал диаметров <i>d</i> , мм	Класс точности подшипника			
	0	6	5	4		0	6	5	4
	Нижнее предельное отклонение, мкм					Нижнее предельное отклонение, мкм			
Св. 2,5 до 10	-8	-7	-5	-4	Св. 50 до 80	-15	-12	-9	-7
Св. 10 до 18	-8	-7	-5	-4	Св. 80 до 120	-20	-15	-10	-8
Св. 18 до 30	-10	-8	-6	-5	Св. 120 до 180	-25	-18	-13	-10
Св. 30 до 50	-12	-10	-8	-6					
<i>Примечание</i> – Верхние предельные отклонения ES равны нулю									

Таблица А.11 – Предельные отклонения и поля допусков для размеров от 10 до 120 мм (ГОСТ 25347-82)

Интервал размеров, мм	Поле допуска												
	u8	x8	s7	u7	k6	m6	n6	p6	r6	s6	t6	H7	H8
	Предельное отклонение, мкм												
Св. 10 до 14	+60	+67 +40	+46	+51	+12	+18	+23	+29	+34	+39	—	+18	+27
Св. 14 до 18	+33	+72 +45	+28	+33	+1	+7	+12	+18	+23	+28	—	0	0
Св. 18 до 24	+74 +41	+87 +54	+56	+62 +41	+15	+21	+28	+35	+41	+48	—	+21	+33
Св. 24 до 30	+81 +48	+97 +64	+35	+69 +48	+2	+8	+15	+22	+28	+35	+54 +41	0	0
Св. 30 до 40	+99 +60	+119 +80	+68	+85 +60	+18	+25	+33	+42	+50	+59	+64 +48	+25	+39
Св. 40 до 50	+109 +70	+136 +97	+43	+95 +70	+2	+9	+17	+26	+34	+43	+70 +54	0	0
Св. 50 до 65	+133 +87	+168 +122	+83 +53	+117 +87	+21	+30	+39	+51	+60 +41	+72 +53	+85 +66	+30	+46
Св. 65 до 80	+148 +102	+192 +146	+89 +59	+132 +102	+2	+11	+20	+32	+62 +43	+78 +59	+94 +75	0	0
Св. 80 до 100	+178 +124	+232 +178	+106 +71	+159	+25	+35	+45	+59	+73 +51	+93 +71	+113 +91	+35	+54
Св. 100 до 120	+198 +144	+264 +210	+114 +79	+124	+3	+13	+23	+37	+76 +54	+101 +79	+126 +104	0	0

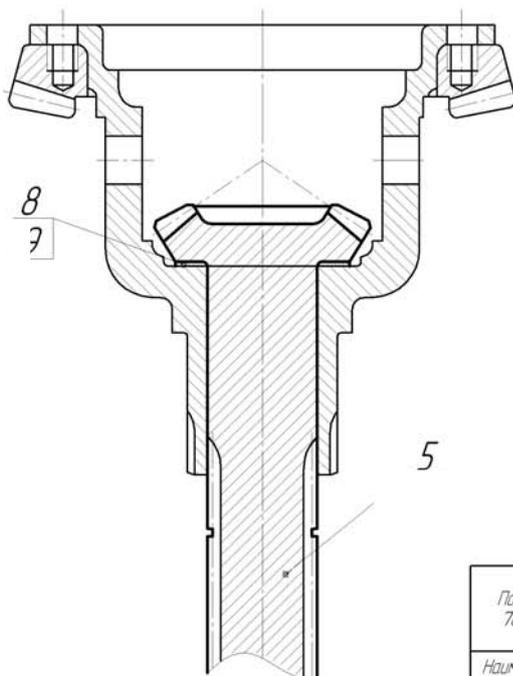
## Приложение Б (рекомендуемое)

*Операция 05 – Сборка дифференциала*  
*Переходы 1; 2*



Подставка 7861-8316	2	Вставить корпус дифференциала 3 в отверстие колеса зубчатого 1
	1	Установить колеса зубчатые 1 на подставку зубчатой поверхностью, исключив проращивание относительно оси
Наименование и модель оборудования, инструмента	№ перехода	Содержание перехода

*Операция 05 – Сборка дифференциала*  
*Переходы 3; 4*



Подставка 7861-8316	4	Вставить в корпус дифференциала шестерню плунжосецию 5 с прокладками 8, 9
	3	Одеть комплект регулировочных прокладок 8, 9 на вал-шестерню 5
Наименование и модель оборудования, инструмента	№ перехода	Содержание перехода

Рисунок Б.1 – Эскизы операционные сборочных операций