

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»

## **НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ПРИБОРОВ**

Методические указания по выполнению курсовой работы  
по дисциплинам «Нормирование точности и технические измерения»,  
«Нормирование точности изделий», «Стандартизация норм точности»  
для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения»,  
1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий»,  
1-55 01 03 «Компьютерная мехатроника»,  
1-54 01 01-04 «Метрология, стандартизация и сертификация  
(легкая промышленность)» высших учебных заведений

В двух частях  
Часть 1

Витебск  
2019

УДК 621.753

Составители:

А. Н. Голубев, В. В. Пятов

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 8 от 30.10.2019.

**Нормирование точности деталей машин и приборов:** методические указания по выполнению курсовой работы. В двух частях. Часть 1 / сост. А. Н. Голубев, В. В. Пятов. – Витебск : УО «ВГТУ», 2019. – 82 с.

В первой части методических указаний приводятся индивидуальные задания, рассматриваются порядок и примеры выполнения всех разделов курсовой работы по дисциплинам «Нормирование точности и технические измерения», «Нормирование точности изделий», «Стандартизация норм точности», излагаются требования к оформлению работы. Методические указания предназначены для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий», 1-55 01 03 «Компьютерная мехатроника», 1-54 01 01-04 «Метрология, стандартизация и сертификация (легкая промышленность)» высших учебных заведений дневной, заочной и заочно-сокращенной формы обучения.

УДК 621.753

УО «ВГТУ», 2019

# СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                        | 5  |
| 1 СИСТЕМА ДОПУСКОВ НА ЛИНЕЙНЫЕ РАЗМЕРЫ .....                          | 6  |
| 1.1 Основные термины и определения .....                              | 6  |
| 1.2 Пример выполнения задания .....                                   | 13 |
| 1.2.1 Исходные данные .....                                           | 13 |
| 1.2.2 Содержание задания .....                                        | 13 |
| 1.2.3 Последовательность выполнения задания .....                     | 14 |
| 2 РАСЧЕТ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ГЛАДКИХ КАЛИБРОВ .....               | 17 |
| 2.1 Основные термины и определения .....                              | 17 |
| 2.2 Пример выполнения задания .....                                   | 22 |
| 2.2.1 Исходные данные .....                                           | 22 |
| 2.2.2 Содержание задания .....                                        | 22 |
| 2.2.3 Последовательность выполнения задания .....                     | 22 |
| 3 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ .....         | 25 |
| 3.1 Основные термины и определения .....                              | 25 |
| 3.1.1 Соединения призматическими шпонками .....                       | 25 |
| 3.1.2 Прямобоочные шлицевые соединения .....                          | 29 |
| 3.2 Примеры выполнения заданий .....                                  | 33 |
| 3.2.1 Шпоночные соединения .....                                      | 33 |
| 3.2.2 Шлицевые соединения .....                                       | 37 |
| 4 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ МЕТРИЧЕСКОЙ РЕЗЬБЫ .....                      | 38 |
| 4.1 Основные термины и определения .....                              | 38 |
| 4.2 Пример выполнения задания .....                                   | 48 |
| 4.2.1 Исходные данные .....                                           | 48 |
| 4.2.2 Содержание задания .....                                        | 49 |
| 4.2.3 Ход выполнения задания .....                                    | 49 |
| 5 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ПЕРЕДАЧ ..... | 52 |
| 5.1 Основные понятия и определения .....                              | 52 |
| 5.2 Пример выполнения задания .....                                   | 56 |
| 5.2.1 Исходные данные .....                                           | 56 |
| 5.2.2 Содержание задания .....                                        | 56 |
| 5.2.3 Ход выполнения задания .....                                    | 56 |
| 6 РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ .....                                        | 58 |
| 6.1 Основные понятия и определения .....                              | 58 |
| 6.2 Пример выполнения задания .....                                   | 62 |

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.2.1 Исходные данные .....                                                      | 62 |
| 6.2.2 Содержание задания .....                                                   | 63 |
| 6.2.3 Ход выполнения задания.....                                                | 63 |
| 7 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....                                  | 68 |
| 8 ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ.....                                                    | 70 |
| Задание 1. Система допусков на линейные размеры.....                             | 70 |
| Задание 2. Расчет исполнительных размеров калибров.....                          | 71 |
| Задание 3, часть 1. Нормирование точности шпоночных соединений .                 | 72 |
| Задание 3, часть 2. Нормирование точности шлицевых соединений ....               | 73 |
| Задание 4. Нормирование точности метрической резьбы.....                         | 74 |
| Задание 5. Нормирование точности цилиндрических зубчатых колес и<br>передат..... | 77 |
| Задание 6. Расчет размерных цепей .....                                          | 78 |
| РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА .....                                                   | 79 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А.....                                                                | 81 |

## ВВЕДЕНИЕ

Знание основ нормирования точности является обязательным требованием для специалистов, работающих в любой области машиностроения и приборостроения.

Выполнение курсовой работы по дисциплинам «Нормирование точности и технические измерения», «Нормирование точности изделий», «Стандартизация норм точности» способствует развитию у студентов практических навыков самостоятельной работы с нормативно-технической документацией, стандартами, справочной и технической литературой.

Курсовая работа состоит из ряда независимых друг от друга заданий, имеющих отдельный набор исходных данных. Каждое задание посвящено вопросам нормирования точности определенного вида соединений, из числа тех, что находят наиболее широкое применение в современном машиностроении и приборостроении. Индивидуальные задания к каждому из заданий приведены в разделе 8.

В настоящих методических указаниях подробно рассмотрены примеры выполнения всех заданий курсовой работы с необходимыми пояснениями.

Перед каждым из примеров приведены краткие сведения по основным терминам и определениям. Данный материал приведен лишь для того, чтобы освежить в памяти необходимые сведения непосредственно перед выполнением задания. Чтение этого материала не может заменить собой глубокую проработку соответствующих разделов курса лекций и учебных пособий (см. раздел «Рекомендуемая литература»).

Выполнение курсовой работы невозможно без использования справочной литературы. В тексте методических указаний даются подробные ссылки на соответствующие таблицы из нормативных документов. Требуемые табличные данные можно найти непосредственно в стандартах [1–14], а также в справочниках [15–16] и методических указаниях [19].

# 1 СИСТЕМА ДОПУСКОВ НА ЛИНЕЙНЫЕ РАЗМЕРЫ

## 1.1 Основные термины и определения

Основные положения системы допусков ИСО на линейные размеры изложены в ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010) [13] и ГОСТ 25347-2013 (ISO 286-2:2010) [14].

1. *Вал* – наружный размерный элемент детали, включая элементы, не являющиеся цилиндрическими, т. е. ограниченные плоскими поверхностями. Аналогично *отверстием* называют внутренний размерный элемент детали, включая элементы, не являющиеся цилиндрическими, т. е. ограниченные плоскими поверхностями. Эти термины введены для удобства нормирования требований к точности размеров поверхностей без учета формы конкретных деталей (рис. 1.1).

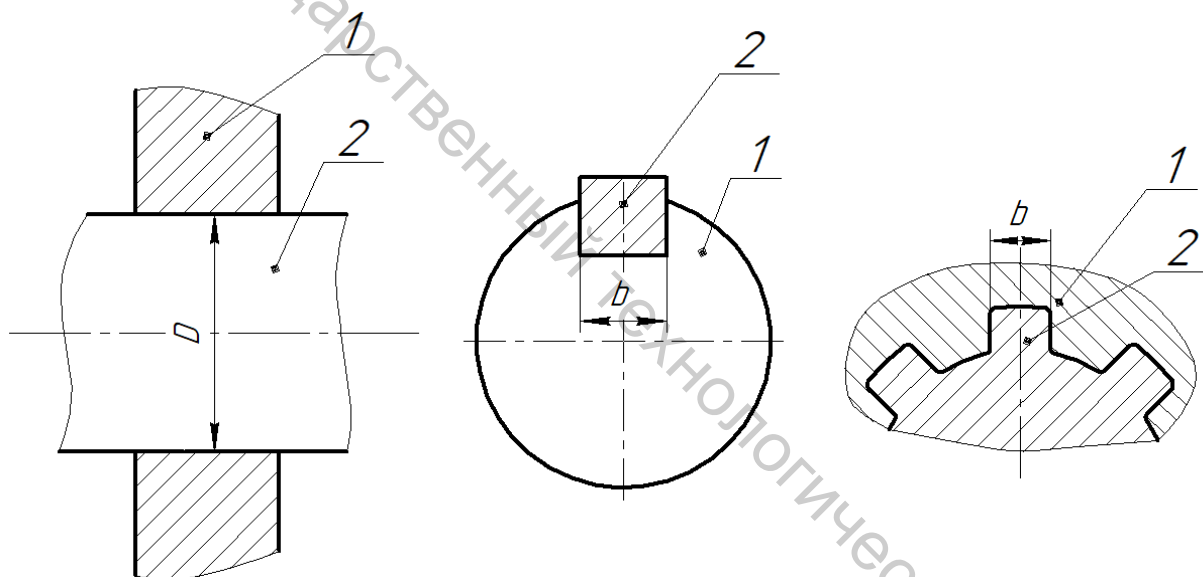


Рисунок 1.1 – Термины «вал» и «отверстие» применительно к различным соединениям: 1 – отверстие, 2 – вал

Соединение отверстия и вала, участвующих в сборке, образует *посадку*.

2. *Действительным* размером называют размер элемента, установленный измерением с допускаемой погрешностью.

3. *Номинальный размер* – это размер геометрического элемента идеальной формы, определенной чертежом. Номинальный размер используется для расчета предельных размеров, он служит началом отсчета отклонений. Этот размер указывается в чертежах. У вала и отверстия, образующих посадку, **номинальные размеры равны**. Номинальные размеры берут из рядов предпочтительных чисел. В расчетах посадки номинальный размер принято обозна-

чать следующим образом<sup>1</sup>: для отверстия  $D$ , для вала  $d$ .

Для построения рядов стандартных допусков все номинальные размеры (до 3150 мм включительно) разбиты на основные и дополнительные *интервалы*. Например, для размеров до 500 мм выделяют следующие основные интервалы: до 3 мм; св. 3 до 6 мм; св. 6 до 10 мм; св. 10 до 18 мм; св. 18 до 30 мм; св. 30 до 50 мм; св. 50 до 80 мм; св. 80 до 120 мм; св. 120 до 180 мм; св. 180 до 250 мм; св. 250 до 315 мм; св. 315 до 400 мм; св. 400 до 500 мм. Значения границ интервалов приведены в таблицах допусков [15, с. 43–44; 19, с. 5–6].

При определении допусков и предельных отклонений требуется уметь правильно определять, к какому из интервалов принадлежит значение номинального размера. В случае, когда номинальный размер попадает на границу интервала, применяют правило: **последнее число интервала относится к данному интервалу, а первое – к предыдущему**. Например, номинальный размер 30 мм принадлежит интервалу 18...30 (а не следующему за ним интервалу 30...50).

4. *Предельными размерами* называют два предельно допустимых размера элемента, между которыми должен находиться (или может быть равным одному из них) действительный размер. Эти размеры называют *верхним предельным размером* ( $D_{\max}$ ,  $d_{\max}$ ) и *нижним предельным размером* ( $D_{\min}$ ,  $d_{\min}$ ).

5. *Предельными отклонениями* называют алгебраическую разность между соответствующим предельным размером и номинальным размером. При этом различают *верхнее предельное отклонение* ( $ES$ ,  $es$ ) и *нижнее предельное отклонение* ( $EI$ ,  $ei$ )

$$\begin{aligned} ES &= D_{\max} - D; & EI &= D_{\min} - D; \\ es &= d_{\max} - d; & ei &= d_{\min} - d. \end{aligned} \quad (1.1)$$

Предельные отклонения могут быть положительными или отрицательными. Если оба отклонения положительные, то верхний и нижний предельные размеры больше номинального размера. Если оба отклонения отрицательные, то оба предельных размера меньше номинального. Возможны также варианты, когда знаки предельных отклонений различны (верхнее положительно, нижнее отрицательно), или когда одно из предельных отклонений (верхнее или нижнее) равно нулю.

6. *Допуском* размера называют разность между верхним и нижним предельными размерами

$$\begin{aligned} TD &= D_{\max} - D_{\min}; \\ Td &= d_{\max} - d_{\min}. \end{aligned} \quad (1.2)$$

Допуск также может быть определен как разность между верхним и нижним предельными отклонениями.

<sup>1</sup> В обозначениях размеров и отклонений принято следующее правило: большими буквами обозначают размеры и отклонения отверстий, малыми – валов.

Допуск – это всегда положительное число. Чем меньше допуск, тем точнее должен быть изготовлен нормируемый элемент детали и тем сложнее (и потому дороже) его изготовление.

Все указанные выше основные термины для наглядности принято представлять графически (рис. 1.2).

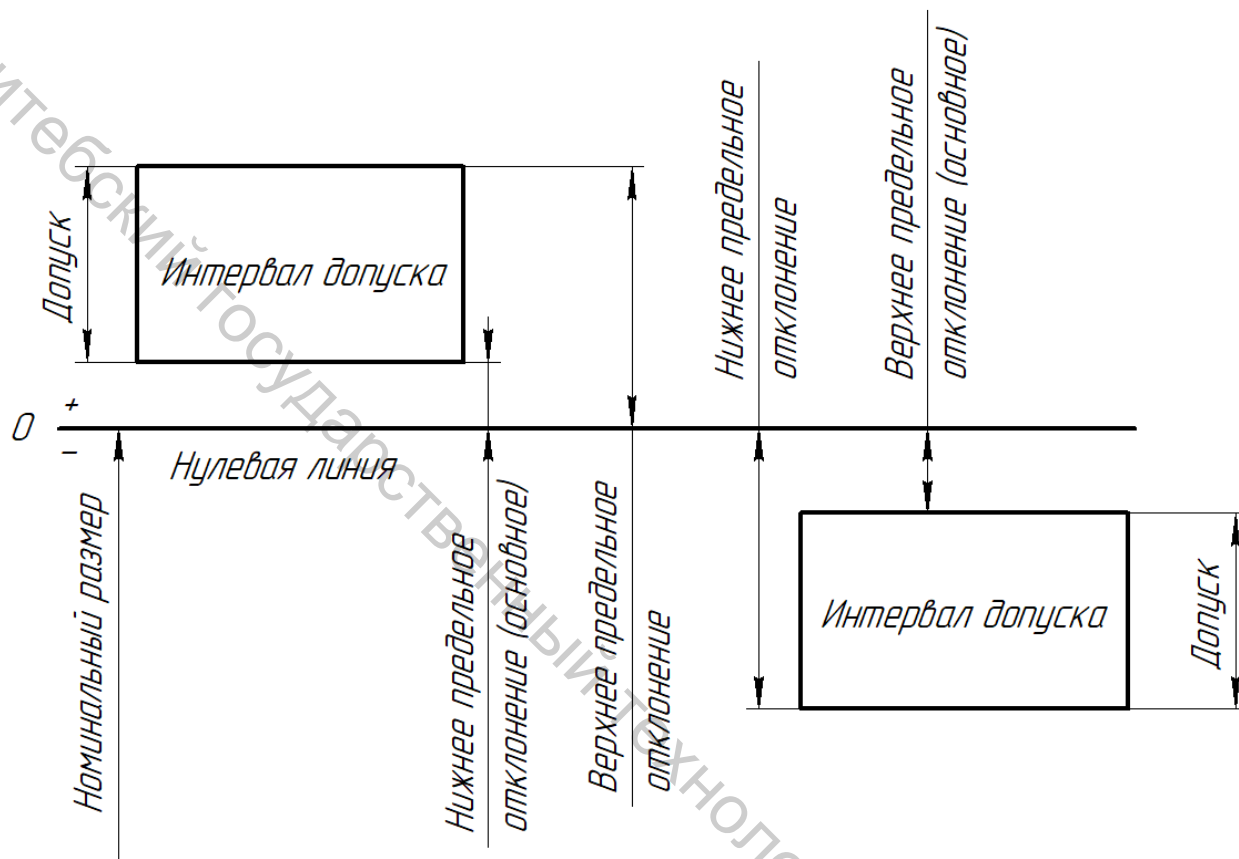


Рисунок 1.2 – Графическое изображение интервалов допусков

7. *Нулевая линия* – это линия на схеме расположения интервалов допусков, соответствующая номинальному размеру. Нулевую линию обычно располагают горизонтально, при этом положительные отклонения откладываются от нее вверх, а отрицательные – вниз (на это указывает надпись «0±», которую ставят рядом с линией).

8. *Интервалом допуска* называют совокупность значений размера между пределами допуска, включая эти пределы. На схеме графического изображения размеров и отклонений интервалом допуска является область, заключенная между линиями, соответствующими верхнему и нижнему предельным отклонениям. При горизонтальном расположении нулевой линии, как на рисунке 1.2, вертикальный размер прямоугольника, изображающего интервал допуска, определяется величиной допуска. Величина горизонтального размера прямоугольника не имеет значения и может быть выбрана произвольно. В случае, если оба предельных отклонения положительны, интервал допуска лежит выше

нулевой линии, если оба отрицательны – ниже нулевой линии, если отклонения имеют разный знак, то нулевая линия пересекает интервал допуска.

9. *Основным отклонением* называют предельное отклонение, определяющее расположение интервала допуска относительно номинального размера. Основным является одно из двух предельных отклонений, которое соответствует предельному размеру, ближайшему к номинальному. Например, для интервала допуска, изображенного на рисунке 1.2 слева, основным отклонением является нижнее предельное отклонение. Когда интервал допуска располагается ниже нулевой линии (как на рисунке 1.2 справа), основным отклонением является верхнее предельное отклонение.

Стандартом предусмотрено 27 вариантов основных отклонений валов и отверстий (рис. 1.3). Основные отклонения отверстий обозначаются прописными (большими) буквами, валов – строчными (малыми):

– основные отклонения отверстий:  $A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, H, JS (J), K, M, N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC$ ;

– основные отклонения валов:  $a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h, js (j), k, m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc$ .

Каждая буква обозначает ряд основных отклонений, значение которых зависит от номинального размера<sup>1</sup>. Их числовые значения можно найти в соответствующих таблицах. Например, для отверстия с номинальным размером 35 мм и буквенным обозначением  $C$  находим нижнее предельное отклонение  $EI = +120$  мкм [15, с. 51; 19, с. 21].

Наоборот, зная величину основного отклонения и номинальный размер, можно подобрать буквенное обозначение основного отклонения. Например, если  $es = -16$  мкм, а номинальный диаметр 15 мм, то по таблице основных отклонений валов [15, с. 48; 19, с. 8] находим буквенное обозначение вала  $f$ .

10. *Основным отверстием* называют отверстие, у которого нижнее предельное отклонение равно нулю:  $EI = 0$ .

Аналогично *основным валом* называют вал, у которого верхнее предельное отклонение равно нулю:  $es = 0$ .

Основное отверстие и основной вал обозначают буквами  $H$  и  $h$  соответственно (рис. 1.3). Основные отклонения основных валов и отверстий являются нулевыми всегда, вне зависимости от значения номинального размера.

11. *Квалитетом* называют группу допусков на линейные размеры, характеризующуюся общим обозначением. Квалитеты являются критериями относительной точности. Всего установлено 20 квалитетов: 01, 0, 1...18. Квалитеты обозначаются следующим образом: IT01, IT0, IT1 и т. д. Чем больше номер квалитета, тем большим будет величина допуска для одного и того же номинального размера, следовательно, тем ниже точность размера.

Например, размер, выполненный по 8-му квалитету, будет более точным, чем тот же размер, выполненный по 9-му квалитету, но грубее размера, изготовленного по 7-му квалитету.

<sup>1</sup> Значения основных отклонений отверстий  $J, K, M, N$  и вала  $k$  зависят также и от квалитета.

12. *Стандартным допуском* называют допуск, установленный системой допусков ИСО на линейные размеры. Значение стандартного допуска для определенного качества является постоянным для всех номинальных размеров, принадлежащих одному интервалу. Значения стандартных допусков сведены в специальной таблице допусков [15, с. 43–44; 19, с. 5–6]. Например, для качества IT8 в интервале номинальных размеров от 10 до 18 мм стандартный допуск равен 27 мкм.

Значение стандартного допуска  $T$  для любого качества и любого интервала вычисляют по формуле

$$T = a \cdot i, \quad (1.3)$$

где  $i$  – единица допуска,  $a$  – число единиц допуска.

13. *Единица допуска* – это величина, характеризующая сложность изготовления детали в зависимости от ее номинального размера. Для размеров до 500 мм ее вычисляют по формуле

$$i = 0,45\sqrt[3]{D_u} + 0,001 \cdot D_u \text{ (мкм)}, \quad (1.4)$$

где  $D_u = \sqrt{D_{u \min} \cdot D_{u \max}}$  – среднее геометрическое крайних размеров интервала, взятых в мм.

14. *Число единиц допуска* – это величина (обозначается  $a$ ), характеризующая сложность изготовления детали в зависимости от качества. Каждому качеству ставится в соответствие определенное число единиц допуска (тем больше, чем грубее качество). Например, качеству IT5 соответствует 7 единиц допуска, качеству IT8 – 25 единиц допуска и т. д. Соответствия качеств и чисел единиц допуска приводятся в таблицах допусков [19, с. 5–6].

Зная число единиц допуска и значение единицы допуска, можно по формуле (1.3) найти стандартный допуск. Например, для качества IT8 в интервале размеров от 10 до 18 мм находим

$$a = 25; \quad D_u = \sqrt{10 \cdot 18} \approx 13,4 \text{ мм}; \quad i = 0,45\sqrt[3]{13,4} + 0,001 \cdot 13,4 \approx 1,08 \text{ мкм};$$

$$T = a \cdot i = 25 \cdot 1,08 = 27 \text{ мкм}.$$

На практике подобные расчеты не выполняют, пользуясь уже готовыми, рассчитанными и округленными значениями стандартных допусков из таблиц.

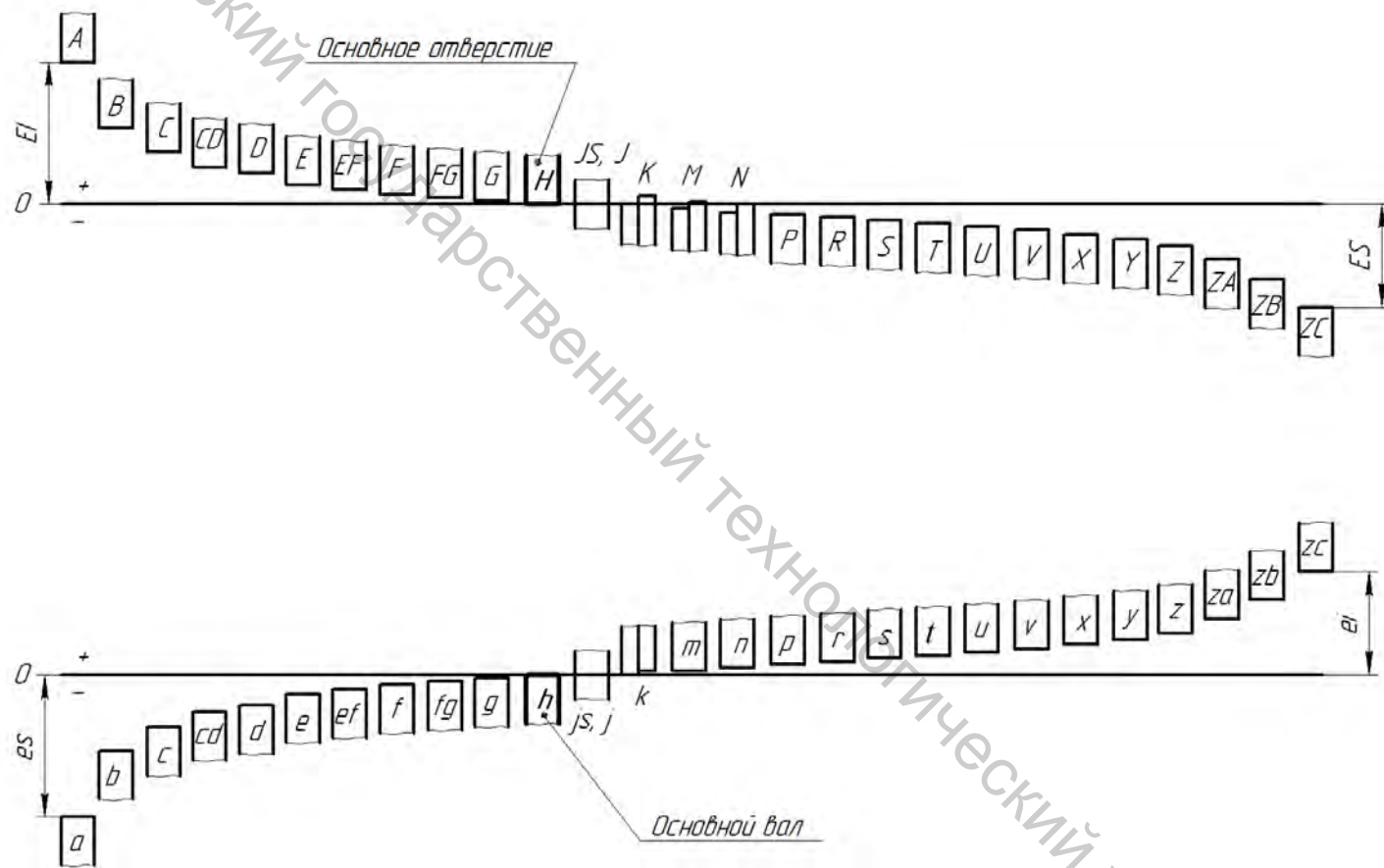


Рисунок 1.3 – Схема расположения и обозначения основных отклонений отверстий и валов

15. *Классом допуска* называют сочетание основного отклонения и качества. Перед классом допуска записывается значение номинального размера, например:

– отверстия: 20D8; 15E7 и т. д.;

– валы: 30p9; 10h8 и т. д.

Всего существует по 540 стандартных классов допусков соответственно для отверстия и вала (27 основных отклонений умножить на 20 квалитетов). Из этого количества отобраны *предпочтительные классы допусков* (по 17 классов допусков валов и отверстий), которые используются для образования посадок в 90...95 % случаев.

16. *Посадкой* называют характер соединения отверстия и вала, определяемый разностью их размеров до сборки. В посадке **номинальные размеры отверстия и вала равны**. По характеру соединения различают посадки с зазором, посадки с натягом и переходные посадки.

В *посадках с зазором* в соединении отверстия и вала всегда образуется зазор. Посадка с зазором характеризуется значениями наибольшего  $S_{\max}$  и наименьшего  $S_{\min}$  зазоров

$$\begin{aligned} S_{\max} &= D_{\max} - d_{\min} = ES - ei, \\ S_{\min} &= D_{\min} - d_{\max} = EI - es. \end{aligned} \quad (1.5)$$

В *посадках с натягом* в соединении отверстия и вала всегда образуется натяг. Посадка с натягом характеризуется значениями наибольшего  $N_{\max}$  и наименьшего  $N_{\min}$  натягов

$$\begin{aligned} N_{\max} &= d_{\max} - D_{\min} = es - EI, \\ N_{\min} &= d_{\min} - D_{\max} = ei - ES. \end{aligned} \quad (1.6)$$

В *переходных посадках* в соединении возможно образование зазора или натяга в зависимости от действительных размеров отверстия и вала, образующих соединение. Переходная посадка характеризуется одновременно значениями наибольшего натяга и наибольшего зазора.

17. *Диапазоном посадки* называют арифметическую сумму допусков отверстия и вала, образующих соединение. Диапазон посадки с зазором также может быть определен как разность между наибольшим и наименьшим зазорами, диапазон посадки с натягом – как разность между наибольшим и наименьшим натягами, диапазон переходной посадки – как сумма наибольшего натяга и наибольшего зазора. Диапазон посадки характеризует ее точность (чем он больше, тем точность ниже).

18. В зависимости от выбора базовой детали (отверстие или вал), имеющей постоянное расположение интервала допуска, различают посадки в системе отверстия, посадки в системе вала и внесистемные посадки.

*Посадки в системе отверстия* – посадки, в которых требуемый зазор или натяг получают сочетанием различных классов допусков валов с классом допуска основного отверстия ( $H$ ).

*Посадки в системе вала* – посадки, в которых требуемый зазор или натяг получают сочетанием различных классов допусков отверстий с классом допуска основного вала ( $h$ ).

*Внесистемными* являются посадки, в которых требуемый зазор или натяг получают сочетанием различных классов допусков отверстий с различными классами допусков валов, при этом в образовании посадки не используются классы допусков с основным отверстием  $H$  и основным валом  $h$ .

19. *Обозначение посадки* на сборочном чертеже оформляется в виде дроби, в числителе которой указывают класс допуска отверстия, в знаменателе – класс допуска вала, а перед дробью – значение номинального размера, например:

$$\varnothing 50 \frac{H7}{p6}, \varnothing 30 \frac{H9}{f8}.$$

## 1.2 Пример выполнения задания

### 1.2.1 Исходные данные

Номинальный диаметр соединения  $D = d = 50$  мм.

Предельные отклонения отверстия  $ES = +25$  мкм;  $EI = 0$ .

Предельные отклонения вала  $es = +42$  мкм;  $ei = +26$  мкм.

### 1.2.2 Содержание задания

1. Рассчитать предельные размеры и допуски отверстия и вала.
2. Определить квалитеты отверстия и вала.
3. Подобрать буквенные обозначения основных отклонений и записать обозначение посадки.
4. Рассчитать предельные зазоры и (или) натяги в посадке и диапазон посадки, определить характер соединения в посадке (посадка с зазором, с натягом, переходная).
5. Изобразить схему расположения интервалов допусков, указать на ней размеры, допуски, предельные отклонения.
6. Назначить значение параметра шероховатости поверхностей и подобрать конечную операцию механической обработки отверстия и вала.
7. Вычертить эскиз сопрягаемых деталей в сборе и подетально, указать на эскизе обозначение посадки, классов допусков, предельных отклонений, шероховатостей.

### 1.2.3 Последовательность выполнения задания

1. Рассчитаем предельные размеры отверстия и вала

$$D_{\max} = D + ES = 50 + 0,025 = 50,025 \text{ мм};$$

$$D_{\min} = D + EI = 50 + 0 = 50 \text{ мм};$$

$$d_{\max} = d + es = 50 + 0,042 = 50,042 \text{ мм};$$

$$d_{\min} = d + ei = 50 + 0,026 = 50,026 \text{ мм}.$$

Допуски на размеры отверстия и вала равны

$$TD = D_{\max} - D_{\min} = 50,025 - 50 = 0,025 \text{ мм};$$

$$Td = d_{\max} - d_{\min} = 50,042 - 50,026 = 0,016 \text{ мм}.$$

2. Определяем граничные значения интервала, к которому принадлежит номинальный размер, воспользовавшись таблицей допусков [15, с. 43–44; 19, с. 5]. Для  $D = d = 50$

$$D_{\text{и min}} = 30; D_{\text{и max}} = 50.$$

Находим среднее геометрическое значение для данного интервала

$$D_{\text{и}} = \sqrt{D_{\text{и min}} \cdot D_{\text{и max}}} = \sqrt{30 \cdot 50} = 38,73 \text{ мм}.$$

Единицу допуска  $i$  для размеров в диапазоне от 0 до 500 мм найдем по формуле

$$i = 0,45\sqrt[3]{D_{\text{и}}} + 0,001D_{\text{и}} = 0,45\sqrt[3]{38,73} + 0,001 \cdot 38,73 = 1,56 \text{ мкм}.$$

Квалитет изготовления деталей можно найти, определив число единиц допуска  $a$  в формуле допуска  $T = a \cdot i$ . В нашем случае известны допуски отверстия  $TD$  и вала  $Td$ , а также величина единицы допуска  $i$ . Тогда числа единиц допуска для отверстия и вала соответственно равны

$$a_D = \frac{TD}{i} = \frac{25}{1,56} \approx 16; a_d = \frac{Td}{i} = \frac{16}{1,56} \approx 10.$$

По таблице допусков [15, с. 43–44; 19, с. 6] находим, что *отверстие выполнено по 7 квалитету (IT7)*, для которого число единиц допуска равно 16, а *вал выполнен по 6 квалитету (IT6)*, для которого число единиц допуска равно 10.

3. Определим, какое из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее) является основным для отверстия и вала. Поскольку основным является отклонение, ближайшее к нулевой линии, то определить его можно следующим образом: основным будет то из двух отклонений, которое меньше по модулю. Для нашего случая получаем:

– для отверстия основным отклонением является нижнее предельное отклонение  $EI = 0$ ;

– для вала основным отклонением также является нижнее предельное отклонение  $ei = +26$  мкм.

По таблицам основных отклонений отверстий [15, с. 51; 19, с. 21] и валов [19, с. 9] находим их буквенные обозначения: для *отверстия* –  $H$ , для *вала* –  $p$ .

Объединяя ранее найденные квалитеты с буквенными обозначениями основных отклонений, записываем обозначения классов допусков:

- класс допуска отверстия –  $H7$ ;
- класс допуска вала –  $p6$ .

Отмечаем, что отверстие в данной посадке является основным, поскольку его нижнее предельное отклонение равно нулю. Вал является неосновным, поскольку его верхнее предельное отклонение отлично от нуля.

Полное обозначение искомой посадки имеет вид

$$\varnothing 50 \frac{H7}{p6}.$$

Поскольку в обозначении посадки присутствует основное отверстие ( $H7$ ), данная посадка является *посадкой в системе отверстия*.

#### 4. Определяем предельные зазоры в посадке

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = 50,025 - 50,026 = -0,001 \text{ мм};$$

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = 50 - 50,042 = -0,042 \text{ мм}.$$

Поскольку оба значения зазоров оказались отрицательными, имеем посадку с натягом. Наибольший и наименьший натяги равны соответственно наименьшему и наибольшему зазорам, взятым с противоположным знаком, т. е.

$$N_{\max} = -S_{\min} = 0,042 \text{ мм}; \quad N_{\min} = -S_{\max} = 0,001 \text{ мм}.$$

Средний натяг равен

$$N_c = \frac{N_{\max} + N_{\min}}{2} = \frac{0,042 + 0,001}{2} = 0,0215 \text{ мм}.$$

Диапазон посадки с натягом равен

$$TN = N_{\max} - N_{\min} = 0,042 - 0,001 = 0,041 \text{ мм}.$$

Для проверки полученного значения рассчитаем также диапазон посадки как сумму допусков отверстия и вала

$$TN = TD + Td = 0,025 + 0,016 = 0,041 \text{ мм}.$$

5. Вычерчиваем схему расположения интервалов допусков в посадке  $\varnothing 50 \frac{H7}{p6}$ , отметив ее следующие характерные особенности:

- предельные отклонения отверстия и вала неотрицательны, поэтому оба интервала допуска лежат выше нулевой линии;
- нижнее предельное отклонение отверстия равно нулю, поэтому линия, ему соответствующая, совпадает с нулевой линией;
- данная посадка с натягом, поэтому интервал допуска вала расположен выше интервала допуска отверстия.

На схеме показываем номинальный размер, предельные размеры отверстия и вала, допуски, наибольший и наименьший натяги (рис.1.4).

6. Назначаем шероховатость поверхности деталей [15, с. 523; 19, с. 33]. В диапазоне номинальных размеров от 18 до 50 мм для допуска формы, равного 60 % от допуска размера, находим:

– для отверстия (IT7) среднее арифметическое отклонение профиля  $Ra\ 1,6$  мкм;

– для вала (IT6) среднее арифметическое отклонение профиля  $Ra\ 0,8$  мкм.

Подбираем конечную операцию механической обработки отверстия и вала, ориентируясь на экономические качества и показатели шероховатости поверхности [15, с. 517; 19, с. 34]:

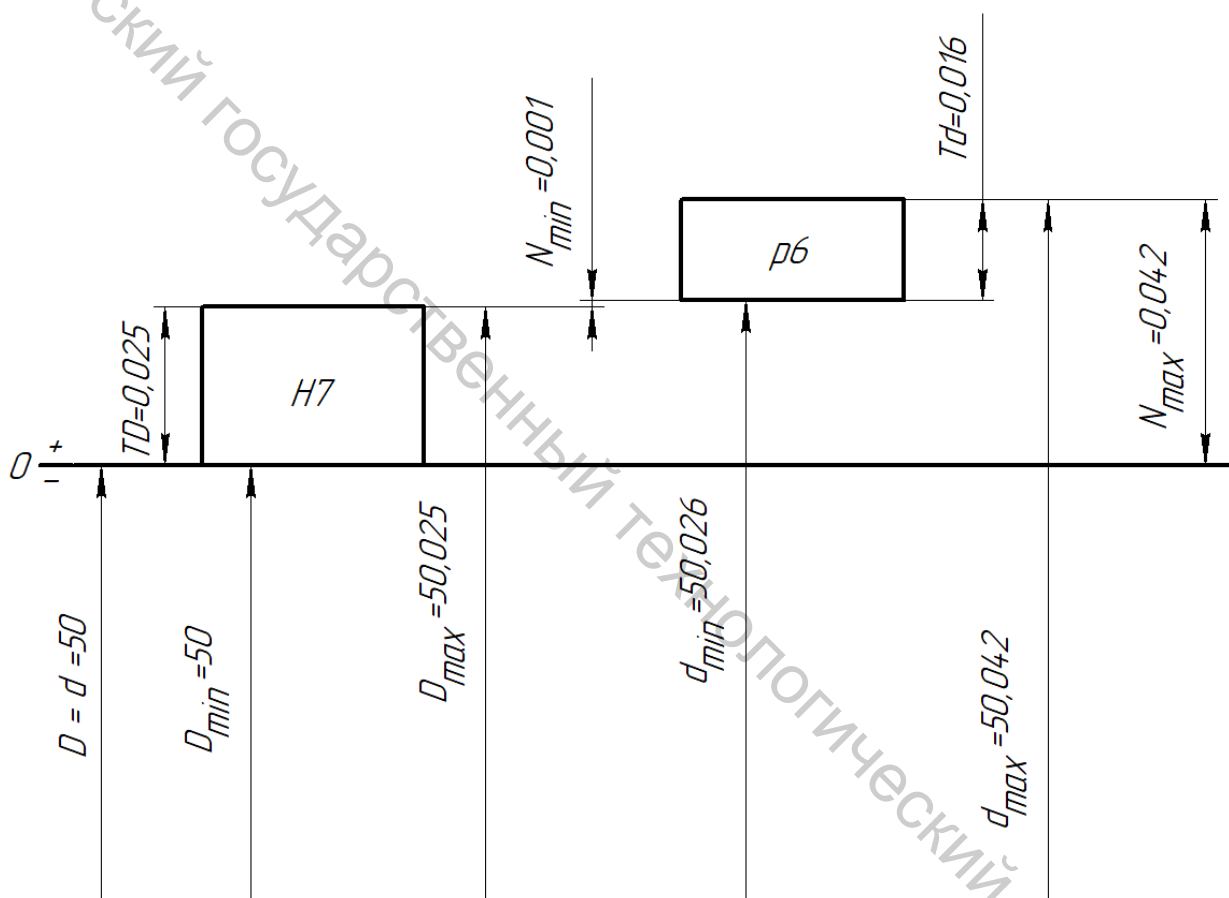


Рисунок 1.4 – Схема расположения интервалов допусков в посадке

– для отверстия (квалитет IT7, шероховатость  $Ra\ 1,6$ ) назначаем *чистовое внутреннее шлифование*, обеспечивающее получение квалитетов IT6...IT8 и шероховатости  $Ra\ 0,8...1,6$ ;

– для вала (квалитет IT6, шероховатость  $Ra\ 0,8$ ) назначаем *чистовое наружное шлифование*, обеспечивающее получение квалитетов IT6...IT8 и шероховатости  $Ra\ 0,8...1,6$ .

7. Изображаем эскиз соединения в сборе и подетально (рис.1.5). На эскизе в соответствии с требованиями ЕСКД указываем номинальный размер, обозначения классов допусков вала и отверстия, значения предельных отклонений и показателей шероховатости поверхностей.

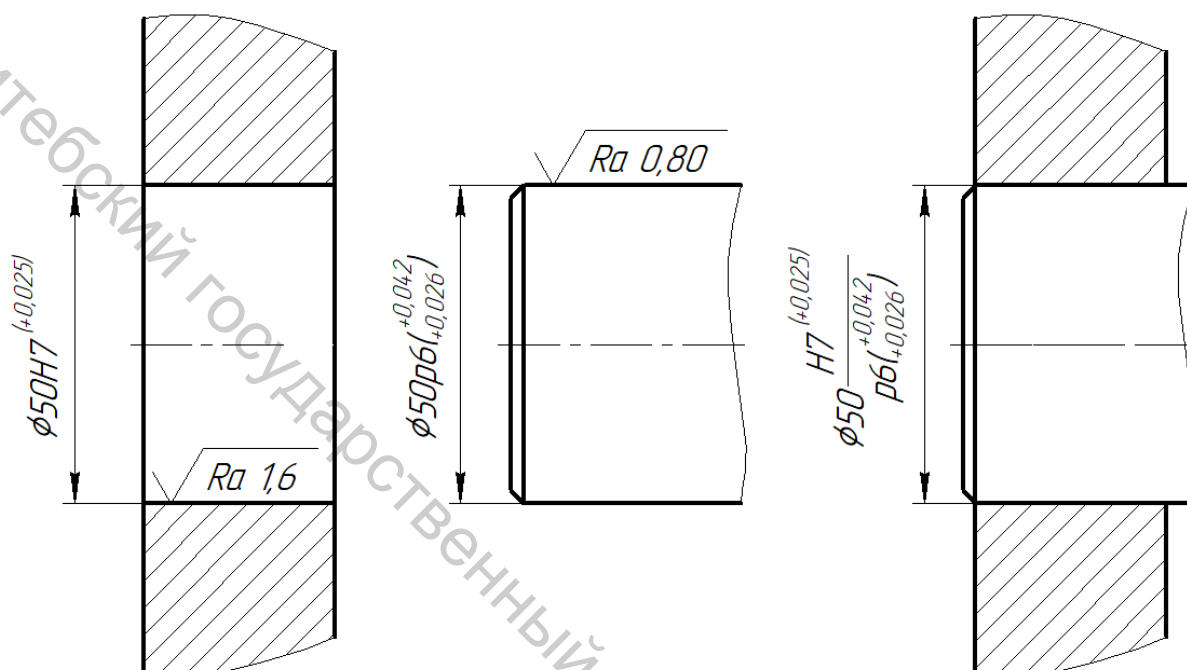


Рисунок 1.5 – Эскиз соединения подетально и в сборе:  
а – отверстие, б – вал, в – соединение в сборе

## 2 РАСЧЕТ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ГЛАДКИХ КАЛИБРОВ

### 2.1 Основные термины и определения

Допуски гладких калибров для размеров до 500 мм и методика расчета их исполнительных размеров изложены в ГОСТ 24853-81 [12].

1. *Предельные калибры* – это бесшкальные приборы, применяемые для такого способа контроля изготовленных деталей, когда действительные размеры детали непосредственно не определяются, а лишь устанавливается, находятся ли они в заданных пределах или выходят за них. Чаще всего предельные калибры для отверстий изготавливаются в виде *пробок*, а для контроля валов – в виде *скоб*.

Гладкие предельные калибры используют для проверки размеров гладких цилиндрических деталей, если на проверяемые размеры установлены допуски

не точнее IT6. К достоинствам предельных калибров относятся долговечность, а также простота и достаточно высокая производительность контроля. Несмотря на ряд недостатков (сложность изготовления, невозможность контроля размеров точнее IT6 и пр.) предельные калибры широко применяются в массовом и крупносерийном производстве. Калибры, которыми пользуются при изготовлении деталей, называют *рабочими калибрами* (в свою очередь, рабочие калибры контролируются и регулируются с помощью *контрольных* калибров).

Примеры внешнего вида гладких рабочих нерегулируемых калибров приведены на рисунке 2.1.

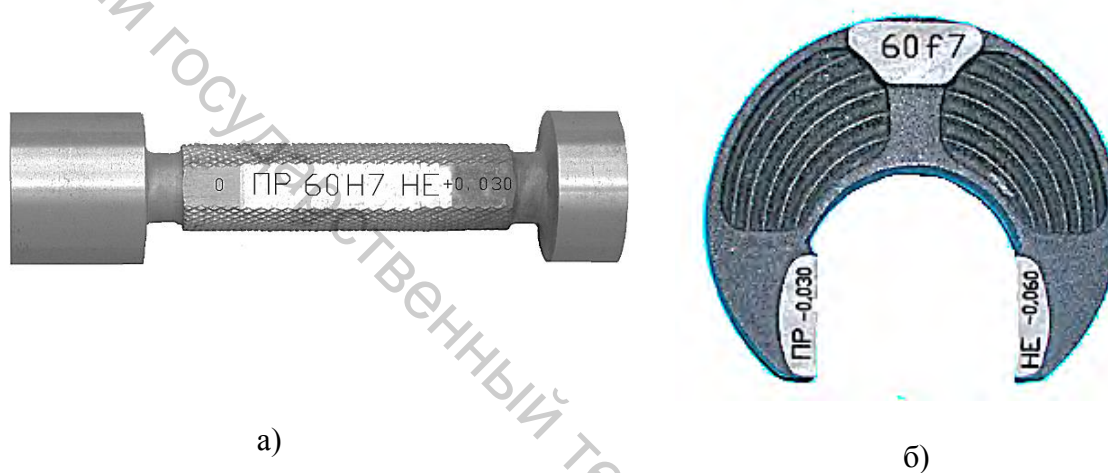


Рисунок 2.1 – Нерегулируемые гладкие предельные калибры: а – двусторонняя пробка; б – односторонняя скоба

Для контроля каждого размера необходимо два предельных калибра – проходной и непроходной. Обычно они конструктивно объединены, и тогда различают проходную (ПР) и непроходную (НЕ) сторону калибра, соответствующие проходному и непроходному пределам.

2. *Проходным пределом* (ПР) называют один из двух предельных размеров, который соответствует *максимальному* количеству материала:  $D_{\min}$  для отверстия и  $d_{\max}$  для вала.

3. *Непроходным пределом* (НЕ) называют один из двух предельных размеров, который соответствует *минимальному* количеству материала:  $D_{\max}$  для отверстия и  $d_{\min}$  для вала.

Например, для отверстия  $\varnothing 60H7^{(+0,03)}$  проходной предел (ПР) соответствует размеру  $D_{\min} = 60$  мм, непроходной предел (НЕ) соответствует размеру

$D_{\max} = 60,03$  мм. При контроле годными считают только те отверстия, в которые проходит вставка  $PP = D_{\min}$  и не проходит вставка  $HE = D_{\max}$ .

Аналогично, для вала  $\varnothing 60 f7 \left( \begin{smallmatrix} -0,03 \\ -0,06 \end{smallmatrix} \right)$  проходным пределом (ПР) будет  $d_{\max} = 59,97$  мм, а непроходным пределом (НЕ) является  $d_{\min} = 59,94$  мм. При контроле годными считаются только те валы, которые проходят в раствор губок скобы  $PP = d_{\max}$  и не проходят в раствор губок  $HE = d_{\min}$ .

4. Интервалы допусков рабочих калибров для размеров до 180 мм располагаются относительно их номинальных размеров, как показано на рисунках 2.2 и 2.3. При этом номинальными размерами калибров считаются предельные размеры проверяемых поверхностей.

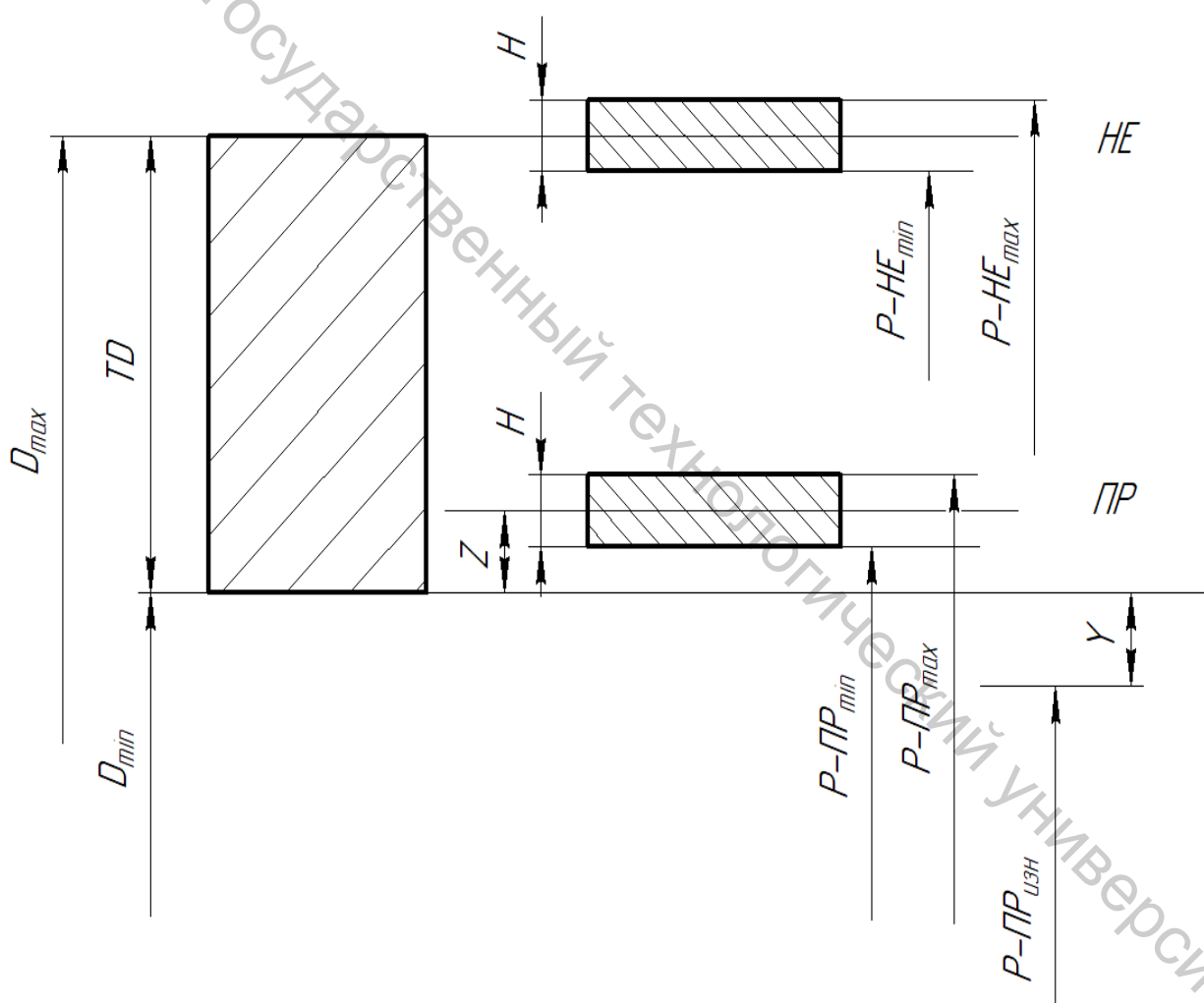


Рисунок 2.2 – Схема расположения интервалов допусков рабочих калибров-пробок для размеров до 180 мм

На схемах и в расчетах используются следующие обозначения:

–  $H$  – допуск на рабочие калибры-пробки,  $H_I$  – допуск на рабочие калибры-скобы;

–  $Z$  – отклонение середины интервала допуска пробки,  $Z_I$  – отклонение середины интервала допуска скобы;

–  $Y$  – допустимый выход размера изношенной пробки;  $Y_I$  – допустимый выход размера изношенной скобы (для квалитетов с 9 по 17 равны нулю).

Значения  $H$ ,  $Z$ ,  $Y$  и  $H_I$ ,  $Z_I$ ,  $Y_I$  устанавливаются стандартом [12] в зависимости от квалитета (с 6 по 17) и номинального размера.

5. Предельные размеры рабочих калибров обозначаются и рассчитываются по формулам из таблицы 2.1 (см. рис. 2.2 и 2.3).

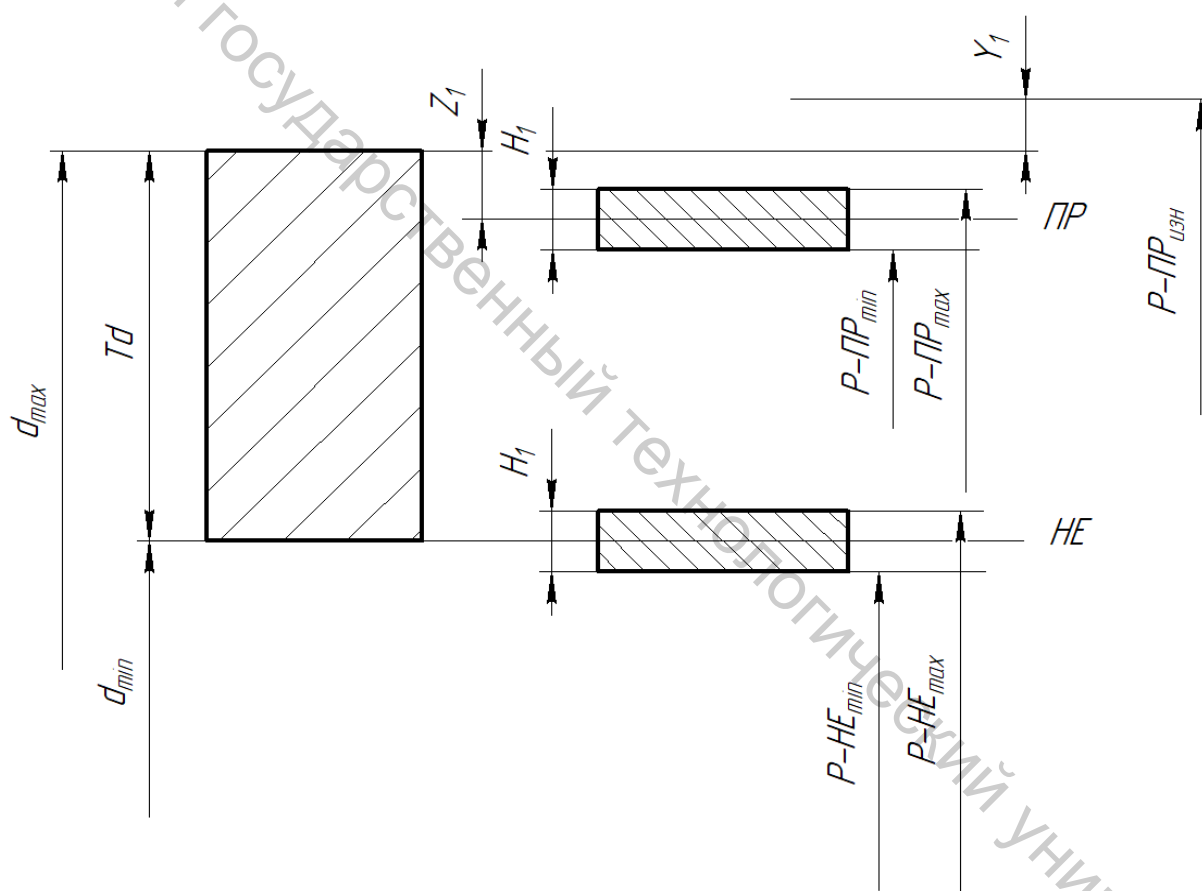


Рисунок 2.3 – Схема расположения интервалов допусков рабочих в-скоб для размеров до 180 мм

Таблица 2.1 – Формулы для расчета исполнительных размеров рабочих калибров

|                   | Размер                              | Обозначение           | Формулы                      |                                  |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------------|
|                   |                                     |                       | Пробка                       | Скоба                            |
| Проходная часть   | Верхний предельный                  | $P - PP_{\max}$       | $D_{\min} + Z + \frac{H}{2}$ | $d_{\max} - Z_1 + \frac{H_1}{2}$ |
|                   | Нижний предельный                   | $P - PP_{\min}$       | $D_{\min} + Z - \frac{H}{2}$ | $d_{\max} - Z_1 - \frac{H_1}{2}$ |
|                   | Предельный размер по границе износа | $P - PP_{\text{изн}}$ | $D_{\min} - Y$               | $d_{\max} + Y_1$                 |
| Непроходная часть | Верхний предельный                  | $P - HE_{\max}$       | $D_{\max} + \frac{H}{2}$     | $d_{\min} + \frac{H_1}{2}$       |
|                   | Нижний предельный                   | $P - HE_{\min}$       | $D_{\max} - \frac{H}{2}$     | $d_{\min} - \frac{H_1}{2}$       |

Таким образом, при расчете размеров калибров вначале находят предельные размеры отверстия и вала, затем из стандарта [12] или в справочной литературе [19, с. 67–69] находят значения  $H$ ,  $Z$ ,  $Y$  и  $H_1$ ,  $Z_1$ ,  $Y_1$ , после чего рассчитывают размеры по формулам из таблицы 2.1.

6. *Исполнительным размером* называют размер калибра, проставленный на чертеже таким образом, чтобы допуск на его изготовление был направлен в тело калибра. Это означает, что в качестве исполнительного размера пробки принимают ее верхний предельный размер с отрицательным нижним предельным отклонением

$$P - PP = P - PP_{\max} \begin{matrix} -H \\ -H \end{matrix} ;$$

$$P - HE = P - HE_{\max} \begin{matrix} -H \\ -H \end{matrix} .$$

Соответственно в качестве исполнительного размера скобы принимают ее нижний предельный размер с положительным верхним предельным отклонением

$$P - PP = P - PP_{\min} \begin{matrix} +H_1 \\ +H_1 \end{matrix} ;$$

$$P - HE = P - HE_{\min} \begin{matrix} +H_1 \\ +H_1 \end{matrix} .$$

7. *Маркировка* на нерегулируемых рабочих пробках и скобах включает в себя следующее:

- указание номинального диаметра и класса допуска отверстия (вала), для контроля которого изготовлена пробка (скоба);
- маркировку букв  $PP$  со стороны проходной части и  $HE$  со стороны непроходной части калибра;

– рядом с буквами *PP* и *HE* маркируется значение предельного отклонения отверстия или вала (в мм), соответствующего данной стороне калибра.

## 2.2 Пример выполнения задания

### 2.2.1 Исходные данные

Задана посадка  $\varnothing 30 \frac{H9}{f8}$ .

### 2.2.2 Содержание задания

1. Для заданной посадки определить предельные размеры вала и отверстия.
2. Определить значения допусков и отклонений рабочих калибров в соответствии со стандартом.
3. Рассчитать исполнительные размеры нерегулируемых рабочих калибров (пробки и скобы) для контроля отверстия и вала.
4. Вычертить схему расположения интервалов допусков отверстия, вала и рабочих калибров, указать на схеме предельные размеры вала и отверстия и исполнительные размеры рабочих калибров.
5. Определить качества точности и шероховатость поверхностей рабочих частей калибров.
6. Выполнить эскизы калибров, нанести на эскизы элементы маркировки.

### 2.2.3 Последовательность выполнения задания

1. Находим предельные отклонения отверстия и вала:
  - для класса допуска отверстия  $30H9$ :  $ES = +52$  мкм,  $EI = 0$  [19, с. 7];
  - для класса допуска вала  $30f8$ :  $es = -20$  мкм,  $ei = -53$  мкм [19, с. 14].

Предельные размеры отверстия и вала:

$$D_{\max} = D + ES = 30 + 0,052 = 30,052 \text{ мм};$$

$$D_{\min} = D + EI = 30 + 0 = 30 \text{ мм};$$

$$d_{\max} = d + es = 30 + (-0,020) = 29,980 \text{ мм};$$

$$d_{\min} = d + ei = 30 + (-0,053) = 29,947 \text{ мм}.$$

2. Определим значения допусков и отклонений калибров. Для пробки для качества контролируемого отверстия IT9 находим [19, с. 67–69]:
  - допуск на изготовление пробки  $H = 4$  мкм;
  - отклонение середины интервала допуска пробки  $Z = 9$  мкм;
  - допустимый выход размера изношенной пробки  $Y = 0$ .Для скобы для качества контролируемого вала IT8 находим:

- допуск на изготовление скобы  $H_I = 6$  мкм;
- отклонение середины интервала допуска скобы  $Z_I = 5$  мкм;
- допустимый выход размера изношенной скобы  $Y_I = 4$  мкм.

3. Находим предельные размеры проходной и непроходной части пробки (номинальный диаметр до 180 мм, качество контролируемого отверстия IT9)

$$P - PP_{\min} = D_{\min} + Z - \frac{H}{2} = 30 + 0,009 - \frac{0,004}{2} = 30,007 \text{ мм};$$

$$P - PP_{\max} = D_{\min} + Z + \frac{H}{2} = 30 + 0,009 + \frac{0,004}{2} = 30,011 \text{ мм};$$

$$P - HE_{\min} = D_{\max} - \frac{H}{2} = 30,052 - \frac{0,004}{2} = 30,050 \text{ мм};$$

$$P - HE_{\max} = D_{\max} + \frac{H}{2} = 30,052 + \frac{0,004}{2} = 30,054 \text{ мм};$$

$$P - PP_{\text{изн}} = D_{\min} - Y = 30 - 0 = 30 \text{ мм}.$$

Исполнительные размеры пробки записываем с допуском «в тело» калибра (т. е. в «минус»)

$$P - PP = 30,011_{-0,004} \text{ мм};$$

$$P - HE = 30,054_{-0,004} \text{ мм}.$$

Находим предельные размеры проходной и непроходной части скобы (номинальный размер до 180 мм, качество вала IT8):

$$P - PP_{\min} = d_{\max} - Z_I - \frac{H_I}{2} = 29,980 - 0,005 - \frac{0,006}{2} = 29,972 \text{ мм};$$

$$P - PP_{\max} = d_{\max} - Z_I + \frac{H_I}{2} = 29,980 - 0,005 + \frac{0,006}{2} = 29,978 \text{ мм};$$

$$P - HE_{\min} = d_{\min} - \frac{H_I}{2} = 29,947 - \frac{0,006}{2} = 29,944 \text{ мм};$$

$$P - HE_{\max} = d_{\min} + \frac{H_I}{2} = 29,947 + \frac{0,006}{2} = 29,950 \text{ мм};$$

$$P - PP_{\text{изн}} = d_{\max} + Y_I = 29,980 + 0,004 = 29,984 \text{ мм}.$$

Исполнительные размеры скобы записываем с допуском «в тело» калибра (т. е. в «плюс»)

$$P - PP = 29,972^{+0,006} \text{ мм};$$

$$P - HE = 29,944^{+0,006} \text{ мм}.$$

4. Схема расположения интервалов допусков отверстия, вала и рабочих калибров приведена на рисунке 2.4.

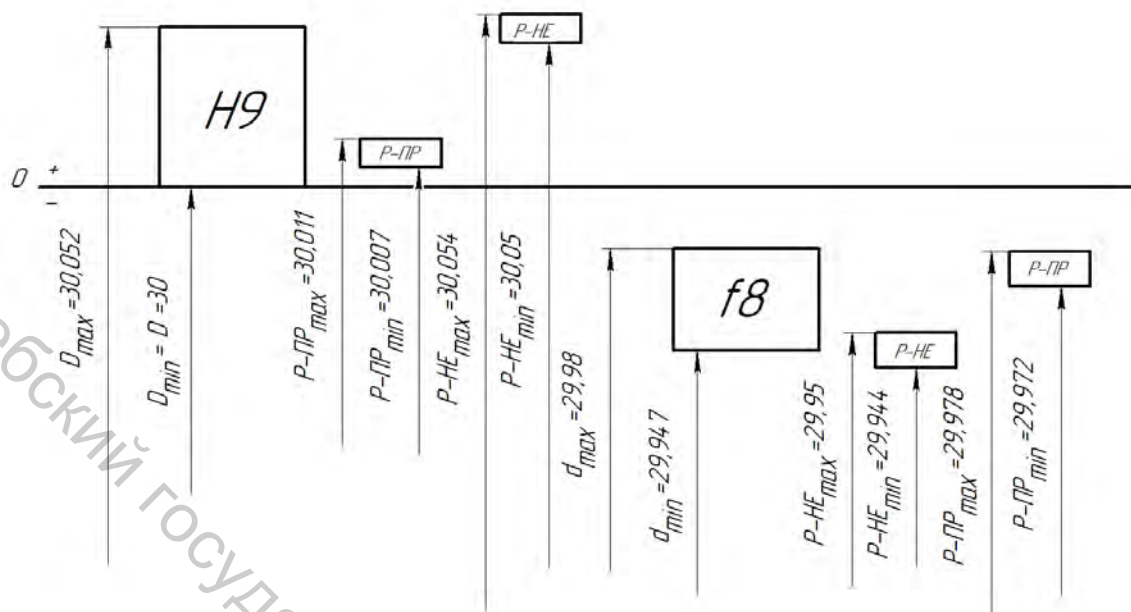


Рисунок 2.4 – Схема расположения интервалов допусков отверстия, вала и рабочих калибров для посадки  $\varnothing 30 \frac{H9}{f8}$

5. По таблице допусков [15, с. 43–44; 19, с. 5] определяем качества точности рабочих частей калибров.

Для пробки: номинальный размер 30 мм, допуск  $H = 4$  мкм, это соответствует третьему качеству (IT3).

Для скобы: номинальный размер 30 мм, допуск  $H_1 = 6$  мкм, это соответствует четвертому качеству (IT4).

В соответствии с подобранными качествами по [15, с. 523; 19, с. 33] назначаем шероховатость рабочих поверхностей калибров: для пробки показатель  $R_a$  равен 0,2 мкм; для скобы показатель  $R_a$  равен 0,4 мкм.

6. Выполняем эскизы калибров с элементами маркировки (рис. 2.5, рис. 2.6)

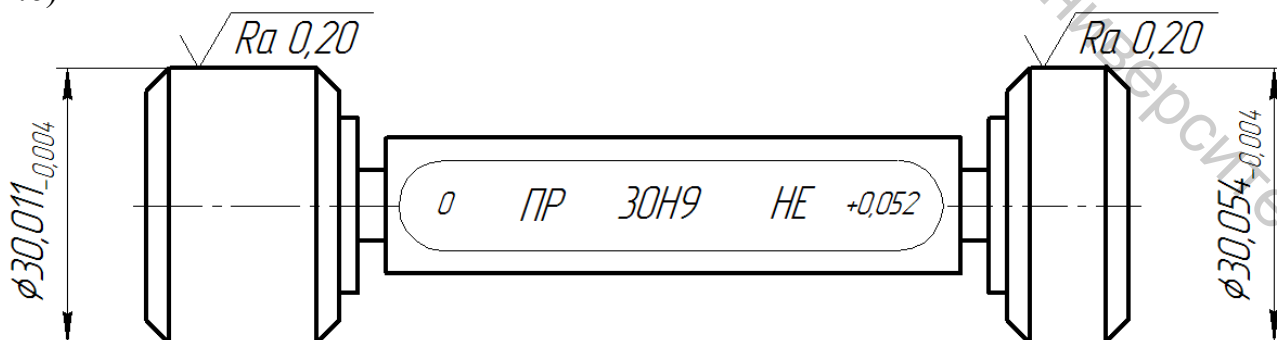


Рисунок 2.5 – Эскиз пробки с элементами маркировки

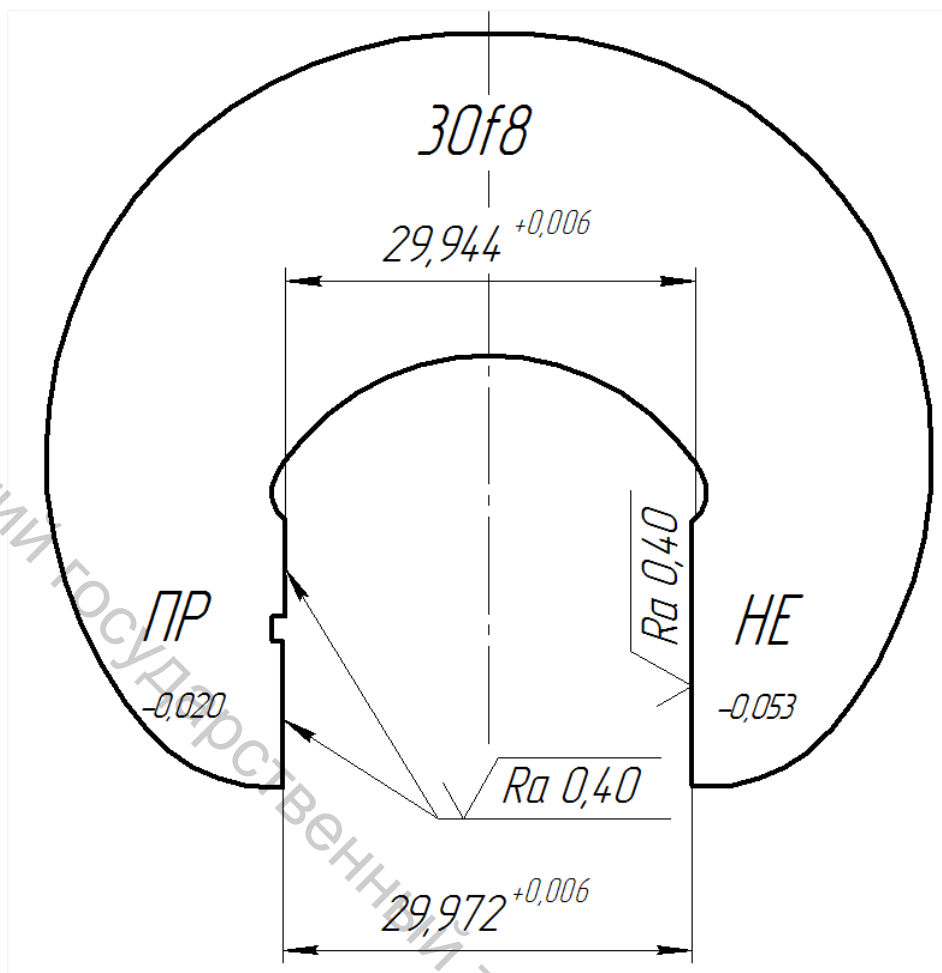


Рисунок 2.6 – Эскиз скобы с элементами маркировки

### 3 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

#### 3.1 Основные термины и определения

##### 3.1.1 Соединения призматическими шпонками

Шпонки служат для передачи крутящего момента от вала к ступице детали (зубчатого колеса, шкива и т. д.) или, наоборот, от ступицы к валу. В отдельных случаях кроме передачи крутящего момента шпонки фиксируют насаженные на вал ступицы в осевом направлении. В основном используют соединения призматическими, сегментными и клиновыми шпонками.

Соединения призматическими шпонками (рис. 3.1) наиболее распространены и используются для соединений с валом диаметром от 6 до 500 мм.

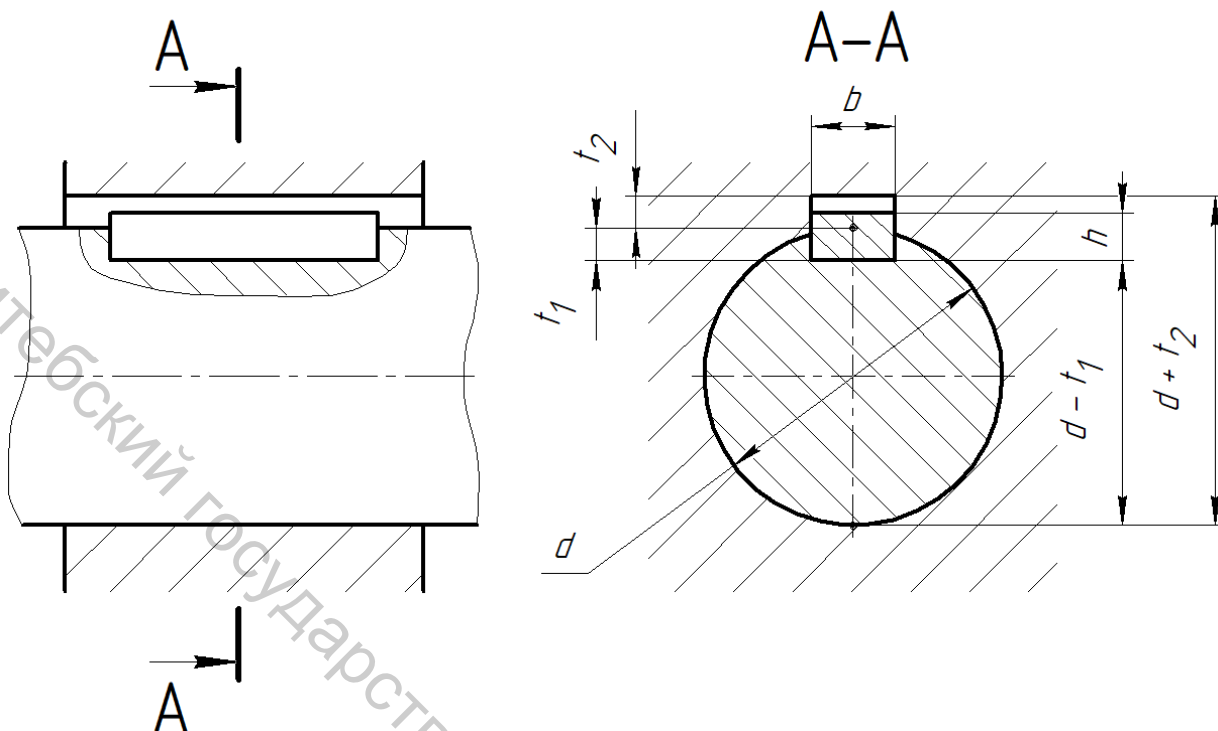


Рисунок 3.1 – Шпоночное соединение  
призматическими шпонками

Размеры и предельные отклонения призматических шпонок и пазов под них нормируются ГОСТ 23360-78 [10].

1. *Размеры шпонок* (ширина, высота, длина) обозначаются соответственно  $b \times h \times l$ . Конкретные сочетания этих размеров нормируются в стандарте.

Сечение шпонки  $b \times h$  выбирается в зависимости от диаметра вала  $d$ . Например, для диаметра вала св. 22 до 30 мм нормируется шпонка с размерами  $b = 8$  мм,  $h = 7$  мм (т. е. шпонка 8x7). Наименьшая шпонка, предусмотренная стандартом, имеет сечение 2x2, наибольшая – 100x50.

Длину шпонки  $l$  определяют из конструктивных соображений (например, в зависимости от длины ступицы сидящего на валу колеса), но выбирают из *ряда стандартных длин*. Так, например, для шпонки 8x7 стандартом регламентирован следующий ряд длин: 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90 [19, с. 47]. В целом стандартом регламентированы длины шпонок от 6 до 500 мм.

2. Варианты *исполнения* призматических шпонок показаны на рисунке 3.2. По контуру шпонки любого из исполнений выполняется фаска  $s \times 45^\circ$ , ее величина выбирается из стандарта в зависимости от габаритов шпонки. Такая же фаска  $s_1 = s$  либо скругление радиусом  $r = s$  выполняется на внутренних ребрах пазов на валу и во втулке (рис. 3.3).

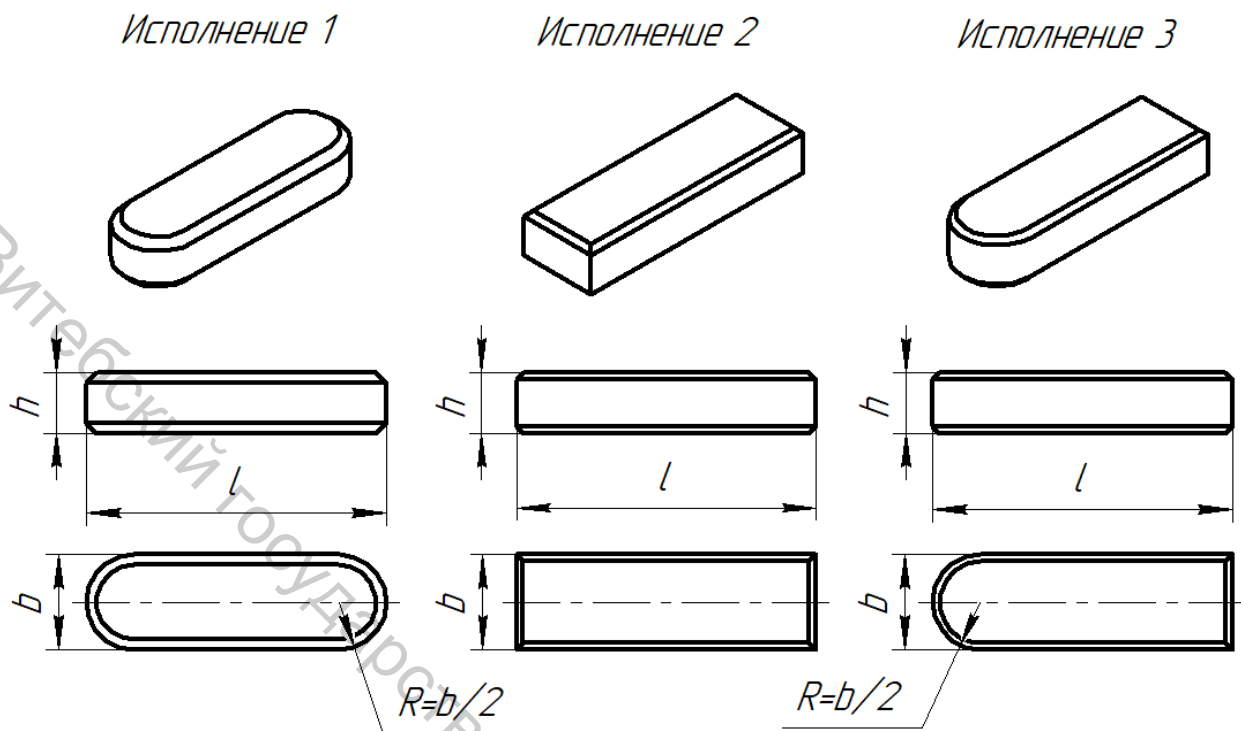


Рисунок 3.2 – Исполнения призматических шпонок

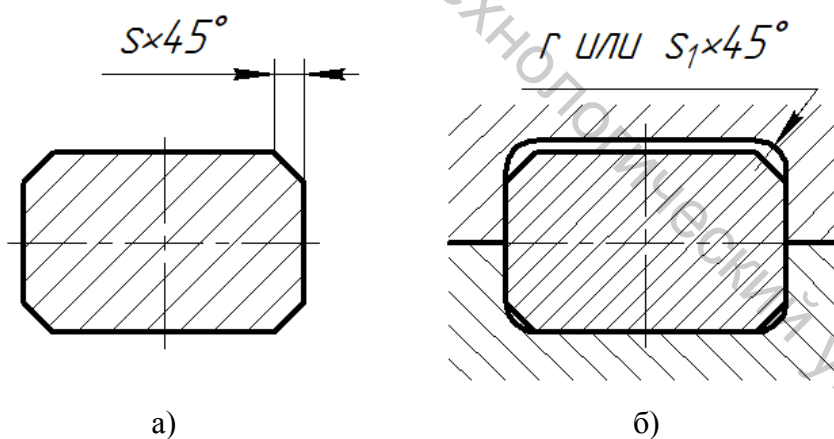


Рисунок 3.3 – Шпонка (а) и соединение в сборе (б) в поперечном сечении

3. Размеры паза под шпонку на валу (ширина, глубина, длина) обозначаются соответственно  $b_1$ ,  $t_1$  и  $l_1$  (рис. 3.4 а). Ширина и длина паза номинально равны соответственно ширине и длине шпонки, т. е.  $b_1 = b$ ,  $l_1 = l$ .

Глубина паза на валу  $t_1$  определяется по стандарту и лежит в пределах от 1,2 до 31 мм.

4. Размеры паза под шпонку во втулке (ширина, глубина) обозначаются соответственно  $b_2$  и  $t_2$  (рис. 3.4 б). Третий размер – длина паза на валу – не нормируется (рис. 3.1). Ширина паза во втулке номинально соответствует ширине шпонки ( $b_2 = b$ ), глубина  $t_2$  выбирается из стандарта в пределах от 1 до 19,5 мм.

Глубину паза на валу и во втулке допускается на чертежах задавать с учетом диаметра, т.е. в виде  $(d - t_1)$  для вала и  $(d + t_2)$  для втулки (рис. 3.1).

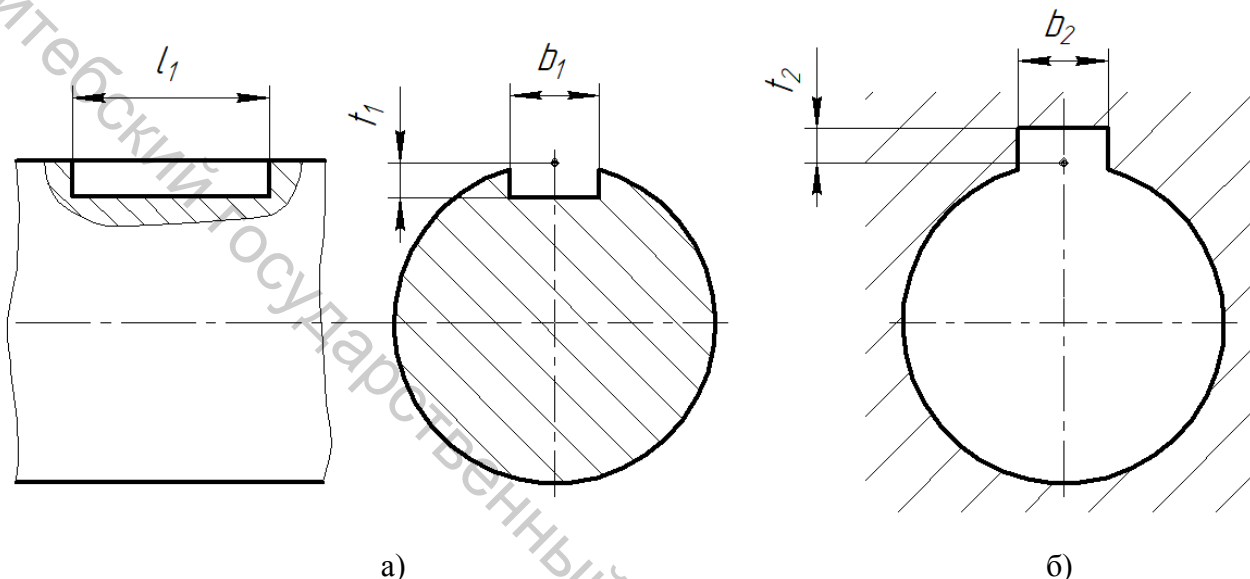


Рисунок 3.4 – Обозначения размеров паза на валу (а) и во втулке (б)

5. Нормирование точности шпонок производится в зависимости от их габаритных размеров. Классы допусков размеров шпонок указываются как классы допусков вала, т. к. они являются наружными (охватываемыми) поверхностями (рис. 1.1). На размеры шпонок назначаются следующие классы допусков:

- на ширину шпонки  $b$  нормируется один класс допуска ( $h9$ ) вне зависимости от габаритных размеров;
- для высоты шпонки  $h$  предназначено два класса допуска ( $h9$  для шпонок высотой от 2 до 6 мм и  $h11$  для остальных);
- на длину шпонки любого размера назначают класс допуска  $h14$ .

6. Нормирование точности шпоночных пазов на валу и во втулке производится в зависимости от вида соединения (свободное, нормальное, плотное). От вида соединения зависит, какие зазоры (натяги) будут возникать в посадках «паз на валу – шпонка» и «паз во втулке – шпонка».

*Свободное соединение* – это соединение с гарантированным зазором, его точность нормируется классом допуска  $H9$  для ширины паза на валу и  $D10$  во втулке.

*Нормальное соединение* – это соединение с переходными посадками: с равной вероятностью получения зазоров и натягов на валу (класс допуска  $N9$ ) и большей вероятностью получения зазоров во втулке (класс допуска  $JS9^1$ ).

*Плотное соединение* – это соединение с переходными посадками с большей вероятностью получения натягов; для паза на валу и во втулке предусмотрен один и тот же класс допуска  $P9^2$ .

Кроме этих трех стандартных видов соединений, стандарт разрешает применять для ширины паза на валу и во втулке любые сочетания перечисленных выше классов допусков.

Требования к *точности глубины пазов* на валу и во втулке установлены в пределах от +0,1 до +0,3 мм в зависимости от номинального размера. На длину паза во втулке установлен класс допуска  $H15$ .

7. *Обозначение призматических шпонок* складывается из слова *Шпонка*, размеров шпонки (ширины  $b$ , высоты  $h$ , длины  $l$ ) и номера ГОСТ

Шпонка  $8 \times 7 \times 45$  ГОСТ 23360-78.

Для шпонок исполнения 2 и 3 номер исполнения ставится после слова *Шпонка*, например:

Шпонка 2 –  $8 \times 7 \times 45$  ГОСТ 23360-78.

### 3.1.2 Прямобоочные шлицевые соединения

*Шлицевым соединением* называется разъемное соединение вала с отверстием, когда на валу имеются зубья (выступы), а в отверстии – соответствующие впадины (шлицы). Охватывающую поверхность внутреннего цилиндра обычно в этих соединениях называют *втулкой*. Основное назначение шлицевых соединений – передача крутящего момента. Они используются для передачи больших крутящих моментов, чем шпоночные соединения, а также в случаях, когда необходимо обеспечить относительно высокие требования к соосности (центрированию) вала и втулки. По форме зуба (шлица) различают *прямобоочные* и *эвольвентные* шлицевые соединения.

1. *Размеры прямобоочных шлицевых соединений* нормируются в ГОСТ 1139-80 [3]. К основным геометрическим характеристикам относятся: число зубьев (шлицев)  $z$ , внутренний диаметр  $d$ , наружный диаметр  $D$  и ширина зуба (шлица)  $b$  (рис. 3.5, 3.6). Стандартом определены такие сочетания  $z \times d \times D$  и сопоставленные им значения  $b$ , которые можно использовать [19, с. 48–49]. Необходимость в таком строгом нормировании не только самих параметров, но и их

<sup>1</sup> Для посадки  $JS9/h9$  вероятность получения зазора составляет около 98 %.

<sup>2</sup> Для посадки  $P9/h9$  вероятность натяга составляет 95–97 %.

сочетаний связана со сложностью и дороговизной инструмента для изготовления шлицевых втулок и валов (это, как правило, протяжки и червячные фрезы).

Стандарт нормирует одно исполнение шлицевой втулки (рис. 3.5) и три различных исполнения шлицевого вала (рис. 3.6).

2. Для передачи различных крутящих моментов различают *легкую, среднюю и тяжелую серии* шлицевого соединения, которые отличаются различными сочетаниями геометрических параметров. Например, для соединения вала и втулки с номинальным диаметром 68 или 72 мм стандарт позволяет выбрать шлицевые соединения со следующим набором  $z \times d \times D$ : легкая серия –  $8 \times 62 \times 68$  ( $b=12$ ); средняя серия –  $8 \times 62 \times 72$  ( $b=12$ ); тяжелая серия –  $16 \times 62 \times 72$  ( $b=6$ ).

3. *Способом центрирования* в шлицевых соединениях называют способ совмещения осей вала и втулки при сборке.

Шлицевая втулка и вал при соединении сопрягаются одновременно по трем поверхностям – по наружному диаметру, по внутреннему диаметру и по боковым поверхностям зубьев. Очевидно, что эти сопряжения должны быть разными по точности, иначе будет невозможно обеспечить их собираемость.

Поверхность, для которой назначена более высокая точность сопряжения, будет обеспечивать точность совмещения осей деталей, следовательно, обеспечивать центрирование. Таким образом, в зависимости от того, какая из трех посадок в данном шлицевом соединении является наиболее точной, различают следующие способы центрирования: *по наружному диаметру* ( $D$ ), *по внутреннему диаметру* ( $d$ ) и *по боковым поверхностям зубьев* ( $b$ ) (рис. 3.7).

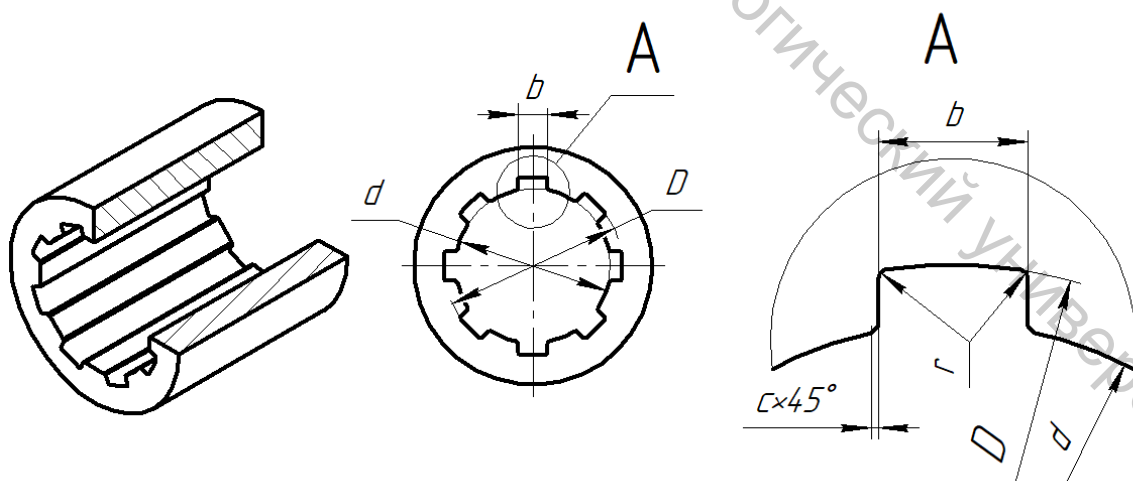


Рисунок 3.5 – Втулка прямого шлицевого соединения

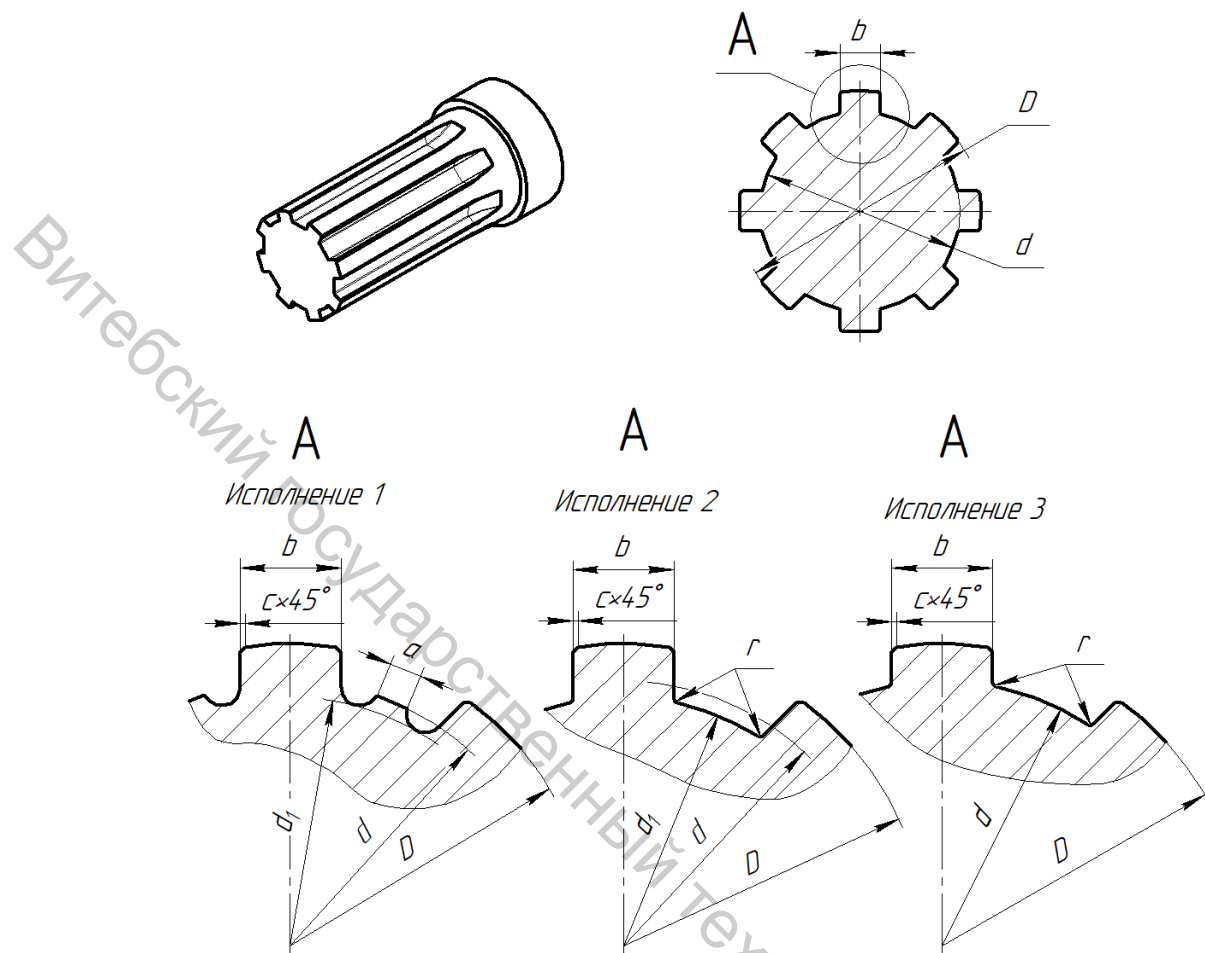


Рисунок 3.6 – Вал прямоугольного шлицевого соединения

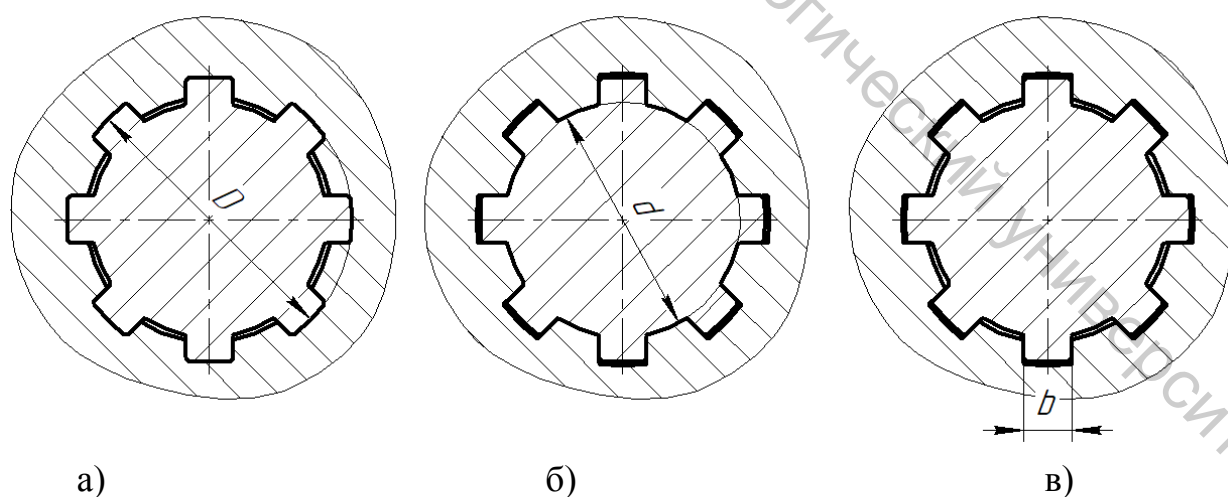


Рисунок 3.7 – Центрирование прямоугольных шлицевых соединений: а – по наружному диаметру, б – по внутреннему диаметру, в – по боковым поверхностям

*Центрирование по наружному диаметру  $D$*  (рис. 3.7 а) используется для подвижных и неподвижных соединений, при передаче небольших крутящих моментов и в других соединениях, подвергаемых малому износу. Втулка обрабатывается чистовой протяжкой и должна иметь относительно небольшую твердость, вал шлифуется по наружному диаметру. Как наиболее простой и экономичный, данный способ центрирования применяется чаще всего.

*Центрирование по внутреннему диаметру  $d$*  (рис. 3.7 б) используется при повышенных требованиях к совмещению осей вала и втулки, а также в случаях, когда втулка должна иметь повышенную твердость (в данном случае она шлифуется). Данный способ центрирования точнее, но дороже.

*Центрирование по боковым сторонам зубьев  $b$*  (рис. 3.7 в) используется при необходимости передачи больших крутящих моментов при знакопеременной нагрузке, в том числе с реверсированием. Способ не обеспечивает высокой точности совмещения осей и применяется реже двух других.

4. *Классы допусков для размеров центрирующих поверхностей* нормированы в зависимости от характера соединения (подвижное или неподвижное). При этом стандарт выделяет ряд классов допусков *предпочтительного применения*, на которые необходимо ориентироваться в первую очередь. Так, например, при центрировании по  $D$  для втулки рекомендуется класс допуска  $H7$ , для вала рекомендуются классы допусков  $f7$ ,  $g6$ ,  $h7$  (для подвижных соединений) и  $js7$  (для неподвижных соединений). *Классы допусков нецентрирующих размеров* назначаются менее точными, поскольку они должны обеспечить только собираемость. Например, для нецентрирующего наружного диаметра  $D$  стандарт рекомендует класс допуска  $a11$ . Таблицы для выбора классов допусков можно найти в [16].

5. *Посадки шлицевых прямобочных соединений* непосредственно стандартом не нормируются, но даны в виде рекомендаций в приложении к стандарту [16, с. 252–253; 19, с. 50–51]. При нормировании точности шлицевых соединений необходимо в первую очередь пользоваться посадками из рекомендуемого перечня.

При центрировании по  $D$  рекомендуется десять посадок с использованием классов допусков основных отверстий  $H7$ ,  $H8$  и  $H10$ . Кроме того, сразу даны рекомендуемые посадки по боковым сторонам шлицев с использованием классов допусков  $D9$ ,  $F8$  и  $F10$ .

При центрировании по  $d$  рекомендуется восемь посадок с использованием классов допусков  $H7$  и  $H8$ . Также одновременно нормируются 43 посадки по боковым сторонам зубьев.

При центрировании по  $b$  стандартом к выбору предлагается 19 посадок.

Следуя этим рекомендациям, при нормировании точности шлицевого соединения вначале назначают посадку для центрирующего диаметра и ширины зубьев, после чего подбирают классы допусков для нецентрирующего диаметра вала и втулки.

6. *Обозначение* прямобочного шлицевого соединения вала и втулки включает букву, указывающую на центрирующий размер, число зубьев  $z$ , а также номинальные размеры  $d$ ,  $D$  и  $b$  с соответствующими посадками и записывается следующим образом:

$$d - 8 \times 62 \frac{H7}{e8} \times 72 \frac{H12}{a11} \times 12 \frac{D9}{f8}.$$

Аналогично записываются обозначения шлицевой втулки и шлицевого вала по отдельности:

$$\begin{aligned} d - 8 \times 62 H7 \times 72 H12 \times 12 D9; \\ d - 8 \times 62 e8 \times 72 a11 \times 12 f8. \end{aligned}$$

В обозначении допускается не указывать посадки по нецентрирующим диаметрам. В первую очередь это относится к  $d$ , поскольку для вала класс допуска для нецентрирующего диаметра  $d$  стандартом вообще не нормируется (соответственно, в обозначении не может быть указана посадка). В этом случае в обозначение записывают только номинальный размер, например:

$$D - 8 \times 62 \times 72 \frac{H7}{f7} \times 12 \frac{F8}{js7}.$$

Посадка по  $b$  должна быть указана в обозначении обязательно, вне зависимости от того, является размер  $b$  центрирующим или нет.

## 3.2 Примеры выполнения заданий

### 3.2.1 Шпоночные соединения

#### *Исходные данные*

Номинальный диаметр вала (втулки) 35 мм, длина втулки 60 мм, вид шпоночного соединения – нормальное, исполнение № 3.

#### *Содержание задания*

1. Определить номинальные размеры шпоночного соединения.
2. Нормировать точность размеров шпонки и пазов на валу и во втулке.
3. Определить допуски и предельные отклонения размеров шпоночного соединения.
4. Определить предельные значения зазоров и натягов в посадках по ширине шпонки.
5. Выполнить схему расположения интервалов допусков.
6. Выполнить эскиз шпоночного соединения с обозначением посадок.
7. Записать условное обозначение шпонки.

### Ход выполнения задания

1. Для соединения вала и втулки с номинальным диаметром 35 мм и длиной втулки 60 мм из ГОСТ 23360-78 [19, с. 45–46] выписываем стандартные номинальные значения всех размеров шпоночного соединения.

Для шпонки находим:

- ширина шпонки  $b = 10$  мм;
- высота шпонки  $h = 8$  мм;
- длину шпонки из интервала 22...110 мм выбираем равной  $l = 56$  мм;
- фаска  $s = 0,4$  мм.

Для паза на валу и во втулке:

- ширина паза на валу  $b_1 = b = 10$  мм;
- глубина паза на валу  $t_1 = 5$  мм;
- длина паза на валу  $l_1 = l = 56$  мм;
- ширина паза во втулке  $b_2 = b = 10$  мм;
- глубина паза во втулке  $t_2 = 3,3$  мм;
- длина паза во втулке – не нормируется;
- радиус закругления или фаска  $s_1 = 0,4$  мм.

2. Назначаем точность изготовления размеров шпонки и пазов.

Для ширины шпонки (размер  $b$ ) назначаем класс допуска  $h9$ .

Для нормального соединения для ширины паза на валу (размер  $b_1$ ) назначаем класс допуска  $N9$ , для ширины паза во втулке (размер  $b_2$ ) – класс допуска  $JS9$ .

Для высоты шпонки (размер  $h$ ) назначаем класс допуска  $h11$ , поскольку  $h > 6$  мм.

Для глубины паза на валу и во втулке стандартом нормируются не классы допусков, а предельные отклонения:  $t_1 = 5^{+0,2}$ ;  $t_2 = 3,3^{+0,2}$ .

Для посадки «шпонка-вал» по длине назначаем следующие классы допусков: для длины шпонки (размер  $l$ ) –  $h14$ , для длины паза на валу (размер  $l_1$ ) –  $H15$ .

Найденные данные сводим в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Номинальные размеры и классы допусков шпоночного соединения

|                  | Шпонка      | Паз на валу      | Паз во втулке      |
|------------------|-------------|------------------|--------------------|
| Ширина           | $b = 10h9$  | $b_1 = 10N9$     | $b_2 = 10JS9$      |
| Высота (глубина) | $h = 8h11$  | $t_1 = 5^{+0,2}$ | $t_2 = 3,3^{+0,2}$ |
| Длина            | $l = 56h14$ | $l_1 = 56H15$    | не нормируется     |

3. Для найденных классов допусков определяем предельные отклонения по ГОСТ 25347-2013 [14] и рассчитываем допуски и предельные размеры (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Допуски и предельные размеры параметров шпоночного соединения

| Параметр               | Обозначение | Номинальный размер, мм | Класс допуска | Предельные отклонения, мм |        | Предельные размеры, мм |       | Допуск, мм |
|------------------------|-------------|------------------------|---------------|---------------------------|--------|------------------------|-------|------------|
|                        |             |                        |               | верхнее                   | нижнее | max                    | min   |            |
| Ширина шпонки          | $b$         | 10                     | $h9$          | 0                         | -0,036 | 10                     | 9,964 | 0,036      |
| Ширина паза на валу    | $b_1$       | 10                     | $N9$          | 0                         | -0,036 | 10                     | 9,964 | 0,036      |
| Ширина паза во втулке  | $b_2$       | 10                     | $JS9$         | +0,018                    | -0,018 | 10,018                 | 9,982 | 0,036      |
| Высота шпонки          | $h$         | 8                      | $h11$         | 0                         | -0,09  | 8                      | 7,91  | 0,09       |
| Глубина паза на валу   | $t_1$       | 5                      | –             | +0,2                      | 0      | 5,2                    | 5     | 0,2        |
| Глубина паза во втулке | $t_2$       | 3,3                    | –             | +0,2                      | 0      | 3,5                    | 3,3   | 0,2        |
| Длина шпонки           | $l$         | 56                     | $h14$         | 0                         | -0,74  | 56                     | 55,26 | 0,74       |
| Длина паза на валу     | $l_1$       | 56                     | $H15$         | +1,2                      | 0      | 57,2                   | 56    | 1,2        |

4. Определим предельные зазоры и натяги в посадках по ширине шпонки.

Для посадки «паз на валу – шпонка»  $10 \frac{N9}{h9}$ ;

$$S_{\max} = b_{1\max} - b_{\min} = 10 - 9,964 = 0,036 \text{ мм};$$

$$S_{\min} = b_{1\min} - b_{\max} = 9,964 - 10 = -0,036 \text{ мм} = -N_{\max}.$$

Так как  $S_{\max} > 0$ , а  $S_{\min} < 0$ , посадка переходная.

Для посадки «паз во втулке – шпонка»  $10 \frac{JS9}{h9}$

$$S_{\max} = b_{2\max} - b_{\min} = 10,018 - 9,964 = 0,054 \text{ мм};$$

$$S_{\min} = b_{2\min} - b_{\max} = 9,982 - 10 = -0,018 \text{ мм} = -N_{\max}.$$

Так как  $S_{\max} > 0$ , а  $S_{\min} < 0$ , посадка переходная.

5. Схема интервалов допусков шпоночного соединения по ширине шпонки показана на рисунке 3.8.

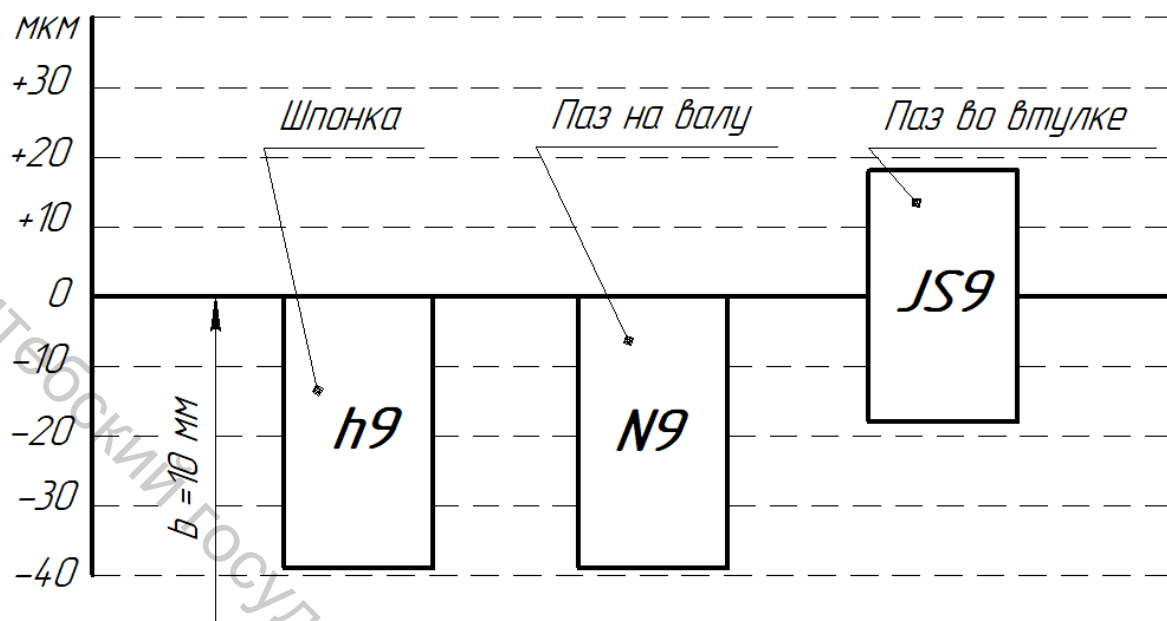


Рисунок 3.8 – Схема интервалов допусков шпоночного соединения

6. Выполняем эскиз шпоночного соединения с обозначением посадок (рис. 3.9).

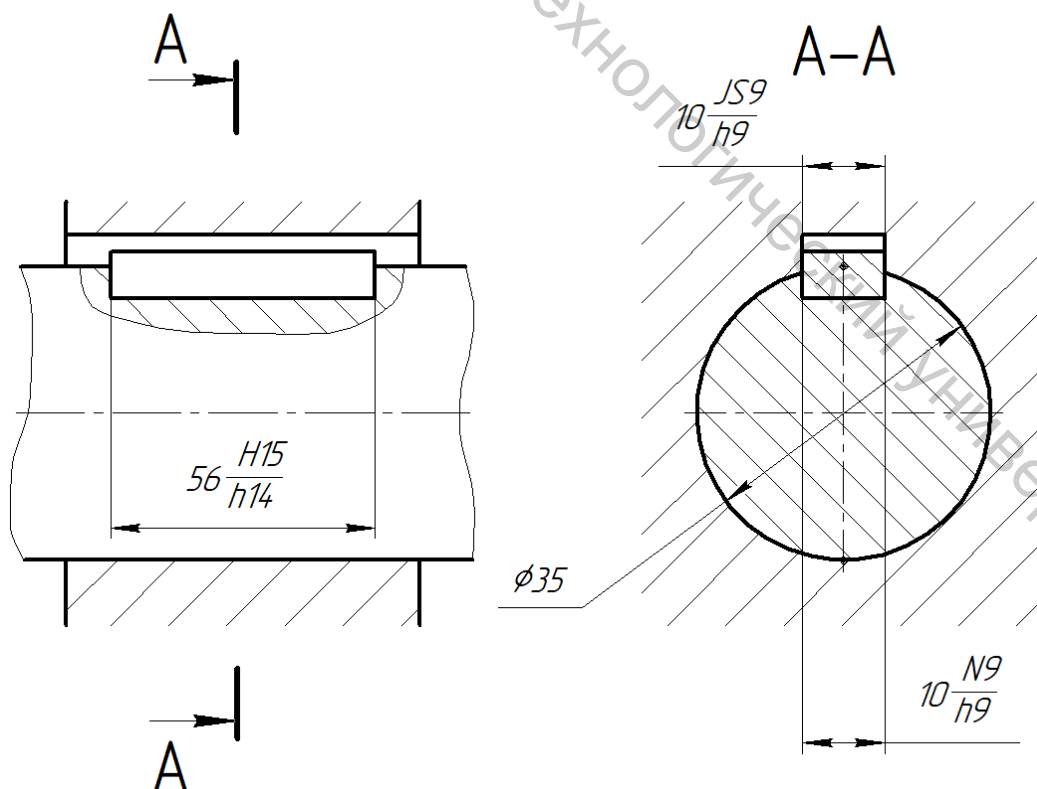


Рисунок 3.9 – Эскиз шпоночного соединения

7. Записываем условное обозначение шпонки:

Шпонка 3 – 10×8×56 ГОСТ 23360-78.

### 3.2.2 Шлицевые соединения

#### Исходные данные

Заданы следующие параметры шлицевого соединения: число зубьев  $z = 6$ , внутренний диаметр  $d = 11$  мм, наружный диаметр  $D = 14$  мм, способ центрирования – по наружному диаметру.

#### Содержание задания

1. Определить серию шлицевого соединения.
2. Назначить классы допусков размеров шлицевой втулки и шлицевого вала.
3. Записать условное обозначение шлицевого соединения.
4. Найти предельные отклонения размеров шлицевой втулки и шлицевого вала.
5. Изобразить эскиз с условным обозначением шлицевого соединения.

#### Ход выполнения задания

1. В соответствии со стандартом [19, с. 48–49] определяем, что шлицевое соединение  $6 \times 11 \times 14$  относится к *средней* серии и выписываем для него стандартное значение ширины зуба (шлица):  $b = 3$  мм.

2. Согласно рекомендациям стандарта [19, с. 50–51] подбираем для центрирующего диаметра  $D$  посадку  $\frac{H7}{f7}$ , для ширины зуба  $b$  – посадку  $\frac{F8}{js7}$ .

Для нецентрирующего диаметра  $d$  для втулки выписываем рекомендуемый класс допуска  $H11$ .

Класс допуска для вала по внутреннему нецентрирующему диаметру  $d$  не нормируется. Стандартом ограничено лишь его минимальное значение  $d_{\min} = d_1 = 9,9$  мм.

3. Условное обозначение заданного шлицевого соединения имеет вид

$$D - 6 \times 11 \times 14 \frac{H7}{f7} \times 3 \frac{F8}{js7}.$$

4. По ГОСТ 25347-2013 [14] определяем предельные отклонения размеров шлицевого вала и втулки. Результаты представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Предельные отклонения размеров шлицевого соединения

|        | $d$               | $D$                          | $b$                         |
|--------|-------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Втулка | $11H11^{(+0,11)}$ | $14H7^{(+0,018)}$            | $3F8^{(+0,020)}_{(+0,006)}$ |
| Вал    | $d_{\min} = 9,9$  | $14f7^{(-0,016)}_{(-0,034)}$ | $3js7^{(\pm 0,005)}$        |

5. Вычерчиваем эскиз шлицевого соединения для центрирования по  $D$ , показываем его условное обозначение (рис. 3.10).

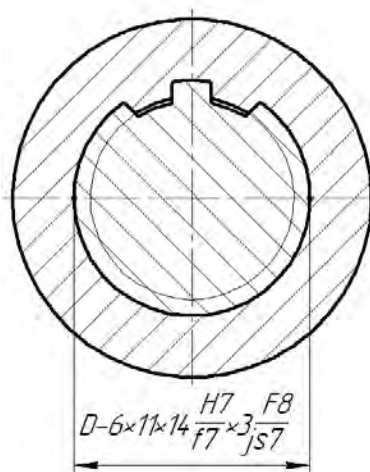


Рисунок 3.10 – Эскиз шлицевого соединения

## 4 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ МЕТРИЧЕСКОЙ РЕЗЬБЫ

### 4.1 Основные термины и определения

1. *Резьбовым соединением* называется соединение двух деталей с помощью резьбы, т. е. элементов деталей, имеющих один или несколько равномерно расположенных выступов винтового сечения, расположенных на боковой поверхности цилиндра или конуса. Деталь с внутренней резьбой принято коротко называть *гайкой*, деталь с наружной резьбой – *болтом*. Резьбовое соединение, т. е. соединение болта с гайкой, также называют *резьбовой посадкой*.

Основные термины и определения в отношении резьбы нормируются в ГОСТ 11708-82 [8].

2. *Профилем* резьбы называется профиль выступа и канавки резьбы в плоскости ее осевого сечения. В зависимости от фигуры профиля резьба бывает треугольной, трапецеидальной, пилообразной, круглой и прямоугольной. Наибольшее распространение имеет цилиндрическая треугольная резьба с углом профиля  $60^\circ$ , линейные размеры которой выражаются в метрической системе единиц. Такая резьба называется *метрической*. Обозначение метрической резьбы начинается с буквы М.

Профиль метрической резьбы в соответствии с ГОСТ 9150-2002 [7] показан на рисунке 4.1. В его основу положен равнобедренный треугольник высотой  $H$  со срезанными вершинами. Рабочая высота профиля  $H_1$  получается за

счет среза вершины острых углов у гайки на  $H/4$  и у болта на  $H/8$ . Исходная высота профиля  $H = \frac{P}{2\text{tg}30^\circ} = 0,866025404P$ , где  $P$  – шаг резьбы.

Реальный профиль впадин у наружной резьбы (болта) не должен выходить за линию плоского среза, расположенного на расстоянии  $H/4$  от вершины исходного треугольника, а у внутренней резьбы (гайки) – на расстоянии  $H/8$ .

3. Номинальные параметры резьбы характеризуют отдельные элементы ее сложного профиля и являются одинаковыми для болта и гайки<sup>1</sup>, они используются при нормировании точности резьбы. К номинальным параметрам метрической резьбы относятся: наружный диаметр; внутренний диаметр; средний диаметр; шаг резьбы; угол профиля; длина свинчивания.

4. Наружный диаметр  $d$  ( $D$ ) – диаметр воображаемого цилиндра, описанного вокруг вершин наружной резьбы (болта) или по впадинам внутренней резьбы (гайки). Этот диаметр называют также номинальным диаметром резьбы и указывают в ее обозначении сразу после буквы М.

Три ряда номинальных диаметров резьбы нормируются в ГОСТ 8724-2002 [6], причем при выборе диаметра следует отдавать предпочтение первому ряду. Например, для резьб диаметром свыше 1 мм первый ряд начинается так: 1; 1,2; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10 мм...

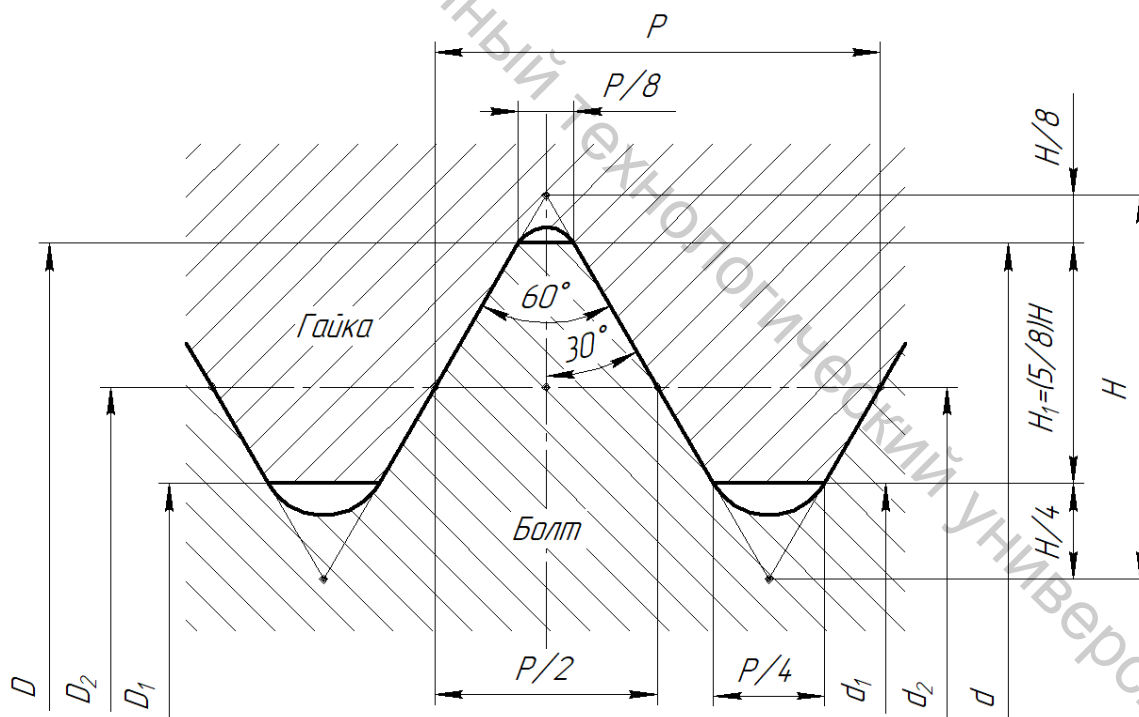


Рисунок 4.1 – Профиль метрической резьбы и ее основные параметры

<sup>1</sup> По аналогии с посадками гладких соединений, номинальные диаметры гайки обозначают большими, а болта – малыми буквами.

5. *Внутренний диаметр*  $d_1$  ( $D_1$ ) – диаметр воображаемого цилиндра, вписанного во впадины наружной резьбы (болта) или в вершины внутренней резьбы (гайки).

6. *Средний диаметр*  $d_2$  ( $D_2$ ) – диаметр воображаемого цилиндра, соосного с резьбой, каждая образующая которого пересекает профиль таким образом, что отрезок между точками профилей соседних витков, образованный при пересечении с канавкой, равен половине номинального шага  $P$  (рис. 4.1).

Значения среднего и внутреннего диаметров резьбы не назначаются отдельно, а рассчитываются в зависимости от наружного диаметра и шага. Соответствующие расчетные формулы содержатся в ГОСТ 24705-2004 [11]

$$\begin{aligned} D_1 &= D - 1,0825P; & d_1 &= d - 1,0825P; \\ D_2 &= D - 0,6495P; & d_2 &= d - 0,6495P. \end{aligned} \quad (4.1)$$

Рассчитанные по (4.1) значения диаметров (в мм) округляются до тысячных долей миллиметра.

7. *Шаг резьбы*  $P$  – расстояние по линии, параллельной оси резьбы, между средними точками ближайших одноименных боковых сторон профиля, лежащих в одной осевой плоскости по одну сторону от оси резьбы.

Поскольку для одного и того же диаметра можно нарезать резьбу с разными шагами, условно различают резьбу с *мелким шагом* и резьбу с *крупным шагом*. В ГОСТ 8724-2002 [6] для резьбы каждого диаметра установлено несколько мелких шагов и один крупный. Например, для резьбы М10 нормировано четыре мелких шага (0,5; 0,75; 1; 1,25), крупный шаг равен 1,5 мм.

8. *Угол профиля резьбы*  $\alpha$  – это угол между смежными боковыми сторонами резьбы в плоскости осевого сечения. Для метрической резьбы равен  $60^\circ$ .

9. *Длина свинчивания*  $l$  (высота гайки) – длина взаимного соприкосновения наружной и внутренней резьб в осевом направлении. В стандарте установлено три группы длин свинчивания: короткая ( $S$ ), нормальная ( $N$ ) и длинная ( $L$ ).

10. *Нормирование точности* метрической резьбы заключается в том, что ограничивают предельные контуры резьбы болта и гайки на длине свинчивания (рис. 4.2 и 4.3). При этом нормируются допуски следующих элементов:

- допуск наружного диаметра болта  $Td$ ;
- допуск внутреннего диаметра гайки  $TD_1$ ;
- допуск среднего диаметра болта и гайки  $Td_2$  и  $TD_2$ .

Допускаемые отклонения резьбы откладываются от номинального профиля в направлении, перпендикулярном оси резьбы, «в тело» болта и гайки. На

рисунках 4.2 и 4.3 обозначены половины допусков нормируемых элементов, поскольку изображена не вся резьба, а только одна ее половина (выше оси).

На рисунке 4.2 б верхнее предельное отклонение болта  $es$  равно нулю. По аналогии с системой допусков линейных размеров, такой болт называется *основным болтом*. Гайка, интервал допуска которой изображен на рисунке 4.3, б, называется *основной гайкой*, у нее нижнее предельное отклонение  $EI$  равно нулю.

Требования к точности шага  $P$  и угла профиля резьбы  $\alpha$  не нормируются отдельно. Их отклонения учитываются в допуске среднего диаметра  $TD_2$  для гайки и  $Td_2$  для болта. Средний диаметр резьбы, учитывающий влияние погрешностей шага и профиля, называют приведенным средним диаметром резьбы.

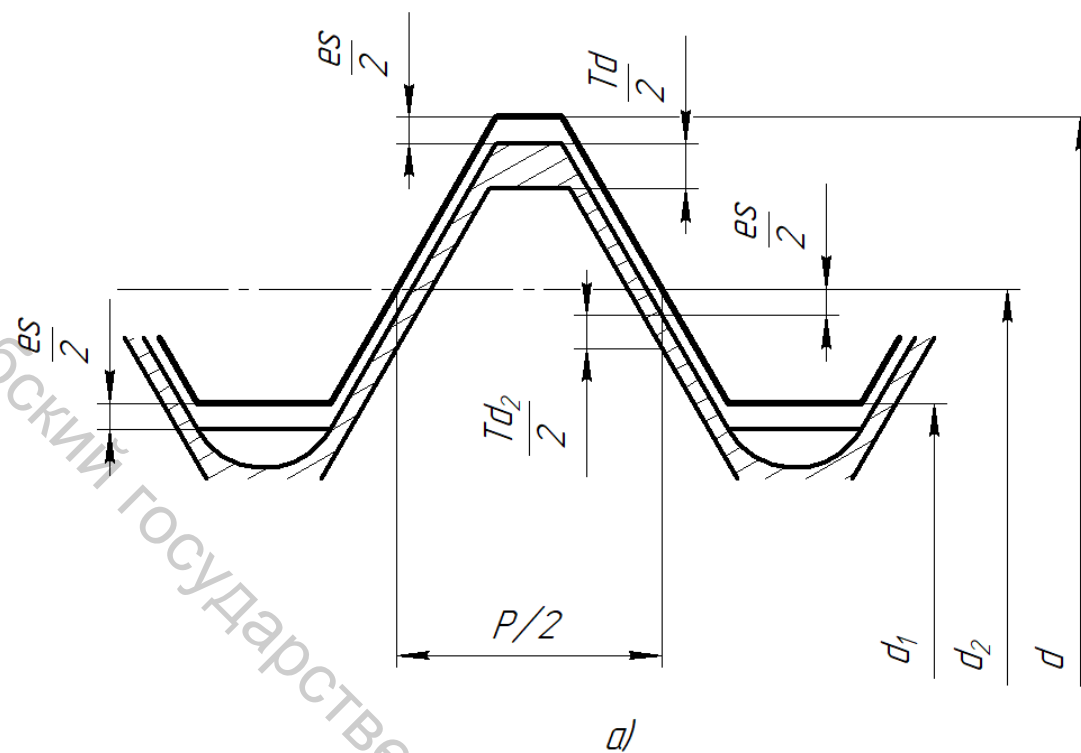
11. *Приведенный средний диаметр резьбы*  $D_{2np}$  и  $d_{2np}$  – это средний диаметр воображаемой идеальной резьбы, которая имеет те же шаг и угол наклона боковых сторон, что и номинальный профиль резьбы, и которая при той же длине свинчивания плотно (без зазора и натяга) соприкасается с реальной резьбой по боковым сторонам резьбы.

Иначе говоря, это диаметр условной идеальной резьбы, которой нет в действительности как материального объекта, и которая могла бы свернуться с реальным резьбовым элементом при всех погрешностях его параметров. Этот диаметр нельзя измерить непосредственно. Однако, измерив погрешности отдельных параметров реальной резьбы, этот диаметр можно рассчитать, после чего проконтролировать, находится ли он в заданных пределах. При расчете приведенного среднего диаметра необходимо учитывать компенсацию погрешности шага резьбы и компенсацию погрешности угла профиля.

12. *Компенсацией погрешности шага резьбы*  $f_p$  называется величина, на которую требуется уменьшить (для болта) или увеличить (для гайки) средний диаметр резьбы с погрешностью шага  $\delta_p$ , чтобы свинчивание двух деталей стало возможным (рис. 4.4). Для метрической резьбы

$$f_p = 1,732 \cdot |\delta_p|. \quad (4.2)$$

*d, e, f, g (неосновной болт)*



*h (основной болт)*

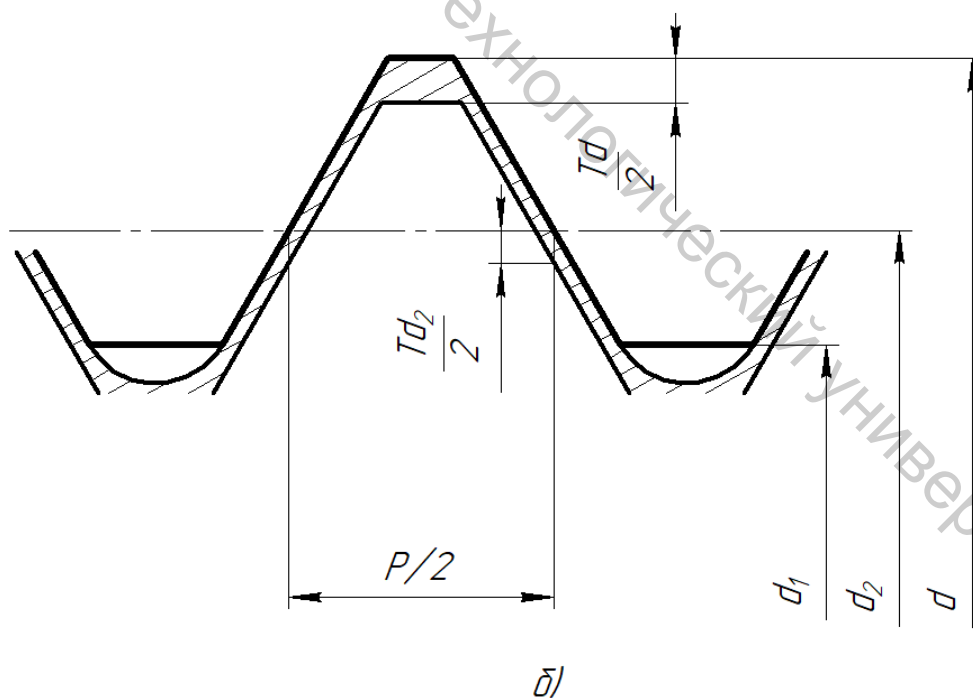


Рисунок 4.2 – Расположение интервалов допусков наружной резьбы

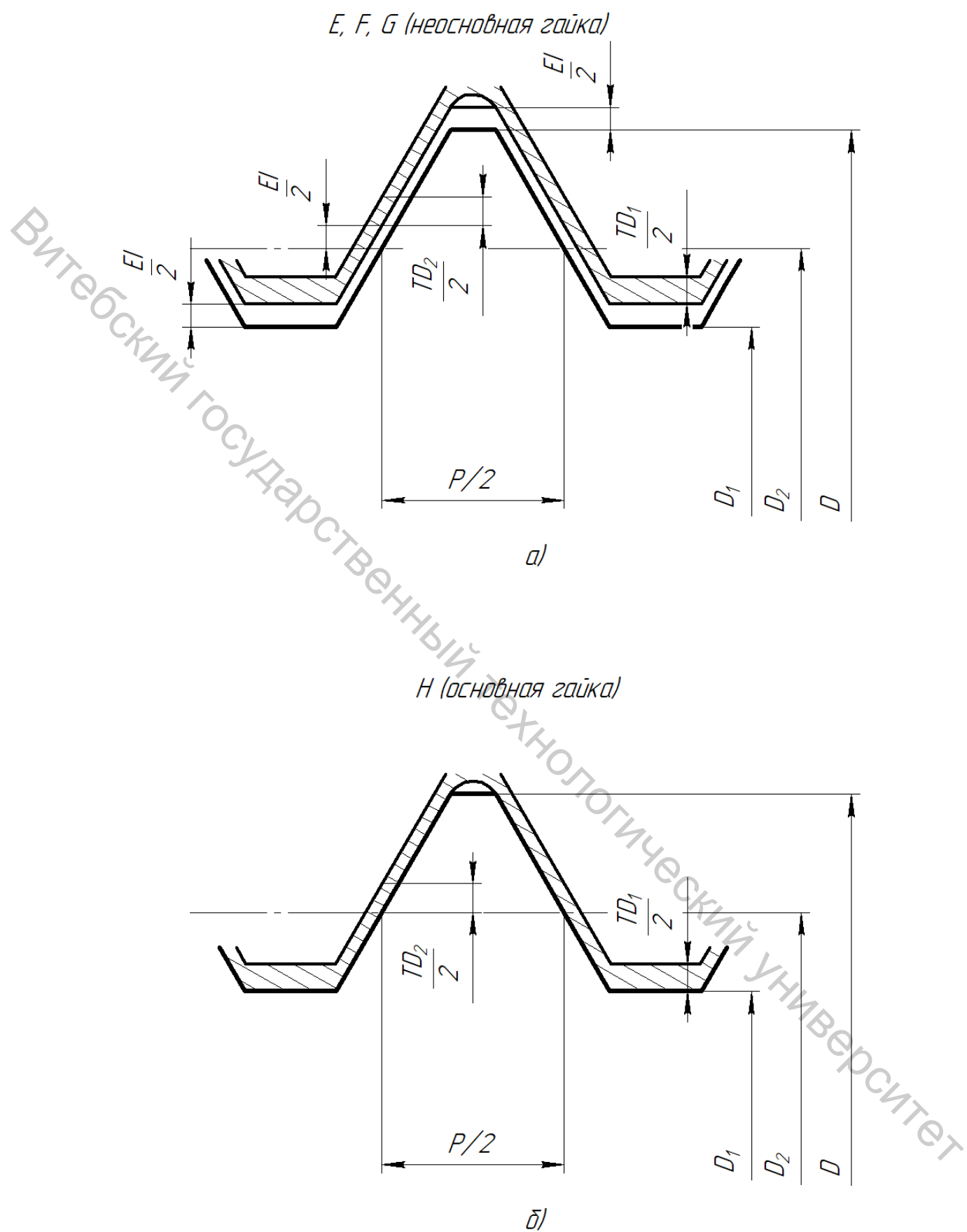


Рисунок 4.3 – Расположение интервалов допусков внутренней резьбы

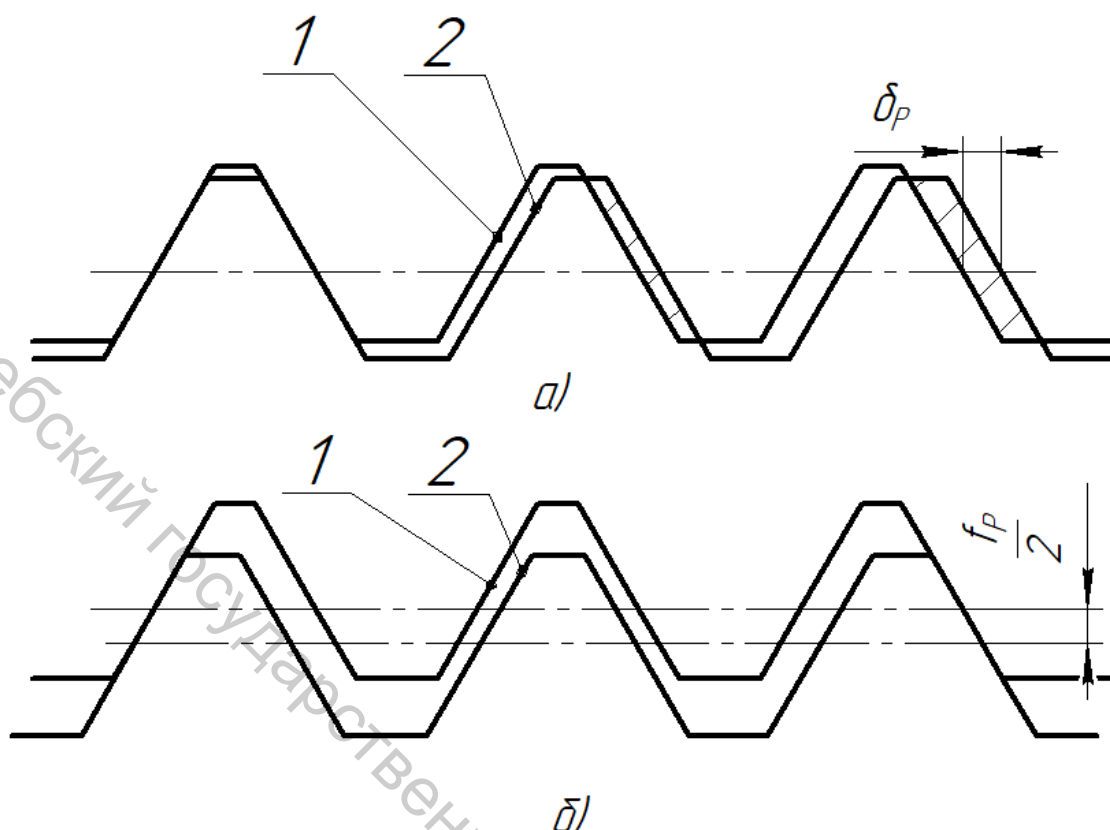


Рисунок 4.4 – Диаметральная компенсация погрешности шага резьбы:  
 а – свинчивание невозможно из-за накопленной погрешности шага  $\delta_P$ ; б – свинчивание становится возможным при уменьшенном среднем диаметре болта 1 – профиль гайки; 2 – профиль болта с погрешностью шага  $\delta_P$

13. Компенсацией погрешности угла профиля  $f_\alpha$  называется величина, на которую нужно уменьшить (для болта) или увеличить (для гайки) средний диаметр резьбы с погрешностью угла профиля  $\delta_{\alpha/2}$ , чтобы свинчивание стало возможным (рис. 4.5). Для метрической резьбы эта погрешность (в мм) определяется по формуле

$$f_\alpha = \frac{0,36P\delta_{\alpha/2}}{1000}. \quad (4.3)$$

При этом значение  $\delta_{\alpha/2}$  представляет собой среднее из абсолютных значений измеренных погрешностей половины угла левой и правой сторон профиля, выраженных в угловых минутах

$$\delta_{\alpha/2} = \frac{|\delta_{\alpha/2}^{лев}| + |\delta_{\alpha/2}^{прав}|}{2}. \quad (4.4)$$

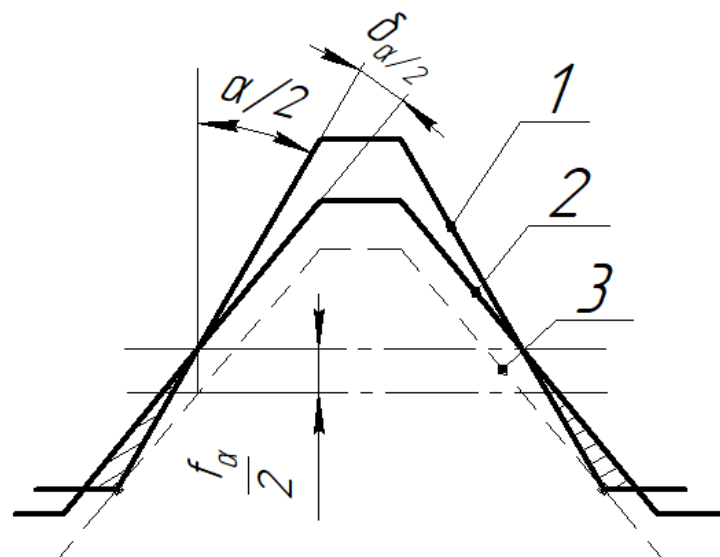


Рисунок 4.5 – Диаметральная компенсация погрешности угла профиля резьбы 1 – профиль гайки, 2 – профиль болта с погрешностью угла профиля  $\delta_{\alpha/2}$ ; 3 – профиль болта с уменьшенным средним диаметром

14. Значение приведенного среднего диаметра для внутренней и наружной резьбы определяют по следующим формулам

$$\begin{aligned} D_{2np} &= D_{2изм} - (f_p + f_{\alpha}); \\ d_{2np} &= d_{2изм} + f_p + f_{\alpha}, \end{aligned} \quad (4.5)$$

где  $D_{2изм}$  и  $d_{2изм}$  – измеренные (действительные) средние диаметры резьбы.

Таким образом, приведенный средний диаметр резьбы, рассчитанный по формулам (4.2)–(4.5), одновременно учитывает три возможных погрешности изготовления резьбы: погрешность самого среднего диаметра; погрешность шага; погрешность угла профиля. По этой причине именно значение приведенного среднего диаметра используют при определении годности резьбы по среднему диаметру.

Гайка является годной в случае, если действительное значение внутреннего диаметра  $D_{1изм}$  и значение приведенного среднего диаметра  $D_{2np}$  находятся в пределах интервалов допусков, т. е. выполняются неравенства

$$\begin{aligned} D_{1min} &\leq D_{1изм} \leq D_{1max}; \\ D_{2min} &\leq D_{2np} \leq D_{2max}. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Болт является годным, когда действительное значение наружного диаметра  $d_{изм}$  и значение приведенного среднего диаметра  $d_{2np}$  находятся в пределах интервалов допусков, т. е. выполняются неравенства:

$$\begin{aligned} d_{\min} &\leq d_{\text{изм}} \leq d_{\max}; \\ d_{2\min} &\leq d_{2np} \leq d_{2\max}. \end{aligned} \quad (4.7)$$

Допуск на третий диаметр ( $D$  для гайки и  $d_1$  для болта) не нормируется. Эти параметры ограничиваются только размерами резьбообрабатывающего инструмента.

15. *Основные отклонения* для деталей резьбовых соединений обозначаются так же, как и для гладких элементов деталей (прописные латинские буквы для гайки и строчные – для болта). Однако, их значительно меньше, чем для гладких деталей.

ГОСТ 16093-2004 [9] для резьбовых посадок с зазором нормирует следующие обозначения основных отклонений:

- для наружной резьбы (болт):  $d, e, f, g, h$  (верхние предельные отклонения);
- для внутренней резьбы (гайка):  $E, F, G, H$  (нижние предельные отклонения).

Основные отклонения болта  $d, e, f, g$  отрицательны; основное отклонение  $h$  равно нулю (основной болт).

Основные отклонения гайки  $E, F, G$  положительны; основное отклонение  $H$  равно нулю (основная гайка).

Числовые значения основных отклонений обычно принимаются одинаковыми для всех нормируемых диаметров резьбы и зависят от ее шага. Например, при шаге  $P = 2$  мм основное отклонение среднего и внутреннего диаметров гайки с обозначением  $G$  будет  $EI = +38$  мкм, а основное отклонение среднего и наружного диаметров болта с обозначением  $f$  будет  $es = -52$  мкм [19, с. 44].

16. *Степени точности* параметров резьбы, в соответствии с которыми назначаются допуски, обозначаются цифрами, как и качества для линейных размеров, и нормируются в ГОСТ 16093-2004 [9] следующим образом.

Для наружной резьбы: для диаметра  $d$  установлены степени точности 4, 6 и 8; для диаметра  $d_2$  – степени точности 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10.

Для внутренней резьбы: для диаметра  $D_1$  установлены степени точности 4, 5, 6, 7, 8; для диаметра  $D_2$  – степени точности 4, 5, 6, 7, 8, 9.

В зависимости от степени точности, шага и наружного диаметра установлены числовые значения допусков.

17. *Обозначение классов допусков* на резьбовой элемент детали состоит из обозначения класса допуска для среднего диаметра (он нормируется для болта и гайки) и обозначения класса допуска диаметра выступов (т. е. наружного диаметра для болта и внутреннего диаметра для гайки).

Например, обозначение  $6g5g$  расшифровывается так:  $6g$  – класс допуска на средний диаметр болта  $d_2$  (6 – степень точности,  $g$  – основное отклонение);  $5g$  – класс допуска на наружный диаметр болта  $d$ .

Аналогично, для обозначения  $4H5H$ :  $4H$  – класс допуска на средний диаметр гайки  $D_2$ ;  $5H$  – класс допуска на внутренний диаметр гайки  $D_1$ .

Если для обоих диаметров гайки или болта принят один и тот же класс допуска, то в обозначении он указывается только один раз.

18. Стандартом предусмотрен ограниченный *отбор* рекомендуемых классов допусков, а также выделены два класса допуска ( $6g$  и  $6H$ ) в качестве *предпочтительных*.

19. Полное обозначение резьбового элемента согласно ГОСТ 16093-2004 [9] должно включать следующую информацию:

- указание о виде резьбы (буква М – метрическая);
- значение номинального диаметра  $d$  ( $D$ );
- значение шага, если он мелкий (крупный шаг по умолчанию не указывается);
- буквы LH, если резьба с левой нарезкой (для резьбы с правой нарезкой не указывается ничего);
- класс допуска на средний диаметр  $d_2$  ( $D_2$ );
- класс допуска на диаметр выступов, т. е.  $d$  для болта и  $D_1$  для гайки;
- значение длины свинчивания, если она отлична от нормальной длины.

Примеры обозначений резьб с их расшифровкой приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Примеры обозначений резьбовых элементов

| Обозначение               | Расшифровка                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                         | 2                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| M10 – 6H                  | Резьба метрическая (гайка) с крупным шагом с номинальным (наружным) диаметром 10 мм; резьба правая; класс допуска среднего диаметра ( $D_2$ ) и внутреннего диаметра ( $D_1$ ) 6H; длина свинчивания нормальная (N)                                                    |
| M10 × 0,75 LH – 4H5H – 10 | Резьба метрическая (гайка) с номинальным (наружным) диаметром 10 мм с мелким шагом, равным 0,75 мм; резьба левая; класс допуска среднего диаметра ( $D_2$ ) 4H; класс допуска внутреннего диаметра ( $D_1$ ) 5H; длина свинчивания отлична от нормальной и равна 10 мм |
| M10 – 6g                  | Резьба метрическая (болт) с крупным шагом с номинальным (наружным) диаметром 10 мм; резьба правая; класс допуска среднего диаметра ( $d_2$ ) и наружного диаметра ( $d$ ) 6g; длина свинчивания нормальная (N)                                                         |

Окончание таблицы 4.1

| 1                      | 2                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M10×0,75LH – 5g6g – 20 | Резьба метрическая (болт) с номинальным (наружным) диаметром 10 мм с мелким шагом, равным 0,75 мм; резьба левая; класс допуска среднего диаметра ( $d_2$ ) 5g; класс допуска наружного диаметра ( $d$ ) 6g; длина свинчивания отлична от нормальной и равна 20 мм |

20. *Резьбовые посадки* образуются соединением гайки и болта со стандартными классами допусков. Допускается использовать любые сочетания классов допусков из имеющихся в стандарте, но предпочтение следует отдавать сочетанию рекомендуемых классов допусков.

21. В *обозначениях резьбовых посадок* классы допусков указываются в виде дроби, как в обозначениях гладких посадок. При этом в числителе указывается класс допуска гайки, а в знаменателе – класс допуска болта, например:

$$M6 \times 0,5LH - \frac{6H}{5g6g} - 10.$$

## 4.2 Пример выполнения задания

### 4.2.1 Исходные данные

Задана резьбовая посадка  $M10 - \frac{6H}{5g6g}$ .

Результаты измерений болта:

– измеренный средний диаметр  $d_{2изм} = 8,864$  мм;

– измеренный наружный диаметр  $d_{изм} = 9,822$  мм;

– погрешность шага  $\delta_p = +30$  мкм;

– погрешность половины угла профиля резьбы:  $\delta_{\alpha/2}^{лев} = -25'$ ;

$$\delta_{\alpha/2}^{прав} = +15'.$$

Результаты измерений гайки:

– измеренный средний диаметр  $D_{2изм} = 9,144$  мм;

– измеренный внутренний диаметр  $D_{1изм} = 8,219$  мм;

– погрешность шага  $\delta_p = 50$  мкм;

– погрешность половины угла профиля резьбы:  $\delta_{\alpha/2}^{лев} = -70'$ ;

$$\delta_{\alpha/2}^{прав} = +30'.$$

#### 4.2.2 Содержание задания

1. Определить номинальные параметры резьбовой посадки.
2. Найти основные отклонения и допуски диаметров болта и гайки.
3. Определить предельные размеры диаметров болта и гайки.
4. Рассчитать приведенный средний диаметр для болта и гайки и определить действительный зазор в резьбовом соединении.
5. Определить годность деталей в соответствии с заданными результатами измерений.
6. Вычертить схему расположения интервалов допусков заданной резьбовой посадки, указать на схеме номинальные размеры, допуски и предельные отклонения номинальных параметров резьбы.

#### 4.2.3 Ход выполнения задания

1. Согласно заданному обозначению резьбовой посадки, номинальный (наружный) диаметр резьбы  $d = D = 10$  мм. Поскольку в обозначении не указан шаг, задана резьба с крупным шагом. В соответствии с ГОСТ 8724-2004 для резьбы М10 крупный шаг равен  $P = 1,5$  мм [19, с. 35].

Номинальные значения среднего и внутреннего диаметров в соответствии с (4.1) равны

$$d_1 = D_1 = d - 1,0825P = 10 - 1,0825 \cdot 1,5 = 8,376 \text{ мм};$$

$$d_2 = D_2 = d - 0,6495P = 10 - 0,6495 \cdot 1,5 = 9,026 \text{ мм}.$$

2. Определим допуски для диаметров болта и гайки в соответствии с ГОСТ 16093-2004:

– для болта – допуск на средний диаметр (5 степень точности)  $Td_2 = 106$  мкм [19, с. 40-41]; допуск на наружный диаметр (6 степень точности)  $Td = 236$  мкм [19, с. 39];

– для гайки – допуск на средний диаметр (6 степень точности)  $TD_2 = 180$  мкм [19, с. 42-43]; допуск на внутренний диаметр (6 степень точности)  $TD_1 = 300$  мкм [19, с. 39].

Основные отклонения диаметров резьбы [19, с. 44]:

- для болта (отклонение  $g$ ) – верхнее предельное отклонение  $es = -32$  мкм;
- для гайки (отклонение  $H$ ) – нижнее предельное отклонение  $EI = 0$ .

3. Найдем предельные размеры диаметров болта и гайки.

Определяем предельные размеры гайки.

$$D_{\min} = D + EI = 10 + 0 = 10 \text{ мм}.$$

$D_{\max}$  – не нормируется, т. к. не нормируется допуск на наружный диаметр гайки. Реальный профиль впадины гайки не должен выходить за линию плоско-

го среза, расположенного на расстоянии  $H/8$  от вершины исходного треугольника профиля резьбы.

$$D_{1\min} = D_1 + EI = 8,376 + 0 = 8,376 \text{ мм.}$$

$$D_{1\max} = D_{1\min} + TD_1 = 8,376 + 0,3 = 8,676 \text{ мм.}$$

$$D_{2\min} = D_2 + EI = 9,026 + 0 = 9,026 \text{ мм.}$$

$$D_{2\max} = D_{2\min} + TD_2 = 9,026 + 0,18 = 9,206 \text{ мм.}$$

Находим предельные размеры болта.

$$d_{\max} = d + es = 10 + (-0,032) = 9,968 \text{ мм.}$$

$$d_{\min} = d_{\max} - Td = 9,968 - 0,236 = 9,732 \text{ мм.}$$

$$d_{1\max} = d_1 + es = 8,376 + (-0,032) = 8,344 \text{ мм.}$$

$d_{1\min}$  не нормируется, т. к. не нормируется допуск на внутренний диаметр болта. Реальный профиль впадины болта не должен выходить за линию плоского среза, расположенного на расстоянии  $H/4$  от вершины исходного треугольника профиля резьбы.

$$d_{2\max} = d_2 + es = 9,026 + (-0,032) = 8,994 \text{ мм.}$$

$$d_{2\min} = d_{2\max} - Td_2 = 8,994 - 0,106 = 8,888 \text{ мм.}$$

4. Для расчета приведенного среднего диаметра определим значения диаметральной компенсации погрешностей шага и угла профиля резьбы для каждой из деталей.

Находим диаметральные компенсации и приведенный средний диаметр болта.

Диаметральная компенсация погрешности шага

$$f_P = 1,732 \cdot |\delta_P| = 1,732 \cdot 0,03 = 0,052 \text{ мм.}$$

Отклонение половины угла профиля резьбы

$$\delta_{\alpha/2} = \frac{|\delta_{\alpha/2}^{\text{лев}}| + |\delta_{\alpha/2}^{\text{прав}}|}{2} = \frac{|-25'| + |15'|}{2} = 20'$$

Диаметральная компенсация погрешности угла

$$f_\alpha = \frac{0,36P\delta_{\alpha/2}}{1000} = \frac{0,36 \cdot 1,5 \cdot 20}{1000} = 0,011 \text{ мм.}$$

Приведенный средний диаметр болта

$$d_{2np} = d_{2изм} + f_P + f_\alpha = 8,864 + 0,052 + 0,011 = 8,927 \text{ мм.}$$

Находим диаметральные компенсации и приведенный средний диаметр гайки.

Диаметральная компенсация погрешности шага

$$f_P = 1,732 \cdot |\delta_P| = 1,732 \cdot 0,05 = 0,087 \text{ мм.}$$

Отклонение половины угла профиля резьбы

$$\delta_{\alpha/2} = \frac{|\delta_{\alpha/2}^{\text{лев}}| + |\delta_{\alpha/2}^{\text{прав}}|}{2} = \frac{|-70'| + |30'|}{2} = 50'.$$

Диаметральная компенсация погрешности угла

$$f_{\alpha} = \frac{0,36P\delta_{\alpha/2}}{1000} = \frac{0,36 \cdot 1,5 \cdot 50}{1000} = 0,027 \text{ мм.}$$

Приведенный средний диаметр гайки

$$D_{2np} = D_{2изм} - (f_p + f_{\alpha}) = 9,144 - (0,087 + 0,027) = 9,030 \text{ мм.}$$

Действительный зазор в резьбовом соединении равен

$$S = D_{2np} - d_{2np} = 9,030 - 8,927 = 0,103 \text{ мм.}$$

5. Результаты измерений и расчетов сводим в таблицу 4.2. Анализируя полученные данные, делаем выводы о годности деталей.

Таблица 4.2 – Определение годности резьбовых деталей

| Обозначение | Номинальный размер, мм | Предельные размеры, мм |       | Результаты измерений, мм | Вывод о годности детали                                                                        |
|-------------|------------------------|------------------------|-------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             |                        | max                    | min   |                          |                                                                                                |
| Болт        |                        |                        |       |                          |                                                                                                |
| $d$         | 10                     | 9,968                  | 9,732 | $d_{изм} = 9,822$        | По наружному и по среднему диаметру деталь выполнена в пределах поля допуска. Деталь годна     |
| $d_2$       | 9,026                  | 8,994                  | 8,888 | $d_{2np} = 8,927$        |                                                                                                |
| Гайка       |                        |                        |       |                          |                                                                                                |
| $D_1$       | 8,376                  | 8,676                  | 8,376 | $D_{1изм} = 8,219$       | По внутреннему диаметру действительный размер выходит за пределы поля допуска. Деталь не годна |
| $D_2$       | 9,026                  | 9,206                  | 9,026 | $D_{2np} = 9,030$        |                                                                                                |

6. Схема расположения интервалов допусков заданной резьбовой посадки показана на рисунке 4.6.

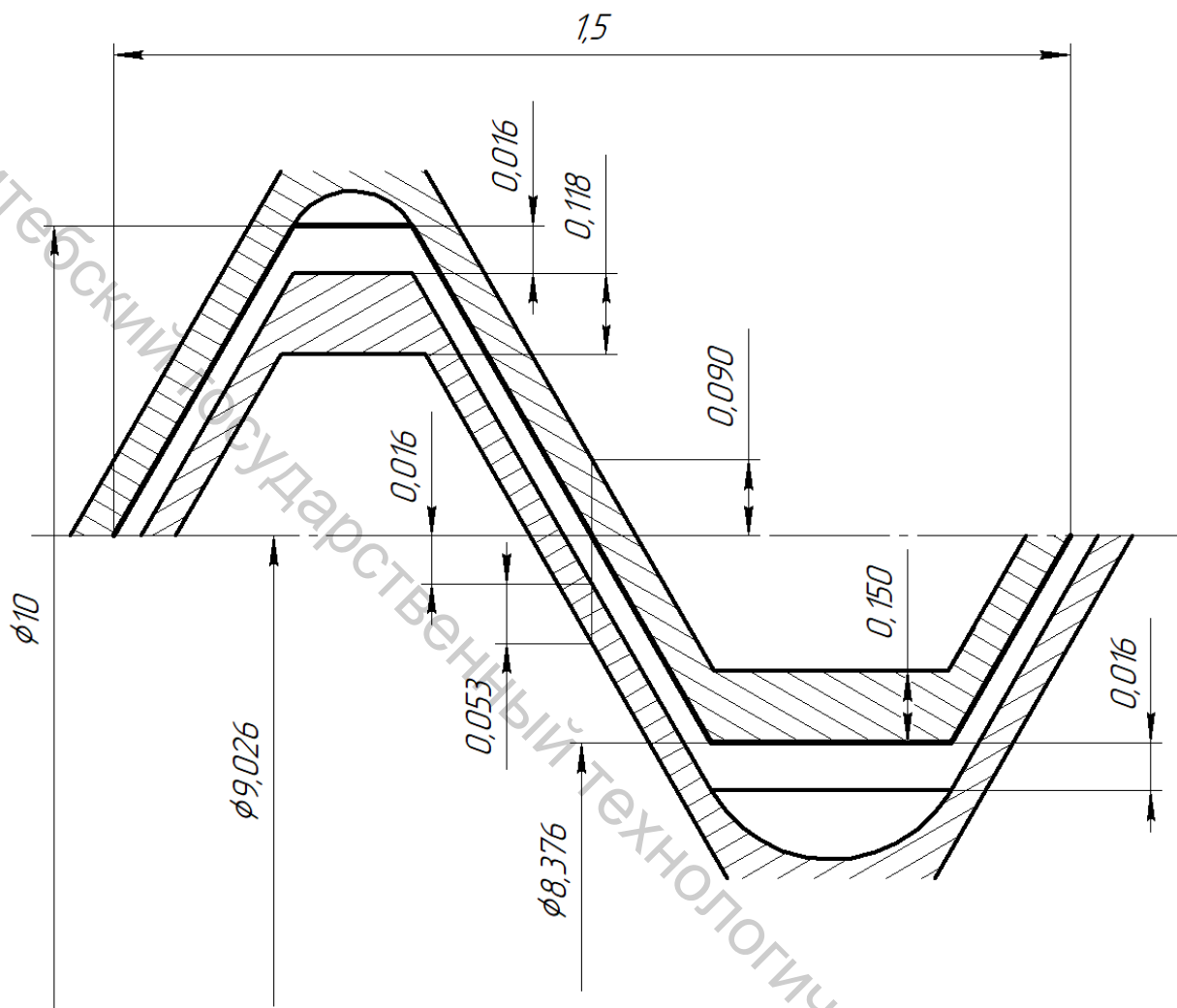


Рисунок 4.6 – Схема расположения интервалов допусков резьбовой посадки

## 5 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ПЕРЕДАЧ

### 5.1 Основные понятия и определения

1. *Зубчатыми передачами* называются механизмы, состоящие из зубчатых колес, которые сцепляются между собой и передают вращательное движение, преобразуя угловые скорости и крутящие моменты. Наибольшее распространение получили *цилиндрические* зубчатые колеса и передачи, т. е. передачи с параллельными осями.

Трудность при нормировании точностных требований к зубчатым колесам заключается в том, что эти детали являются сложными по своей геометрической форме, кроме того, они являются элементами кинематической цепи.

Исходя из необходимости правильного нормирования точности зубчатых колес для обеспечения разнообразных эксплуатационных требований, в нормативных документах установлены четыре группы почти независимых параметров, которые названы нормами точности.

2. *Нормы точности* на зубчатые колеса и передачи представляют собой набор требований к точности геометрических и кинематических параметров зубчатых колес и передач для оценки этой точности в отношении определенного эксплуатационного признака. Существуют следующие нормы точности:

- нормы кинематической точности;
- нормы плавности работы;
- нормы полноты контакта зубьев;
- нормы бокового зазора.

3. В *нормах кинематической точности* нормируются требования к таким геометрическим и кинематическим параметрам колеса и передачи, погрешность которых влияет на погрешность передаточного отношения за полный оборот колеса.

Нормы кинематической точности важны, например, для передач, входящих в кинематические цепи металлорежущих станков, измерительных устройств, приборов времени и т. п.

4. *Нормы плавности работы* нормируют требования к точности таких геометрических и кинематических параметров, погрешность которых проявляется многократно за один оборот колеса, т. е. один или несколько раз на каждом зубе. Эти требования имеют наибольшее значение для передач, работающих на больших скоростях (коробки скоростей автомобилей, редуктора станков и т. п.), поскольку такие погрешности являются источником ударов, приводящих к появлению шума и вибраций.

5. *Нормы контакта* нормируют требования к таким геометрическим и кинематическим параметрам колес и передач, погрешность которых влияет на величину площади поверхности касания при вращении зубьев сопрягаемых колес. Эти нормы точности наиболее актуальны для зубчатых колес, передающих большие крутящие моменты (в подъемных машинах, лебедках и т. п.).

6. В *нормах бокового зазора* нормируются требования к таким параметрам колеса и передачи, которые влияют на зазор по нерабочим профилям зубьев при соприкосновении по рабочим профилям зубьев. Эти нормы важны для передач, работающих в тяжелых температурных условиях, при большой загрязненности и для реверсивных передач.

7. Точность по первым трем группам нормам (кинематической точности, плавности работы и полноты контакта) нормируется *степенями точности*.

Степени точности нормируются в ГОСТ 1643-81 [4]. Всего существует 12 степеней точности (с 1 по 12), однако в стандарте допуски даны только для степеней точности с 3 по 12 (1 и 2 степени точности оставлены для будущего развития). Стандарт относится к зубчатым колесам с модулем от 1 до 55 мм диаметром до 6300 мм. Чем меньше номер степени точности, тем точнее колесо (или передача) и тем меньше допуски.

Особенностью системы степеней точности зубчатых колес и передач является то, что на каждую из трех норм могут быть установлены различные степени точности (это называется комбинированием степеней точности). Например, по нормам кинематической точности и нормам контакта можно принять 7 степень, а по плавности работы – более точную 6 степень. Обычно для конкретного колеса или передачи одна из норм точности является доминирующей, на нее и назначают более точную степень. Тем не менее, на практике очень часто встречаются случаи, когда все три степени точности выбирают одинаковыми.

8. Основным показателем бокового зазора является *гарантированный боковой зазор*  $j_{nmin}$ , т. е. наименьший зазор, который получается при выполнении требований к колесу зубчатой пары, нормируемых в стандарте.

Для нормирования показателей бокового зазора в стандарте существует три ряда точности.

Первый ряд – это ряд *видов сопряжений* со следующими условными обозначениями:  $H, E, D, C, B, A$  (при этом  $H$  означает, что гарантированный боковой зазор равен нулю, а для  $A$  его значение является максимальным).

Вторым рядом точностей по боковому зазору является *ряд классов отклонений межосевого расстояния*, обозначаемых римскими цифрами от I до VI в порядке убывания точности. В стандарте указаны соответствия видов сопряжений и классов межосевого расстояния, но их разрешается изменять (т. е. эти соответствия являются рекомендуемыми).

Третьим рядом точности по нормам бокового зазора можно считать ряд *условных видов допуска на боковой зазор*, которые обозначаются буквами  $h, d, c, b, a, z, y, x$  в порядке возрастания допуска.

9. Полное *условное обозначение* точности зубчатого колеса или зубчатой передачи записывается в следующей последовательности:

- степень точности по нормам кинематической точности;
- степень точности по нормам плавности;
- степень точности по нормам контакта зубьев;
- вид сопряжения зубчатых колес;
- вид допуска на боковой зазор;
- класс межосевого отклонения;
- наименьшее значение бокового зазора;
- номер стандарта (ГОСТ 1643-81).

Пример условного обозначения:

7–8–6–Ca/V–128 ГОСТ 1643-81.

Данная запись означает, что для колеса задана 7 степень точности по нормам кинематической точности; 8 степень точности по нормам плавности; 6 степень точности по нормам контакта; вид сопряжения зубчатых колес  $C$ , вид допуска на боковой зазор  $a$ , класс отклонений межосевого расстояния  $V$ , боковой зазор не более 128 мкм.

Если сочетания класса межосевого отклонения и вида допуска на боковой зазор не отличаются от рекомендуемых в стандарте, то они не указываются в обозначении. То же самое касается величины минимального значения бокового зазора. Таким образом, в большинстве случаев на практике обозначение выглядит короче, например:

7–8–6– $C$  ГОСТ 1673-81.

Такая запись означает, что для вида сопряжения  $C$  нормируются рекомендуемые стандартом вид допуска и класс межосевого расстояния (из стандарта можно узнать, что рекомендуемый вид допуска в данном случае  $c$ , а класс межосевого расстояния – IV).

Стандарт допускает случаи, когда какая-либо степень точности вообще не нормируется. Тогда в обозначении вместо ее номера указывается буква  $N$ , например:

7– $N$ –6– $C$  ГОСТ 1673-81.

В случаях, когда по всем трем нормам точности нормируется одна и та же степень точности, она указывается в обозначении только один раз, например:

8– $B$  ГОСТ 1673-81.

10. Подробное рассмотрение *показателей точности*, значения которых назначаются в зависимости от установленных степеней точности, выходит по объему за рамки данных методических указаний. Определения показателей можно найти в стандарте [4], методическом пособии [17], справочной литературе [16], учебниках [18]. При выполнении курсовой работы следует назначить допуски по следующим 18 показателям.

*По нормам кинематической точности:*

- допуск радиального биения зубчатого венца  $F_r$ ;
- допуск на накопленную погрешность шага  $F_p$ ;
- допуск на накопленную погрешность  $k$  шагов  $F_{pk}$ .

*По нормам плавности:*

- допуск на местную кинематическую погрешность шага  $f'_i$ ;
- предельные отклонения шага  $\pm f_{pt}$ ;
- допуск на погрешность профиля  $f_f$ .

*По нормам контакта зубьев:*

- суммарное пятно контакта по высоте и ширине зуба;
- допуск на непараллельность  $f_x$ ;
- допуск на перекося осей  $f_y$ ;
- допуск на направление зуба  $F_\beta$ .

*По нормам бокового зазора:*

- гарантированный боковой зазор  $j_{n\min}$ ;
- предельные отклонение межосевого расстояния  $\pm f_a$ ;
- наименьшее дополнительное смещение исходного контура  $-E_{Hs}, +E_{Hi}$ ;
- допуск на смещение исходного контура шестерни  $T_H$ ;
- допуск на среднюю длину общей нормали  $T_{Wm}$ ;
- допуск на длину общей нормали  $T_W$ ;
- наименьшее отклонение толщины зуба  $-E_{cs}$ ;
- допуск на толщину зуба  $T_C$ .

## **5.2 Пример выполнения задания**

### **5.2.1 Исходные данные**

Степени точности и вид сопряжения зубчатой пары 8-7-6-B, модуль  $m = 5$  мм, число зубьев шестерни  $z_1 = 20$ , число зубьев колеса  $z_2 = 40$ , ширина зубчатого венца  $b_w = 50$  мм.

### **5.2.2 Содержание задания**

Определить по стандарту [4] или справочной литературе [16, 19] и выписать значения показателей точности.

### **5.2.3 Ход выполнения задания**

1. Найдем некоторые геометрические параметры шестерни, колеса и передачи в целом, необходимые для определения ряда допусков.

Делительный диаметр шестерни  $d_1 = mz_1 = 5 \cdot 20 = 100$  мм, колеса  $d_2 = mz_2 = 5 \cdot 40 = 200$  мм.

Длина дуги делительной окружности шестерни  $L_1 = \pi d_1 = 3,14 \cdot 100 = 314$  мм; колеса  $L_2 = \pi d_2 = 3,14 \cdot 200 = 628$  мм.

Межосевое расстояние зубчатой передачи  $a_w = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{100 + 200}{2} = 150$  мм.

2. Определяем показатели кинематической точности (8 степень точности).

Допуск радиального биения зубчатого венца  $F_r$ : для шестерни 50 мкм, для колеса 71 мкм [19, с. 52].

Допуск на накопленную погрешность шага  $F_p$ : для шестерни 63 мкм, для колеса 90 мкм [19, с. 53].

Допуск на накопленную погрешность  $k$  шагов  $F_{pk}$  берется по длине дуги делительной окружности  $L$ , соответствующей  $1/6$  части зубьев (с округлением до целого зуба в большую сторону). Следовательно, для шестерни необходимо учитывать  $z_1' = \frac{20}{6} = 3,3 \approx 4$  зуба, для колеса  $z_2' = \frac{40}{6} = 6,6 \approx 7$  зубьев.

Искомая длина дуги для шестерни  $L_1 = \pi m z_1' = 3,14 \cdot 5 \cdot 4 = 62,8$  мм; для колеса  $L_2 = \pi m z_2' = 3,14 \cdot 5 \cdot 7 = 109,9$  мм.

Тогда допуск на накопленную погрешность  $k$  шагов  $F_{pk}$  равен: для шестерни 50 мкм, для колеса 63 мкм [19, с. 53].

3. Определяем показатели норм точности по плавности (7 степень точности).

Допуск на местную кинематическую погрешность шага  $f_i'$ : для шестерни 32 мкм, для колеса 36 мкм [19, с. 54–57].

Предельные отклонения шага  $\pm f_{pt}$ : для шестерни 18 мкм, для колеса 20 мкм [19, с. 54–57].

Допуск на погрешность профиля  $f_f$ : для шестерни 14 мкм, для колеса 16 мкм [19, с. 54–57].

4. Определяем показатели норм точности по контакту зубьев (6 степень точности).

Суммарное пятно контакта по высоте зуба не менее 50 %, по длине зуба не менее 70 % [19, с. 60].

Допуск на непараллельность осей  $f_x = 12$  мкм [19, с. 58–60].

Допуск на перекос осей  $f_y = 6,3$  мкм [19, с. 58–60].

Допуск на направление зуба  $F_\beta = 12$  мкм [19, с. 58–60].

5. Определяем показатели норм точности по боковому зазору (вид сопряжения В).

Гарантированный боковой зазор  $j_{n\min} = 160$  мкм [19, с. 61].

Предельные отклонение межосевого расстояния  $\pm f_a = 80$  мкм [19, с. 61].

Наименьшее дополнительное смещение исходного контура  $-E_{Hs}, +E_{Hi}$ : для шестерни 160 мкм, для колеса 200 мкм [19, с. 62].

Допуск на смещение исходного контура шестерни  $T_H$ : для шестерни 140 мкм, для колеса 200 мкм [19, с. 63].

Допуск на среднюю длину общей нормали  $T_{Wm}$ : для шестерни 70 мкм, для колеса 100 мкм [19, с. 64].

Допуск на длину общей нормали  $T_W$ : для шестерни 100 мкм, для колеса 140 мкм [19, с. 64].

Наименьшее отклонение толщины зуба  $-E_{cs}$ : для шестерни 120 мкм, для колеса 140 мкм [19, с. 65].

Допуск на толщину зуба  $T_C$ : для шестерни 100 мкм, для колеса 140 мкм [19, с. 66].

## 6 РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

### 6.1 Основные понятия и определения

1. При рассмотрении совокупности размеров детали или сборочной единицы требуется связывать между собой размеры отдельных деталей (или отдельных элементов одной детали) и решать вопросы совместного нормирования точности к ним.

*Размерной цепью* называется совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи по обеспечению точности.

Основные понятия и методы расчета размерных цепей приведены в методических указаниях РД-50-635-87 [20].

2. В зависимости от разных классификационных признаков можно выделить несколько видов размерных цепей:

- по расположению звеньев – плоские и пространственные; линейные и угловые;
- по назначению – конструкторские, технологические и измерительные;
- по месту в изделии – детальные и сборочные.

*Конструкторские* размерные цепи связывают друг с другом размеры одной конструкции (например, одной детали). При обработке детали имеет место *технологическая* размерная цепь, где замыкающим звеном является размер обрабатываемого элемента детали. При измерениях средство измерения вместе со

вспомогательными элементами образуют *измерительную* размерную цепь, где замыкающим звеном является размер измеряемого элемента детали.

Некоторые примеры линейных плоских размерных цепей приведены на рисунке 6.1.

При токарной обработке детали, изображенной на рисунке 6.1 а, размер  $A_0$  получается последним, следовательно, является замыкающим звеном размерной цепи. Точность изготовления этого размера будет зависеть от того, насколько точно будут выполнены размеры составляющих звеньев размерной цепи  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$ . Аналогично, номинальный размер и предельные отклонения зазора  $B_0$ , возникающего при сборке узла, показанного на рисунке 6.1 б, зависят от номинальных размеров и предельных отклонений составляющих звеньев  $B_1$  и  $B_2$ .

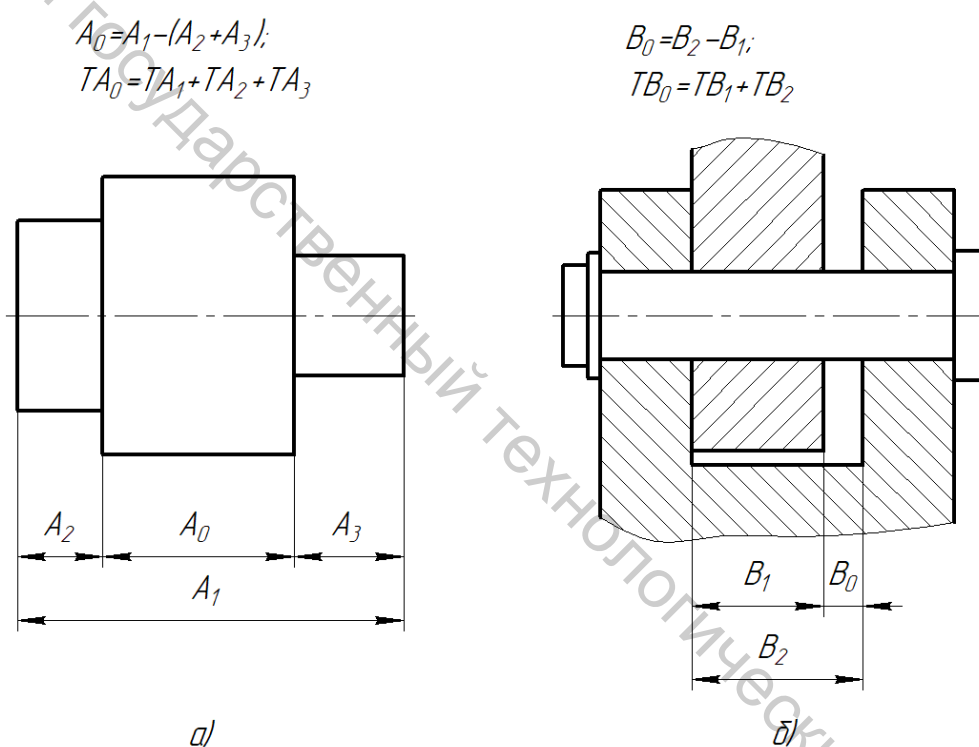


Рисунок 6.1 – Примеры размерных цепей: а – детальная, б – сборочная

3. Размеры, входящие в размерную цепь, называют *составляющими звеньями*, и обозначают чаще всего прописными русскими или латинскими буквами с числовыми индексами:  $A_1$ ,  $A_2$  и т. д.

4. *Замыкающим звеном* (при решении некоторых задач – *исходным звеном*) называют размер, получаемый в размерной цепи последним при обработке или сборке. Этот размер, в отличие от составляющих, обозначают с индексом «0» или «Δ», например:  $A_0$ ,  $A_\Delta$ .

Составляющие и замыкающее звенья размерной цепи связаны между собой одной важной особенностью, позволяющей разделить составляющие звенья на две группы: увеличивающие звенья и уменьшающие звенья.

5. *Увеличивающим* звеном размерной цепи называется звено, с увеличением которого размер замыкающего звена тоже увеличивается. *Уменьшающим* звеном размерной цепи называется звено, с увеличением которого замыкающее звено уменьшается.

В размерной цепи на рисунке 6.1 а, увеличивающим является размер  $A_1$ , уменьшающими являются размеры  $A_2$  и  $A_3$ . В размерной цепи на рисунке 6.1 б увеличивающим размером будет  $B_2$ , уменьшающим –  $B_1$ .

В зависимости от исходных данных о размерах и точности звеньев размерной цепи, а также от цели, ради которой рассматриваются ее звенья, различают *две задачи*.

6. *Первая задача* (которую также называют *проверочной* или *обратной*) состоит в определении предельных размеров замыкающего звена размерной цепи, когда известны предельные размеры остальных составляющих звеньев. Необходимость в решении этой задачи возникает тогда, когда закончилось конструирование объекта и стали известны значения всех составляющих звеньев и установлены требования к их точности.

7. *Вторая задача* (которую также называют *проектировочной* или *прямой*) состоит в определении предельных размеров составляющих звеньев размерной цепи, причем известны предельные размеры замыкающего звена и номинальные значения размеров составляющих звеньев. При решении этой задачи замыкающее звено обычно называют *исходным звеном*. Данную задачу решают на этапе проектирования конструкции.

При решении задач используют различные методы.

8. *Метод полной взаимозаменяемости* состоит в том, что расчеты выполняются исходя из всех возможных сочетаний наибольших и наименьших предельных размеров цепи. Этот метод достижения точности замыкающего звена также называют «*расчетом на максимум-минимум*». Данный метод расчета полностью обеспечивает требуемую точность замыкающего или исходного звена без необходимости дополнительной обработки отдельных звеньев цепи. Однако, в ряде случаев такой способ достижения точности экономически невыгоден, поскольку предъявляет слишком высокие требования к точности размеров составляющих звеньев. В этом случае применяют другие методы достижения точности замыкающего звена: метод неполной взаимозаменяемости, метод групповой взаимозаменяемости, метод пригонки, метод регулирования

9. *Решение первой задачи* (проверочной) методом полной взаимозаменяемости выполняется в следующей последовательности.

Известны номинальные размеры и предельные отклонения всех составляющих звеньев и требуется определить предельные размеры замыкающего звена.

Номинальный размер замыкающего звена определяют по формуле

$$A_0 = \sum A_{y\vartheta} - \sum A_{y\mu}, \quad (6.1)$$

где  $\sum A_{y\vartheta}$  – сумма номинальных размеров всех увеличивающих звеньев;  
 $\sum A_{y\mu}$  – сумма номинальных размеров всех уменьшающих звеньев.

Допуск замыкающего звена при расчете на «максимум-минимум» определяется как сумма допусков всех составляющих звеньев

$$TA_0 = \sum TA_i. \quad (6.2)$$

Верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} Es(A_0) &= \sum Es(A_{y\vartheta}) - \sum Ei(A_{y\mu}); \\ Ei(A_0) &= \sum Ei(A_{y\vartheta}) - \sum Es(A_{y\mu}), \end{aligned} \quad (6.3)$$

где  $Es(A_0)$ ,  $Ei(A_0)$  – соответственно верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена;  $\sum Es(A_{y\vartheta})$  – сумма верхних отклонений увеличивающих (уменьшающих) звеньев;  $\sum Ei(A_{y\mu})$  – сумма нижних отклонений увеличивающих (уменьшающих) звеньев.

Наибольший и наименьший предельные размеры замыкающего звена могут быть также определены через предельные размеры составляющих звеньев

$$\begin{aligned} A_{0\max} &= \sum A_{i\max(y\vartheta)} - \sum A_{i\min(y\mu)}; \\ A_{0\min} &= \sum A_{i\min(y\vartheta)} - \sum A_{i\max(y\mu)}. \end{aligned} \quad (6.4)$$

10. *Решение второй задачи* (проектировочной) по методу «максимума-минимума» может быть выполнено двумя способами.

Первый способ – *способ равных допусков*. Этот способ используется в тех случаях, когда размеры всех составляющих звеньев примерно одинаковы, например, находятся в одном интервале номинальных размеров, и могут быть изготовлены с примерно одинаковыми экономическими затратами. Допуск всех составляющих звеньев принимают одинаковым, а его значение предварительно определяют по формуле

$$TA_i = \frac{TA_0}{n-1}, \quad (6.5)$$

где  $TA_i$  – допуск составляющих звеньев;  $TA_0$  – допуск исходного звена,  $n$  – число всех звеньев в цепи (включая исходное).

Далее обычно выполняют корректировку допусков, назначая несколько большие, чем  $TA_i$ , допуски на сложные в изготовлении звенья, и несколько меньшие допуски на звенья, более простые в изготовлении. После такой корректировки выполняют проверочный расчет, подтверждающий, что сумма допусков составляющих звеньев не превышает допуск замыкающего звена

$$TA_0 \geq \sum TA_i. \quad (6.6)$$

Второй способ – *способ одного качества*. На все составляющие звенья назначаются допуски по одному качеству, при этом учитывается, что номинальные размеры составляющих звеньев могут принадлежать разным интервалам.

Для нахождения качества определяют среднее число единиц допуска

$$a_m = \frac{TA_0}{\sum i}, \quad (6.7)$$

где  $\sum i$  – сумма единиц допуска всех составляющих звеньев размерной цепи.

Полученное значение  $a_m$  может не совпадать со значениями, принятыми в стандарте для определенного качества. Поэтому выбирается ближайший стандартный допуск, по которому назначаются стандартные допуски в соответствии с номинальными размерами составляющих звеньев.

Далее, как и в первом способе, проводится проверочный расчет по формуле (6.6) и в случае необходимости (если неравенство не выполняется) производится корректировка качества в сторону повышения точности.

После определения допусков составляющих размеров назначают их предельные отклонения. Обычно для увеличивающих звеньев предельные отклонения принимают как для основных отверстий, а для размеров уменьшающих звеньев – как для основных валов.

## 6.2 Пример выполнения задания

### 6.2.1 Исходные данные

Задан сборочный чертеж узла.

Исходные данные для решения первой задачи<sup>1</sup>: детали узла по увеличивающим размерам изготовлены по  $H8$ , по уменьшающим – по  $h7$ , номинальное значение размера замыкающего звена  $A_0 = 0,5$ .

Исходные данные для решения второй задачи: размер исходного звена  $A_0 = 0,5_{-0,1}$ .

### 6.2.2 Содержание задания

1. Изобразить эскиз заданного сборочного узла, составить схему сборочной размерной цепи.

2. Выявить на схеме замыкающее звено, увеличивающие и уменьшающие звенья, задать номинальные размеры составляющих звеньев, определить номинальный размер замыкающего звена.

3. Найти предельные отклонения замыкающих звеньев; определить допуск и предельные отклонения замыкающего звена методом полной взаимозаменяемости (первая задача).

4. По заданному допуску и предельным отклонениям исходного звена определить предельные отклонения замыкающих звеньев методом одного качества (вторая задача).

### 6.2.3 Ход выполнения задания

1. Вычерчиваем эскиз сборочного узла (рис. 6.2). На эскиз наносим схему сборочной размерной цепи, выбрав в качестве замыкающего звена зазор между крышкой и подшипником  $A_0$ .

2. Выявляем на схеме размерной цепи увеличивающие и уменьшающие размеры (рис. 6.3):

– увеличивающие размеры –  $A_5, A_6, A_7$ ;

– уменьшающие размеры –  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_8$ .

Назначаем номинальные размеры составляющих звеньев (мм)<sup>2</sup>:

$$A_1 = 27; A_2 = 110; A_3 = 27; A_4 = 16; A_5 = 0,5; A_6 = 195; A_7 = 0,5; A_8 = 15,5.$$

Номинальный размер замыкающего звена

$$A_0 = \sum A_{ув} - \sum A_{ум} = (A_5 + A_6 + A_7) - (A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_8) = \\ = (0,5 + 195 + 0,5) - (27 + 110 + 27 + 16 + 15,5) = 0,5 \text{ мм}.$$

3. Решаем первую задачу.

<sup>1</sup> Для составляющих звеньев  $A_1$  и  $A_3$ , представляющих собой ширину колец стандартных подшипников качения, номинальные размеры и предельные отклонения должны назначаться по соответствующим стандартам в зависимости от типа подшипника, его серии и класса точности. Поскольку в задании курсовой работы подробная спецификация подшипника не приводится, при решении задачи допускается этого не учитывать.

<sup>2</sup> Значения размеров предварительно определяются по чертежу задания, после чего должны быть скорректированы для получения требуемого значения  $A_0$ .

Определим предельные отклонения, предельные размеры и допуски составляющих звеньев [19, с. 5–6]. Результаты сводим в таблицу 6.1.

Допуск замыкающего звена по методу полной взаимозаменяемости равен:

$$TA_0 = \sum TA_i = 0,021 + 0,035 + 0,021 + 0,018 + 0,014 + 0,072 + 0,014 + 0,018 = 0,213 \text{ мм.}$$

Определим предельные отклонения замыкающего звена

$$Es(A_0) = \sum Es(A_{yв}) - \sum Ei(A_{ym}) = (0,014 + 0,072 + 0,014) - \\ - [(-0,021) + (-0,035) + (-0,021) + (-0,018) + (-0,018)] = 0,213 \text{ мм;}$$

$$Ei(A_0) = \sum Ei(A_{yв}) - \sum Es(A_{ym}) = 0.$$

Следовательно,  $A_0 = 0,5^{+0,213}$  мм.

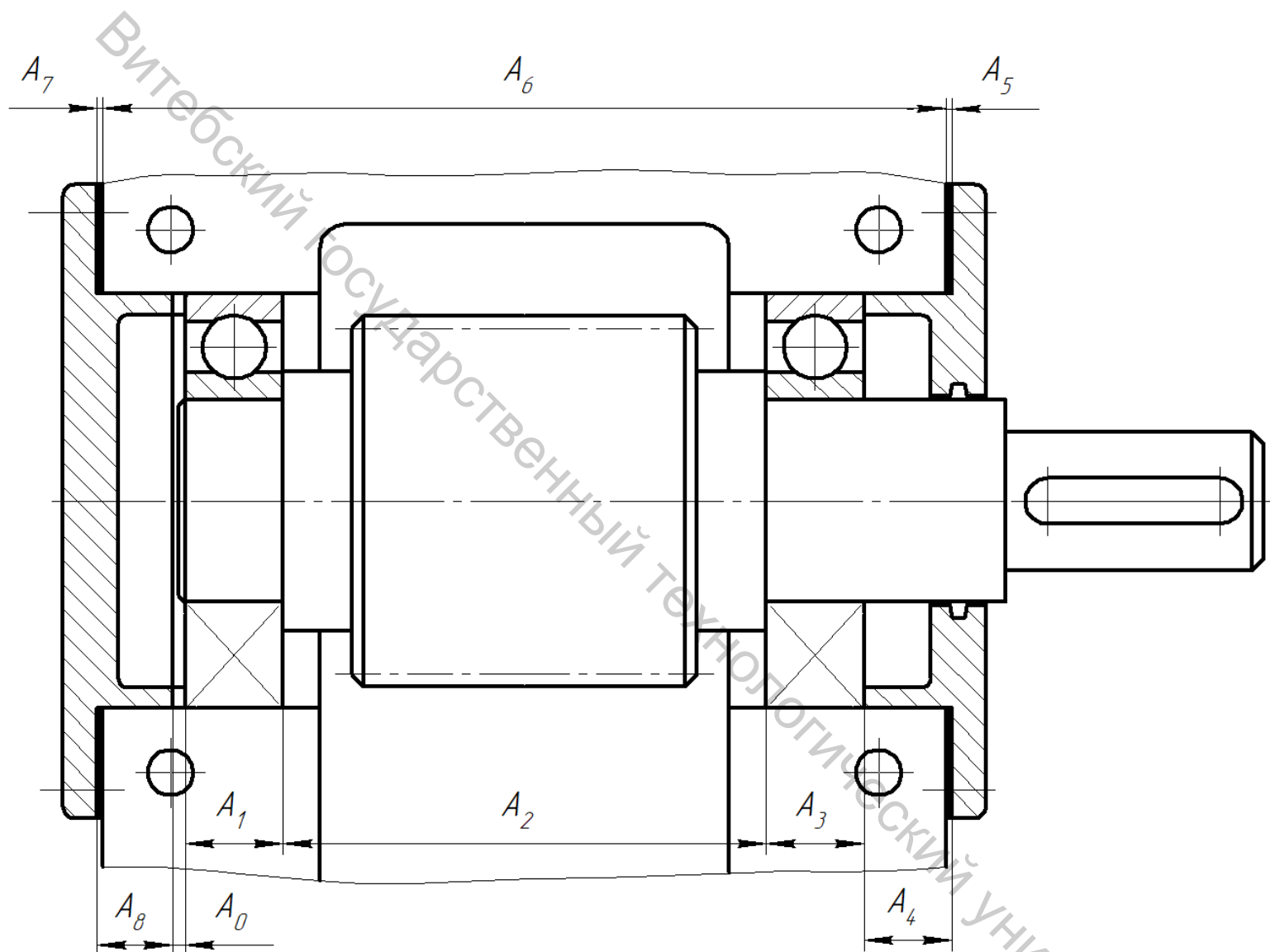


Рисунок 6.2 – Чертеж сборочного узла

Таблица 6.1 – Предельные отклонения и допуски составляющих звеньев

| Обозначение                             | Номинальный размер, мм | Предельные отклонения, мм |            | Предельные размеры, мм |                  | Допуск, мм |
|-----------------------------------------|------------------------|---------------------------|------------|------------------------|------------------|------------|
|                                         |                        | верхнее, Es               | нижнее, Ei | A <sub>max</sub>       | A <sub>min</sub> |            |
| Увеличивающие размеры, класс допуска H8 |                        |                           |            |                        |                  |            |
| A <sub>5</sub>                          | 0,5                    | +0,014                    | 0          | 0,514                  | 0,5              | 0,014      |
| A <sub>6</sub>                          | 195                    | +0,072                    | 0          | 195,072                | 195              | 0,072      |
| A <sub>7</sub>                          | 0,5                    | +0,014                    | 0          | 0,514                  | 0,5              | 0,014      |
| Уменьшающие размеры, класс допуска h7   |                        |                           |            |                        |                  |            |
| A <sub>1</sub>                          | 27                     | 0                         | -0,021     | 27                     | 26,979           | 0,021      |
| A <sub>2</sub>                          | 110                    | 0                         | -0,035     | 110                    | 109,965          | 0,035      |
| A <sub>3</sub>                          | 27                     | 0                         | -0,021     | 27                     | 26,979           | 0,021      |
| A <sub>4</sub>                          | 16                     | 0                         | -0,018     | 16                     | 15,982           | 0,018      |
| A <sub>8</sub>                          | 15,5                   | 0                         | -0,018     | 15,5                   | 15,482           | 0,018      |

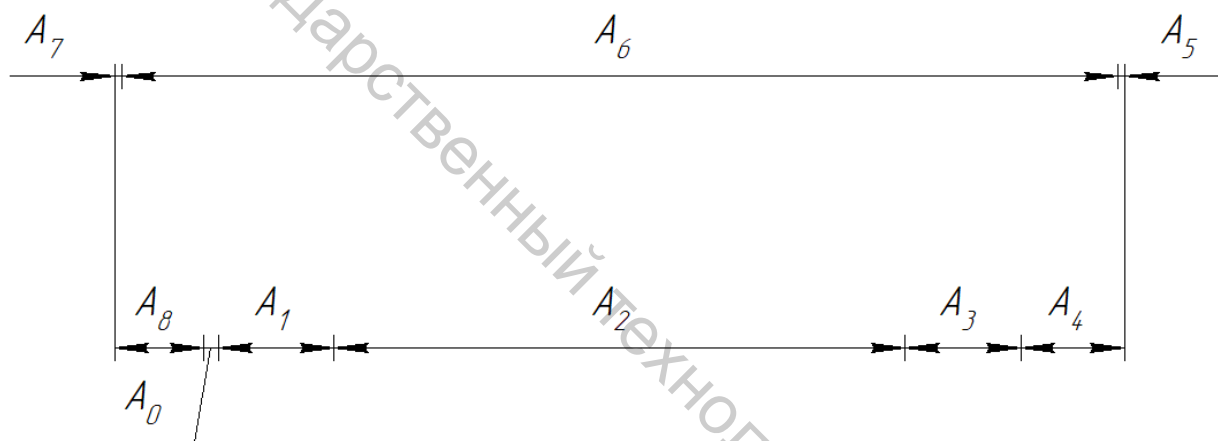


Рисунок 6.3 – Схема размерной цепи

Определим предельные размеры замыкающего звена

$$A_{0\max} = A_0 + Es(A_0) = 0,5 + 0,213 = 0,713 \text{ мм};$$

$$A_{0\min} = A_0 + Ei(A_0) = 0,5 \text{ мм}.$$

Выполним проверку, определив предельные размеры замыкающего звена через предельные размеры составляющих звеньев

$$A_{0\max} = \sum A_{i\max(y\phi)} - \sum A_{i\min(y\mu)} = 0,514 + 195,072 + 0,514 - (26,979 + 109,965 + 26,979 + 15,982 + 15,482) = 0,713 \text{ мм};$$

$$A_{0\min} = \sum A_{i\min(y\phi)} - \sum A_{i\max(y\mu)} = 0,5 + 195 + 0,5 - (27 + 110 + 27 + 16 + 15,5) = 0,5 \text{ мм}.$$

4. Решаем вторую задачу.

Определим предельные размеры и допуск исходного звена согласно условию  $A_0 = 0,5_{-0,1}$ :

$$A_{0\max} = 0,5; A_{0\min} = 0,4; TA_0 = 0,5 - 0,4 = 0,1 \text{ мм} = 100 \text{ мкм}.$$

Расчет ведем по способу одного квалитета. При этом способе на размеры всех составляющих звеньев назначают допуски по одному квалитету с учетом номинальных размеров звеньев.

Определим значение единицы допуска  $i$  для каждого из составляющих размеров цепи (табл. 6.2) по формуле

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

где  $A_u = \sqrt{A_{u\min} \cdot A_{u\max}}$  – среднее геометрическое границ интервала, которому принадлежит номинальный размер.

Таблица 6.2 – Предельные отклонения и допуски составляющих звеньев

| Обозначение | Номинальный размер, мм | Границы интервала, мм<br>$A_{u\min}; A_{u\max}$ | $A_u$ , мм | Единица допуска $i$ , мкм |
|-------------|------------------------|-------------------------------------------------|------------|---------------------------|
| $A_1$       | 27                     | 18; 30                                          | 23,24      | 1,3                       |
| $A_2$       | 110                    | 80; 120                                         | 97,98      | 2,2                       |
| $A_3$       | 27                     | 18; 30                                          | 23,24      | 1,3                       |
| $A_4$       | 16                     | 10; 18                                          | 13,42      | 1,08                      |
| $A_5$       | 0,5                    | 1; 3                                            | 1,73       | 0,54                      |
| $A_6$       | 195                    | 180; 250                                        | 212,13     | 2,9                       |
| $A_7$       | 0,5                    | 1; 3                                            | 1,73       | 0,54                      |
| $A_8$       | 15,5                   | 10; 18                                          | 13,42      | 1,08                      |

Определяем среднее число единиц допуска

$$a_m = \frac{TA_0}{\sum i} = \frac{100}{1,3 + 2,2 + 1,3 + 1,08 + 0,54 + 2,9 + 0,54 + 1,08} \approx 9.$$

Найденное число единиц допуска ближе всего соответствует квалитету IT6, для которого  $a = 10$  [19, с. 6]. Допуски размеров  $A_1 \dots A_8$  по 6 квалитету соответственно равны: 0,013; 0,022; 0,013; 0,011; 0,006; 0,029; 0,006; 0,011 мм [19, с. 5–6].

Определим, выполняется ли неравенство, согласно которому сумма допусков замыкающих звеньев не должна превышать допуск исходного звена:

$$TA_0 \geq \sum TA_i.$$

В нашем случае

$$TA_0 = 0,1 \text{ мм};$$

$$\sum TA_i = 0,013 + 0,022 + 0,013 + 0,011 + 0,006 + 0,029 + 0,006 + 0,011 = 0,11 \text{ мм} > 0,1 \text{ мм}.$$

Неравенство не выполняется, следовательно, для составляющих звеньев необходимо выбрать более точный квалитет, в данном случае IT5. Выписываем допуски размеров  $A_1 \dots A_8$  по 5 квалитету и определяем их сумму

$$\sum TA_i = 0,009 + 0,015 + 0,009 + 0,008 + 0,004 + 0,020 + 0,004 + 0,008 = 0,077 \text{ мм} < 0,1 \text{ мм}.$$

Неравенство выполняется, следовательно, квалитет подобран правильно и требуемая точность исходного звена обеспечена.

Зная допуски размеров, назначаем предельные отклонения составляющих размеров (для увеличивающих размеров – как для основных отверстий, для уменьшающих размеров – как для основных валов)

$$\begin{aligned} A_1 &= 27h5_{(-0,009)}; A_2 = 110h5_{(-0,015)}; A_3 = 27h5_{(-0,009)}; \\ A_4 &= 16h5_{(-0,008)}; A_5 = 0,5H5^{(+0,004)}; A_6 = 195H5^{(+0,020)}; \\ A_7 &= 0,5H5^{(+0,004)}; A_8 = 15,5h5_{(-0,008)}. \end{aligned}$$

## 7 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Оформление курсовой работы должно соответствовать ГОСТ 7.32-2001 [1] «Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления».

Работа должна быть выполнена любым печатным способом на *одной стороне* листа белой бумаги формата А4 *через полтора интервала*. Цвет шрифта должен быть черным, высота букв, цифр и других знаков – не менее 1,8 мм (*кегель не менее 12 пунктов*). Необходимо соблюдать следующие размеры полей: правое – 10 мм, верхнее – 20 мм, левое и нижнее – 20 мм. Разрешается использовать компьютерные возможности акцентирования внимания на определенных терминах, формулах, применяя различные шрифты.

Первым листом работы является *титульный лист* (см. приложение А). После титульного листа следует *содержание*, которое включает наименование всех разделов с указанием номеров страниц, с которых начинаются разделы.

Текст курсовой работы следует делить на разделы, подразделы и пункты. Разделы соответствуют отдельным заданиям курсовой работы и нумеруются

арабскими цифрами. Нумерация подразделов включает номер раздела, после которого через точку следует номер подраздела, например, 1.1, 1.2 и т. д. После номера раздела или подраздела через пробел следует название с большой буквы; точка в конце названия не ставится.

Страницы курсовой работы нумеруются сквозной нумерацией арабскими цифрами *внизу страницы по центру без точки в конце*.

Рисунки и таблицы следует располагать непосредственно в тексте курсовой работы сразу после их первого упоминания. Рисунки и таблицы нумеруются по отдельности; допускается сквозная нумерация (1, 2, 3...) или нумерация в пределах раздела (2.1, 2.2, 2.3 ...). В качестве примера оформления подрисовочных подписей и заголовков таблиц можно использовать рисунки и таблицы из настоящих методических указаний.

В конце работы, начиная с новой страницы, размещают *список использованных источников*. Список составляется по алфавиту или в порядке появления ссылок на источники в тексте курсовой работы, источники нумеруются арабскими цифрами без точки и печатаются с абзацного отступа. Ссылки на номера источников в тексте оформляются в квадратных скобках.

## 8 ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Номер варианта заданий выбирается по двум последним цифрам зачетной книжки (00 соответствует варианту № 100), или назначается преподавателем. К заданию № 6 (расчет размерной цепи) преподавателем дополнительно выдается чертеж сборочного узла.

### Задание 1. Система допусков на линейные размеры

| №<br>вар | D,<br>мм | ES; EI,<br>мкм  | es; ei,<br>мкм   | №<br>вар | D,<br>мм | ES; EI,<br>мкм | es; ei,<br>мкм | №<br>вар | D,<br>мм | ES; EI,<br>мкм  | es; ei,<br>мкм  |
|----------|----------|-----------------|------------------|----------|----------|----------------|----------------|----------|----------|-----------------|-----------------|
| 1        | 30       | +49; +40        | -20; -26         | 36       | 380      | +1250;<br>+680 | 0; -570        | 71       | 230      | -340; -412      | +186; +140      |
| 2        | 40       | +20; +9         | -25; -36         | 37       | 390      | +87; +62       | 0; -18         | 72       | 240      | -84; -156       | +212; +140      |
| 3        | 50       | +61; +50        | -80; -96         | 38       | 400      | +150; +125     | -18; -43       | 73       | 250      | -640; -712      | +356; +284      |
| 4        | 60       | +170; +140      | -60; -90         | 39       | 410      | +270; +230     | -135; -175     | 74       | 260      | +800; +480      | +368; +158      |
| 5        | 70       | +146; +100      | -60; -106        | 40       | 420      | +293; +230     | -230; -293     | 75       | 270      | -580; -661      | +270; +218      |
| 6        | 80       | +274; +200      | -150; -224       | 41       | 430      | +327; +230     | -135; -232     | 76       | 280      | +137; +56       | +396; +315      |
| 7        | 90       | +260; +120      | -120; -260       | 42       | 440      | +595; +440     | -760; -915     | 77       | 290      | -350; -431      | -56; -137       |
| 8        | 100      | +440; +220      | -380; -600       | 43       | 450      | +480; +230     | -230; -480     | 78       | 300      | -56; -137       | +72; +20        |
| 9        | 110      | +590; +240      | -240; -590       | 44       | 460      | +880; +480     | -840; -1240    | 79       | 310      | +240; +110      | +871; +790      |
| 10       | 120      | +27; +12        | -36; -46         | 45       | 470      | +630; 0        | 0; -630        | 80       | 320      | +140; 0         | +679; +590      |
| 11       | 130      | +61; +43        | -14; -32         | 46       | 480      | +47; +20       | -20; -40       | 81       | 330      | +299; +210      | +94; +37        |
| 12       | 140      | +110; +85       | -85; -110        | 47       | 490      | +162; +135     | -68; -95       | 82       | 340      | -108; -197      | 0; -57          |
| 13       | 150      | +125; +85       | -145; -185       | 48       | 500      | +175; +135     | -135; -175     | 83       | 350      | -62; -151       | -360; -449      |
| 14       | 160      | +208; +145      | -210; -273       | 49       | 100      | +87; +72       | -36; -58       | 84       | 360      | -294; -383      | -62; -151       |
| 15       | 170      | +330; +230      | -310; -410       | 50       | 20       | +98; +65       | -20; -53       | 85       | 370      | -208; -297      | -18; -75        |
| 16       | 180      | +245; +85       | -145; -305       | 51       | 30       | +333; +300     | +23; +2        | 86       | 380      | +360; 0         | +665; +435      |
| 17       | 190      | +530; +240      | -660; -950       | 52       | 40       | +209; +170     | +99; +60       | 87       | 390      | -1300;<br>-1389 | -210; -350      |
| 18       | 200      | +460; 0         | -340; -800       | 53       | 50       | +50; +25       | +68; +43       | 88       | 400      | -294; -434      | -1350;<br>-1439 |
| 19       | 210      | +20; 0          | -50; -64         | 54       | 60       | +19; 0         | +66; +53       | 89       | 410      | -490; -587      | 0; -63          |
| 20       | 220      | +35; +15        | -15; -35         | 55       | 70       | -32; -78       | +62; +32       | 90       | 420      | +480; +440      | +108; +68       |
| 21       | 230      | +199; +170      | -100; -129       | 56       | 80       | -59; -105      | 0; -74         | 91       | 430      | +385; +230      | +587; +490      |
| 22       | 240      | +146; +100      | -170; -216       | 57       | 90       | +90; +36       | +232; +178     | 92       | 440      | +1900;<br>+1500 | +1730;<br>+1100 |
| 23       | 250      | +172; +100      | -170; -242       | 58       | 100      | +87; 0         | +312; +258     | 93       | 450      | +480; +230      | +645; +490      |
| 24       | 260      | +430; +300      | -920; -1050      | 59       | 110      | +207; +120     | +198; +144     | 94       | 460      | +650; +20       | +1220;<br>+820  |
| 25       | 270      | +210; 0         | -190; -400       | 60       | 120      | -104; -158     | +48; +13       | 95       | 470      | +1470;<br>+840  | -20; -650       |
| 26       | 280      | +620; +300      | -300; -620       | 61       | 130      | +39; +14       | +68; +43       | 96       | 480      | +162; +135      | +67; +40        |
| 27       | 290      | +1060;<br>+540  | 0; -520          | 62       | 140      | -241; -266     | +52; +27       | 97       | 490      | +47; +20        | +50; +23        |
| 28       | 300      | +40; +17        | -17; -33         | 63       | 150      | +310; +210     | +478; +415     | 98       | 500      | -245; -272      | +45; +5         |
| 29       | 310      | +79; +56        | -17; -40         | 64       | 160      | -190; -253     | +253; +190     | 99       | 100      | +255; +220      | +25; +3         |
| 30       | 320      | +98; +62        | -62; -98         | 65       | 170      | -43; -106      | +148; +108     | 100      | 20       | -35; -68        | +36; +15        |
| 31       | 330      | +182; +125      | -210; -267       | 66       | 180      | -146; -209     | +186; +146     |          |          |                 |                 |
| 32       | 340      | +299; +210      | -125; -214       | 67       | 190      | +35; +15       | +151; +122     |          |          |                 |                 |
| 33       | 350      | +740; +600      | -1200; -<br>1340 | 68       | 200      | +172; +100     | +308; +236     |          |          |                 |                 |
| 34       | 360      | +440; +210      | -210; -440       | 69       | 210      | -50; -122      | 0; -46         |          |          |                 |                 |
| 35       | 370      | +1710;<br>+1350 | -680; -1040      | 70       | 220      | -130; -202     | -15; -61       |          |          |                 |                 |

## Задание 2. Расчет исполнительных размеров калибров

| № варианта | Номинальный диаметр | Посадка | № вариан-та | Номинальный диаметр | Посадка |
|------------|---------------------|---------|-------------|---------------------|---------|
| 1          | 12                  | H6/h6   | 51          | 12                  | H8/k7   |
| 2          | 15                  | H7/d8   | 52          | 15                  | H7/js6  |
| 3          | 20                  | G6/h7   | 53          | 20                  | H10/f9  |
| 4          | 25                  | H8/k7   | 54          | 25                  | JS8/h6  |
| 5          | 30                  | F9/h10  | 55          | 30                  | K7/h6   |
| 6          | 35                  | H6/h7   | 56          | 35                  | D9/h9   |
| 7          | 40                  | H9/f8   | 57          | 40                  | D8/h7   |
| 8          | 45                  | H7/h6   | 58          | 45                  | U8/h8   |
| 9          | 50                  | H7/g6   | 59          | 50                  | H9/d9   |
| 10         | 55                  | G7/h8   | 60          | 55                  | H8/f7   |
| 11         | 60                  | E8/h7   | 61          | 60                  | F7/h6   |
| 12         | 65                  | F8/h7   | 62          | 65                  | F9/h8   |
| 13         | 70                  | H6/g6   | 63          | 70                  | H8/f9   |
| 14         | 75                  | G6/h6   | 64          | 75                  | H9/h9   |
| 15         | 80                  | H8/h7   | 65          | 80                  | N6/h6   |
| 16         | 85                  | H8/h8   | 66          | 85                  | H6/h6   |
| 17         | 90                  | H8/h9   | 67          | 90                  | H6/s6   |
| 18         | 95                  | H9/h7   | 68          | 95                  | K6/h7   |
| 19         | 100                 | H8/h6   | 69          | 100                 | H8/k7   |
| 20         | 105                 | H9/h8   | 70          | 105                 | F9/h10  |
| 21         | 110                 | H9/h9   | 71          | 110                 | H7/f8   |
| 22         | 115                 | D11/h10 | 72          | 115                 | H6/h7   |
| 23         | 120                 | F9/h8   | 73          | 120                 | H7/g6   |
| 24         | 125                 | H8/f9   | 74          | 125                 | G7/h8   |
| 25         | 130                 | H8/f7   | 75          | 130                 | E8/h7   |
| 26         | 135                 | F7/h6   | 76          | 135                 | H7/js6  |
| 27         | 140                 | H8/u8   | 77          | 140                 | F8/h7   |
| 28         | 145                 | U8/h8   | 78          | 145                 | H10/h9  |
| 29         | 150                 | H9/d9   | 79          | 150                 | F9/h8   |
| 30         | 155                 | D9/h9   | 80          | 155                 | H7/p6   |
| 31         | 160                 | D8/h7   | 81          | 160                 | P6/h7   |
| 32         | 165                 | JS7/h8  | 82          | 165                 | E8/h8   |
| 33         | 170                 | JS8/h7  | 83          | 170                 | H7/u7   |
| 34         | 175                 | H7/js6  | 84          | 175                 | D10/h9  |
| 35         | 180                 | H8/k7   | 85          | 180                 | H10/b11 |
| 36         | 12                  | H7/h6   | 86          | 12                  | M8/h9   |
| 37         | 18                  | H6/m7   | 87          | 18                  | H6/d7   |
| 38         | 23                  | E8/h9   | 88          | 23                  | F8/h7   |
| 39         | 26                  | H8/z8   | 89          | 26                  | H6/g6   |
| 40         | 34                  | N8/h8   | 90          | 34                  | K7/h8   |
| 41         | 39                  | H6/p6   | 91          | 39                  | S7/h7   |
| 42         | 51                  | H9/d10  | 92          | 51                  | H7/h6   |
| 43         | 57                  | H7/h6   | 93          | 57                  | JS7/h6  |
| 44         | 63                  | JS7/h6  | 94          | 63                  | N9/h8   |
| 45         | 66                  | K7/h8   | 95          | 66                  | H6/p7   |
| 46         | 74                  | JS6/h7  | 96          | 74                  | H7/h6   |
| 47         | 78                  | F8/h7   | 97          | 78                  | H8/d8   |
| 48         | 83                  | H6/g6   | 98          | 83                  | E8/h9   |
| 49         | 87                  | M8/h7   | 99          | 87                  | JS10/h9 |
| 50         | 92                  | H6/m6   | 100         | 92                  | H8/js10 |

### Задание 3, часть 1. Нормирование точности шпоночных соединений

| №<br>варианта | Диаметр<br>вала, мм | Длина<br>втулки, мм | Характер<br>соединения | №<br>исполнения | № вариан-<br>та | Диаметр<br>вала, мм | Длина<br>втулки, мм | Характер<br>соединения | №<br>исполнения |
|---------------|---------------------|---------------------|------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|------------------------|-----------------|
| 1             | 8                   | 10                  | Свободное              | 1               | 51              | 135                 | 110                 | Плотное                | 2               |
| 2             | 8                   | 20                  | Нормальное             | 1               | 52              | 140                 | 150                 | Свободное              | 3               |
| 3             | 10                  | 15                  | Плотное                | 1               | 53              | 145                 | 250                 | Нормальное             | 3               |
| 4             | 12                  | 40                  | Свободное              | 2               | 54              | 150                 | 300                 | Плотное                | 3               |
| 5             | 15                  | 35                  | Нормальное             | 2               | 55              | 155                 | 220                 | Свободное              | 1               |
| 6             | 17                  | 45                  | Плотное                | 2               | 56              | 160                 | 280                 | Нормальное             | 1               |
| 7             | 20                  | 25                  | Свободное              | 3               | 57              | 165                 | 310                 | Плотное                | 1               |
| 8             | 22                  | 60                  | Нормальное             | 3               | 58              | 170                 | 320                 | Свободное              | 2               |
| 9             | 24                  | 55                  | Плотное                | 3               | 59              | 175                 | 255                 | Нормальное             | 2               |
| 10            | 26                  | 85                  | Свободное              | 1               | 60              | 180                 | 285                 | Плотное                | 2               |
| 11            | 28                  | 70                  | Нормальное             | 1               | 61              | 185                 | 300                 | Свободное              | 3               |
| 12            | 30                  | 65                  | Плотное                | 1               | 62              | 190                 | 250                 | Нормальное             | 3               |
| 13            | 32                  | 100                 | Свободное              | 2               | 63              | 195                 | 270                 | Плотное                | 3               |
| 14            | 34                  | 105                 | Нормальное             | 2               | 64              | 200                 | 290                 | Свободное              | 1               |
| 15            | 36                  | 110                 | Плотное                | 2               | 65              | 205                 | 235                 | Нормальное             | 1               |
| 16            | 38                  | 90                  | Свободное              | 3               | 66              | 210                 | 300                 | Плотное                | 1               |
| 17            | 40                  | 50                  | Нормальное             | 3               | 67              | 220                 | 315                 | Свободное              | 2               |
| 18            | 42                  | 55                  | Плотное                | 3               | 68              | 225                 | 280                 | Нормальное             | 2               |
| 19            | 44                  | 125                 | Свободное              | 1               | 69              | 230                 | 300                 | Плотное                | 2               |
| 20            | 46                  | 115                 | Нормальное             | 1               | 70              | 235                 | 305                 | Свободное              | 3               |
| 21            | 48                  | 120                 | Плотное                | 1               | 71              | 240                 | 310                 | Нормальное             | 3               |
| 22            | 50                  | 150                 | Свободное              | 2               | 72              | 245                 | 215                 | Плотное                | 3               |
| 23            | 52                  | 65                  | Нормальное             | 2               | 73              | 250                 | 225                 | Свободное              | 1               |
| 24            | 55                  | 75                  | Плотное                | 2               | 74              | 255                 | 300                 | Нормальное             | 1               |
| 25            | 58                  | 175                 | Свободное              | 3               | 75              | 260                 | 310                 | Плотное                | 1               |
| 26            | 60                  | 190                 | Нормальное             | 3               | 76              | 265                 | 165                 | Свободное              | 2               |
| 27            | 62                  | 195                 | Плотное                | 3               | 77              | 270                 | 220                 | Нормальное             | 2               |
| 28            | 65                  | 145                 | Свободное              | 1               | 78              | 275                 | 310                 | Плотное                | 2               |
| 29            | 68                  | 85                  | Нормальное             | 1               | 79              | 280                 | 335                 | Свободное              | 3               |
| 30            | 70                  | 90                  | Плотное                | 1               | 80              | 285                 | 345                 | Нормальное             | 3               |
| 31            | 72                  | 200                 | Свободное              | 2               | 81              | 290                 | 300                 | Плотное                | 3               |
| 32            | 75                  | 220                 | Нормальное             | 2               | 82              | 295                 | 310                 | Свободное              | 1               |
| 33            | 78                  | 235                 | Плотное                | 2               | 83              | 300                 | 320                 | Нормальное             | 1               |
| 34            | 80                  | 200                 | Свободное              | 3               | 84              | 310                 | 330                 | Плотное                | 1               |
| 35            | 82                  | 100                 | Нормальное             | 3               | 85              | 320                 | 340                 | Свободное              | 2               |
| 36            | 85                  | 110                 | Плотное                | 3               | 86              | 330                 | 350                 | Нормальное             | 2               |
| 37            | 88                  | 95                  | Свободное              | 1               | 87              | 340                 | 260                 | Плотное                | 2               |
| 38            | 90                  | 250                 | Нормальное             | 1               | 88              | 350                 | 350                 | Свободное              | 3               |
| 39            | 92                  | 200                 | Плотное                | 1               | 89              | 360                 | 280                 | Нормальное             | 3               |
| 40            | 95                  | 185                 | Свободное              | 2               | 90              | 370                 | 290                 | Плотное                | 3               |
| 41            | 98                  | 150                 | Нормальное             | 2               | 91              | 380                 | 300                 | Свободное              | 1               |
| 42            | 100                 | 120                 | Плотное                | 2               | 92              | 390                 | 200                 | Нормальное             | 1               |
| 43            | 105                 | 125                 | Свободное              | 3               | 93              | 400                 | 220                 | Плотное                | 1               |
| 44            | 110                 | 140                 | Нормальное             | 3               | 94              | 410                 | 220                 | Свободное              | 2               |
| 45            | 112                 | 280                 | Плотное                | 3               | 95              | 420                 | 280                 | Нормальное             | 2               |
| 46            | 115                 | 200                 | Свободное              | 1               | 96              | 430                 | 260                 | Плотное                | 2               |
| 47            | 118                 | 240                 | Нормальное             | 1               | 97              | 440                 | 270                 | Свободное              | 3               |
| 48            | 120                 | 155                 | Плотное                | 1               | 98              | 450                 | 250                 | Нормальное             | 1               |
| 49            | 125                 | 195                 | Свободное              | 2               | 99              | 460                 | 300                 | Плотное                | 2               |
| 50            | 130                 | 200                 | Нормальное             | 2               | 100             | 470                 | 350                 | Нормальное             | 3               |

## Задание 3, часть 2. Нормирование точности шлицевых соединений

| № вари-<br>анта | Центри-<br>рующий<br>параметр | $z \times d \times D$ | № вари-<br>анта | Центри-<br>рующий<br>параметр | $z \times d \times D$ |
|-----------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------------|
| 1               | $d$                           | 6 x 23 x 26           | 51              | $b$                           | 6 x 23 x 26           |
| 2               | $D$                           | 6 x 26 x 30           | 52              | $d$                           | 6 x 26 x 30           |
| 3               | $b$                           | 6 x 28 x 32           | 53              | $D$                           | 6 x 28 x 32           |
| 4               | $d$                           | 8 x 32 x 36           | 54              | $b$                           | 8 x 32 x 36           |
| 5               | $D$                           | 8 x 36 x 40           | 55              | $d$                           | 8 x 36 x 40           |
| 6               | $b$                           | 8 x 42 x 46           | 56              | $D$                           | 8 x 42 x 46           |
| 7               | $d$                           | 8 x 46 x 50           | 57              | $b$                           | 8 x 46 x 50           |
| 8               | $D$                           | 8 x 52 x 58           | 58              | $d$                           | 8 x 52 x 58           |
| 9               | $b$                           | 8 x 56 x 62           | 59              | $D$                           | 8 x 56 x 62           |
| 10              | $d$                           | 8 x 62 x 68           | 60              | $b$                           | 8 x 62 x 68           |
| 11              | $D$                           | 10 x 72 x 78          | 61              | $d$                           | 10 x 72 x 78          |
| 12              | $b$                           | 10 x 82 x 88          | 62              | $D$                           | 10 x 82 x 88          |
| 13              | $d$                           | 10 x 92 x 98          | 63              | $b$                           | 10 x 92 x 98          |
| 14              | $D$                           | 10 x 102 x 108        | 64              | $d$                           | 10 x 102 x 108        |
| 15              | $b$                           | 10 x 112 x 120        | 65              | $D$                           | 10 x 112 x 120        |
| 16              | $d$                           | 6 x 11 x 14           | 66              | $b$                           | 6 x 11 x 14           |
| 17              | $D$                           | 6 x 13 x 16           | 67              | $d$                           | 6 x 13 x 16           |
| 18              | $b$                           | 6 x 16 x 20           | 68              | $D$                           | 6 x 16 x 20           |
| 19              | $d$                           | 6 x 18 x 22           | 69              | $b$                           | 6 x 18 x 22           |
| 20              | $D$                           | 6 x 21 x 25           | 70              | $d$                           | 6 x 21 x 25           |
| 21              | $b$                           | 6 x 23 x 28           | 71              | $D$                           | 6 x 23 x 28           |
| 22              | $d$                           | 6 x 26 x 32           | 72              | $b$                           | 6 x 26 x 32           |
| 23              | $D$                           | 6 x 28 x 34           | 73              | $d$                           | 6 x 28 x 34           |
| 24              | $b$                           | 8 x 32 x 38           | 74              | $D$                           | 8 x 32 x 38           |
| 25              | $d$                           | 8 x 36 x 42           | 75              | $b$                           | 8 x 36 x 42           |
| 26              | $D$                           | 8 x 42 x 48           | 76              | $d$                           | 8 x 42 x 48           |
| 27              | $b$                           | 8 x 46 x 54           | 77              | $D$                           | 8 x 46 x 54           |
| 28              | $d$                           | 8 x 52 x 60           | 78              | $b$                           | 8 x 52 x 60           |
| 29              | $D$                           | 8 x 56 x 65           | 79              | $d$                           | 8 x 56 x 65           |
| 30              | $b$                           | 8 x 62 x 72           | 80              | $D$                           | 8 x 62 x 72           |
| 31              | $d$                           | 10 x 72 x 82          | 81              | $b$                           | 10 x 72 x 82          |
| 32              | $D$                           | 10 x 82 x 92          | 82              | $d$                           | 10 x 82 x 92          |
| 33              | $b$                           | 10 x 92 x 102         | 83              | $D$                           | 10 x 92 x 102         |
| 34              | $d$                           | 10 x 102 x 112        | 84              | $b$                           | 10 x 102 x 112        |
| 35              | $D$                           | 10 x 112 x 125        | 85              | $d$                           | 10 x 112 x 125        |
| 36              | $b$                           | 10 x 16 x 20          | 86              | $D$                           | 10 x 16 x 20          |
| 37              | $d$                           | 10 x 18 x 23          | 87              | $b$                           | 10 x 18 x 23          |
| 38              | $D$                           | 10 x 21 x 26          | 88              | $d$                           | 10 x 21 x 26          |
| 39              | $b$                           | 10 x 23 x 29          | 89              | $D$                           | 10 x 23 x 29          |
| 40              | $d$                           | 10 x 26 x 32          | 90              | $b$                           | 10 x 26 x 32          |
| 41              | $D$                           | 10 x 28 x 35          | 91              | $d$                           | 10 x 28 x 35          |
| 42              | $b$                           | 10 x 32 x 40          | 92              | $D$                           | 10 x 32 x 40          |
| 43              | $d$                           | 10 x 36 x 45          | 93              | $b$                           | 10 x 36 x 45          |
| 44              | $D$                           | 10 x 42 x 52          | 94              | $d$                           | 10 x 42 x 52          |
| 45              | $b$                           | 10 x 46 x 56          | 95              | $D$                           | 10 x 46 x 56          |
| 46              | $d$                           | 16 x 52 x 60          | 96              | $b$                           | 16 x 52 x 60          |
| 47              | $D$                           | 16 x 56 x 65          | 97              | $d$                           | 16 x 56 x 65          |
| 48              | $b$                           | 16 x 62 x 72          | 98              | $D$                           | 16 x 62 x 72          |
| 49              | $d$                           | 16 x 72 x 82          | 99              | $b$                           | 16 x 72 x 82          |
| 50              | $D$                           | 20 x 82 x 92          | 100             | $d$                           | 20 x 82 x 92          |

### Задание 4. Нормирование точности метрической резьбы

| №<br>вар | Обозначение резьбы   | Данные измерений гайки |                   |                    |                           |                            | Данные измерений болта |                   |                 |                           |                            |
|----------|----------------------|------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|
|          |                      | $D_{1изм},$<br>мм      | $D_{2изм},$<br>мм | $\delta P,$<br>мкм | $\delta_{\alpha/2}^{лев}$ | $\delta_{\alpha/2}^{прав}$ | $d_{изм},$<br>мм       | $d_{2изм},$<br>мм | $\delta P,$ мкм | $\delta_{\alpha/2}^{лев}$ | $\delta_{\alpha/2}^{прав}$ |
| 1        | M6 – 4H/4h           | 5,033                  | 5,388             | 26                 | 35                        | 30                         | 5,923                  | 5,222             | -52             | -30                       | 40                         |
| 2        | M6 x 0,5 – 5G/4h     | 5,568                  | 5,789             | -43                | 30                        | 18                         | 5,942                  | 5,528             | 71              | 15                        | 22                         |
| 3        | M8 – 6H/5g6g         | 6,725                  | 7,289             | 50                 | 18                        | 25                         | 7,955                  | 7,082             | 27              | -20                       | -8                         |
| 4        | M8 x 0,75 – 4H5H/6g  | 7,334                  | 7,621             | -45                | 40                        | 25                         | 7,922                  | 7,188             | 30              | 25                        | 35                         |
| 5        | M8 x 1 – 7G/7g6g     | 6,995                  | 7,547             | 40                 | 22                        | -30                        | 7,933                  | 7,159             | 35              | -30                       | 30                         |
| 6        | M10 – 8H/8g          | 8,425                  | 9,211             | -56                | -8                        | 15                         | 9,721                  | 8,821             | 40              | -15                       | 18                         |
| 7        | M10 x 1 – 7G/7h6h    | 9,125                  | 9,562             | 40                 | 35                        | -20                        | 9,922                  | 9,173             | 26              | -25                       | 25                         |
| 8        | M12 – 4H/3h4h        | 10,225                 | 10,958            | 42                 | 30                        | 25                         | 11,929                 | 10,822            | -15             | 10                        | 25                         |
| 9        | M12 x 1,25 – 5H/6g   | 10,995                 | 11,325            | 55                 | 18                        | -30                        | 11,941                 | 11,018            | 65              | 10                        | -30                        |
| 10       | M12 x 1,5 – 7H/7e6e  | 10,625                 | 11,327            | -59                | 25                        | -15                        | 11,923                 | 10,819            | 60              | 25                        | 15                         |
| 11       | M14 – 6G/6d          | 11,921                 | 12,845            | 23                 | 25                        | -25                        | 13,829                 | 12,401            | -70             | -15                       | -20                        |
| 12       | M14 x 1 – 7H/7h6h    | 12,980                 | 13,423            | 11                 | -30                       | 10                         | 13,852                 | 13,249            | 14              | -10                       | 25                         |
| 13       | M14 x 1,25 – 5G/6e   | 12,847                 | 13,300            | 42                 | -30                       | 10                         | 13,788                 | 13,001            | 21              | 22                        | -30                        |
| 14       | M14 x 1,5 – 8H/7e6e  | 12,445                 | 13,254            | -40                | 15                        | -18                        | 13,854                 | 12,906            | -27             | -8                        | -15                        |
| 15       | M16 – 5H/5g6g        | 14,057                 | 14,839            | 40                 | -20                       | -15                        | 15,535                 | 14,530            | -50             | 35                        | -25                        |
| 16       | M16 x 0,75 – 6H/6e   | 15,088                 | 15,708            | 42                 | 25                        | -25                        | 15,811                 | 15,348            | 35              | 30                        | -18                        |
| 17       | M16 x 1 – 6G/5g6g    | 15,120                 | 15,545            | 55                 | -30                       | 10                         | 15,933                 | 15,174            | 49              | 18                        | 15                         |
| 18       | M16 x 1,5 – 4H/5h4h  | 14,439                 | 15,144            | -59                | -30                       | 10                         | 15,883                 | 14,933            | -18             | 35                        | 40                         |
| 19       | M18 – 4H5H/3h4h      | 15,593                 | 16,504            | 23                 | -15                       | 25                         | 17,730                 | 16,308            | 27              | 20                        | -30                        |
| 20       | M18 x 1 – 5H/4h      | 16,903                 | 17,411            | 11                 | -25                       | -15                        | 17,931                 | 17,230            | 33              | -18                       | 15                         |
| 21       | M18 x 1,5 – 6H/5h4h  | 16,575                 | 17,108            | 42                 | 10                        | -10                        | 17,925                 | 16,908            | 50              | -36                       | 30                         |
| 22       | M18 x 2 – 7H/6h      | 15,910                 | 16,887            | -40                | 10                        | 22                         | 17,814                 | 16,517            | -22             | 14                        | 18                         |
| 23       | M20 – 8H/7h6h        | 17,362                 | 18,515            | 52                 | 25                        | 18                         | 19,817                 | 18,269            | 18              | 26                        | 22                         |
| 24       | M20 x 0,75 – 5G/4g   | 19,297                 | 19,599            | 23                 | -15                       | 35                         | 19,975                 | 19,371            | 46              | -18                       | -8                         |
| 25       | M20 x 1 – 6G/5h4h    | 19,030                 | 19,549            | 11                 | -8                        | 25                         | 19,919                 | 19,188            | -35             | 15                        | 35                         |
| 26       | M20 x 1,5 – 7G/5g6g  | 18,635                 | 19,228            | 42                 | 35                        | 25                         | 19,961                 | 18,833            | -25             | 40                        | 30                         |
| 27       | M20 x 2 – 8G/9g8g    | 18,522                 | 18,924            | -40                | 30                        | -30                        | 19,977                 | 18,422            | -15             | -30                       | 18                         |
| 28       | M22 – 7G/6d          | 19,748                 | 20,605            | 52                 | 18                        | 15                         | 21,854                 | 20,017            | 55              | 15                        | 35                         |
| 29       | M22 x 0,75 – 7G/7e6e | 21,299                 | 21,745            | 46                 | 35                        | -20                        | 21,898                 | 21,351            | 50              | -20                       | 30                         |
| 30       | M22 x 1 – 5G/6f      | 21,103                 | 21,568            | 48                 | 25                        | 25                         | 21,828                 | 21,132            | -45             | 25                        | -20                        |
| 31       | M22 x 1,5 – 6G/6e    | 20,605                 | 21,182            | 46                 | 25                        | -30                        | 21,765                 | 20,827            | 40              | -30                       | 25                         |
| 32       | M22 x 2 – 7H/8g      | 20,212                 | 20,780            | -42                | -30                       | -8                         | 21,403                 | 20,322            | -56             | -15                       | -30                        |
| 33       | M24 – 8H/7g6g        | 21,401                 | 22,302            | 40                 | 15                        | 35                         | 23,847                 | 21,819            | 40              | -25                       | -15                        |
| 34       | M24 x 0,75 – 5H/6f   | 23,314                 | 23,617            | -36                | -20                       | 30                         | 23,886                 | 23,378            | 42              | 10                        | -25                        |
| 35       | M24 x 1 – 6H/6e      | 23,149                 | 23,604            | 70                 | 25                        | 18                         | 23,847                 | 23,102            | 55              | 10                        | 10                         |
| 36       | M24 x 1,5 – 4H/4g    | 22,534                 | 23,138            | 14                 | -30                       | 35                         | 23,904                 | 22,839            | -59             | 25                        | 10                         |

| №<br>вар | Обозначение резьбы   | Данные измерений гайки |                   |                    |                           |                            | Данные измерений болта |                   |                    |                           |                            |
|----------|----------------------|------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|
|          |                      | $D_{1изм},$<br>мм      | $D_{2изм},$<br>мм | $\delta P,$<br>мкм | $\delta_{\alpha/2}^{лев}$ | $\delta_{\alpha/2}^{прав}$ | $d_{изм},$<br>мм       | $d_{2изм},$<br>мм | $\delta P,$<br>мкм | $\delta_{\alpha/2}^{лев}$ | $\delta_{\alpha/2}^{прав}$ |
| 37       | M24 x 2 – 4H5H/4g    | 21,885                 | 22,811            | 21                 | 10                        | 20                         | 23,680                 | 22,560            | 23                 | -15                       | 25                         |
| 38       | M27 – 4H5H/5g6g      | 24,082                 | 25,239            | -27                | 25                        | -18                        | 26,916                 | 24,967            | 11                 | -8                        | -30                        |
| 39       | M27 x 1 – 8G/7h6h    | 26,300                 | 26,688            | -50                | -15                       | -36                        | 26,899                 | 26,234            | 42                 | 35                        | -15                        |
| 40       | M27 x 1,5 – 4H5H/4h  | 25,543                 | 26,152            | 35                 | -8                        | 18                         | 26,904                 | 26,003            | -40                | 30                        | -25                        |
| 41       | M27 x 2 – 7G/6h      | 24,981                 | 25,863            | 49                 | 35                        | 35                         | 26,948                 | 25,502            | 52                 | 18                        | 10                         |
| 42       | M30 – 5H/4h          | 26,248                 | 27,789            | -18                | 30                        | 20                         | 29,774                 | 27,506            | 46                 | 35                        | -26                        |
| 43       | M30 x 1 – 6G/6f      | 29,174                 | 29,550            | -56                | 18                        | -18                        | 29,975                 | 29,155            | 48                 | 20                        | 22                         |
| 44       | M30 x 1,5 – 6H/7e6e  | 28,465                 | 29,290            | 40                 | 35                        | -36                        | 29,817                 | 28,712            | 46                 | -18                       | -8                         |
| 45       | M30 x 2 – 5G/6d      | 28,195                 | 28,884            | 42                 | 20                        | 35                         | 29,601                 | 28,461            | -42                | -36                       | 35                         |
| 46       | M30 x 3 – 7H/6f      | 27,214                 | 28,229            | 55                 | -18                       | 30                         | 29,670                 | 27,847            | 40                 | 35                        | 30                         |
| 47       | M36 - 8H/8g          | 32,188                 | 33,914            | -59                | -36                       | 18                         | 35,741                 | 32,994            | -36                | 30                        | 18                         |
| 48       | M36 x 1,5 - 4H/3h4h  | 34,462                 | 35,168            | 23                 | 35                        | 15                         | 35,920                 | 34,825            | 70                 | 18                        | -20                        |
| 49       | M36 x 2 - 5G/6f      | 34,192                 | 34,840            | 11                 | 30                        | 40                         | 35,821                 | 34,534            | -22                | 26                        | 40                         |
| 50       | M36 x 3 - 6G/6e      | 33,126                 | 34,251            | 42                 | -30                       | -30                        | 35,764                 | 33,658            | 54                 | -18                       | 22                         |
| 51       | M6 - 6G/7e6e         | 5,025                  | 5,503             | -40                | -15                       | 15                         | 5,938                  | 5,117             | 59                 | 15                        | -8                         |
| 52       | M6 x 0,5 – 4H/4g     | 5,523                  | 5,778             | 52                 | -25                       | 25                         | 5,918                  | 5,584             | 36                 | 40                        | 35                         |
| 53       | M8 - 8H/8g           | 6,702                  | 7,358             | 45                 | 10                        | -30                        | 7,864                  | 6,926             | -28                | -30                       | 30                         |
| 54       | M8 x 0,75 – 6H/7g6g  | 7,324                  | 7,598             | 38                 | -26                       | -15                        | 7,878                  | 7,313             | 29                 | 15                        | 18                         |
| 55       | M8 x 1 – 5H/5h6h     | 6,960                  | 7,519             | -29                | 22                        | -25                        | 7,839                  | 7,234             | 39                 | -20                       | 25                         |
| 56       | M10 – 5G/5g6g        | 8,510                  | 9,475             | 19                 | -8                        | 10                         | 9,935                  | 8,985             | 46                 | 25                        | 25                         |
| 57       | M10 x 1 - 6G/6g      | 8,952                  | 9,563             | 26                 | 35                        | -26                        | 9,884                  | 9,213             | -54                | -30                       | -30                        |
| 58       | M12 – 6G/6d          | 10,373                 | 11,061            | -36                | 30                        | 22                         | 11,659                 | 10,508            | 62                 | -15                       | 15                         |
| 59       | M12 x 1,25 – 4H/4h   | 10,671                 | 11,299            | 45                 | -8                        | -8                         | 11,870                 | 10,985            | 75                 | 18                        | -20                        |
| 60       | M12 x 1,5 – 4H5H/6h  | 10,528                 | 11,135            | 49                 | 35                        | 35                         | 11,755                 | 10,884            | 72                 | 35                        | 25                         |
| 61       | M14 – 5G/5h6h        | 11,983                 | 12,931            | 32                 | 30                        | 30                         | 13,927                 | 12,456            | 68                 | 20                        | -30                        |
| 62       | M14 x 1 - 8H/8g      | 12,954                 | 13,615            | 28                 | 40                        | -8                         | 13,899                 | 13,145            | -53                | -18                       | 25                         |
| 63       | M14 x 1,25 - 7H/7e6e | 12,791                 | 13,313            | -22                | 10                        | -8                         | 13,912                 | 12,910            | -52                | -36                       | -30                        |
| 64       | M14 x 1,5 - 6G/6d    | 12,722                 | 13,199            | 54                 | -26                       | 35                         | 13,652                 | 12,811            | 50                 | 35                        | -15                        |
| 65       | M16 - 4H5H/3h4h      | 14,081                 | 14,841            | 59                 | 22                        | 30                         | 15,995                 | 14,528            | 46                 | 30                        | -25                        |
| 66       | M16 x 0,75 - 6G/6f   | 15,387                 | 15,636            | 36                 | -8                        | 18                         | 15,890                 | 15,311            | 45                 | 18                        | 10                         |
| 67       | M16 x 1 - 7H/6h      | 14,945                 | 15,557            | -28                | 35                        | 25                         | 15,942                 | 15,263            | 38                 | 15                        | -26                        |
| 68       | M16 x 1,5 - 7H/6f    | 14,491                 | 15,013            | 29                 | 30                        | 25                         | 15,939                 | 14,602            | -29                | 40                        | 22                         |
| 69       | M18 - 5H/5g6g        | 15,394                 | 16,495            | 39                 | 18                        | -30                        | 17,850                 | 16,255            | 19                 | -30                       | -8                         |
| 70       | M18 x 1 - 6H/6d      | 17,227                 | 17,443            | 46                 | -30                       | 15                         | 17,935                 | 17,132            | 26                 | 15                        | 35                         |
| 71       | M18 x 1,5 - 5H/6h    | 16,459                 | 17,169            | -54                | 15                        | -20                        | 17,872                 | 16,867            | -36                | -20                       | 30                         |
| 72       | M18 x 2 - 8H/7e6e    | 16,070                 | 16,975            | 62                 | -20                       | 25                         | 17,712                 | 16,459            | 45                 | 25                        | -8                         |
| 73       | M20 - 6H/5h4h        | 17,654                 | 18,421            | 10                 | 25                        | -30                        | 19,873                 | 18,255            | 49                 | -30                       | 35                         |
| 74       | M20 x 0,75 - 7H/7g6g | 19,389                 | 19,740            | 38                 | -30                       | 25                         | 19,933                 | 19,394            | 32                 | -15                       | 30                         |
| 75       | M20 x 1 - 7H/6h      | 19,116                 | 19,422            | 29                 | -18                       | -16                        | 19,884                 | 19,178            | 28                 | 18                        | 40                         |
| 76       | M20 x 1,5 - 5G/6e    | 18,557                 | 19,139            | -27                | -36                       | -25                        | 19,752                 | 18,772            | -35                | 35                        | 22                         |
| 77       | M20 x 2 - 7H/8g      | 17,978                 | 18,970            | 38                 | 18                        | 10                         | 19,728                 | 18,448            | 40                 | 20                        | -8                         |

| №<br>вар | Обозначение резьбы  | Данные измерений гайки |                   |                    |                           |                            | Данные измерений болта |                   |                    |                           |                            |
|----------|---------------------|------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|
|          |                     | $D_{1изм},$<br>мм      | $D_{2изм},$<br>мм | $\delta P,$<br>мкм | $\delta_{\alpha/2}^{лев}$ | $\delta_{\alpha/2}^{прав}$ | $d_{изм},$<br>мм       | $d_{2изм},$<br>мм | $\delta P,$<br>мкм | $\delta_{\alpha/2}^{лев}$ | $\delta_{\alpha/2}^{прав}$ |
| 78       | M22 - 5G/4g         | 19,417                 | 20,508            | 33                 | 35                        | -26                        | 21,952                 | 20,196            | 48                 | -18                       | 35                         |
| 79       | M22 x 0,5 - 7G/5g6g | 21,618                 | 21,899            | -35                | 20                        | 22                         | 21,906                 | 21,498            | 52                 | -36                       | 30                         |
| 80       | M22 x 1 - 6G/6e     | 21,141                 | 21,567            | 36                 | -18                       | -8                         | 21,915                 | 21,115            | -53                | 10                        | 18                         |
| 81       | M22 x 1,5 - 8G/9g8g | 20,899                 | 21,447            | 45                 | -36                       | 35                         | 21,611                 | 20,822            | -60                | -26                       | 25                         |
| 82       | M22 x 2 - 7H/6h     | 20,165                 | 21,002            | 43                 | 35                        | 30                         | 21,930                 | 20,505            | 29                 | 22                        | 25                         |
| 83       | M24 - 8G/7h6h       | 21,622                 | 22,483            | -39                | 30                        | -8                         | 23,885                 | 21,659            | 38                 | -8                        | 25                         |
| 84       | M24 x 0,75 - 4H/4g  | 23,288                 | 23,921            | 64                 | 18                        | 35                         | 23,959                 | 23,044            | 29                 | 35                        | -30                        |
| 85       | M24 x 1 - 4H5H/5g6g | 23,075                 | 23,433            | -26                | 15                        | 30                         | 23,842                 | 23,201            | -27                | 30                        | -15                        |
| 86       | M24 x 1,5 - 6G/6d   | 22,357                 | 23,159            | -33                | -36                       | 40                         | 23,883                 | 22,806            | 38                 | 18                        | -25                        |
| 87       | M24 x 2 - 4H5H/4h   | 22,067                 | 22,926            | 58                 | 10                        | 35                         | 23,991                 | 22,605            | 33                 | -30                       | 10                         |
| 88       | M27 - 6G/6f         | 23,797                 | 25,081            | -65                | -26                       | 30                         | 26,966                 | 24,822            | -35                | 15                        | -26                        |
| 89       | M27 x 1 - 6G/6g     | 26,126                 | 26,550            | 70                 | 22                        | -8                         | 26,901                 | 26,192            | 36                 | -20                       | 22                         |
| 90       | M27 x 1,5 - 6H/6e   | 25,658                 | 26,181            | -29                | -8                        | -8                         | 26,849                 | 25,857            | 45                 | 25                        | -8                         |
| 91       | M27 x 2 - 6H/6e     | 24,741                 | 25,907            | 42                 | 35                        | 35                         | 26,931                 | 25,451            | 43                 | -30                       | 35                         |
| 92       | M30 - 4H5H/5g6g     | 26,323                 | 27,917            | 55                 | 30                        | 30                         | 29,556                 | 27,416            | -39                | -15                       | 30                         |
| 93       | M30 x 1 - 5G/6f     | 29,026                 | 29,537            | -59                | 18                        | 35                         | 29,836                 | 29,084            | 64                 | 18                        | -8                         |
| 94       | M30 x 1,5 - 4H/4g   | 28,513                 | 29,124            | 23                 | -30                       | 30                         | 29,992                 | 28,872            | -62                | 35                        | 22                         |
| 95       | M30 x 2 - 4H5H/3h4h | 27,864                 | 28,849            | 11                 | 15                        | 18                         | 29,811                 | 28,629            | -26                | 20                        | 25                         |
| 96       | M30 x 3 - 7H/8g     | 29,979                 | 28,380            | 42                 | -25                       | -30                        | 26,622                 | 27,724            | -33                | -18                       | 40                         |
| 97       | M36 - 5G/5g6g       | 32,001                 | 33,737            | -40                | -25                       | 15                         | 35,632                 | 33,089            | 58                 | -36                       | 19                         |
| 98       | M36 x 1,5 - 7H/6h   | 34,393                 | 35,175            | 52                 | 15                        | -30                        | 35,795                 | 34,877            | -65                | 24                        | 35                         |
| 99       | M36 x 2 - 6H/6f     | 34,132                 | 34,953            | 46                 | 15                        | 25                         | 35,739                 | 34,437            | 70                 | 40                        | 35                         |
| 100      | M36 x 3 - 7G/6h     | 33,247                 | 34,276            | 48                 | 15                        | -25                        | 35,762                 | 33,826            | -29                | -16                       | 40                         |

## Задание 5. Нормирование точности цилиндрических зубчатых колес и передач

| №<br>вар. | Модуль | Число<br>зубьев |       | Ширина<br>зубчатого<br>венца, мм | Степень точно-<br>сти и вид со-<br>пряжения | №<br>вар. | Модуль | Число<br>зубьев |       | Ширина<br>зубчатого<br>венца, мм | Степень<br>точности и<br>вид сопря-<br>жения |
|-----------|--------|-----------------|-------|----------------------------------|---------------------------------------------|-----------|--------|-----------------|-------|----------------------------------|----------------------------------------------|
|           |        | $z_1$           | $z_2$ |                                  |                                             |           |        | $z_1$           | $z_2$ |                                  |                                              |
| 1         | 1,0    | 45              | 82    | 20                               | 5-H                                         | 51        | 1,0    | 19              | 95    | 10                               | 7-7-6-D                                      |
| 2         | 1,125  | 43              | 76    | 20                               | 8-7-8-A                                     | 52        | 1,125  | 44              | 100   | 10                               | 8-8-7-H                                      |
| 3         | 1,25   | 50              | 70    | 30                               | 6-E                                         | 53        | 1,25   | 49              | 63    | 10                               | 7-C                                          |
| 4         | 1,375  | 44              | 100   | 30                               | 7-7-6-D                                     | 54        | 1,375  | 28              | 112   | 20                               | 5-6-7-C                                      |
| 5         | 1,5    | 50              | 62    | 30                               | 7-C                                         | 55        | 1,5    | 45              | 85    | 35                               | 5-H                                          |
| 6         | 1,6    | 40              | 47    | 30                               | 8-B                                         | 56        | 1,6    | 50              | 62    | 40                               | 10-9-9-A                                     |
| 7         | 1,75   | 28              | 56    | 30                               | 5-6-7-C                                     | 57        | 1,75   | 43              | 76    | 50                               | 8-7-8-A                                      |
| 8         | 2      | 30              | 75    | 40                               | 7-A                                         | 58        | 2      | 28              | 112   | 45                               | 6-E                                          |
| 9         | 2,25   | 20              | 61    | 40                               | 10-9-9-A                                    | 59        | 2,25   | 32              | 41    | 40                               | 7-8-9-B                                      |
| 10        | 2,5    | 15              | 35    | 40                               | 8-7-7-H                                     | 60        | 2,5    | 30              | 49    | 35                               | 9-A                                          |
| 11        | 2,75   | 22              | 36    | 40                               | 8-C                                         | 61        | 2,75   | 46              | 87    | 30                               | 6-5-6-B                                      |
| 12        | 3      | 32              | 41    | 30                               | 8-7-7-B                                     | 62        | 3      | 27              | 45    | 25                               | 7-H                                          |
| 13        | 3,15   | 41              | 48    | 30                               | 9-8-7-D                                     | 63        | 3,15   | 32              | 41    | 30                               | 6-5-6-H                                      |
| 14        | 3,5    | 59              | 83    | 30                               | 9-A                                         | 64        | 3,5    | 15              | 45    | 45                               | 5-H                                          |
| 15        | 4,0    | 18              | 51    | 50                               | 8-6-7-E                                     | 65        | 4,0    | 32              | 57    | 50                               | 10-9-10-B                                    |
| 16        | 4,5    | 27              | 45    | 50                               | 7-8-9-B                                     | 66        | 4,5    | 50              | 62    | 65                               | 8-9-10-A                                     |
| 17        | 5,0    | 22              | 44    | 50                               | 8-9-10-A                                    | 67        | 5,0    | 18              | 23    | 70                               | 7-8-9-B                                      |
| 18        | 5,5    | 49              | 53    | 50                               | 6-5-6-H                                     | 68        | 5,5    | 25              | 46    | 80                               | 7-D                                          |
| 19        | 6,0    | 20              | 35    | 50                               | 5-6-6-E                                     | 69        | 6,0    | 51              | 60    | 90                               | 8-7-7-H                                      |
| 20        | 6,3    | 17              | 26    | 70                               | 7-C                                         | 70        | 6,3    | 22              | 33    | 100                              | 9-A                                          |
| 21        | 7,0    | 36              | 48    | 70                               | 6-5-6-B                                     | 71        | 7,0    | 50              | 80    | 110                              | 8-C                                          |
| 22        | 8,0    | 15              | 25    | 80                               | 9-9-8-C                                     | 72        | 8,0    | 42              | 56    | 120                              | 6-7-7-E                                      |
| 23        | 9,0    | 19              | 21    | 90                               | 10-9-10-B                                   | 73        | 9,0    | 28              | 40    | 200                              | 8-D                                          |
| 24        | 10,0   | 23              | 47    | 100                              | 5-H                                         | 74        | 10,0   | 39              | 49    | 250                              | 6-7-7-E                                      |
| 25        | 5,5    | 25              | 33    | 75                               | 7-5-6-E                                     | 75        | 5,5    | 26              | 32    | 85                               | 8-6-6-C                                      |
| 26        | 1,0    | 28              | 112   | 10                               | 8-D                                         | 76        | 1,0    | 18              | 106   | 10                               | 9-B                                          |
| 27        | 1,125  | 19              | 95    | 10                               | 6-7-7-E                                     | 77        | 1,125  | 58              | 66    | 10                               | 10-9-10-A                                    |
| 28        | 1,25   | 32              | 101   | 10                               | 8-7-8-H                                     | 78        | 1,25   | 40              | 125   | 10                               | 6-6-8-D                                      |
| 29        | 1,375  | 40              | 47    | 15                               | 10-9-10-A                                   | 79        | 1,375  | 36              | 110   | 20                               | 5-5-8-H                                      |
| 30        | 1,5    | 19              | 95    | 15                               | 6-H                                         | 80        | 1,5    | 32              | 101   | 35                               | 8-6-7-E                                      |
| 31        | 1,6    | 43              | 76    | 15                               | 8-7-6-B                                     | 81        | 1,6    | 41              | 48    | 40                               | 8-D                                          |
| 32        | 1,75   | 41              | 48    | 15                               | 7-C                                         | 82        | 1,75   | 17              | 125   | 50                               | 5-5-6-H                                      |
| 33        | 2      | 59              | 83    | 15                               | 6-7-8-H                                     | 83        | 2      | 42              | 47    | 45                               | 8-6-6-C                                      |
| 34        | 2,25   | 58              | 66    | 20                               | 5-H                                         | 84        | 2,25   | 40              | 47    | 40                               | 6-5-6-B                                      |
| 35        | 2,5    | 31              | 44    | 20                               | 10-B                                        | 85        | 2,5    | 21              | 84    | 35                               | 6-H                                          |
| 36        | 2,75   | 43              | 48    | 20                               | 6-7-7-E                                     | 86        | 2,75   | 59              | 83    | 30                               | 9-9-8-C                                      |
| 37        | 3      | 22              | 33    | 20                               | 7-E                                         | 87        | 3      | 20              | 61    | 25                               | 9-B                                          |
| 38        | 3,15   | 20              | 61    | 20                               | 6-6-8-D                                     | 88        | 3,15   | 31              | 44    | 30                               | 5-5-6-H                                      |
| 39        | 3,5    | 41              | 63    | 35                               | 5-5-8-H                                     | 89        | 3,5    | 18              | 36    | 45                               | 6-H                                          |
| 40        | 4,0    | 42              | 47    | 35                               | 6-H                                         | 90        | 4,0    | 23              | 55    | 50                               | 9-9-10-A                                     |
| 41        | 4,5    | 18              | 36    | 35                               | 8-6-6-C                                     | 91        | 4,5    | 37              | 57    | 65                               | 7-5-6-E                                      |
| 42        | 5,0    | 19              | 60    | 35                               | 8-7-6-E                                     | 92        | 5,0    | 25              | 65    | 70                               | 9-9-8-C                                      |
| 43        | 5,5    | 22              | 44    | 35                               | 10-8-10-A                                   | 93        | 5,5    | 17              | 49    | 80                               | 5-H                                          |
| 44        | 6,0    | 22              | 44    | 55                               | 9-9-8-C                                     | 94        | 6,0    | 19              | 60    | 90                               | 6-D                                          |
| 45        | 6,3    | 20              | 35    | 55                               | 5-H                                         | 95        | 6,3    | 16              | 26    | 100                              | 10-9-10-B                                    |
| 46        | 7,0    | 17              | 21    | 55                               | 6-D                                         | 96        | 7,0    | 21              | 63    | 110                              | 9-A                                          |
| 47        | 8,0    | 16              | 26    | 55                               | 6-7-6-E                                     | 97        | 8,0    | 22              | 44    | 120                              | 8-7-7-H                                      |
| 48        | 9,0    | 15              | 25    | 55                               | 8-C                                         | 98        | 9,0    | 24              | 38    | 200                              | 8-D                                          |
| 49        | 10,0   | 24              | 38    | 85                               | 9-9-10-A                                    | 99        | 10,0   | 18              | 32    | 250                              | 7-C                                          |
| 50        | 5,5    | 22              | 27    | 70                               | 5-5-6-H                                     | 100       | 5,5    | 31              | 72    | 85                               | 6-7-8-E                                      |

## Задание 6. Расчет размерных цепей

Задание выполняется по чертежу сборочного узла, выданного преподавателем.

### 6.1 Первая задача

Исходные данные: детали узла по увеличивающим размерам изготовлены по полю допуска  $H8$ , по уменьшающим – по полю допуска  $h7$ , требуемое номинальное значение размера замыкающего звена  $A_0 = 0,5$  мм. Номинальные размеры составляющих звеньев определить по чертежу.

Найти: допуск и предельные размеры замыкающего звена по методу полной взаимозаменяемости.

### 6.2 Вторая задача

Исходные данные: размер исходного звена  $A_0 = 0,5_{-0,1}$  мм. Номинальные размеры составляющих звеньев взять такими же, как в первой задаче.

Найти: допуски и предельные отклонения составляющих звеньев по методу одного качества.

## Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. – Введ. 2003-01-01. – Минск : Госстандарт Республики Беларусь, 2003. – 15 с.
2. ГОСТ 520-2002. Подшипники качения. Общие технические условия. – Введ. 2003-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2006. – 66 с.
3. ГОСТ 1139-80. Соединения шлицевые прямобоочные. Размеры и допуски. – Введ. 1982-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2003. – 9 с.
4. ГОСТ 1643-81. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. – Введ. 1981-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2003. – 44 с.
5. ГОСТ 3325-85. Подшипники качения. Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов. Посадки. – Введ. 1987-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1994. – 103 с.
6. ГОСТ 8724-2002. Резьба метрическая. Диаметры и шаги. – Введ. 2004-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.
7. ГОСТ 9150-2002. Резьба метрическая. Профиль. – Введ. 2004-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2003. – 3 с.
8. ГОСТ 11708-82. Резьба. Термины и определения. – Введ. 1984-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1985. – 31 с.
9. ГОСТ 16093-2004. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором. – Введ. 2005-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2005. – 38 с.
10. ГОСТ 23360-78. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки. – Введ. 1980-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1978. – 16 с.
11. ГОСТ 24705-2004. Резьба метрическая. Основные размеры. – Введ. 2005-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2006. – 15 с.
12. ГОСТ 24853-81. Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Допуски. – Введ. 1983-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1981. – 11 с.
13. ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010). Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски отклонения и посадки. – Введ. 2017-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 52 с.
14. ГОСТ 25347-2013 (ISO 286-2:2010). Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Ряды допусков, предельные отклонения отверстий и валов. – Введ. 2017-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 62 с.
15. Допуски и посадки. Справочник : в 2-ч. Ч. 1 / В. Д. Мягков [и др.]. – Ленинград : Машиностроение, 1982. – 543 с.
16. Допуски и посадки. Справочник : в 2-х ч. Ч. 2 / В. Д. Мягков [и др.]. – Ленинград : Машиностроение, 1983. – 448 с.

17. Клименков, С. С. Нормирование точности и технические измерения в машиностроении : учебник / С. С. Клименков. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2016. – 248 с.

18. Марков, Н. Н. Нормирование точности в машиностроении / Н. Н. Марков, В. В. Осипов, М. Б. Шабалина; под ред. Ю. М. Соломенцева. – Москва : Высшая школа, 2001. – 335 с.

19. Нормирование точности деталей машин и приборов: методические указания по выполнению курсовой работы. В двух частях. Часть 2 / сост. А. Н. Голубев, В. В. Пятов. – Витебск : УО «ВГТУ», 2019. – 65 с.

20. РД-50-635-87. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей : методические указания. – Москва : Изд-во стандартов, 1987. – 46 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Образец оформления титульного листа

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования**

**«Витебский государственный технологический университет»**

**Кафедра «Технология и оборудование  
машиностроительного производства»**

### **КУРСОВАЯ РАБОТА**

по дисциплине

**«Нормирование точности и технические измерения»  
(«Нормирование точности», «Стандартизация норм точности»)**

*Выполнил:*

Студент факультета \_\_\_\_\_

группы \_\_\_\_\_

*подпись*

*Ф.И.О.*

*Проверил:*

Руководитель \_\_\_\_\_

*должность*

*подпись*

*Ф.И.О.*

*ученая степень, ученое звание*

*отметка о допуске к защите*

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

*подпись руководителя*

Витебск, 20\_\_

Учебное издание

## **НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ПРИБОРОВ**

Методические указания по выполнению курсовой работы

В двух частях  
Часть 1

Составители:  
Голубев Алексей Николаевич  
Пятов Владислав Владимирович

Редактор *Т.А. Осипова*  
Корректор *А.В. Пухальская*  
Компьютерная верстка *А.Н. Голубев*

---

Подписано к печати 26.11.2019. Формат 60x90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл. печ. листов 5,1.  
Уч.-изд. листов 6,5. Тираж 70 экз. Заказ № 338.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»  
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования  
«Витебский государственный технологический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.