

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## **НОРМИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ ТИПОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕХАНИЗМОВ**

---

### **ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ПЕРЕДАЧ**

#### **Часть 5**

**Методические указания**  
к выполнению курсовой работы по дисциплинам  
«Основы взаимозаменяемости»,  
«Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения»,  
«Нормирование точности в машиностроении»,  
«Взаимозаменяемость, метрология, стандартизация  
и управление качеством»  
для студентов очной, заочной и очно-заочной форм обучения  
технических направлений

Севастополь  
СевГУ  
2019

УДК 531.7  
Н83

**Р е ц е н з е н т:**

**В.В. Мешков** – проректор по административной политике

*Составители:* Н.А. Волошина, О.В. Филипович, Н.А. Балакина,  
Г.В. Невар

**Н83 Нормирование и контроль точности типовых соединений механизмов. Взаимозаменяемость зубчатых колес и передач (часть 5): метод. указания к выполнению курсовой работы / Сост. Н.А. Волошина, О.В. Филипович, Н.А. Балакина, Г.В. Невар. – Севастополь: СевГУ, 2019. – 112 с.**

Методические указания предназначены для учебно-методического обеспечения дисциплин «Основы взаимозаменяемости», «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения», «Нормирование точности в машиностроении», «Взаимозаменяемость, метрология, стандартизация и управление качеством».

Целью методических указаний является оказание помощи студентам при выполнении курсовой работы по дисциплинам «Основы взаимозаменяемости», «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения», «Нормирование точности в машиностроении», «Взаимозаменяемость, метрология, стандартизация и управление качеством». Овладение навыками нормирования требований к точности зубчатых колес и передач.

УДК 531.7

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов», протокол № 5 от 30 ноября 2018 г.

Рекомендовано в качестве методических указаний для студентов очной, заочной и очно-заочной форм обучения технических направлений.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ОБОЗНАЧЕНИЯ .....</b>                                                                                        | <b>4</b>  |
| <b>1. ОСНОВНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И ТОЧНОСТНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗУБЧАТЫМ ПЕРЕДАЧАМ .....</b>                          | <b>8</b>  |
| <b>2. СИСТЕМА ДОПУСКОВ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ.....</b>                                             | <b>10</b> |
| 2.1. Нормируемые параметры (показатели), характеризующие кинематическую точность зубчатых колес и передач ..... | 11        |
| 2.2. Нормируемые параметры (показатели), характеризующие плавность работы .....                                 | 19        |
| 2.3. Нормируемые параметры (показатели), характеризующие полноту контакта зубьев .....                          | 24        |
| 2.4. Нормируемые параметры (показатели), характеризующие боковой зазор .....                                    | 29        |
| <b>3. ОБОЗНАЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОЛЕС И ПЕРЕДАЧ .....</b>                                                            | <b>33</b> |
| <b>4. ВЫБОР СТЕПЕНИ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС.....</b>                                                            | <b>34</b> |
| <b>5. ДОПУСКИ ЗУБЧАТЫХ КОНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ.....</b>                                                              | <b>35</b> |
| <b>6. ДОПУСКИ ЧЕРВЯЧНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ .....</b>                                                        | <b>37</b> |
| <b>7. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЕТАЛЕЙ ЗУБЧАТЫХ (ЧЕРВЯЧНЫХ) ПЕРЕДАЧ.....</b>                                 | <b>40</b> |
| 7.1. Цилиндрические зубчатые колеса .....                                                                       | 40        |
| 7.2. Конические зубчатые колеса .....                                                                           | 53        |
| 7.3. Червяки .....                                                                                              | 64        |
| 7.4. Червячные колеса .....                                                                                     | 73        |
| <b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>                                                                   | <b>78</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>                                                                                          | <b>80</b> |

## ОБОЗНАЧЕНИЯ

### ***Кинематическая погрешность и допуски на кинематическую погрешность зубчатой передачи и колеса***

- $F'_{ior}$  – наибольшая кинематическая погрешность передачи;  
 $F'_{io}$  – допуск на кинематическую погрешность передачи;  
 $F'_{ir}$  – наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса;  
 $F'_i$  – допуск на кинематическую погрешность зубчатого колеса;  
 $F'_{ikr}$  – кинематическая погрешность зубчатого колеса на  $k$  шагах;  
 $F'_{ik}$  – допуск на кинематическую погрешность зубчатого колеса на  $k$  шагах

### ***Накопленная погрешность***

- $F_{Pkr}$  – накопленная погрешность  $k$  шагов;  
 $F_{Pk}$  – допуск на накопленную погрешность  $k$  шагов;  
 $F_{Pr}$  – накопленная погрешность шага по зубчатому колесу;  
 $F_P$  – допуск на накопленную погрешность шага по зубчатому колесу

### ***Радиальное биение и допуск на радиальное биение зубчатого венца***

- $F_{rr}$  – радиальное биение зубчатого венца;  
 $F_r$  – допуск на радиальное биение зубчатого венца

### ***Погрешность обката и допуск на погрешность обката***

- $F_{cr}$  – погрешность обката;  
 $F_c$  – допуск на погрешность обката

### ***Колебание длины общей нормали и допуск на колебание длины общей нормали***

- $F_{vWr}$  – колебание длины общей нормали;  
 $F_{vW}$  – допуск на колебание длины общей нормали

### ***Колебание измерительного межосевого расстояния и допуск на колебание измерительного межосевого расстояния***

- $F''_{ir}$  – колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса;  
 $F''_i$  – допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса;  
 $f''_{ir}$  – колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе;  
 $f''_i$  – допуск на колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе

**Колебание измерительного межосевого расстояния и  
допуск на колебание измерительного межосевого расстояния**

- $F_{ir}''$  – колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса;  
 $F_i''$  – допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса;  
 $f_{ir}''$  – колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе;  
 $f_i''$  – допуск на колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе

**Циклическая погрешность**

- $f_{zkr}$  – циклическая погрешность передачи;  
 $f_{zko}$  – допуск на циклическую погрешность передачи;  
 $f_{zzor}$  – циклическая погрешность зубцовой частоты в передаче;  
 $f_{zzo}$  – допуск на циклическую погрешность зубцовой частоты в передаче;  
 $f_{zkr}$  – циклическая погрешность зубчатого колеса;  
 $f_{zk}$  – допуск на циклическую погрешность зубчатого колеса;  
 $f_{zr}$  – циклическая погрешность зубцовой частоты зубчатого колеса;  
 $f_{zz}$  – допуск на циклическую погрешность зубцовой частоты зубчатого колеса;  
 $f_{ior}'$  – местная циклическая погрешность передачи;  
 $f_{io}'$  – допуск на местную кинематическую погрешность передачи;  
 $f_{ir}'$  – местная кинематическая погрешность зубчатого колеса;  
 $f_i'$  – допуск на местную кинематическую погрешность зубчатого колеса

**Отклонение шага**

- $f_{Ptr}$  – отклонение шага;  
 $+ f_{Pt}$  – верхнее предельное отклонение шага;  
 $- f_{Pt}$  – нижнее предельное отклонение шага;  
 $f_{vPtr}$  – разность шагов;  
 $f_{vPt}$  – допуск на разность шагов;  
 $f_{Pbr}$  – отклонение шага зацепления;  
 $+ f_{Pb}$  – верхнее предельное отклонение шага зацепления;  
 $- f_{Pb}$  – нижнее предельное отклонение шага зацепления

**Погрешность профиля зуба**

- $f_{fr}$  – погрешность профиля зуба;  
 $f_f$  – допуск на погрешность профиля зуба

### ***Отклонение осевых шагов по нормали***

- $F_{P_{xnr}}$  – отклонение осевых шагов по нормали;  
 $+ F_{P_{xn}}$  – верхнее предельное отклонение осевых шагов по нормали;  
 $- F_{P_{xn}}$  – нижнее предельное отклонение осевых шагов по нормали

### ***Суммарная погрешность контактной линии***

- $F_{kr}$  – суммарная погрешность контактной линии;  
 $F_k$  – допуск на суммарную погрешность контактной линии

### ***Погрешность направления зуба***

- $F_{\beta r}$  – погрешность направления зуба;  
 $F_{\beta}$  – допуск на погрешность направления зуба

### ***Отклонение от параллельности осей***

- $f_{xr}$  – отклонение от параллельности осей;  
 $f_x$  – допуск параллельности осей

### ***Перекося осей***

- $f_{yr}$  – перекося осей;  
 $f_y$  – допуск на перекося осей

### ***Отклонение межосевого расстояния***

- $f_{ar}$  – отклонение межосевого расстояния;  
 $+ f_a$  – верхнее предельное отклонение межосевого расстояния;  
 $- f_a$  – нижнее предельное отклонение межосевого расстояния;

### ***Гарантированный боковой зазор***

- $j_{n \min}$  – гарантированный боковой зазор;  
 $T_{jn}$  – допуск на боковой зазор

### ***Дополнительное смещение исходного контура***

- $E_{Hr}$  – дополнительное смещение исходного контура;  
 $+ E_{Hs}$  – наименьшее дополнительное смещение исходного контура для зубчатого колеса с внешними зубьями;  
 $- E_{Hi}$  – наименьшее дополнительное смещение исходного контура для зубчатого колеса с внутренними зубьями;  
 $T_H$  – допуск на дополнительное смещение исходного контура

### ***Отклонения измерительного межосевого расстояния***

- для зубчатых колес с внешними зубьями;  
 $+ E_{a''s}$  – верхнее предельное отклонение измерительного межосевого расстояния;

- $E_{a''i}$  – нижнее предельное отклонение измерительного межосевого расстояния;  
– для зубчатых колес с внутренними зубьями;
- $E_{a''s}$  – верхнее предельное отклонение измерительного межосевого расстояния;
- +  $E_{a''i}$  – нижнее предельное отклонение измерительного межосевого расстояния

### ***Длина общей нормали***

- $W$  – номинальная длина общей нормали;
- $E_{Wr}$  – отклонение длины общей нормали;
- +  $E_{Ws}$  – наименьшее отклонение длины общей нормали для зубчатого колеса с внешними зубьями;
- $E_{Wi}$  – наименьшее отклонение длины общей нормали для зубчатого колеса с внутренними зубьями;
- $T_W$  – допуск на длину общей нормали;
- $W_{mr}$  – средняя длина общей нормали;
- $E_{Wmr}$  – отклонение средней длины общей нормали;
- $E_{Wms}$  – наименьшее отклонение средней длины общей нормали для зубчатого колеса с внешними зубьями;
- +  $E_{Wmi}$  – наименьшее отклонение средней длины общей нормали для колеса с внутренними зубьями;
- $T_{Wm}$  – допуск на среднюю длину общей нормали

### ***Толщина зуба***

- $\bar{S}_c$  – номинальная толщина зуба (по постоянной хорде);
- $E_{cr}$  – отклонение толщины зуба;
- $E_{cr}$  – наименьшее отклонение толщины зуба;
- $T_c$  – допуск на толщину зуба

### ***Отклонение размера по роликам***

- $E_{Mr}$  – отклонение размера по роликам;
- $E_{Ms}$  – наименьшее отклонение размера по роликам для зубчатого колеса с внешними зубьями;
- +  $E_{Mi}$  – наименьшее отклонение размера по роликам для зубчатого колеса с внутренними зубьями;
- $T_H$  – допуск на размер по роликам

### ***Эффективный коэффициент осевого перекрытия передачи***

- $\varepsilon_{\beta e}$  – эффективный коэффициент осевого перекрытия передачи.

# 1. ОСНОВНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И ТОЧНОСТНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗУБЧАТЫМ ПЕРЕДАЧАМ

Зубчатое колесо представляет собой деталь сложной геометрической формы в виде диска с зубьями на цилиндрической или конической поверхности, входящими в зацепление с зубьями другого зубчатого колеса.

**Зубчатыми передачами** называются механизмы, состоящие из зубчатых колес, которые сцепляются между собой и передают вращательное движение, обычно, преобразуя угловые скорости и крутящие моменты.

Наибольшее распространение имеют эвольвентные цилиндрические зубчатые колеса и передачи, т.е. передачи с параллельными осями. Эвольвентный профиль зуба обычно получают в результате обкатывания (без скольжения) нарезаемого колеса зуборезным инструментом. При этом профиль и геометрические параметры зубьев зубчатых колес (рис. 1.1) должны соответствовать ГОСТ 13755 – 2015.

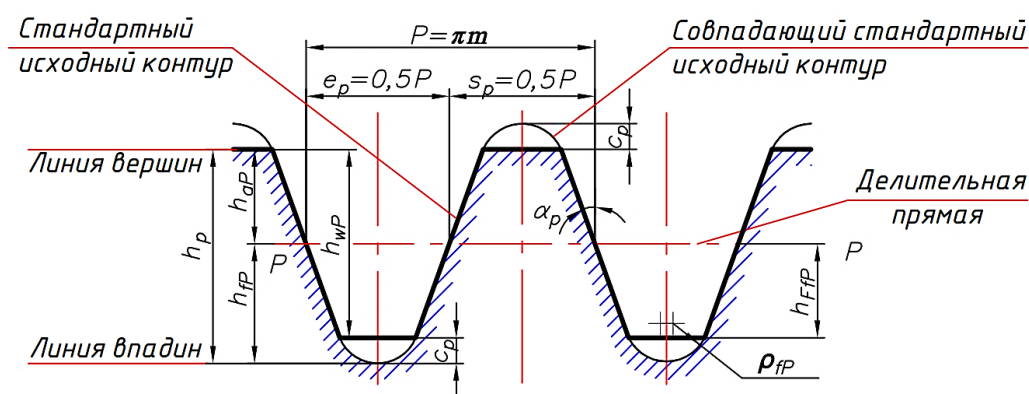


Рисунок 1.1 – Исходный контур эвольвентных зубчатых колес

На рисунке приняты следующие обозначения:  $P$  – шаг;  $m$  – модуль;  $e_p$  – окружная ширина впадины стандартного исходного контура;  $s_p$  – толщина зуба исходного контура;  $h_p$  – высота зуба стандартного исходного контура;  $h_{fp}$  – высота ножки зуба стандартного исходного контура;  $h_{ap}$  – высота головки зуба стандартного исходного контура;  $h_{wp}$  – общая высота стандартного исходного контура и совпадающего исходного контура;  $c_p$  – радиальный зазор между стандартным исходным контуром и совпадающим исходным контуром;  $\alpha_p$  – угол профиля;  $\rho_{fp}$  – радиус кривизны переходной кривой исходного контура;  $h_{fpr}$  – прямолинейный участок по высоте ножки стандартного исходного контура.

Особая трудность при нормировании точностных требований к зубчатым колесам заключается в том, что эти детали являются сложными

по своей геометрической форме, а кроме того, они являются элементами кинематической цепи. Поэтому и необходимо при нормировании учитывать их основное служебное назначение: передачу движения с одного вала на другой при необычной геометрической форме.

Требования к характеристикам передаваемого движения оказываются не одинаковыми для всего многообразия зубчатых передач. По эксплуатационному назначению можно выделить четыре основные группы зубчатых передач: отсчетные, скоростные, силовые и общего назначения.

К **отсчетным** относятся зубчатые передачи измерительных приборов, делительных механизмов металлорежущих станков и делительных машин, счетно-решающих механизмов и т.п. В большинстве случаев колеса этих передач имеют малый модуль и работают при малых нагрузках и скоростях. Основным эксплуатационным показателем делительных и других отсчетных передач является высокая кинематическая точность, т.е. точная согласованность углов поворота ведущего и ведомого колес передачи. Для реверсивных отсчетных передач весьма существенное значение имеет боковой зазор в передаче и колебание этого зазора.

**Скоростными** являются зубчатые передачи турбинных редукторов, двигателей турбовинтовых самолетов и др. Окружные скорости зубчатых колес таких передач достигают 100 м/с при сравнительно большой передаваемой мощности (до 40 МВт). Их основной эксплуатационный показатель – плавность работы, т.е. отсутствие циклических погрешностей, многократно повторяющихся за оборот колеса. С увеличением частоты вращения требования к плавности работы повышаются. Передача должна работать бесшумно и без вибраций, что может быть достигнуто при минимальных погрешностях формы и взаимного расположения зубьев. Для тяжелонагруженных скоростных зубчатых передач обычно имеет значение также полнота контакта зубьев. Колеса таких передач обычно имеют средние модули. Для них часто ограничивают также шумовые характеристики работающей передачи, вибрацию, статическую и динамическую неуравновешенность вращающихся масс и т.п.

К **силовым** относят зубчатые передачи, передающие значительные крутящие моменты при малой частоте вращения (зубчатые передачи шестеренных клетей прокатных станов, подъемно-транспортных механизмов и др.). Колеса для таких передач изготавливают с большим модулем. Основное точностное требование к ним – обеспечение более полного использования активных боковых поверхностей зубьев, т.е. получение наибольшего пятна контакта зубьев.

К передачам общего назначения не предъявляют повышенных требований по точности.

## 2. СИСТЕМА ДОПУСКОВ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

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

**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. Они называются: нормы кинематической точности, нормы плавности работы, нормы полноты контакта зубьев, нормы бокового зазора.

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, т.е. характеризует погрешность в угле поворота за один оборот по сравнению с тем, если бы вместо него находилось абсолютно точное колесо.

В *нормах плавности работы* нормируются требования к точности таких геометрических и кинематических параметров колес и передач, погрешность которых также влияет на кинематическую точность, но эта погрешность 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, поскольку такие погрешности являются источником ударов, приводящих к появлению шума и вибраций.

В *нормах контакта* нормируются требования к таким геометрическим и кинематическим параметрам колес и передач, погрешность которых влияет на величину площади поверхности касания при вращении зубьев сопрягаемых колес. Требования к контакту поверхностей имеют особенно важное значение для передач, работающих с большими нагрузками.

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.

Первые три группы норм (кинематической точности, плавности работы и полноты контакта) относятся к характеристике процесса вращения, а четвертая норма (боковой зазор) не характеризует точность

вращения колес и передач, поскольку нормируются требования к нерабочим профилям. Поэтому при нормировании точности зубчатых колес принято давать единые ряды точности для первых трех норм точности, характеризующих процесс зацепления по разным параметрам. Эти ряды точности названы **степенями точности**.

В ГОСТ 1643 – 81 «Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски» нормируется 12 степеней точности для эвольвентных зубчатых колес и передач с диаметром колес до 6300 мм, модулем от 1 до 55 мм. Чем меньше степень точности, тем точнее колесо или передача (меньше допуски). Для степеней точности 1 и 2 допуски и предельные отклонения не даны (они предусмотрены для будущего развития). Приведенные нормы относятся к окончательно изготовленным зубчатым колесам и передачам (точность заготовок колес не нормируется). Для каждой степени точности установлены независимые нормы допускаемых отклонений параметров, определяющих кинематическую точность колес и передач, плавность работы и контакт зубьев зубчатых колес в передаче, что позволяет назначать различные нормы и степени точности для передач в соответствии с их эксплуатационным назначением и учитывать отличие технологических способов обеспечения требуемой точности.

## **2.1. Нормируемые параметры (показатели), характеризующие кинематическую точность зубчатых колес и передач**

Показатели кинематической точности и охватываемые степени точности приведены в табл. 2.1. Требования к кинематической точности можно нормировать одним из 10 вариантов, содержащих требования к одному или двум параметрам. Один параметр применяется для нормирования в тех случаях, когда он один полностью выявляет кинематическую точность (№1, 2, 3, 10) или, когда предъявляются требования к грубым колесам (№8, 9), где погрешность выявляется доминирующим параметром. Во всех остальных случаях содержатся требования к двум параметрам, в сумме характеризующим кинематическую точность. Объясняется это тем, что кинематическая точность колеса обеспечивается точностью кинематической цепи станка и точностью установки заготовки колеса относительно оси зубообрабатывающего станка. Таким образом, параметры под №1, 2, 3, 10 выявляют влияние погрешности станка и влияние погрешности установки на точность колеса, а там, где указано два параметра, то один параметр выявляет отдельно погрешность от станка (так называемая тангенциальная составляющая – кинематический эксцентриситет), а другой – погрешность от установки заготовки (так называемая радиальная составляющая – геометрический эксцентриситет).

Таблица 2.1 – Показатели кинематической точности

| №  | Нормируемые показатели точности или комплекс показателей                                                  | Условные обозначения | Степень точности |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------|
| 1  | Кинематическая погрешность зубчатого колеса                                                               | $F'_{ir}$            | 3...8            |
| 2  | Накопленная погрешность шага и накопленная погрешность « $k$ » шагов зубчатого колеса                     | $F_{Pr}, F_{Pkr}$    | 3...6            |
| 3  | Накопленная погрешность шага зубчатого колеса                                                             | $F_{Pr}$             | 7...8            |
| 4  | Погрешность обката и радиальное биение зубчатого венца                                                    | $F_{cr}, F_{rr}$     | 3...8            |
| 5  | Колебание длины общей нормали и радиальное биение зубчатого вена                                          | $F_{vWr}, F_{rr}$    | 3...8            |
| 6  | Колебание длины общей нормали и колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса | $F_{vWr}, F''_{ir}$  | 5...8            |
| 7  | Погрешность обката и колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса            | $F_{cr}, F''_{ir}$   | 5...7            |
| 8  | Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса                                 | $F''_{ir}$           | 10...12          |
| 9  | Радиальное биение зубчатого колеса                                                                        | $F_{rr}$             | 8...12           |
| 10 | Кинематическая погрешность передачи                                                                       | $F'_{ior}$           | 3...8            |

В табл. 2.1 параметры  $F_{cr}$  и  $F_{vWr}$  характеризуют тангенциальную составляющую, а параметры  $F_{rr}$  и  $F''_{ir}$  – радиальную.

**Кинематической погрешностью колеса ( $F'_{ir}$ )** называется разность между действительным (измеренным) и номинальным (расчетным) углами поворота зубчатого колеса на его рабочей оси, ведомого точным (измерительным) зубчатым колесом, при номинальном взаимном положении осей вращения этих колес. Выражается эта погрешность в линейных величинах длиной дуги делительной окружности.

Под рабочей осью понимают ось колеса, вокруг которой оно вращается в передаче. При назначении требований к точности колеса относительно другой оси (например, оси отверстия), которая может не совпадать с рабочей осью, погрешность колеса будет другой, что необходимо учитывать при установлении точности передачи. Все точностные требования установлены для колес, находящихся на рабочих осях.

Наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса  $F'_{ir}$  – наибольшая алгебраическая разность значений кинематической погрешности зубчатого колеса в пределах угла  $\varphi_{полн}$  полного оборота (рис. 2.1).

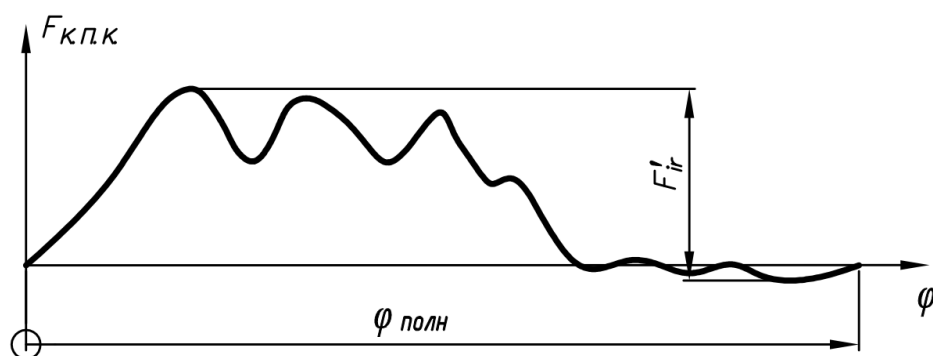


Рисунок 2.1 – Кривая кинематической погрешности зубчатого колеса

Эта погрешность ограничивается допуском на кинематическую погрешность колеса  $F'_i$  (значения в стандарте не приведены). Допуск на кинематическую погрешность зубчатого колеса  $F'_i$  следует определять как сумму допуска на накопленную погрешность шага колеса  $F_p$  в зависимости от степени по нормам кинематической точности и допуска на погрешность профиля зуба  $f_f$  назначаемого в зависимости от степени точности по нормам плавности.

**Кинематической погрешностью передачи** ( $F'_{ior}$ ) называют разность между действительным (измеренным)  $\varphi_2$  и номинальным (расчетным)  $\varphi_3$  углами поворота ведомого зубчатого колеса 2 (рис. 2.2) передачи, выраженную в линейных величинах длиной дуги его делительной окружности, т.е.

$$F'_{ior} = (\varphi_2 - \varphi_3) r,$$

где  $r$  – радиус делительной окружности ведомого колеса;  $\varphi_3 = \varphi_1 z_1 / z_2$ ;  $\varphi_1$  – действительный угол поворота ведущего колеса;  $z_1$  и  $z_2$  – числа зубьев соответственно ведущего 1 и ведомого 2 колес.

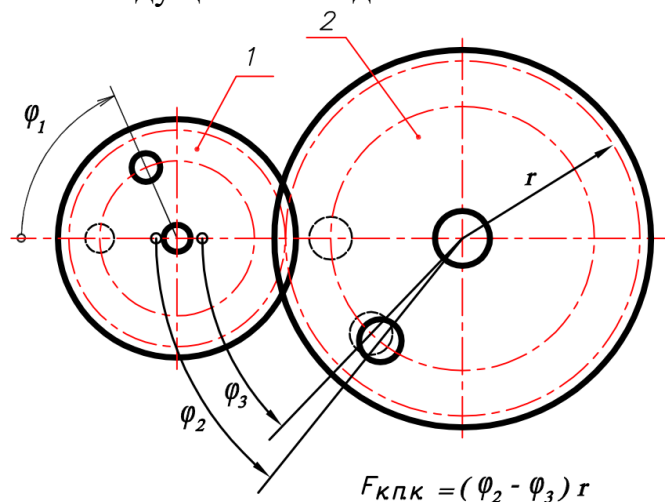


Рисунок 2.2 – Схема определения кинематической погрешности передачи

Наибольшая кинематическая погрешность передачи  $F'_{ior}$  определяется наибольшей алгебраической разностью значений кинематической погрешности передачи за полный цикл изменения относительного положения зубчатых колес (рис. 2.3). Полный цикл совершается в пределах числа оборотов большего зубчатого колеса, равного частному от деления числа зубьев меньшего зубчатого колеса на общий наибольший делитель числа зубьев обоих зубчатых колес передачи, т. е. на угол  $\varphi_2 = 2\pi z_1 / x$ .

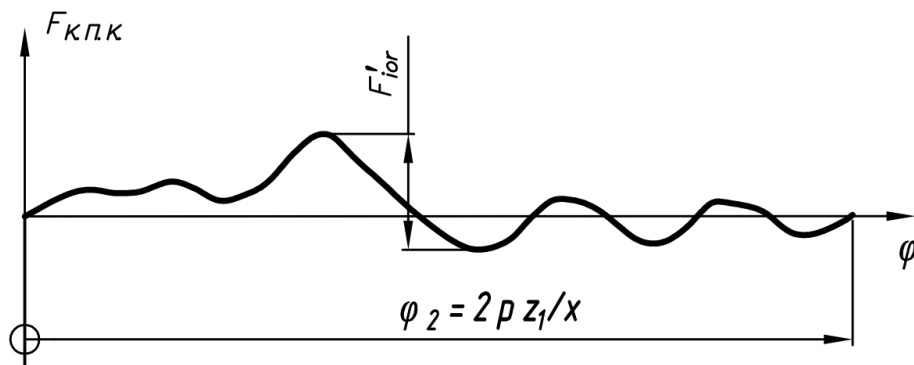


Рисунок 2.3 – Кривая кинематической погрешности зубчатой передачи

Например, при  $z_1 = 30$ ,  $z_2 = 60$  общий наибольший делитель  $x = 30$  и  $\varphi_2 = 2\pi 30/30 = 2\pi$ . Наибольшая кинематическая погрешность передачи ограничена допуском  $F'_{io}$ . Допуски на наибольшую кинематическую погрешность передачи (зубчатую пару) в стандарте не приведены. Они представляют собой сумму допусков на кинематическую погрешность ее колес, т.е.  $F'_{io} = F'_{i1} + F'_{i2}$ .

Для передач с взаимно кратными числами зубьев колес, отношение которых не более трех, допуск  $F'_{io}$  при селективной сборке передачи может быть сокращен на 25 % и более, исходя из расчета.

Накопленная погрешность  $k$  шагов  $F_{pkr}$  (рис. 2.4) – наибольшая разность дискретных значений кинематической погрешности зубчатого колеса при номинальном его повороте на  $k$  целых угловых шагов:  $F_{pkr} = (\varphi - k 2\pi/z) r$ , где  $\varphi$  – действительный угол поворота зубчатого колеса;  $z$  – число зубьев зубчатого колеса;  $k 2\pi/z$  – номинальный угол поворота колеса ( $k \geq 2$  – число целых угловых шагов);  $r$  – радиус делительной окружности колеса. Допуск на накопленную погрешность  $k$  шагов обозначают  $F_{pk}$ .

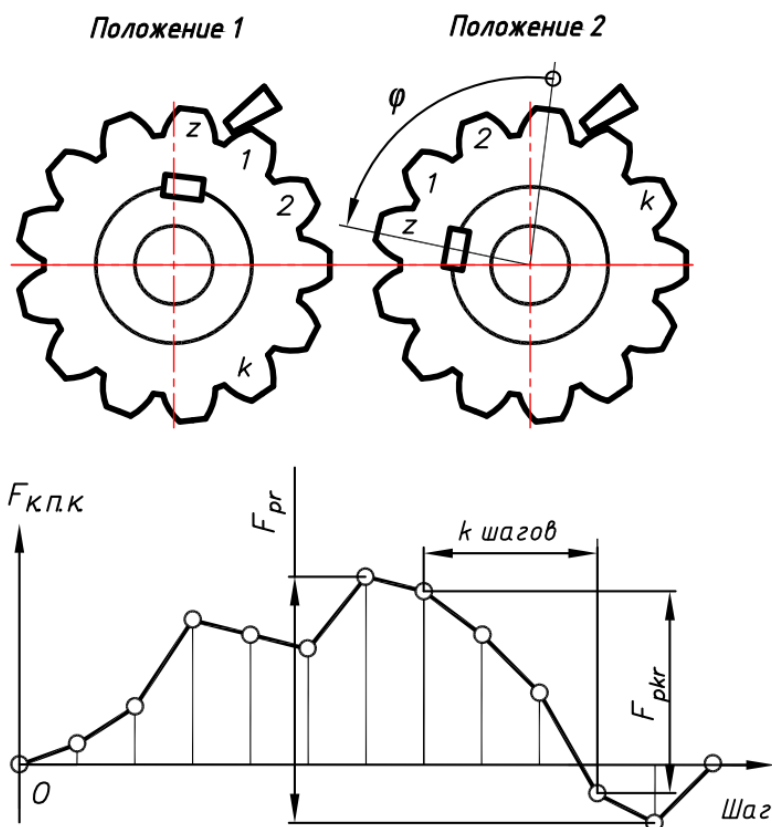


Рисунок 2.4 – Накопленная погрешность шага

**Накопленной погрешностью шага зубчатого колеса ( $F_{pr}$ )** называется наибольшая алгебраическая разность значений накопленных погрешностей в пределах зубчатого колеса (рис. 2.4).

Допуск на накопленную погрешность шага зубчатого колеса обозначают  $F_p$ . Измеренная накопленная погрешность шага в пределах колеса в зависимости от составляющих кинематической погрешности на 15...20% меньше полной кинематической погрешности колеса. Накопленная погрешность шага зубчатого колеса образуется, в основном, вследствие погрешности обката и монтажного эксцентриситета  $e_m$  зубчатого колеса (рис. 2.5, а), который вызывает появление эксцентриситета основной окружности  $e$ .

Если зубчатое колесо изготовлено правильно, но его оси вращения при зубонарезании и после монтажа колеса на рабочий вал с зазором не совпадают, образуется монтажный эксцентриситет  $e_m$ . При наличии монтажного эксцентриситета  $e_m$  возникает эксцентриситет начальной окружности, вызывающий радиальное биение и непостоянство мгновенного передаточного отношения.

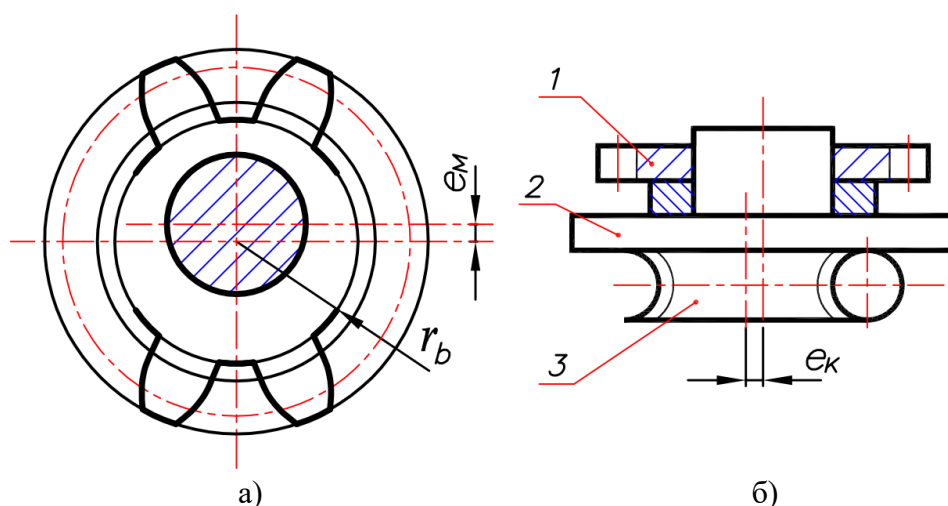


Рисунок 2.5 – Виды эксцентриситетов

Начальная окружность определяется лишь сопряжением пары колес, поэтому на рис. 2.5, а она условно показана штриховой линией.

Если накопленная погрешность шага колеса является следствием только эксцентриситета  $e$  основной окружности (идеализированный случай), то

$$F_{Pr} = \pm e \cdot \sin(\varphi \pm \Delta),$$

где  $\varphi$  – угол поворота зубчатого колеса;  $\Delta$  – фазовый угол. Знак плюс соответствует левой линии зацепления, минус – правой.

Эксцентриситет  $e_k$  делительного колеса 3 стола 2 зуборезного станка (рис. 2.5, б) вызывает кинематический эксцентриситет обработки зубчатого колеса 1, который можно частично компенсировать сдвигом центра заготовки.

**Погрешностью обката ( $F_{cr}$ )** называется составляющая кинематической погрешности зубчатого колеса, определяемая при вращении его на технологической оси и при исключении циклических погрешностей зубцовой частоты и кратных ей более высоких частот. Под технологической осью зубчатого колеса понимается ось, вокруг которой оно вращается в процессе окончательной обработки зубьев по обеим их сторонам. Указанные в определении понятия «погрешность обката» условия измерений показывают, что практически этим параметром устанавливаются требования к кинематической погрешности зуборезного станка, на котором осуществляется окончательная обработка зубчатого венца. Поэтому погрешность обката может определяться как погрешность кинематической цепи деления зубообрабатывающего станка.

**Колебанием длины общей нормали** ( $F_{vWr}$ ) называется разность между наибольшей и наименьшей действительными длинами общей нормали в одном и том же колесе. Под длиной общей нормали зубчатого колеса  $W$  понимается расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум разноименным активным боковым поверхностям  $A$  и  $B$  зубьев колеса (рис. 2.6):

$$W = \overline{AB} \approx \overline{CD}.$$

Здесь  $AB$  – касательная к дуге  $CD$ .

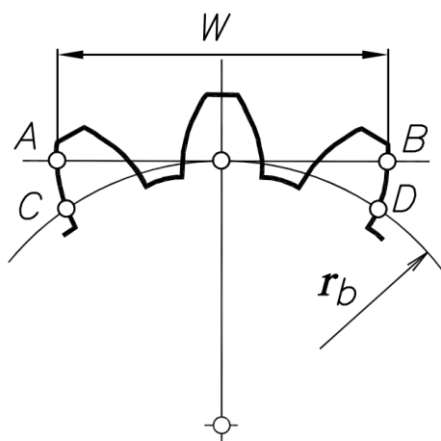


Рисунок 2.6 – Длина общей нормали

Общая нормаль к эвольвентным профилям является одновременно касательной к основной окружности.

Точки разноименных профилей зубьев, лежащие на общей нормали к профилям характерны тем, что при некоторых способах обработки они получаются на колесе при разных угловых положениях колеса; поэтому, если расстояния между этими точками постоянны, то нет кинематической погрешности станка, на котором нарезалось это колесо, т.е. происходило равномерное вращение при нарезании зубьев по всему колесу. Поэтому нормируется непостоянство (колебание) длины общей нормали.

**Колебанием измерительного межосевого расстояния за оборот колеса** ( $F_{ir}''$ ) или **колебанием измерительного расстояния на одном зубе** ( $f_{ir}''$ ) называется разность между наибольшим и наименьшим действительными (измеренными) межосевыми расстояниями при двухпрофильном зацеплении измерительного зубчатого колеса 1 с проверяемым зубчатым колесом 2 при повороте последнего на полный оборот или на один угловой шаг (рис. 2.7).

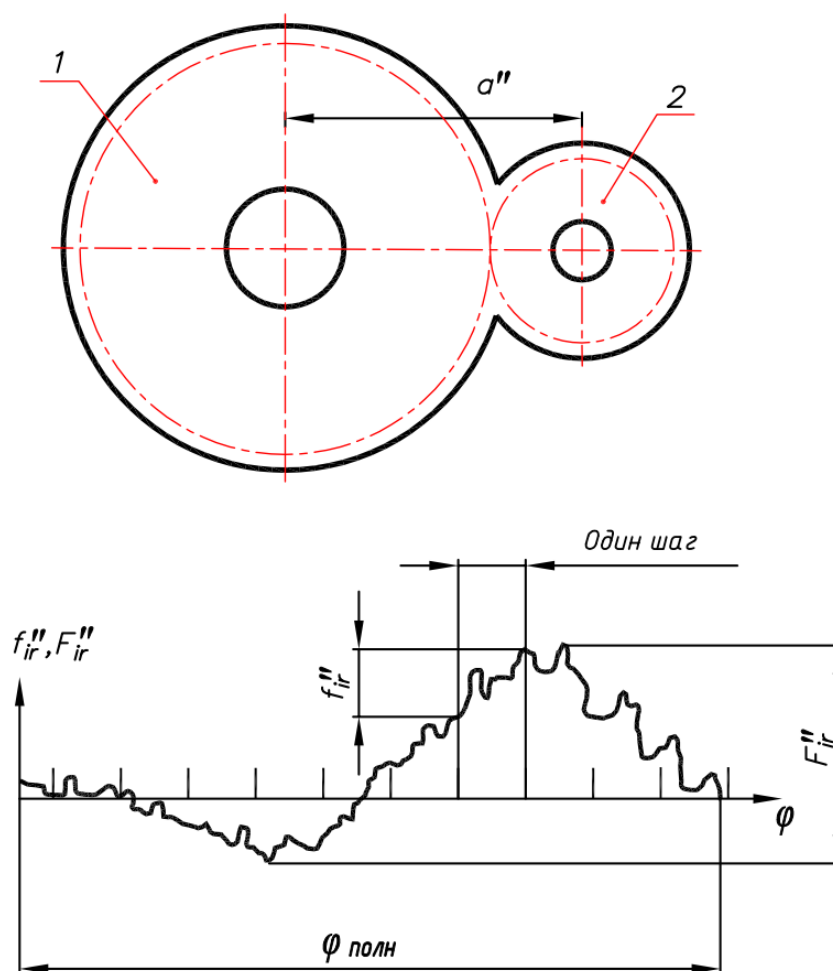


Рисунок 2.7 – Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот

Здесь и далее двумя штрихами обозначены погрешности, соответствующие двухпрофильному зацеплению. Эти колебания ограничиваются допусками, обозначаемыми соответственно  $F''_i$  и  $f''_i$ . Значение  $F''_{ir}$  определяется теми же факторами, что и кинематическая точность зубчатого колеса (за исключением погрешности обката). Допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса  $F''_i$  принят в 1,4 раза больше допуска на радиальное биение зубчатого венца  $F_r$ . Измерительное межосевое расстояние на одном зубе может изменяться вследствие колебаний положения зуборезного инструмента относительно оси колеса, неравенства шагов зацепления (основных шагов) сопрягаемых колес, погрешностей в направлении зубьев колес и т.п.

**Радиальным биением зубчатого венца ( $F_{rr}$ )** называется разность действительных предельных положений исходного контура в пределах зубчатого колеса (от его рабочей оси).

Радиальное биение зубчатого венца ограничивается допуском  $F_r$ . Практически  $F_{rr}$  определяется разностью расстояний от рабочей оси колеса до постоянных хорд  $\bar{S}_c$  зубьев (рис. 2.8).

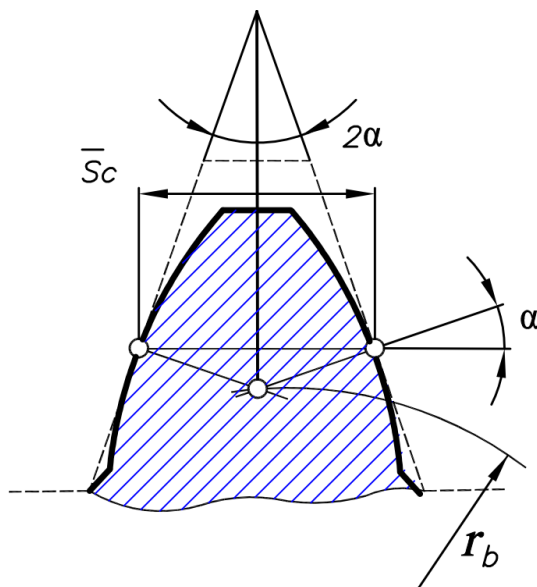


Рисунок 2.8 – Постоянная хорда

Радиальное биение зубчатого венца вызвано неточным совмещением рабочей оси колеса с технологической осью при обработке зубьев, а также радиальным биением делительного колеса станка.

## 2.2. Нормируемые параметры (показатели), характеризующие плавность работы

Особенность нормирования требований к точности в отношении плавности работы заключается в том, что даются отдельные требования для колес и передачи, которые в табл. 2.2 названы широкими косозубыми или прямозубыми и узкими косозубыми. В стандарте эти термины не используются, но нормы задаются с учетом осевого перекрытия, что отражает существо работы колес. Настоящим косозубым колесом с проявлением всех его достоинств в работе является колесо, в котором есть осевое перекрытие, т.е. одновременно при зацеплении находится более одной пары зубьев в сечении осевой плоскостью. Если такого перекрытия нет, то колеса даже с косыми зубьями по нормам точности относятся к прямозубым.

Принципиальный подход при нормировании точности по плавности работы тот же, что и при нормировании кинематической точности, т.е. нормируются требования по одному параметру либо комплексу из двух параметров.

Аналитически кинематическую погрешность можно представить в виде спектра гармоник, амплитуда и частота которых зависят от характера составляющих погрешностей. Например, отклонения шага зацепления (основного шага) вызывают колебания кинематической погрешности с зубцовой частотой, равной частоте входа в зацепление зубьев колес. Циклический характер погрешностей, нарушающих плавность работы передачи, и возможность гармонического анализа дали основание определять и нормировать эти погрешности по спектру кинематической погрешности. Показатели плавности работы и охватываемые степени точности приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Показатели плавности работы

| Колесо или передача      | Нормируемые показатели точности или комплексы показателей    | Условные обозначения  | Степени точности |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------|
| Прямозубые колеса        | Местная кинематическая погрешность зубчатого колеса          | $f'_{ir}$             | 3...6            |
| Узкие косозубые передачи | Циклическая погрешность зубцовой частоты колеса              | $f_{zr}$              | 3...6            |
|                          | Отклонение шага зацепления и погрешность профиля зуба        | $f_{Pbr}$ и $f_{fr}$  | 3...6            |
|                          | Отклонение шага зацепления и отклонение шага                 | $f_{Pbr}$ и $f_{Ptr}$ | 3...6            |
|                          | Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе | $f''_{ir}$            | 5...8            |
|                          | Местная кинематическая погрешность передачи на одном зубе    | $f''_{ior}$           | 3...8            |
|                          | Циклическая погрешность зубцовой частоты в передаче          | $f_{zzor}$            | 3...8            |
| Любые колеса             | Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе | $f''_{ir}$            | 9...12           |
|                          | Отклонение шага зацепления                                   | $f_{Pbr}$             | 9...12           |
|                          | Отклонение шага                                              | $f_{Ptr}$             | 9...12           |
| Широкие колеса           | Циклическая погрешность зубчатого колеса                     | $f_{zkr}$             | 3...8            |
| Косозубые передачи       | Отклонение шага                                              | $f_{Ptr}$             | 3...8            |
|                          | Циклическая погрешность передачи                             | $f_{zkor}$            | 3...8            |

**Циклической погрешностью передачи ( $f_{zkor}$ ) и зубчатого колеса ( $f_{zkr}$ )** называется удвоенная амплитуда гармонической составляющей кинематической погрешности соответственно передачи или колеса (рис. 2.9).

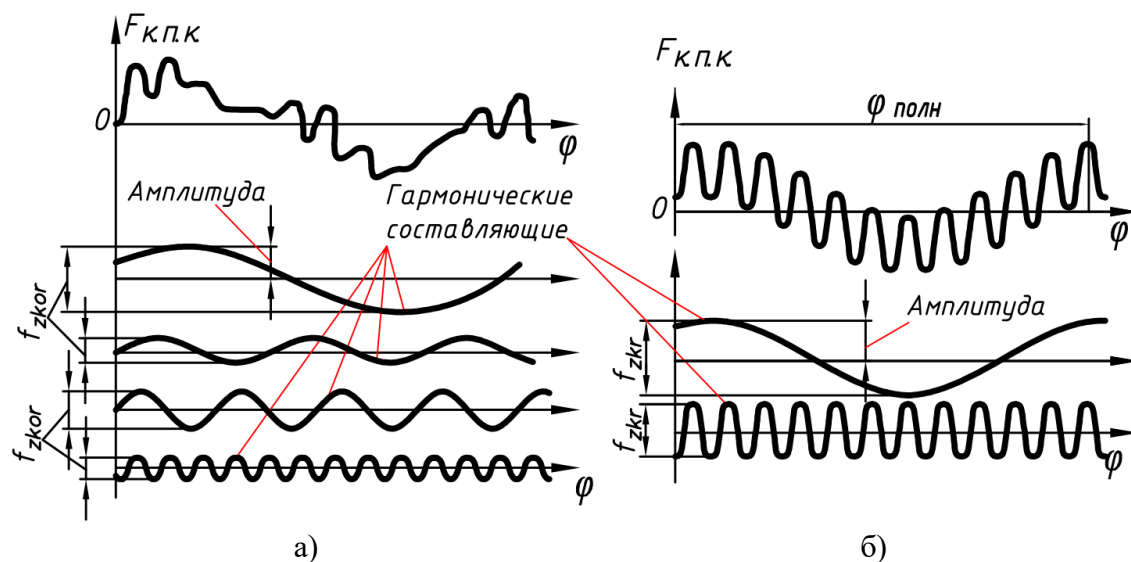


Рисунок 2.9 – Циклическая погрешность передачи (а) и колеса (б)

Для ограничения циклической погрешности установлены допуски:  $f_{zko}$  – на циклическую погрешность передачи и  $f_{zk}$  – на циклическую погрешность зубчатого колеса.

**Циклической погрешностью зубцовой частоты колеса ( $f_{zkr}$ ) и передачи ( $f_{zkor}$ )** называется циклическая погрешность с частотой повторения равной частоте входа зубьев в зацепление с измерительным зубчатым колесом или при зацеплении в паре. Для ограничения этой погрешности установлены допуски на циклическую погрешность зубцовой частоты в передаче  $f_{zko}$  и колеса  $f_{zkr}$ , причем  $f_{zkr} = 0,6 f_{zko}$ . Эти допуски зависят от частоты циклической погрешности  $k_u$  (равной числу зубьев колес  $z$ ), степени точности, коэффициента осевого перекрытия и модуля  $m$ .

**Местной кинематической погрешностью колеса ( $f'_{ir}$ ) и передачи ( $f'_{ior}$ )** называется наибольшая разность между местными соседними экстремальными (минимальными и максимальными) значениями кинематической погрешности колес в пределах одного оборота ( $f'_{ir}$ ) (рис. 2.10) или за полный цикл изменения относительного положения зубчатых колес передач ( $f'_{ior}$ ). Эти погрешности выявляются непосредственно по кривой записи кинематической погрешности и ограничиваются допусками соответственно  $f'_i$  и  $f'_{io}$ .

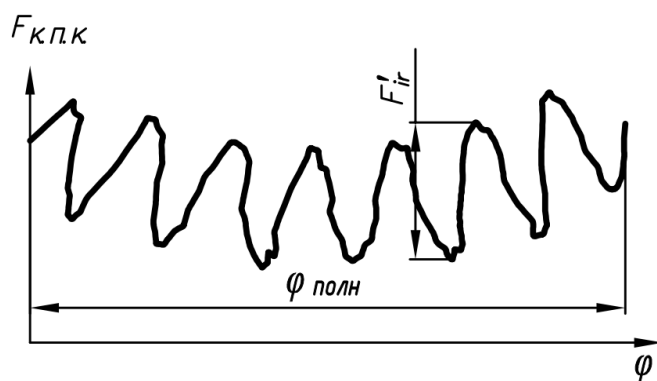


Рисунок 2.10 – Местная кинематическая погрешность зубчатого колеса

Циклическая погрешность зубчатого колеса возникает вследствие биения червяка делительной пары станка, биения и перекоса фрезы и т.д. Погрешности станка вызывают также волнистость боковых поверхностей зубьев косозубых колес и погрешность профиля прямозубых колес, которые являются главными причинами неравномерного вращения передачи.

**Отклонением шага зацепления** ( $f_{pbr}$ ) называется разность между действительным (измеренным) и номинальным шагами зацепления. Под действительным шагом зацепления понимается кратчайшее расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум активным одноименным боковым поверхностям соседних зубьев зубчатого колеса (рис. 2.11).

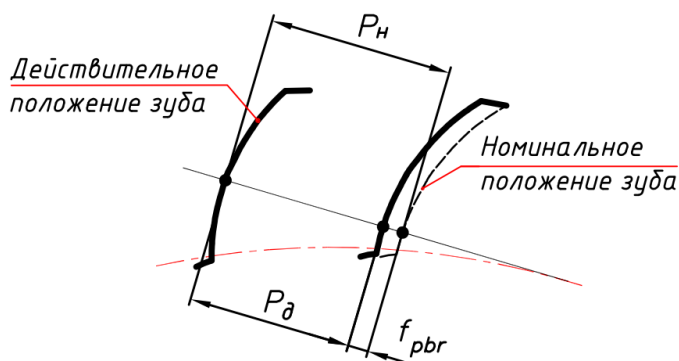


Рисунок 2.11 – Отклонение шага зацепления

В колесах, получаемых методом обката, отклонение шага зацепления зависит главным образом от погрешности того же элемента нарезающего инструмента (червячной фрезы, долбяка, гребенки), которая переносится на обрабатываемое колесо. Незначительное влияние оказывает точность делительной цепи станка. При отсутствии отклонений шага зацепления пересопряжение профилей будет плавным, так как к моменту выхода из зацепления одной пары зубьев в контакт уже войдет следующая пара и т.д.

При наличии отклонений  $f_{pbr}$  пересопряжение зубьев сопровождается ударами, повышенным шумом, передача работает неплавно. При этом увеличивается неравномерность нагрузки зубьев, что снижает их долговечность.

**Отклонением шага зубчатого колеса ( $f_{ptr}$ )** называется дискретное значение кинематической погрешности зубчатого колеса при повороте его на один номинальный угловой шаг. Однако, как и в случае накопленной погрешности шага, положение рабочих поверхностей определяется по положению одной точки на поверхности зуба. Вместо отклонения шага стандарт допускает нормировать разность шагов ( $f_{vptr}$ ) – разность между двумя отклонениями шагов в любых участках зубчатого колеса.

**Погрешностью профиля зуба ( $f_{fr}$ )** называется расстояние по нормали между двумя ближайшими друг к другу номинальными торцевыми профилями 1, между которыми размещается действительный (измеренный) торцовый активный профиль 2 зуба зубчатого колеса (рис. 2.12).

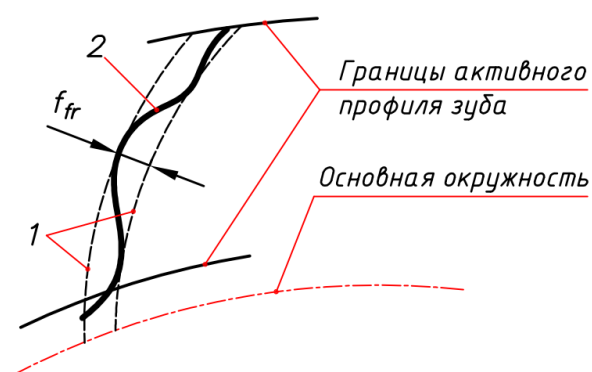


Рисунок 2.12 – Погрешность профиля зуба

Под действительным торцовым профилем зуба понимают линию пересечения действительной боковой поверхности зуба зубчатого колеса плоскостью, перпендикулярной к его рабочей оси. Погрешности профиля вызывают неравномерность движения колес, дополнительные динамические нагрузки, а также уменьшают поверхность контакта зубьев. Предельная погрешность профиля допуском  $f_f$ .

Действительный профиль рабочего участка зуба может иметь срез у вершины головки, называемый фланком. Применение колес с фланкированными зубьями значительно улучшает плавность работы передачи, обеспечивая более плавный вход зубьев в зацепление и выход из него. Фланк способствует также образованию масляного клина между пересопрягаемыми зубьями, что вместе с упругой деформацией зубьев

снижает относительные ускорения колес, динамические нагрузки и шум в передаче. В связи с этим колеса, предназначенные для работы при больших окружных скоростях следует изготавливать только фланкированными.

### 2.3. Нормируемые параметры (показатели), характеризующие полноту контакта зубьев

Для повышения износостойкости и долговечности зубчатых передач необходимо, чтобы полнота контакта сопряженных боковых поверхностей зубьев колес была наибольшей. При неполном и неравномерном прилегании зубьев уменьшается несущая площадь поверхности их контакта, неравномерно распределяются контактные напряжения и смазочный материал, что приводит к интенсивному изнашиванию зубьев.

Показатели полноты контакта зубьев и охватываемые степени точности приведены в табл. 2.3. В этих нормах, так же как и в нормах плавности работы различаются нормирование точности для прямозубых (и узких косозубых колес) от нормирования точности широких косозубых колес. Среди приведенных параметров есть  $f_{xr}$  и  $f_{yr}$ , которые относятся к положению осей колес в пространстве и, строго говоря, нормируют требования к корпусу передачи с нерегулируемым расположением осей.

Таблица 2.3 – Показатели полноты контакта зубьев

| Колесо или передача                          | Нормируемые показатели точности или комплексы показателей                   | Условные обозначения      | Степени точности |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------|
| Прямозубые и узкие косозубые зубчатые колеса | Погрешность направления зуба                                                | $F_{\beta r}$             | 3...12           |
|                                              | Суммарная погрешность контактной линии                                      | $F_{kr}$                  | 3...12           |
| Широкие косозубые колеса                     | Отклонение осевых шагов по нормали и суммарная погрешность контактной линии | $F_{P_{xnr}}$ и $F_{kr}$  | 3...9            |
|                                              | Отклонение осевых шагов по нормали и отклонение шага зацепления             | $F_{P_{xnr}}$ и $f_{pbr}$ | 3...9            |
| Зубчатые передачи                            | Отклонение от параллельности осей и перекос осей                            | $f_{xr}$ и $f_{yr}$       | 3...12           |
|                                              | Суммарное пятно контакта                                                    | -                         | 3...11           |
|                                              | Мгновенное пятно контакта                                                   | -                         | 3...11           |

**Суммарным пятном контакта** называется часть активной боковой поверхности зуба зубчатого колеса, на котором располагаются следы прилегания зубьев парного зубчатого колеса в собранной передаче после вращения под нагрузкой, устанавливаемой конструктором.

Пятно контакта (рис. 2.13) определяется относительными размерами (в процентах): по длине зуба – отношением расстояния  $a$  между крайними точками следов прилегания за вычетом разрывов  $c$ , превышающих модуль в мм, к длине зуба  $b$ , т.е.  $[(a - c)/b] \cdot 100\%$ ; по высоте зуба – отношение средней (по длине зуба) высоты следов прилегания  $h_m$  к высоте зуба соответствующей активной боковой поверхности  $h_p$ , т.е.  $(h_m / h_p) \cdot 100\%$ .

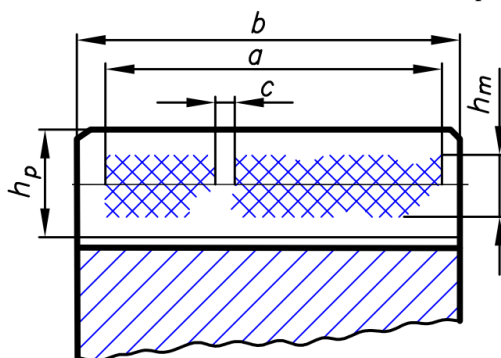


Рисунок 2.13 – Пятно контакта зубьев в передаче

**Мгновенным пятном контакта** называется часть активной боковой поверхности зуба большего зубчатого колеса передачи, на котором располагаются следы его прилегания к зубьям меньшего зубчатого колеса, покрытого красителем, после поворота большего зубчатого колеса собранной передачи на полный оборот при легком торможении, обеспечивающим непрерывное контактирование зубьев обоих зубчатых колес.

Как видно из определений, суммарное пятно выявляется в процессе приработки (используют при изготовлении высокоточных и ответственных передач), а мгновенное пятно контакта относится к нормированию при измерениях и использованием краски.

Полнота контакта зависит от погрешностей установки заготовки на станке (ее торцевого биения), неточности станка (непараллельности направления хода фрезерного суппорта оси вращения стола и его перекоса), а для косозубых колес также от погрешностей винта подачи зуборезного станка. Притирка и приработка зубьев сопряженных колес улучшает их контакт.

**Погрешностью направления зуба ( $F_{\beta r}$ )** называется расстояние между двумя ближайшими друг к другу номинальными делительными линиями зуба 1 в торцевом сечении, между которыми размещается

действительная делительная линия зуба 2, соответствующая рабочей ширине зубчатого колеса (рис. 2.14).

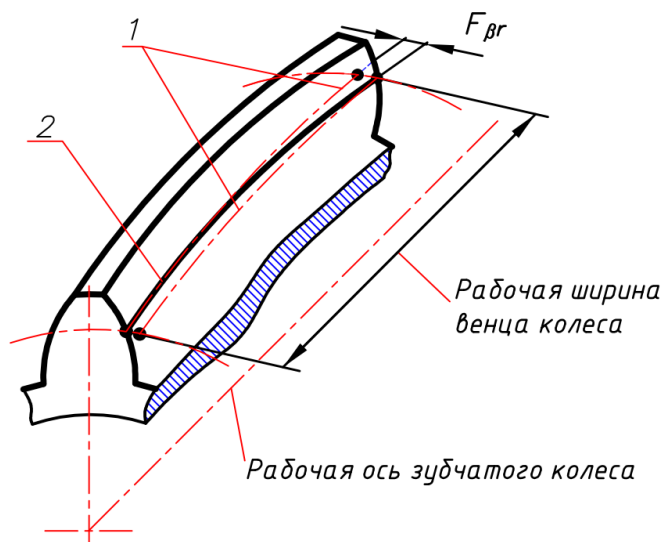


Рисунок 2.14 – Погрешность направления зуба

Под действительной делительной линией зуба понимается линия пересечения действительной боковой поверхности зуба зубчатого колеса делительным цилиндром, ось которого совпадает с рабочей осью.

Допуск на направление зуба  $F_\beta$  увеличивается с увеличением ширины колеса (или длины контактной линии). Небольшая продольная бочкообразность зуба уменьшает отрицательное влияние этой погрешности и улучшает распределение нагрузки вдоль зуба. Погрешность направления зуба нормируется для прямозубых и узких косозубых колес, но возможности измерения при этом различны.

**Суммарной погрешностью контактной линии** (погрешность формы и расположения) ( $F_{kr}$ ) называется расстояние по нормали между двумя ближайшими друг к другу номинальными потенциальными контактными линиями 1, условно наложенными на плоскость (поверхность) зацепления, между которыми размещается действительная контактная линия 2 на активной боковой поверхности зуба (рис. 2.15).

Под потенциальной контактной линией понимается линия пересечения поверхности зуба плоскостью зацепления.

Эвольвентная поверхность является линейчатой поверхностью, т.е. состоящей из большого количества прямых линий. В прямозубых колесах эти прямые должны располагаться параллельно оси цилиндра (колеса), а в косозубом колесе под углом к оси. Это и есть контактные линии.

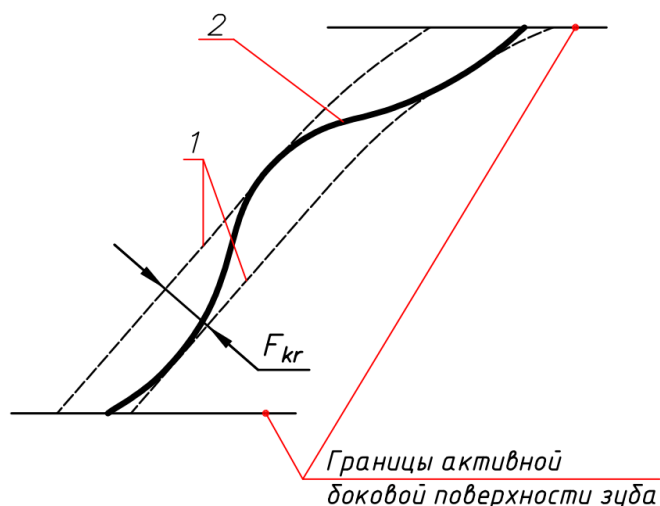


Рисунок 2.15— Погрешность формы и расположения контактной линии

При таких видах зубообработки как зубодолбление контактная линия полностью получается как след кромки режущего инструмента. При зубофрезеровании каждая контактная линия состоит из следов многих режущих кромок фрезы и образована участками от каждой режущей кромки.

При зацеплении косозубых колес мгновенный контакт боковых поверхностей происходит по контактным линиям, а, следовательно, этот параметр из-за специфического расположения в косозубых колесах характеризует высотный контакт сопрягаемых зубьев.

**Отклонением осевых шагов по нормали** ( $F_{P_{xnr}}$ ) называется разность между действительным (измеренным) осевым расстоянием зубьев и суммой соответствующего числа номинальных осевых шагов, умноженную на синус угла наклона делительной линии зуба  $\beta$ , т.е.

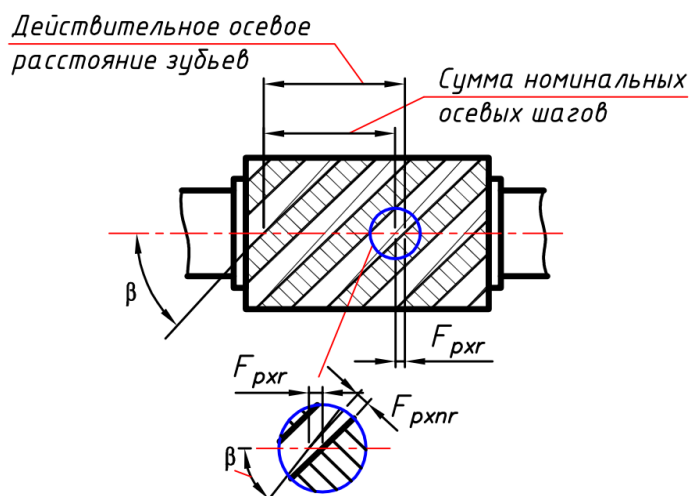
$$F_{P_{xnr}} = F_{P_{xr}} \sin \beta \text{ (рис. 2.16).}$$


Рисунок 2.16 – Отклонение осевых шагов по нормали

Под действительным осевым расстоянием зубьев понимают расстояние между одноименными линиями зубьев косозубого зубчатого колеса по прямой, параллельной рабочей оси. Расстояние между одноименными линиями соседних зубьев является действительным осевым шагом.

Предельные отклонения осевых шагов по нормали обозначают: верхнее предельное отклонение  $+F_{Pxn}$ , нижнее  $-F_{Pxn}$ . Отклонение  $F_{Pxn}$  является кинематическим, так как оно включает в себя значительную часть погрешностей, влияющих на кинематику и плавность работы передачи, поскольку зуб по длине располагается на значительном угле поворота зубчатого колеса. Этот параметр аналогичен шагу резьбы, но отличается тем, что отклонения его в зубчатых колесах задаются в направлении, перпендикулярном линии зуба. Это сделано потому, что при малом угле наклона зуба очень трудно измерить отклонение вдоль зуба (наконечник касается наклонной поверхности).

Для нормирования данный параметр в промышленности почти не используется, так как он не определяет полностью контакт, не связан с конкретными технологическими причинами и трудно реализовать его измерение на больших колесах, где контакт особенно важен. Применение его можно рекомендовать для небольших колес, которые можно было бы измерять как резьбу.

**Отклонением от параллельности осей ( $f_{xr}$ )** называют отклонение от параллельности проекций рабочих осей зубчатых колес в передаче на плоскость, в которой лежит одна из осей и точка второй оси в средней плоскости передачи (рис. 2.17).

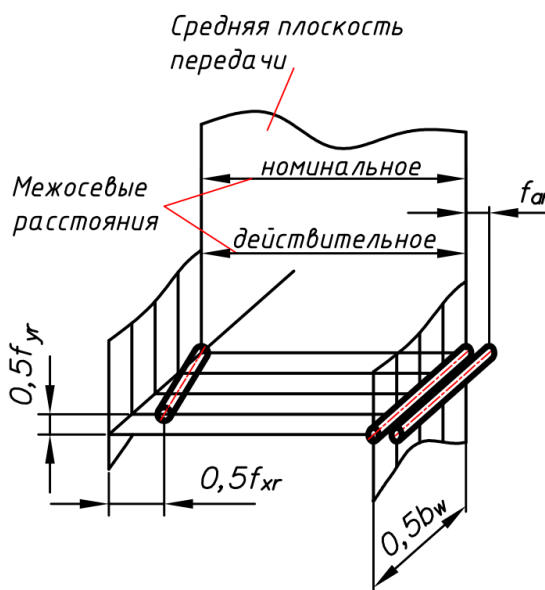


Рисунок 2.17 – Непараллельность и перекус осей; отклонение межосевого расстояния

Средней плоскостью передачи считают плоскость, проходящую через середину рабочей ширины зубчатого венца или (для шевронной передачи) через середину расстояния между внешними торцами, ограничивающими рабочую ширину полушевронов.

**Перекосом осей** ( $f_{yr}$ ) называется отклонение от параллельности проекции рабочих осей зубчатых колес в передаче на плоскость, параллельную одной из осей и перпендикулярную плоскости, в которой лежит эта ось, и точка пересечения второй оси со средней плоскостью передачи.

Отклонение от параллельности и перекос осей определяют в торцевой плоскости в линейных единицах на длине, равной рабочей ширине венца или ширине полушеврона. Эти погрешности, характеризующие точность монтажа передачи с нерегулируемым расположением осей, ограничивают допусками  $f_x$  и  $f_y$ .

Точность монтажа передачи определяется также **отклонениями межосевого расстояния** ( $f_{ar}$ ), которыми является разность между действительным и номинальным межосевыми расстояниями в средней торцевой плоскости передачи. Для этой погрешности установлены предельные отклонения: верхнее  $+f_a$  и нижнее  $-f_a$ .

При соответствии суммарного или мгновенного пятна контакта требованиям стандарта контроль по другим показателям, определяющим контакт зубьев в передаче, не является необходимым. Допускается определять пятна контакта с помощью измерительного колеса.

#### **2.4. Нормируемые параметры (показатели), характеризующие боковой зазор**

Для устранения возможного заклинивания при нагреве передачи, обеспечения условий протекания смазочного материала и ограничения мертвого хода при реверсировании отсчетных и делительных реальных передач они должны иметь боковой зазор  $j_n$  (рис. 2.18).

**Боковым зазором** называется расстояние по нормали между нерабочими профилями зубьев колес, находящихся в непосредственном зацеплении. Этот зазор необходим также для компенсации погрешностей изготовления и монтажа передачи и для устранения удара по нерабочим профилям, который может быть вызван разрывом контакта рабочих профилей вследствие динамических явлений. Такая передача является однопрофильной (контакт зубьев колес происходит по одним рабочим профилям). Только передача, изготовленная точно по номинальным параметрам (теоретическая зубчатая передача) является беззазорной двухпрофильной (контакт зубьев колес происходит одновременно по

правым и левым боковым профилям) и имеет постоянное передаточное отношение.

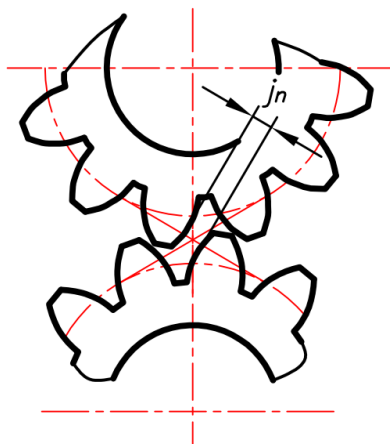


Рисунок 2.18 – Боковой зазор в передаче

Система допусков на зубчатые передачи устанавливает гарантированный боковой зазор  $j_{n \min}$ , которым является наименьший предписанный боковой зазор, не зависящий от степени точности колес и передачи. Независимо от степени точности изготовления колес передачи, предусмотрено шесть видов сопряжений, определяющих различные значения  $j_{n \min}$  (рис. 2.19).

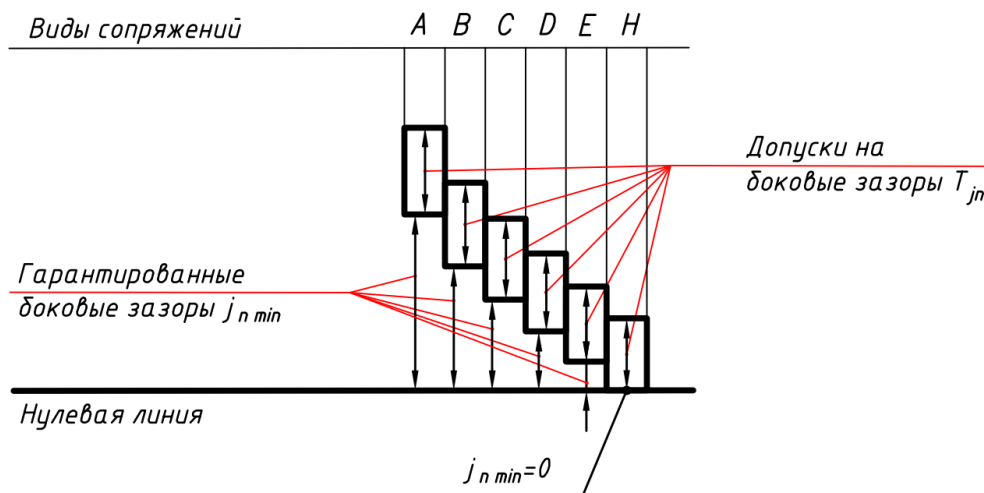


Рисунок 2.19 – Схема расположения полей допусков для принятых видов сопряжений зубьев зубчатых колес

Сопряжения A, B, C, D, E, H применяют соответственно для степеней точности по нормам плавности работы: 3...12; 3...11; 3...9; 3...8; 3...7; 3...7. Для сопряжения вида H  $j_{n \min} = 0$ . Сопряжение вида B гарантирует минимальный боковой зазор, при котором исключается возможность

заклинивания стальной или чугунной передачи от нагрева при разности температур колес и корпуса 25 °С.

Установлено шесть классов отклонений межосевого расстояния, обозначаемых в порядке убывания точности римскими цифрами от *I* до *VI*. Гарантированный боковой зазор в каждом сопряжении обеспечивается при соблюдении предусмотренных классов отклонений межосевого расстояния (для сопряжений *H* и *E* – *II* класса, для сопряжений *D*, *C*, *B* и *A* – классов *III*, *IV*, *V* и *VI* соответственно). Соответствие видов сопряжений и указанных классов допускается изменять.

На боковой зазор установлен допуск  $T_{jn}$ , определяемый разностью между наибольшим и наименьшим зазорами. По мере увеличения бокового зазора увеличивается допуск  $T_{jn}$ . Установлено восемь видов допуска  $T_{jn}$  на боковой зазор:  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $h$ . Видам сопряжений *H* и *E* соответствует вид допуска  $h$ , видам сопряжений *D*, *C*, *B* и *A* – соответственно виды допусков  $d$ ,  $c$ ,  $b$  и  $a$ . Соответствие видов сопряжений и видов допусков  $T_{jn}$  допускается изменять, используя при этом и виды допуска  $z$ ,  $y$  и  $x$ . В результате увеличения температуры при работе передачи размеры колес увеличиваются в большей степени, чем расстояние между их осями, поэтому боковой зазор уменьшается. Боковой зазор  $j_{n\min}$ , необходимый для компенсации температурных деформаций и размещения смазочного материала, определяют по формуле

$$j_{n\min} = V + a_w \left( \alpha_1 \Delta t_1^\circ - \alpha_2 \Delta t_2^\circ \right) \cdot 2 \sin \alpha,$$

где  $V$  – толщина слоя смазочного материала между зубьями;  $a_w$  – межосевое расстояние;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – температурные коэффициенты линейного расширения материала колес и корпуса;  $\Delta t_1^\circ$  и  $\Delta t_2^\circ$  – отклонение температур колеса и корпуса от 20°С;  $\alpha$  – угол профиля исходного контура.

Деформацию от нагрева определяют по нормали к профилям. Боковой зазор, обеспечивающий нормальные условия смазки, ориентировочно принимают в пределах от  $0,01m_n$  (для тихоходных кинематических передач) до  $0,03m_n$  (для высокоскоростных передач).

Обеспечение необходимого бокового зазора в той мере, в которой это зависит от одного зубчатого колеса, связано с толщиной его зуба, если говорить о колесе как о геометрической фигуре. Толщина же зуба зависит от положения режущего инструмента в виде рейки относительно оси колеса при изготовлении этого колеса. Чем ближе рейка к оси, тем тоньше

получается зуб, чем дальше от оси, тем толще. Это относительное положение рейки и заготовки называется **положение исходного контура**.

Зубья колес нарезают, как правило, тоньше номинального значения, т.е. дается обязательное смещение исходного контура от номинального положения к оси колеса (рис. 2.20) для обеспечения гарантированного бокового зазора. Это обязательное смещение называется дополнительным смещением исходного контура, которое может быть непосредственно измерено.

**Дополнительное смещение исходного контура** ( $E_{Hr}$ ) – это его смещение от номинального положения в тело зубчатого колеса, осуществляемое для обеспечения в передаче гарантированного бокового зазора (рис. 2.20).

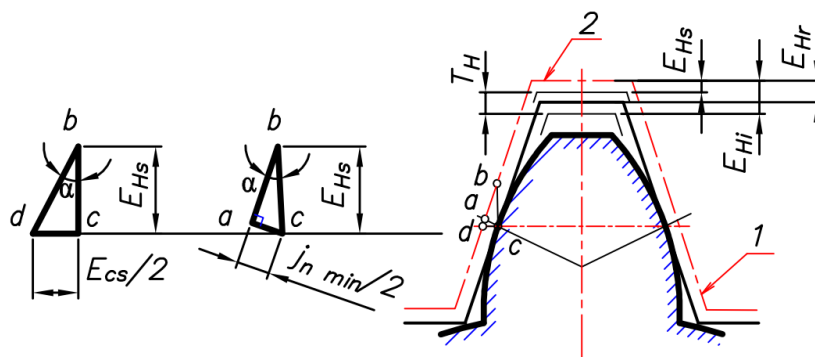


Рисунок 2.20 – Исходный контур

1 – номинальное положение; 2 – действительное положение

Вместо этого показателя для обеспечения гарантированного (наименьшего) бокового зазора можно нормировать или отклонение средней длины общей нормали ( $E_{Wmr}$ ), или отклонение длины общей нормали ( $E_{Wr}$ ), или наименьшее отклонение толщины зуба ( $E_{cr}$ ), или верхнее предельное отклонение измерительного межосевого расстояния ( $+E_{a''s}$ ). Для передач с нерегулируемым межосевым расстоянием еще нормируется отклонение межосевого расстояния ( $\pm f_{ar}$ ).

Наименьшее дополнительное смещение исходного контура (или дублирующие его параметры) можно, в принципе, рассматривать как аналогичное основному отклонению в гладких и резьбовых сопряжениях (в данном случае это верхнее отклонение). Помимо основного отклонения в нормах бокового зазора даются допуски на смещение исходного контура ( $T_H$ ), вместо которого можно использовать или допуск на среднюю длину общей нормали ( $T_{Wm}$ ) или допуск на длину общей нормали ( $T_W$ ), или

допуск на толщину зуба ( $T_c$ ), или нижнее предельное отклонение межосевого расстояния ( $-E_{a''i}$ ).

Значения основных отклонений и допуски по нормируемым параметрам выбираются в зависимости от принятого вида сопряжений ( $A, B, \dots$ ) и вида допуска ( $a, d, c, \dots$ ). В свою очередь основное отклонение выбирается по гарантированному зазору. Особенностью нормирования параметров, характеризующих боковой зазор, является то, что и основное отклонение, и допуски задаются в «тело» колеса, т.е. в сторону уменьшения толщины зуба с тем, чтобы обеспечить обязательность зазора между неработающими профилями.

### 3. ОБОЗНАЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОЛЕС И ПЕРЕДАЧ

Точность изготовления зубчатых колес и передач задают степенью точности, а требования к боковому зазору – видом сопряжения по нормам бокового зазора, например, 7-С ГОСТ 1643 – 81 – цилиндрическая передача со степенью точности 7 по всем трем нормам, с видом сопряжения зубчатых колес С и соответствием между видом сопряжения и видом допуска на боковой зазор (вид допуска  $c$ ), а также между видом сопряжения и классом отклонений межосевого расстояния.

При комбинировании норм разных степеней точности и изменении соответствия между видом сопряжения и видом допуска на боковой зазор, но при сохранении соответствия между видом сопряжения и классом отклонений межосевого расстояния, точность зубчатых колес и передач обозначается последовательным написанием трех цифр и двух букв, например: 7-8-8-Вa ГОСТ 1643 – 81 – цилиндрическая передача со степенью 7 по нормам кинематической точности, со степенью 8 по нормам плавности, со степенью 8 по нормам контакта зубьев, с видом сопряжения В, видом допуска на боковой зазор  $a$  и соответствием между видом сопряжения и классом отклонения межосевого расстояния.

При выборе более грубого класса отклонений межосевого расстояния, чем предусмотрено для данного вида сопряжения, в условном обозначении точности передачи указывается принятый класс и рассчитанный по формуле гарантированный боковой зазор

$$j'_{n \min} = j_{n \min} - 0,68 \left( |f'_a| - |f_a| \right),$$

где  $j_{n \min}$  и  $f_a$  – табличные значения гарантированного бокового зазора и предельного отклонения межосевого расстояния для данного вида

сопряжения;  $j'_{n\min}$  – рассчитанный гарантированный боковой зазор;  $f'_a$  – отклонение межосевого расстояния для более грубого класса.

Например, 7–Ca/V-128 ГОСТ 1643 – 81 – цилиндрическая передача со степенью точности 7 по всем нормам, с видом сопряжения колес C, видом допуска на боковой зазор  $a$  и более грубым классом отклонений межосевого расстояния – V (при  $a_w = 450$  мм и уменьшенном гарантированном боковом зазоре  $j'_{n\min} = 128$  мкм).

#### 4. ВЫБОР СТЕПЕНИ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Степень точности колес и передач устанавливают в зависимости от требований к кинематической точности, плавности, передаваемой мощности, а также окружной скорости колес. Например, при окружной скорости прямозубых колес 10...15 м/с применяют степени точности 6 и 7, при скорости 20...40 м/с – степени точности 4 и 5. Степень точности следует определять соответствующими расчетами. Например, на основе кинематического расчета погрешностей всей передачи и допускаемого угла рассогласования можно выбирать степень по нормам кинематической точности; из расчета динамики передачи, вибраций и шумовых явлений выбирают степень точности по нормам плавности работы; расчет на прочность и долговечность дает возможность выбрать степень точности по нормам контакта зубьев.

При выборе степени точности учитывают опыт эксплуатации аналогичных передач и обязательно используют принцип комбинирования норм точности, т.е. для конкретной передачи в зависимости от ее назначения устанавливают различные степени точности: по нормам кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев. Комбинирование норм позволяет устанавливать повышенную точность только тех параметров колес, которые важны для удовлетворения эксплуатационных требований; остальные параметры можно выполнять по более грубым допускам. Комбинирование целесообразно как с эксплуатационной, так и с технологической точки зрения. При комбинировании необходимо учитывать, что нормы плавности работы колес и передач могут быть не более чем на две степени точнее или на одну степень грубее норм кинематической точности; нормы контакта зубьев можно назначать по любым степеням, более точным, чем нормы плавности, а также на одну ступень грубее норм плавности.

Указанные ограничения вызваны наличием определенной взаимосвязи между показателями точности колес. Так, циклическая погрешность является частью кинематической погрешности, многократно повторяющейся за оборот колеса (рис. 2.9). Поэтому при сохранении

допуска на кинематическую погрешность колеса расширение допуска на циклическую погрешность более чем на одну степень вызывает заметное уменьшение допускаемого значения кинематической погрешности и делает практически невозможным изготовление такого колеса.

При назначении допусков кинематической точности и плавности работы колес по разным степеням точности допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса определяют по формуле:

$$(F_i'')_{\text{комб}} = (F_i'' - f_i'')_F + (f_i'')_f,$$

где допуски, входящие в первое слагаемое, применяют для степени по нормам кинематической точности, а допуск, входящий во второе слагаемое – для степени точности по нормам плавности работы. Это связано с тем, что допуск  $F_i''$  является суммарным и учитывает как кинематическую погрешность, так и погрешность, нарушающую плавность работы.

Передача не может работать плавно при плохом контакте зубьев. Если контакт смещен к головке или ножке зуба, то зуб работает кромкой на входе или выходе из зацепления, что вызывает беспокойную работу передачи. В большинстве случаев степени точности по нормам контакта совпадают со степенями точности по нормам плавности. Так, например, для тракторов, грузовых автомобилей применяют степени точности 7-6-6-С, 8-7-7-С; для редукторов турбин – степени точности 6-5-5-В; для изделий металлургического машиностроения – 8-7-7-В; для прокатных станов – 8-7-7-В; для делительных и других отсчетных механизмов степени по нормам кинематической точности и плавности принимают одинаковыми, а иногда нормы кинематической точности на одну степень точнее норм плавности (например, 4-5-5-Д).

## 5. ДОПУСКИ ЗУБЧАТЫХ КОНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

Принципы построения системы допусков для зубчатых конических передач (ГОСТ 1758 – 81) аналогичны принципам построения системы для цилиндрических передач. Установлено 12 степеней точности зубчатых колес и передач, причем для степеней точности 1, 2 и 3 допуски и предельные отклонения не даны (они предусмотрены для будущего развития). Для каждой степени точности установлены нормы: кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев колес в передаче. Допускается комбинирование указанных норм различных степеней точности. При этом нормы плавности могут быть не более чем на две степени точнее или на одну степень грубее норм кинематической

точности; нормы контакта зубьев нельзя назначать по степеням точности более грубым, чем нормы плавности.

Независимо от степеней точности и их комбинирования установлено шесть видов сопряжений зубчатых колес в передаче: *A, B, C, D, E* и *H* (в порядке убывания гарантированного бокового зазора  $j_{n\min}$ ). Виды сопряжений *A, B, C, D, E* и *H* зубчатых колес в передаче применяют соответственно для степеней точности по нормам плавности работы: 4...12; 4...11; 4...9; 4...8; 4...7; 4...7. Допуск на боковой зазор  $T_{jn}$  (ГОСТ 1758 – 81) не регламентирован.

Показателями кинематической точности зубчатых колес являются: наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса  $F'_{ir}$  (допуск  $F'_i$ ); накопленная погрешность  $k$  шагов:

$$F_{pkr} = (\varphi - 2\pi k / z) r,$$

где  $r$  – радиус средней делительной окружности зубчатого колеса (допуск  $F_{pr}$ ); накопленная погрешность шага по зубчатому колесу  $F_{pr}$  (допуск  $F_p$ ) биение зубчатого венца  $F_{rr}$  (допуск  $F_r$ ) погрешность обката  $F_{cr}$  (допуск  $F_c$ ). Показателем кинематической точности передачи является наибольшая кинематическая погрешность передачи  $F'_{ior}$  (допуск  $F'_{io}$ ).

На кинематическую точность колес, скомплектованных пар колес и передач влияют также следующие погрешности специфических параметров конических колес и передач: колебание измерительного межосевого угла пары (измерительной пары) за полный цикл  $F''_{i\Sigma or}$  (за полный оборот зубчатого колеса  $F''_{i\Sigma r}$ ), определяемое разностью наибольшего и наименьшего измерительных межосевых углов за полный цикл (оборот колес) изменения относительного положения зубчатых колес пары при беззазорном их зацеплении; колебание относительного положения зубчатых колес пары (измерительной пары) по нормали за полный цикл  $F''_{inor}$  (за полный оборот зубчатого колеса  $F''_{inr}$ ), определяемое наибольшей разностью положений одного колеса пары относительно другого в направлении, перпендикулярном плоскости, проходящей через общую образующую начальных конусов и касательную к ним.

Показатели плавности работы и контакта зубьев примерно те же, что и для цилиндрических передач.

Из погрешностей специфических параметров рассмотрим только осевое смещение зубчатого венца  $f_{AMr}$ , определяемое смещением зубчатого венца вдоль его оси при монтаже передачи от положения, при

котором плавность работы и пятно контакта являются наилучшими, установленными при обкаточном контроле пары 1, 2 (рис. 5.1). Установлены предельные осевые смещения зубчатого венца  $\pm f_{AM}$ .

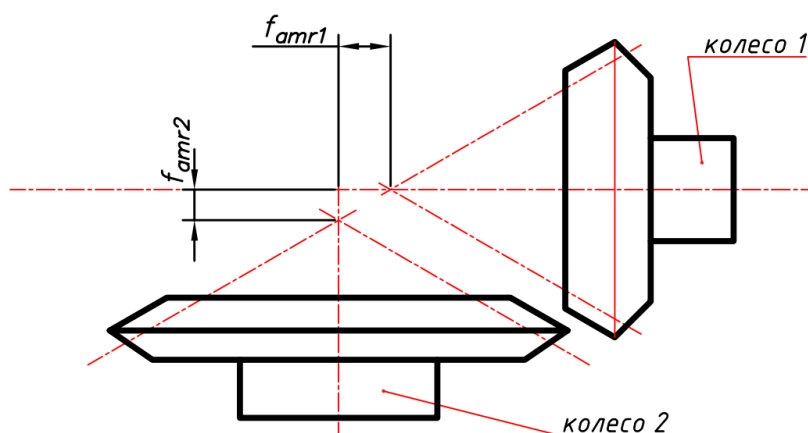


Рисунок 5.1 – Осевые смещения зубчатого венца конических зубчатых колес при монтаже

Примеры условного обозначения точности конической передачи:  
8-7-6-В ГОСТ 1758 – 81; 7-С ГОСТ 1758 – 81.

## 6. ДОПУСКИ ЧЕРВЯЧНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

Для червячных цилиндрических передач ГОСТ 3675 – 81 устанавливает 12 степеней точности: 1, 2, ..., 12 (в порядке убывания точности).

Для червяков, червячных колес и червячных передач каждой степени точности установлены нормы: кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев и витков. Допускается комбинирование указанных норм разных степеней точности при соблюдении правил, аналогичных правилам, установленным для цилиндрических зубчатых передач.

Независимо от степеней точности установлено шесть видов сопряжений червяка с червячным колесом в передаче А, В, С, D, E, H – и восемь видов допуска  $T_{jn}$  : x, y, z, a, b, c, d, h. Обозначения даны в порядке убывания бокового зазора и допуска на него. Видам сопряжений H и E соответствует вид допуска на боковой зазор h, а видам сопряжений D, C, B и A – вид допуска d, c, b и a соответственно.

Специфические контролируемые погрешности показаны на рис. 6.1.

Показателями кинематической точности червячных колес являются: наибольшая кинематическая погрешность червячного колеса  $F'_{ir}$ ,

накопленная погрешность шага червячного колеса  $F_{pr}$  и накопленная погрешность  $k$  шагов червячного колеса  $F_{pkr}$ , погрешность обката  $F_{cr}$  и радиальное биение зубчатого венца червячного колеса  $F_{rr}$ , колебание измерительного межосевого расстояния за оборот червячного колеса  $F_{ir}''$ .

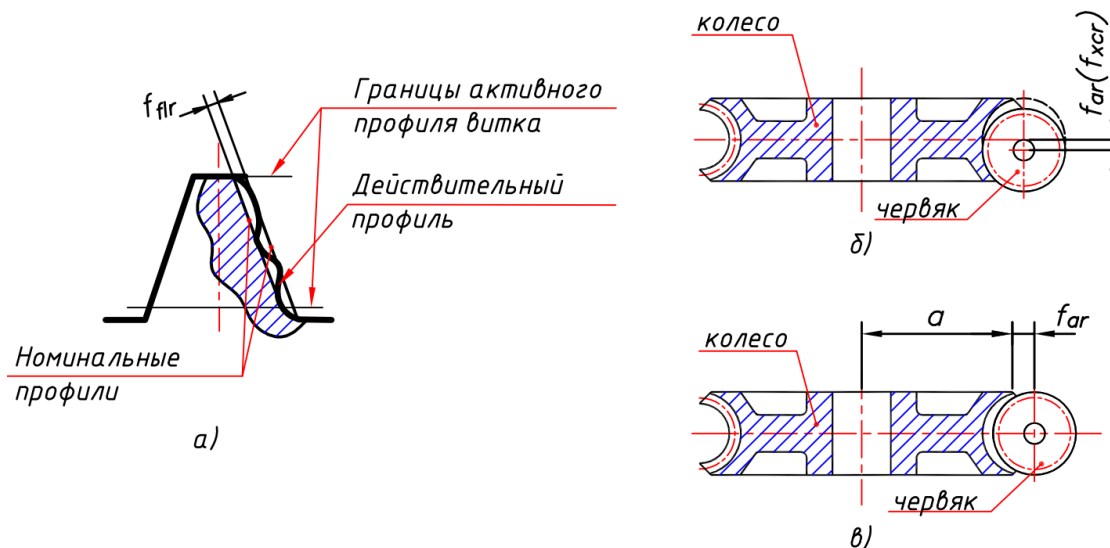


Рисунок 6.1 – Погрешности червячных передач:  
а) – погрешность профиля витка червяка; б) – смещение средней плоскости в передаче; в) – отклонения межосевого расстояния

Показателем кинематической точности червячных передач (и колеса с червяком, поставляемых парами) является наибольшая кинематическая погрешность передачи  $F_{ior}'$ .

Показателями плавности работы червяков являются: погрешность винтовой поверхности витка червяка  $f_{hsr}$ , радиальное биение витка червяка  $f_{rr}$ , отклонение осевого шага червяка  $f_{pxr}$ , накопленная погрешность  $k$  шагов червяка  $f_{pkr}$ , погрешность винтовой линии в пределах оборота  $f_{hr}$  и на всей длине червяка  $f_{hkr}$ , погрешность профиля витка червяка  $f_{f1r}$ . Показателями плавности работы червячных колес являются: циклическая погрешность червячного колеса  $f_{zkr}$ , колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе  $f_{ir}''$ , отклонение шага колеса  $f_{ptr}$  или погрешность профиля зуба колеса  $f_{f2r}$ . Показателями плавности работы червячной передачи являются: циклическая погрешность передачи  $f_{zkor}$  и циклическая погрешность зубцовой частоты в передаче  $f_{zzor}$ .

Показателями контакта зубьев червячного колеса с витками червяка являются суммарное пятно контакта, смещение средней плоскости в передаче  $f_{xr}$ , отклонение межосевого расстояния в передаче  $f_{ar}$  и отклонение межосевого угла передачи  $f_{\Sigma r}$ .

Пример условного обозначения червячной передачи:

*8-7-6-Va ГОСТ 3675 – 81.*

## 7. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЕТАЛЕЙ ЗУБЧАТЫХ (ЧЕРВЯЧНЫХ) ПЕРЕДАЧ

Общие правила разработки рабочих чертежей деталей зубчатых передач регламентированы ГОСТ 2.109 – 73, а также ГОСТ 2.402 – 68. Количество проекций детали на чертеже должно быть минимальным. Изображение колес, валов-шестерен выполняется в одной проекции – осевой разрез или продольный вид детали. Если в детали содержатся шпоночные пазы, на чертеже дается местный вид на паз или сечение.

В соответствии с требованиями стандартов чертеж детали должен содержать сведения, необходимые для ее изготовления и контроля: изображение детали с необходимыми размерами, допусками формы, расположения и параметрами шероховатости поверхностей; таблицу параметров зубчатого венца; технические требования, указание материала детали.

### 7.1. Цилиндрические зубчатые колеса

Общие правила разработки рабочих чертежей цилиндрических зубчатых колёс определяют ГОСТ 2.403 – 75.

На изображении зубчатого колеса должны быть указаны:

- диаметр вершин зубьев  $d_a$ ;
- ширина венца  $b$ ;
- размеры фасок или радиусы кривизны линий притупления на кромках зубьев. Допускается указывать размеры фасок или радиусы кривизны линий притупления в технических требованиях чертежа.
- шероховатость боковых поверхностей зубьев.

Кроме того, должны быть указаны длина ступицы  $l_c$  и размеры, входящие в размерные цепи. Остальные размеры проставляются исходя из технологии изготовления зубчатого колеса. Для штампованных и литых заготовок указывают толщину  $l_1$  дисков и связующий размер  $l_2$  (рис. 7.1).

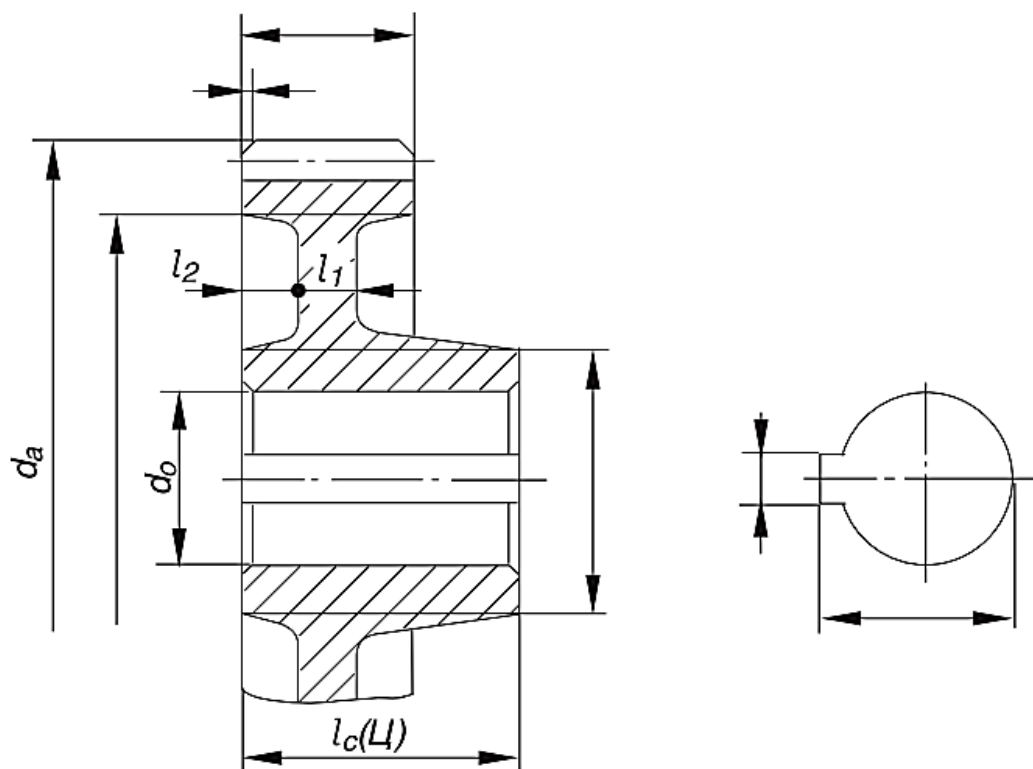


Рисунок 7.1 – Эскиз цилиндрического зубчатого колеса

На чертеже зубчатого колеса в правом верхнем углу должна быть помещена таблица параметров зубчатого венца (рис. 7.2), состоящая из трех частей, отделяемых друг от друга сплошными основными линиями:

- первая часть - основные данные;
- вторая часть - данные для контроля;
- третья часть - справочные данные.

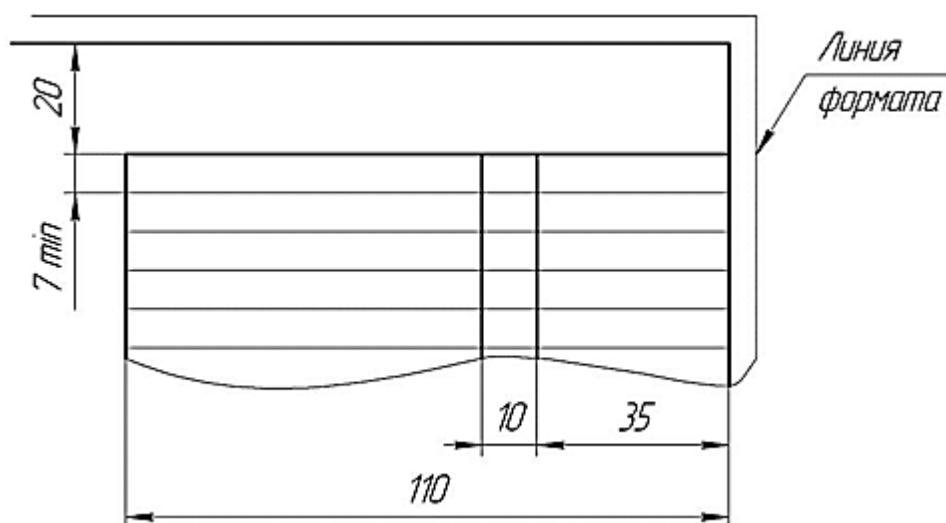


Рисунок 7.2 – Таблица параметров зубчатого колеса

В первой части таблицы помещают основные данные для изготовления, которые включают модуль  $m$ , число зубьев  $z$ , нормальный исходный контур (для стандартного задают ссылкой на стандарт ГОСТ 13755 – 2015, для нестандартного указывают все необходимые для изготовления параметры), коэффициент смещения  $x$  с соответствующим знаком (при отсутствии смещения следует проставлять 0), обозначение норм точности (степень точности и вид сопряжения по нормам бокового зазора) по ГОСТ 1643 – 81 и другие данные.

Во второй части таблицы помещают данные для контроля норм точности, которые для колес с нестандартным исходным контуром включают полный контрольный комплекс для проверки по нормам кинематической точности, плавности, контакта и бокового зазора. Для колёс со стандартным исходным контуром данные для контроля включают только данные для проверки по нормам бокового зазора, по одному из вариантов:

– номинальная толщина зуба (по постоянной хорде)  $\bar{S}_c$  и высота до постоянной хорды  $\bar{h}_c$ .

– длина общей нормали  $W$ .

– толщина по хорде  $\bar{S}_y$  и высота до постоянной хорды  $\bar{h}_{ay}$ .

– торцовый размер по роликам  $M$  и диаметр ролика  $D$ .

Наиболее часто для контроля используют вариант 1 или 2.

Рассмотрим их более подробно.

*Вариант 1.* Номинальная толщина зуба (по постоянной хорде)  $\bar{S}_c$  и высота до постоянной хорды  $\bar{h}_c$ .

Величину постоянной хорды  $\bar{S}_c$  рассчитывают из соотношения:

$$\bar{S}_c = m(0,5\pi \cos^2 \alpha + x \sin 2\alpha),$$

где  $m$  – модуль, мм;  $\alpha$  – угол профиля исходного контура по ГОСТ 13755 – 81;  $x$  – коэффициент смещения.

Высота от вершины зуба колеса до постоянной хорды  $\bar{h}_c$ :

$$\bar{h}_c = 0,5(d_a - d - \bar{s}_c \operatorname{tg} \alpha),$$

где  $d_a$  – диаметр окружности вершин зубьев, мм;  $d$  – диаметр делительной окружности, мм.

Поле допуска на измерительный размер зубчатого колеса всегда направлено в тело зуба (для обеспечения гарантированного бокового зазора в зубчатой передаче), поэтому предельные отклонения измерительного размера (верхнее и нижнее) всегда имеют отрицательные значения.

Расчет значений предельных отклонений размера постоянной хорды  $\overline{S}_c$  выполняют в такой последовательности:

- назначают допуск диаметра вершин зубьев  $T_{d_a}$ ;
- по табл. Б.1 прил. Б определяют допуск на радиальное биение зубчатого венца  $F_r$ ;
- по табл. Б.13 прил. Б определяют наименьшее (верхнее) отклонение толщины зуба  $E_{cs}$ ;
- по табл. Б.14 прил. Б определяют допуск на толщину зуба  $T_c$ ;
- затем рассчитывают наибольшее (нижнее) отклонение толщины зуба  $(E_{cs} + T_c)$ ;
- в контрольном комплексе таблицы параметров зубчатого колеса записывают значение размера толщины постоянной хорды:  $\overline{S}_{c-(E_{cs}+T_c)}^{-E_{cs}}$ .

*Вариант 2.* Длина общей нормали  $W$  и ее предельные отклонения.

Длину общей нормали  $W$  для цилиндрических колес с внешними зубьями рассчитывают по формуле:

$$W = m \cos \alpha [\pi(z_w - 0,5) + 2x \cdot \operatorname{tg} \alpha + z \cdot \operatorname{inv} \alpha],$$

где  $m$  – модуль, мм;  $z_w$  – число зубьев в длине общей нормали, обычно  $z_w \approx z/9 + 1$ ;  $z$  – число зубьев контролируемого колеса;  $\operatorname{inv} \alpha$  – эвольвентный угол, соответствующий углу профиля  $\alpha$ , для прямозубых колес  $\operatorname{inv} \alpha = \operatorname{tg} \alpha - \alpha$ , для косозубых –  $\operatorname{inv} \alpha_t = \operatorname{tg} \alpha_t - \alpha_t$ , где  $\alpha_t$  – торцевой угол профиля исходного контура.

Длина общей нормали для цилиндрических прямозубых колес можно также найти из выражения:

$$W = mk,$$

где  $m$  – модуль, мм;  $k$  – коэффициент, который при угле зацепления  $\alpha = 20^\circ$  и определенном числе охватываемых зубьев при измерении  $n$ , зависит от числа зубьев колеса  $z$ , определяемый по табл. 7.1.

Предельные отклонения длины общей нормали рассчитывают в следующей последовательности:

- для контролируемого зубчатого колеса принимают из чертежа или рассчитывают размер диаметра делительной окружности  $d$ . Для прямозубого колеса  $d = mz$  и для косозубого –  $d = \frac{m_n z}{\cos \beta}$ .

- по табл. Б.1 прил. Б определяют допуск радиального биения зубчатого венца  $F_r$ ;

Таблица 7.1 – Значение коэффициента  $k$  при угле зацепления  $\alpha=20^\circ$  и числе охватываемых зубьев  $n$  при измерении

| $z$ | $n$ | $k$    | $z$ | $n$ | $k$    | $z$ | $n$ | $k$    | $z$ | $n$ | $k$    |
|-----|-----|--------|-----|-----|--------|-----|-----|--------|-----|-----|--------|
| 17  | 2   | 4,666  | 38  | 5   | 13,817 | 59  | 7   | 20,015 | 80  | 9   | 26,213 |
| 18  | 3   | 7,632  | 39  | 5   | 13,831 | 60  | 7   | 20,029 | 81  | 9   | 26,227 |
| 19  | 3   | 7,642  | 40  | 5   | 13,845 | 61  | 7   | 20,043 | 82  | 10  | 29,194 |
| 20  | 3   | 7,660  | 41  | 5   | 13,859 | 62  | 7   | 20,057 | 83  | 10  | 29,208 |
| 21  | 3   | 7,674  | 42  | 5   | 13,873 | 63  | 8   | 23,023 | 84  | 10  | 29,222 |
| 22  | 3   | 7,688  | 43  | 5   | 13,887 | 64  | 8   | 23,037 | 85  | 10  | 29,236 |
| 23  | 3   | 7,702  | 44  | 5   | 13,901 | 65  | 8   | 23,051 | 86  | 10  | 29,250 |
| 24  | 3   | 7,716  | 45  | 6   | 16,867 | 66  | 8   | 23,065 | 87  | 10  | 29,267 |
| 25  | 3   | 7,730  | 46  | 6   | 16,881 | 67  | 8   | 23,079 | 88  | 10  | 29,278 |
| 26  | 3   | 7,744  | 47  | 6   | 16,895 | 68  | 8   | 23,093 | 89  | 10  | 29,291 |
| 27  | 4   | 10,710 | 48  | 6   | 16,909 | 69  | 8   | 23,107 | 90  | 11  | 32,258 |
| 28  | 4   | 10,725 | 49  | 6   | 16,923 | 70  | 8   | 23,121 | 91  | 11  | 32,272 |
| 29  | 4   | 10,739 | 50  | 6   | 16,937 | 71  | 8   | 23,135 | 92  | 11  | 32,286 |
| 30  | 4   | 10,758 | 51  | 6   | 16,951 | 72  | 9   | 26,101 | 93  | 11  | 32,300 |
| 31  | 4   | 10,767 | 52  | 6   | 16,965 | 73  | 9   | 26,115 | 94  | 11  | 32,314 |
| 32  | 4   | 10,781 | 53  | 6   | 16,979 | 74  | 9   | 26,129 | 95  | 11  | 32,328 |
| 33  | 4   | 10,795 | 54  | 7   | 19,945 | 75  | 9   | 26,143 | 96  | 11  | 32,342 |
| 34  | 4   | 10,809 | 55  | 7   | 19,959 | 76  | 9   | 26,157 | 97  | 11  | 32,356 |
| 35  | 4   | 10,829 | 56  | 7   | 19,973 | 77  | 9   | 26,171 | 98  | 11  | 32,370 |
| 36  | 5   | 13,789 | 57  | 7   | 19,987 | 78  | 9   | 26,185 | 99  | 12  | 35,336 |
| 37  | 5   | 13,803 | 58  | 7   | 20,001 | 79  | 9   | 26,199 | 100 | 12  | 35,350 |

– определяют наименьшее отклонение (верхнее отклонение) средней длины общей нормали  $E_{W_{ms}}$ , состоящее из двух слагаемых, первое из которых зависит от вида сопряжения, степени точности по нормам плавности и делительного диаметра колеса  $d$  и определяется по табл. Б.9 прил. Б), а второе – от допускаемого радиального биения  $F_r$  (определяется по табл. Б.10 прил. Б):  $E_{W_{ms}} = E_{W_{ms}}(I) + E_{W_{ms}}(II)$ ;

– по табл. Б.11 прил. Б определяют допуск на среднюю длину общей нормали  $T_{Wm}$  в зависимости от вида сопряжения и допускаемого радиального биения  $F_r$  (табл. Б.1 прил. Б);

– рассчитывают наибольшее отклонение средней длины общей нормали (нижнее отклонение):  $E_{W_{mi}} = E_{W_{ms}} - T_{Wm}$ ;

– в контрольном комплексе таблицы параметров зубчатого колеса записывают значение длины общей нормали:  $W_{-E_{W_{mi}}}^{-E_{W_{ms}}}$ .

В третьей части таблицы помещают справочные данные: делительный диаметр  $d$ , для зубчатого сектора – число зубьев. При необходимости могут включаться прочие справочные данные (шаг зацепления, осевой шаг, обозначение чертежа сопряженного зубчатого колеса и т.д.)

Если зубчатое колесо имеет два и более венца одного вида, то значение параметров следует указывать в таблице параметров в отдельных графах (колонках) для каждого венца. Венец и соответствующая колонка таблицы должны быть обозначены одной прописной буквой русского алфавита (рис. 7.3).

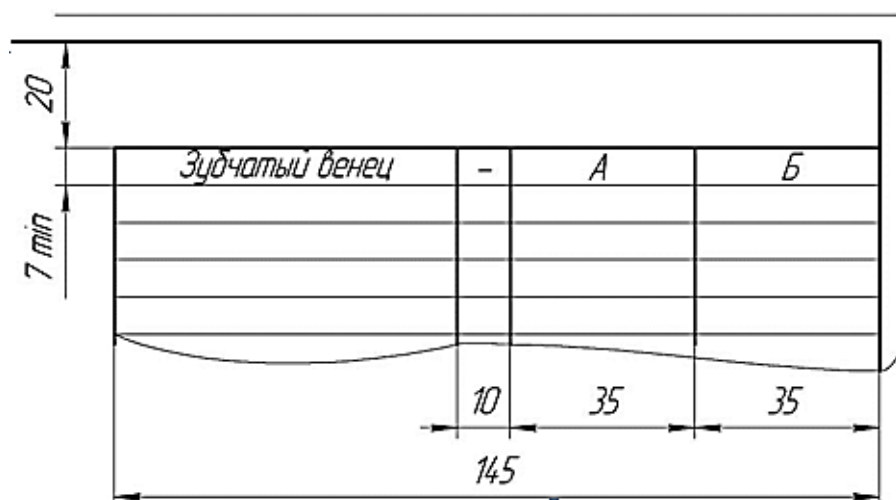


Рисунок 7.3 – Таблица параметров блока зубчатых колес

Если зубчатое колесо имеет два и более венца разного вида (например, цилиндрический и конический), то для каждого венца должна быть приведена на чертеже отдельная таблица. Таблицы следует располагать рядом или одну под другой. Каждый венец и соответствующая таблица должны быть обозначены одной прописной буквой русского алфавита.

Неиспользуемые строки таблицы параметров следует исключать или прочеркивать.

### **Требования к точности заготовок для зубчатых колес**

ГОСТ 1643 – 81, устанавливая нормы точности на основные параметры зубчатых колес, не регламентирует требования на ряд базовых и вспомогательных поверхностей зубчатого колеса. В их числе следует указать: посадочное отверстие зубчатого колеса, опорные шейки вала, диаметр окружности вершин зубьев и базовый торец зубчатого колеса.

Рекомендации по назначению требований к геометрической точности этих поверхностей приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2 – Взаимосвязь точности зубчатых колес с точностью размеров и формы их базовых поверхностей

| Степень точности зубчатого колеса | Посадочная поверхность отверстия       |                                           | Посадочная поверхность шейки вала      |                                           |
|-----------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
|                                   | Квалитет диаметра по ГОСТ 25346 – 2013 | Степень точности формы по ГОСТ 24643 – 81 | Квалитет диаметра по ГОСТ 25346 – 2013 | Степень точности формы по ГОСТ 24643 – 81 |
| 4                                 | 4                                      | 4                                         | 4                                      | 4                                         |
| 5                                 | 5                                      | 5                                         | 5                                      | 5                                         |
| 6                                 | 6                                      | 6                                         | 5                                      | 5                                         |
| 7                                 | 7                                      | 7                                         | 6                                      | 6                                         |
| 8                                 | 7                                      | 7                                         | 6                                      | 6                                         |
| 9                                 | 8                                      | 8                                         | 7                                      | 7                                         |
| 10                                | 8                                      | 8                                         | 7                                      | 7                                         |
| 11                                | 8                                      | 8                                         | 8                                      | 8                                         |
| 12                                | 8                                      | 8                                         | 8                                      | 8                                         |

Требования к форме посадочного отверстия зубчатого колеса – цилиндричность (или круглость и профиль продольного сечения) базового отверстия – ограничивают неравномерность контактных давлений по посадочной поверхности базового отверстия. Допуск цилиндричности принимают по табл. А.4 прил. А [7] в зависимости от принятой степени точности формы по ГОСТ 24643 – 81 (см. табл. 7.2).

Если базовое отверстие содержит шпоночный паз, то допуски на него устанавливают в соответствии с ГОСТ 23360 – 78 и рекомендациями [6].

Радиальное биение внешней поверхности колеса является суммарной погрешностью формы и расположения. Биение внешней поверхности колеса вследствие погрешности формы влияет на высоту зуба, а биение, вызванное погрешностью расположения, вызывает неуравновешенность из-за смещения центра масс колеса (дисбаланс). Допуски задаются в соответствии с табл. 7.3.

Биевание базового торца ступицы приводит к погрешности при обработке и установке колеса в механизме, которые в наибольшей мере отражаются на отклонении направления зубьев. Допуски на биевание торцов ступиц при коротких отверстиях ( $\frac{l}{d} < 0,7$ ) следует принимать по табл. 7.4, при длинных отверстиях ( $\frac{l}{d} \geq 0,7$ ) – табличные значения биений следует увеличить в 1,4 – 1,5 раза.

Таблица 7.3 – Допуск на радиальное биение диаметра окружности вершин цилиндрических и конических зубчатых колес, мкм

| Степень<br>точности<br>колеса<br>по нормам<br>плавности | Делительный диаметр $d$ , мм                                          |                   |                   |                   |                   |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                                         | до 125                                                                | св. 125<br>до 250 | св. 250<br>до 400 | св. 400<br>до 630 | св. 630<br>до 800 |
|                                                         | Допуск на радиальное биение диаметра окружности<br>вершин $TCR$ , мкм |                   |                   |                   |                   |
| 5                                                       | 10                                                                    | 12                | 16                | 20                | 25                |
| 6                                                       | 12                                                                    | 16                | 20                | 25                | 30                |
| 7                                                       | 16                                                                    | 20                | 25                | 30                | 40                |
| 8                                                       | 20                                                                    | 25                | 30                | 40                | 50                |
| 9                                                       | 25                                                                    | 30                | 40                | 50                | 60                |
| 10                                                      | 30                                                                    | 40                | 50                | 60                | 80                |

**Примечание.** Данные приведены для зубчатых колес, модуль которых от 1 до 16 мм.

Таблица 7.4 – Допуски торцового биения, мкм

| Степень<br>кинематической<br>точности | Ступицы колеса<br>при диаметре отверстия, мм |              |        | Базового торца |               |
|---------------------------------------|----------------------------------------------|--------------|--------|----------------|---------------|
|                                       | до 50                                        | св. 50 до 80 | св. 80 | до 50          | св. 50 до 110 |
| 6                                     | 20                                           | 30           | 40     | 17             | 9             |
| 7                                     | 20                                           | 30           | 40     | 21             | 11            |
| 8                                     | 30                                           | 40           | 50     | 26             | 14            |
| 9                                     | 30                                           | 40           | 50     | 34             | 18            |
| 10                                    | 40                                           | 50           | 60     | 42             | 22            |

Рассмотрим пример установки зубчатого колеса в механизме и расположения условных обозначений технических требований, предъявляемых к зубчатым колесам (рис.7.4). Краткие рекомендации по выбору параметров и технических требований для прямозубых зубчатых колес с модулем от 1 до 16 мм в порядке номеров позиций [4].

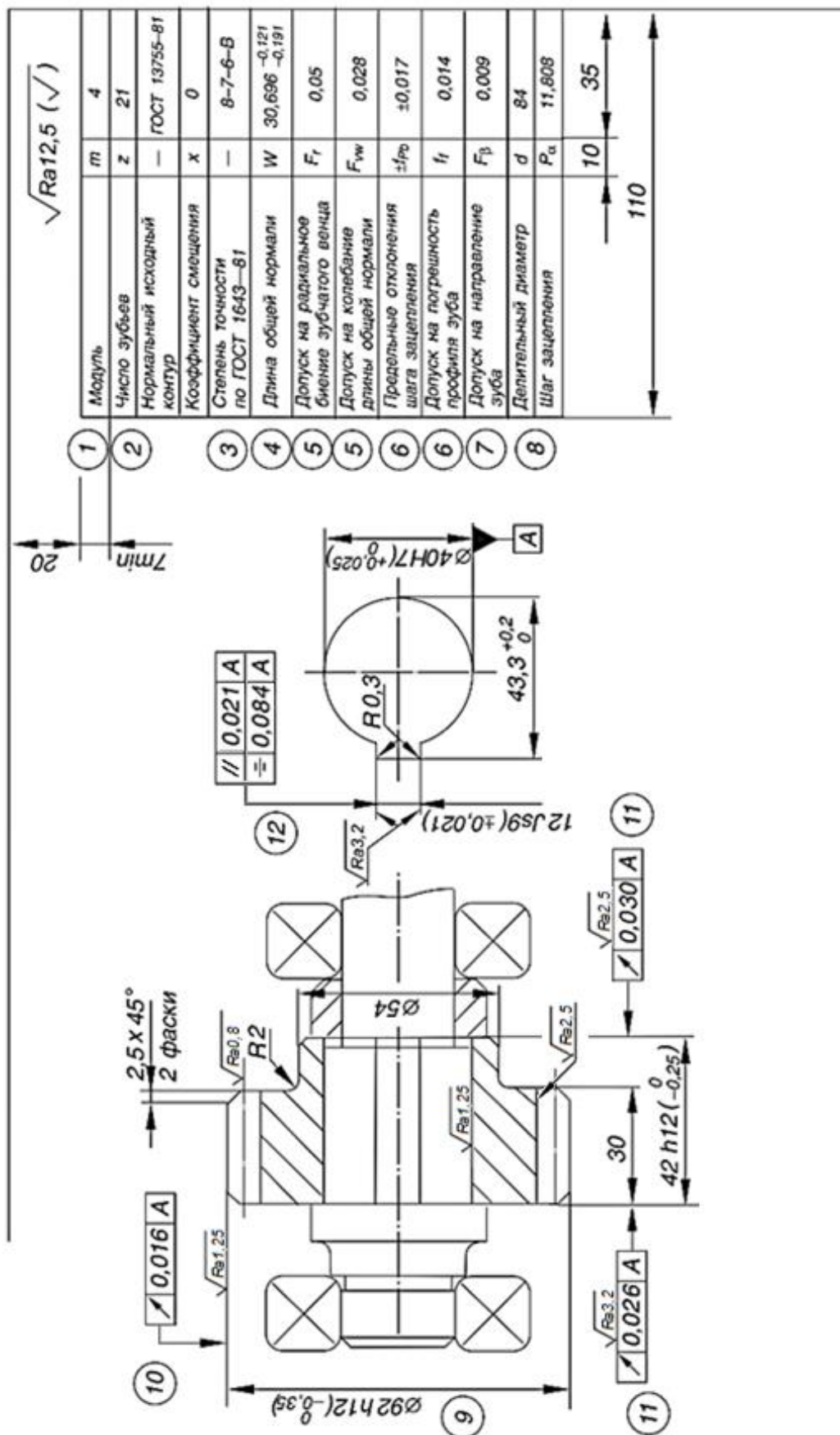


Рисунок 7.4

### **Позиция 1. Модуль $m$ .**

Модуль назначается в соответствии с ГОСТ 9563 – 60 и выбирается из предпочтительного (1-го ряда) табл. 7.5.

Таблица 7.5 – Числовые значения модулей цилиндрических и конических зубчатых колес ГОСТ 9563 – 60

| Ряд | Модуль $m$ , мм |       |      |      |      |     |     |     |   |   |    |
|-----|-----------------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|---|---|----|
| 1   | 1               | 1,25  | 1,5  | 2    | 2,5  | 3   | 4   | 5   | 6 | 8 | 10 |
| 2   | 1,125           | 1,375 | 1,75 | 2,25 | 2,75 | 3,5 | 4,5 | 5,5 | 7 | 9 | 11 |

**Примечание.** Таблица приводится в сокращении

### **Позиция 2. Число зубьев зубчатого колеса $z$ .**

Для зубчатых колес без смещения ( $x=0$ ) при  $\alpha=20^\circ$  и коэффициенте высоты делительной головки зуба  $h_a=1$  число зубьев не должно быть меньше  $z_{\min}=17$ .

### **Позиция 3. Степень точности.**

Согласно задания (8-7-6–В ГОСТ 1643 – 81) в данном случае, цилиндрическая передача со степенью точности 8 по нормам кинематической точности, со степенью 7 по нормам плавности, со степенью 6 по нормам контакта зубьев, с видом сопряжения В, видом допуска на боковой зазор  $b$  и соответствием между видом сопряжения и классом отклонения межосевого расстояния.

**Позиция 4.** Длина общей нормали  $W$  и поле допуска на среднюю длину общей нормали.

Для рассматриваемого примера (при  $z=21$ ) длина общей нормали равна:  $W = tk = 4 \cdot 7,674 = 30,696$  мм.

Определяем наименьшее отклонение (верхнее отклонение) средней длины общей нормали:  $E_{W_{ms}} = E_{W_{ms}}(I) + E_{W_{ms}}(II) = -110 - 11 = -121$  мкм.

Допуск на среднюю длину общей нормали  $T_{Wm}$  определяют по табл. Б.11 прил. Б:  $T_{Wm} = 70$  мкм.

Находим наибольшее отклонение средней длины общей нормали (нижнее отклонение):  $E_{W_{mi}} = E_{W_{ms}} - T_{Wm} = -121 - 70 = -191$  мкм.

Таким образом, в таблице параметров зубчатого венца в строке длина общей нормали  $W$  указываем  $30,696 \begin{smallmatrix} -0,121 \\ -0,191 \end{smallmatrix}$ .

### **Выбор показателей или комплексов точности**

Рекомендуемые показатели или комплексы точности по каждой из норм выбираются в зависимости от степеней точности и приводятся в табл. 7.6. Каждый установленный комплекс показателей, рекомендуемый при приемке зубчатых колес и передач, является равноправным с другими.

Таблица 7.6 – Рекомендуемые показатели или комплексы точности зубчатых колес

| Норма точности                     | Показатель точности или комплекс                                          |                    | Степень точности |   |   |   |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------|---|---|---|
|                                    | Наименование                                                              | Обозначение        | 6                | 7 | 8 | 9 |
| Показатели кинематической точности | наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса                    | $F'_{ir}$          | +                | + | + | - |
|                                    | накопленная погрешность шага по зубчатому колесу                          | $F_{Pr}$           | -                | + | + | - |
|                                    | погрешность обката и радиальное биение зубчатого венца                    | $F_{Cr}, F_{rr}$   | +                | + | + | - |
|                                    | колебание длины общей нормали и радиальное биение зубчатого венца         | $F_{vWr}, F_{rr}$  | +                | + | + | - |
|                                    | радиальное биение зубчатого венца                                         | $F_{rr}$           | -                | - | - | + |
|                                    | колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса | $F''_{ir}$         | -                | - | - | + |
| Показатели плавности работы        | местная кинематическая погрешность зубчатого колеса                       | $f'_{ir}$          | +                | + | + | - |
|                                    | отклонение шага зацепления и погрешность профиля зуба                     | $f_{Pbr}, f_{fr}$  | +                | + | + | - |
|                                    | отклонение шага зацепления и отклонение шага                              | $f_{Pbr}, f_{Ptr}$ | +                | + | + | - |
|                                    | колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе              | $f''_{ir}$         | +                | + | + | + |
|                                    | отклонение шага зацепления                                                | $f_{Pbr}$          | -                | - | - | + |
|                                    | отклонение шага                                                           | $f_{Ptr}$          | -                | - | - | + |
| Показатели контакта зубьев         | суммарная погрешность контактной линии                                    | $F_{kr}$           | +                | + | + | + |
|                                    | погрешность направления зуба                                              | $F_{\beta r}$      | +                | + | + | + |
|                                    | суммарное пятно контакта с зубьями измерительного зубчатого колеса        | —                  | +                | + | + | + |
|                                    | мгновенное пятно контакта с зубьями измерительного зубчатого колеса       | —                  | +                | + | + | + |

**Примечания:**

1. Выделенные ячейки указывают на параметры, выбранные в данном примере.
2. Таблица приводится в сокращении.

Данные для контроля по нормам кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев в передаче (позиции 5<sup>1</sup>, 6<sup>1</sup>, 7<sup>1</sup>) указываются для зубчатых колес с нестандартным исходным контуром, их предлагается выбирать и указывать только в учебных целях.

**Позиция 5<sup>1</sup>.** Допуск на радиальное биение зубчатого венца  $F_r$  и допуск на колебание длины общей нормали  $F_{vw}$ .

Допуск на радиальное биение зубчатого венца  $F_r = 50$  мкм (табл. Б.1 прил. Б).

Допуск на колебание длины общей нормали  $F_{vw} = 28$  мкм (табл. Б.1 прил. Б).

**Позиция 6<sup>1</sup>.** Предельные отклонения шага зацепления  $f_{pb}$  и допуск на погрешность профиля зуба  $f_f$ :

$f_{pb} = \pm 17$  мкм (табл. Б.3 прил. Б);  $f_f = 14$  мкм (табл. Б.3 прил. Б).

**Позиция 7<sup>1</sup>.** Допуск на направление зуба  $F_\beta$ .  
 $F_\beta = 9$  мкм (табл. Б.4 прил. Б).

**Позиция 8.** Делительный диаметр  $d$  и шаг зацепления  $P$ .

Делительный диаметр  $d$  и шаг зацепления  $P$  относятся к третьей части таблицы – справочные данные.

Делительный диаметр определяется из выражения:  $d = mz$ .

При  $m = 4$  и  $z = 21$  получим:  $d = mz = 4 \cdot 21 = 84$  мм.

Шаг зацепления  $P$  необходимо знать при измерении его предельных отклонений, он определяется по формуле:  $P = \pi m \cos \alpha$ .

При  $\alpha = 20^\circ$ , получим:  $P = 3,14 \cdot 4 \cdot \cos 20^\circ = 11,808$  мм.

**Примечание.** При необходимости могут быть указаны прочие справочные данные (см. ГОСТ 2.403-75).

**Позиция 9.** Диаметр окружности вершин зубьев  $d_a$ .

Диаметр вершин зубьев  $d_a$ , мм, равен:  $d_a = m(z + 2)$ . С учетом исходных данных, получим:  $d_a = m(z + 2) = 4(21 + 2) = 92$ .

Допуск на диаметр окружности вершин назначаем по 12 качеству (табл. 7.7), т.е. диаметр окружности вершин  $d_a$  равен  $\varnothing 92h12 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,35 \end{pmatrix}$  мм.

Таблица 7.7 – Допуски диаметра вершин зубьев

|                                 |       |         |
|---------------------------------|-------|---------|
| Степень кинематической точности | до 8  | свыше 8 |
| Обозначение класса допуска      | $h12$ | $h14$   |

**Позиция 10.** Допуск на радиальное биение диаметра окружности вершин.

Величина допуска на радиальное биение диаметра окружности вершин составляет 16 мкм (табл. 7.3)

**Позиция 11.** Допуск торцового биения.

Допуск торцового биения ступицы составляет 30 мкм, допуск торцового биения базового торца – 26 мкм (табл. 7.4).

**Позиция 12.** Допуски расположения шпоночного паза.

Допуски параллельности (ориентации) и симметричности (месторасположения) шпоночного паза, отклонения на глубину шпоночного паза и шероховатость поверхности выбираются в соответствии с рекомендациями [6].

**Позиция 13.** Шероховатость поверхностей зубчатого колеса.

Числовые значения шероховатости поверхностей принимают по табл. 7.8 и в соответствии с рекомендациями [7].

Шероховатость торцовых поверхностей зубчатого колеса назначают для равномерного распределения нагрузки по поверхности торцов и точности положения зубчатого колеса как при нарезании зубчатого венца, так и во время его работы в механизме.

Шероховатость профилей зубьев колеса назначают для обеспечения необходимых условий работы передачи.

Таблица 7.8 – Рекомендуемые значения шероховатости поверхностей зубчатых (червячных) колес

| Наименование поверхности   | Шероховатость при степени точности по нормам контакта |   |                                                |                                                |                                               |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|---|------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                            | 5                                                     | 6 | 7                                              | 8                                              | 9                                             |
| Базовые поверхности зубьев | <i>Ra</i> 0,63<br><i>Ra</i> 0,8                       |   | <i>Ra</i> 1,25<br><i>Ra</i> 2,5                | <i>Ra</i> 2,5<br><i>Ra</i> 3,2<br><i>Rz</i> 20 | <i>Rz</i> 20<br><i>Rz</i> 40                  |
| Диаметр выступов           | <i>Ra</i> 1,25                                        |   | <i>Ra</i> 2,5                                  | <i>Ra</i> 2,5<br><i>Ra</i> 3,2<br><i>Rz</i> 20 | <i>Ra</i> 3,2<br><i>Rz</i> 20<br><i>Rz</i> 40 |
| Диаметр впадин             | <i>Ra</i> 2,5                                         |   | <i>Ra</i> 3,2<br><i>Rz</i> 20                  | <i>Ra</i> 3,2<br><i>Rz</i> 20<br><i>Rz</i> 40  |                                               |
| Базовый торец              | <i>Ra</i> 2,5                                         |   | <i>Ra</i> 2,5<br><i>Ra</i> 3,2<br><i>Rz</i> 20 | <i>Ra</i> 3,2<br><i>Rz</i> 20                  | <i>Rz</i> 40                                  |

Требования к шероховатости поверхности посадочного отверстия зубчатого колеса назначаются для обеспечения требуемого характера сопряжения.

Чертеж зубчатого колеса приведен в прил. А.

## 7.2. Конические зубчатые колеса

Общие правила разработки рабочих чертежей конических зубчатых колёс устанавливает ГОСТ 2.405 – 75. На рабочем чертеже конического зубчатого колеса (рис. 7.5) должны быть указаны: габаритный размер  $\Gamma$ ; внешний диаметр вершин зубьев до притупления кромки  $d_{ae}$ ; внешний диаметр вершин зубьев после притупления кромки  $d'_{ae}$ ; расстояние от базовой плоскости до плоскости внешней окружности вершин зубьев  $C$ ; угол конуса вершин зубьев  $\delta_\alpha$ ; угол внешнего дополнительного конуса  $90^\circ - \delta$ ; ширина зубчатого венца  $b$ ; базовое расстояние  $A(I)$  – размер, входящий в размерную цепь; положение измерительного сечения; размеры фасок или радиусы кривизны линий притупления на кромках зубьев. Допускается указывать размеры фасок или радиусы кривизны линий притупления в технических требованиях чертежа.

Кроме того, чертеж должен содержать предельные отклонения размеров, формы и расположения поверхностей; параметры шероховатости поверхностей; данные о материале заготовки, термической обработке; таблицу параметров зубчатого венца (в правом верхнем углу) и другие сведения, необходимые для изготовления и контроля конического зубчатого колеса.

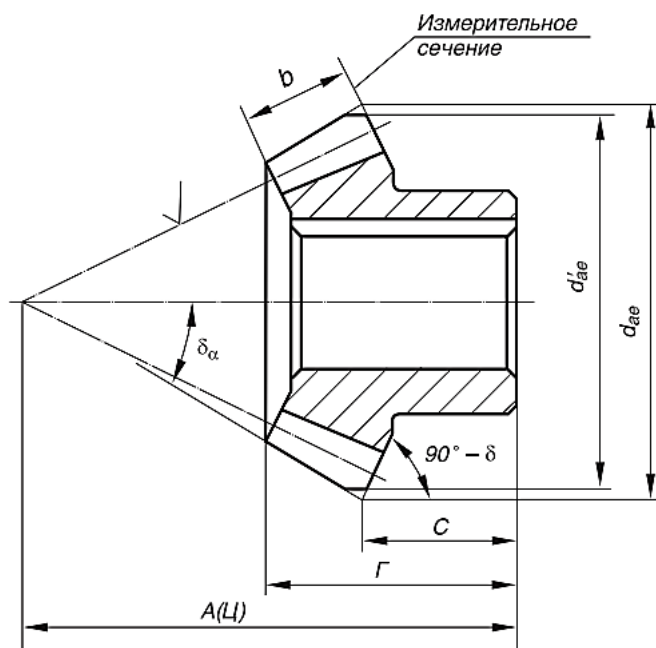


Рисунок 7.5 – Размеры конического колеса

Таблица параметров зубчатого венца (рис. 7.2) состоит из трех частей (основные данные, данные для контроля и справочные данные), отделяемых друг от друга сплошными основными линиями.

В первой части приводят следующие данные: модуль внешней окружной  $m_e$ ; число зубьев  $z$ ; тип зуба надписью «прямой»; исходный

контур (ссылка на ГОСТ 13754 – 81); коэффициент смещения исходного контура  $x_e$  с соответствующим знаком; коэффициент изменения расчетной толщины зуба  $x_\tau$  с соответствующим знаком (при отсутствии изменения расчетной толщины проставляют нуль); угол делительного конуса  $\delta$ ; степень точности и вид сопряжения по нормам бокового зазора и обозначение стандарта.

Во второй части таблицы приведены данные для контроля размеров зуба в измерительном сечении – постоянная хорда  $\bar{S}_{ce}$  и высота до постоянной хорды  $\bar{h}_{ce}$ .

В третьей части таблицы приводят справочные данные: межосевой угол передачи  $\Sigma$  ( $\Sigma = 90^\circ$ ); средний окружной модуль  $m_m$ ; внешнее конусное расстояние  $R_e$ ; среднее конусное расстояние  $R$ ; средний делительный диаметр  $d$ ; угол конуса впадин  $\delta_f$ ; внешнюю высоту зуба  $h_e$ ; обозначение чертежа сопряженного зубчатого колеса.

Если зубчатое колесо имеет два и более венца разного вида (например, конический и цилиндрический), то для каждого венца должна быть приведена на чертеже отдельная таблица. Таблицы располагают рядом или одну под другой. Каждый венец и соответствующая таблица должны быть обозначены одной прописной буквой русского алфавита (рис. 7.3). Неиспользуемые строки таблицы следует исключать.

### ***Выбор параметров конического зубчатого колеса, допусков размеров, формы, взаимного расположения и шероховатости поверхностей***

Осевые размеры, определяющие длину ступицы, ширину зубчатого венца, базовое расстояние, расстояние от базовой плоскости до плоскости внешней окружности вершин зубьев принимают по результатам геометрического расчета (см. табл. В.1 прил. В) или сборочному чертежу изделия.

Цилиндричность базового отверстия (круглость и профиль продольного сечения), радиальное биение диаметра выступов, торцовое биение базового торца зубчатого венца конического колеса относительно оси базового отверстия, параллельность и симметричность расположения шпоночного паза определяют по аналогии с цилиндрическими зубчатыми колесами.

Длина ступицы колеса является функциональным цепочным размером, определяющим величину осевого зазора в комплекте вала с подшипниками, её предельные отклонения принимают в зависимости от способа компенсации.

Базовый размер  $A(I)$  колеса также является цепочным, определяющим положение вершины делительного конуса колеса.

Расстояние  $A(I)$  от базового торца до вершины делительного конуса

рассчитывается из выражения:

$$A(I) = C + 0,5d_{ae} / \operatorname{tg} \delta_{\alpha},$$

где  $C$  – расстояние от базовой плоскости внешней окружности вершин зубьев;  $d_{ae}$  – внешний диаметр зубьев.

Предельные отклонения расстояния  $C$  рекомендуется принимать: 0,05 мм – для зубчатых колес с внешним окружным модулем от 1 до 5 мм и 0,1 мм – для колес с модулем больше 10 мм.

Внешний диаметр зубьев до притупления кромок зубьев определяют по результатам геометрического расчета, после притупления – по технологическим рекомендациям (выполнять притупление вершин зубьев с округлением диаметра до ближайшего меньшего целого числа по ГОСТ 6636 – 69).

Предельные отклонения внешнего диаметра вершин  $d_{ae}$  принимают по табл. 7.7 в зависимости от степени кинематической точности передачи.

Таблица 7.7 – Предельные отклонения внешнего диаметра вершин  $d_{ae}$

| Степень<br>кинематической<br>точности | Средний делительный диаметр, мм |                  |                   |                   |
|---------------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|                                       | св. 50<br>до 80                 | св. 80<br>до 120 | св. 120<br>до 200 | св. 200<br>до 320 |
| 6                                     | -0,03                           | -0,04            | -0,05             | -0,06             |
| 7                                     | -0,05                           | -0,06            | -0,07             | -0,08             |
| 8                                     | -0,07                           | -0,08            | -0,09             | -0,11             |
| 9                                     | -0,12                           | -0,14            | -0,17             | -0,20             |

Номинальные значения и предельные отклонения посадочного диаметра и размеров поперечного сечения шпоночного паза определяют также, как и для цилиндрических зубчатых колес.

Свободные размеры, определяющие конфигурацию и размеры ступицы и диска, необходимо принимать в соответствии с рекомендациями по конструированию конических зубчатых колес. Свободные размеры задают с учетом технологии изготовления и методами контроля. Предельные отклонения этих размеров определяют по записи в технических требованиях чертежа.

На рис. 7.6 приведена схема установки конического зубчатого колеса в механизме и условные обозначения технических требований, которые следует к ним предъявлять. Ниже в порядке номеров позиций даны краткие рекомендации по выбору параметров и технических требований к коническим зубчатым колесам. Расчет геометрических параметров данного колеса приведен в табл. В.1 прил. В.



**Позиция 1.** Модуль  $m_e$ .

В качестве расчетного принят внешний окружной модуль  $m_e$ , который выбирается по табл. 7.1 –  $m_e = 5$  мм.

**Позиция 2.** Число зубьев конического зубчатого колеса  $z$ .

Числа зубьев шестерни  $z_1$  и колеса  $z_2$  рекомендуется выбирать с учетом минимально допустимых чисел зубьев шестерни и колеса, приведенных в табл. 7.8.

Таблица 7.8 – Минимально допустимые числа зубьев шестерни и колеса

|                                                   |    |    |    |    |
|---------------------------------------------------|----|----|----|----|
| Число зубьев шестерни $z_1$                       | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Наименьшее число зубьев сопряженного колеса $z_2$ | 20 | 19 | 18 | 17 |

В данном примере число зубьев колеса  $z_2 = 30$ .

**Позиция 3.** Нормальный исходный контур.

Конические передачи с прямыми зубьями при  $m_e > 1$  мм должны выполняться в соответствии с исходным контуром по ГОСТ 13754 – 81 со следующими параметрами:  $\alpha = 20^\circ$ ,  $h_a^* = 1$ ,  $c^* = 0,2$ ,  $\rho_f^* = 0,2$ .

**Позиция 4.** Коэффициент смещения  $x_e$ .

В передачах с передаточным числом  $u > 1$  шестерню рекомендуется выполнять с положительным смещением по табл. 7.9, а колесо с равным ему по величине отрицательным смещением.

Таблица 7.9 – Значение коэффициента смещения шестерни

| Число<br>зубьев<br>шестерни | Значение коэффициента смещения шестерни $x_{e1}$<br>при передаточном числе $u$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                             | 1                                                                              | 1,12 | 1,25 | 1,4  | 1,6  | 1,8  | 2,0  | 2,5  | 3,15 | 4,0  | 5,0  |
| 14                          | –                                                                              | –    | –    | 0,27 | 0,34 | 0,38 | 0,42 | 0,47 | 0,50 | 0,52 | 0,53 |
| 15                          | –                                                                              | –    | 0,18 | 0,25 | 0,31 | 0,36 | 0,40 | 0,45 | 0,48 | 0,50 | 0,51 |
| 16                          | –                                                                              | 0,1  | 0,17 | 0,24 | 0,30 | 0,35 | 0,38 | 0,43 | 0,46 | 0,48 | 0,49 |
| 18                          | 0,0                                                                            | 0,09 | 0,15 | 0,22 | 0,28 | 0,33 | 0,36 | 0,40 | 0,43 | 0,45 | 0,46 |
| 20                          | 0,0                                                                            | 0,08 | 0,14 | 0,20 | 0,26 | 0,30 | 0,34 | 0,37 | 0,40 | 0,42 | 0,43 |
| 25                          | 0,0                                                                            | 0,07 | 0,13 | 0,18 | 0,23 | 0,26 | 0,29 | 0,33 | 0,36 | 0,38 | 0,39 |
| 30                          | 0,0                                                                            | 0,06 | 0,11 | 0,15 | 0,19 | 0,22 | 0,25 | 0,28 | 0,31 | 0,33 | 0,34 |
| 40                          | 0,0                                                                            | 0,05 | 0,09 | 0,12 | 0,15 | 0,18 | 0,20 | 0,22 | 0,24 | 0,26 | 0,27 |

**Примечание.**

1. Таблица приводится в сокращении.

2. Для передач, у которых  $u$  и  $z_1$  отличается от указанных, коэффициенты смещения принимают с округлением в большую сторону.

В данном случае для  $z_1=15$  и  $u=2,0$  принимаем для шестерни  $x_{e1}=0,4$ , для колеса –  $x_{e2}=-0,4$ .

**Позиция 5.** Коэффициент изменения толщины зуба  $x_\tau$ .

Коэффициент изменения толщины зуба принимается  $x_\tau=0$ , так как  $u=2,0$  (см. табл. В.1 прил. В).

**Позиция 6.** Угол делительного конуса  $\delta$ .

Расчет угла делительного конуса приведен в табл. В.1 прил. В:  $\delta=63^\circ 26'$ .

**Позиция 7.** Степень точности.

Выбор степени точности конического зубчатого колеса производится на основе конкретных условий работы передачи. Согласно заданию: 8–В ГОСТ 1758 – 81 (степень точности 8 по всем трем нормам точности, с видом сопряжения зубчатых колес В).

**Позиция 8.** Размеры зуба в измерительном сечении.

Во второй части таблицы – данные для контроля – выбраны следующие параметры:

- постоянная хорда зуба  $\bar{S}_{ce}$ ;
- высота до постоянной хорды  $\bar{h}_{ce}$ .

Расчет постоянной хорды зуба  $\bar{S}_{ce}$  приведен в табл. В.1 прил. В:  $\bar{S}_{ce}=5,6496$  мм.

Наименьшее отклонение средней постоянной хорды зуба  $\bar{S}_{ce}$  и допуск на нее определяются по табл. 3 - 5 прил. 4 [ГОСТ 1758 – 81]. Приведенные значения относятся к сечению, проходящему по среднему конусному расстоянию  $R$ . Выбранное измерительное сечение (см. рис. 7.6) находится на торце зубчатого колеса, поэтому выбранные значения наименьшего отклонения и допуска следует увеличить в  $R_e/R$  раз, где  $R_e$  – внешнее конусное расстояние.

Наименьшее отклонение постоянной хорды зуба в измерительном сечении:

$$E_{\bar{S}_{cs}} = K_1 \cdot E_{\bar{S}_{cs}}^* \frac{R_e}{R},$$

где  $E_{\bar{S}_{cs}}^*$  – наименьшее отклонение средней постоянной хорды зуба. Определяется по табл. 3 прил. 4 [ГОСТ 1758 – 81]. Для среднего нормального модуля  $m_n=5$ , среднего делительного диаметра  $d_2=127,6380$  мм и угла делительного конуса  $\delta=63^\circ 26'$  наименьшее отклонение средней постоянной хорды зуба  $E_{\bar{S}_{cs}}^*=-30$  мкм;

$K_1$  – коэффициенты для определения  $E_{\bar{S}_{cs}}^*$  при степенях точности и видах сопряжений, отличающихся от 7–H. Определяется по табл. 4 прил. 4 [ГОСТ 1758 – 81]: для вида сопряжения B и 8 степени точности по нормам плавности  $K_1 = 4,2$ .

$$\text{Получим } E_{\bar{S}_{cs}} = 4,2 \cdot (-30) \cdot \frac{83,852}{71,352} = -148 \text{ мкм.}$$

Допуск на среднюю постоянную хорду:

$$T_{\bar{S}_c} = T_{\bar{S}_c}^* \frac{R_e}{R},$$

где  $T_{\bar{S}_c}^*$  – допуск на среднюю постоянную хорду, определяемый по табл. 5 прил. 4 [ГОСТ 1758 – 81]. При виде допуска на боковой зазор  $b$  и величине допуска на радиальное биение зубчатого венца  $F_r = 71$  мкм (см. табл. 5 [ГОСТ 1758 – 81]) допуск на среднюю постоянную хорду  $T_{\bar{S}_c}^* = 130$  мкм.

$$\text{Тогда } T_{\bar{S}_c} = 130 \cdot \frac{83,852}{71,352} = 153 \text{ мкм.}$$

Нижнее отклонение средней постоянной хорды зуба определяется из выражения:

$$E_{\bar{S}_{ci}} = E_{\bar{S}_{cs}}^* - T_{\bar{S}_c},$$

$$\text{т.е. } E_{\bar{S}_{ci}} = -148 - 153 = -301 \text{ мкм.}$$

Таким образом, в таблице параметров зубчатого венца на чертеже конического зубчатого колеса записывают размер постоянной хорды зуба по форме:  $\bar{S}_{ce} \begin{smallmatrix} -E_{\bar{S}_{cs}} \\ -E_{\bar{S}_{ci}} \end{smallmatrix}$ , т.е.  $5,6496 \begin{smallmatrix} -0,148 \\ -0,301 \end{smallmatrix}$ .

Расчет высоты до постоянной хорды приведен в табл. В.1 прил. В:  $\bar{h}_{ce} = 1,972$  мм.

### **Выбор показателей точности конического зубчатого колеса**

Показатели точности предлагается выбирать и указывать в учебных целях. Показатели или комплексы точности выбираются в зависимости от степеней точности. Каждый установленный комплекс показателей является равноправным с другими. Требования стандарта относятся к зубчатым колесам, установленным на их рабочих осях.

В табл. 7.10 приведены возможные варианты назначения и контроля параметров, характеризующие различные нормы точности, которые рекомендуются в зависимости от степеней точности.

Таблица 7.10 – Рекомендуемые показатели или комплексы точности конических зубчатых колес

| Норма точности                     | Показатель точности или комплекс                                                     |                     | Степень точности |   |   |   |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------|---|---|---|
|                                    | Наименование                                                                         | Обозначение         | 6                | 7 | 8 | 9 |
| Показатели кинематической точности | наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса                               | $F'_{ir}$           | +                | + | + | - |
|                                    | накопленная погрешность шага по зубчатому колесу                                     | $F_{Pr}$            | -                | + | + | - |
|                                    | накопленная погрешность шага по зубчатому колесу и накопленная погрешность $k$ шагов | $F_{Pr}, F_{Pkr}$   | +                | - | - | - |
|                                    | погрешность обката и радиальное биение зубчатого венца                               | $F_{cr}, F_{rr}$    | +                | + | + | - |
|                                    | радиальное биение зубчатого венца                                                    | $F_{rr}$            | -                | - | - | + |
| Показатели плавности работы        | погрешность обката зубцовой частоты и отклонение шага                                | $f_{cr}, f_{Ptr r}$ | +                | + | + | - |
|                                    | отклонение шага                                                                      | $f_{Ptr r}$         | -                | - | - | + |
| Показатели контакта зубьев         | Отклонение межосевого расстояния в передаче и суммарное пятно контакта в передаче    | $f_{ar}, -$         | +                | + | + | + |

**Примечания:**

1. Выделенные ячейки указывают на параметры, выбранные в данном примере.
2. Таблица приводится в сокращении.

Согласно задания (8–В ГОСТ 1758 – 81) в данном случае, коническая передача со степенью точности 8 по всем трем нормам точности, с видом сопряжения зубчатых колес В.

Для 8-й степени точности выбираем: для контроля кинематической точности конического зубчатого колеса выбираем комплекс погрешность обката  $F_{cr}$  и радиальное биение зубчатого венца  $F_{rr}$ ; для контроля плавности работы выбираем комплекс погрешность обката зубцовой частоты  $f_{cr}$  и отклонение шага  $f_{Ptr r}$ , для контроля контакта зубьев – отклонение межосевого расстояния в передаче  $f_{ar}$  и суммарное пятно контакта в передаче.

Численные значения показателей точности определяем по ГОСТ 1758 – 81.

Допуск на погрешность обката  $F_c$  и допуск на радиальное биение зубчатого венца  $F_r$  определяются по табл. 5 [ГОСТ 1758 – 81]: для среднего нормального модуля  $m_n = 5$  и среднего делительного диаметра  $d_2 = 127,6380$  мм –  $F_c = 50$  мкм,  $F_r = 71$  мкм.

Допуск на погрешность обката зубцовой частоты  $f_c$  и предельные отклонение шага  $\pm f_{pt}$  определяются по табл. 7 [ГОСТ 1758 – 81]: для среднего нормального модуля  $m_n = 5$  и среднего делительного диаметра  $d_2 = 127,6380$  мм –  $f_c = 15$  мкм,  $f_{pt} = \pm 28$  мкм.

Предельные отклонения межосевого расстояния в передаче  $\pm f_a$  определяют по табл. 11 [ГОСТ 1758 – 81]: для 8 степени точности колеса и среднего конусного расстояния  $R = 71,3525$  мм –  $f_a = \pm 30$  мкм.

Суммарное пятно контакта в передаче (см. табл. 12 [ГОСТ 1758 – 81]): относительный размер суммарного пятна контакта по длине зуба – 50%; относительный размер суммарного пятна контакта по высоте зуба – 55%.

**Позиция 9.** Справочные данные (относятся к третьей части таблицы).

Справочные данные:

- межосевой угол передачи  $\Sigma$  ( $\Sigma = 90^\circ$ );
- средний окружной модуль  $m_m = 4,2546$  мм (п.6 табл. В.1 прил. В);
- внешнее конусное расстояние  $R_e = 83,8525$  мм (п.3 табл. В.1 прил. В);
- среднее конусное расстояние  $R = 71,3525$  мм (п.5 табл. В.1 прил. В);
- средний делительный диаметр  $d = 127,6380$  мм (п.7 табл. В.1 прил. В);
- угол конуса впадин  $\delta_f = 57^\circ 59'$  (п.18 табл. В.1 прил. В);
- внешнюю высоту зуба  $h_{e2} = 11$  мм (п.14 табл. В.1 прил. В);
- в конце таблицы приводятся прочие справочные данные: обозначение чертежа сопряженного зубчатого колеса.

**Позиция 10.** Внешний диаметр вершин зубьев  $d_{ae}$  и допуск на него.

Расчет диаметра приведен в табл. В.1 прил. В (п.20):  $d_{ae} = 152,6834$  мм.

Допуск на внешний диаметр рекомендуется назначать по табл. 7.11. Для 8-й степени кинематической точности и угла конуса вершин зубьев  $\delta_a = 66^\circ 10'$  рекомендуется назначать допуск на внешний диаметр по  $h11$ . Следовательно, на чертеже указывают  $152,6834 h11 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,25 \end{pmatrix}$ .

Таблица 7.11 – Рекомендуемый допуск на внешний диаметр  $d_{ae}$

| Степень точности | Допуск на внешний диаметр $d_{ae}$ конических колес<br>при угле конуса |                |           |
|------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------|
|                  | до 30°                                                                 | св. 30° до 60° | свыше 60° |
| 5-6              | $h8$                                                                   | $h9$           | $h10$     |
| 7-8              | $h8, h9$                                                               | $h10$          | $h11$     |
| 9-10             | $h10$                                                                  | $h11$          | $h12$     |

**Позиция 11.** Расстояние от базовой плоскости до плоскости внешней окружности вершин зубьев (размер  $C$ ) (см. рис. 7.6) и допуск на него.

Данный размер рассчитывается:

$$C = A(\Pi) - B_2 = 85 - 34,817 = 50,183 \text{ мм.}$$

Допуск на размер  $C$  влияет на результат измерения толщины зуба, на основании практических данных предельные отклонения на размер рекомендуется принимать по табл. 7.12.

Таблица 7.12 – Предельные отклонения на размер  $C$

| Внешний окружной модуль $m_e$ , мм | Предельные отклонения на размер $C$ , мм |                              |
|------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------|
|                                    | верхнее предельное отклонение            | нижнее предельное отклонение |
| от 1 до 10                         | 0                                        | -0,05                        |
| св. 10                             | 0                                        | -0,1                         |

**Позиция 12.** Допуски на угол конуса вершин зубьев  $\delta_a$  и угол внешнего делительного дополнительного конуса  $90^\circ - \delta$ . Допуски на углы конусов установлены на основе практических данных, и их рекомендуется принимать по табл. 7.13.

Таблица 7.13 – Допуски на углы конусов

| Внешний окружной модуль $m_e$ , мм | Предельные отклонения угла $\delta_a$ , мин. |                              | Предельные отклонения угла $90^\circ - \delta$ , мин. |
|------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                                    | верхнее предельное отклонение                | нижнее предельное отклонение |                                                       |
| св. 0,75 до 1,5                    | 0                                            | +15'                         | $\pm 30'$                                             |
| св. 1,5                            | 0                                            | +8'                          | $\pm 15'$                                             |

**Позиция 13.** Допуск на биение конуса вершин зубьев  $F_{ar}$ .

Допуск на биение конуса вершин зубьев  $F_{ar}$  назначается по табл. 7.3.

Для среднего делительного диаметра  $d = 127,638$  мм и 8-й степени

кинематической точности  $F_{ar} = 25$  мкм.

**Позиция 14.** Допуск на биение базового торца и ступицы зубчатого колеса.

Допуск на биение базового торца и ступицы зубчатого колеса назначается по табл. 7.4.

При номинальном диаметре посадочного отверстия  $\varnothing 40$  мм и 8-й степени кинематической точности допуск на биение ступицы зубчатого колеса равен 20 мкм, допуск на биение базового торца – 14 мкм. Т.к.

$\frac{l}{d} \geq 0,7$ , табличное значение следует увеличить в 1,4 – 1,5 раза.

Окончательно принимаем, допуск на биение базового торца равен 20 мкм.

**Позиция 15.** Шероховатость профилей зубьев колеса.

Назначение технического требования – обеспечение необходимых условий работы передачи. Значение параметров шероховатости выбираются по степени точности по нормам контакта, в предложенном примере – по 8-й степени точности. Для базовой поверхности зубьев назначаем  $Ra3,2$ , для диаметра выступов –  $Ra3,2$ , для диаметра впадин –  $Rz40$ , для базового торца –  $Ra3,2$ . Остальные технические требования выбираются и назначаются в соответствии с рекомендациями, приведенными в [7].

Чертеж конического зубчатого колеса приведен в прил. А.

### 7.3. Червяки

На изображении цилиндрических червяков должны быть указаны: габаритные размеры; размеры, входящие в размерные цепи; диаметр вершин витка  $d_{a1}$ ; длина нарезанной части червяка  $b_1$ ; данные, определяющие контур нарезанной части червяка, например фаски  $f$ , радиус кривизны переходной кривой витка  $\rho_{f1}$ ; радиус кривизны линии притупления витка  $\rho_{k1}$  или размеры фаски. Остальные размеры проставляются исходя из технологии изготовления червяка (рис. 7.7). Концевые участки витков имеют заостренную форму. Их необходимо притупить фрезерованием или запиливанием. На рабочем чертеже червяка об этом приводят соответствующее указание. Кроме того, на чертеже должна быть указана шероховатость боковых поверхностей витка.

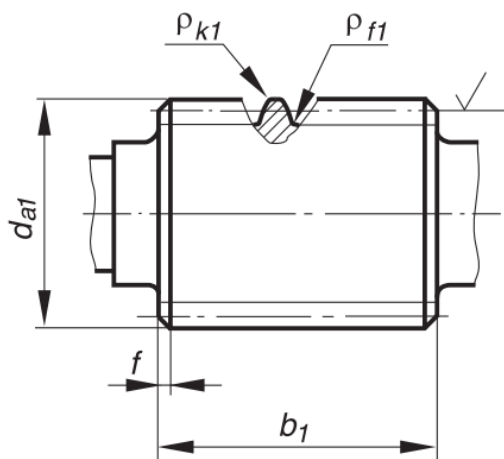


Рисунок 7.7

На чертеже червяка должна быть помещена таблица параметров зубчатого венца (рис. 7.2), состоящая из трех частей (основные данные, данные для контроля, справочные данные), отделяемых друг от друга сплошными основными линиями.

В первой части таблицы параметров зубчатого венца червяка должны быть приведены: модуль  $m$ ; число витков  $z_1$ ; вид червяка - записью по типу: ZA (архимедов червяк), ZI (эвольвентный червяк), ZN1 (конволютный червяк с прямолинейным профилем витка), ZN2 (конволютный червяк с прямолинейным профилем впадины) и ZK (червяк, образованный конусом); угол подъема линии витка (основной  $\gamma_e$  - для червяка вида ZI; делительный  $\gamma$  - для червяков остальных видов); направление линии витка - надписью "Правое" или "Левое"; исходный червяк (стандартный - ссылкой на соответствующий стандарт (ГОСТ 19036 - 94); нестандартный - указывают все необходимые для

изготовления параметры); степень точности и вид сопряжения по нормам бокового зазора по соответствующему стандарту и обозначение этого стандарта.

Во второй части таблицы параметров зубчатого венца червяка должны быть приведены данные для контроля взаимного положения разноименных профилей витка по одному из следующих вариантов:

- делительная толщина по хорде витка  $\bar{S}_{a1}$  и высоты до хорды  $\bar{h}_{a1}$ ;
- размер червяка по роликам  $M_1$  и диаметр измерительного ролика  $D$ .

В третьей части таблицы параметров венца червяка должны быть приведены: делительный диаметр червяка  $d_1$ ; ход витка  $p_{z1}$ ; при необходимости – прочие справочные данные (например, межосевое расстояние  $a_w$ ; коэффициент диаметра червяка  $q$ ; высота витка червяка  $h_1$ ; число зубьев сопряженного червячного колеса  $z_2$ ; основной диаметр червяка  $d_g$  – для червяка вида  $ZI$ ; обозначение чертежа сопряженного колеса).

На рис. 7.8 приведена схема расположения условных обозначений технических требований, которые предъявляются к червякам.

Далее в порядке номеров позиций (см. рис. 7.8) даны краткие рекомендации по выбору параметров и технических требований цилиндрических червяков.

**Позиция 1.** Модуль  $m$ .

Модуль  $m$  определяется в осевом сечении червяка и назначается в соответствии с ГОСТ 19672 – 74 или табл. 7.14.

Таблица 7.14 – Модуль  $m$  червяков и червячных колес, мм

| Ряд         |     |       | Ряд         |     |      | Ряд         |   |    |
|-------------|-----|-------|-------------|-----|------|-------------|---|----|
| 1           | 2   | 3     | 1           | 2   | 3    | 1           | 2 | 3  |
| <b>1,0</b>  | -   | -     | -           | -   | 2,25 | <b>5,0</b>  | - | -  |
| -           | -   | 1,125 | <b>2,5</b>  | -   | -    | -           | 6 | -  |
| <b>1,25</b> | -   | -     | -           | -   | 2,75 | <b>6,3</b>  | - | -  |
| -           | -   | 1,375 | -           | 3   | -    | -           | 7 | -  |
| -           | 1,5 | -     | <b>3,15</b> | -   | -    | <b>8,0</b>  | - | -  |
| <b>1,6</b>  | -   | -     | -           | 3,5 | -    | -           | - | 9  |
| -           | -   | 1,75  | <b>4,0</b>  | -   | -    | <b>10,0</b> | - | -  |
| <b>2,0</b>  | -   | -     | -           | -   | 4,5  | -           | - | 11 |

*Примечание.* 1 Таблица приводится в сокращении.

2. Первый ряд следует предпочитать второму. Модули третьего ряда допускаются применять в технически обоснованных случаях для нормализованных редукторов общемашиностроительного применения.

В данном случае модуль  $m = 4$ .

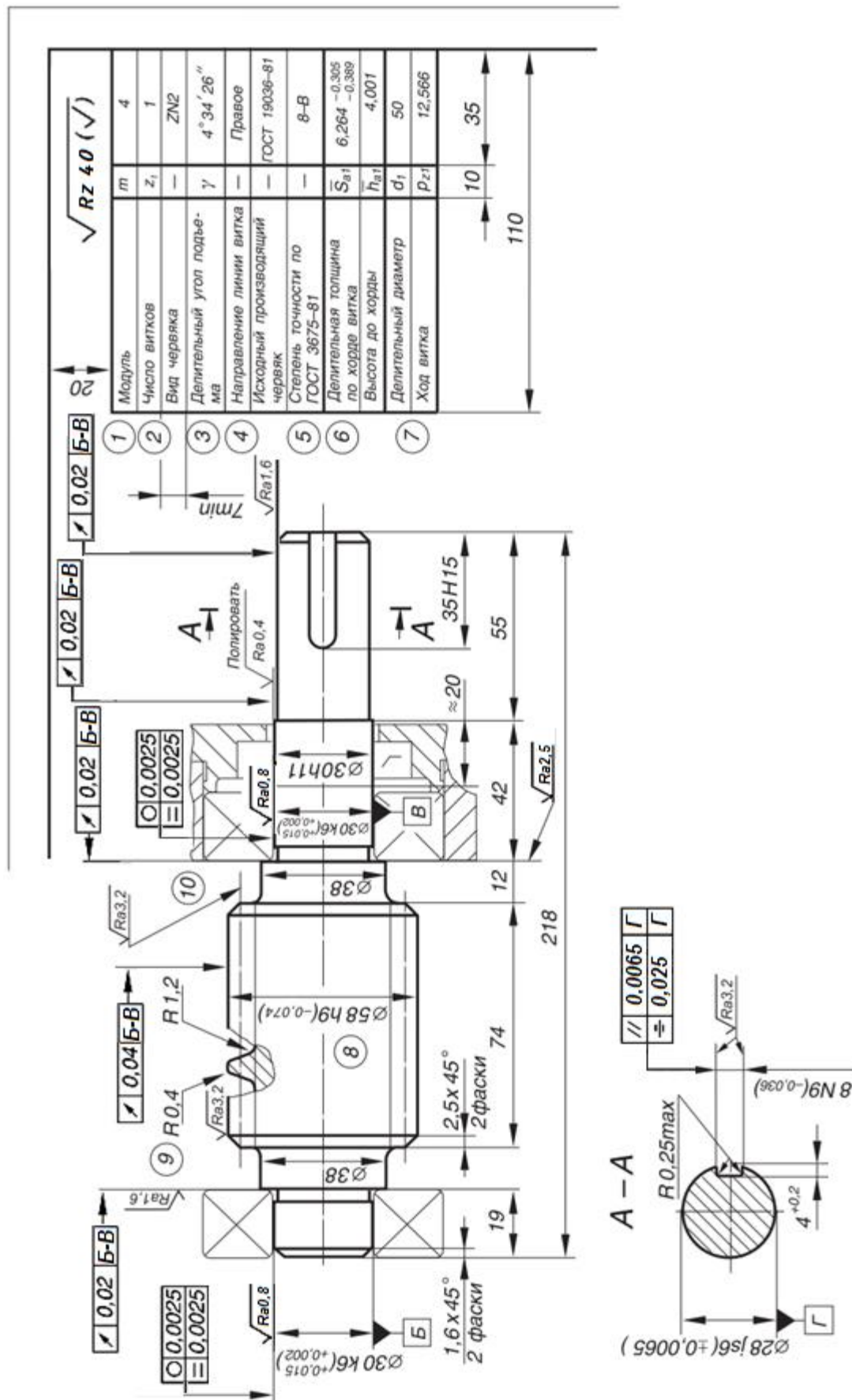


Рисунок 7.8

Для уменьшения номенклатуры червячных фрез, используемых для нарезания червячных колес, вводится коэффициент диаметра червяка –  $q = d_1 / m$ .

Модули  $m$  и соответствующее им значение коэффициента диаметра червяка  $q$  при числе витков  $z_1 = 1; 2; 4$  регламентируются ГОСТ 2144 – 76 и приведены в табл. 7.15.

Таблица 7.15 – Модули  $m$  и соответствующее им значение коэффициента диаметра червяка  $q$  при числе витков  $z_1 = 1; 2; 4$

| Модуль $m$ , мм |      | Коэффициент диаметра червяка $q$ |       |
|-----------------|------|----------------------------------|-------|
| Ряд 1           | Ряд2 | Ряд 1                            | Ряд2  |
| 1,0             |      | 16,0*; 20,0                      |       |
| 1,25            |      | 12,5; 16,0; 20,0                 |       |
|                 | 1,5  | 16,0*                            | 14,0  |
| 1,6             |      | 10,0; 12,5; 16,0; 20,0           |       |
| 2,0             |      | 8,0; 12,5; 16,0; 20,0            | 12,0  |
| 2,5             |      | 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0      | 12,0  |
|                 | 3,0  | 10,0                             | 12,0  |
| 3,15            |      | 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0      |       |
|                 | 3,50 | 10,0; 14,0*                      | 12,0* |
| 4,00            |      | 8,0; 9,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0 | 12,0* |
| 5,00            |      | 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0      |       |
|                 | 6,00 | 10,0                             | 9,0   |
| 6,30            |      | 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0      | 14,0  |

Примечание. 1. Ряд 1 следует предпочитать ряду 2.

2. Курсив\* – только при  $z = 1$ .

$q$  принимаем равным 12,5.

**Позиция 2.** Число витков червяка  $z_1$ .

Рекомендуется стандартом принимать число витков червяка из ряда:  $z_1 = 1; 2; 4$ . Принимаем  $z_1 = 1$ .

**Позиция 3.** Делительный угол подъема.

Значения делительного угла подъема витка  $\gamma$  определяется в зависимости от  $q$  и  $z_1$  из выражения:  $\gamma = \arctg(z_1 / q)$  или по табл. 7.16.

Основной угол подъема рассчитывается по формуле:

$$\cos \gamma_b = \cos \alpha_n \cos \gamma,$$

где  $\alpha_n$  – угол профиля,  $\alpha_n = 20^\circ$ .

Таблица 7.16 – Значения делительного угла подъема витка  $\gamma$  в зависимости от  $q$  и  $z_1$

| $q$         | $z_1$    |           |           |
|-------------|----------|-----------|-----------|
|             | 1        | 2         | 4         |
| <b>8,0</b>  | 7°07'30" | 14°02'10" | 26°33'54" |
| 9,0         | 6°20'25" | 12°31'44" | 23°57'45" |
| <b>10,0</b> | 5°42'38" | 11°18'36" | 21°48'05" |
| 12,0        | 4°45'49" | 9°27'44"  | 18°26'06" |
| <b>12,5</b> | 4°34'26" | 9°05'25"  | 17°44'41" |
| 14,0        | 4°05'08" | 8°07'48"  | 15°56'43" |
| <b>16,0</b> | 3°34'35" | 7°07'30"  | 14°02'10" |
| 18,0        | 3°10'47" | 6°20'25"  | 12°31'44" |
| <b>20,0</b> | 2°51'45" | 5°42'38"  | 11°18'36" |

*Примечание.* Жирным шрифтом выделены предпочтительные значения.

Для рассматриваемого примера (при  $q = 12,5$  и  $z_1 = 1$ )  $\gamma = 4^\circ 34' 26''$ .

**Позиция 4.** Направление линии витка.

Червяки, за исключением случаев, обусловленных кинематикой привода, должны иметь линию витка правого направления.

**Позиция 5.** Степень точности.

Выбор степени точности червяка производится на основе конкретных условий работы передачи.

В соответствии с заданием: 8–В ГОСТ 3675 – 81.

**Позиция 6.** Делительная толщина по хорде витка.

В соответствии с ГОСТ 2.406 – 76 данные для контроля взаимного положения профилей витка червяка указываются по одному из вариантов. К первому рекомендуемому варианту относятся параметры: делительная толщина по хорде витка  $\bar{S}_{a1}$  и высота до хорды  $\bar{h}_{a1}$ .

Делительная толщина по хорде витка  $\bar{S}_{a1}$ , мм, определяется из выражения:

$$\bar{S}_{a1} = 1,571m \cos \gamma.$$

С учетом исходных данных, получим:  
 $\bar{S}_{a1} = 1,571 \cdot 4 \cdot \cos 4^\circ 34' 26'' = 6,264$  мм.

Высота до хорды  $\bar{h}_{a1}$  определяется из выражения:

$$\bar{h}_{a1} = m + 0,5\bar{S}_{a1} \operatorname{tg} \left( 0,5 \arcsin \frac{\bar{S}_{a1} \sin^2 \gamma}{d_1} \right),$$

где  $d_1$  – делительный диаметр червяка, определяемый по формуле

$$d_1 = qm = 12,5 \cdot 4 = 50 \text{ мм.}$$

$$\text{Тогда } \bar{h}_{a1} = 4 + 0,5 \cdot 6,264 \cdot \operatorname{tg} \left( 0,5 \arcsin \frac{6,264 \sin^2(4^\circ 34' 26'')}{50} \right) = 4,001 \text{ мм.}$$

Ко второму рекомендуемому варианту относится параметр: размер червяка по роликам  $M_1$  и диаметр измерительного ролика  $D$ .

Размер червяка по роликам  $M_1$  определяется следующим образом:

$$M_1 = d_1 - (\pi m - 1,5171m) \frac{\cos \gamma}{\operatorname{tg} \alpha} + D \left( \frac{1}{\sin \alpha} + 1 \right),$$

где  $\alpha = 20^\circ$  – для червяков Z1, ZN1, ZN2, ZK1;  $\sin \alpha = \sin 20^\circ \cos \gamma$  – для червяков ZA;  $D$  – диаметр измерительного ролика, равный  $D > 1,67m$ .

### ***Выбор показателей или комплексов точности червяка***

Показатели точности предлагается выбирать и указывать в учебных целях. Показатели или комплексы точности, представленные в табл. 7.17, выбираются в зависимости от степеней точности червяка. Каждый установленный комплекс показателей является равноправным с другими.

#### ***Показатели плавности работы червяка***

По табл. 7.17 для 8-ой степени точности принимаем комплекс: предельное отклонение осевого шага  $f_{pxr}$ , накопленная погрешность шагов  $f_{pxk}$  и погрешность профиля витков  $f_{f1r}$ . Данные показатели определяются по табл. 11 [ГОСТ 3685 – 81]: предельное отклонение осевого шага  $f_{px} = \pm 24$  мкм, допуск на накопленную погрешность шагов  $f_{pxk} = \pm 40$  мкм, допуск на погрешность профиля витка  $f_{f1r} = 36$  мкм.

#### ***Показатели контакта зубьев червячного колеса с витками червяка в червячной передаче***

Т.к. в рассматриваемом примере червячная передача с нерегулируемым расположением осей, для 8-ой степени точности принимаем следующий комплекс: отклонение межосевого расстояния в червячной паре  $f_{ar}$ , отклонение межосевого угла червячной передачи  $f_{\Sigma r}$  и смещение средней плоскости червячного колеса в передаче  $f_{xr}$ .

Предельные отклонения межосевого расстояния в червячной паре определяют по табл. 13 [ГОСТ 3685 – 81]:  $f_a = \pm 90$  мкм; предельные отклонения межосевого угла червячной передачи  $f_{\Sigma}$  по табл. 16 [ГОСТ 3685 – 81]:  $f_{\Sigma} = \pm 16$  мкм; предельные смещения средней плоскости червячного колеса в передаче  $f_x$  по табл. 14 [ГОСТ 3685 – 81]:  $f_x = \pm 71$  мкм.

Таблица 7.17 – Рекомендуемые показатели или комплексы точности червячных передач

| Норма точности                                          |                   | Показатель точности или комплекс                                                                                                                                                                                     |                                | Степень точности |   |   |   |
|---------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------|---|---|---|
|                                                         |                   | Наименование                                                                                                                                                                                                         | Обозначение                    | 6                | 7 | 8 | 9 |
| Показатели кинематической точности червячного колеса    |                   | наибольшая кинематическая погрешность червячного колеса                                                                                                                                                              | $F'_{ir}$                      | +                | + | + | - |
|                                                         |                   | накопленная погрешность шага                                                                                                                                                                                         | $F_{Pr}$                       | -                | + | + | + |
|                                                         |                   | погрешность обката и радиальное биение зубчатого венца червячного колеса                                                                                                                                             | $F_{cr}, F_{rr}$               | +                | + | + | - |
|                                                         |                   | радиальное биение зубчатого венца червячного колеса                                                                                                                                                                  | $F_{rr}$                       | -                | - | - | + |
|                                                         |                   | колебание измерительного межосевого расстояния                                                                                                                                                                       | $F''_{ir}$                     | -                | - | - | + |
| Показатели точности работы червячного колеса            | червячного колеса | циклическая погрешность червячного колеса                                                                                                                                                                            | $f_{zkr}$                      | +                | + | - | - |
|                                                         |                   | отклонение шага и погрешность профиля зуба                                                                                                                                                                           | $f_{Ptr}, f_{f2r}$             | +                | + | + | - |
|                                                         |                   | отклонение шага                                                                                                                                                                                                      | $f_{Ptr}$                      | -                | + | + | + |
|                                                         | червяка           | отклонение осевого шага, накопленная погрешность шагов и погрешность профиля витков                                                                                                                                  | $f_{Pxr}, f_{Pxkr}, f_{f1r}$   | +                | + | + | - |
|                                                         |                   | отклонение осевого шага, радиальное биение зубчатого венца витка и погрешность профиля витков                                                                                                                        | $f_{Pxr}, f_{rr}, f_{f1r}$     | -                | + | + | + |
| Показатели контакта зубьев с витками червячной передачи |                   | отклонение межосевого расстояния в червячной паре, отклонение межосевого угла червячной передачи и смещение средней плоскости червячного колеса в передаче. (Только для передач с нерегулируемым расположением осей) | $f_{ar}, f_{\Sigma r}, f_{xr}$ | +                | + | + | + |
| Показатели контакта                                     |                   | Суммарное пятно контакта                                                                                                                                                                                             | —                              | +                | + | + | + |

**Примечания:**

1. Выделенные ячейки указывают на параметры, выбранные в данном примере.
2. Таблица приводится в сокращении.

### **Нормы бокового зазора**

Показателями, обеспечивающими гарантированный боковой зазор при всех видах сопряжений, являются:  $j_{n\min}$  – для червячных передач с регулируемым расположением осей (табл. 17 [ГОСТ 3685 – 81]);  $E_{\overline{Ss}}$  и  $T_{\overline{S}}$  – для червячных передач с нерегулируемым расположением осей (табл. 18, 19 и 20 [ГОСТ 3685 – 81]).

Предельные отклонения контактной хорды устанавливаются для червячных передач с нерегулируемым расположением осей и рассчитываются следующим образом. Наименьшее предписанное уменьшение контактной хорды витка червяка, осуществляемое с целью обеспечения в передаче гарантированного бокового зазора (верхнее отклонение  $E_{\overline{Ss}}$ ), состоит из двух слагаемых, первое из которых  $E_{\overline{Ss}}(I)$  зависит от вида сопряжения и межосевого расстояния  $a_w$ , а второе  $E_{\overline{Ss}}(II)$  – от степени точности по нормам плавности, модуля и межосевого расстояния:

$$E_{\overline{Ss}} = E_{\overline{Ss}}(I) + E_{\overline{Ss}}(II).$$

С учетом того, что  $E_{\overline{Ss}}(I) = -170$  мкм (см. табл. 18 [ГОСТ 3685 – 81]);  $E_{\overline{Ss}}(II) = -120$  мкм (см. табл. 19 [ГОСТ 3685 – 81]), получим:  
 $E_{\overline{Ss}} = -170 - 120 = -290$  мкм.

Допуск на толщину витка червяка по контактной хорде  $T_{\overline{S}}$  выбирается в зависимости от допуска на радиальное биение зубчатого венца червячного колеса  $F_r = 71$  мкм (см. табл. 5 [ГОСТ 3685 – 81]) и вида сопряжения  $b$ :  $T_{\overline{S}} = 140$  мкм.

Таким образом, нижнее отклонение:

$$E_{\overline{Si}} = E_{\overline{Ss}} - T_{\overline{S}},$$

следовательно,  $E_{\overline{Si}} = -290 - 140 = -430$  мкм.

Наружный диаметр червяка  $d_{a1}$  используется в качестве базы для контроля толщины витка. В этом случае должны быть ограничены предельные отклонения наружного диаметра червяка и его радиальное биение. Рекомендуются назначать поле допуска на наружный диаметр с верхним отклонением, равным нулю. Допуски на наружный диаметр и его радиальное биение  $d_{a1}$  выбираются из табл. 7 и табл. 7.

Табл. 7. – Класс допуска на внешний диаметр червяков

| Степень кинематической точности передачи | Вид сопряжения |          |
|------------------------------------------|----------------|----------|
|                                          | <i>G</i>       | <i>F</i> |
| 5                                        | h5             | h6       |
| 6                                        | h6             | h6       |
| 7                                        | h6             | h7       |
| 8 – 9                                    | h7             | h7       |

Таблица 7. – Допуски радиального биения цилиндра червяков, мкм

| Диаметр<br>червяка, мм | Степень кинематической точности передачи |          |          |          |          |          |          |          |
|------------------------|------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                        | 6                                        |          | 7        |          | 8        |          | 9        |          |
|                        | Вид сопряжения                           |          |          |          |          |          |          |          |
|                        | <i>G</i>                                 | <i>F</i> | <i>G</i> | <i>F</i> | <i>G</i> | <i>F</i> | <i>G</i> | <i>F</i> |
| Св. 25 до 100          | 14                                       | 24       | 15       | 26       | 19       | 30       | 24       | 34       |
| Св.100 до 200          | 15                                       | 26       | 19       | 30       | 24       | 34       | 32       | 45       |

**Позиция 7.** Справочные данные.

Делительный диаметр червяка  $d_1 = qm = 12,5 \cdot 4 = 50$  мм.

Ход витка червяка  $p_{z1}$  определяется из выражения:  
 $p_{z1} = \pi m z_1 = \pi \cdot 4 \cdot 1 = 12,566$  мм.

При необходимости могут быть приведены иные справочные данные.

Длина нарезанной части червяка  $b_1$  определяется из выражения  
 $b_1 \geq (11 + 0,06 z_2) m = (11 + 0,06 \cdot 50) \cdot 4 = 56$  мм. При  $m < 10$  полученную длину следует увеличить на 20-25 мм. Принимаем  $b_1 = 74$  мм.

*Шероховатость профиля витка червяка.*

Назначение технического требования – обеспечение необходимых условий работы передачи. Значение параметра  $Ra$  выбирается по аналогии с цилиндрическими зубчатыми колесами. Согласно рекомендациям принимаем  $Ra = 3,2$  мкм. Остальные технические требования рассчитываются, выбираются и назначаются в соответствии с рекомендациями, приведенными в [7].

#### 7.4. Червячные колеса

На изображении червячного колеса должны быть указаны: габаритные размеры; размеры, входящие в размерные цепи; диаметр вершин зубьев  $d_{a2}$ ; наибольший диаметр  $d_{am2}$ ; ширина венца  $b_2$ ; данные, определяющие контур венца колеса, например, размеры фаски  $f$  или радиус закругления торцовых кромок зубьев, радиус выемки поверхности вершин зубьев колеса  $R$ ; расстояние от базового торца до средней торцевой плоскости колеса и, при необходимости, до центра выемки поверхности вершин зубьев колеса; радиус кривизны переходной кривой зуба  $\rho_{f2}$ ; радиус кривизны линии притупления зуба  $\rho_{k2}$  или размеры фаски; шероховатость боковых поверхностей зуба (рис. 7.9). Остальные размеры проставляются исходя из технологии изготовления червячного колеса.

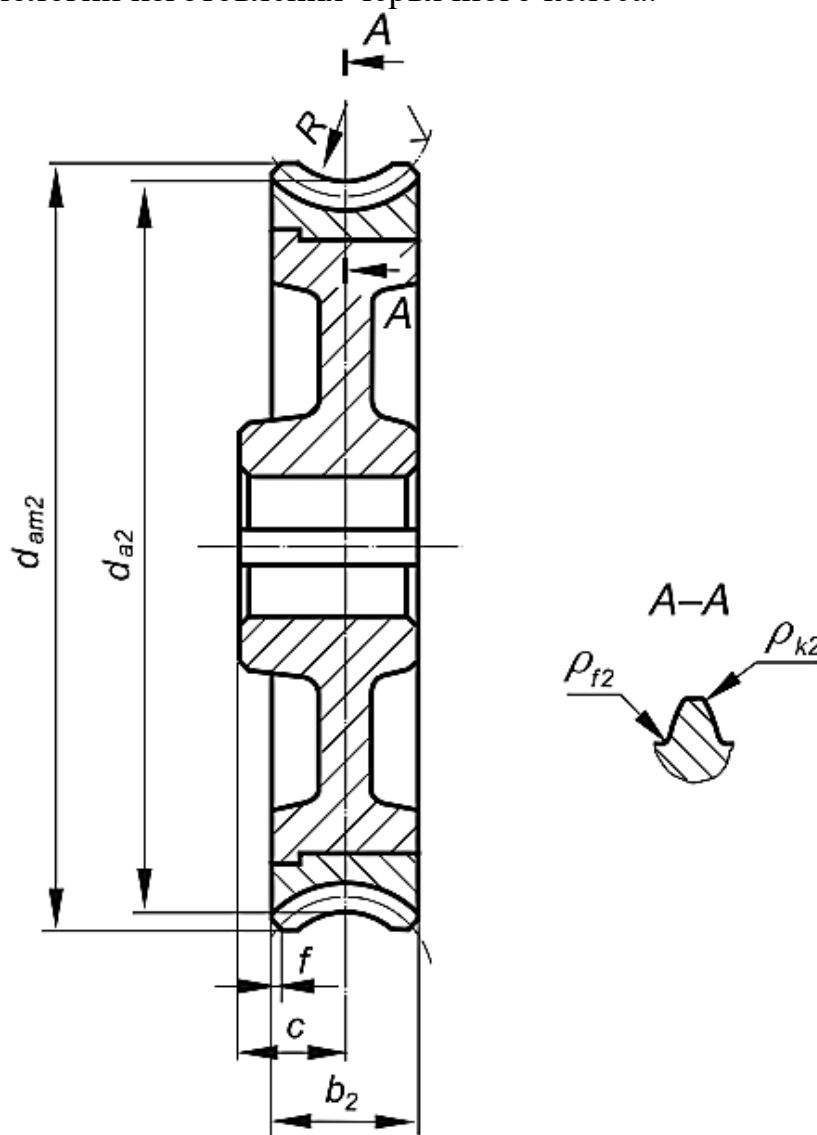


Рисунок 7.9

На чертеже червяка должна быть помещена таблица параметров зубчатого венца (рис. 7.2), состоящая из трех частей (основные данные, данные для контроля, справочные данные), отделяемых друг от друга сплошными основными линиями.

***Выбор параметров червячного колеса, допусков размеров, формы, взаимного расположения и шероховатости поверхностей***

На рис. 7.10 приведена схема расположения условных обозначений технических требований, которые предъявляются к червячным колесам.

Ниже по порядку номеров позиций (см. рис. 7.10) даны краткие рекомендации по выбору параметров и технических требований червячных колес.

***Позиция 1.*** Первая часть таблицы параметров зубчатого венца червячного колеса включает:

- модуль  $m = 4$ ,
- число зубьев  $z_2 = 50$ ;
- направление линии зуба – правое;
- коэффициент смещения червяка  $x = 0$ ;
- исходный производящий червяк по ГОСТ 19036 – 94;
- степень точности и вид сопряжения по нормам бокового зазора 8–В ГОСТ 3675 – 81.

***Выбор показателей точности червячного колеса***

Показатели точности предлагается выбирать и указывать в учебных целях. Показатели или комплексы точности выбираются в зависимости от степеней точности (см. табл. 7.17). Каждый установленный комплекс показателей является равноправным с другими.

***Показатели кинематической точности червячного колеса***

По табл. 7.17 для 8-й степени точности принимаем комплекс: погрешность обката  $F_{cr}$  и радиальное биение зубчатого венца червячного колеса  $F_{rr}$ . Числовые значения выбранных показателей определяют по табл. 5 ГОСТ 3675 – 81: допуск на погрешность обката  $F_{cr} = 50$  мкм, допуск на радиальное биение зубчатого венца червячного колеса  $F_{rr} = 71$  мкм.

***Показатели плавности работы червячного колеса***

По табл. 7.17 для 8-й степени точности принимаем показатель: отклонение шага  $f_{pt}$ . По табл. 7 ГОСТ 3675 – 81  $f_{pt} = \pm 28$  мкм.

***Показатели контакта зубьев червячного колеса с витками червяка в червячной передаче***

Данный комплекс относится к передаче. Принятый комплекс см. п. 7.3.



**Позиция 2.** Справочные данные.

Здесь должны быть приведены:

- межосевое расстояние  $a_w = 125$  мм;
- предельные отклонения межосевого расстояния в передаче  $f_a = \pm 90$  мкм (см. табл. 13 ГОСТ 3675 – 81);
- делительный диаметр  $d_2 = z_2 m = 50 \cdot 4 = 200$  мм;
- вид сопряженного червяка ZN2;
- число витков сопряженного червяка  $z_1 = 1$ ;
- обозначение чертежа сопряженного червяка.

При необходимости могут быть приведены иные справочные данные.

**Позиция 3.** Диаметр вершин зубьев  $d_{a2}$

Диаметр вершин зубьев  $d_{a2}$  определяется из выражения:  
 $d_{a2} = d_2 + 2(1 + x)m = 200 + 2 \cdot 4 = 208$  мм. Поле допуска на диаметр принимается по  $h12$ , т.е.  $\varnothing 208 h12 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,46 \end{pmatrix}$ .

**Позиция 4.** Наибольший диаметр червячного колеса  $d_{am2}$

Наибольший диаметр червячного колеса  $d_{am2}$  определяется из выражения:  $d_{am2} \leq d_{a2} + 6m / (z_1 + 2) = 208 + 6 \cdot 4 / 3 = 216$  мм. Поле допуска на диаметр  $d_{am2}$  принимается по  $h12 - \varnothing 216 h12 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,46 \end{pmatrix}$ .

**Позиция 5.** Радиус выемки поверхности вершин зубьев колеса  $R$

Определяется из выражения  $R = (0,5q - 1)m = (0,5 \cdot 12,5 - 1)4 = 21$  мм.

**Позиция 6.** Ширина венца червячного колеса  $b_2$ .

$b_2 \leq 0,75d_{a1} = 0,75 \cdot 58 = 43,5$  мм. Принимаем:  $b_2 = 42$  мм.

**Позиция 7.** Радиус кривизны линии притупления зуба

$$\rho_{k2} = 0,1m = 0,1 \cdot 4 = 0,4 \text{ мм.}$$

Радиус кривизны переходной кривой зуба

$$\rho_{f2} = 0,3m = 0,3 \cdot 4 = 1,2 \text{ мм.}$$

**Позиция 8.** Расстояние от базового торца до средней торцевой плоскости колеса.

**Позиция 9.** Допуск торцового биения.

Биение базового торца приводит к погрешностям при обработке и установке червячного колеса в механизме, которые в наибольшей мере отражаются на отклонении межосевого угла в червячной передаче  $f_{\Sigma r}$ .

Торцовое биение рассчитывается по формуле:

$$\Delta = \frac{1}{3} \left( \frac{d_c}{b} \right) \cdot 2 |f_{\Sigma}|,$$

где  $d_c$  – диаметр ступицы колеса, мм;  $b$  – ширина зубчатого венца червячного колеса, мм.

Тогда получим:  $\Delta = \frac{1}{3} \left( \frac{70}{42} \right) \cdot 2 \cdot 16 = 17,8$  мм. После округления по стандартному ряду числовых значений допусков, установленного ГОСТ 24643 – 81 и приведенного в табл. 2.2 [7] окончательно принимаем допуск на торцовое биение 16 мкм.

**Позиция 10.** Допуск на радиальное биение вершин зубьев червячного колеса.

Диаметр вершин зубьев может являться технологической или измерительной базой, допуск на радиальное биение выбирается из табл. 7:

Таблица 7. – Допуски радиального биения внешнего диаметра червячных колес, мкм

| Степень<br>кинематической<br>точности | Диаметр колеса, мм |               |                |                |
|---------------------------------------|--------------------|---------------|----------------|----------------|
|                                       | До 50              | Св. 50 до 120 | Св. 120 до 200 | Св. 200 до 500 |
| 6                                     | 21                 | 28            | 32             | 38             |
| 7                                     | 28                 | 38            | 42             | 55             |
| 8                                     | 38                 | 55            | 65             | 75             |
| 9                                     | 55                 | 75            | 100            | 120            |

**Позиция 11.** Шероховатость торцовых поверхностей червячного колеса.

Назначение технического требования – равномерное распределение нагрузки по поверхности торцов и точность расположения червячного колеса при обработке и в механизме. Данные требования принимаются в соответствии с рекомендациями, приведенными в [7].

**Позиция 12.** Шероховатость профилей зубьев червячного колеса.

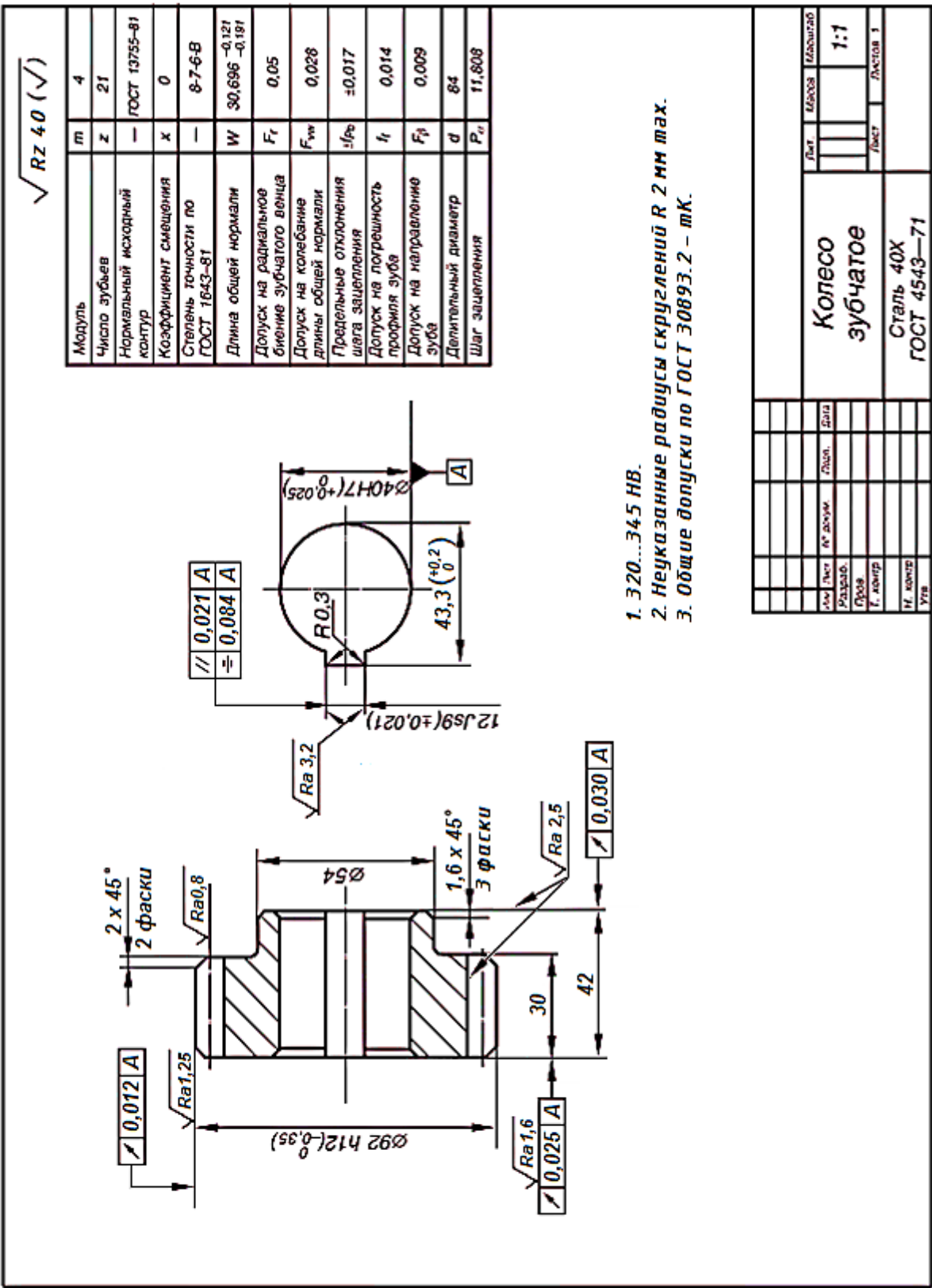
Назначение технического требования – обеспечение необходимых условий работы передачи. Значение параметра  $Ra$  выбирается по аналогии с цилиндрическими зубчатыми колесами. Согласно рекомендациям принимаем  $Ra = 3,2$  мкм.

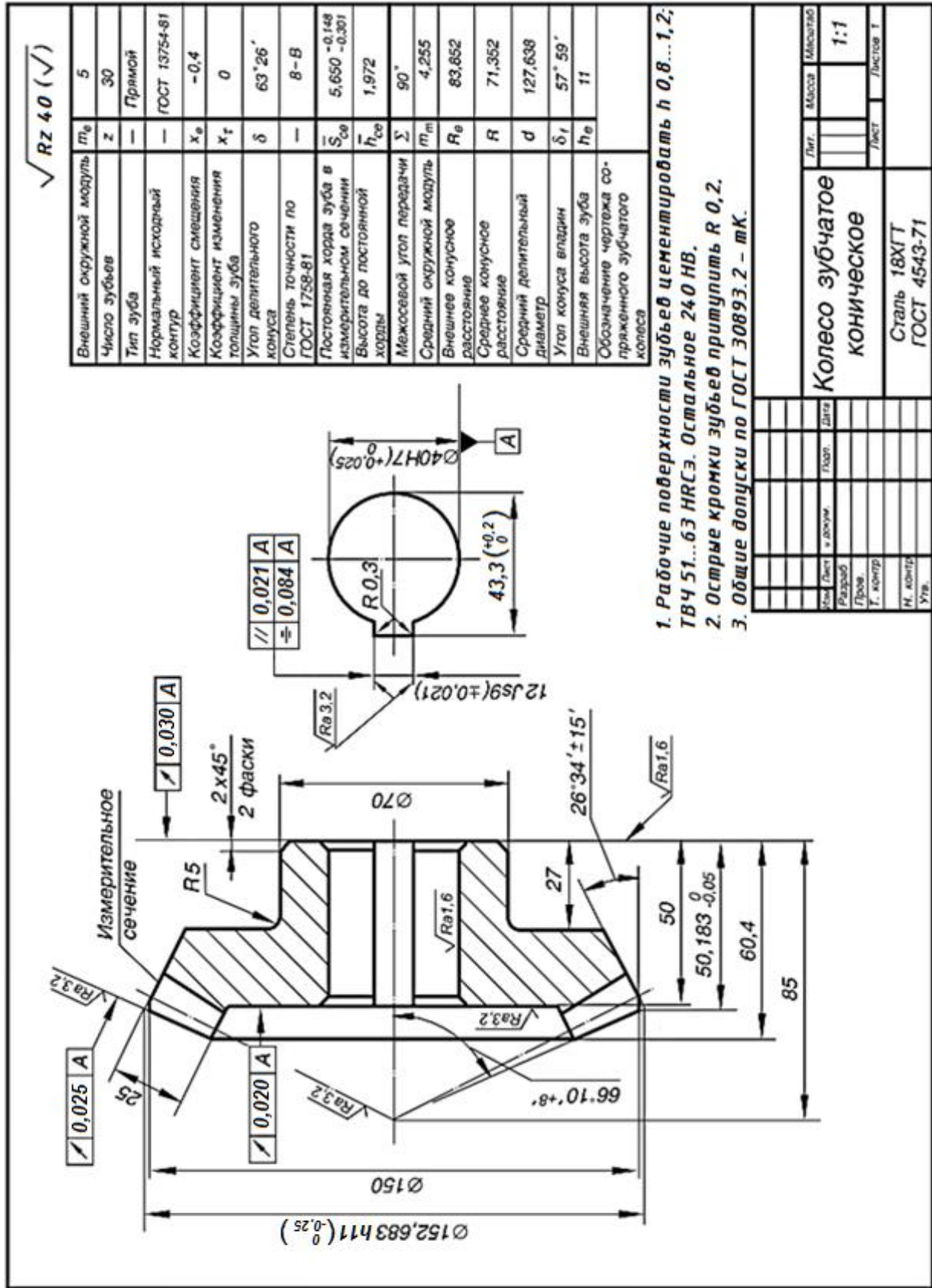
## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Палей М.А. Допуски и посадки: Справочник в двух частях. 8-е изд., переработанное и дополненное /М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – СПб.: Политехника, 2001. – Ч.1. – 576 с., Ч.2. – 608 с.
2. Карпенко В.А. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебное пособие /В.А. Карпенко, Н.А. Волошина, С.П. Волков – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. – 372 с.
3. Допуски и посадки: Справочник в двух частях /В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов и др. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1982. – Ч.1. – 543 с., Ч.2. – 448 с.
4. Анухин В.И. Допуски и посадки: Учебное пособие. 5-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 256 с.
5. Нормирование и контроль точности типовых соединений механизмов. Цилиндрические соединения (часть 1): метод. указания к выполнению курсовой работы / Сост. Н.А. Волошина, О.В. Филипович, Н.А. Балакина. – Севастополь: СевГУ, 2017. – 58 с.
6. Нормирование и контроль точности типовых соединений механизмов. Резьбовые соединения. шпоночные и шлицевые соединения. конусные соединения (часть 2): метод. указания к выполнению курсовой работы / Сост. Н.А. Волошина, О.В. Филипович, Н.А. Балакина Г.В. Невар. – Севастополь: СевГУ, 2017. – 100 с.
7. Нормирование и контроль точности типовых соединений механизмов. Форма, ориентация, месторасположение и биение поверхностей. Шероховатость поверхности (часть 4): метод. указания к выполнению курсовой работы / Сост. Н.А. Волошина, О.В. Филипович, Н.А. Балакина, Г.В. Невар. – Севастополь: СевГУ, 2018. – 96 с.
8. ГОСТ 13755 – 2015. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные. Исходные контуры. Введ. 01.01.2017. – М.: Стандартинформ, 2016. – 12 с.
9. ГОСТ 1643 – 81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. Введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 44 с.
10. ГОСТ 1758 – 81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые конические и гипоидные. Допуски. Введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 41 с.
11. ГОСТ 3675 – 81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи червячные цилиндрические. Допуски. Введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 61 с.
12. ГОСТ 2.109 – 73. Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам. Введ. 01.07.74. – М.: Стандартинформ, 2007. – 28 с.

13. ГОСТ 2.402 – 68. Единая система конструкторской документации. Условные изображения зубчатых колес, реек, червяков и звездочек цепных передач. Введ. 01.01.71. – М.: Стандартиформ, 2005. – 7 с.
14. ГОСТ 2.403 – 75. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения чертежей цилиндрических зубчатых колес. Введ. 01.01.76. – М.: Стандартиформ, 2005. – 5 с.
15. ГОСТ 25346 – 2013. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки. Введ. 01.07.2015. – М.: Стандартиформ, 2014. – 38 с.
16. ГОСТ 23360 – 78. Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки. Введ. 01.01.80. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 17с.
17. ГОСТ 24643 – 81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения. Введ. 01.07.81. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 8 с.
18. ГОСТ 9563 – 60. Основные нормы взаимозаменяемости. Колеса зубчатые. Модули. Введ. 01.07.62. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 3 с.
19. ГОСТ 13754 – 81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые конические с прямыми зубьями. Исходный контур. Введ. 01.07.81. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 2 с.
20. ГОСТ 2.405-75 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения чертежей конических зубчатых колес. Введ. 01.01.76. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 5 с.
21. ГОСТ 6636 – 69. Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные линейные размеры. Введ. 01.01.70. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 5 с.
22. ГОСТ 19036 – 94/ Передачи червячные цилиндрические. Исходный червяк и исходный производящий червяк. Введ. 01.01.97. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 5 с.
23. ГОСТ 19672 – 74 Передачи червячные цилиндрические. Модули и коэффициенты диаметра червяка. Введ. 01.01.76. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 2 с.
24. ГОСТ 2144 – 76. Передачи червячные цилиндрические. Основные параметры. Введ. 01.07.77. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 3 с.
25. ГОСТ 2.406 – 76. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения чертежей цилиндрических червяков и червячных колес. Введ. 01.07.77. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 5 с.

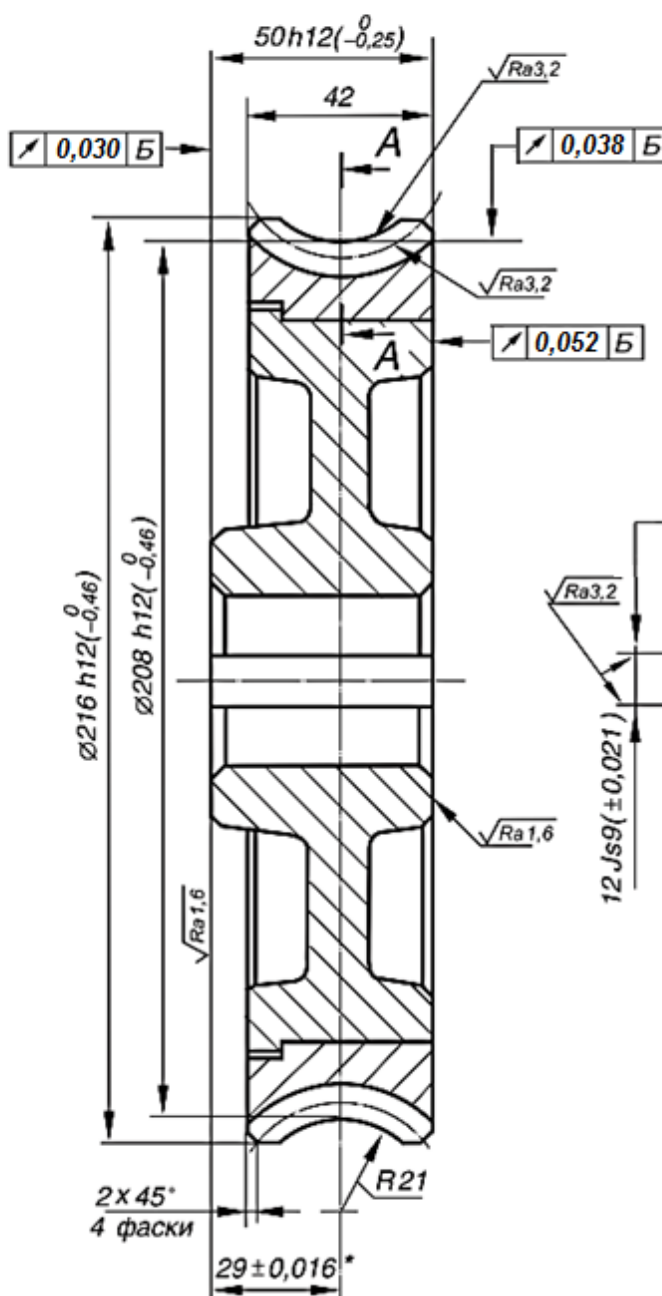
ПРИЛОЖЕНИЕ А  
(обязательное)



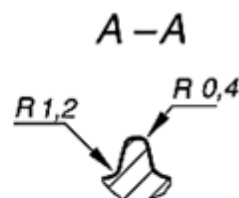
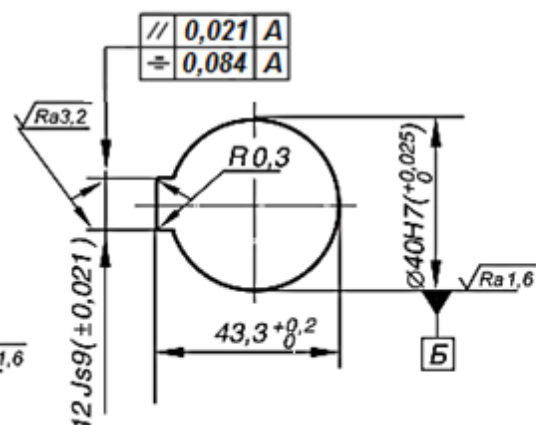




$\sqrt{Rz\ 40\ (\sqrt{ })}$



|                                          |       |                |
|------------------------------------------|-------|----------------|
| Модуль                                   | $m$   | 4              |
| Число зубьев                             | $z_2$ | 50             |
| Направление линии зуба                   | —     | Правое         |
| Коэффициент смещения червяка             | $x$   | 0              |
| Исходный производящий червяк             | —     | ГОСТ 19036-81  |
| Степень точности по ГОСТ 3675-81         | —     | 8-B            |
| Межосевое расстояние                     | $a_w$ | $125 \pm 0,09$ |
| Делительный диаметр червячного колеса    | $d_2$ | 200            |
| Вид сопряженного червяка                 | —     | ZN2            |
| Число витков сопряженного червяка        | $z_1$ | 1              |
| Обозначение чертежа сопряженного червяка |       |                |



1. \* Размер для средней плоскости венца.  
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.2-мК.

|           |      |          |      |      |                  |      |          |         |
|-----------|------|----------|------|------|------------------|------|----------|---------|
| Изм.      | Лист | № докум. | Пол. | Дата | Колесо червячное | Лит. | Масса    | Масштаб |
| Разраб.   |      |          |      |      |                  |      |          | 1:1     |
| Пров.     |      |          |      |      |                  |      |          |         |
| Т. контр. |      |          |      |      |                  | Лист | Листов 1 |         |
| Н. контр. |      |          |      |      |                  |      |          |         |
| Утв.      |      |          |      |      |                  |      |          |         |

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Таблица Б.1 – Допуск на радиальное биение зубчатого венца  $F_r$ , допуск на погрешность обката  $F_c$ , допуск на колебание длины общей нормали  $F_{vW}$ , допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса  $F_i''$

| Степень точности | Обозначение | Модуль $m$ , мм                                          | Делительный диаметр $d$ , мм |                      |                      |                       |                      |                     |                     |
|------------------|-------------|----------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
|                  |             |                                                          | до 125                       | св. 125 до 400       | св. 400 до 800       | св. 800 до 1600       | св. 1600 до 2500     | св. 2500 до 4000    | св. 4000 до 6300    |
|                  |             |                                                          | Допуск, мкм                  |                      |                      |                       |                      |                     |                     |
| 3                | $F_i'$      | от 1 до 10                                               | $F_P + f_f$                  |                      |                      |                       |                      |                     |                     |
|                  | $F_r$       | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10              | 6<br>7<br>8                  | 9<br>10<br>11        | 11<br>13<br>14       | 13<br>14<br>16        | 14<br>16<br>18       | -<br>18<br>20       | -<br>-<br>22        |
|                  | $F_{vW}$    | от 1 до 10                                               | 4                            | 7                    | 12                   | 18                    | -                    | -                   | -                   |
|                  | $F_c$       | от 1 до 10                                               | 4                            | 7                    | 12                   | 18                    | 28                   | 40                  | 55                  |
| 4                | $F_i'$      | от 1 до 10                                               | $F_P + f_f$                  |                      |                      |                       |                      |                     |                     |
|                  | $F_r$       | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10              | 10<br>11<br>13               | 15<br>16<br>18       | 18<br>20<br>22       | 20<br>22<br>25        | 22<br>25<br>28       | -<br>28<br>32       | -<br>-<br>36        |
|                  | $F_{vW}$    | от 1 до 10                                               | 6                            | 12                   | 18                   | 28                    | -                    | -                   | -                   |
|                  | $F_c$       | от 1 до 10                                               | 6                            | 12                   | 18                   | 28                    | 45                   | 60                  | 90                  |
| 5                | $F_i'$      | от 1 до 16                                               | $F_P + f_f$                  |                      |                      |                       |                      |                     |                     |
|                  | $F_r$       | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10<br>" 10 " 16 | 16<br>18<br>20<br>-          | 22<br>25<br>28<br>32 | 28<br>32<br>36<br>40 | 32<br>36<br>40<br>45  | 36<br>40<br>45<br>50 | -<br>45<br>50<br>56 | -<br>-<br>55<br>63  |
|                  | $F_{vW}$    | от 1 до 16                                               | 10                           | 18                   | 28                   | 45                    | -                    | -                   | -                   |
|                  | $F_i''$     | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10<br>" 10 " 16 | 22<br>25<br>28<br>-          | 32<br>36<br>40<br>45 | 40<br>45<br>50<br>56 | 45<br>50<br>56<br>63  | -<br>-<br>-<br>-     | -<br>-<br>-<br>-    | -<br>-<br>-<br>-    |
|                  | $F_c$       | от 1 до 16                                               | 10                           | 18                   | 28                   | 45                    | 70                   | 90                  | 140                 |
| 6                | $F_i'$      | от 1 до 16                                               | $F_P + f_f$                  |                      |                      |                       |                      |                     |                     |
|                  | $F_r$       | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10<br>" 10 " 16 | 25<br>28<br>32<br>-          | 36<br>40<br>45<br>50 | 45<br>50<br>56<br>63 | 50<br>56<br>63<br>71  | 56<br>63<br>71<br>80 | -<br>71<br>80<br>90 | -<br>-<br>90<br>100 |
|                  | $F_{vW}$    | до 16                                                    | 16                           | 28                   | 45                   | 70                    | -                    | -                   | -                   |
|                  | $F_i''$     | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10<br>" 10 " 16 | 36<br>40<br>45<br>-          | 50<br>56<br>63<br>71 | 63<br>71<br>80<br>90 | 71<br>80<br>90<br>100 | -<br>-<br>-<br>-     | -<br>-<br>-<br>-    | -<br>-<br>-<br>-    |
|                  | $F_c$       | от 1 до 16                                               | 16                           | 28                   | 45                   | 70                    | 110                  | 140                 | 220                 |

Продолжение табл. Б.1

| Степень<br>точности | Обозна-<br>чение | Модуль $m$ ,<br>мм | Делительный диаметр $d$ , мм |                   |                   |                    |                     |                     |                     |
|---------------------|------------------|--------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                     |                  |                    | до 125                       | св. 125<br>до 400 | св. 400<br>до 800 | св. 800<br>до 1600 | св. 1600<br>до 2500 | св. 2500<br>до 4000 | св. 4000<br>до 6300 |
|                     |                  |                    | Допуск, мкм                  |                   |                   |                    |                     |                     |                     |
| 7                   | $F_i'$           | от 1 до 25         | $F_P + f_f$                  |                   |                   |                    |                     |                     |                     |
|                     | $F_r$            | от 1 до 3,5        | 36                           | 50                | 63                | 71                 | 80                  | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3     | 40                           | 56                | 71                | 80                 | 90                  | 100                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10         | 45                           | 63                | 80                | 90                 | 100                 | 112                 | 125                 |
|                     |                  | " 10 " 16          | -                            | 71                | 90                | 100                | 112                 | 125                 | 140                 |
|                     |                  | " 16 " 25          | -                            | 80                | 100               | 112                | 125                 | 140                 | 160                 |
| $F_{vW}$            | от 1 до 25       | 22                 | 40                           | 60                | 100               | -                  | -                   | -                   |                     |
| $F_i''$             | от 1 до 3,5      | 50                 | 71                           | 90                | 100               | -                  | -                   | -                   |                     |
|                     | св. 3,5 до 6,3   | 56                 | 80                           | 100               | 112               | -                  | -                   | -                   |                     |
|                     | " 6,3 " 10       | 63                 | 90                           | 112               | 125               | -                  | -                   | -                   |                     |
|                     | " 10 " 16        | -                  | 100                          | 125               | 140               | -                  | -                   | -                   |                     |
|                     | $F_c$            | от 1 до 25         | 22                           | 40                | 60                | 100                | 160                 | 200                 | 300                 |
| 8                   | $F_i'$           | от 1 до 25         | $F_P + f_f$                  |                   |                   |                    |                     |                     |                     |
|                     | $F_r$            | от 1 до 3,5        | 45                           | 63                | 80                | 90                 | 100                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3     | 50                           | 71                | 90                | 100                | 112                 | 125                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10         | 56                           | 80                | 100               | 112                | 125                 | 140                 | 160                 |
|                     |                  | " 10 " 16          | -                            | 90                | 112               | 125                | 140                 | 160                 | 180                 |
|                     |                  | " 16 " 25          | -                            | 100               | 125               | 140                | 160                 | 180                 | 200                 |
| " 25 " 40           | -                | -                  | 140                          | 160               | 190               | 224                | 250                 |                     |                     |
| $F_i''$             | от 1 до 3,5      | 63                 | 90                           | 112               | 125               | -                  | -                   | -                   |                     |
|                     | св. 3,5 до 6,3   | 71                 | 100                          | 125               | 140               | -                  | -                   | -                   |                     |
|                     | " 6,3 " 10       | 80                 | 112                          | 140               | 160               | -                  | -                   | -                   |                     |
|                     | " 10 " 16        | -                  | 125                          | 160               | 180               | -                  | -                   | -                   |                     |
| $F_{vW}$            | от 1 до 40       | 28                 | 50                           | 80                | 120               | -                  | -                   | -                   |                     |
| $F_c$               | от 1 до 40       | 28                 | 50                           | 80                | 120               | 200                | 250                 | 400                 |                     |
| 9                   | $F_r$            | от 1 до 3,5        | 71                           | 80                | 100               | 112                | 125                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3     | 80                           | 100               | 112               | 125                | 140                 | 160                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10         | 90                           | 112               | 125               | 140                | 160                 | 180                 | 200                 |
|                     |                  | " 10 " 16          | -                            | 125               | 160               | 160                | 180                 | 200                 | 224                 |
|                     |                  | " 16 " 25          | -                            | 160               | 200               | 200                | 224                 | 224                 | 250                 |
|                     | " 25 " 40        | -                  | -                            | 250               | 250               | 280                | 280                 | 315                 |                     |
| " 40 " 55           | -                | -                  | 315                          | 315               | 355               | 355                | 400                 |                     |                     |
| $F_i''$             | от 1 до 3,5      | 90                 | 112                          | 140               | 160               | -                  | -                   | -                   |                     |
|                     | св. 3,5 до 6,3   | 112                | 140                          | 160               | 180               | -                  | -                   | -                   |                     |
|                     | " 6,3 " 10       | 125                | 160                          | 180               | 200               | -                  | -                   | -                   |                     |
|                     | " 10 " 16        | -                  | 180                          | 224               | 224               | -                  | -                   | -                   |                     |

Продолжение табл. Б.1

| Степень<br>точности | Обозна-<br>чение | Модуль $m$ ,<br>мм | Делительный диаметр $d$ , мм |                   |                   |                    |                     |                     |                     |
|---------------------|------------------|--------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                     |                  |                    | до 125                       | св. 125<br>до 400 | св. 400<br>до 800 | св. 800<br>до 1600 | св. 1600<br>до 2500 | св. 2500<br>до 4000 | св. 4000<br>до 6300 |
|                     |                  |                    | Допуск, мкм                  |                   |                   |                    |                     |                     |                     |
| 10                  | $F_r$            | от 1 до 3,5        | 100                          | 112               | 125               | 140                | 160                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3     | 125                          | 140               | 140               | 160                | 180                 | 200                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10         | 140                          | 160               | 160               | 180                | 200                 | 224                 | 250                 |
|                     |                  | " 10 " 16          | -                            | 180               | 200               | 200                | 224                 | 250                 | 280                 |
|                     |                  | " 16 " 25          | -                            | 224               | 250               | 250                | 280                 | 280                 | 315                 |
|                     |                  | " 25 " 40          | -                            | -                 | 315               | 315                | 355                 | 355                 | 400                 |
|                     |                  | " 40 " 55          | -                            | -                 | 400               | 400                | 450                 | 450                 | 500                 |
|                     | $F_i$            | от 1 до 3,5        | 140                          | 160               | 180               | 200                | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3     | 180                          | 200               | 200               | 224                | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10         | 200                          | 224               | 224               | 250                | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 10 " 16          | -                            | 250               | 280               | 280                | -                   | -                   | -                   |
| 11                  | $F_r$            | от 1 до 3,5        | 125                          | 140               | 160               | 180                | 200                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3     | 160                          | 180               | 180               | 200                | 224                 | 250                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10         | 180                          | 200               | 200               | 224                | 250                 | 280                 | 315                 |
|                     |                  | " 10 " 16          | -                            | 224               | 250               | 250                | 280                 | 315                 | 355                 |
|                     |                  | " 16 " 25          | -                            | 280               | 315               | 315                | 355                 | 355                 | 400                 |
|                     |                  | " 25 " 40          | -                            | -                 | 400               | 400                | 450                 | 450                 | 500                 |
|                     |                  | " 40 " 55          | -                            | -                 | 500               | 500                | 560                 | 560                 | 630                 |
|                     | $F_i$            | от 1 до 3,5        | 180                          | 200               | 224               | 250                | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3     | 224                          | 250               | 250               | 280                | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10         | 250                          | 280               | 280               | 315                | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 10 " 16          | -                            | 315               | 355               | 355                | -                   | -                   | -                   |
| 12                  | $F_r$            | от 1 до 3,5        | 160                          | 180               | 200               | 224                | 250                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3     | 200                          | 224               | 224               | 250                | 280                 | 315                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10         | 224                          | 250               | 250               | 280                | 315                 | 355                 | 400                 |
|                     |                  | " 10 " 16          | -                            | 280               | 315               | 315                | 355                 | 400                 | 450                 |
|                     |                  | " 16 " 25          | -                            | 355               | 400               | 400                | 450                 | 450                 | 500                 |
|                     |                  | " 25 " 40          | -                            | -                 | 500               | 500                | 560                 | 560                 | 630                 |
|                     |                  | " 40 " 55          | -                            | -                 | 630               | 630                | 710                 | 710                 | 800                 |
|                     | $F_i$            | от 1 до 3,5        | 224                          | 250               | 280               | 315                | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3     | 280                          | 315               | 315               | 355                | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10         | 315                          | 355               | 355               | 400                | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 10 " 16          | -                            | 400               | 450               | 450                | -                   | -                   | -                   |

Таблица Б.2 – Допуск на накопленную погрешность шага зубчатого колеса  $F_P$  и на накопленную погрешность  $k$  шагов  $F_{Pk}$

| Степень точности | Обозначение                  | Модуль<br>m, мм | Для $F_{Pk}$ – длина дуги делительной окружности $L$ , мм |             |             |             |             |             |              |              |              |              |             |             |             |             |             |
|------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                  |                              |                 | До<br>11,2                                                | Св.<br>11,2 | Св.<br>20   | Св.<br>32   | Св.<br>50   | Св.<br>80   | Св.<br>160   | Св.<br>315   | Св.<br>630   | Св.<br>1000  | Св.<br>1600 | Св.<br>2500 | Св.<br>3150 | Св.<br>4000 | Св.<br>5000 |
|                  |                              |                 |                                                           | до<br>20    | до<br>32    | до<br>50    | до<br>80    | до<br>160   | до<br>315    | до<br>630    | до<br>1000   | до<br>1600   | до<br>2500  | до<br>3150  | до<br>4000  | до<br>5000  | до<br>7200  |
|                  |                              |                 | Для $F_P$ – делительный диаметр $d$ , мм                  |             |             |             |             |             |              |              |              |              |             |             |             |             |             |
|                  |                              |                 | 1                                                         | До<br>12,7  | Св.<br>12,7 | Св.<br>20,4 | Св.<br>31,8 | Св.<br>50,9 | Св.<br>101,8 | Св.<br>200,5 | Св.<br>401,1 | Св.<br>636,6 | Св.<br>1019 | Св.<br>1592 | Св.<br>2005 | Св.<br>2547 | Св.<br>3183 |
|                  |                              |                 |                                                           |             | до<br>20,4  | до<br>31,8  | до<br>50,9  | до<br>101,8 | до<br>200,5  | до<br>401,1  | до<br>636,6  | до<br>1019   | до<br>1592  | до<br>2005  | до<br>2547  | до<br>3183  | до<br>4584  |
| Допуск, мкм      |                              |                 |                                                           |             |             |             |             |             |              |              |              |              |             |             |             |             |             |
| 3                | $ F_{Pk} $<br>или<br>$ F_P $ | От 1 до 10      | 2,8                                                       | 4,0         | 5,0         | 5,5         | 6,0         | 8,0         | 11           | 16           | 20           | 25           | 28          | 36          | 40          | 45          | 50          |
| 4                |                              | " 1 " 10        | 4,5                                                       | 6           | 8           | 9           | 10          | 12          | 18           | 25           | 32           | 40           | 45          | 56          | 63          | 71          | 80          |
| 5                |                              | " 1 " 16        | 7                                                         | 10          | 12          | 14          | 16          | 20          | 28           | 40           | 50           | 63           | 71          | 90          | 100         | 112         | 125         |
| 6                |                              | " 1 " 16        | 11                                                        | 16          | 20          | 22          | 25          | 32          | 45           | 63           | 80           | 100          | 112         | 140         | 160         | 180         | 200         |
| 7                |                              | " 1 " 25        | 16                                                        | 22          | 28          | 32          | 36          | 45          | 63           | 90           | 112          | 140          | 160         | 200         | 224         | 250         | 280         |
| 8                |                              | " 1 " 25        | 22                                                        | 32          | 40          | 45          | 50          | 63          | 90           | 125          | 160          | 200          | 224         | 280         | 315         | 355         | 400         |

Таблица Б.3 – Допуск на местную кинематическую погрешность зубчатого колеса  $f_i'$ , предельные отклонения шага зацепления  $f_{Pt}$ , предельные отклонения шага  $f_{Pb}$ , допуск на погрешность профиля зуба  $f_f$ , допуск на колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе  $f_i''$

| Степень точности | Обозначение | Модуль $m$ , мм                                          | Делительный диаметр $d$ , мм             |                                                 |                                                |                                                |                                               |                                       |                                |
|------------------|-------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
|                  |             |                                                          | до 125                                   | св. 125 до 400                                  | св. 400 до 800                                 | св. 800 до 1600                                | св. 1600 до 2500                              | св. 2500 до 4000                      | св. 4000 до 6300               |
|                  |             |                                                          | Допуск, мкм                              |                                                 |                                                |                                                |                                               |                                       |                                |
| 3                | $f_i'$      | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10              | 6<br>7<br>8                              | 7<br>8<br>9                                     | 8<br>9<br>10                                   | 9<br>10<br>11                                  | 12<br>12<br>14                                | -<br>14<br>16                         | -<br>-<br>22                   |
|                  | $f_{Pt}$    | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10              | $\pm 2,5$<br>$\pm 3,2$<br>$\pm 3,6$      | $\pm 2,8$<br>$\pm 3,6$<br>$\pm 4,0$             | $\pm 3,2$<br>$\pm 3,6$<br>$\pm 4,5$            | $\pm 3,6$<br>$\pm 4,0$<br>$\pm 4,5$            | $\pm 4,0$<br>$\pm 4,5$<br>$\pm 5,0$           | -<br>$\pm 5,0$<br>$\pm 5,5$           | -<br>-<br>$\pm 6,0$            |
|                  | $f_{Pb}$    | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10              | $\pm 2,4$<br>$\pm 3$<br>$\pm 3,4$        | $\pm 2,6$<br>$\pm 3,4$<br>$\pm 3,8$             | $\pm 3$<br>$\pm 3,4$<br>$\pm 4,2$              | $\pm 3,4$<br>$\pm 3,8$<br>$\pm 4,2$            | $\pm 3,8$<br>$\pm 4,2$<br>$\pm 4,8$           | -<br>$\pm 4,8$<br>$\pm 5,3$           | -<br>-<br>$\pm 5,6$            |
|                  | $f_f$       | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10              | 3,6<br>4,0<br>4,5                        | 4,0<br>4,5<br>5,0                               | 4,5<br>5,0<br>5,5                              | 5,5<br>6,0<br>6,5                              | 7,5<br>8,0<br>8,5                             | -<br>10<br>10,5                       | -<br>-<br>15                   |
| 4                | $f_i'$      | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10              | 9<br>10<br>12                            | 10<br>12<br>14                                  | 12<br>14<br>16                                 | 14<br>16<br>18                                 | 16<br>18<br>20                                | -<br>22<br>25                         | -<br>-<br>32                   |
|                  | $f_{Pt}$    | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10              | $\pm 4$<br>$\pm 5$<br>$\pm 5,5$          | $\pm 4,5$<br>$\pm 5,5$<br>$\pm 6$               | $\pm 5$<br>$\pm 5,5$<br>$\pm 7$                | $\pm 5,5$<br>$\pm 6$<br>$\pm 7$                | $\pm 6$<br>$\pm 7$<br>$\pm 9$                 | -<br>$\pm 8$<br>$\pm 9$               | -<br>-<br>$\pm 10$             |
|                  | $f_{Pb}$    | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10              | $\pm 3,8$<br>$\pm 4,8$<br>$\pm 5,3$      | $\pm 4,2$<br>$\pm 5,3$<br>$\pm 5,6$             | $\pm 4,8$<br>$\pm 5,3$<br>$\pm 6,7$            | $\pm 5,3$<br>$\pm 5,6$<br>$\pm 6,7$            | $\pm 5,6$<br>$\pm 6,7$<br>$\pm 7,5$           | -<br>$\pm 7,5$<br>$\pm 8,5$           | -<br>-<br>$\pm 9,5$            |
|                  | $f_f$       | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10              | 4,8<br>5,3<br>6,0                        | 5,3<br>6,0<br>6,5                               | 6,5<br>7,0<br>7,5                              | 8,0<br>9,0<br>9,5                              | 11<br>11,5<br>12                              | -<br>15<br>16                         | -<br>-<br>22                   |
| 5                | $f_i'$      | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10<br>" 10 " 16 | 12<br>16<br>18<br>-                      | 14<br>18<br>20<br>22                            | 18<br>20<br>22<br>25                           | 20<br>22<br>25<br>28                           | 25<br>28<br>32<br>36                          | -<br>36<br>40<br>45                   | -<br>-<br>50<br>56             |
|                  | $f_{Pt}$    | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10<br>" 10 " 16 | $\pm 6$<br>$\pm 8$<br>$\pm 9$<br>-       | $\pm 7$<br>$\pm 9$<br>$\pm 10$<br>$\pm 11$      | $\pm 8$<br>$\pm 9$<br>$\pm 11$<br>$\pm 13$     | $\pm 9$<br>$\pm 10$<br>$\pm 11$<br>$\pm 13$    | $\pm 10$<br>$\pm 11$<br>$\pm 13$<br>$\pm 14$  | -<br>$\pm 13$<br>$\pm 14$<br>$\pm 16$ | -<br>-<br>$\pm 16$<br>$\pm 18$ |
|                  | $f_{Pb}$    | от 1 до 3,5<br>св. 3,5 до 6,3<br>" 6,3 " 10<br>" 10 " 16 | $\pm 5,6$<br>$\pm 7,5$<br>$\pm 8,5$<br>- | $\pm 6,7$<br>$\pm 8,5$<br>$\pm 9,5$<br>$\pm 10$ | $\pm 7,5$<br>$\pm 8,5$<br>$\pm 10$<br>$\pm 12$ | $\pm 8,5$<br>$\pm 9,5$<br>$\pm 10$<br>$\pm 12$ | $\pm 9,5$<br>$\pm 10$<br>$\pm 12$<br>$\pm 13$ | -<br>$\pm 12$<br>$\pm 13$<br>$\pm 15$ | -<br>-<br>$\pm 14$<br>$\pm 16$ |

| Степень<br>точности | Обозна-<br>чение | Модуль $m$ , мм | Делительный диаметр $d$ , мм |                   |                   |                    |                     |                     |                     |
|---------------------|------------------|-----------------|------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                     |                  |                 | до 125                       | св. 125<br>до 400 | св. 400<br>до 800 | св. 800<br>до 1600 | св. 1600<br>до 2500 | св. 2500<br>до 4000 | св. 4000<br>до 6300 |
|                     |                  |                 | Допуск, мкм                  |                   |                   |                    |                     |                     |                     |
| 5                   | $f_f$            | от 1 до 3,5     | 6                            | 7                 | 9                 | 11                 | 16                  | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | 7                            | 8                 | 10                | 13                 | 17                  | 22                  | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | 8                            | 9                 | 11                | 14                 | 18                  | 24                  | 34                  |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | 11                | 13                | 15                 | 20                  | 25                  | 36                  |
|                     | $f_i$            | от 1 до 3,5     | 10                           | 11                | 13                | 14                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | 13                           | 14                | 14                | 16                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | 14                           | 16                | 16                | 18                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | 18                | 20                | 20                 | -                   | -                   | -                   |
| 6                   | $f_i'$           | от 1 до 3,5     | 18                           | 20                | 25                | 32                 | 40                  | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | 22                           | 25                | 28                | 36                 | 45                  | 56                  | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | 28                           | 30                | 32                | 40                 | 50                  | 60                  | 80                  |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | 36                | 40                | 45                 | 56                  | 63                  | 90                  |
|                     | $f_{Pt}$         | от 1 до 3,5     | ±10                          | ±11               | ±13               | ±14                | ±16                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | ±13                          | ±14               | ±14               | ±16                | ±18                 | ±20                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | ±14                          | ±16               | ±18               | ±18                | ±20                 | ±22                 | ±25                 |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | ±18               | ±20               | ±20                | ±22                 | ±25                 | ±28                 |
|                     | $f_{Pb}$         | от 1 до 3,5     | ±9,5                         | ±10               | ±12               | ±13                | ±15                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | ±12                          | ±13               | ±13               | ±15                | ±17                 | ±19                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | ±13                          | ±15               | ±17               | ±17                | ±19                 | ±21                 | ±24                 |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | ±17               | ±19               | ±19                | ±21                 | ±24                 | ±26                 |
|                     | $f_f$            | от 1 до 3,5     | 8                            | 9                 | 12                | 17                 | 24                  | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | 10                           | 11                | 14                | 18                 | 25                  | 34                  | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | 12                           | 13                | 16                | 20                 | 28                  | 36                  | 53                  |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | 16                | 18                | 22                 | 30                  | 38                  | 56                  |
|                     | $f_i$            | от 1 до 3,5     | 14                           | 16                | 18                | 20                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | 18                           | 20                | 20                | 22                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | 20                           | 22                | 22                | 25                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | 25                | 28                | 28                 | -                   | -                   | -                   |
| 7                   | $f_i'$           | от 1 до 3,5     | 25                           | 30                | 36                | 45                 | 56                  | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | 32                           | 36                | 40                | 50                 | 63                  | 80                  | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | 36                           | 40                | 50                | 56                 | 71                  | 90                  | 112                 |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | 50                | 56                | 63                 | 80                  | 100                 | 125                 |
|                     |                  | " 16 " 25       | -                            | 63                | 71                | 80                 | 90                  | 112                 | 140                 |
|                     | $f_{Pt}$         | от 1 до 3,5     | ±14                          | ±16               | ±18               | ±20                | ±22                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | ±18                          | ±20               | ±20               | ±22                | ±25                 | ±28                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | ±20                          | ±22               | ±25               | ±25                | ±28                 | ±32                 | ±36                 |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | ±25               | ±28               | ±28                | ±32                 | ±36                 | ±40                 |
|                     |                  | " 16 " 25       | -                            | ±32               | ±36               | ±36                | ±40                 | ±40                 | ±45                 |
|                     | $f_{Pb}$         | от 1 до 3,5     | ±13                          | ±15               | ±17               | ±19                | ±21                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | ±17                          | ±19               | ±19               | ±21                | ±24                 | ±26                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | ±19                          | ±21               | ±24               | ±24                | ±26                 | ±30                 | ±34                 |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | ±24               | ±26               | ±26                | ±30                 | ±34                 | ±38                 |
|                     |                  | " 16 " 25       | -                            | ±30               | ±34               | ±34                | ±38                 | ±38                 | ±42                 |

| Степень<br>точности | Обозна-<br>чение | Модуль $m$ , мм | Делительный диаметр $d$ , мм |                   |                   |                    |                     |                     |                     |
|---------------------|------------------|-----------------|------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                     |                  |                 | до 125                       | св. 125<br>до 400 | св. 400<br>до 800 | св. 800<br>до 1600 | св. 1600<br>до 2500 | св. 2500<br>до 4000 | св. 4000<br>до 6300 |
|                     |                  |                 | Допуск, мкм                  |                   |                   |                    |                     |                     |                     |
| 7                   | $f_f$            | от 1 до 3,5     | 11                           | 13                | 17                | 24                 | 36                  | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | 14                           | 16                | 20                | 28                 | 38                  | 53                  | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | 17                           | 19                | 24                | 30                 | 40                  | 56                  | 80                  |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | 22                | 26                | 33                 | 45                  | 60                  | 85                  |
|                     |                  | " 16 " 25       | -                            | 30                | 36                | 42                 | 53                  | 67                  | 95                  |
|                     | $f_i''$          | от 1 до 3,5     | 20                           | 22                | 25                | 28                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | 25                           | 28                | 28                | 32                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | 28                           | 32                | 32                | 36                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | 36                | 40                | 40                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  |                 |                              |                   |                   |                    |                     |                     |                     |
| 8                   | $f_i'$           | от 1 до 3,5     | 36                           | 40                | 50                | 63                 | 80                  | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | 45                           | 50                | 56                | 71                 | 90                  | 125                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | 50                           | 60                | 71                | 80                 | 100                 | 140                 | 180                 |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | 71                | 80                | 90                 | 112                 | 140                 | 200                 |
|                     |                  | " 16 " 25       | -                            | 90                | 100               | 112                | 140                 | 160                 | 224                 |
|                     | $f_{Pt}$         | от 1 до 3,5     | ±20                          | ±22               | ±25               | ±28                | ±32                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | ±25                          | ±28               | ±28               | ±32                | ±36                 | ±40                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | ±28                          | ±32               | ±36               | ±36                | ±40                 | ±45                 | ±50                 |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | ±36               | ±40               | ±40                | ±45                 | ±50                 | ±56                 |
|                     |                  | " 16 " 25       | -                            | ±45               | ±50               | ±50                | ±56                 | ±56                 | ±63                 |
|                     |                  | " 25 " 40       | -                            | -                 | ±63               | ±63                | ±71                 | ±71                 | ±80                 |
|                     | $f_{Pb}$         | от 1 до 3,5     | ±19                          | ±21               | ±24               | ±26                | ±30                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | ±24                          | ±26               | ±26               | ±30                | ±34                 | ±38                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | ±26                          | ±30               | ±34               | ±34                | ±38                 | ±42                 | ±48                 |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | ±34               | ±38               | ±38                | ±42                 | ±48                 | ±53                 |
|                     |                  | " 16 " 25       | -                            | ±42               | ±48               | ±48                | ±53                 | ±53                 | ±60                 |
|                     |                  | " 25 " 40       | -                            | -                 | ±60               | ±60                | ±67                 | ±67                 | ±75                 |
|                     | $f_f$            | от 1 до 3,5     | 14                           | 18                | 25                | 36                 | 50                  | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | 20                           | 22                | 28                | 40                 | 56                  | 80                  | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | 22                           | 28                | 36                | 45                 | 63                  | 90                  | 125                 |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | 32                | 40                | 50                 | 71                  | 90                  | 130                 |
|                     |                  | " 16 " 25       | -                            | 45                | 56                | 63                 | 80                  | 100                 | 150                 |
|                     | $f_i''$          | от 1 до 3,5     | 28                           | 32                | 36                | 40                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | 36                           | 40                | 40                | 45                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | 40                           | 45                | 45                | 50                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | 50                | 56                | 56                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  |                 |                              |                   |                   |                    |                     |                     |                     |
| 9                   | $f_{Pt}$         | от 1 до 3,5     | ±28                          | ±32               | ±36               | ±40                | ±45                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | ±36                          | ±40               | ±40               | ±45                | ±50                 | ±56                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | ±40                          | ±45               | ±50               | ±50                | ±56                 | ±63                 | ±71                 |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | ±50               | ±56               | ±56                | ±63                 | ±71                 | ±80                 |
|                     |                  | " 16 " 25       | -                            | ±63               | ±71               | ±71                | ±80                 | ±80                 | ±90                 |
|                     |                  | " 25 " 40       | -                            | -                 | ±90               | ±90                | ±100                | ±100                | ±112                |
|                     |                  | " " 40 " 55     | -                            | -                 | ±112              | ±125               | ±125                | ±140                | ±140                |

| Степень<br>точности | Обозна-<br>чение | Модуль $m$ , мм | Делительный диаметр $d$ , мм |                   |                   |                    |                     |                     |                     |
|---------------------|------------------|-----------------|------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                     |                  |                 | до 125                       | св. 125<br>до 400 | св. 400<br>до 800 | св. 800<br>до 1600 | св. 1600<br>до 2500 | св. 2500<br>до 4000 | св. 4000<br>до 6300 |
|                     |                  |                 | Допуск, мкм                  |                   |                   |                    |                     |                     |                     |
| 9                   | $f_{Pb}$         | от 1 до 3,5     | ±26                          | ±30               | ±34               | ±38                | ±42                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | ±34                          | ±38               | ±38               | ±42                | ±48                 | ±53                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | ±38                          | ±42               | ±45               | ±48                | ±53                 | ±60                 | ±67                 |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | ±48               | ±53               | ±53                | ±60                 | ±67                 | ±75                 |
|                     |                  | " 16 " 25       | -                            | ±60               | ±67               | ±67                | ±75                 | ±75                 | ±85                 |
|                     |                  | " 25 " 40       | -                            | -                 | ±85               | ±85                | ±95                 | ±95                 | ±106                |
|                     |                  | " 40 " 55       | -                            | -                 | ±106              | ±118               | ±118                | ±132                | ±132                |
|                     | $f_i''$          | от 1 до 3,5     | 36                           | 40                | 45                | 50                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | 45                           | 50                | 50                | 56                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | 50                           | 56                | 56                | 63                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | 63                | 71                | 71                 | -                   | -                   | -                   |
| 10                  | $f_{Pt}$         | от 1 до 3,5     | ±40                          | ±45               | ±50               | ±56                | ±63                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | ±50                          | ±56               | ±56               | ±63                | ±71                 | ±80                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | ±56                          | ±63               | ±71               | ±71                | ±80                 | ±90                 | ±100                |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | ±71               | ±80               | ±80                | ±90                 | ±100                | ±112                |
|                     |                  | " 16 " 25       | -                            | ±90               | ±100              | ±100               | ±112                | ±112                | ±125                |
|                     |                  | " 25 " 40       | -                            | -                 | ±125              | ±125               | ±140                | ±140                | ±160                |
|                     |                  | " 40 " 55       | -                            | -                 | ±160              | ±160               | ±180                | ±180                | ±200                |
|                     | $f_{Pb}$         | от 1 до 3,5     | ±38                          | ±42               | ±48               | ±53                | ±60                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | ±48                          | ±53               | ±53               | ±60                | ±67                 | ±75                 | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | ±53                          | ±60               | ±67               | ±67                | ±75                 | ±85                 | ±95                 |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | ±67               | ±75               | ±75                | ±85                 | ±95                 | ±106                |
|                     |                  | " 16 " 25       | -                            | ±85               | ±95               | ±95                | ±106                | ±106                | ±118                |
|                     |                  | " 25 " 40       | -                            | -                 | ±118              | ±118               | ±132                | ±132                | ±150                |
|                     |                  | " 40 " 55       | -                            | -                 | ±150              | ±150               | ±170                | ±170                | ±190                |
|                     | $f_i''$          | от 1 до 3,5     | 45                           | 50                | 56                | 63                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | 56                           | 63                | 63                | 71                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | 63                           | 71                | 71                | 80                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | 80                | 90                | 90                 | -                   | -                   | -                   |
| 11                  | $f_{Pt}$         | от 1 до 3,5     | ±56                          | ±63               | ±71               | ±80                | ±90                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | ±71                          | ±80               | ±80               | ±90                | ±100                | ±112                | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | ±80                          | ±90               | ±100              | ±100               | ±112                | ±125                | ±140                |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | ±100              | ±112              | ±112               | ±125                | ±140                | ±160                |
|                     |                  | " 16 " 25       | -                            | ±125              | ±140              | ±140               | ±160                | ±160                | ±180                |
|                     |                  | " 25 " 40       | -                            | -                 | ±180              | ±180               | ±200                | ±200                | ±224                |
|                     |                  | " 40 " 55       | -                            | -                 | ±224              | ±250               | ±250                | ±280                | ±280                |
|                     | $f_{Pb}$         | от 1 до 3,5     | ±53                          | ±60               | ±67               | ±75                | ±85                 | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | ±67                          | ±75               | ±75               | ±85                | ±90                 | ±105                | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | ±75                          | ±85               | ±95               | ±95                | ±105                | ±110                | ±125                |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | ±95               | ±106              | ±106               | ±110                | ±130                | ±150                |
|                     |                  | " 16 " 25       | -                            | ±118              | ±132              | ±132               | ±150                | ±150                | ±170                |
|                     |                  | " 25 " 40       | -                            | -                 | ±170              | ±170               | ±180                | ±180                | ±212                |
|                     |                  | " 40 " 55       | -                            | -                 | ±212              | ±236               | ±236                | ±250                | ±250                |

Продолжение табл. Б.3

| Степень<br>точности | Обозна-<br>чение | Модуль $m$ , мм | Делительный диаметр $d$ , мм |                   |                   |                    |                     |                     |                     |
|---------------------|------------------|-----------------|------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                     |                  |                 | до 125                       | св. 125<br>до 400 | св. 400<br>до 800 | св. 800<br>до 1600 | св. 1600<br>до 2500 | св. 2500<br>до 4000 | св. 4000<br>до 6300 |
|                     |                  |                 | Допуск, мкм                  |                   |                   |                    |                     |                     |                     |
| 11                  | $f_i''$          | от 1 до 3,5     | 56                           | 63                | 71                | 80                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | 71                           | 80                | 80                | 90                 | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | 80                           | 90                | 90                | 100                | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | 100               | 112               | 112                | -                   | -                   | -                   |
| 12                  | $f_{Pt}$         | от 1 до 3,5     | ±80                          | ±90               | ±100              | ±112               | ±125                | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | ±100                         | ±112              | ±112              | ±125               | ±140                | ±160                | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | ±112                         | ±125              | ±140              | ±140               | ±160                | ±180                | ±200                |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | ±140              | ±160              | ±160               | ±180                | ±200                | ±224                |
|                     |                  | " 16 " 25       | -                            | ±180              | ±200              | ±200               | ±224                | ±224                | ±280                |
|                     |                  | " 25 " 40       | -                            | -                 | ±250              | ±250               | ±280                | ±280                | ±315                |
|                     |                  | " 40 " 55       | -                            | -                 | ±315              | ±355               | ±355                | ±400                | ±400                |
|                     | $f_{Pb}$         | от 1 до 3,5     | ±75                          | ±85               | ±95               | ±106               | ±118                | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | ±95                          | ±106              | ±106              | ±118               | ±132                | ±150                | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | ±106                         | ±118              | ±132              | ±132               | ±150                | ±170                | ±170                |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | ±132              | ±150              | ±150               | ±170                | ±180                | ±190                |
|                     |                  | " 16 " 25       | -                            | ±170              | ±190              | ±190               | ±210                | ±212                | ±240                |
|                     |                  | " 25 " 40       | -                            | -                 | ±236              | ±236               | ±260                | ±260                | ±300                |
|                     |                  | " 40 " 55       | -                            | -                 | ±300              | ±335               | ±320                | ±375                | ±375                |
|                     | $f_i''$          | от 1 до 3,5     | 71                           | 80                | 90                | 100                | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | св. 3,5 до 6,3  | 90                           | 100               | 100               | 112                | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 6,3 " 10      | 100                          | 112               | 112               | 125                | -                   | -                   | -                   |
|                     |                  | " 10 " 16       | -                            | 125               | 140               | 140                | -                   | -                   | -                   |

Таблица Б.4 – Предельные отклонения осевых шагов по нормали  $F_{P\chi n}$ , допуск на суммарную погрешность контактной линии  $F_k$ , допуск на направление зуба  $F_\beta$ , допуск параллельности осей  $f_\chi$ , допуск на перекося осей  $f_y$

| Степень точности | Обозначение   | Модуль m, мм   | Ширина зубчатого венца (полушеврона) или длина контактной линии, мм |               |                |                |                |                |                 |                  |
|------------------|---------------|----------------|---------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|
|                  |               |                | до 40                                                               | св. 40 до 100 | св. 100 до 160 | св. 160 до 250 | св. 250 до 400 | св. 400 до 630 | св. 630 до 1000 | св. 1000 до 1250 |
|                  |               |                | МКМ                                                                 |               |                |                |                |                |                 |                  |
| 3                | $F_{P\chi n}$ | от 1 до 10     | ±6,3                                                                | ±7,1          | ±8             | ±10            | ±12            | ±16            | ±20             | ±25              |
|                  | $F_k$         | от 1 до 3,5    | 8                                                                   | 9             | 10             | 11             | 12             | -              | -               | -                |
|                  |               | св. 3,5 до 6,3 | 10                                                                  | 11            | 12             | 12             | 14             | 16             | -               | -                |
|                  |               | " 6,3 " 10     | 12                                                                  | 12            | 14             | 14             | 16             | 18             | 22              | 28               |
|                  | $F_\beta$     | от 1 до 10     | 4,5                                                                 | 6             | 8              | 10             | 11             | 14             | 16              | 20               |
|                  | $f_\chi$      | от 1 до 10     | 4,5                                                                 | 6             | 8              | 10             | 11             | 14             | 16              | 20               |
|                  | $f_y$         | от 1 до 10     | 2,2                                                                 | 3             | 4              | 5              | 5,6            | 7,1            | 8               | 10               |
| 4                | $F_{P\chi n}$ | от 1 до 10     | ±8                                                                  | ±10           | ±11            | ±12            | ±16            | ±20            | ±25             | ±36              |
|                  | $F_k$         | от 1 до 3,5    | 11                                                                  |               |                |                |                | -              | -               | -                |
|                  |               | св. 3,5 до 6,3 | 12                                                                  | 14            | 14             | 16             | 18             | 22             | -               | -                |
|                  |               | " 6,3 " 10     | 14                                                                  | 16            | 16             | 18             | 20             | 24             | 28              | 32               |
|                  | $F_\beta$     | от 1 до 10     | 5,5                                                                 | 8             | 10             | 12             | 14             | 18             | 22              | 25               |
|                  | $f_\chi$      | от 1 до 10     | 5,5                                                                 | 8             | 10             | 12             | 14             | 18             | 22              | 25               |
|                  | $f_y$         | от 1 до 10     | 2,8                                                                 | 4             | 5              | 6              | 7,1            | 9              | 11              | 12               |
| 5                | $F_{P\chi n}$ | от 1 до 16     | ±11                                                                 | ±12           | ±14            | ±16            | ±20            | ±25            | ±32             | ±45              |
|                  | $F_k$         | от 1 до 3,5    | 14                                                                  | 16            | 16             | 18             | 20             | -              | -               | -                |
|                  |               | св. 3,5 до 6,3 | 16                                                                  | 18            | 20             | 20             | 25             | 28             | -               | -                |
|                  |               | " 6,3 " 10     | 20                                                                  | 20            | 22             | 22             | 25             | 30             | 36              | 45               |
|                  |               | " 10 " 16      | -                                                                   | 25            | 25             | 28             | 30             | 36             | 40              | 50               |
|                  | $F_\beta$     | от 1 до 16     | 7                                                                   | 10            | 12             | 16             | 18             | 22             | 25              | 30               |
|                  | $f_\chi$      | от 1 до 16     | 7                                                                   | 10            | 12             | 16             | 18             | 22             | 25              | 30               |
|                  | $f_y$         | от 1 до 16     | 4                                                                   | 5             | 6,3            | 8              | 9              | 11             | 12              | 16               |
| 6                | $F_{P\chi n}$ | от 1 до 16     | ±12                                                                 | ±14           | ±16            | ±20            | ±25            | ±30            | ±40             | ±50              |
|                  | $F_k$         | от 1 до 3,5    | 18                                                                  | 20            | 22             | 25             | 28             | -              | -               | -                |
|                  |               | св. 3,5 до 6,3 | 20                                                                  | 22            | 25             | 25             | 30             | 36             | -               | -                |
|                  |               | " 6,3 " 10     | 25                                                                  | 25            | 28             | 30             | 32             | 40             | 45              | 56               |
|                  |               | " 10 " 16      | -                                                                   | 30            | 32             | 36             | 40             | 45             | 50              | 60               |
|                  | $F_\beta$     | от 1 до 16     | 9                                                                   | 12            | 16             | 20             | 25             | 28             | 32              | 40               |
|                  | $f_\chi$      | от 1 до 16     | 9                                                                   | 12            | 16             | 20             | 25             | 28             | 32              | 40               |
|                  | $f_y$         | от 1 до 16     | 4,5                                                                 | 6,3           | 8              | 10             | 12             | 14             | 16              | 20               |

Продолжение табл. Б.4

| Степень<br>точ-<br>ности | Обозна-<br>чение | Модуль m,<br>мм | Ширина зубчатого венца (полусеверона) или<br>длина контактной линии, мм |                  |                   |                   |                   |                   |                    |                     |
|--------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
|                          |                  |                 | до 40                                                                   | св. 40<br>до 100 | св. 100<br>до 160 | св. 160<br>до 250 | св. 250<br>до 400 | св. 400<br>до 630 | св. 630<br>до 1000 | св. 1000<br>до 1250 |
|                          |                  |                 | МКМ                                                                     |                  |                   |                   |                   |                   |                    |                     |
| 7                        | $F_{pxn}$        | от 1 до 25      | ±16                                                                     | ±18              | ±20               | ±25               | ±32               | ±40               | ±50                | ±63                 |
|                          | $F_k$            | от 1 до 3,5     | 22                                                                      | 25               | 28                | 30                | 32                | -                 | -                  | -                   |
|                          |                  | св. 3,5 до 6,3  | 25                                                                      | 28               | 30                | 32                | 36                | 45                | -                  | -                   |
|                          |                  | " 6,3 " 10      | 30                                                                      | 32               | 36                | 40                | 45                | 50                | 56                 | 71                  |
|                          |                  | " 10 " 16       | -                                                                       | 40               | 40                | 45                | 50                | 56                | 63                 | 80                  |
|                          |                  | " 16 " 25       | -                                                                       | 50               | 50                | 56                | 60                | 63                | 71                 | 90                  |
|                          | $F_\beta$        | от 1 до 25      | 11                                                                      | 16               | 20                | 25                | 28                | 32                | 40                 | 50                  |
|                          | $f_x$            | от 1 до 25      | 11                                                                      | 16               | 20                | 25                | 28                | 32                | 40                 | 50                  |
|                          | $f_y$            | от 1 до 25      | 5,6                                                                     | 8                | 10                | 12                | 14                | 16                | 20                 | 25                  |
| 8                        | $F_{pxn}$        | от 1 до 40      | ±25                                                                     | ±28              | ±32               | ±40               | ±45               | ±60               | -                  | -                   |
|                          | $F_k$            | от 1 до 3,5     | 36                                                                      | 40               | 40                | 45                | 50                | -                 | -                  | -                   |
|                          |                  | св. 3,5 до 6,3  | 40                                                                      | 45               | 50                | 50                | 56                | 71                | -                  | -                   |
|                          |                  | " 6,3 " 10      | 45                                                                      | 50               | 56                | 60                | 63                | 80                | -                  | -                   |
|                          |                  | " 10 " 16       | -                                                                       | 60               | 63                | 71                | 80                | 90                | -                  | -                   |
|                          |                  | " 16 " 25       | -                                                                       | 80               | 80                | 90                | 90                | 100               | -                  | -                   |
|                          |                  | " 25 " 40       | -                                                                       | -                | 112               | 112               | 125               | 125               | -                  | -                   |
|                          | $F_\beta$        | от 1 до 40      | 18                                                                      | 25               | 32                | 40                | 45                | 56                | -                  | -                   |
|                          | $f_x$            | от 1 до 40      | 18                                                                      | 25               | 32                | 40                | 45                | 56                | -                  | -                   |
|                          | $f_y$            | от 1 до 40      | 9                                                                       | 12               | 16                | 20                | 22                | 28                | -                  | -                   |
| 9                        | $F_{pxn}$        | от 1 до 55      | ±40                                                                     | ±45              | ±50               | ±60               | ±71               | ±90               | -                  | -                   |
|                          | $F_k$            | от 1 до 3,5     | 56                                                                      | 60               | 60                | 71                | 80                | -                 | -                  | -                   |
|                          |                  | св. 3,5 до 6,3  | 63                                                                      | 71               | 80                | 80                | 90                | 112               | -                  | -                   |
|                          |                  | " 6,3 " 10      | 80                                                                      | 80               | 90                | 90                | 100               | 125               | -                  | -                   |
|                          |                  | " 10 " 16       | -                                                                       | 100              | 100               | 112               | 125               | 140               | -                  | -                   |
|                          |                  | " 16 " 25       | -                                                                       | 125              | 125               | 140               | 140               | 160               | -                  | -                   |
|                          |                  | " 25 " 40       | -                                                                       | -                | 180               | 180               | 180               | 200               | -                  | -                   |
|                          |                  | " 40 " 55       | -                                                                       | -                | -                 | 224               | 250               | 250               | -                  | -                   |
|                          | $F_\beta$        | от 1 до 55      | 28                                                                      | 40               | 50                | 63                | 71                | 90                | -                  | -                   |
|                          | $f_x$            | от 1 до 55      | 28                                                                      | 40               | 50                | 63                | 71                | 90                | -                  | -                   |
|                          | $f_y$            | от 1 до 55      | 14                                                                      | 20               | 25                | 30                | 36                | 45                | -                  | -                   |

| Степень точности | Обозначение | Модуль $m$ , мм | Ширина зубчатого венца (полушеврона) или длина контактной линии, мм |               |                |                |                |                |                 |                  |
|------------------|-------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|
|                  |             |                 | до 40                                                               | св. 40 до 100 | св. 100 до 160 | св. 160 до 250 | св. 250 до 400 | св. 400 до 630 | св. 630 до 1000 | св. 1000 до 1250 |
|                  |             |                 | МКМ                                                                 |               |                |                |                |                |                 |                  |
| 10               | $F_k$       | от 1 до 3,5     | 90                                                                  | 100           | 100            | 112            | 125            | -              | -               | -                |
|                  |             | св. 3,5 до 6,3  | 100                                                                 | 112           | 112            | 125            | 140            | 180            | -               | -                |
|                  |             | " 6,3 " 10      | 125                                                                 | 125           | 140            | 140            | 160            | 200            | -               | -                |
|                  |             | " 10 " 16       | -                                                                   | 160           | 160            | 180            | 200            | 224            | -               | -                |
|                  |             | " 16 " 25       | -                                                                   | 200           | 200            | 224            | 224            | 250            | -               | -                |
|                  |             | " 25 " 40       | -                                                                   | -             | 280            | 280            | 315            | 315            | -               | -                |
|                  |             | " 40 " 55       | -                                                                   | -             | -              | 355            | 400            | 400            | -               | -                |
|                  | $F_\beta$   | от 1 до 55      | 45                                                                  | 63            | 80             | 100            | 112            | 140            | -               | -                |
|                  | $f_x$       | от 1 до 55      | 45                                                                  | 63            | 80             | 100            | 112            | 140            | -               | -                |
|                  | $f_y$       | от 1 до 55      | 22                                                                  | 32            | 40             | 50             | 56             | 71             | -               | -                |
| 11               | $F_k$       | от 1 до 3,5     | 140                                                                 | 160           | 160            | 180            | 200            | -              | -               | -                |
|                  |             | св. 3,5 до 6,3  | 160                                                                 | 180           | 180            | 200            | 224            | 280            | -               | -                |
|                  |             | " 6,3 " 10      | 200                                                                 | 200           | 224            | 224            | 250            | 315            | -               | -                |
|                  |             | " 10 " 16       | -                                                                   | 250           | 250            | 280            | 315            | 355            | -               | -                |
|                  |             | " 16 " 25       | -                                                                   | 315           | 315            | 355            | 355            | 400            | -               | -                |
|                  |             | " 25 " 40       | -                                                                   | -             | 450            | 450            | 500            | 500            | -               | -                |
|                  |             | " 40 " 55       | -                                                                   | -             | -              | 560            | 630            | 630            | -               | -                |
|                  | $F_\beta$   | от 1 до 55      | 71                                                                  | 100           | 125            | 160            | 180            | 224            | -               | -                |
|                  | $f_x$       | от 1 до 55      | 71                                                                  | 100           | 125            | 160            | 180            | 224            | -               | -                |
|                  | $f_y$       | от 1 до 55      | 36                                                                  | 50            | 63             | 80             | 90             | 112            | -               | -                |
| 12               | $F_k$       | от 1 до 3,5     | 224                                                                 | 250           | 250            | 280            | 315            | -              | -               | -                |
|                  |             | св. 3,5 до 6,3  | 350                                                                 | 280           | 280            | 315            | 355            | 450            | -               | -                |
|                  |             | " 6,3 " 10      | 315                                                                 | 315           | 355            | 355            | 400            | 500            | -               | -                |
|                  |             | " 10 " 16       | -                                                                   | 355           | 400            | 450            | 500            | 560            | -               | -                |
|                  |             | " 16 " 25       | -                                                                   | 500           | 500            | 560            | 560            | 630            | -               | -                |
|                  |             | " 25 " 40       | -                                                                   | -             | 630            | 710            | 710            | 800            | -               | -                |
|                  |             | " 40 " 55       | -                                                                   | -             | -              | 900            | 1000           | 1000           | -               | -                |
|                  | $F_\beta$   | от 1 до 55      | 112                                                                 | 160           | 200            | 250            | 280            | 355            | -               | -                |
|                  | $f_x$       | от 1 до 55      | 112                                                                 | 160           | 200            | 250            | 280            | 355            | -               | -                |
|                  | $f_y$       | от 1 до 55      | 56                                                                  | 80            | 100            | 125            | 140            | 180            | -               | -                |

Таблица Б.5 – Нормы контакта зубьев (суммарное пятно контакта)

| Степень точности | Относительные размеры суммарного пятна контакта<br>в процентах |                              |
|------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------|
|                  | По высоте зубьев,<br>не менее                                  | По длине зубьев,<br>не менее |
| 3                | 65                                                             | 95                           |
| 4                | 60                                                             | 90                           |
| 5                | 55                                                             | 80                           |
| 6                | 50                                                             | 70                           |
| 7                | 45                                                             | 60                           |
| 8                | 40                                                             | 50                           |
| 9                | 30                                                             | 40                           |
| 10               | 25                                                             | 30                           |
| 11               | 20                                                             | 20                           |

Таблица Б.6 – Нормы бокового зазора (гарантированный боковой зазор  $j_{n \min}$ , предельные отклонения межосевого расстояния  $f_a$

| Вид сопряжения       | Класс отклонений<br>межосевого расстояния | Обозначение  | Межосевое расстояние $a_w$ , мм |                  |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
|----------------------|-------------------------------------------|--------------|---------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                      |                                           |              | до 80                           | св. 80<br>до 125 | св. 125<br>до 180 | св. 180<br>до 250 | св. 250<br>до 315 | св. 315<br>до 400 | св. 400<br>до 500 | св. 500<br>до 630 | св. 630<br>до 800 | св. 800<br>до 1000 | св. 1000<br>до 1250 | св. 1250<br>до 1600 | св. 1600<br>до 2000 | св. 2000<br>до 2500 | св. 2500<br>до 3150 | св. 3150<br>до 4000 |
|                      |                                           |              | МКМ                             |                  |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
| <i>H</i>             | <i>II</i>                                 | $j_{n \min}$ | 0                               | 0                | 0                 | 0                 | 0                 | 0                 | 0                 | 0                 | 0                 | 0                  | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   |
| <i>E</i>             | <i>II</i>                                 |              | 30                              | 35               | 40                | 46                | 52                | 57                | 63                | 70                | 80                | 90                 | 105                 | 125                 | 150                 | 175                 | 210                 | 260                 |
| <i>D</i>             | <i>III</i>                                |              | 46                              | 54               | 63                | 72                | 81                | 89                | 97                | 110               | 125               | 140                | 165                 | 195                 | 230                 | 280                 | 330                 | 410                 |
| <i>C</i>             | <i>IV</i>                                 |              | 74                              | 87               | 100               | 115               | 130               | 140               | 155               | 175               | 200               | 230                | 260                 | 310                 | 370                 | 440                 | 540                 | 660                 |
| <i>B</i>             | <i>V</i>                                  |              | 120                             | 140              | 160               | 185               | 210               | 230               | 250               | 280               | 320               | 360                | 420                 | 500                 | 600                 | 700                 | 860                 | 1050                |
| <i>A</i>             | <i>VI</i>                                 |              | 190                             | 220              | 250               | 290               | 320               | 360               | 400               | 440               | 500               | 560                | 660                 | 780                 | 920                 | 1100                | 1350                | 1650                |
| -                    | <i>I</i>                                  | $f_a$        | ±10                             | ±11              | ±12               | ±14               | ±16               | ±18               | ±20               | ±22               | ±25               | ±28                | ±35                 | ±40                 | ±45                 | ±55                 | ±70                 | ±90                 |
| <i>H</i><br><i>E</i> | <i>II</i>                                 |              | ±16                             | ±18              | ±20               | ±22               | ±25               | ±28               | ±30               | 35±               | ±40               | ±45                | ±50                 | ±60                 | ±70                 | ±90                 | ±110                | ±140                |
| <i>D</i>             | <i>III</i>                                |              | ±22                             | ±28              | ±30               | ±35               | ±40               | ±45               | ±50               | ±55               | ±60               | ±70                | ±80                 | ±100                | ±110                | ±140                | ±160                | ±200                |
| <i>C</i>             | <i>IV</i>                                 |              | ±35                             | ±45              | ±50               | ±55               | ±60               | ±70               | ±80               | ±90               | ±100              | ±110               | ±140                | ±160                | ±180                | ±220                | ±280                | ±350                |
| <i>B</i>             | <i>V</i>                                  |              | ±60                             | ±70              | ±80               | ±90               | ±100              | ±110              | ±120              | ±140              | ±160              | ±180               | ±220                | ±250                | ±300                | ±350                | ±450                | ±550                |
| <i>A</i>             | <i>VI</i>                                 |              | ±100                            | ±100             | ±120              | ±140              | ±160              | ±180              | ±200              | ±220              | ±250              | ±280               | ±350                | ±400                | ±450                | ±550                | ±700                | ±800                |

Таблица Б.7 – Наименьшее дополнительное смещение исходного контура для зубчатого колеса с внешними зубьями  $-E_{Hs}$ , наименьшее дополнительное смещение исходного контура для зубчатого колеса с внутренними зубьями  $+E_{Hs}$

| Вид сопряжения | Степень точности по нормам плавности | Делительный диаметр $d$ , мм |               |                |                |                |                |                |                |                |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|----------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                |                                      | до 80                        | св. 80 до 125 | св. 125 до 180 | св. 180 до 250 | св. 250 до 315 | св. 315 до 400 | св. 400 до 500 | св. 500 до 630 | св. 630 до 800 | св. 800 до 1000 | св. 1000 до 1250 | св. 1250 до 1600 | св. 1600 до 2000 | св. 2000 до 2500 | св. 2500 до 3150 | св. 3150 до 4000 | св. 4000 до 5000 | св. 5000 до 6300 |
|                |                                      | мкм                          |               |                |                |                |                |                |                |                |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| $H$            | 3-6                                  | 12                           | 14            | 16             | 18             | 20             | 22             | 25             | 28             | 30             | 40              | 45               | 50               | 60               | 70               | 80               | 100              | 120              | 160              |
|                | 7                                    | 14                           | 16            | 18             | 20             | 22             | 25             | 28             | 30             | 35             | 45              | 50               | 55               | 70               | 80               | 90               | 110              | 140              | 180              |
| $E$            | 3-6                                  | 30                           | 35            | 40             | 46             | 52             | 57             | 63             | 70             | 80             | 90              | 105              | 125              | 150              | 175              | 210              | 260              | 320              | 400              |
|                | 7                                    | 35                           | 40            | 45             | 50             | 55             | 60             | 70             | 80             | 90             | 100             | 120              | 140              | 160              | 200              | 240              | 280              | 350              | 450              |
| $D$            | 3-6                                  | 46                           | 54            | 63             | 72             | 81             | 89             | 97             | 110            | 125            | 140             | 165              | 195              | 230              | 280              | 330              | 410              | 500              | 620              |
|                | 7                                    | 50                           | 60            | 70             | 80             | 90             | 100            | 110            | 120            | 140            | 160             | 180              | 220              | 250              | 300              | 350              | 450              | 550              | 700              |
|                | 8                                    | 55                           | 70            | 80             | 90             | 100            | 110            | 120            | 140            | 160            | 180             | 200              | 250              | 280              | 350              | 400              | 500              | 600              | 750              |
| $C$            | 3-6                                  | 74                           | 87            | 100            | 115            | 130            | 140            | 155            | 175            | 200            | 230             | 260              | 310              | 370              | 440              | 540              | 660              | 800              | 980              |
|                | 7                                    | 80                           | 100           | 110            | 120            | 140            | 160            | 180            | 200            | 220            | 250             | 280              | 350              | 400              | 450              | 600              | 700              | 900              | 1100             |
|                | 8                                    | 90                           | 110           | 120            | 140            | 160            | 180            | 200            | 220            | 250            | 280             | 300              | 400              | 450              | 500              | 600              | 800              | 1000             | 1200             |
|                | 9                                    | 100                          | 120           | 140            | 160            | 180            | 200            | 200            | 250            | 280            | 300             | 350              | 450              | 500              | 600              | 700              | 900              | 1000             | 1200             |

| Вид сопряжения | Степень точности по нормам плавности | Делительный диаметр $d$ , мм |               |                |                |                |                |                |                |                |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|----------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                |                                      | до 80                        | св. 80 до 125 | св. 125 до 180 | св. 180 до 250 | св. 250 до 315 | св. 315 до 400 | св. 400 до 500 | св. 500 до 630 | св. 630 до 800 | св. 800 до 1000 | св. 1000 до 1250 | св. 1250 до 1600 | св. 1600 до 2000 | св. 2000 до 2500 | св. 2500 до 3150 | св. 3150 до 4000 | св. 4000 до 5000 | св. 5000 до 6300 |
|                |                                      | МКМ                          |               |                |                |                |                |                |                |                |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| В              | 3-6                                  | 120                          | 140           | 160            | 185            | 210            | 230            | 250            | 280            | 320            | 360             | 420              | 500              | 600              | 700              | 860              | 1050             | 1300             | 1550             |
|                | 7                                    | 140                          | 160           | 180            | 200            | 250            | 250            | 280            | 300            | 350            | 400             | 450              | 550              | 700              | 800              | 900              | 1100             | 1400             | 1800             |
|                | 8                                    | 140                          | 160           | 200            | 220            | 250            | 280            | 300            | 350            | 400            | 450             | 500              | 600              | 700              | 800              | 1000             | 1200             | 1600             | 1800             |
|                | 9                                    | 160                          | 180           | 200            | 250            | 280            | 300            | 350            | 400            | 400            | 450             | 550              | 700              | 800              | 900              | 1100             | 1400             | 1800             | 2000             |
|                | 10                                   | 160                          | 200           | 220            | 250            | 300            | 350            | 350            | 400            | 450            | 500             | 600              | 700              | 800              | 1000             | 1200             | 1400             | 1800             | 2200             |
|                | 11                                   | 180                          | 220           | 250            | 280            | 300            | 350            | 400            | 400            | 500            | 550             | 600              | 800              | 900              | 1100             | 1200             | 1600             | 2000             | 2400             |
| А              | 3-6                                  | 190                          | 220           | 250            | 290            | 320            | 360            | 400            | 440            | 500            | 560             | 660              | 780              | 920              | 1100             | 1350             | 1650             | 2000             | 2500             |
|                | 7                                    | 200                          | 250           | 280            | 300            | 350            | 400            | 450            | 500            | 550            | 600             | 700              | 900              | 1000             | 1200             | 1400             | 1800             | 2200             | 2800             |
|                | 8                                    | 220                          | 280           | 300            | 350            | 400            | 450            | 500            | 550            | 600            | 700             | 800              | 900              | 1100             | 1400             | 1600             | 2000             | 2400             | 3000             |
|                | 9                                    | 250                          | 280           | 350            | 400            | 400            | 500            | 500            | 600            | 700            | 800             | 900              | 1000             | 1200             | 1400             | 1800             | 2200             | 2500             | 3500             |
|                | 10                                   | 280                          | 300           | 350            | 400            | 450            | 500            | 600            | 600            | 700            | 800             | 900              | 1100             | 1400             | 1600             | 1800             | 2200             | 2800             | 3500             |
|                | 11                                   | 280                          | 350           | 400            | 450            | 500            | 550            | 600            | 700            | 800            | 900             | 1000             | 1200             | 1400             | 1600             | 2000             | 2500             | 3000             | 4000             |
|                | 12                                   | 300                          | 350           | 450            | 500            | 500            | 600            | 700            | 700            | 800            | 900             | 1100             | 1200             | 1600             | 1800             | 2200             | 2800             | 3500             | 4000             |

Таблица Б.8 – Допуск на смещение исходного контура  $T_H$ , мкм

| Вид сопряжения | Вид допуска* | Допуск на радиальное биение зубчатого венца $F_r$ , мкм (см. табл. 6) |             |              |              |              |              |              |              |              |              |              |               |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|----------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                |              | до 8                                                                  | св. 8 до 10 | св. 10 до 12 | св. 12 до 16 | св. 16 до 20 | св. 20 до 25 | св. 25 до 32 | св. 32 до 40 | св. 40 до 50 | св. 50 до 60 | св. 60 до 80 | св. 80 до 100 | св. 100 до 125 | св. 125 до 160 | св. 160 до 200 | св. 200 до 250 | св. 250 до 320 | св. 320 до 400 | св. 400 до 500 | св. 500 до 630 | св. 630 до 800 |
| $H, E$         | $h$          | 28                                                                    | 30          | 35           | 40           | 40           | 45           | 55           | 60           | 70           | 80           | 110          | 120           | 160            | 200            | 250            | 300            | 450            | 450            | 550            | 700            | 900            |
| $D$            | $d$          | 35                                                                    | 40          | 40           | 45           | 55           | 60           | 70           | 80           | 90           | 100          | 140          | 160           | 200            | 250            | 300            | 350            | 450            | 600            | 700            | 900            | 1200           |
| $C$            | $c$          | 45                                                                    | 50          | 55           | 60           | 70           | 80           | 90           | 100          | 120          | 140          | 180          | 200           | 250            | 300            | 400            | 500            | 600            | 700            | 900            | 1200           | 1400           |
| $B$            | $b$          | 55                                                                    | 60          | 70           | 70           | 80           | 90           | 100          | 120          | 140          | 180          | 200          | 250           | 300            | 400            | 500            | 600            | 700            | 900            | 1100           | 1400           | 1800           |
| $A$            | $a$          | 70                                                                    | 80          | 80           | 90           | 100          | 110          | 140          | 160          | 180          | 200          | 250          | 300           | 350            | 450            | 550            | 700            | 900            | 1100           | 1400           | 1600           | 2000           |
| -              | $z$          | 90                                                                    | 100         | 100          | 110          | 120          | 140          | 160          | 180          | 220          | 250          | 300          | 350           | 450            | 550            | 700            | 900            | 1100           | 1400           | 1600           | 2000           | 2500           |
| -              | $y$          | 110                                                                   | 120         | 140          | 140          | 160          | 180          | 200          | 250          | 280          | 350          | 350          | 500           | 600            | 700            | 900            | 1100           | 1400           | 1600           | 2000           | 2500           | 3500           |
| -              | $x$          | 140                                                                   | 160         | 160          | 180          | 200          | 220          | 250          | 300          | 350          | 400          | 400          | 600           | 700            | 900            | 1100           | 1400           | 1800           | 2000           | 2500           | 3000           | 4000           |

Таблица Б.9 – Наименьшее отклонение средней длины общей нормали (слагаемое I) для зубчатого колеса с внешними зубьями  $-E_{Wms}$ , для зубчатого колеса с внутренними зубьями  $+E_{Wmi}$ . Наименьшее отклонение длины общей нормали для зубчатого колеса с внешними зубьями  $-E_{Ws}$ , для зубчатого колеса с внутренними зубьями  $+E_{Wi}$

| Вид сопряжения | Степень точности по нормам плавности | Делительный диаметр $d$ , мм |               |                |                |                |                |                |                |                |                 |                  |                  |
|----------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|
|                |                                      | до 80                        | св. 80 до 125 | св. 125 до 180 | св. 180 до 250 | св. 250 до 315 | св. 315 до 400 | св. 400 до 500 | св. 500 до 630 | св. 630 до 800 | св. 800 до 1000 | св. 1000 до 1250 | св. 1250 до 1600 |
|                |                                      | МКМ                          |               |                |                |                |                |                |                |                |                 |                  |                  |
| $H$            | 3-6                                  | 12                           | 14            | 16             | 18             | 20             | 22             | 25             | 28             | 30             | 40              | 45               | 50               |
|                | 7                                    | 14                           | 16            | 18             | 20             | 22             | 25             | 28             | 30             | 35             | 45              | 50               | 55               |
| $E$            | 3-6                                  | 30                           | 35            | 40             | 46             | 52             | 57             | 63             | 70             | 80             | 90              | 105              | 125              |
|                | 7                                    | 35                           | 40            | 45             | 50             | 55             | 60             | 70             | 80             | 90             | 100             | 120              | 140              |
| $D$            | 3-6                                  | 46                           | 54            | 63             | 72             | 81             | 89             | 97             | 110            | 125            | 140             | 165              | 195              |
|                | 7                                    | 50                           | 60            | 70             | 80             | 90             | 100            | 110            | 120            | 140            | 160             | 180              | 220              |
|                | 8                                    | 55                           | 70            | 80             | 90             | 100            | 110            | 120            | 140            | 160            | 180             | 200              | 250              |
| $C$            | 3-6                                  | 74                           | 87            | 100            | 115            | 130            | 140            | 155            | 175            | 200            | 230             | 260              | 310              |
|                | 7                                    | 80                           | 100           | 110            | 120            | 140            | 160            | 180            | 200            | 220            | 250             | 280              | 350              |
|                | 8                                    | 90                           | 110           | 120            | 140            | 160            | 180            | 200            | 220            | 250            | 280             | 300              | 400              |
|                | 9                                    | 100                          | 120           | 140            | 160            | 180            | 200            | 200            | 250            | 280            | 300             | 350              | 450              |
| $B$            | 3-6                                  | 120                          | 140           | 160            | 185            | 210            | 230            | 250            | 280            | 320            | 360             | 420              | 500              |
|                | 7                                    | 140                          | 160           | 180            | 200            | 250            | 250            | 280            | 300            | 350            | 400             | 450              | 550              |
|                | 8                                    | 140                          | 160           | 200            | 220            | 250            | 280            | 300            | 350            | 400            | 450             | 500              | 600              |
|                | 9                                    | 160                          | 180           | 200            | 250            | 280            | 300            | 350            | 400            | 400            | 450             | 550              | 700              |
|                | 10                                   | 160                          | 200           | 220            | 250            | 300            | 350            | 350            | 400            | 450            | 500             | 600              | 700              |
|                | 11                                   | 180                          | 220           | 250            | 280            | 300            | 350            | 400            | 400            | 500            | 550             | 600              | 800              |
| $A$            | 3-6                                  | 190                          | 220           | 250            | 290            | 320            | 360            | 400            | 440            | 500            | 560             | 660              | 780              |
|                | 7                                    | 200                          | 250           | 280            | 300            | 350            | 400            | 450            | 500            | 550            | 600             | 700              | 900              |
|                | 8                                    | 220                          | 280           | 300            | 350            | 400            | 450            | 500            | 550            | 600            | 700             | 800              | 900              |
|                | 9                                    | 250                          | 280           | 350            | 400            | 400            | 500            | 500            | 600            | 700            | 800             | 900              | 1000             |
|                | 10                                   | 280                          | 300           | 350            | 400            | 450            | 500            | 600            | 600            | 700            | 800             | 900              | 1100             |
|                | 11                                   | 280                          | 350           | 400            | 450            | 500            | 550            | 600            | 700            | 800            | 900             | 1000             | 1200             |
|                | 12                                   | 300                          | 350           | 450            | 500            | 500            | 600            | 700            | 700            | 800            | 900             | 1100             | 1200             |

Таблица Б.10 – Наименьшее отклонение средней длины общей нормали (слагаемое II) для зубчатого колеса с внешними зубьями  $-E_{Wms}$ , для зубчатого колеса с внутренними зубьями  $+E_{Wmi}$ .

| Допуск на радиальное биение зубчатого венца $F_r$ , мкм (см. табл. 6) |             |              |              |              |              |              |              |              |              |              |               |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| до 8                                                                  | св. 8 до 10 | св. 10 до 12 | св. 12 до 16 | св. 16 до 20 | св. 20 до 25 | св. 25 до 32 | св. 32 до 40 | св. 40 до 50 | св. 50 до 60 | св. 60 до 80 | св. 80 до 100 | св. 100 до 125 | св. 125 до 160 | св. 160 до 200 | св. 200 до 250 | св. 250 до 320 | св. 320 до 400 | св. 400 до 500 | св. 500 до 630 | св. 630 до 800 |
| 2                                                                     | 2           | 3            | 3            | 4            | 5            | 7            | 9            | 11           | 14           | 18           | 22            | 25             | 35             | 45             | 55             | 70             | 90             | 110            | 140            | 180            |

Таблица Б.11 – Допуск на среднюю длину общей нормали  $T_{Wm}$ , мкм

| Вид сопряжения | Вид допуска* | Допуск на радиальное биение зубчатого венца $F_r$ , мкм (см. табл. 6) |             |              |              |              |              |              |              |              |              |              |               |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|----------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                |              | до 8                                                                  | св. 8 до 10 | св. 10 до 12 | св. 12 до 16 | св. 16 до 20 | св. 20 до 25 | св. 25 до 32 | св. 32 до 40 | св. 40 до 50 | св. 50 до 60 | св. 60 до 80 | св. 80 до 100 | св. 100 до 125 | св. 125 до 160 | св. 160 до 200 | св. 200 до 250 | св. 250 до 320 | св. 320 до 400 | св. 400 до 500 | св. 500 до 630 | св. 630 до 800 |
| $H, E$         | $h$          | 16                                                                    | 16          | 18           | 20           | 20           | 20           | 22           | 25           | 25           | 28           | 30           | 40            | 55             | 70             | 80             | 100            | 100            | 140            | 160            | 200            | 280            |
| $D$            | $d$          | 20                                                                    | 25          | 25           | 25           | 28           | 30           | 35           | 40           | 40           | 40           | 60           | 70            | 80             | 100            | 120            | 140            | 160            | 240            | 250            | 350            | 500            |
| $C$            | $c$          | 28                                                                    | 30          | 30           | 35           | 40           | 45           | 45           | 50           | 60           | 70           | 90           | 110           | 120            | 140            | 180            | 240            | 280            | 300            | 400            | 550            | 600            |
| $B$            | $b$          | 35                                                                    | 40          | 40           | 40           | 45           | 50           | 55           | 60           | 70           | 100          | 100          | 120           | 140            | 200            | 250            | 300            | 350            | 450            | 550            | 700            | 900            |
| $A$            | $a$          | 45                                                                    | 50          | 50           | 55           | 60           | 60           | 80           | 90           | 100          | 110          | 140          | 150           | 180            | 240            | 280            | 350            | 450            | 550            | 700            | 800            | 1000           |
| -              | $z$          | 60                                                                    | 60          | 60           | 70           | 70           | 80           | 100          | 110          | 120          | 140          | 180          | 200           | 250            | 300            | 400            | 500            | 600            | 800            | 800            | 1100           | 1400           |
| -              | $y$          | 70                                                                    | 80          | 90           | 90           | 100          | 110          | 120          | 160          | 180          | 220          | 240          | 300           | 350            | 400            | 500            | 600            | 800            | 900            | 1100           | 1400           | 2000           |
| -              | $x$          | 90                                                                    | 100         | 100          | 110          | 120          | 140          | 160          | 180          | 220          | 250          | 300          | 350           | 400            | 550            | 700            | 800            | 1100           | 1200           | 1400           | 1800           | 2400           |

Таблица Б.12 – Допуск на длину общей нормали  $T_W$ , мкм

| Вид сопряжения | Вид допуска* | Допуск на радиальное биение зубчатого венца $F_r$ , мкм (см. табл. 6) |             |              |              |              |              |              |              |              |              |              |               |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|----------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                |              | до 8                                                                  | св. 8 до 10 | св. 10 до 12 | св. 12 до 16 | св. 16 до 20 | св. 20 до 25 | св. 25 до 32 | св. 32 до 40 | св. 40 до 50 | св. 50 до 60 | св. 60 до 80 | св. 80 до 100 | св. 100 до 125 | св. 125 до 160 | св. 160 до 200 | св. 200 до 250 | св. 250 до 320 | св. 320 до 400 | св. 400 до 500 | св. 500 до 630 | св. 630 до 800 |
| $H, E$         | $h$          | 20                                                                    | 20          | 25           | 28           | 28           | 30           | 35           | 40           | 50           | 60           | 70           | 80            | 100            | 140            | 160            | 200            | 250            | 300            | 400            | 450            | 600            |
| $D$            | $d$          | 25                                                                    | 28          | 28           | 30           | 35           | 40           | 50           | 55           | 60           | 70           | 100          | 110           | 140            | 180            | 200            | 250            | 300            | 400            | 500            | 600            | 700            |
| $C$            | $c$          | 35                                                                    | 35          | 35           | 40           | 50           | 55           | 60           | 70           | 80           | 100          | 120          | 140           | 180            | 200            | 280            | 350            | 400            | 500            | 600            | 700            | 1000           |
| $B$            | $b$          | 35                                                                    | 40          | 50           | 50           | 55           | 60           | 70           | 80           | 100          | 120          | 140          | 180           | 200            | 280            | 350            | 400            | 500            | 600            | 700            | 1000           | 1200           |
| $A$            | $a$          | 50                                                                    | 55          | 55           | 60           | 70           | 80           | 100          | 110          | 120          | 140          | 180          | 200           | 250            | 300            | 350            | 500            | 600            | 700            | 1000           | 1100           | 1400           |
| -              | $z$          | 60                                                                    | 70          | 70           | 70           | 80           | 100          | 110          | 120          | 140          | 180          | 200          | 250           | 300            | 350            | 500            | 600            | 800            | 1000           | 1100           | 1400           | 1800           |
| -              | $y$          | 80                                                                    | 80          | 100          | 100          | 110          | 120          | 140          | 180          | 200          | 250          | 280          | 350           | 400            | 500            | 600            | 800            | 1000           | 1100           | 1400           | 1800           | 2500           |
| -              | $x$          | 100                                                                   | 110         | 110          | 120          | 140          | 140          | 180          | 200          | 250          | 280          | 350          | 400           | 500            | 600            | 800            | 1000           | 1200           | 1400           | 1800           | 2000           | 2800           |

Таблица Б.13 – Наименьшее отклонение толщины зуба  $E_{cs}$  для зубчатых колес с внешними и внутренними зубьями

| Вид сопряжения | Степень точности по нормам плавности | Делительный диаметр $d$ , мм |               |                |                |                |                |                |                |                |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|----------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                |                                      | до 80                        | св. 80 до 125 | св. 125 до 180 | св. 180 до 250 | св. 250 до 315 | св. 315 до 400 | св. 400 до 500 | св. 500 до 630 | св. 630 до 800 | св. 800 до 1000 | св. 1000 до 1250 | св. 1250 до 1600 | св. 1600 до 2000 | св. 2000 до 2500 | св. 2500 до 3150 | св. 3150 до 4000 | св. 4000 до 5000 | св. 5000 до 6300 |
|                |                                      | мкм                          |               |                |                |                |                |                |                |                |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| $H$            | 3-6                                  | 9                            | 10            | 12             | 14             | 16             | 16             | 18             | 20             | 22             | 30              | 35               | 35               | 45               | 50               | 60               | 70               | 90               | 120              |
|                | 7                                    | 10                           | 12            | 14             | 14             | 16             | 18             | 20             | 22             | 25             | 35              | 35               | 40               | 50               | 60               | 70               | 80               | 100              | 140              |
| $E$            | 3-6                                  | 22                           | 25            | 30             | 35             | 40             | 40             | 45             | 50             | 60             | 70              | 80               | 90               | 110              | 120              | 160              | 180              | 240              | 300              |
|                | 7                                    | 25                           | 30            | 35             | 35             | 40             | 45             | 50             | 60             | 70             | 70              | 90               | 100              | 120              | 140              | 180              | 200              | 250              | 350              |
| $D$            | 3-6                                  | 35                           | 40            | 45             | 55             | 60             | 60             | 70             | 80             | 90             | 100             | 120              | 140              | 180              | 200              | 240              | 300              | 350              | 450              |
|                | 7                                    | 35                           | 45            | 50             | 60             | 70             | 70             | 80             | 90             | 100            | 120             | 140              | 160              | 180              | 220              | 250              | 350              | 400              | 500              |
|                | 8                                    | 40                           | 50            | 60             | 70             | 70             | 80             | 90             | 100            | 120            | 140             | 140              | 180              | 200              | 250              | 300              | 350              | 450              | 550              |
| $C$            | 3-6                                  | 55                           | 60            | 70             | 80             | 90             | 100            | 110            | 120            | 140            | 160             | 180              | 220              | 250              | 300              | 400              | 500              | 600              | 700              |
|                | 7                                    | 60                           | 70            | 80             | 90             | 100            | 120            | 140            | 140            | 160            | 180             | 200              | 250              | 300              | 350              | 450              | 500              | 700              | 800              |
|                | 8                                    | 70                           | 80            | 90             | 100            | 120            | 140            | 140            | 160            | 180            | 200             | 220              | 300              | 350              | 400              | 500              | 600              | 700              | 900              |
|                | 9                                    | 70                           | 90            | 100            | 120            | 140            | 140            | 140            | 180            | 200            | 220             | 250              | 350              | 350              | 450              | 500              | 600              | 700              | 900              |

Продолжение табл. Б.13

| Вид сопряжения | Степень точности по нормам плавности | Делительный диаметр $d$ , мм |               |                |                |                |                |                |                |                |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|----------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                |                                      | до 80                        | св. 80 до 125 | св. 125 до 180 | св. 180 до 250 | св. 250 до 315 | св. 315 до 400 | св. 400 до 500 | св. 500 до 630 | св. 630 до 800 | св. 800 до 1000 | св. 1000 до 1250 | св. 1250 до 1600 | св. 1600 до 2000 | св. 2000 до 2500 | св. 2500 до 3150 | св. 3150 до 4000 | св. 4000 до 5000 | св. 5000 до 6300 |
|                |                                      | МКМ                          |               |                |                |                |                |                |                |                |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| В              | 3-6                                  | 90                           | 100           | 120            | 140            | 160            | 160            | 180            | 200            | 220            | 250             | 300              | 350              | 400              | 500              | 600              | 800              | 900              | 1100             |
|                | 7                                    | 100                          | 120           | 140            | 140            | 180            | 180            | 200            | 220            | 250            | 300             | 350              | 400              | 500              | 600              | 700              | 800              | 1000             | 1400             |
|                | 8                                    | 100                          | 120           | 140            | 160            | 180            | 200            | 220            | 250            | 300            | 350             | 350              | 450              | 500              | 600              | 700              | 900              | 1200             | 1400             |
|                | 9                                    | 120                          | 140           | 160            | 180            | 200            | 220            | 250            | 300            | 300            | 350             | 400              | 500              | 600              | 700              | 800              | 1000             | 1400             | 1400             |
|                | 10                                   | 120                          | 140           | 180            | 180            | 220            | 250            | 250            | 300            | 350            | 400             | 450              | 500              | 600              | 700              | 900              | 1000             | 1400             | 1600             |
|                | 11                                   | 140                          | 160           | 180            | 200            | 220            | 250            | 300            | 300            | 350            | 400             | 450              | 600              | 800              | 900              | 900              | 1200             | 1400             | 1800             |
| А              | 3-6                                  | 140                          | 160           | 180            | 200            | 250            | 250            | 300            | 300            | 350            | 400             | 500              | 600              | 700              | 800              | 1000             | 1200             | 1400             | 1800             |
|                | 7                                    | 150                          | 180           | 200            | 220            | 250            | 300            | 350            | 350            | 400            | 450             | 500              | 700              | 700              | 900              | 1000             | 1400             | 1600             | 2000             |
|                | 8                                    | 160                          | 200           | 220            | 250            | 300            | 350            | 350            | 400            | 450            | 500             | 600              | 700              | 800              | 1000             | 1200             | 1400             | 1800             | 2200             |
|                | 9                                    | 180                          | 200           | 250            | 300            | 300            | 350            | 350            | 450            | 500            | 600             | 700              | 700              | 900              | 1000             | 1400             | 1600             | 1800             | 2500             |
|                | 10                                   | 200                          | 220           | 250            | 300            | 350            | 350            | 450            | 450            | 500            | 600             | 700              | 800              | 1000             | 1200             | 1400             | 1600             | 2000             | 2500             |
|                | 11                                   | 200                          | 240           | 300            | 350            | 350            | 400            | 450            | 500            | 600            | 700             | 700              | 900              | 1000             | 1200             | 1400             | 1800             | 2200             | 3000             |
|                | 12                                   | 220                          | 250           | 350            | 350            | 350            | 450            | 500            | 500            | 600            | 700             | 800              | 900              | 1200             | 1400             | 1600             | 2000             | 2500             | 3000             |

Таблица Б.14 – Допуск на толщину зуба  $T_c$ , мкм

| Вид сопряжения | Вид допуска* | Допуск на радиальное биение зубчатого венца $F_r$ , мкм (см. табл. 6) |             |              |              |              |              |              |              |              |              |              |               |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|----------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                |              | До 8                                                                  | Св. 8 до 10 | Св. 10 до 12 | Св. 12 до 16 | Св. 16 до 20 | Св. 20 до 25 | Св. 25 до 32 | Св. 32 до 40 | Св. 40 до 50 | Св. 50 до 60 | Св. 60 до 80 | Св. 80 до 100 | Св. 100 до 125 | Св. 125 до 160 | Св. 160 до 200 | Св. 200 до 250 | Св. 250 до 320 | Св. 320 до 400 | Св. 400 до 500 | Св. 500 до 630 | Св. 630 до 800 |
| $H, E$         | $h$          | 20                                                                    | 22          | 25           | 30           | 30           | 35           | 40           | 45           | 50           | 70           | 70           | 90            | 120            | 140            | 180            | 220            | 250            | 350            | 400            | 500            | 700            |
| $D$            | $d$          | 25                                                                    | 30          | 30           | 35           | 40           | 45           | 50           | 60           | 70           | 70           | 100          | 120           | 140            | 180            | 220            | 250            | 350            | 450            | 500            | 700            | 700            |
| $C$            | $c$          | 35                                                                    | 35          | 35           | 45           | 50           | 60           | 70           | 70           | 90           | 100          | 140          | 160           | 180            | 220            | 300            | 350            | 450            | 500            | 700            | 900            | 1000           |
| $B$            | $b$          | 40                                                                    | 45          | 50           | 50           | 60           | 70           | 70           | 90           | 100          | 140          | 140          | 180           | 220            | 300            | 350            | 450            | 500            | 700            | 800            | 1000           | 1400           |
| $A$            | $a$          | 50                                                                    | 60          | 60           | 70           | 70           | 80           | 100          | 120          | 140          | 140          | 180          | 220           | 250            | 350            | 400            | 500            | 700            | 800            | 1000           | 1200           | 1400           |
| -              | $z$          | 70                                                                    | 70          | 70           | 80           | 90           | 100          | 140          | 140          | 160          | 180          | 220          | 250           | 350            | 400            | 500            | 700            | 800            | 1000           | 1200           | 1400           | 1800           |
| -              | $y$          | 80                                                                    | 90          | 100          | 100          | 120          | 140          | 140          | 180          | 200          | 250          | 300          | 350           | 450            | 500            | 700            | 800            | 1000           | 1200           | 1400           | 1800           | 2500           |
| -              | $x$          | 100                                                                   | 120         | 120          | 140          | 140          | 160          | 180          | 220          | 250          | 300          | 350          | 450           | 500            | 700            | 800            | 1000           | 1400           | 1400           | 1800           | 2200           | 3000           |

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
(обязательное)

Таблица В.1 – Расчет геометрических параметров ортогональной ( $\Sigma = 90^\circ$ ) конической передачи с прямыми зубьями

| №<br>п/п | Наименование параметра          | Обозначение | Расчетные формулы и числовые значения                                        |                                                              |
|----------|---------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|          |                                 |             | шестерня                                                                     | колесо                                                       |
| 1.       | Число зубьев                    | $z$         | 15                                                                           | 30                                                           |
| 2.       | Число зубьев плоского колеса    | $z_C$       | $z_C = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$ , $z_C = \sqrt{15^2 + 30^2} = 33,5410$          |                                                              |
| 3.       | Внешнее конусное расстояние, мм | $R_e$       | $R_e = 0,5m_e z_C$ , $R_e = 0,5 \cdot 5 \cdot 33,5410 = 83,8525$             |                                                              |
| 4.       | Ширина зубчатого венца, мм      | $b$         | $b \leq 0,3R_e$ , $b \leq 10m_e$ , $b = 25$                                  |                                                              |
| 5.       | Среднее конусное расстояние, мм | $R$         | $R = R_e - 0,5b$ , $R = 83,8525 - 0,5 \cdot 25 = 71,3525$                    |                                                              |
| 6.       | Средний окружной модуль, мм     | $m_m$       | $m_m = m_e \frac{R}{R_e}$ , $m_m = 5 \cdot \frac{71,3525}{83,8525} = 4,2546$ |                                                              |
| 7.       | Средний делительный диаметр, мм | $d$         | $d_1 = m_m z_1$<br>$d_1 = 4,2546 \cdot 15 = 63,8190$                         | $d_2 = m_m z_2$<br>$d_2 = 4,2546 \cdot 30 = 127,6380$        |
| 8.       | Угол делительного конуса        | $\delta$    | $tg \delta_1 = \frac{z_1}{z_2}$ , $\delta_1 = 26^\circ 34'$                  | $\delta_2 = 90^\circ - \delta_1$ , $\delta_2 = 63^\circ 26'$ |
| 9.       | Передаточное число              | $u$         | $u = \frac{z_2}{z_1}$ , $u = \frac{30}{15} = 2$                              |                                                              |
| 10.      | Коэффициент смещения            | $x$         | Определяется по данным табл. 7.9<br>$x_1 = 0,4$                              | $x_2 = -x_1$ , $x_2 = -0,4$                                  |

| №<br>п/п | Наименование параметра             | Обозначение | Расчетные формулы и числовые значения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                  |
|----------|------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          |                                    |             | шестерня                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | колесо                                                                                           |
| 11.      | Коэффициент изменения толщины зуба | $x_\tau$    | <p>При <math>u \geq 2,5</math> зубчатые колеса рекомендуется выполнять с различной толщиной зуба, увеличенной у исходного контура шестерни и соответственно уменьшенной у исходного контура колеса. Для расчета коэффициента изменения расчетной толщины зуба рекомендуют [10] эмпирическую формулу: <math>x_{\tau 1} = -x_{\tau 2} = 0,03 + 0,008(u - 2,5)</math>.</p> <p>В случае <math>u &lt; 2,5</math> назначают <math>x_{\tau 1} = -x_{\tau 2} = 0</math>.</p> <p>Т.к. <math>u = 2,0</math>, то <math>x_{\tau 1} = -x_{\tau 2} = 0</math>.</p> |                                                                                                  |
| 12.      | Внешняя высота головки зуба, мм    | $h_{ae}$    | $h_{ae1} = (h_a^* + x_1)m_e$ $h_{ae1} = (1 + 0,4) \cdot 5 = 7,0000$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $h_{ae2} = 2h_a^*m_e - h_{ae1}$ $h_{ae2} = 2 \cdot 1 \cdot 5 - 7 = 3,0000$                       |
| 13.      | Внешняя высота ножки зуба, мм      | $h_{fe}$    | $h_{fe1} = h_{ae2} + 0,2m_e$ $h_{fe1} = 3 + 0,2 \cdot 5 = 4,0000$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $h_{fe2} = h_{ae1} + 0,2m_e$ $h_{fe2} = 7 + 0,2 \cdot 5 = 8,0000$                                |
| 14.      | Внешняя высота зуба, мм            | $h_e$       | $h_{e1} = h_{ae1} + h_{fe1}$ $h_{e1} = 7 + 4 = 11$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $h_{e2} = h_{ae2} + h_{fe2}$ $h_{e2} = 3 + 8 = 11$                                               |
| 15.      | Угол ножки зуба                    | $\theta_f$  | $\operatorname{tg} \theta_{f1} = \frac{h_{fe1}}{R_e}, \theta_{f1} = 2^\circ 44'$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $\operatorname{tg} \theta_{f2} = \frac{h_{fe2}}{R_e}, \theta_{f2} = 5^\circ 27'$                 |
| 16.      | Угол головки зуба                  | $\theta_a$  | $\theta_{a1} = \theta_{f2}, \theta_{a1} = 5^\circ 27'$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $\theta_{a2} = \theta_{f1}, \theta_{a2} = 2^\circ 44'$                                           |
| 17.      | Угол конуса вершин                 | $\delta_a$  | $\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{a1}$ $\delta_{a1} = 26^\circ 34' + 5^\circ 27' = 32^\circ 01'$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{a2}$ $\delta_{a2} = 63^\circ 26' + 2^\circ 44' = 66^\circ 10'$ |
| 18.      | Угол конуса впадин                 | $\delta_f$  | $\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1}$ $\delta_{f1} = 26^\circ 34' - 2^\circ 44' = 23^\circ 50'$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2}$ $\delta_{f2} = 63^\circ 26' - 5^\circ 27' = 57^\circ 59'$ |

| №<br>п/п | Наименование параметра                                                  | Обозначение    | Расчетные формулы и числовые значения                                                                                                                           |                                                                                                                  |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          |                                                                         |                | шестерня                                                                                                                                                        | колесо                                                                                                           |
| 19.      | Внешний делительный диаметр, мм                                         | $d_e$          | $d_{e1} = m_e z_1$<br>$d_{e1} = 5 \cdot 15 = 75$                                                                                                                | $d_{e2} = m_e z_2$<br>$d_{e2} = 5 \cdot 30 = 150$                                                                |
| 20.      | Внешний диаметр вершин зубьев, мм                                       | $d_{ae}$       | $d_{ae1} = d_{e1} + 2h_{ae1} \cos \delta_1$<br>$d_{ae1} = 75 + 2 \cdot 7 \cdot \cos 26^\circ 34' = 87,5217$                                                     | $d_{ae2} = d_{e2} + 2h_{ae2} \cos \delta_2$<br>$d_{ae2} = 150 + 2 \cdot 3 \cdot \cos 63^\circ 26' = 152,6834$    |
| 21.      | Расстояние от вершины до плоскости внешней окружности вершин зубьев, мм | $B$            | $B_1 = 0,5d_{e2} - 2h_{ae1} \sin \delta_1$<br>$B_1 = 0,5 \cdot 150 - 2 \cdot 7 \cdot \sin 26^\circ 34' = 71,8693$                                               | $B_2 = 0,5d_{e1} - 2h_{ae2} \sin \delta_2$<br>$B_2 = 0,5 \cdot 75 - 2 \cdot 3 \cdot \sin 63^\circ 26' = 34,8168$ |
| 22.      | Внешняя окружная толщина зуба, мм                                       | $S_e$          | $S_{e1} = (0,5\pi + 2x_1 \operatorname{tg} \alpha + x_{\tau 1}) m_e$<br>$S_{e1} = (0,5\pi + 2 \cdot 0,4 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ + 0) \cdot 5 = 9,3096$ | $S_{e2} = \pi m_e - S_{e1}$<br>$S_{e2} = \pi \cdot 5 - 9,3096 = 6,3979$                                          |
| 23.      | Внешняя постоянная хорда зуба, мм                                       | $\bar{S}_{ce}$ | $\bar{S}_{ce1} = 0,8830 \cdot S_{e1}$<br>$\bar{S}_{ce1} = 0,8830 \cdot 9,3096 = 8,2206$                                                                         | $\bar{S}_{ce2} = 0,8830 \cdot S_{e2}$<br>$\bar{S}_{ce2} = 0,8830 \cdot 6,3979 = 5,6496$                          |
| 24.      | Высота до внешней постоянной хорды, мм                                  | $\bar{h}_{ce}$ | $\bar{h}_{ce1} = h_{ae1} - 0,1607 S_{e1}$<br>$\bar{h}_{ce1} = 7 - 0,1607 \cdot 9,3096 = 5,5039$                                                                 | $\bar{h}_{ce2} = h_{ae2} - 0,1607 S_{e2}$<br>$\bar{h}_{ce2} = 3 - 0,1607 \cdot 6,3979 = 1,9718$                  |

**НОРМИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ  
ТИПОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕХАНИЗМОВ.  
ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ПЕРЕДАЧ**

(часть 5)

Методические указания  
к выполнению курсовой работы

*Составители:* **Волошина** Наталия Александровна, **Филипович** Олег Викторович,  
**Балакина** Наталья Анатольевна, **Невар** Галина Валерьевна

*В авторской редакции*

Изд. № 180/18. Объем 7 п.л.  
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»