

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В.В. Гурин, В.М. Замятин, А.М. Попов

ДЕТАЛИ МАШИН

КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Книга 1

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки: бакалавров и магистров «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» и дипломированных специалистов «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Издательство
Томского политехнического университета
2009

УДК 621.81.001.63(075.8)

ББК 34.42я73

Г95

Гурин В.В.

Г95 Детали машин. Курсовое проектирование: учебник / В.В. Гурин, В.М. Замятин, А.М. Попов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – Кн. 1. – 378 с., 330 ил., 91 табл.

ISBN 978-5-982-98-551-4

В учебнике рассмотрены основные принципы и правила выполнения конструкторских документов при проектировании изделий машиностроения и их деталей на основании существующих в настоящее время стандартов, а также правила выполнения текстовых и графических документов, расчеты привода и его составляющих, справочные материалы. Приведена методика работы над проектом в четырех стадиях проектирования (техническом задании, эскизном и техническом проектах, рабочей документации).

Подготовлен на кафедре теоретической и прикладной механики Томского политехнического университета и кафедре прикладной механики Кемеровского технологического института пищевой промышленности, предназначен для студентов, обучающихся по техническим специальностям.

УДК 621.81.001.63(075.8)

ББК 34.42я73

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой «Строительные дорожные машины» ТГСУ

Ф.Ф. Кириллов

Доктор технических наук, профессор
главный конструктор НИИ «Технотрон»

А.К. Мартынов

ISBN 978-5-982-98-551-4 (кн. 1) © ГОУ ВПО «Томский политехнический университет», 2009

ISBN 978-5-982-98-549-1

© Гурин В.В., Замятин В.В., Попов А.М., 2009

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2009

СОДЕРЖАНИЕ

КНИГА 1

Введение	25
1. Содержание курсового проекта	26
1.1. Объекты курсового проектирования.....	26
1.2. Виды изделий.....	27
1.3. Виды конструкторских документов.....	28
1.4. Стадии разработки.....	29
1.5. Кинематические схемы.....	30
1.6. Личный шифр студента.....	31
1.7. Задания на курсовое проектирование.....	31
1.8. Объем курсового проекта.....	33
1.8.1. Расчет и эскизный проект.....	33
1.8.2. Технический проект.....	34
1.8.3. Рабочая документация.....	35
1.8.3.1. Червячное колесо.....	35
1.8.3.2. Цилиндрическое колесо.....	36
1.8.3.3. Коническое колесо.....	36
1.8.3.4. Выходной вал редуктора.....	36
1.9. Рекомендуемый порядок выполнения проекта.....	37
2. Основные правила выполнения конструкторской документации	39
2.1. Общие положения.....	39
2.2. Форматы.....	40
2.3. Текстовые технические документы.....	40
2.3.1. Общие положения.....	40
2.3.2. Обозначение изделий и конструкторских документов.....	41
2.3.3. Основная надпись.....	42
2.3.4. Общие правила выполнения текстов.....	43
2.3.5. Состав пояснительной записки к курсовому проекту.....	44
2.3.6. Титульный лист.....	44
2.3.7. Содержание.....	44
2.3.8. Техническое задание.....	46
2.3.9. Введение.....	46
2.3.10. Построение текста технического документа.....	46
2.3.11. Изложение текста.....	48
2.3.11.1. Условные буквенные и графические обозначения. Математические знаки.....	48
2.3.11.2. Числа в тексте.....	53
2.3.11.3. Написание формул.....	53
2.3.11.4. Оформление примечаний.....	56
2.3.11.5. Единицы физических величин.....	56
2.3.12. Иллюстрации.....	58
2.3.13. Графики и диаграммы.....	59
2.3.14. Таблицы.....	60
2.3.15. Список литературы.....	61
2.3.16. Приложения.....	61

2.3.17. Спецификация.....	62
2.4. Правила выполнения графической части курсового проекта.....	65
2.4.1. Общие правила оформления чертежей.....	65
2.4.1.1. Форматы.....	65
2.4.1.2. Обозначение изделий и конструкторских документов.....	65
2.4.1.3. Основные надписи и их расположение на чертежах.....	65
2.4.1.4. Линии.....	67
2.4.1.5. Изображения предметов.....	67
2.4.1.6. Графические обозначения материалов и правила их нанесения на чертежах.....	74
2.4.2. Нанесение размеров.....	74
2.4.2.1. Основные требования.....	75
2.4.2.2. Правила указания размеров.....	77
2.4.2.3. Нанесение размеров на чертеж детали.....	80
2.4.2.4. Нанесение размеров на чертеж сборочной единицы.....	82
2.4.3. Допуски и посадки.....	82
2.2.3.1. Применение ЕСДП для гладких цилиндрических и плоских соединений.....	82
2.4.3.1.1. Общие положения.....	82
2.4.3.1.2. Выбор системы посадок.....	83
2.4.3.1.3. Выбор посадок.....	84
2.4.3.1.4. Предельные отклонения размеров.....	84
2.4.3.2. Нормальные углы и допуски углов.....	85
2.4.3.3. Отклонения и допуски формы и расположения поверхностей.....	87
2.4.3.4. Шероховатость поверхности.....	94
2.4.3.4.1. Общие положения.....	94
2.4.3.4.2. Обозначение шероховатости поверхности.....	94
2.4.3.4.3. Выбор и указание на чертеже шероховатости поверхности.....	97
2.4.4. Расположение на чертеже детали размеров, обозначений баз, допусков формы, шероховатости.....	101
3. Механические передачи.....	102
3.1. Общие сведения.....	102
3.2. Зубчатые передачи.....	104
3.2.1. Общие сведения.....	104
3.2.2. Материалы зубчатых колес.....	105
3.2.2.1. Выбор материалов зубчатых колес.....	105
3.2.2.2. Назначение твердости материалов зубчатых колес.....	106
3.2.2.3. Способы упрочнения зубьев.....	107
3.2.2.4. Требования к термообрабатываемым деталям.....	109
3.2.2.5. Определение допускаемых напряжений материалов для зубчатых колес.....	110
3.2.3. Цилиндрические зубчатые передачи.....	113
3.2.3.1. Общие сведения.....	113
3.2.3.2. Расчет цилиндрических зубчатых передач.....	117
3.2.3.3. Правила выполнения чертежей.....	135
3.2.3.4. Конструирование цилиндрических зубчатых колес внешнего зацепления.....	137
3.2.3.5. Конструирование цилиндрических зубчатых колес внутреннего.....	139

зацепления.....	
3.2.3.6. Конструирование валов-шестерен.....	140
3.2.3.7. Допуски цилиндрических зубчатых передач.....	141
3.2.3.7.1. Степени точности и виды сопряжений.....	141
3.2.3.7.2. Нормы точности.....	143
3.2.3.7.3. Нормы бокового зазора.....	145
3.2.4. Конические зубчатые передачи.....	145
3.2.4.1. Общие сведения.....	145
3.2.4.1.1. Характеристики основных форм зубьев конических зубчатых колес.....	145
3.2.4.1.2. Прямозубые конические передачи.....	146
3.2.4.1.3. Конические передачи с круговым зубом.....	147
3.2.4.2. Расчет конических зубчатых передач.....	148
3.2.4.3. Правила выполнения чертежей.....	163
3.2.4.4. Конструирование конических зубчатых колес.....	166
3.2.4.5. Конструирование валов-шестерен.....	168
3.2.4.6. Допуски конических передач.....	168
3.2.4.6.1. Степени точности и виды сопряжения.....	168
3.2.4.6.2. Нормы точности.....	169
3.2.4.6.3. Нормы бокового зазора.....	170
3.3. Червячные передачи.....	170
3.3.1. Общие сведения.....	170
3.3.2. Материалы червяков и червячных колес. Назначение твердости и термообработки.....	172
3.3.2.1. Общие сведения.....	172
3.3.2.2. Определение допускаемых напряжений для материалов венцов червячных колес.....	173
3.3.2.3. Расчет червячной передачи.....	173
3.3.2.4. Правила выполнения чертежей.....	183
3.3.2.5. Конструирование червячных колес.....	186
3.3.2.6. Конструирование червяков.....	187
3.3.2.7. Допуски цилиндрических червячных передач.....	188
3.3.2.7.1. Степени точности и виды сопряжений.....	188
3.3.2.7.2. Нормы точности.....	190
3.3.2.7.3. Нормы бокового зазора.....	190
3.4. Цепные передачи.....	191
3.4.1. Общие сведения.....	191
3.4.2. Расчет цепной передачи.....	192
3.4.3. Правила выполнения чертежей.....	199
3.4.4. Конструирование элементов цепных передач.....	201
3.4.5. Допуски на размеры звездочек цепных передач.....	201
3.5. Ременные передачи.....	202
3.5.1. Общие сведения.....	202
3.5.2. Плоскоременные передачи.....	203
3.5.2.1. Общие сведения.....	203
3.5.2.2. Расчет плоскоременных передач.....	204
3.5.2.3. Конструкции шкивов.....	206
3.5.2.4. Допуски плоскоременных передач.....	207

3.5.3. Клиноременные передачи.....	207
3.5.3.1. Расчет клиноременных передач.....	208
3.5.3.2. Конструкции шкивов клиноременных передач.....	211
3.5.3.3. Допуски клиноременных передач.....	211
3.5.4. Определение величин составляющих силы, действующей на опору ременной передачи.....	212
3.5.5. Установка шкивов.....	213
4. Соединения валов с сопряженными деталями.....	214
4.1. Общие положения.....	214
4.2. Соединения типа «вал-ступица».....	214
4.2.1. Штифтовые соединения.....	214
4.2.1.1. Общие положения.....	214
4.2.1.2. Посадки штифтовых соединений.....	215
4.2.2. Шпоночные соединения.....	215
4.2.2.1. Общие положения.....	215
4.2.2.2. Расчет шпоночных соединений.....	216
4.2.2.3. Допуски и посадки шпоночных соединений.....	217
4.2.2.4. Конструктивные особенности шпоночных соединений.....	218
4.2.3. Шлицевые соединения.....	218
4.2.3.1. Прямобоочные шлицевые соединения.....	219
4.2.3.2. Эвольвентные шлицевые соединения.....	220
4.2.3.3. Шлицевые соединения с треугольным профилем.....	221
4.2.3.4. Изображение шлицевых валов, отверстий и их соединений.....	221
4.2.3.5. Допускаемые напряжения.....	222
4.2.3.6. Расчет шлицевых соединений на прочность.....	222
4.2.3.6.1. Шлицевые соединения с прямобоочными шлицами.....	223
4.2.3.6.2. Шлицевые соединения с эвольвентными шлицами.....	223
4.2.3.6.3. Шлицевые соединения с треугольными шлицами.....	223
4.3. Фланцевые соединения.....	224
4.4. Опоры валов.....	225
4.4.1. Подшипники качения.....	225
4.4.1.1. Общие сведения.....	225
4.4.1.2. Маркировка подшипников качения.....	228
4.4.1.3. Критерии работоспособности подшипников качения.....	231
4.4.1.4. Указания по подбору подшипников качения.....	231
4.4.1.5. Грузоподъемность подшипников качения. Эквивалентная нагрузка.....	231
4.4.1.5.1. Статическая грузоподъемность подшипников качения. Статическая эквивалентная нагрузка.....	231
4.4.1.5.1.1. Общие сведения.....	231
4.4.1.5.1.2. Базовая статическая грузоподъемность.....	232
4.4.1.5.1.3. Статическая эквивалентная нагрузка.....	232
4.4.1.5.2. Динамическая грузоподъемность подшипников качения. Динамическая эквивалентная нагрузка. Расчетный ресурс.....	233
4.4.1.5.2.1. Общие сведения.....	233
4.4.1.5.2.2. Базовая динамическая расчетная грузоподъемность.....	234
4.4.1.5.2.3. Динамическая эквивалентная нагрузка.....	235
4.4.1.5.2.4. Расчетный ресурс подшипника.....	235
4.4.1.6. Выбор и расчет подшипников качения.....	236

4.4.1.6.1. Силы, нагружающие подшипники.....	236
4.4.1.6.1.1. Радиальные реакции.....	236
4.4.1.6.1.2. Осевые реакции.....	237
4.4.1.6.2. Подбор подшипников.....	239
4.4.1.6.2.1. Расчет подшипников на статическую грузоподъемность.....	240
4.4.1.6.2.2. Расчет подшипников на заданный ресурс.....	240
4.4.2. Подшипниковые узлы.....	245
4.4.2.1. Зазоры и предварительные натяги в подшипниках качения.....	245
4.4.2.2. Допуски, посадки и шероховатость поверхностей подшипников и сопрягаемых с ними деталей.....	247
4.4.2.3. Основные схемы установки подшипников качения.....	248
4.4.2.4. Конструкции типовых подшипниковых узлов.....	250
4.4.2.4.1. Крепление внутренних колец подшипников на валах.....	250
4.4.2.4.2. Крепление подшипников в корпусе.....	251
4.4.2.4.3. Фиксирующая опора.....	252
4.4.2.4.3.1. Конструкции фиксирующих опор.....	252
4.4.2.4.3.2. Регулирование подшипников в фиксирующей опоре.....	256
4.4.2.4.3.2.1. Регулирование подшипников осевым перемещением наружных колец.....	253
4.4.2.4.3.2.2. Регулирование подшипников осевым перемещением внутренних колец.....	253
4.4.2.4.4. Плавающая опора.....	253
4.4.2.4.5. Опоры по схеме «в распор».....	254
4.4.2.4.5.1. Конструкции опор.....	254
4.4.2.4.5.2. Регулирование подшипников.....	255
4.4.2.4.6. Опоры по схеме «в растяжку».....	255
4.4.2.4.6.1. Конструкции опор.....	255
4.4.2.4.6.2. Регулирование подшипников.....	256
4.4.2.4.7. Опоры валов конических шестерен.....	256
4.4.2.4.8. Опоры валов-червяков.....	258
4.5. Конструирование стаканов и крышек подшипников.....	259
4.5.1. Конструирование стаканов.....	259
4.5.2. Конструирование крышек подшипников.....	260
4.5.2.1. Крышки подшипников приворачиваемые.....	260
4.5.2.2. Крышки подшипников закладные.....	262
5. Валы.....	263
5.1. Общие сведения.....	263
5.2. Материалы валов и осей.....	263
5.3. Конструирование валов.....	264
5.3.1. Ориентировочный расчет диаметра вала.....	264
5.3.2. Назначение диаметров вала на различных участках.....	265
5.3.3. Определение осевых размеров участков вала.....	265
5.3.4. Осевая фиксация деталей на валу.....	266
5.3.5. Конструкции валов.....	268
5.3.5.1. Входные (быстроходные) валы.....	268
5.3.5.1.1. Входные (быстроходные) валы-шестерни.....	268
5.3.5.1.2. Входные (быстроходные) валы с насадной шестерней.....	270

5.3.5.2. Выходные (тихоходные) валы.....	271
5.3.5.2.1. Выходные (тихоходные) валы с расположением колеса между подшипниками.....	271
5.3.5.2.2. Выходные (тихоходные) валы с консольным расположением колеса.....	273
5.3.6. Расчет валов на прочность и сопротивление усталости.....	273
5.3.6.1. Общие положения.....	273
5.3.6.2. Методика построения эпюр изгибающих и крутящих моментов.....	274
5.3.6.2.1. Определение составляющих реакций в опорах.....	276
5.3.6.2.1.1. Плоскость <i>YOZ</i>	276
5.3.6.2.1.2. Плоскость <i>XOZ</i>	277
5.3.6.2.2. Построение эпюр изгибающих моментов.....	277
5.3.6.2.2.1. Плоскость <i>YOZ</i>	277
5.3.6.2.2.2. Плоскость <i>XOZ</i>	278
5.3.6.2.3. Построение эпюр крутящих моментов.....	278
5.3.6.3. Расчет валов на статическую прочность.....	279
5.3.6.4. Расчет валов на выносливость.....	280
6. Смазывание поверхностей трения.....	283
6.1. Смазочные материалы.....	283
6.2. Смазывание зубчатых и червячных передач.....	284
6.3. Смазывание подшипников.....	286
6.4. Уплотнения.....	287
6.5. Смазочные устройства.....	288
6.5.1. Пробки.....	288
6.5.2. Маслоуказатели и отдушины.....	289
7. Резьбовые соединения.....	291
7.1. Общие сведения.....	291
7.2. Изображение резьбы.....	291
7.3. Механические свойства крепежных деталей.....	293
7.4. Расчет резьбовых соединений.....	293
7.4.1. Допускаемые напряжения и коэффициенты безопасности.....	293
7.4.2. Прочность резьбы гаек и болтов.....	294
7.4.3. Влияние конструктивных и технологических факторов на прочность резьбовых соединений.....	294
7.5. Материалы, применяемые для резьбовых соединений при высоких температурах.....	296
8. Корпусные детали.....	297
8.1. Общие рекомендации.....	297
8.2. Способы получения литых деталей.....	299
8.3. Требования, предъявляемые к литым деталям.....	299
8.4. Правила выполнения чертежей литых деталей.....	301
8.4.1. Нанесение размеров на чертежах литых деталей.....	301
8.4.2. Допуски размеров, формы, расположения и неровностей поверхностей отливок.....	302
8.5. Корпуса редукторов.....	305
8.5.1. Литые корпуса редукторов.....	305
8.5.1.1. Корпуса цилиндрических редукторов.....	305
8.5.1.1.1. Определение базовых размеров.....	305

8.5.1.1.2. Конструктивное оформление приливов для подшипниковых гнезд.....	306
8.5.1.1.3. Крепление крышки подшипника к корпусу.....	307
8.5.1.1.4. Крепление крышки к корпусу.....	308
8.5.1.1.5. Фиксирование крышки корпуса относительно основания корпуса.....	309
8.5.1.1.6. Конструктивное оформление опорной части корпуса.....	310
8.5.1.1.7. Оформление прочих конструктивных элементов корпусных деталей.....	311
8.5.1.2. Корпуса конических редукторов.....	312
8.5.1.3. Корпуса червячных редукторов.....	312
8.5.1.4. Смотровые окна и их крышки.....	314
8.5.2. Сварные корпуса редукторов.....	315
8.5.2.1. Сварные соединения.....	315
8.5.2.1.1. Общие сведения.....	315
8.5.2.1.2. Ручная дуговая сварка.....	316
8.5.2.1.3. Дуговая сварка в защитном газе.....	317
8.5.2.1.4. Газовая сварка.....	317
8.5.2.1.5. Виды сварных соединений.....	317
8.5.2.1.6. Выбор сварочных материалов.....	319
8.5.2.1.7. Конструктивные элементы и размеры стандартных швов.....	320
8.5.2.1.8. Расчет сварных соединений на прочность.....	320
8.5.2.1.9. Условные изображения и обозначения сварных швов.....	322
8.5.2.1.10. Написание технических требований на чертежах сварных конструкций.....	325
8.5.2.2. Конструирование сварных корпусов.....	327
9. Плиты и рамы.....	329
10 Муфты.....	333
10.1. Общие сведения.....	333
10.2. Классификация муфт.....	333
10.2.1. Постоянные муфты.....	333
10.2.1.1. Глухие муфты.....	334
10.2.1.1.1. Втулочные муфты.....	334
10.2.1.1.2. Фланцевые муфты.....	334
10.2.1.2. Упругие муфты.....	335
10.2.1.2.1. Упругие втулочно-пальцевые муфты.....	335
10.2.1.2.2. Упругие муфты с торообразной оболочкой.....	336
10.2.1.2.3. Упругие муфты со звездочкой.....	336
10.2.1.3. Компенсирующие муфты.....	337
10.2.1.3.1. Зубчатые муфты.....	337
10.2.1.3.2. Цепные муфты.....	338
10.2.1.3.3. Шарнирные муфты.....	338
10.2.2. Сцепные муфты.....	339
10.2.2.1. Сцепные управляемые муфты.....	339
10.2.2.2. Сцепные самоуправляемые муфты.....	340
10.2.2.2.1. Предохранительные муфты.....	340
10.2.2.2.1.1. Предохранительные муфты с разрушающимся элементом.....	341
10.2.2.2.1.2. Самоуправляемые предохранительные муфты.....	341

10.2.2.2.2. Обгонные муфты.....	342
10.2.2.2.3. Центробежные муфты.....	342
10.2.2.2.3.1. Фрикционная центробежная муфта радиального действия....	343
10.2.2.2.3.2. Шариковая муфта.....	343
10.2.2.2.3.3. Порошковая муфта.....	344
10.3. Выбор муфты.....	345
10.4. Установка полумуфт на валах.....	346
10.5. Отклонения от соосности валов.....	346
10.6. Параметры упругих втулочно-пальцевых муфт.....	348
11. Двигатель.....	350
11.1. Основные стандарты по электродвигателям.....	350
11.2. Типы электродвигателей и их параметры.....	350
11.3. Выбор электродвигателя привода.....	351
12. Покрытия.....	355
12.1. Общие сведения.....	355
12.2. Коррозия металлов.....	355
12.3. Лакокрасочные покрытия.....	356
12.3.1. Обозначение лакокрасочных материалов.....	356
12.3.2. Обозначение условий эксплуатации.....	358
12.3.3. Обозначение покрытий.....	360
13. Порядок выполнения проекта.....	362
13.1. Выбор асинхронного электродвигателя.....	362
13.1.1. Определение требуемой мощности асинхронного электродвигателя и частоты вращения его ротора.....	362
13.1.2. Определение типа асинхронного электродвигателя.....	363
13.2. Определение общего передаточного числа привода и разбивка его по ступеням.....	364
13.3. Определение частот вращения угловых скоростей и крутящих моментов.....	365
13.4. Расчет и эскизное проектирование элементов механических передач.....	367
13.4.1. Закрытая передача.....	367
13.4.1.1. Выбор материалов элементов передачи.....	367
13.4.1.2. Определение размеров элементов закрытой передачи.....	367
13.4.1.2.1. Цилиндрические зубчатые передачи.....	367
13.4.1.2.2. Конические зубчатые передачи.....	367
13.4.1.2.3. Червячная передача.....	368
13.4.1.3. Эскизная проработка конструкций элементов закрытой передачи..	368
13.5. Проверка прочности зубьев колес закрытой зубчатой передачи (или зубьев колеса червячной передачи) по контактными напряжениям.....	368
13.6. Определение составляющих силы в зацеплении закрытой зубчатой (или червячной) передачи.....	368
13.7. Проверка прочности зубьев колес закрытой зубчатой передачи (или колеса червячной передачи) по изгибным усталостным напряжениям.....	369
13.8. Определение коэффициента полезного действия (КПД) червячной передачи и тепловой расчет (для червячных редукторов).....	369
13.9. Расчет открытой передачи привода.....	369
13.9.1. Расчет и проектирование цепной передачи.....	369
13.9.2. Расчет и проектирование ременных передач.....	369

13.9.2.1. Расчет и проектирование плоскоременных передач.....	369
13.9.2.2. Расчет и проектирование клиноременных передач.....	370
13.9.2.3. Силы, действующие в ременной передаче.....	370
13.9.3. Расчет открытой зубчатой передачи.....	370
13.9.3.1. Цилиндрические зубчатые передачи.....	370
13.9.3.2. Конические зубчатые передачи.....	371
13.10. Эскизная компоновка привода.....	372
13.10.1. Проектный (предварительный) расчет валов привода.....	372
13.10.1.1. Выбор материала валов.....	372
13.10.1.2. Ориентировочный расчет диаметров и осевых размеров участков валов.....	372
13.10.2. Предварительный выбор схем подшипниковых узлов, подбор подшипников качения.....	373
13.10.3. Расчет шпоночных или шлицевых соединений.....	373
13.10.4. Установка шкивов.....	373
13.10.5. Подбор соединительных муфт.....	373
13.10.6. Обоснование выбора способов смазки элементов привода и назначение смазочных материалов для элементов привода.....	373
13.10.7. Эскизная компоновка.....	373
13.11. Определение реакций в опорах привода.....	375
13.12. Проверка ранее назначенных подшипников качения привода по динамической грузоподъемности и по долговечности.....	375
13.13. Конструктивная компоновка привода.....	375
13.14. Проверочные расчеты валов редуктора.....	376
13.14.1. Построение эпюр изгибающих и крутящих моментов.....	376
13.14.2. Определение коэффициентов безопасности для возможных опасных поперечных сечений валов редуктора.....	376
13.15. Нанесение размеров, номеров позиций. Назначение необходимых допусков и посадок.....	376
13.16. Окончательное оформление чертежей общего вида редуктора. Выполнение текстовой части чертежей общего вида редуктора.....	376
13.17. Выполнение рабочей документации.....	377
13.18. Оформление текстовой документации проекта (пояснительной записки и спецификаций).....	377

Книга 2

14. Справочные материалы.....	403
14.1. Материалы конструкционные.....	403
Таблица П.1 Примерное назначение сталей.....	403
Таблица П.2 Механические свойства конструкционных сталей.....	405
Таблица П.3 Механические свойства коррозионно-стойких, жаропрочных и жаростойких сталей. ГОСТ 5949-75.....	406
Таблица П.4 Материалы для червячных колес.....	407
Таблица П.5 Глубина азотирования, мм.....	407
Таблица П.6 Сравнительная таблица твердости металлов и сплавов.....	408

Таблица П.7 Перевод чисел твердости <i>HRC</i> шкалы С Роквелла в числа твердости <i>HRC₃</i> шкалы <i>C₃</i> Роквелла, воспроизводимой государственным специальным эталоном.....	408
Таблица П.8 Числа твердости <i>HRC₃</i> и <i>HB</i> для некоторых деталей и инструментов.....	409
14.2. Профили	413
Таблица П.9 Равнополочные уголки. ГОСТ 8509-93. Размеры и справочные величины для осей, мм.....	413
Таблица П.10 Неравнополочные уголки. ГОСТ 8510-86. Размеры и справочные величины для осей, мм.....	416
Таблица П.11 Балки двутавровые. Размеры и справочные величины для осей, мм. ГОСТ 8239-89.....	417
Таблица П.12 Швеллеры. Размеры и справочные величины для осей, мм. ГОСТ 8240-89.....	418
Таблица П.13 Профили деталей, примыкающих к стальным горячекатаным равнополочным уголкам. Размеры, мм. ГОСТ 8509-93.....	419
Таблица П.14 Профиль деталей, примыкающих к стальным горячекатаным неравнополочным уголкам. Размеры, мм. ГОСТ 8510-86.....	420
Таблица П.15 Профиль деталей, примыкающих к двутавровым балкам. Размеры, мм. ГОСТ 8239-89.....	421
Таблица П.16 Профиль деталей, примыкающих к швеллерам. Размеры, мм. ГОСТ 8240-89.....	422
14.3. Трубы	423
Таблица П.17 Стальные неоцинкованные и оцинкованные стальные сварные водогазопроводные трубы. Размеры и резьба труб, мм. ГОСТ 3262-75.....	423
Таблица П.18 Стальные бесшовные холоднодеформированные трубы. Диаметры и толщины стенок труб. Размеры, мм. ГОСТ 8734-75.....	424
Таблица П.19 Предельные отклонения размеров стальных бесшовных холоднодеформированных труб.....	426
Таблица П.20 Стальные бесшовные горячекатаные трубы. Диаметры и толщины стенок труб. Размеры, мм. ГОСТ 8732-78.....	426
Таблица П.21 Бесшовные горячедеформированные трубы из коррозионно-стойкой стали. Диаметры и толщины стенок горячедеформированных труб. Размеры, мм. ГОСТ 9940-81.....	427
Таблица П.22 Предельные отклонения бесшовных горячедеформированных труб.....	428
Таблица П.23 Бесшовные холодно- и теплодеформированные трубы из коррозионно-стойкой стали. Диаметры и толщины стенок холоднокатаных, холодноотянутых и теплокатаных труб. Размеры, мм. ГОСТ 9941-81.....	428
Таблица П.24 Предельные отклонения труб.....	429
Таблица П.25 Механические свойства труб из коррозионно-стойких сталей....	430
Таблица П.26 Медные трубы. Диаметры и толщины стенок тянутых и холоднокатаных труб. Размеры, мм. ГОСТ 617-72.....	430
Таблица П.27 Механические свойства медных труб.....	432
Таблица П.28 Латунные трубы. Размеры, мм. ГОСТ 494-76.....	432
Таблица П.29 Механические свойства тянутых и холоднокатаных латунных труб.....	433

Таблица П.30 Бронзовые прессованные трубы. Диаметры и толщины стенок труб. Размеры, мм ГОСТ 1208-73.....	434
Таблица П.31 Механические свойства бронзовых прессованных труб.....	434
Таблица П.32 Бесшовные горячекатаные трубы из сплавов на основе титана. Диаметры и толщины стенок труб. Размеры, мм. ГОСТ 21945-76.....	434
Таблица П.33 Предельные отклонения размеров труб из сплавов на основе титана.....	435
Таблица П.34 Механические свойства металла труб из сплавов на основе титана.....	435
Таблица П.35 Трубы из титанового сплава ВТ1-0. ОСТ 1 90050-72. Размеры труб, мм.....	436
Таблица П.36 Трубы из титанового сплава марок ОТ4 и ОТ4-1. Размеры, мм. ТУ-1-5-348-75.....	436
Таблица П.37 Трубы из титанового сплава ОТ4 и ОТ4-1. Размеры труб, мм. ОСТ 1 90050-72.....	437
Таблица П.38 Катаные и тянутые трубы из алюминия и алюминиевых сплавов. Диаметры и толщины стенок труб. Размеры, мм. ГОСТ 18475-73....	437
Таблица П.39 Механические свойства катаных и тянутых труб из алюминия и алюминиевых сплавов.....	438
Таблица П.40 Прессованные трубы из алюминия и алюминиевых сплавов. Диаметры и толщины стенок труб. Размеры, мм. ГОСТ 18482-73.....	439
Таблица П.41 Механические свойства прессованных труб из алюминия и алюминиевых сплавов.....	440
Таблица П.42 Напорные трубы из полиэтилена. Типы труб из полиэтилена. ГОСТ 18599-73.....	441
Таблица П.43 Диаметры и толщины стенок труб из полиэтилена, мм.....	441
Таблица П.44 Предельные отклонения толщины стенок труб из полиэтилена высокой и низкой плотности, мм.....	442
Таблица П.45 Механические свойства труб.....	443
Таблица П.46 Изменение размеров труб в осевом направлении после прогрева патрубка в течение 1 часа.....	443
Таблица П.47 Условия испытаний гидростатическим давлением.....	443
Таблица П.48 Резиновые технические трубки. Типы резиновых трубок и их назначение. ГОСТ 5496-67.....	443
Таблица П.49 Размеры резиновых трубок, мм.....	444
14.4. Размеры. Допуски и посадки. Шероховатость.....	444
Таблица П.50 Размеры нормальные линейные, мм. ГОСТ 6636-69.....	444
Таблица П.51 Рекомендуемые посадки в системе отверстия для номинальных размеров (1–500) мм.....	445
Таблица П.52 Рекомендуемые посадки в системе отверстия для номинальных размеров (500-3150) мм.....	445
Таблица П.53 Значения допусков для размеров до 500 мм. ГОСТ 25346-82.....	446
Таблица П.54 Предельные отклонения отверстий. ГОСТ 25347-82.....	447
Таблица П.55 Предельные отклонения валов. ГОСТ 25347-82.....	448
Таблица П.56 Предельные отклонения радиусов закруглений и фасок. ГОСТ 25670-83.....	450
Таблица П.57 Нормальные углы. ГОСТ 8908-81.....	450
Таблица П.58 Уклоны и соответствующие им углы.....	451

Таблица П.59 Допуски на угловые размеры. ГОСТ 8908-81.....	451
Таблица П.60 Числовые значения допусков формы и расположения поверхностей, мкм.....	452
Таблица П.61 Допуски цилиндричности, круглости и профиля продольного сечения. ГОСТ 24643-81.....	452
Таблица П.62 Допуски плоскостности и прямолинейности. ГОСТ 24643-81...	453
Таблица П.63 Допуски параллельности, перпендикулярности, наклона, торцевого биения и полного торцевого биения. ГОСТ 24643-81.....	454
Таблица П.64 Допуски на радиальное биение и полное радиальное биение. Допуски соосности, симметричности и пересечения осей в диаметральном выражении. ГОСТ 24643-81.....	454
Таблица П.65 Предельные отклонения размеров, координирующих оси отверстий (система прямоугольных координат), мм.....	455
Таблица П.66 Предельные отклонения размеров, координирующих оси отверстий (система полярных координат).....	456
Таблица П.67 Отклонения размеров, формы взаимного расположения поверхностей деталей, получаемые после чистовой обработки на токарных и токарно-карусельных станках.....	458
Таблица П.68 Отклонения размеров, формы взаимного расположения поверхностей деталей, получаемые после чистовой обработки на горизонтально-расточных станках.....	458
Таблица П.69 Отклонения размеров, формы взаимного расположения поверхностей деталей, получаемые после чистовой обработки на круглошлифовальных станках.....	459
Таблица П.70 Отклонения размеров, формы взаимного расположения поверхностей деталей, получаемые после чистовой обработки на координатно-расточных станках.....	459
Таблица П.71 Отклонения размеров, формы взаимного расположения поверхностей деталей, получаемые после чистовой обработки на внутришлифовальных горизонтальных станках.....	459
Таблица П.72 Отклонения размеров, формы взаимного расположения поверхностей деталей, получаемые после чистовой обработки на плоскошлифовальных станках.....	460
Таблица П.73 Отклонения размеров, формы взаимного расположения поверхностей деталей, получаемые после чистовой обработки на фрезерных станках.....	460
Таблица П.74 Отклонения размеров, формы взаимного расположения поверхностей деталей, получаемые после чистовой обработки на долбежных и строгальных станках.....	461
Таблица П.75 Среднее арифметическое отклонение профиля R_a , мкм.....	462
Таблица П.76 Высота неровностей профиля по 10 точкам R_z и наибольшая высота неровностей профиля R_{max} , мкм.....	462
Таблица П.77 Соотношения значений параметров R_a , R_z , R_{max} и базовой длины.....	463
Таблица П.78 Значение параметров шероховатости поверхности изделий в зависимости от их назначения, мкм. Наибольшие значения параметров шероховатости для полей допусков квалитетов 6-9, 11, 12, 14.....	463
Таблица П.79 Выбор шероховатости резьбовых соединений.....	463

Таблица П.80 Числовые значения параметров шероховатости посадочных поверхностей шарико- и роликоподшипников.....	464
Таблица П.81 Числовые значения параметров шероховатости рабочих поверхностей зубчатых колес и червяков, мкм, не более.....	464
Таблица П.82 Числовые значения параметров шероховатости поверхности для посадок с зазором, R_a , мкм, не более.....	464
Таблица П.83 Числовые значения параметров шероховатости поверхности для посадок с натягом и переходных, мкм.....	465
Таблица П.84 Числовые значения параметров шероховатости поверхностей металлических изделий, образованных обработкой без удаления слоя материала, мкм.....	466
Таблица П.85 Числовые значения параметров шероховатости поверхностей металлических изделий, образованных обработкой с удалением слоя материала, мкм.....	467
Таблица П.86 Числовые значения параметров шероховатости при обработке изделий из пластмасс, мкм.....	468
Таблица П.87 Характеристики электрофизических и электрохимических методов обработки.....	469
14.5. Сварка.....	472
Таблица П.88 Группы свариваемости сталей и сплавов.....	472
Таблица П.89 Технологические особенности сварки сталей.....	474
Таблица П.90 Рекомендуемые сварочные материалы при ручной дуговой сварке сталей и сплавов.....	475
Таблица П.91 Рекомендуемые сварочные материалы при сварке разнородных сталей и сплавов.....	476
Таблица П.92 Механические характеристики электродов для дуговой сварки.....	477
Таблица П.93 Рекомендуемые марки проволоки алюминиевых сплавов для сварки.....	477
Таблица П.94 Марки проволоки, обеспечивающие повышенную стойкость сварных соединений алюминиевых сплавов против горячих трещин.....	478
Таблица П.95 Область применения, свойства и свариваемость алюминиевых сплавов.....	478
Таблица П.96 Рекомендуемые марки сварочной и присадочной проволоки при сварке меди, медных и титановых сплавов.....	480
Таблица П.97 Соединения сварные. Размеры. ГОСТ 5264-80.....	481
14.6. Резьбы. Крепежные детали.....	489
Таблица П.98 Стандартизация метрических резьб.....	489
Таблица П.99 Резьба метрическая. Размеры, мм. ГОСТ 24705-81.....	489
Таблица П.100 Степени точности диаметров резьб. ГОСТ 16093-81.....	491
Таблица П.101 Длины свинчивания. ГОСТ 16093-81.....	491
Таблица П.102 Поля допусков метрической резьбы. ГОСТ 16093-81.....	492
Таблица П.103 Поля допусков трапецеидальной однозаходной резьбы. ГОСТ 9562-81.....	493
Таблица П.104 Основные отклонения и степени точности резьбы с натягом. ГОСТ 4608-81.....	493
Таблица П.105 Поля допусков и посадки резьбовых соединений с натягом. ГОСТ 4608-81.....	493

Таблица П.106 Предельные отклонения шага и половины угла профиля резьбы.....	494
Таблица П.107 Основные отклонения и степени точности для резьб с переходными посадками. ГОСТ 24834-81.....	494
Таблица П.108 Поля допусков и их сочетания в посадках. ГОСТ 24834-81....	495
Таблица П.109 Виды и обозначения покрытий болтов, винтов, шпилек и гаек. ГОСТ 1759.0-87.....	495
Таблица П.110 Расшифровка обозначения болта, шпильки и гайки.....	495
Таблица П.111 Длина рабочей части резьбы L (не менее) при временном сопротивлении материала болта, винта, шпильки $\sigma_v=333$ МПа.....	496
Таблица П.112 Длина рабочей части резьбы L (не менее) при временном сопротивлении материала болта, винта, шпильки $\sigma_v=588$ МПа.....	497
Таблица П.113 Размеры сбегов, недорезов, проточек и фасок для метрической наружной резьбы. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 10549-63..	498
Таблица П.114 Размеры сбегов, недорезов, проточек и фасок для метрической внутренней резьбы. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 10549-63.....	499
Таблица П.115 Болты повышенной точности (ГОСТ 7805-70) и нормальной точности (ГОСТ 7798-70).....	500
Таблица П.116 Длина болтов при $d = (2-5)$ мм. Размеры, мм. ГОСТ 7805-70.....	501
Таблица П.117 Длины болтов. ГОСТ 7805-70 и ГОСТ 7798-70.....	501
Таблица П.118 Винты с цилиндрической головкой и шестигранным углублением под ключ. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 11738-72.....	502
Таблица П.119 Шпильки резьбовые. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 22034-76.....	503
Таблица П.120 Пробки с прокладками. Номинальные размеры, мм.....	504
Таблица П.121 Рым-болты и гнезда под рым-болты. Размеры, мм. ГОСТ 4751-73.....	504
Таблица П.122 Грузоподъемность рым-болтов.....	505
Таблица П.123 Винты грузовые (цапфы). ГОСТ 8922-69.....	505
Таблица П.124 Гайки шестигранные нормальной точности. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 5915-70.....	506
Таблица П.125 Круглые гайки с отверстиями на торце под ключ. ГОСТ 6393-73 Шлицевые гайки. ГОСТ 11871-73. Номинальные размеры, мм.....	506
Таблица П.126 Шайбы пружинные. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 6402-70.....	508
Таблица П.127 Шайбы стопорные многолапчатые. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 11872-73.....	509
Таблица П.128 Поверхности опорные под крепежные детали. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 12876-67.....	510
Таблица П.129 Отверстия сквозные под крепежные детали. Размеры, мм. ГОСТ 11284-75.....	510
Таблица П.130 Рекомендуемые технологические процессы изготовления болтов, винтов и шпилек из нелегированных и легированных сталей и марки сталей. ГОСТ 1759.4-87.....	511

Таблица П.131 Механические свойства болтов, винтов и шпилек с диаметром резьбы от 1 мм до 48 мм.....	511
Таблица П.132 Механические свойства болтов и гаек с диаметром резьбы свыше 48 мм.....	512
Таблица П.133 Механические свойства болтов. ГОСТ 22356-77.....	513
Таблица П.134 Механические свойства гаек. ГОСТ 22356-77.....	513
Таблица П.135 Механические свойства болтов, винтов и шпилек из коррозионно-стойких, жаропрочных и теплоустойчивых сталей при нормальной температуре. ГОСТ 1759.0-87.....	514
Таблица П.136 Механические свойства болтов, винтов, шпилек из цветных сплавов при нормальной температуре. ГОСТ 1759.0-87.....	514
Таблица П.137 Механические свойства материалов крепежных деталей (болтов, винтов, шпилек, гаек, втулок).....	515
Таблица П.138 Разрушающие усилия для болтов, кН.....	515
Таблица П.139 Максимальное усилие затяжки $Q_{o\max}$ и максимальный момент затяжки T_{\max} для резьбовых соединений при напряжении затяжки $\sigma_o=0,9\sigma_T$	516
Таблица П.140 Ориентировочные значения коэффициентов безопасности для болтов, винтов и шпилек при расчете на разрыв (соединения с неконтролируемой затяжкой).....	517
Таблица П.141 Допускаемые напряжения τ_p и $\sigma_{сmp}$ для болтов, винтов и соединяемых деталей.....	517
Таблица П.142 Штифты цилиндрические и конические. Номинальные размеры, мм.....	518
14.7. Шпоночные и шлицевые соединения.....	519
Таблица П.143 Шпонки призматические. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 23360-78.....	519
Таблица П.144 Шпонки сегментные. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 24071-80.....	520
Таблица П.145 Поля допусков элементов шпоночных соединений.....	521
Таблица П.146 Предельные отклонения ширины призматических шпонок и пазов под них на валу и во втулке.....	521
Таблица П.147 Предельные отклонения глубины шпоночных пазов на валу и во втулке, мм.....	522
Таблица П.148 Допуски параллельности и симметричности расположения шпоночных пазов в отверстиях и на валу.....	522
Таблица П.149 Соединения шлицевые прямобоочные. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 1139-80.....	522
Таблица П.150 Допуски шлицевых прямобоочных соединений. ГОСТ 1139-80.....	523
Таблица П.151 Соединения шлицевые (зубчатые) эвольвентные. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 6033-80.....	524
Таблица П.152 Посадки шлицевых эвольвентных соединений.....	525
Таблица П.153 Допускаемые напряжения смятия для неподвижных затянутых шлицевых соединений.....	526
Таблица П.154 Твердость и глубина закаленного слоя поверхности шлицевых валиков.....	526

14.8. Подшипники качения	526
Таблица П.155 Шариковые радиальные однорядные подшипники. ГОСТ 8338-75.....	526
Таблица П.156 Шариковые радиальные однорядные подшипники с защитными шайбами. Размеры, мм. ГОСТ 7242-70.....	528
Таблица П.157 Шариковые радиальные однорядные подшипники с уплотнением. ГОСТ 8882-75.....	530
Таблица П.158 Роликовые радиальные подшипники. ГОСТ 8328-75.....	530
Таблица П.159 Подшипники шариковые радиально-упорные однорядные. ГОСТ 831-75.....	532
Таблица П.160 Роликовые конические однорядные подшипники.....	533
Таблица П.161 Коэффициенты трения и допустимые окружные скорости.....	535
Таблица П.162 Значения коэффициентов X_0 и Y_0	536
Таблица П.163 Значения коэффициентов X и Y для подшипников качения....	536
Таблица П.164 Температурный коэффициент K_T	538
Таблица П.165 Коэффициент безопасности K_S	538
Таблица П.166 Рекомендуемая расчетная долговечность для различных типов машин и оборудования.....	539
Таблица П.167 Виды нагружения колец шариковых и роликовых подшипников в зависимости от условий работы.....	540
Таблица П.168 Рекомендуемые поля допусков для посадки подшипников.....	540
14.9. Упоры, канавки, закругления и галтели на валах и в корпусах	542
Таблица П.169 Торцевое биение заплечиков, мкм (не более).....	542
Таблица П.170 Допуски формы поверхностей валов и отверстий корпусов....	542
Таблица П.171 Шероховатость поверхностей посадок подшипников R_z , мкм.	542
Таблица П.172 Канавки на валах для посадки подшипников качения. Номинальные размеры, мм.....	543
Таблица П.173 Канавки для выхода шлифовального круга при круглом шлифовании. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 8820-69.....	543
Таблица П.174 Галтели вала и корпуса под шарико- и роликоподшипники. Номинальные размеры, мм.....	544
Таблица П.175 Радиусы закруглений для несопрягаемых поверхностей не вращающихся деталей. Номинальные размеры, мм.....	544
Таблица П.176 Радиусы закруглений сопряженных валов и втулок. Номинальные размеры, мм.....	544
14.10. Валы	544
Таблица П.177 Радиальное биение вала относительно оси вращения.....	544
Таблица П.178 Концы валов цилиндрические. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 12080-75.....	545
Таблица П.179 Концы валов конические с конусностью 1:10. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 12081-75.....	546
Таблица П.180 Отверстия центровые с углом конуса 60°. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 14034-74.....	547
Таблица П.181 Радиусы закруглений и фаски. Номинальные размеры, мм....	548
Таблица П.182 Предельные отклонения радиусов закруглений и фасок. ГОСТ 25670-83.....	548
Таблица П.183 Входные фаски деталей с неподвижными посадками. Номинальные размеры, мм.....	548

Таблица П.184 Формулы для определения осевого W , и полярного W_p моментов сопротивления сечения.....	549
Таблица П.185 Эффективные коэффициенты концентрации K_σ для валов и осей с галтелями.....	549
Таблица П.186 Эффективные коэффициенты концентрации K_τ для валов и осей с галтелями.....	550
Таблица П.187 Эффективные коэффициенты концентрации K_σ для валов и осей с выточками.....	551
Таблица П.188 Эффективные коэффициенты концентрации K_τ для валов и осей с выточками.....	551
Таблица П.189 Эффективные коэффициенты концентрации K_σ и K_τ для сечения вала с поперечным отверстием диаметром d	551
Таблица П.190 Коэффициенты K_σ и K_τ для сечения вала со шпоночной канавкой.....	552
Таблица П.191 Рекомендуемые величины масштабных факторов ϵ_σ и ϵ_τ для различных диаметров вала.....	552
Таблица П.192 Допускаемая угловая деформация вала.....	552
14.11. Механические передачи.....	552
Таблица П.193 Основные характеристики одноступенчатых передач разных типов, реализованных в серийных приводах.....	552
Таблица П.194 Максимальная окружная скорость зубчатых колес, м/с, в зависимости от их точности. ГОСТ 1643-81.....	553
Таблица П.195 Коэффициенты смещения у зубчатых колес прямозубой передачи.....	553
Таблица П.196 Коэффициент смещения у зубчатых колес косозубой и шевронной передач.....	553
Таблица П.197 Разбивка коэффициента суммы смещения x_Σ в прямозубой передаче на составляющие x_1 и x_2	554
Таблица П.198 Разбивка коэффициента суммы смещения x_Σ в косозубой или шевронной передаче на составляющие x_1 и x_2	555
Таблица П.199 Значения наименьшего числа зубьев z_{\min} зубчатого колеса с коэффициентом смещения $x=0$ при станочном зацеплении с исходной производящей рейкой.....	555
Таблица П.200 Ряды стандартных модулей зацепления, мм. ГОСТ 9563-74...	556
Таблица П.201 Длина общей нормали W' цилиндрических прямозубых колес при $m=1$ мм.....	556
Таблица П.202 Значение эвольвентной функции $\text{inv } \alpha$	557
Таблица П.203 Значение коэффициента K ($\alpha=20^\circ$).....	563
Таблица П.204 Нормы кинематической точности, мкм.....	564
Таблица П.205 Нормы кинематической точности, мкм (показатель F_p).....	566
Таблица П.206 Нормы плавности работы, мкм.....	566
Таблица П.207 Нормы плавности работы, мкм, (допуски на циклическую погрешность зубцовой частоты в передаче $f_{z\sigma}$).....	568
Таблица П.208 Нормы плавности работы, мкм.....	569
Таблица П.209 Нормы контакта зубьев в передаче (показатели F_{pxn} , F_β , f_x , f_y в мкм).....	570

Таблица П.210 Гарантированный боковой зазор $j_{n \min}$, (мкм), предельные отклонения межосевого расстояния f_a (мкм) цилиндрической передачи. ГОСТ 1643-81.....	571
Таблица П.211 Наименьшее отклонение средней длины общей нормали A_{Wme} в тело зуба (слагаемое I), мкм.....	572
Таблица П.212 Наименьшее отклонение средней длины общей нормали A_{Wme} (слагаемое II), мкм.....	572
Таблица П.213 Допуск среднюю длину общей нормали T_{Wm} , мкм.....	573
Таблица П.214 Наименьшее отклонение толщины зуба по постоянной хорде A_{ce} , мкм.....	573
Таблица П.215 Допуск на толщину зуба по постоянной хорде T_c , мкм.....	574
Таблица П.216 Зависимости предельных отклонений и допусков от геометрических параметров зубчатых колес.....	574
Таблица П.217 Поля допусков диаметра вершин зубьев d_a и ширины зубчатого венца b цилиндрических колес.....	575
Таблица П.218 Допуски на торцовое биение зубчатого венца цилиндрических колес, мкм (при $d=100$ мм с модулем $m \geq 1$ мм).....	576
Таблица П.219 Ряд диаметров внешних делительных окружностей d_{e2} конических колес, мм. ГОСТ 12289-76.....	576
Таблица П.220 Ширина зубчатых конических венцов в зависимости от d_{e2} и u	576
Таблица П.221 Ряд диаметров зуборезной головки, мм.....	577
Таблица П.222 Значение коэффициентов угла головки K_a (при $\Sigma=90^\circ$; $\alpha_n=20^\circ$; $h_a^*=1,0$; x_{n1} и x_{t1} по таблице П.36, $k_0=R/d_0$ от 0,3 до 0,7).....	578
Таблица П.223 Поправка на высоту ножки зуба при средних нормальных модулях m_n . ГОСТ 9563-60.....	579
Таблица П.224 Нормы кинематической точности, мкм.....	579
Таблица П.225 Нормы кинематической точности, мкм (показатель F_{pk}).....	581
Таблица П.226 Нормы плавности работы, мкм.....	581
Таблица П.227 Нормы плавности работы $\pm f_{AM}$, мм.....	582
Таблица П.228 Нормы плавности работы, мкм, (допуски на циклическую погрешность).....	583
Таблица П.229 Нормы плавности работы, мкм.....	584
Таблица П.230 Нормы контакта зубьев в передаче (показатель $\pm f_a$).....	585
Таблица П.231 Номинальные относительные размеры зоны касания по длине и высоте зубьев и их предельные отклонения.....	585
Таблица П.232 Нормы контакта зубьев в передаче (относительные размеры суммарного пятна контакта).....	585
Таблица П.233 Гарантированный боковой зазор $j_{n \min}$, (мкм).....	586
Таблица П.234 Предельные отклонения межосевого угла передачи $\pm E_\delta$, мкм.....	586
Таблица П.235 Зависимости предельных отклонений и допусков от геометрических параметров зубчатых колес.....	586
Таблица П.236 Ряды стандартных осевых модулей зацепления червячных цилиндрических передач m , мм. ГОСТ19672-74.....	587
Таблица П.237 Ряды коэффициентов диаметра червяка q , ГОСТ19672-74.....	587

Таблица П.238 Сочетание основных параметров ортогональных червячных передач.....	587
Таблица П.239 Ряды стандартных значений передаточных чисел червячных цилиндрических передач. ГОСТ 2144-76.....	591
Таблица П.240 Числа заходов червяка z_1 , зубьев червячных колес z_2 , коэффициенты диаметра червяка q и межосевые расстояния a_w червячных цилиндрических передач. ГОСТ 2144-76.....	591
Таблица П.241 Нормы кинематической точности червячных передач, мкм....	591
Таблица П.242 Нормы кинематической точности, мкм (показатель F_{pk}).....	593
Таблица П.243 Нормы плавности работы, мкм.....	593
Таблица П.244 Нормы плавности работы, мкм, (допуски на циклическую погрешность зубцовой частоты $f_{z\omega}$).....	594
Таблица П.245 Соответствие уровней точности по функциональному показателю $f_{z\omega}$ степеням точности по плавности работы при различных значениях коэффициента осевого перекрытия ε_{pe}	595
Таблица П.246 Нормы плавности работы f_{zk} или f_{zko} , мкм.....	595
Таблица П.247 Нормы плавности работы червяка, f_{px}, f_{pxk}, f_{f1} мкм.....	596
Таблица П.248 Нормы контакта зубьев в передаче. Допуск на радиальное биение червяка f_{rr} , мкм.....	596
Таблица П.249 Нормы контакта. Предельные отклонение межосевого расстояния в передаче $\pm f_{ar}$, мкм.....	596
Таблица П.250 Нормы контакта. Предельные смещения средней плоскости в передаче f_{xr} , мкм.....	597
Таблица П.251 Нормы контакта зубьев в передаче (суммарное пятно контакта).....	597
Таблица П.252 Нормы контакта (показатель $f_{\Sigma r}$), мм.....	597
Таблица П.253 Гарантированный боковой зазор червячной передачи $j_n \min$, мкм.....	597
Таблица П.254 Нормы бокового зазора (показатель E_{ss} , мкм, слагаемое I).....	598
Таблица П.255 Нормы бокового зазора (показатель E_{ss} , мкм, слагаемое II)....	598
Таблица П.256 Допуск на толщину витка червяка T_s , мкм.....	598
Таблица П.257 Зависимости предельных отклонений и допусков от геометрических параметров червячного колеса.....	599
Таблица П.258 Зависимости предельных отклонений и допусков от геометрических параметров червяка.....	600
Таблица П.259 Допуск на толщину витка червяка T_s , мкм.....	600
Таблица П.260 Приводные роликовые однорядные цепи ПР. ГОСТ 13568-75	601
Таблица П.261 Приводные роликовые двухрядные цепи 2ПР. ГОСТ 13568-75.....	602
Таблица П.262 Допускаемые значения частоты вращения n_{1p} , об/мин, малой звездочки для приводных роликовых цепей нормальной серии ПР и 2ПР (при $z_1 \geq 15$).....	602
Таблица П.263 Допускаемое давление в шарнирах цепи p_p , МПа (при $z_1 = 17$)..	602
Таблица П.264 Нормативные коэффициенты безопасности S_p приводных роликовых цепей нормальной серии ПР и 2ПР.....	603
Таблица П.265 Предельные отклонения и допуски на размеры зуба звездочек	603
Таблица П.266 Плоские резиноканевые ремни.....	604
Таблица П.267 Кожаные ремни.....	604

Таблица П.268 Хлопчатобумажные цельнотканые ремни.....	604
Таблица П.269 Клиновые ремни. ГОСТ 1284.1-89.....	604
Таблица П.270 Номинальная мощность P_0 , кВт, передаваемая одним клиновым ремнем. ГОСТ 1284.3-80.....	604
Таблица П.271 Коэффициент C_L для клиновых ремней. ГОСТ 1284.3-80.....	607
Таблица П.272 Коэффициент C_p	607
Таблица П.273 Коэффициент C_α для клиноременных передач.....	608
Таблица П.274 Коэффициент C_z для клиноременных передач.....	608
Таблица П.275 Коэффициент θ для клиноременных передач.....	608
Таблица П.276 Базовое число циклов для клиноременных передач.....	608
Таблица П.277 Профили канавок шкивов, мм. ГОСТ 20889-88.....	608
Таблица П.278 Основные параметры шкивов плоскоременных передач.....	609
Таблица П.279 Допускаемый дисбаланс шкивов плоскоременных передач....	610
Таблица П.280 Допускаемый дисбаланс шкивов клиноременных передач.....	610
14.12. Двигатели.....	610
Таблица П.281 Характеристика режимов работы грузоподъемных механизмов.....	610
Таблица П.282 Основные типы электродвигателей и их сравнительные характеристики.....	611
Таблица П.283 Выбор исполнения и типа двигателя.....	611
Таблица П.284 Асинхронные электродвигатели.....	612
Таблица П.285 Электродвигатели типа СД.....	613
Таблица П.286 Электрические машины постоянного тока серии 2П (до 200 кВт) с независимым возбуждением, компенсационной обмоткой общепромышленного применения при высоте оси вращения (90-315) мм, в общеклиматическом исполнении УХЛ4, при номинальном режиме работы 1.	613
Таблица П.287 Микродвигатели.....	613
Таблица П.288 Электродвигатели асинхронные трехфазные серии 4А, закрытые. Основные размеры, мм.....	614
Таблица П.289 Электродвигатели асинхронные. Технические данные.....	615
14.13. Крышки подшипников.....	616
Таблица П.290 Крышки торцовые с отверстием для манжетного уплотнения. Размеры, мм. ГОСТ 18512-73.....	616
Таблица П.291 Крышки торцовые глухие. Размеры, мм. ГОСТ 18511-73.....	619
14.14. Муфты.....	621
Таблица П.292 Муфты втулочно-пальцевые. Размеры, мм. ГОСТ 21424-75...	621
14.15. Пазы, прорези фрезерованные. Квадратные отверстия.....	622
Таблица П.293 Размеры пазов и прорезей, фрезерованных концевыми фрезами, мм.....	622
Таблица П.294 Размеры пазов и прорезей, фрезерованных дисковыми пазовыми фрезами.....	622
Таблица П.295 Размеры квадратных отверстий.....	623
14.16. Шплинты, кольца пружинные.....	623
Таблица П.296 Шплинты. ГОСТ 397-79.....	623
Таблица П.297 Кольца пружинные упорные плоские наружные эксцентричные и канавки для них. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 13942-80.....	625

Таблица П.298 Кольца пружинные упорные плоские внутренние эксцентричные и канавки для них. Номинальные размеры, мм. ГОСТ 13943-80.....	626
14.17. Смазочные материалы, уплотнительные устройства.....	628
Таблица П.299 Основные свойства и область применения промышленных масел. ГОСТ 20799-88.....	628
Таблица П.300 Свойства и назначение некоторых смазок.....	628
Таблица П.301 Манжеты резиновые армированные для валов. ГОСТ 8752-79	629
Таблица П.302 Уплотнительные материалы.....	630
14.18. Литье.....	637
Таблица П.303 Допуски линейных размеров отливок. ГОСТ 26645-85.....	637
Таблица П.304 Допуски формы и расположения элементов отливки при различных степенях их коробления.....	638
Таблица П.305 Допуски неровностей поверхностей отливок для различных степеней точности поверхностей.....	639
Таблица П.306 Шероховатость поверхностей отливок для различных степеней точности поверхностей.....	640
Таблица П.307 Классы размерной точности отливок из различных сплавов...	640
Таблица П.308 Минимальная толщина наружных стенок отливок из серого чугуна в зависимости от приведенного габарита.....	642
Таблица П.309 Фундаментные болты.....	642
15. Конструкции редукторов.....	643
Редуктор цилиндрический с горизонтальными валами. Вариант 1.....	644
Редуктор цилиндрический с горизонтальными валами. Вариант 2.....	645
Редуктор цилиндрический с горизонтальными валами, оси которых расположены в вертикальной плоскости. входной вал расположен ниже выходного. Вариант 1.....	646
Редуктор цилиндрический с горизонтальными валами, оси которых расположены в вертикальной плоскости. входной вал расположен ниже выходного. Вариант 2.....	647
Редуктор цилиндрический с горизонтальными валами, оси которых расположены в вертикальной плоскости. входной вал расположен выше выходного. Вариант 1.....	648
Редуктор цилиндрический с горизонтальными валами, оси которых расположены в вертикальной плоскости. входной вал расположен выше выходного. Вариант 2.....	649
Редуктор цилиндрический с вертикальными валами. Вариант 1.....	650
Редуктор цилиндрический с вертикальными валами. Вариант 2.....	651
Редуктор цилиндрический внутреннего зацепления с горизонтальными валами. Входной вал расположен ниже выходного. Вариант 1.....	652
Редуктор цилиндрический внутреннего зацепления с горизонтальными валами. Входной вал расположен ниже выходного. Вариант 2.....	653
Редуктор цилиндрический внутреннего зацепления с горизонтальными валами. Входной вал расположен выше выходного. Вариант 1.....	654
Редуктор цилиндрический внутреннего зацепления с горизонтальными валами. Входной вал расположен выше выходного. Вариант 2.....	655
Редуктор конический с горизонтальными валами. Вариант 1.....	656
Редуктор конический с горизонтальными валами. Вариант 2.....	657

Редуктор конический с вертикальным входным валом и горизонтальным выходным валом. Вариант 1.....	658
Редуктор конический с вертикальным входным валом и горизонтальным выходным валом. Вариант 2.....	659
Редуктор конический с горизонтальным входным валом и вертикальным выходным валом, выходящим вниз. Вариант 1.....	660
Редуктор конический с горизонтальным входным валом и вертикальным выходным валом, выходящим вниз. Вариант 2.....	661
Редуктор конический с горизонтальным входным валом и вертикальным выходным валом, выходящим вверх. Вариант 1.....	662
Редуктор конический с горизонтальным входным валом и вертикальным выходным валом, выходящим вверх. Вариант 2.....	663
Редуктор червячный с горизонтальными осями валов. Вариант 1.....	664
Редуктор червячный с горизонтальными осями валов. Вариант 2.....	665
Редуктор червячный с вертикальным червяком и горизонтальным выходным валом. Вариант 1.....	666
Редуктор червячный с вертикальным червяком и горизонтальным выходным валом. Вариант 2.....	667
Редуктор червячный с горизонтальным червяком и вертикальным выходным валом, выходящим вверх. Вариант 1.....	668
Редуктор червячный с горизонтальным червяком и вертикальным выходным валом, выходящим вверх. Вариант 2.....	669
Редуктор червячный с горизонтальным червяком и вертикальным выходным валом, выходящим вниз. Вариант 1.....	670
Редуктор червячный с горизонтальным червяком и вертикальным выходным валом, выходящим вниз. Вариант 2.....	671
Список литературы.....	672

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшая роль в ряду средств, обеспечивающих технологические процессы, принадлежит машинам. В связи с интенсивным качественным изменением существующих технологических процессов и созданием новых процессов конструкции машин непрерывно совершенствуются и создаются их новые разновидности.

Для максимально эффективного использования машинного парка в современном производстве инженер должен владеть основами общего машиноведения, должен представлять себе не только общие принципы устройства механизмов, но и принципы их проектирования.

Комплекс указанных вопросов в той степени, в которой они необходимы инженерам различных профилей, рассмотрен в курсе «Детали машин» (для *немашиностроительных* специальностей – в курсе «Механика»).

Выполнением данного курсового проекта завершается общетехнический цикл подготовки студентов.

Целью курсового проектирования является:

- систематизация, углубление и закрепление знаний, полученных студентом при изучении теоретического курса;
- ознакомление студента с конструкциями типовых деталей и узлов;
- приобретение студентом знания современных правил, норм и методов конструирования машин и механизмов;
- привитие студенту навыков самостоятельного решения инженерно-технических задач при расчете и конструировании механизмов и деталей общего назначения на основе ранее полученных знаний по всем предшествующим общеобразовательным и общетехническим дисциплинам;
- овладение техникой разработки конструкторских документов на различных стадиях проектирования и конструирования;
- привитие студенту навыков защиты самостоятельно принятого технического решения.

В качестве объекта для курсового проекта выбран *редуктор* (цилиндрический, конический или червячный), так как в редукторе сочетаются основные детали, изучаемые в теоретическом курсе, а кинематические схемы и конструкции редукторов различной сложности представляют собой хороший материал для овладения элементарными приемами решения конструкторских задач.

Учебник «Детали машин. Курсовое проектирование» вместе с учебниками по курсу составляет необходимый комплект литературы для качественной расчетно-конструкторской подготовки студентов технических вузов всех форм обучения.

Справочные табл. (П.1–П.309) и примеры конструкций редукторов, выполненных по наиболее часто используемым схемам, приведены во второй книге данного учебника [16].

1. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

1.1. Объекты курсового проектирования

Основными требованиями, предъявляемыми к создаваемой машине, являются: высокая производительность, надежность, технологичность, ремонтпригодность, минимальные габариты и масса, удобство эксплуатации, экономичность, техническая эстетика. Все эти требования следует учитывать в процессе выполнения курсового проекта, объектами которого, как правило, являются приводы машин и механизмов, использующие большинство деталей и узлов общего назначения.

Привод машины представляет собой систему, состоящую из двигателя и связанных с ним устройств для приведения в движение одного или нескольких рабочих тел, входящих в состав машины.

Структурная схема привода включает *двигатель* того или иного типа и *трансмиссию* – устройство для передачи вращения от двигателя к потребителям энергии (может быть механической, электрической, гидравлической, пневматической и комбинированной).

В данном курсовом проекте трансмиссия представлена комбинацией редуктора и открытой передачи.

Приводы транспортных машин, разнообразного станочного оборудования, вспомогательных устройств и средств механизации различных работ допускают применение стандартных двигателей и однотипных механических передач, в том числе стандартных редукторов, что позволяет отнести эти приводы к категории *общего назначения*.

Приводы, являющиеся объектами проектирования в данном курсе, могут иметь следующие типы передач:

- цилиндрические зубчатые;
- конические зубчатые;
- червячные;
- ременные;
- цепные.

По расположению механизма привода в пространстве различают:

- приводы с горизонтальным выходным (тихоходным) валом;
- приводы с вертикальным выходным (тихоходным) валом.

В зависимости от расположения привода конструируют элементы передач и выбирают тип и исполнение двигателя.

Редуктором называют агрегат, содержащий передачи зацеплением и предназначенный для повышения вращающего момента и уменьшения входной угловой скорости (в данном случае – угловой скорости асинхронного электродвигателя).

Потребительские характеристики редукторов каждого типа определяются следующими параметрами:

- кинематической схемой редуктора;
- передаточным числом – u ;
- частотой вращения выходного вала $n_{\text{вых}}$;
- вращающим моментом на выходном валу $T_{\text{вых}}$;
- допускаемой консольной нагрузкой на выходном валу $F_{\text{к вых}}$;
- коэффициентом полезного действия (КПД) η .

В настоящее время редукторы общемашиностроительного применения в приводах комплектуются, преимущественно, *четырёхполюсными асинхронными* электродвигателями.

Основные параметры редукторов определяют, по ГОСТ 16162–86Е, при частоте вращения быстроходного вала, равной 1500 об/мин.

На кинематических схемах индексом «вх» обозначают *входной* (быстроходный) вал редуктора, а индексом «вых» – *выходной* (тихоходный).

Двигатель и трансмиссию, как правило, монтируют на общей раме.

1.2. Виды изделий

Под *изделием* понимают любую продукцию, изготавливаемую по конструкторской документации.

По ГОСТ 2.101–68 устанавливаются следующие виды изделий:

- детали;
- сборочные единицы;
- комплексы;
- комплекты.

Изделия, в зависимости от наличия или отсутствия в них составных частей, делят на:

- *неспецифицированные* (детали) – не имеющие составных частей;
- *специфицированные* (сборочные единицы и комплексы) – состоящие из двух и более составных частей.

Деталь – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций (например вал, выполненный из одного куска металла, литой корпус и т. п.).

К деталям относят также изделия, упомянутые выше, с покрытиями (например вал, подвергнутый хромированию) или изготовленные из одного куска материала с применением местной сварки, пайки, склейки (например изделие, спаянное из одного куска листового материала).

Сборочная единица – изделие, составные части которого соединяют между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сваркой, пайкой, развальцовкой и т. п.), например редуктор, сварной корпус и т. п.

К сборочным единицам относят также изделия, для которых конструкцией предусмотрена разборка их на составные части предприятием-изготовителем, например для удобства упаковки и транспортировки.

Комплекс – два и более специфицированных изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций, например бурильная установка.

Комплект – два и более изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющие собой набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например комплект запасных частей и комплект измерительной аппаратуры.

Покупные изделия – изделия, не изготавливаемые на данном предприятии, а получаемые им в готовом виде (за исключением деталей, получаемых в порядке кооперирования).

1.3. Виды конструкторских документов

К *конструкторским документам* (для краткости именуемым в дальнейшем словом «документ») относят графические и текстовые документы, которые в отдельности или в совокупности определяют состав и устройство изделия и содержат необходимые данные для его разработки или изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта.

По ГОСТ 2.102–68 устанавливаются следующие виды конструкторских документов:

- чертеж детали;
- сборочный чертеж;
- чертеж общего вида;
- теоретический чертеж;
- габаритный чертеж;
- электромонтажный чертеж;
- монтажный чертеж;
- упаковочный чертеж;
- схема;
- спецификация;
- ведомость спецификаций;
- пояснительная записка;
- технические условия;
- таблица;
- расчет;
- инструкция;
- патентный формуляр.

В *учебном* проектировании преимущественно создаются конструкторские документы следующих видов:

- *чертеж детали* – документ, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля;
- *сборочный чертеж* (код СБ) – документ, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки (изготовления) и контроля (разрабатывается на основании чертежей общего вида и чертежей отдельных деталей);
- *чертеж общего вида* (код ВО) – документ, определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его основных частей и поясняющий принцип работы изделия.

В *учебном* проектировании чертеж *общего вида* включает в себя элементы:

- *теоретического* чертежа (код ТЧ), определяющего геометрическую форму изделия и координаты расположения составных частей;
- *габаритного* чертежа (код ГЧ) (указываются габаритные, установочные и присоединительные размеры, причем установочные и присоединительные размеры должны быть с предельными отклонениями);
- *монтажного* чертежа (код МЧ), содержащего данные для установки изделия на месте применения.

Схема – документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними. Номенклатура различных видов схем и их обозначений установлена ГОСТ 2.701–84.

Спецификация – документ, определяющий состав сборочной единицы или комплекса.

Пояснительная записка (код ПЗ) – документ, содержащий описание устройства и принципа действия разрабатываемого изделия, а также обоснование принятых

при его разработке технических и технико-экономических решений, сопровождаемые необходимыми расчетами.

Технические условия (код ТУ) – документ, содержащий требования к изделию, его изготовлению, контролю, приемке и поставке, которые нецелесообразно указывать в других конструкторских документах.

Таблица (код ТБ) – документ, содержащий в зависимости от его назначения соответствующие данные, сведенные в таблицу.

Расчет (код РР) – документ, содержащий расчеты параметров и величин, например расчет на прочность и т. п.

Различают следующие *виды комплектности* конструкторских документов:

1) *основной конструкторский документ*:

- для деталей – *чертеж детали*;
 - для сборочной единицы, комплекса или комплекта – *спецификация*;
- 2) *основной комплект конструкторских документов*, представляющий собой комплект конструкторских документов, относящихся ко *всему* изделию (например сборочный чертеж, принципиальная электрическая схема, технические условия и эксплуатационные документы);

3) *полный комплект конструкторских документов*, представляющий собой основной комплект конструкторских документов на данное изделие и основные комплекты конструкторских документов на все основные части изделия, примененные по своим основным конструкторским документам.

Основным документам код не присваивают.

Уровень оформления учебных конструкторских документов должен соответствовать *оригиналам* или *подлинникам*.

Оригиналы – документы, выполненные на любом материале и предназначенные для выполнения по ним подлинников.

Подлинники – документы, оформленные подлинными установленными подписями, выполненные на любом материале, позволяющем многократное воспроизведение с них копий, и завизированные подлинными подписями лиц, разработавших данный документ.

1.4. Стадии разработки

ГОСТ 2.103–68 устанавливает следующие стадии разработки конструкторской документации на изделия всех отраслей промышленности и этапы выполнения работ:

Техническое задание содержит общие сведения о назначении и разработке создаваемой конструкции, предъявляемые к ней эксплуатационные требования, режим работы и ее основные характеристики (геометрические, кинематические, силовые и т. п.).

Техническое предложение – совокупность документов, дополняющих и уточняющих требования к проектируемому изделию (технические характеристики, показатели качества и др.), которые не могли быть указаны в техническом задании, но которые целесообразно сделать на основе предварительной конструкторской проработки и анализа различных вариантов возможных решений изделия. Техническое предложение – основание для разработки эскизного и технического проектов. При *курсовом* проектировании студентами *немашиностроительных* специальностей *этап технического предложения не разрабатывается*.

Эскизный проект (ГОСТ 2.119–73). Совокупность документов, содержащих принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры разрабатываемого изделия.

Эскизный проект разрабатывается обычно в нескольких (или в одном) вариантах и сопровождается обстоятельными расчетами и анализом полученных результатов. Эскизный проект служит основанием для разработки технического проекта и рабочей документации.

Технический проект (ГОСТ 2.120–73) – совокупность документов, содержащих окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия и исходные данные для разработки рабочей конструкторской документации. Технический проект охватывает полную конструкторскую разработку всех элементов оптимального эскизного проекта с внесением необходимых поправок и изменений, рекомендованных при утверждении эскизного проекта.

Рабочая документация. Заключительная стадия конструирования, включающая в себя создание конструкторской документации, необходимой для изготовления всех ненормализованных деталей (чертежей деталей, сборочных чертежей, спецификаций).

В соответствии со стадиями разработки документам присваивают соответствующую *литеру* на стадии:

- технического предложения – литеру «П»;
- эскизного проекта – литеру «Э»;
- технического проекта – литеру «Т»,

Конструкторским документам, предназначенным для разового изготовления одной или нескольких деталей, присваивают литеру «И».

1.5. Кинематические схемы

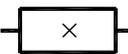
Кинематическая схема представляет собой чертеж, на котором при помощи условных обозначений и контурных очертаний элементов дается *упрощенное* изображение кинематической связи между отдельными звеньями данного механизма или изделия.

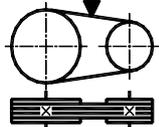
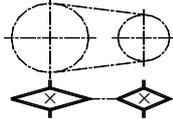
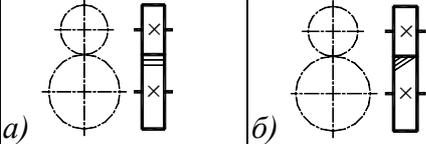
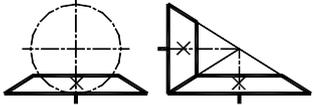
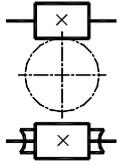
Условные обозначения для кинематических схем, изображаемых в ортогональных и аксонометрических проекциях, установлены ГОСТ 2.770–68.

Выборка из ГОСТ 2.770–68 в той мере, которая необходима для понимания технических заданий на курсовой проект, приведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Кинематические схемы

Наименование элемента	Условное обозначение
Электродвигатель	
Вал, ось	
Подшипник качения (без уточнения типа)	
Соединение детали с валом без их относительного вращения	

Наименование элемента	Условное обозначение
Соединение двух валов эластичной упругой компенсирующей муфтой	
Клиноременная передача	
Цепная передача (без уточнения типа цепи)	
Передача зубчатая цилиндрическая внешнего зацепления: а) с прямыми зубьями; б) с косыми зубьями	
Передача зубчатая коническая (без указания типа зубьев)	
Червячные передачи	

1.6. Личный шифр студента

Исходные данные для выполнения контрольных работ студент должен принять в соответствии со своим личным шифром, состоящим из пяти цифр.

Первые три цифры шифра соответствуют начальным буквам фамилии, имени, отчества студента.

Их соответствия приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Буква	АБ	ВГ	ДЕЖЗИ	К	ЛМ	НОР	П	С	ТУФХ	ЦЧШЩЭЮЯ
Цифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Четвертая и пятая цифры шифра соответствуют двум последним цифрам в зачетной книжке студента.

Например: *Георгиев Максим Владимирович.*

Номер зачетной книжки: *561209.*

Шифр в этом случае имеет вид: *14109.*

1.7. Задания на курсовое проектирование

Исходные данные для выполнения курсового проекта следует принять в соответствии со своим личным шифром (разд. 1.6) в следующем порядке:

1. По *последней* цифре шифра выбирается *схема привода* (с. 10–11).
2. По *первой слева* цифре шифра из табл. 1.3 выбирается *номинальная мощность, передаваемая приводом*.
3. По *второй слева* цифре шифра из табл. 1.3 выбирается *реверсивность* привода.
4. По *третьей слева* цифре шифра из табл. 1.3 выбирается *частота вращения выходного вала привода*.
5. По *четвертой слева* цифре шифра из табл. 1.3 выбирается *срок службы привода*.

Для всех заданий: нагрузка – спокойная, постоянная.

Таблица 1.3

Цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Частота вращения выходного вала привода, об/мин	Для схем привода № 0, № 1, № 2, № 6, № 7, № 8, № 9									
	180	100	190	120	160	170	130	140	110	150
	Для схем привода № 3, № 4, № 5									
Мощность на выходном валу привода, кВт	2,2	2,4	1,6	2,8	3,4	2,0	2,6	3,0	3,2	1,8
Срок службы привода, тыс. часов	12	14	16	18	20	26	29	32	20	23
Реверсивность (Р – реверсивный; Н – нереверсивный)	Р	Н	Р	Н	Р	Н	Р	Н	Р	Н

Например, студент, имеющий личный шифр 91407, должен выполнить контрольную работу по следующим исходным данным:

1. Схема привода – № 7.
2. Привод – реверсивный.
3. Частота вращения выходного вала привода – 120 об/мин.
4. Срок службы привода – 23000 ч.
5. Номинальная мощность, передаваемая приводом, – 3,2 кВт.

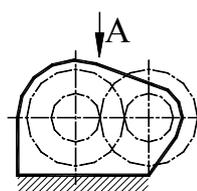


Схема № 0
Привод цилиндрическо-цилиндрический

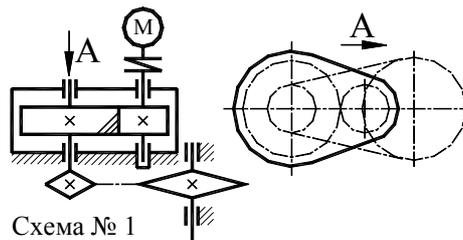
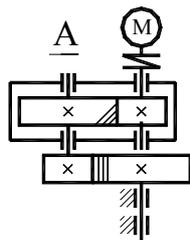


Схема № 1
Привод цилиндрическо-цепной

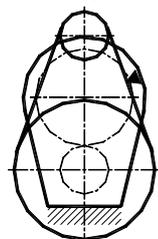


Схема № 2
Привод ременно-цилиндрический

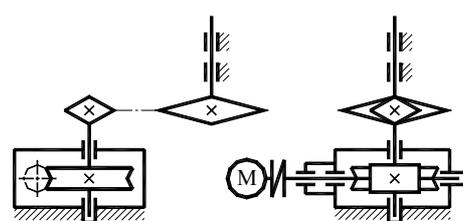
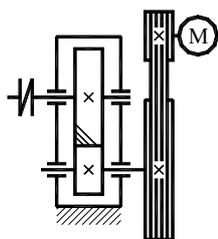


Схема № 3
Привод червячно-цепной

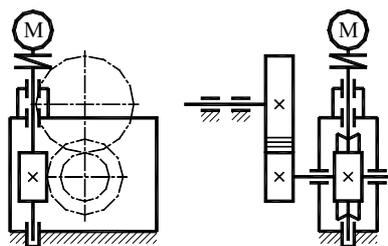


Схема № 4
Привод червячно-цилиндрический

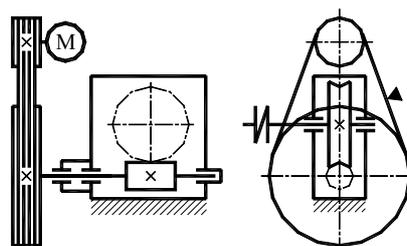


Схема № 5
Привод ременно-червячный

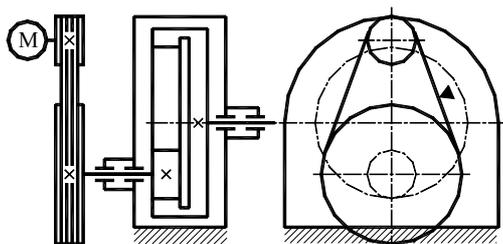


Схема № 6
Привод ременно-цилиндрический

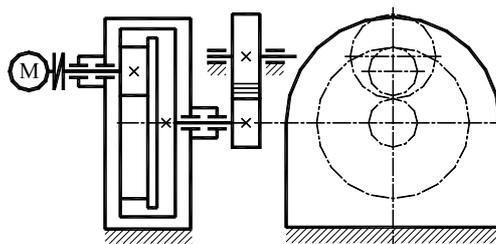


Схема № 7
Привод цилиндрическо-цилиндрический

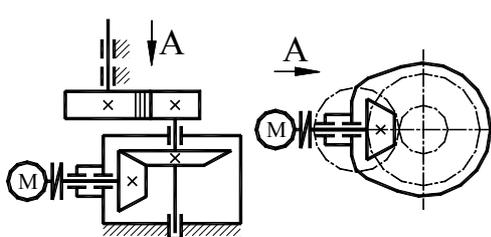


Схема № 8
Привод коническо-цилиндрический

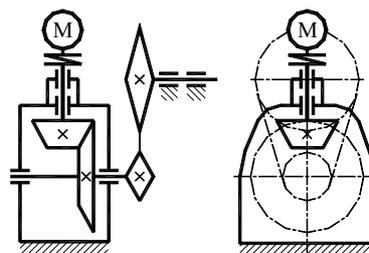


Схема № 9
Привод коническо-цепной

1.8. Объем курсового проекта

1.8.1. Расчет и эскизный проект

Расчет и эскизный проект (пп. 3–20 табл. 1.4) следует выполнить для всего привода, состоящего:

- из асинхронного электродвигателя;
- муфты;
- одноступенчатого редуктора;
- открытой передачи.

Должен быть выполнен *общий вид привода* на стадии «Эскизный проект» с *максимальными упрощениями* (по ГОСТ 2.119–73 и другим стандартам ЕСКД).

На этой стадии проектирования разрабатывается *схема деления изделия на составные части* (по ГОСТ 2.711–82).

Составные части изделия изображают *упрощенно*, если при этом понятны конструктивное устройство, взаимодействие составных частей и принцип работы изделия.

Эскизный проект привода должен быть выполнен карандашом на *бумаге с миллиметровой сеткой* или на *чертежной бумаге*.

Возможно выполнение чертежей на персональном компьютере (при использовании программ *AutoCAD*, *KOMPAS*) с распечаткой результатов на принтере или на плоттере.

При выполнении эскизного проекта привода студент должен научиться решению следующих конструкторских задач:

- выбор и разработка конструкции основных деталей с учетом максимального обеспечения их технологичности;
- выбор типов соединений деталей, способов фиксации деталей на валах;
- выбор способов фиксации валов в опорах;
- предусмотрение возможности сборки и разборки узлов, регулировки зазоров в зацеплениях зубчатых колес и в подшипниках;
- предусмотрение возможности натяжения ремня (в ременной передаче) и цепи (в цепной передаче);
- выбор системы смазки зацепления и подшипников;
- выбор видов уплотняющих устройств.

На эскизном чертеже общего вида привода должны быть приведены:

- *размеры*: габаритные, установочные, присоединительные;
- *номера* позиций сборочных единиц, составляющих привод, а также деталей, не вошедших в сборочные единицы.

1.8.2. Технический проект

Технический проект (пп. 21–24 табл. 1.4) следует выполнить:

- для машиностроительных специальностей – для всего привода;
- немашиностроительных специальностей – только для одноступенчатого редуктора (зубчатого или червячного).

Общий вид привода должен быть выполнен в количестве проекций, достаточном для полного представления всех элементов привода, с необходимыми разрезами, сечениями.

Общий вид редуктора привода так же следует выполнить в том количестве проекций (с необходимыми разрезами, сечениями), которое обеспечит полное представление всех элементов редуктора.

Так как при выполнении курсового проекта не прорабатывается полный пакет конструкторской документации по редуктору, то *в учебном проектировании* при разработке *технического* проекта редуктора *упрощения не допускаются*, за исключением того, что можно не указывать на чертеже мелкие элементы: фаски, скругления, углубления, выступы, насечки, рифление, надписи на табличках и т. п.

На чертеже общего вида редуктора должны быть:

- изображены:
 - ❖ виды;
 - ❖ разрезы;
 - ❖ сечения:
 - нанесены надписи и текстовая часть, необходимые для понимания конструктивного устройства редуктора, взаимодействия его составных частей и принципа работы редуктора;
 - указаны все посадочные размеры с обозначением посадок по ГОСТ 25346–89 и ГОСТ 25347–82;

- указаны размеры:
 - габаритные,
 - межосевые с предельными отклонениями,
 - установочные с предельными отклонениями,
 - присоединительные с предельными отклонениями;
- указаны номера позиций деталей;
- приведена техническая характеристика редуктора;
- приведены технические требования.

Технический проект редуктора должен быть выполнен карандашом только на чертежной бумаге.

Возможно выполнение чертежей на персональном компьютере (при использовании программ *AutoCAD*, *KOMPAS*) с распечаткой результатов на принтере или на плоттере.

1.8.3. Рабочая документация

На *стадии* проектирования «Рабочая документация», в соответствии с ГОСТ 2.109–73, на основании чертежей общего вида должны быть разработаны:

- чертежи деталей;
- сборочный чертеж со спецификацией;
- монтажный (или электромонтажный) чертеж;
- габаритный чертеж;
- упаковочный чертеж.

При *учебном* проектировании монтажный (*электромонтажный*), *габаритный* и *упаковочный* чертежи не разрабатываются.

При выполнении курсового проекта из рабочей документации выполнению (пп. 25, 26 табл. 1.4) подлежат только:

- спецификация на привод;
- спецификация на редуктор;
- рабочий чертеж на выходной вал редуктора;
- рабочий чертеж на выходное колесо редуктора (для редукторов с цилиндрическими и коническими зубчатыми колесами);
- сборочный чертеж червячного колеса (для червячных редукторов);
- спецификация на червячное колесо (для червячных редукторов);
- рабочий чертеж на крышку подшипника выходного вала (с отверстием для манжетного уплотнения).

Сборочный чертеж червячного колеса и рабочие чертежи деталей должны быть выполнены карандашом *только на чертежной бумаге*. Возможно выполнение чертежей на персональном компьютере (при использовании программ *AutoCAD*, *KOMPAS*) с распечаткой результатов на принтере или на плоттере.

1.8.3.1. Червячное колесо

Правила выполнения чертежей червячных колес изложены в разд. 3.3.2.4.

Конструированию червячных колес посвящен разд. 3.3.2.5.

Допуски цилиндрических червячных передач приведены в разд. 3.3.2.7.

1.8.3.2. Цилиндрическое колесо

Правила выполнения чертежей зубчатых цилиндрических колес изложены в разд. 3.2.3.3.

Конструированию цилиндрических зубчатых колес внешнего зацепления посвящен разд. 3.2.3.4, цилиндрических зубчатых колес внутреннего зацепления – разд. 3.2.3.5.

Допуски цилиндрических червячных передач приведены в разд. 3.2.3.7.

1.8.3.3. Коническое колесо

Правила выполнения чертежей зубчатых конических колес изложены в разд. 3.2.4.3.

Конструированию конических зубчатых колес посвящен разд. 3.2.4.4.

Допуски конических червячных передач приведены в разд. 3.2.4.6.

1.8.3.4. Выходной вал редуктора

На чертеже должен быть изображен вал с указанием основных конструктивных элементов, форма и размеры которых регламентирована соответствующими стандартами:

ГОСТ 12080–66 – концы валов цилиндрические;

ГОСТ 12081–72 – концы валов конические;

ГОСТ 10549–80 – канавки для выхода резьбонарезного инструмента;

ГОСТ 8820–69 – технологические канавки для выхода шлифовального круга;

ГОСТ 10948–64 – фаски и скругления;

ГОСТ 14034–74 – центровые отверстия;

ГОСТ 24266–94 – параметры концов валов редукторов;

ГОСТ 23360–78 – шпонки призматические;

ГОСТ 24071–97 – шпонки сегментные;

ГОСТ 2.309–73 – шероховатость поверхности;

ГОСТ 2.308–79, ГОСТ 24642–81 – допуски формы и расположения поверхностей;

ГОСТ 25346–89, ГОСТ 25347–82 – допуски и посадки.

На чертеже вала должны быть приведены:

- все необходимые виды и сечения;
- все необходимые размеры;
- условные обозначения баз;
- допуски формы и расположения;
- параметры шероховатости;
- технические требования:
 - требования к материалу, заготовке, термической обработке;
 - указания о размерах (размеры для справок, радиусы закруглений и т. п.);
 - неуказанные предельные отклонения размеров.

Техническое задание на проектирование, все расчеты и обоснования технических решений при проектировании привода и редуктора, список использованной технической литературы приводятся в пояснительной записке.

1.9. Рекомендуемый порядок выполнения проекта

Выполнение проекта студентами *немашиностроительных* специальностей рекомендуется проводить в порядке, приведенном в табл. 1.4.

При выполнении технического проекта *всего привода* (студентами-механиками) в таблицу следует добавить пункты, отражающие проектирование привода, скомпонованного на раме (плите).

Алгоритм выполнения проекта изложен в разд. 13.

Результаты решения каждой расчетной (или расчетно-графической) задачи целесообразно приводить в табличном виде. Все расчеты следует выполнять в единицах *SI*. Оформление текстовой части проекта производить в соответствии с требованиями существующих стандартов на оформление текстовых документов. Графические работы следует выполнять в соответствии с требованиями ЕСКД.

Таблица 1.4

Стадии проектирования

№ п/п	Стадии проектирования и их этапы
<i>Техническое задание</i>	
1	Кинематическая схема привода (с. 10–11 данного учебника)
2	Параметры проектируемого привода (9–10 данного учебника)
<i>Эскизный проект</i>	
3	Определение требуемой мощности асинхронного электродвигателя и частоты вращения его ротора. Подбор электродвигателя по каталогу
4	Определение значения общего передаточного числа привода и его разбивка по ступеням
5	Определение мощностей, частот вращения, угловых скоростей и крутящих моментов на отдельных элементах привода
6	Выбор материалов закрытой передачи (или материалов червяка и венца червячного колеса – для червячных редукторов) и определение их механических характеристик
7	Определение размеров элементов закрытой зубчатой (или червячной) передачи на основании расчета на усталостную контактную прочность
8	Эскизная проработка конструкции элементов закрытой зубчатой (или червячной) передачи с необходимым округлением значений размеров до стандартных или рекомендуемых
9	Проверка прочности зубьев колес закрытой зубчатой передачи (или зубьев колеса червячной передачи) по контактным напряжениям и (при необходимости) корректировка размеров передачи

№ п/п	Стадии проектирования и их этапы
10	Определение составляющих силы в зацеплении закрытой зубчатой (или червячной) передачи
11	Проверка прочности зубьев колес закрытой зубчатой передачи (или колеса червячной передачи) по изгибным усталостным напряжениям и (при необходимости) корректировка размеров передачи
12	Определение коэффициента полезного действия (КПД) червячной передачи и тепловой расчет (для червячных редукторов)
13	Расчет клиноременной передачи (если она есть в заданной схеме привода). Эскизная проработка конструкций элементов клиноременной передачи
14	Расчет цепной передачи (если она есть в заданной схеме привода). Эскизная проработка конструкций элементов цепной передачи
15	Расчет открытой зубчатой передачи (если она есть в заданной схеме привода). Эскизная проработка элементов открытой зубчатой передачи
16	Проектный расчет валов привода. Предварительный выбор схем подшипниковых узлов, подбор подшипников качения и соединительных муфт. Расчет шпоночных соединений
17	Обоснование выбора способов смазки элементов привода и назначение смазочных материалов для элементов привода
18	Эскизная компоновка привода
19	Определение реакций в опорах привода
20	Проверка ранее назначенных подшипников качения привода по динамической грузоподъемности и по долговечности (в случае необходимости – корректировка типоразмеров подшипников)
<i>Технический проект</i>	
21	Конструктивная компоновка привода
22	Проверочные расчеты валов редуктора. Построение эпюр изгибающих и крутящих моментов. Определение коэффициентов безопасности (коэффициентов запаса прочности) для возможных опасных поперечных сечений входного и выходного валов сечений редуктора
23	Нанесение размеров, номеров позиций. Назначение необходимых допусков и посадок
24	Окончательное оформление чертежей общего вида редуктора. Выполнение текстовой части чертежей общего вида редуктора
<i>Рабочая документация</i>	
25	Выполнение рабочих чертежей выходного вала редуктора, выходного колеса редуктора, крышки подшипника, корпусной детали
26	Оформление текстовой документации проекта (пояснительной записки и спецификаций)

2. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

2.1. Общие положения

Курсовой проект по деталям машин представляет собой *совокупность конструкторских документов*: графических (чертежи, схемы) и текстовых (пояснительная записка, спецификация).

Графические документы также могут содержать *текстовую часть*.

Правила, порядок разработки и оформления конструкторских документов регламентированы комплексом стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и распространяются на все виды изделий машиностроения и приборостроения.

Выборка стандартов, необходимых при выполнении проекта изделия, приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Выборка стандартов

Документ	Название
ГОСТ 2.001–93	ЕСКД. Общие положения
ГОСТ 2.004–88	ЕСКД. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ
ГОСТ 2.101–68	ЕСКД. Виды изделий
ГОСТ 2.102–68	ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов
ГОСТ 2.103–68	ЕСКД. Стадии разработки
ГОСТ 2.104–68	ЕСКД. Основные надписи
ГОСТ 2.105–95	ЕСКД. Общие требования к текстовым документам
ГОСТ 2.106–96	ЕСКД. Текстовые документы
ГОСТ 2.108–68	ЕСКД. Спецификация
ГОСТ 2.109–73	ЕСКД. Основные требования к чертежам
ГОСТ 2.118–73	ЕСКД. Техническое предложение
ГОСТ 2.119–73	ЕСКД. Эскизный проект
ГОСТ 2.120–73	ЕСКД. Технический проект
ГОСТ 2.201–80	ЕСКД. Обозначения изделий и конструкторских документов
ГОСТ 2.307–68	ЕСКД. Нанесение размеров и предельных отклонений
ГОСТ 2.310–68	ЕСКД. Нанесение на чертежах обозначений покрытий, термической и других видов обработки
ГОСТ 2.316–68	ЕСКД. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц
ГОСТ 2.321–84	ЕСКД. Обозначения буквенные
ГОСТ 2.701–84	ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению
ГОСТ 3.1105–84	ЕСТД. Форма и правила оформления документов общего назначения
ГОСТ 3.1201–85	ЕСТД. Система обозначения технологической документации
ГОСТ 7.1–84	Библиографическое описание документа
ГОСТ 7.9–95	Реферат и аннотация

Документ	Название
ГОСТ 7.12–93	Сокращения русских слов и словосочетаний в библиографическом описании произведений печати
ГОСТ 24.301–80	Система технической документации на АСУ. Общие требования к текстовым документам
ГОСТ 24.304–80	Система технической документации на АСУ. Обозначения условные графические технических средств
ГОСТ 8.417–81	Единицы физических величин

Основное *назначение стандартов* ЕСКД состоит в установлении единых оптимальных правил выполнения, оформления и обращения конструкторской документации, которые обеспечивают:

- применение современных методов и средств при проектировании изделий;
- механизацию и автоматизацию обработки конструкторских документов и содержащейся в них информации;
- возможность создания единой информационной базы автоматизированных систем (САПР, АСУП и др.) и возможность обмена конструкторской документацией без ее переоформления;
- возможность проведения сертификации изделий;
- гармонизацию с соответствующими международными стандартами.

2.2. Форматы

Конструкторские документы, в том числе чертежи и схемы проектов, выполняются на листах бумаги *формата* по ГОСТ 2.301–68 (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Форматы

Формат	A0	A1	A2	A3	A4	A5
Размеры, мм ²	841 × 1189	594 × 841	420 × 594	297 × 420	210 × 297	148 × 210

Допускается применение *дополнительных форматов*, получаемых увеличением коротких сторон основных форматов на величину, кратную их размерам.

Обозначение этих форматов включает обозначение *основного* формата и его *кратности*, например A2 × 3 (594 × 1261 мм).

Форматы листов определяются размерами *внешней* рамки, выполняемой *сплошными тонкими линиями*, по которым производят обрезку листов.

2.3. Текстовые технические документы

2.3.1. Общие положения

Текстовые документы подразделяют на документы, содержащие в основном сплошной текст (пояснительная записка, технические условия), и документы, содержащие текст, разбитый на графы (спецификации, таблицы).

Текстовые документы необходимо составлять в соответствии с ГОСТ 2.105–95. Их следует выполнять на листах формата A4 (табл. 2.2) по ГОСТ 2.301–68 с нанесением на них рамки и соответствующей основной надписи типографским, машинным или рукописным способом.

Величины *полей* между рамкой и краями листа равны: слева – 20 мм, сверху, справа и снизу – 5 мм.

На первом листе пояснительной записки, на котором помещено содержание, основная надпись выполняется по форме 2 (ГОСТ 2.104–68) (рис. 2.1), на остальных листах – по форме 2а (ГОСТ 2.104–68) (рис. 2.2).

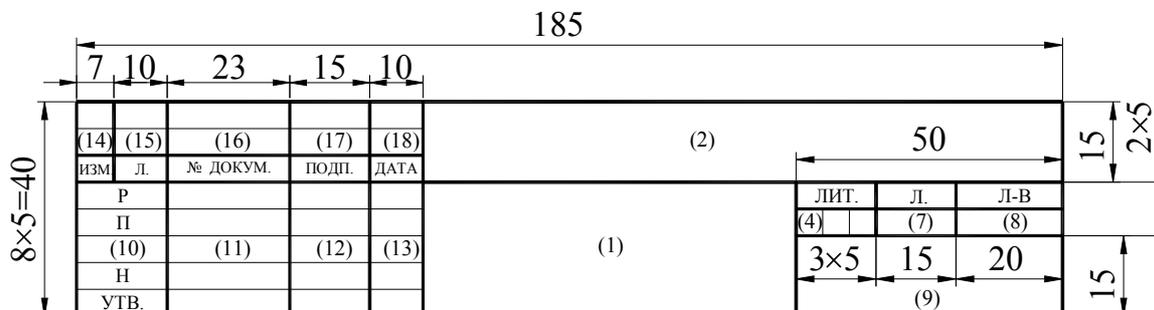


Рис. 2.1. Основная надпись для текстовых конструкторских документов (первый или заглавный лист)

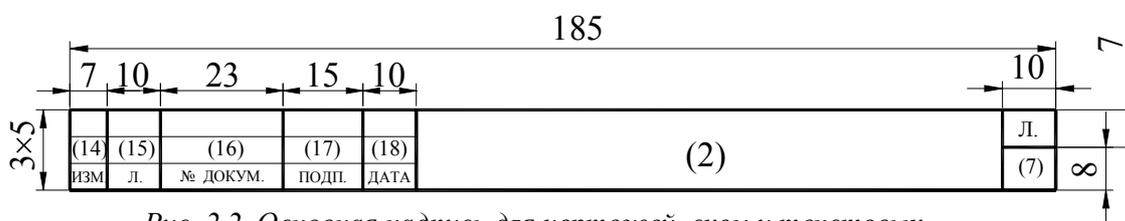


Рис. 2.2. Основная надпись для чертежей, схем и текстовых конструкторских документов (последующие листы)

2.3.2. Обозначение изделий и конструкторских документов

Каждому изделию, в соответствии с ГОСТ 2.101–68, должно быть присвоено *обозначение*.

Обозначение изделия является одновременно обозначением его основного конструкторского документа (чертежа детали или спецификации сборочной единицы).

Деталям, на которые чертежи не выпущены, согласно ГОСТ 2.109–73, должны быть присвоены самостоятельные обозначения по общим правилам.

Обозначение неосновного конструкторского документа должно состоять из обозначения изделия и кода документа, установленного стандартами ЕСКД (ГОСТ 2.102–68, ГОСТ 2.601–68, ГОСТ 2.102–68, 2.701–84).

[1].[2].[3].[4]

Рис. 2.3

Структура обозначения приведена на рис. 2.3 (номера полей указаны в скобках):

- в поле 1 записывают *условный код*, сформированный из *сокращенного названия дисциплины и личного шифра студента*, например МЕХ 52768;
- в поле 2 записывают *порядковый номер* от 1 до 9 *основной сборочной единицы, входящей в состав изделия*;
- в поле 3 записывают *порядковый номер* от 1 до 9 *сборочной единицы, входящей в состав основной сборочной единицы и обозначенной в поле 2*;
- в поле 4 записывают от 01 до 99 *обозначение детали*.

В обозначении конструкторских документов между полями 1 и 2, 3 и 4 ставят *разделительные точки* (рис. 2.3).

Если документу присвоен код, то правее поля 4 приводят его *обозначение*.

В *обозначении всего проектируемого изделия в сборе*, одновременно являющимся обозначением его спецификации, в полях 2, 3, и 4 записывают *нули*. Такое же обозначение записывают в графу 2 основной надписи спецификации (разд. 2.3.17).

Для конструкторских документов *всего изделия в сборе* (чертежа общего вида, пояснительной записки), помимо обозначения изделия, правее поля 4 приводят *буквенные обозначения кода документа*, соответственно, «ВО» или «ПЗ».

Другими конструкторскими документами всего изделия в сборе могут быть *спецификации сборочных единиц*, входящих в его состав, и *чертежи деталей, не вошедших ни в одну из сборочных единиц*.

Номер сборочной единицы в этом случае записывают в поле 2 обозначения спецификации, а номер детали – в поле 4 обозначения чертежа.

Пример обозначения конструкторской документации на привод:

пояснительная записка	МЕХ 53721.00.00 ПЗ;
спецификация привода	МЕХ 53721.00.00;
чертеж общего вида привода	МЕХ 53721.00.00 ВО;
спецификация рамы	МЕХ 53721.01.00;
чертеж общего вида рамы	МЕХ 53721.01.00 ВО;
спецификация червячного редуктора	МЕХ 53721.20.00;
чертеж общего вида червячного редуктора	МЕХ 53721.20.00 ВО;
спецификация червячного колеса редуктора	МЕХ 53721.21.00;
сборочный чертеж червячного колеса редуктора	МЕХ 53721.31.00 СБ;
чертеж ступицы червячного колеса редуктора	МЕХ 53721.21.01;
чертеж червяка редуктора	МЕХ 53721.00.12.

2.3.3. Основная надпись

Основную надпись (рис. 2.1 и 2.2) располагают в *правом нижнем углу* документа.

На листах *формата А4* по ГОСТ 2.301–68 основную надпись следует располагать *только вдоль короткой стороны*.

В *текстовых документах* (в спецификациях, в пояснительной записке) применяют форму основной надписи по форме 2 (рис. 2.1) – для первого или заглавного листа и по форме 2а (рис. 2.2) – для последующих листов.

Перечень допускаемых по ГОСТ 2.004–88 *сокращений слов*, применяемых в основных надписях и спецификациях, приведен в табл. 2.3.

В графах основных надписей (номера граф на рис. 2.1 и рис. 2.2 указаны в скобках) приводят:

1 – *наименование изделия* (детали сборочной единицы, комплекса), а также наименование документа, если этому документу присвоен код. Наименование записывают в именительном падеже единственного числа. На первом месте помещают имя существительное. Пример записи для текстового документа: «Привод червячно-цепной. Пояснительная записка»;

2 – обозначение документа (с. 25–26). Например, для пояснительной записки: «МЭХ 52473.00.00. ПЗ»;

4 – литеру документа (при выполнении курсового проекта на основной надписи пояснительной записки проставляют литеру «Э», так как литерой полного комплекта конструкторской документации изделия следует считать низшую из литер, указанных в документах, входящих в комплект);

7 – порядковый номер листа (на документах, состоящих из одного листа, эту графу не заполняют);

8 – общее количество листов документа (пояснительной записки, спецификации) – графу заполняют только на первом листе;

9 – название предприятия-разработчика (вуз, кафедра, шифр группы). Например: ТПУ, КТПМ, группа 5602;

10, 11, 12, 13 – характер работы, выполняемой лицом, подписавшим документ: в строке «Р» (разработал) – фамилия и инициалы студента, его подпись и дата окончания работы над документом; в строке «П» (проверил) – фамилия и инициалы преподавателя.

Подпись и дату преподаватель проставляет после проверки и защиты проекта. Подписи лиц, разработавших документ, являются обязательными. Остальные строки в графах 14–18 в учебных проектах не заполняют. В основной надписи, выполненной по форме 2а, заполняют только графы 2 и 7.

2.3.4. Общие правила выполнения текстов

Подлинники текстовых документов выполняют одним из следующих способов:

- машинописным – высота шрифта не менее 2,5 мм, лента только черного цвета;
- рукописным – чертежным шрифтом по ГОСТ 2.304–81 с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм;
- с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ.

Допускается часть информации (текст, таблицы, рисунки) выполнять любым сочетанием этих способов.

Учебные текстовые документы можно рассматривать как оригиналы и выполнять рукописным способом (текст – не чертежным шрифтом, а основные надписи, заголовки и формулы – чертежным шрифтом) с четким и ясным написанием цифр и букв черными чернилами, пастой и тушью.

Вписывать (рукописным способом) в текстовые документы, изготовленные машинописным способом, отдельные слова, формулы и условные знаки, а также выполнять иллюстрации следует черными чернилами, пастой или тушью.

Опечатки, описки и графические неточности исправляют подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на то же место исправленного текста

Таблица 2.3
Сокращения слов

Полное наименование	Сокращение по ГОСТ 2.0004–88
Изменение	ИЗМ.
Документ	ДОКУМ.
Подпись	ПОДП.
Разработал	Р
Проверил	П
Технологический контроль	Т
Нормоконтроль	Н
Утвердил	УТВ.
Литера	ЛИТ.
Лист	Л.
Листов	Л-В
Формат	Ф-Т
Позиция	ПОЗ.
Обозначение	ОБОЗН.
Количество	КОЛ.

(графики). После внесения исправлений документ должен удовлетворять требованиям микрофильмирования согласно ГОСТ 13.102–80.

В текстовый документ включают:

- титульный лист;
- содержание;
- основной текст;
- таблицы (могут быть вынесены в приложения);
- выводы и заключение;
- список использованной литературы;
- приложения.

Все листы, *кроме титульного*, следует пронумеровать.

Нумерация листов должна быть *сквозной*.

В общую нумерацию необходимо включать:

- титульный лист;
- рисунки и таблицы, расположенные на отдельных листах;
- список литературы;
- приложения.

Текстовые документы, выполненные *рукописным* способом, следует выполнять *на одной стороне листа*, а выполняемые типографским способом можно размножать методом двустороннего копирования.

2.3.5. Состав пояснительной записки к курсовому проекту

Пояснительная записка (ПЗ) должна включать:

- титульный лист;
- техническое задание;
- содержание (оглавление);
- введение;
- основной текст;
- выводы и заключение;
- список литературы;
- приложения (если они есть).

2.3.6. Титульный лист

Титульный лист, являющийся первым листом, следует выполнять на *чертежной бумаге*. Заполняют титульный лист черной тушью или карандашом стандартным шрифтом. Титульный лист не должен иметь основной надписи.

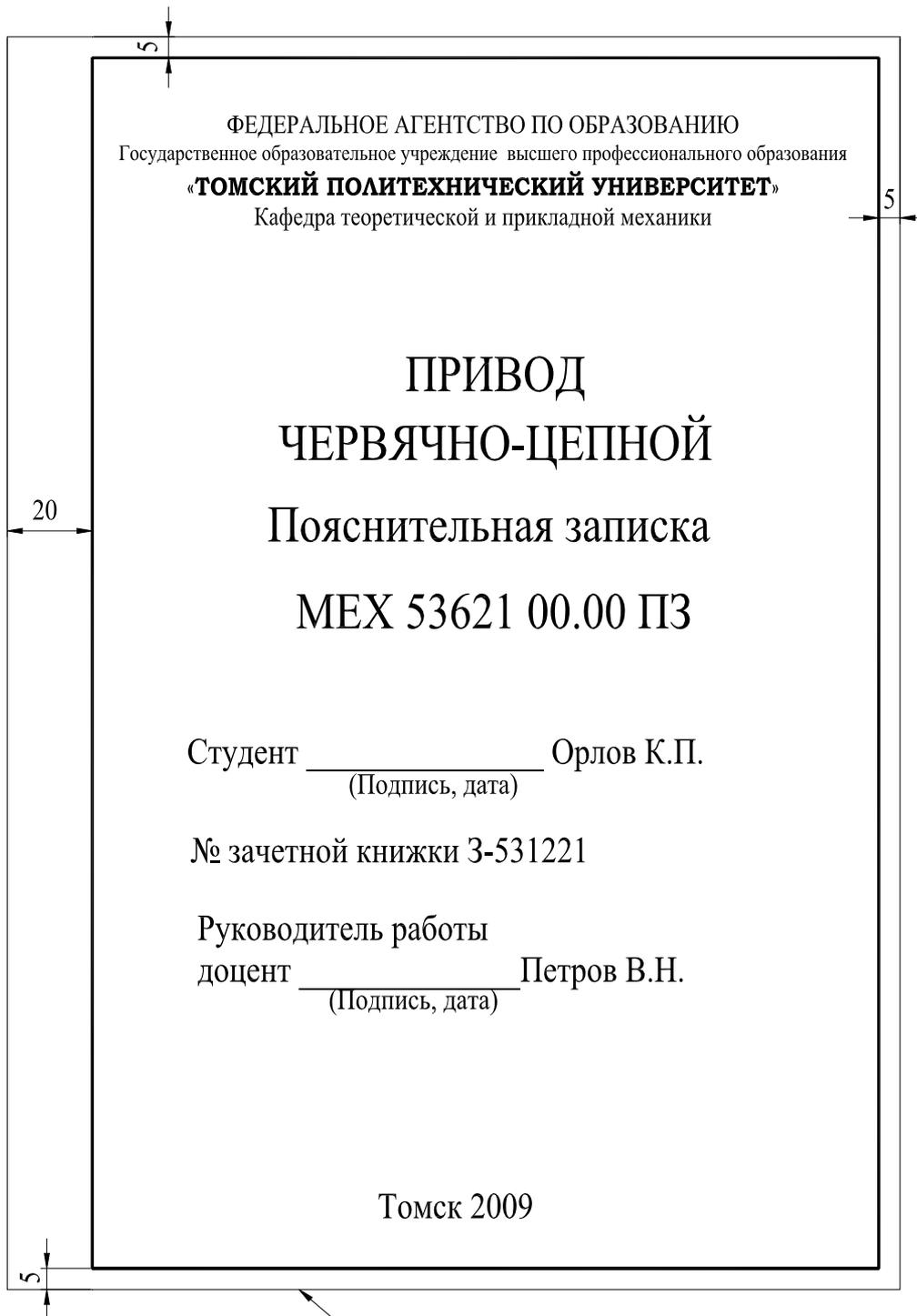
Пример титульного листа пояснительной записки к курсовому проекту по дисциплине «Механика» (раздел «Детали машин») приведен на рис. 2.4.

2.3.7. Содержание

Содержание (оглавление) должно быть приведено *в начале текстового технического документа* на заглавном и последующих листах, причем заглавный лист должен иметь основную надпись по форме 2 (рис. 2.1), а остальные листы – по форме 2а (рис. 2.2).

В содержании следует перечислить заголовки всех разделов и подразделов с указанием номеров страниц, на которых помещены заголовки.

Пример оформления листа содержания приведен на рис. 2.5.



края листа формата А4

Рис. 2.4



Рис. 2.5

2.3.8. Техническое задание

В бланке *технического задания*, содержащего исходные данные, объемы и сроки выполнения работы, следует помещать *вслед за содержанием*.

Пример листа с техническим заданием к курсовому проекту, в соответствии с действующими в настоящее время стандартами, приведен на рис. 2.6.

На *обратной* стороне листа с техническим заданием вычерчивается черной тушью или черной чернильной пастой *кинематическая схема привода*.

Рамка и штамп выполняются по образцу, представленному на рис. 2.6.

2.3.9. Введение

Во введении следует:

- изложить цель работы;
- указать документы, на основании которых разработан проект;
- назначение и область применения проектируемого изделия.

Заглавием должно служить слово ВВЕДЕНИЕ.

2.3.10. Построение текста технического документа

Основной текст документа делят на *разделы* и *подразделы*. Разделы должны иметь *порядковые номера* в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами *без точки* и записанные с абзацного отступа. *Названия разделов и подразделов* должны кратко и четко отражать содержание последних, например:

4 РАСЧЕТ ЗАКРЫТОЙ КОНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ

Подразделы нумеруют в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой, например:

4 РАСЧЕТ ЗАКРЫТОЙ КОНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ

4.1 ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ КОЛЕС И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ
МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Разделы и подразделы могут состоять из одного или нескольких пунктов. *Нумерация пунктов* должна быть в пределах каждого раздела или подраздела.

Например:

4 РАСЧЕТ ЗАКРЫТОЙ КОНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ

4.1 ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ КОЛЕС И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ
МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

4.1.1 ВЫБОР МАТЕРИАЛА КОНИЧЕСКОЙ ШЕСТЕРНИ

Заголовки записывают с прописной буквы, не подчеркивая.

Переносы слов в заголовках недопустимы.

Также не нужно ставить точку в конце заголовка.

Если заголовок состоит из двух предложений, то их разделяют точкой.

Расстояние между заголовком и последующим текстом при выполнении документа машинописным способом – 3 интервала, рукописным способом – 15 мм.

Расстояние между заголовками раздела и подраздела – 2 интервала при машинописном способе и 8 мм при рукописном способе.

2.3.11. Изложение текста

Изложение текста документа следует вести, руководствуясь нижеприведенными правилами.

Полное наименование изделия на титульном листе, в основной надписи и при первом упоминании в тексте документа должно соответствовать его наименованию в основном конструкторском документе (например «Редуктор червячный»).

В последующем тексте порядок слов в наименовании должен быть *прямой*, то есть на первом месте приводят определение (прилагательное), а затем – существительное (например «червячный редуктор разбирается...»).

Изложение текста должно быть кратким и четким, терминология и определения должны соответствовать терминам, установленным стандартами, а при их отсутствии – общепринятым в научно-технической литературе.

Изложение текста следует вести, *не употребляя местоимений*. Например: «...находим..., ...определяем...», либо в безличной форме.

Сокращение слов в тексте и под иллюстрациями *не допускается*, кроме сокращений, установленных ГОСТ 2.004–88, ГОСТ 2.316–68, ГОСТ 7.11–78, ГОСТ 7.12–77 и правилами орфографии.

2.3.11.1. Условные буквенные и графические обозначения.

Математические знаки

Условные буквенные обозначения механических, математических и других величин, а также *условные графические обозначения* и *математические знаки*, используемые в документах проекта, должны соответствовать установленным стандартам.

Для *символов* предпочтительно использовать прописные и строчные буквы *латинского* и *греческого* алфавитов.

В качестве символов взяты, как правило, начальные буквы английского названия соответствующей величины (табл. 2.4).

Кроме *основного символа*, стандарты приводят *запасной символ*. Последний рекомендуется использовать в тех случаях, когда применение основного символа нежелательно из-за возможного обозначения разных величин одним и тем же символом.

В тексте перед обозначением какого-либо параметра следует давать его пояснение, например «долговечность *L*».

Чтобы установить различия между разновидностями одной и той же величины, обозначенными одним и тем же символом, используют *индексы*, в качестве которых используют также буквы латинского и греческого алфавитов. Эти буквы выбраны в большинстве случаев по указанному выше правилу; например: обозначение силы трения – F_f , осевой силы – F_a , радиальной силы – F_r , окружной силы – F_t .

Для обозначения порядковых номеров величин следует использовать арабские (преимущественно) и римские цифры.

Следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования в соответствии с ГОСТ 8.417–81. *Единицы измерения одной и той же величины в пределах документа должны быть постоянными.* Следует использовать единицы *SI*.

В *тексте* документа, за исключением формул, таблиц и рисунков, *не допускается*:

- сокращать обозначения физических величин, если их употребляют без цифр;
- применять математический знак «минус» (–) перед отрицательными значениями величин (следует писать слово «минус»);
- применять знак «Ø» для обозначения диаметра (следует писать слово «диаметр»);
- применять без числовых значений математические знаки «<, <, >, >, ≤, ≥, ×, /, – , =, а также знаки № (номер), % (процент), ° (градус), ' (минута), " (секунда); при употреблении знаков без сочетания с числом в цифровой форме их следует заменять словами;
- применять индексы стандартов, технических условий и других документов без регистрационного номера.

Таблица 2.4

Величины, их условные обозначения и единицы

Величина			Единицы		
Наименование		Обозначение	Наименование	Обозначение	
русское	английское			международное	русское
<i>Основные величины и их единицы в Международной системе SI</i>					
Длина	<i>Length</i>	$l, (L)$	метр	m	м
Масса	<i>Mass</i>	M	килограмм	Kg	кг
Время	<i>Time</i>	$T, (t)$	секунда	S	с
Температура	<i>Temperature</i>	$T, (\theta)$	кельвин	K	К
<i>Дополнительные величины и их единицы</i>					
Плоский угол	<i>Plan angle</i>	φ	радиан	Rad	рад
<i>Геометрические величины и их единицы</i>					
Высота	<i>Height</i>	$h (H)$	метр	m	м
Диаметр	<i>Diameter</i>	$d (D)$	метр	m	м
Длина	<i>Length</i>	$l (L)$	метр	m	м
начальная	<i>reference</i>	$l_r (L_r)$	метр	m	м
общая	<i>total</i>	$l_t (L_t)$	метр	m	м
рабочая	<i>working</i>	$l_w (L_w)$	метр	m	м
базовая	<i>base</i>	$l_b (L_b)$	метр	m	м
Плечо (рычага)	<i>Arm</i>	a	метр	m	м
Радиус	<i>Radius</i>	$r (R)$	метр	m	м

Величина			Единицы		
Наименование		Обозначение	Наименование	Обозначение	
русское	английское			международное	русское
Радиус кривизны	<i>Radius of curvature</i>	ρ	метр	<i>m</i>	м
Расстояние	<i>Space</i>	<i>s</i>	метр	<i>m</i>	м
Толщина	<i>Thickness</i>	<i>t</i>	метр	<i>m</i>	м
Ширина	<i>Breadth</i>	<i>b (B)</i>	метр	<i>m</i>	м
Шаг	<i>Pitch</i>	<i>P</i>	метр	<i>m</i>	м
Площадь	<i>Area, (square)</i>	<i>A (S)</i>	квадратный метр	<i>m</i> ²	м ²
Объем	<i>Volume</i>	<i>V</i>	кубический метр	<i>m</i> ³	м ³
Момент сопротивления плоской фигуры:	<i>Moment of resistance:</i>	<i>W</i>	кубический метр	<i>m</i> ³	м ³
осевой	<i>axial</i>	W_x, W_y, W_z	кубический метр	<i>m</i> ³	м ³
полярный	<i>polar</i>	<i>Wp</i>	кубический метр	<i>m</i> ³	м ³
<i>Кинематические величины и их единицы</i>					
Перемещение	<i>Shift</i>	<i>S</i>	метр	<i>m</i>	м
Скорость:	<i>Velocity:</i>	<i>V</i>	метр в секунду	<i>m/s</i>	м/с
линейная	<i>linear</i>	<i>V_l</i>	метр в секунду	<i>m/s</i>	м/с
средняя	<i>mean</i>	<i>V_m</i>	метр в секунду	<i>m/s</i>	м/с
абсолютная	<i>absolute</i>	<i>V_a</i>	метр в секунду	<i>m/s</i>	м/с
переносная	<i>endure</i>	<i>V_e</i>	метр в секунду	<i>m/s</i>	м/с
относительная	<i>relative</i>	<i>V_r</i>	метр в секунду	<i>m/s</i>	м/с
Скорость угловая	<i>Angular velocity</i>	ω	радиан в секунду	<i>rad/s</i>	рад/с
Частота периодического процесса	<i>Frequency of batch process</i>	<i>f</i>	герц	<i>Hz</i>	Гц
Частота вращения	<i>Rotational speed</i>	<i>n</i>	обороты в минуту	<i>min</i> ⁻¹	мин ⁻¹
<i>Силовые и энергетические величины. Их единицы</i>					
Сила:	<i>Force:</i>	<i>F</i>	ньютон	<i>N</i>	Н
тяжести	<i>gravity</i>	<i>F_g</i>	ньютон	<i>N</i>	Н
инерции	<i>inertia</i>	<i>F_i</i>	ньютон	<i>N</i>	Н
трения	<i>frictional</i>	<i>F_f</i>	ньютон	<i>N</i>	Н
реакции	<i>reacting</i>	<i>F_R</i>	ньютон	<i>N</i>	Н
окружная	<i>tangential</i>	<i>F_t</i>	ньютон	<i>N</i>	Н
радиальная	<i>radial</i>	<i>F_r</i>	ньютон	<i>N</i>	Н
осевая	<i>axial</i>	<i>F_a</i>	ньютон	<i>N</i>	Н
результующая	<i>resultant</i>	<i>F_R</i>	ньютон	<i>N</i>	Н
продольная	<i>longitudinal</i>	<i>F_l</i>	ньютон	<i>N</i>	Н

Величина			Единицы		
Наименование		Обозначение	Наименование	Обозначение	
русское	английское			международное	русское
поперечная	<i>Transversal</i>	F_t	НЬЮТОН	N	Н
нормальная	<i>normal</i>	F_n	НЬЮТОН	N	Н
сцепления	<i>adhesive</i>	F_k	НЬЮТОН	N	Н
предельная	<i>limiting</i>	F_{lim}	НЬЮТОН	N	Н
максимальная	<i>maximum</i>	F_{max}	НЬЮТОН	N	Н
минимальная	<i>minimum</i>	F_{min}	НЬЮТОН	N	Н
номинальная	<i>nominal</i>	F_n	НЬЮТОН	N	Н
расчетная	<i>rated</i>	F_r	НЬЮТОН	N	Н
удельная	<i>specific</i>	F_s	НЬЮТОН	N	Н
Момент:	<i>Moment:</i>	M	НЬЮТОН-МЕТР	$N \cdot m$	Н·М
силы	<i>of force</i>	$\overline{m(F)}$	НЬЮТОН-МЕТР	$N \cdot m$	Н·М
пары сил	<i>force couples</i>	$\overline{M_F}$	НЬЮТОН-МЕТР	$N \cdot m$	Н·М
вращающий	<i>Turning</i>	M_T	НЬЮТОН-МЕТР	$N \cdot m$	Н·М
крутящий	<i>torsional</i>	$Mt (T)$	НЬЮТОН-МЕТР	$N \cdot m$	Н·М
изгибающий	<i>bending</i>	Mb	НЬЮТОН-МЕТР	$N \cdot m$	Н·М
Давление	<i>Pressure</i>	p	ПАСКАЛЬ	Pa	Па
Мощность	<i>Power</i>	P	ВАТТ	W	Вт
<i>Величины, характеризующие механические свойства материалов</i>					
Коэффициент Пуассона	<i>Poisson station</i>	$\nu (\mu)$	–	–	–
Модуль:	<i>Module:</i>				
упругости	<i>of elasticity</i>	E	ПАСКАЛЬ	Pa	Па
сдвига	<i>shearing</i>	G	ПАСКАЛЬ	Pa	Па
Напряжение:	<i>Stress:</i>		ПАСКАЛЬ	Pa	Па
нормальное	<i>normal</i>	σ	ПАСКАЛЬ	Pa	Па
касательное	<i>tangential</i>	τ	ПАСКАЛЬ	Pa	Па
контактное	<i>contact</i>	σ_H	ПАСКАЛЬ	Pa	Па
допускаемое	<i>permissible</i>	σ_p, τ_p	ПАСКАЛЬ	Pa	Па
предельное	<i>limit</i>	σ_{lim}, τ_{lim}	ПАСКАЛЬ	Pa	Па
Твердость:	<i>Hardness:</i>	H	–	–	–
по Бринеллю	<i>Brinell</i>	HB	–	–	–
по Роквеллу	<i>Rockwell</i>	HR	–	–	–
Число циклов перемены напряжений:	<i>Number of cycles of change of stresses</i>	N	–	–	–
базовое	<i>Basic</i>	N_b	–	–	–
суммарное	<i>sum</i>	N_Σ	–	–	–
эквивалентное	<i>equivalent</i>	N_e	–	–	–

Величина			Единицы		
Наименование		Обозначение	Наименование	Обозначение	
русское	английское			международное	русское
Долговечность:	<i>Longevity:</i>	L	–	–	–
в часах	<i>hour</i>	L_h	час	h	ч
Коэффициент безопасности (запаса прочности)	<i>Margin of safety</i>	$S(n)$	–	–	–
<i>Величины, характеризующие зубчатые, червячные, цепные и ременные передачи</i>					
Шаг:	<i>Pitch:</i>	$p(t)$	миллиметр	mm	мм
нормальный	<i>normal</i>	p_n	миллиметр	mm	мм
окружной	<i>tangential</i>	p_t	миллиметр	mm	мм
осевой	<i>axial</i>	p_a	миллиметр	mm	мм
Модуль:	<i>Module:</i>	m	миллиметр	mm	мм
нормальный	<i>normal</i>	m_n	миллиметр	mm	мм
окружной	<i>tangential</i>	m_t	миллиметр	mm	мм
осевой	<i>axial</i>	m_a	миллиметр	mm	мм
Диаметр:	<i>Diameter:</i>	d	миллиметр	mm	мм
вершин	<i>advanced</i>	d_a	миллиметр	mm	мм
впадин (ножка)	<i>(foot)</i>	d_f	миллиметр	mm	мм
делительный	<i>pitch diameter</i>	d	миллиметр	mm	мм
начальный	<i>initial</i>	d_o	миллиметр	mm	мм
основной	<i>basic</i>	d_b	миллиметр	mm	мм
Число зубьев:	<i>Number of teeth:</i>	z	–	–	–
суммарное	<i>sum</i>	z_Σ	–	–	–
эквивалентное	<i>equivalent</i>	z_e	–	–	–
Межосевое расстояние	<i>Axial distance</i>	a_o	миллиметр	mm	мм
Ширина зубчатого венца	<i>Width of gear ring</i>	b_o	миллиметр	mm	мм
Передаточное число	<i>Gear ratio</i>	u	–	–	–
Передаточное отношение	<i>Reduction ratio</i>	i	–	–	–
Полус	<i>Pole</i>	P	–	–	–

Таблица 2.5

Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами SI

Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		международное	русское
Время	Минута	<i>min</i>	мин
	Час	<i>h</i>	ч
	Сутки	<i>d</i>	сут
Плоский угол	Градус	... ^o	... ^o
	Минута	...'	...'
	Секунда	..."	..."
Объем	Литр	<i>l (ltr)</i>	литр

2.3.11.2. Числа в тексте

Однозначные количественные числительные, если при них нет единиц величин, следует писать *словами*, а не цифрами. Это же правило в основном относится и к порядковым числительным (например «... по второму варианту...»).

Порядковые числительные, следующие одно за другим, могут быть даны цифрами с падежным окончанием, которое ставят только при последней цифре, причем если предпоследняя буква числительного гласная, то падежное окончание должно быть однобуквенным (первое – 1-е, пятый – 5-й), а если предпоследняя буква числительного согласная, то окончание должно быть двухбуквенным (десятого – 10-го).

Падежное окончание не ставится в следующих случаях:

- в порядковых числительных, если они стоят после существительного, к которому относятся; например: «на с. 12, в табл. 5, на рис. 1, см. Приложение 2» и т. п.;
- при римских цифрах и количественных числительных, которые сопровождаются существительными; например: «II глава, на 32 страницах»;
- в датах; например: «9 мая», «в 1986 г.», но «год 1986-й».

Сложные прилагательные, первой частью которых является числительное, второй – проценты, метрические меры и т. п. следует писать таким образом: «20%-й, 7-метровый, но: двухосный, двухступенчатый, трехколесный, двадцатипроцентный, семиметровый» и т. д.

Многочисленные числа в цифровой форме делят пробелами на группы (по три цифры в каждой группе) справа налево, например «12 125 254 Па».

Круглые крупные цифры – тысячи, миллионы, миллиарды рекомендуется писать в буквенно-цифровой форме; например: «25 тыс., 54 млн, 40 млрд»

В *десятичных дробных числах* цифры после запятой также делят на трехзначные группы, но только слева направо; например «12,543 54».

Существительное после дробного числа согласуют с дробной его частью и ставят в родительном падеже, например «245,5 ньютона».

Дробные числа необходимо приводить в виде десятичных дробей, за исключением размеров в дюймах, например: «1/2"».

2.3.11.3. Написание формул

Приводимые в тексте *формулы*, как правило, располагают в середине строки.

Несколько *коротких однотипных формул* могут быть расположены на одной строке и отделены одна от другой точкой с запятой.

Несложные по структуре и короткие формулы для промежуточных и вспомогательных операций допускается располагать непосредственно в тексте.

В тексте перед формулами знаки препинания следует ставить в соответствии с обычными правилами, считая, что формула не нарушает синтаксического строя фразы.

Формулы могут быть выполнены машинописным, автоматизированным способом или рукописным способом – чертежным шрифтом высотой не менее 2,5 мм. При этом необходимо делать различие между прописными, строчными буквами; буквами, обозначающими степени и индексы; а также между буквами, имеющими сходное написание. Прописные буквы должны быть примерно в два раза выше строчных, а строчные, в свою очередь, должны быть в два раза выше букв и цифр, обозначающих степени и индексы.

При вписывании *знаков сложения, вычитания, равенства, корня* и т. п. их середина должна быть строго против горизонтальной черты дробей.

Длина черты дроби должна быть равна размеру наибольшего из выражений числителя или знаменателя.

Надстрочные индексы и показатели степени располагают выше строки, а *подстрочные индексы* – ниже строки.

Скобки должны полностью охватывать по высоте заключенные в них выражения; открывающие и закрывающие скобки одного вида должны быть одинаковой высоты.

Точку в качестве знака умножения ставят между числовыми сомножителями, а также между буквенными сомножителями в тех случаях, когда ее отсутствие может привести к разночтению, например: « $\sin \beta \cdot a$ » (но лучше писать $a \cdot \sin \beta$). Не ставят *такой* знак умножения между скобками, между буквенными выражениями, перед дробными выражениями, записанными в буквенной форме, и после них, перед знаками функций и операторов.

При записи *определителей* и *матриц* четко выдерживают линии строк и столбцов и не разделяют их элементы запятыми.

Многоточие в формулах и в выражениях применяют в виде трех точек, представляемых на нижней линии строки.

Знаки отношений, операций и запятые ставят перед многоточием и после него, например: $a_1, a_2 \dots a_n$.

При необходимости допускается *перенос формулы* на другую строку на математических знаках отношений ($-$, $>$, $+$, $=$ и т. п.). При переносе на знаке умножения ставят знак « \times » (точка не допускается). На знаке деления перенос не рекомендуется. Знак, на котором сделан перенос, следует повторить на другой строке. Если формула прервана на отточии, последнее также повторяется.

Буквы, цифры и знаки в документах, получаемых на печатающих устройствах, определяет тип печатающего устройства. Допускаются следующие записи:

$$\sqrt{X} = X^{0,5} = X^{\frac{1}{2}} = X^{**1/2} = X^{**0,5};$$
$$18_{-0,025}^{+0,018} = 18(+0,018; -0,025).$$

Если значения параметров и числовых коэффициентов в расчетной формуле приведены в документе *впервые*, то производится их *расшифровка*, которая должна быть приведена в *эспликациях* непосредственно под формулой с указанием *единиц величин*. Значение каждого символа давать с новой строки в той же последовательности, в какой они приведены в формуле. Символ отделяют от пояснения знаком тире.

В конце каждой расшифровки ставят точку с запятой, после последней расшифровки ставят точку. Если формула имеет вид дроби, то сначала расшифровывают числитель, а затем – знаменатель. Первую строку расшифровки начинают со слова «где» без двоеточия после него. В этом случае после формулы ставят запятую.

Если эспликация начинается со слова «здесь», то после формулы ставят точку, а слово «здесь» пишут с прописной буквы.

Например:

«Напряжения изгиба σ_F , Па, вычисляют по формуле:

$$\sigma_F = \frac{M}{W}, \quad (4)$$

где M – изгибающий момент, Нм; W – момент сопротивления сечения при изгибе, м³».

При подстановке числовые значения параметров располагают в том же порядке, в каком они записаны в формуле. Далее приводят окончательный результат, опуская промежуточные операции и сокращения.

Формулы, на которые в дальнейшем делают *ссылки*, нумеруют арабскими цифрами в пределах всей пояснительной записки. Номер ставят с *правой* стороны листа на уровне формулы, заключая его в круглые скобки.

При переносе формулы с одной строки на другую номер ставят на уровне ее последней строки.

Формулы, образующие *одну* строку, отмечают *одним* номером.

Систему формул, образующих *несколько* строк, отмечают *одним* номером.

Ссылку в тексте на порядковый номер формулы приводят в круглых скобках, например «...вычисляют по формуле (4)».

При выполнении расчета следует всегда обращать внимание на необходимую *точность подсчета* искомой величины. Количество значащих цифр должно отвечать их *достоверности*. Так, например число зубьев зубчатого колеса не может быть дробным.

Округления получаемых в результате *расчетов параметров* выполняют в соответствии с рекомендуемыми значениями соответствующих стандартов, например: линейные размеры (диаметры, длины) – по ГОСТ 6636–69, межосевые расстояния цилиндрических передач – по ГОСТ 2185–66, модули цилиндрических зубчатых передач – по ГОСТ 9563–60 и т. д.

Наибольшие или *наименьшие значения величин* следует указывать словосочетанием «...должно быть не менее (не более)...». Например, «коэффициент ширины зубчатого венца должен быть не более...».

Допустимые значения отклонений от норм, требований, следует указывать словосочетанием «...не должно быть более (менее)...», например: «...допустимое отклонение от номинального размера не должно быть более 0,1 мм».

Интервалы чисел в тексте записывают:

- со словами «от» и «до» (имея в виду «от... до... включительно»), если после чисел указана единица физической величины или числа представляют собой безразмерные коэффициенты;
- через дефис, если числа представляют собой порядковые номера, например: «от 30 до 50 мм; значения коэффициента S от 2,5 до 4; в соответствии с рис. 1–5».

2.3.11.4. Оформление примечаний

Справочные, поясняющие данные следует указывать в *примечаниях к тексту*, которые по месту расположения в тексте могут быть внутритекстовыми и подстрочными.

Внутритекстовое примечание применяют тогда, когда нужно сделать мелкие попутные замечания. Его заключают в круглые скобки и начинают со строчной буквы.

Подстрочное примечание (сноску) располагают внизу страницы (полосы). Знаки сносок можно размещать в тексте после слова или словосочетания, к которому они относятся – арабскими цифрами, которые помещают на уровне верхнего обреза шрифта, например: «... верхний упругий элемент¹...». Допускается вместо цифр в знаке сноски использовать звездочки (*). Применять более четырех звездочек не рекомендуется.

Сноску в тексте располагают с абзацного отступа в конце страницы, на которой она обозначена, и отделяют от текста короткой тонкой горизонтальной линией с левой стороны.

Сноску к данным, расположенным в таблицах, помещают в конце табл. под линией, обозначающей окончание таблицы.

2.3.11.5. Единицы физических величин

Основные единицы физических величин, их наименование, обозначение и правила применения устанавливаются ГОСТ 8.417–81.

Допускается применять *десятичные кратные и дольные* от единиц *SI*, а также *единицы, применяемые наравне с единицами SI* (минута, час, сутки, литр, угловые величины – секунда, минута, градус) (табл. 2.3)).

При написании значений размерных величин используют *обозначение единиц буквами или специальными знаками*, например «...^о», причем стандартизируются два вида буквенных обозначений: международное (буквами латинского и греческого алфавитов) и русское (буквами русского алфавита).

На шкалах и щитках, помещаемых на изделиях, следует применять международное обозначение единиц. В других случаях это обозначение допускается на языке соответствующей страны.

Буквенное обозначение единиц следует печатать прямым шрифтом. В обозначении точку как знак сокращения не ставят. Обозначения помещают в одну строчку с числовыми значениями величин. Если в тексте приводится ряд числовых значений величины, единицу измерения указывают только после последнего числа. Например: «1,0; 1,6; 3,2 и 5,4 мм».

Между последней цифрой числа и обозначением единицы следует оставлять пробел, например: «1,6 кВт». Исключения составляют обозначения в виде знака, поднятого над строкой, перед которыми пробела не оставляют, например: «20°».

При наличии десятичной дроби в числовом значении величины обозначение единицы помещают после всех цифр.

Если значение величины указывают с *предельным отклонением*, то численное значение вместе с отклонением заключают в скобки и после скобок помещают обозначение единицы, например «(15,6 ± 0,1) мм». Допускается проставлять обозначение единицы после числового значения величины и после ее предельного отклонения, например «120 мм ± 0,1 мм».

Буквенное обозначение единиц, входящих в произведение, следует отделять точками на средней линии, как знаками умножения, например: «Н·м.» В машинописных документах допускается точку не поднимать.

В буквенном обозначении отношений единиц в качестве знака деления должна применяться одна косая или горизонтальная черта, например: «м/с». При применении косой черты обозначение единиц в числителе и в знаменателе записывают в строку. Произведение обозначений единиц в знаменателе следует заключать в скобки. Например: «мм/(м·с)».

Допускается применять обозначение единиц в виде произведений, возведенных в степени, например: «м·с⁻²». Если для одной из единиц, входящих в отношение, принято обозначение в виде отрицательной степени, использовать одновременно косую и горизонтальную черту не допускается.

При указании производной величины, состоящей из двух единиц и более, не допускается комбинировать буквенное обозначение и наименование единиц, то есть для одних единиц приводить обозначение, а для других – наименование. Например: правильно – «15 м/с» или «15 метров в секунду», но неправильно – «15 м/секунду».

Допускается применять сочетание специальных знаков ...^o, ...[!] и т. п. с буквенным обозначением единиц, например: «...^o/с».

Правила нанесения обозначений единиц величин, входящих в формулы, следующие.

Допускается применять обозначения единиц в пояснениях обозначений единиц к формулам, то есть в экспликациях формул. Нельзя помещать обозначения единиц в одной строке с формулами, выражающими зависимость между величинами или между числовыми значениями.

Правильно:

$$\langle T = 9,55 \frac{P}{n}, \quad (4)$$

где T – момент крутящий, Н·м; P – мощность, Вт; n – частота вращения, об/мин».

Неправильно:

$$\langle T = 9,55 \frac{P}{n}, \text{ Н м} \quad (4)$$

где P – мощность, Вт; n – частота вращения, об/мин».

Обозначения единиц можно писать как после числового значения конечного результата расчета, так и после всех его промежуточных операций.

Стандартом рекомендуется для снижения вероятности ошибок в процессе вычислений все величины выражать в единицах *SI*, заменяя приставки степенями числа 10 и подставлять десятичные и кратные единицы только в конечный результат.

Например, если в предыдущем примере P и n равны, соответственно, 5000 Вт и 25 об/мин, то

$$\langle T = 9,55 \cdot 5000 / 25 = 1910 \text{ Н·м} = 1,91 \cdot 10^6 \text{ Н·мм} \rangle.$$

ГОСТ 8.417–81 рекомендует для преимущественного применения в документации определенные десятичные кратные и дольные единицы тех или иных величин. Например:

- для силы – МН, кН, мН, мкН;
- для давления (для напряжений) – МПа, кПа, мПа, мкПа.

На *машиностроительных* чертежах линейные размеры всегда следует выражать в *миллиметрах*.

2.3.12. Иллюстрации

Иллюстрации (рисунки, фотографии, чертежи и т. п.) являются неотъемлемой частью пояснительной записки проекта. Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения текста записки. Основные требования к иллюстрациям – точность, наглядность, объективность, соответствие тексту.

Иллюстрации располагают или по тексту (возможно ближе к соответствующей части текста), или в конце текста в виде приложений.

Иллюстрации следует оформлять так, чтобы они были понятны самостоятельно, отдельно от текста. Для этого под каждой иллюстрацией должно находиться *тематическое наименование*, состоящее в общем случае из *пяти* звеньев:

- общего наименования, отражающего вид иллюстрации (рисунок, чертеж и т. п.);
- порядкового номера;
- наименования иллюстрации, соответствующего ее содержанию;
- экспликации (расшифровки составных частей);
- дополнительных сведений.

Четвертое и пятое звенья могут отсутствовать или помещаться в тексте документа.

Для обозначения первого звена, независимо от вида иллюстрации, допускается применять один термин: «рисунок». Если рисунок один, то его обозначают – рис. 1; если иллюстраций несколько, то их нумеруют арабскими цифрами в пределах документа.

Третье звено подписи, центральное по положению, одновременно является и центральным по смысловой значимости. Оно должно передавать сущность содержания иллюстрации, но вместе с тем наименование должно быть лаконичным.

Например, «Рис. 5. Кинематическая схема редуктора».

Если в тексте имеется иллюстрация с изображением составных частей изделия, то указывают *номера позиций этих составных частей* в пределах данной иллюстрации, располагая их в возрастающем порядке.

При ссылке в тексте на отдельные элементы детали (отверстия, пазы, канавки и т. п.) их обозначают прописными буквами русского алфавита, например: «... отверстие Г сверлить по кондуктору».

Пятое звено подрисуночной подписи (дополнительные сведения) может включать материалы самого различного характера, не касающиеся содержания иллюстрации. Например, сведения об авторе иллюстрации, дате ее выполнения и т. п.

На готовой иллюстрации должно быть минимально необходимое для ее понимания количество надписей, обозначений и подписей: все, что возможно, лучше перенести в текст.

Надписи и подписи должны содержать только принятые в тексте буквенные обозначения величин без их расшифровки на иллюстрации. *Произвольное сокращение слов в надписях и подписях не допускается*. Принимаются только те сокращения, которые оговорены в тексте документа или регламентированы соответствующими стандартами.

Ссылки на иллюстрации приводят по типу: «... в соответствии с рисунком 2 ..., (рис. 5)».

Ссылки на ранее упомянутые иллюстрации следует приводить с сокращенным словом «смотри», например «см. рис. 4».

2.3.13. Графики и диаграммы

График, представляющий собой геометрическое изображение функциональной зависимости при помощи линии на плоскости, может быть построен в любой из систем координат: прямоугольной, полярной и т. п. Для упрощения вида графика (например вместо кривой – прямая) он может быть построен в логарифмических координатах.

Оси координат графиков следует вычерчивать основными линиями без стрелок на концах, а координатную сетку – сплошными тонкими линиями.

Графики строят с *координатной сеткой*. При этом масштабы шкал по осям выбирают таким образом, чтобы максимально использовалась вся площадь рисунка. Расстояния между линиями сетки не должны быть менее 5 мм. Допускаются разрывы в сетке и осях, а также в шкалах с целью уменьшения площади графика.

Цифры шкал наносят слева от оси координат и снизу от оси абсцисс.

График без сетки можно допустить лишь в том случае, когда на осях координат нет шкал (когда график поясняет только характер изменения функции).

Наименование величин, значения которых откладывают на шкалах осей, необходимо заменять их буквенными обозначениями, объясняемыми или в подписи рисунка или в основном тексте документа.

Единицы этих величин указывают лишь при наличии шкал.

Буквенное обозначение и единицу величины следует писать над числами оси координат и под осью абсцисс, справа, вместо последнего числа шкалы. Надписи не должны выходить за пределы графика (рис. 2.7).

Количество цифр в числах на шкалах должно быть минимальным, для чего используют приставки для образования кратных или дольных единиц (например вместо «40 000 Н» на шкале пишут «40 кН»). При многозначных дробных числах шкалы (чаще у безразмерных величин) рекомендуется вводить у наименования величины постоянный множитель 10^n (рис. 2.7).

Ноль на пересечении осей ставят один раз, если шкалы на осях начинаются с нуля. Во всех остальных случаях ставят оба значения величин.

Диаграмма – графическое изображение зависимости между величинами.

Главное требование к диаграммам – максимальная наглядность.

В отличие от графиков на диаграммах рекомендуется давать полные надписи, позволяющие без чтения текста получить информацию о зависимости между величинами.

Допускаются цифровые (или буквенные) обозначения с расшифровкой в подписи.

Для повышения наглядности каждую область диаграммы (столбик, сектор и т. п.) штрихуют по-своему или окрашивают в свой цвет.

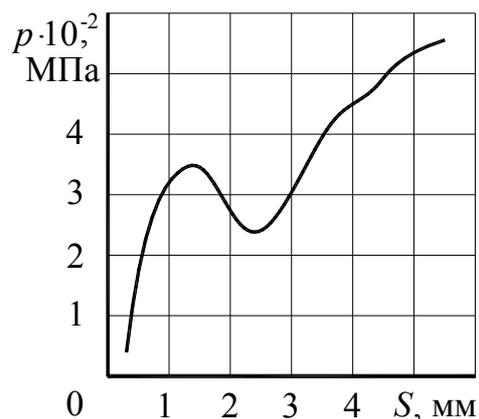


Рис. 2.7

2.3.14. Таблицы

Статистические данные проекта рекомендуется оформлять в виде *таблиц*, которые служат самостоятельным справочным материалом.

Все табл. в пределах документа следует пронумеровать арабскими цифрами.

По ГОСТ 2.105–95 над *правым верхним углом табл.* помещают слово «Таблица» с указанием ее порядкового номера, но без знака «№».

При наличии тематического заголовка его записывают на строке, следующей вслед за номером табл. *симметрично относительно текста.*

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице, а при необходимости – в приложении к документу.

При *переносе табл.* на другой лист над ней в крайнем правом положении записывают слово «Продолжение» с указанием порядкового номера табл. (например «Продолжение табл. 92»).

Порядковые номера можно указать в графе (боковике таблицы) перед наименованием показателей, параметров и других данных.

Для облегчения ссылок в тексте пояснительной записки допускается *нумерация граф таблицы.*

При *показателях*, имеющих различные единицы физических величин, в табл. их указывают в заголовке каждой графы. Если все показатели, приведенные в графах таблицы, выражены одной и той же единицей физической величины, то ее обозначение необходимо поместить над табл. в крайнем правом положении, а при делении табл. на части – над каждой ее частью (справа). Если в большинстве граф табл. приведены показатели, выраженные в одних и тех же единицах физических величин, то над табл. следует писать наименование преобладающего показателя и обозначение его физической величины, например размеры в миллиметрах, а в подзаголовках остальных граф приводить наименование показателя и (или) обозначения других единиц физических величин.

Если все данные в строке имеют одну единицу величины, ее указывают в боковике таблицы.

Слова «более», «менее», «в пределах» и т. п. следует помещать в боковике табл. или в заголовке графы.

Если *повторяющийся в графе текст* состоит из одного слова, то допускается его заменять кавычками, а если из двух и более слов, то при первом повторении его следует заменять словами «то же», а далее – кавычками.

Не допускается ставить кавычки вместо повторяющихся цифр, марок, условных обозначений (знаков), математических и химических символов. Вместо отсутствующих данных в табл. ставят *прочерк.*

Цифры в графах располагают так, чтобы классы чисел во всех графах были точно один под другим. Числовые значения величин в одной графе рекомендуется записывать с одинаковым числом десятичных знаков (при необходимости числа дополнять после запятой соответствующим числом нулей).

Дробные числа приводят в виде десятичных дробей, кроме размеров в дюймах.

При указании в таблицах *последовательных интервалов числовых значений величин* рекомендуется писать «от», «до», «св.» или ставить тире (например «10–25»).

Примечания лучше переносить в текст или под таблицу. В тех случаях, когда примечание имеется к каждой строке, предпочтительно давать его внизу таблицы.

При этом слово «Примечание» не пишут и после знака сноски сразу же помещают текст. В качестве знака сноски применяют звездочки «*».

На все таблицы должны быть даны ссылки в тексте. При этом слово «таблица» пишется сокращенно и указывается ее номер, например «в табл. 4...».

2.3.15. Список литературы

Сведения об использованной литературе должны быть представлены в виде библиографического описания, которое включает основные данные, записанные в строго определенном порядке и являющиеся «индивидуальным лицом» документа, то есть поисковым образом документа.

Библиографическое описание использованной литературы под заголовком «Литература» приводят в конце текстового документа (перед приложением).

Библиографическое описание составляется в алфавитном порядке по следующей форме:

1. Фамилия И.О. автора. Название книги. – М.: Издательство, 2007. – 123 с.
2. Фамилия И.О. первого автора (если авторов несколько). Название книги / И.О. Фамилии всех авторов (через запятые). – СПб.: Издательство, 2006. – 223 с.
3. Название книги / под ред. И.О. Фамилия. – М.: Издательство, 2006. – 123 с.

Город, в котором издана книга, – «Москва» и «Ленинград» пишется одной первой буквой с точкой («М.» или «Л.»), Санкт-Петербург – тремя буквами с точкой («СПб.»), а остальные – полностью, например «Томск».

Например:

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т. 1. – М.: Машиностроение, 1994. – 620 с.
2. Машнев М.М. Теория механизмов и машин и детали машин. / М.М. Машнев, Е.Я. Красковский, П.А. Лебедев. – М.: Машиностроение, 1980. – 512 с.
3. Основы механики / под ред. В.А. Орлова. – Кемерово: Недра, 1997. – 650 с.

Ссылку на литературу выполняют по ГОСТ 7.32–91. Например: «...диаметр вала определяем по формуле [7, с. 108]: ...».

Список литературы включается в содержание документа.

2.3.16. Приложения

Материал, дополняющий текст документа, допускается помещать в *приложениях*.

Приложениями могут быть, например, справочный или графический материал, табл. большого формата, расчеты, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ, и др.

Приложения оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах.

В тексте на все приложения должны быть даны ссылки.

Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа.

Если в документе несколько приложений, они образуют особый раздел пояснительной записки с общим заголовком «Приложения», в котором каждое приложение следует нумеровать по порядку заглавными буквами русского алфавита, начиная с «А».

Допускается *нумерация предложений* также и буквами латинского алфавита.

При полном использовании русского и латинского алфавитов допускается обозначать приложения арабскими цифрами.

Если в документе *одно приложение*, то его обозначают, как «Приложение А».

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения, а под ним в круглых скобках для обязательного приложения пишут слово «обязательное», а для информационного – «рекомендуемое» или «справочное».

Приложение должно иметь *тематический заголовок*, который записывают *симметрично* относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

В основном тексте документа следует давать ссылки на приложения с сокращенным словом «смотри», например: «см. Приложение В».

Приложения имеют общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

Все приложения должны быть перечислены в оглавлении (в содержании) документа с указанием их обозначений и заголовков.

2.3.17. Спецификация

Спецификацию – документ, определяющий состав изделия и всей конструкторской документации, относящейся к этому изделию, следует составлять на отдельных листах формата А4 на каждую сборочную единицу, комплекс и комплект.

Формы спецификаций на заглавном и на последующих листах представлены на рис. 2.8 и рис. 2.9.

В зависимости от состава специфицируемого изделия спецификация может состоять из *разделов*, которые следует располагать сверху вниз в такой последовательности:

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| а) документация; | б) комплексы; |
| в) сборочные единицы; | г) детали; |
| д) стандартные изделия; | з) комплекты; |
| ж) материалы; | е) прочие изделия. |

Наименование разделов записывают в виде заголовков в графе «Наименование» строчными буквами (кроме первой – прописной) и подчеркивают. Ниже заголовка должна быть оставлена одна свободная строка, выше – не менее одной свободной строки.

В раздел «Документация» вносят все документы специфицируемого изделия, кроме его спецификации, а также документы записываемых в спецификацию неспецифицируемых составных частей (деталей) (если таковые используются в проекте), кроме их рабочих чертежей.

В разделы «Комплексы», «Сборочные единицы» и «Детали» вносят *комплексы, сборочные единицы и детали* специфицируемого изделия.

В разделе «Стандартные изделия» записывают *изделия*, примененные по *государственным стандартам; отраслевым стандартам; стандартам предприятий*.

В пределах каждой категории стандартов изделия записывают по *группам* в зависимости от функционального назначения (например: подшипники, крепежные де-

тали и т. п.), в пределах каждой группы – в алфавитном порядке наименований изделий, в пределах каждого наименования – в порядке возрастания обозначений стандартов, в пределах каждого обозначения стандартов – в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

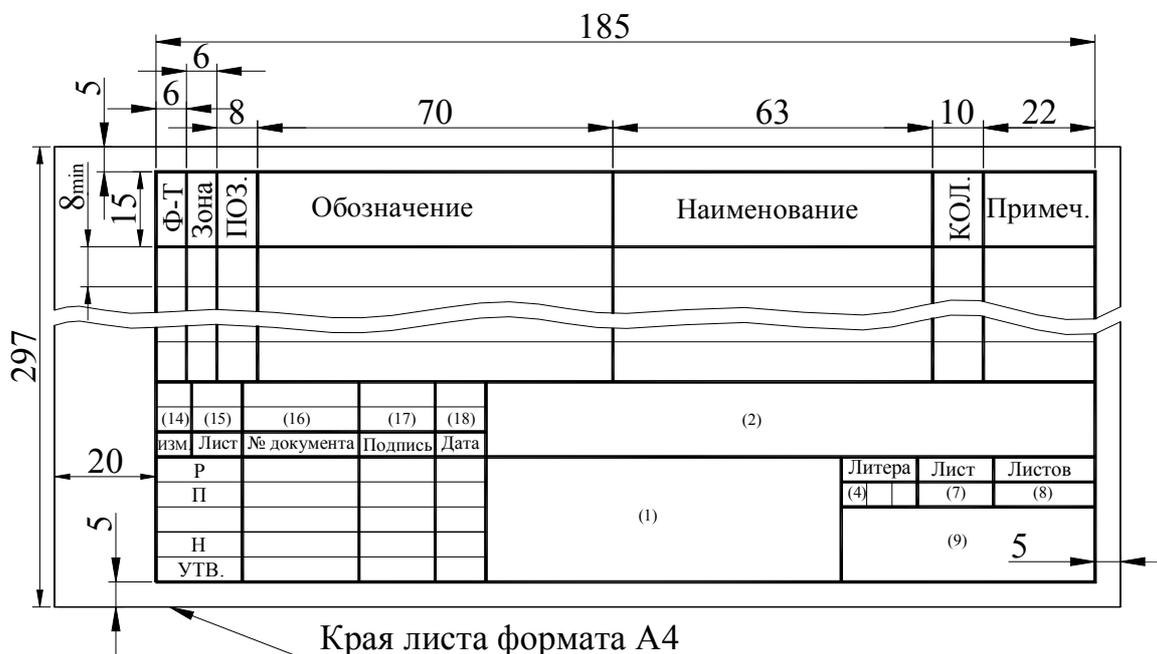


Рис. 2.8. Форма спецификации на заглавном листе

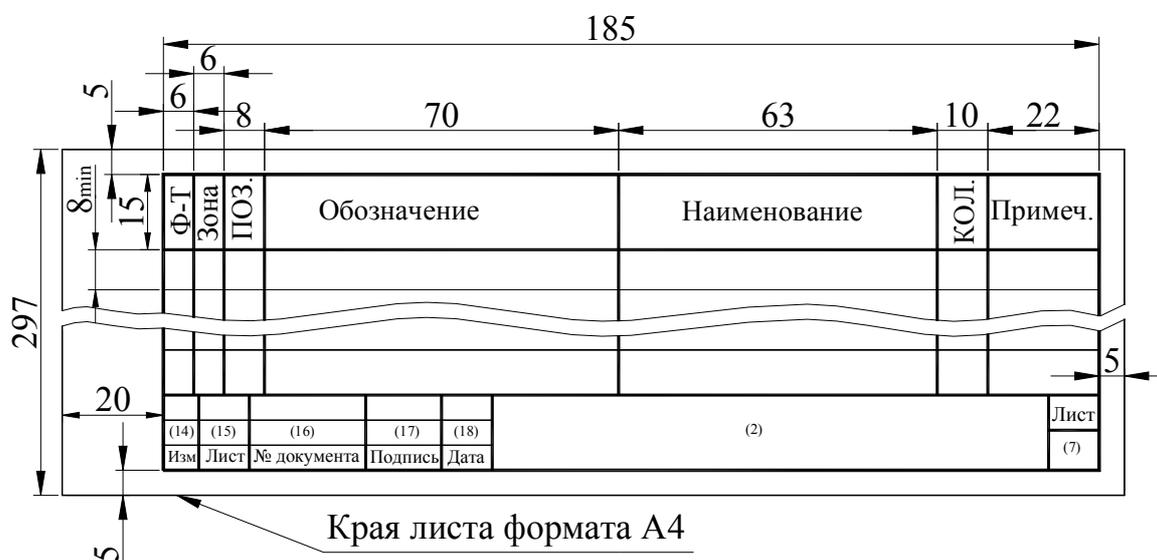


Рис. 2.9. Форма спецификации на последующих листах

В раздел «Прочие изделия» записывают изделия, взятые из каталогов, прейскурантов и других источников, за исключением стандартных изделий. Порядок записи подобен порядку записи раздела «Стандартные изделия».

В раздел «Материалы» вносят все материалы специфицируемого изделия в такой последовательности: металлы черные; металлы магнитоэлектрические и ферромагнитные; металлы цветные; кабели, провода и шнуры; пластмассы и пресс-

материалы; бумажные, текстильные и лесные материалы; резиновые, минеральные, керамические и стеклянные материалы; лаки, краски, нефтепродукты и химикаты; прочие материалы.

В пределах вида материалов их записывают в алфавитном порядке наименований, в пределах наименования – по возрастанию размеров или других параметров.

Графы спецификации заполняют следующим образом.

В графе «ФОРМАТ» указывают *форматы* документов, имеющих обозначение в графе «ОБОЗНАЧЕНИЕ».

Если документ выполнен на нескольких листах различного формата, то в графе ставят «звездочку» (*), а в графе «ПРИМЕЧАНИЕ» перечисляют все форматы с простановкой знака «звездочка», например: * А3, А4, А4 × 3.

Для деталей, на которые нет чертежей, в графе указывают «БЧ».

Для документов, записанных в разделы «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы», графу «ФОРМАТ» не заполняют.

В графе «ЗОНА» указывают *обозначение зоны*, где находится номер позиции записываемой части изделия (если поле чертежа разбито на зоны по ГОСТ 2.104–68).

В графе «ПОЗ.» указывают *порядковые номера составных частей* в последовательности их записи в спецификации.

Графу не заполняют для разделов «Документация» и «Комплекты».

В графе «ОБОЗНАЧЕНИЕ» указывают:

- для раздела «Документация» – обозначение записываемых документов;
- для разделов «Комплексы», «Сборочные единицы», «Детали» и «Комплекты» – обозначение основных конструкторских документов на записываемые изделия; для деталей, выпущенных без чертежей, – присвоенное им обозначение (если таковое имеется).

Графу «ОБОЗНАЧЕНИЕ» не заполняют для разделов «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы».

В графе «Наименование» указывают:

- в разделе «Документация» для документов специфицируемого изделия – *только их наименование*, например «Сборочный чертеж», «Технические условия», «Пояснительная записка»; для документов на неспецифицируемые части – наименование изделия и документа;
- в разделах «Комплексы», «Сборочные единицы», «Детали» и «Комплекты» – *наименование изделий в соответствии с их основной надписью на основных конструкторских документах*; для деталей без чертежа указывают *наименование и материалы*, а также размеры, необходимые для их изготовления;
- в разделе «Стандартные изделия» – *наименования и обозначения деталей*;
- в разделе «Прочие изделия» – *наименования и условные обозначения изделий* по документам на их поставку с указанием обозначений этих документов;
- в разделе «Материалы» – *обозначение материала*.

Допускается для изделий и материалов, отличающихся размерами и другими данными и примененных по одному документу:

- общую часть наименования с обозначением документа записывать на каждом листе спецификации один раз в виде заголовка;
- под общим наименованием записывать для каждого изделия и материала только их параметры и размеры.

Если основные параметры или размеры изделия обозначаются одним числом или буквой, то не допускается пользоваться указанным допущением. Тогда записывают, например следующим образом:

«Подшипники ГОСТ 333–79:

подшипник 7208;

подшипник 7509».

В графе «КОЛ.» указывают *количество составных частей на одно специфицируемое изделие*; в разделе «Материалы» – *общее количество материала на одно изделие с указанием единицы величины*. Последние допускается записывать в графе «ПРИМЕЧАНИЯ».

Количество таких материалов, как припой, клей, электроды для сварки, в спецификации не указывают. Эти сведения дают на поле чертежа.

В разделе «Документация» графу «КОЛ.» не заполняют.

После каждого раздела спецификации необходимо оставлять несколько свободных строк для дополнительных записей.

При этом следует резервировать и номера позиций, которые проставляют в спецификации при заполнении резервных строк.

Наличие разделов спецификации зависит от состава специфицируемого изделия.

Допускается совмещение спецификации со сборочным чертежом при условии его размещения на листе формата А4.

При этом основную надпись выполняют по ГОСТ 2.104–68 (форма 1) с указанием обозначения основного конструкторского документа.

2.4. Правила выполнения графической части курсового проекта

В разд. 2.2 приведена информация, основанная на ЕСКД и других российских стандартах, которой следует руководствоваться при выполнении графической части курсового проекта и контрольных задач.

2.4.1. Общие правила оформления чертежей

2.4.1.1. Форматы

См. раздел 2.2.

2.4.1.2. Обозначение изделий и конструкторских документов

Правила обозначения изделий и конструкторских документов, в соответствии с ГОСТ 2.101–68, приведены в разд. 2.3.2.

2.4.1.3. Основные надписи и их расположение на чертежах

Рамку поля чертежа проводят на расстоянии 20 мм от левой стороны внешней рамки и на расстоянии 5 мм от всех других сторон.

Рамку поля чертежа выполняют сплошной толстой линией (основной линией по ГОСТ 2.303–68).

Каждый чертеж должен иметь *основную надпись* по обрамляющей линии в правом нижнем углу поля чертежа. По ГОСТ 2.301–68 на листах формата А4 основную надпись располагают только вдоль короткой стороны листа, а формата А5 – вдоль длинной. На листах остальных форматов – вдоль любой стороны.

Для всех видов *чертежей* и *схем* применяют форму основной надписи по ГОСТ 2.104–68 (рис. 2.10).

Если все необходимые изображения не размещаются на одном листе, то допускается выполнять чертеж на двух и более листах с указанием в основной надписи каждого из них порядкового номера, а на первом листе общего количества листов, на которых выполнен чертеж. В этом случае для последующих листов чертежей допускается использовать форму 2а (рис. 2.2).

Перечень допускаемых по ГОСТ 2.316–68 и ГОСТ 2.004–88 *сокращений* слов, применяемых в основных надписях и спецификациях, приведен в табл. 2.3.

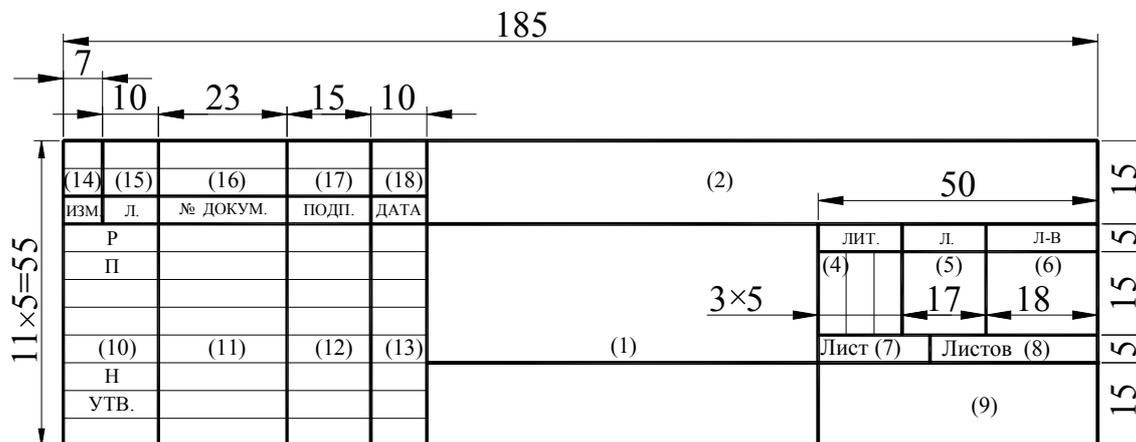


Рис. 2.10. Основная надпись для текстовых конструкторских документов (первый, или заглавный лист)

В графах основных надписей чертежей и схем (номера граф на рис. 2.10 и 2.2 указаны в скобках) приводят:

1 – *наименование изделия* (детали, сборочной единицы, комплекса), а также наименование документа, если этому документу присвоен код.

Наименование изделия записывают в именительном падеже единственного числа.

На первом месте помещают имя существительное, например: «Колесо зубчатое», «Редуктор червячный. Чертеж общего вида», «Колесо червячное. Сборочный чертеж».

2 – *обозначение документа* (чертежа детали, общего вида, сборочного), например: «Мех 53691.00.12, Мех 53691.00.00 ВО, Мех 53691.21.00 СБ».

3 – *обозначение по стандарту материала детали* (графу заполняют только на чертеже детали), например: «Сталь 40ХН ГОСТ 4543–71».

4 – *литеру документа*.

5 – *массу* в килограммах (без указания единицы измерения). В учебных проектах графу можно не заполнять.

6 – *масштаб* (1:1, 1:2, 2:1 и др. по ГОСТ 2.302–68). При выполнении документа на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ допустимо применять масштабы уменьшения 1:n и увеличения n:1, где n – рациональное число.

7 – *порядковый номер листа* (на документах, состоящих из одного листа, графу не заполняют).

8 – *общее количество листов документа* (чертежа детали, общего вида, сборочного) – графу заполняют только на первом листе.

9 – *сокращенное название вуза, кафедры, шифр группы* (например ТПУ, КТПМ, группа 5901).

10, 11, 12, 13 – *характер работы*, выполняемой лицом, подписавшим документ: в строке «Р» (разработал) фамилию и инициалы студента, его подпись и дату

окончания работы над документом; в строке «П» (проверил) – фамилию и инициалы преподавателя.

Подпись и дату преподаватель проставляет после проверки и защиты проекта.

Подписи лиц, разработавших документ, являются обязательными.

Остальные строки в графах 14–18 в *учебных* проектах не заполняют.

Если документ состоит из двух и более листов, то на последующих листах (если на них основная надпись выполнена в соответствии с рис. 2.2) заполняют только графы 2 и 7.

2.4.1.4. Линии

ГОСТ 2.303–68 устанавливает начертание и основное назначение линий на чертежах.

За основную линию чертежа принимается сплошная толстая линия, толщина которой S должна быть в пределах от 0,6 до 1,4 мм. Толщина линий должна быть одинаковой для всех изображений на данном чертеже, вычерчиваемых в одинаковом масштабе.

Тонкие линии на чертежах всех форматов, выполненных карандашом, проводятся толщиной $0,5S$; форматов с $A5$ по $A2$, выполненных тушью – толщиной $0,33S$; форматов $A1$ и более, выполненных тушью, – толщиной $0,5S$.

2.4.1.5. Изображения предметов

Изображения предметов (виды, разрезы и сечения) следует выполнять в соответствии с ГОСТ 2.305–68.

Изображения предметов должны выполняться по методу прямоугольного проецирования на две, три и более плоскостей проекций. При этом предмет предполагается расположенным между наблюдателем и соответствующей плоскостью проекций (рис. 2.11).

За *основные плоскости проекций* принимаются шесть граней куба (1, 2, 3, 4, 5, 6 – рис. 2.11). Грани совмещают с плоскостью (рис. 2.12). Грань, обозначенная цифрой 6, может быть расположена также рядом с гранью 4.

Изображение на *фронтальной* плоскости принимается в качестве *главного*.

Изображения на чертеже в зависимости от их содержания, делятся на виды, разрезы, сечения.

Вид – изображение обращенной к наблюдателю видимой части поверхности предмета.

Виды подразделяются на основные, дополнительные и местные.

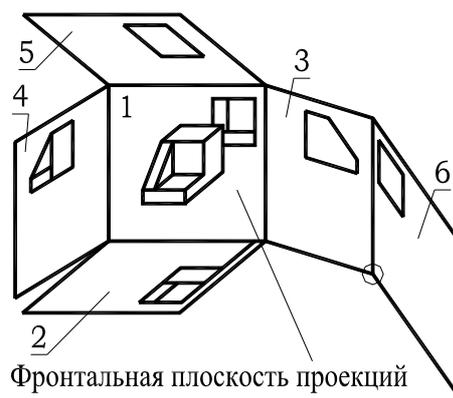


Рис. 2.11

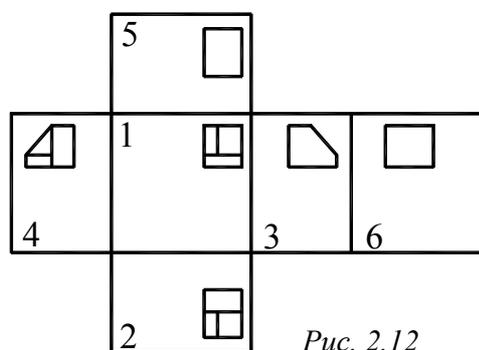


Рис. 2.12

Основные виды – вид спереди (главный вид), вид сверху, вид слева, вид справа, вид снизу, вид сзади. Обозначать основные виды на чертеже следует только в том случае, если отсутствует проекционная связь между ними и главным видом.

Дополнительный вид – вид, получаемый на не параллельной ни одной из основных плоскостей проекций. Его применяют в том случае, когда какую-либо часть предмета невозможно показать на основных видах без искажения формы и размеров. Дополнительный вид следует располагать в направлении проецирования, указанном стрелкой (рис. 2.13). Дополнительный вид можно смещать или поворачивать с обязательным его обозначением в соответствии с табл. 2.6.

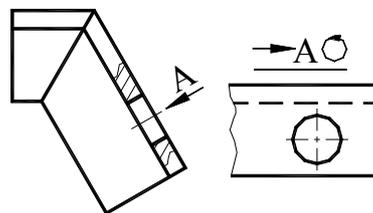


Рис. 2.13

Местный вид – изображение отдельного ограниченного места поверхности предмета. Местный вид может быть или ограничен линией обрыва (по возможности в наименьшем размере), или не ограничен.

Для изображения искривленных и гнутых предметов применяют *развернутые виды*, которые обозначают в соответствии с табл. 2.6 и рис. 2.14. При этом искривленные и гнутые предметы нужно разворачивать в одну плоскость без искажения изображения. На изображении гнутых предметов контуры выполняют сплошной основной линией, а место изгиба обозначают тонкой штрихпунктирной линией с двумя точками (рис. 2.14).

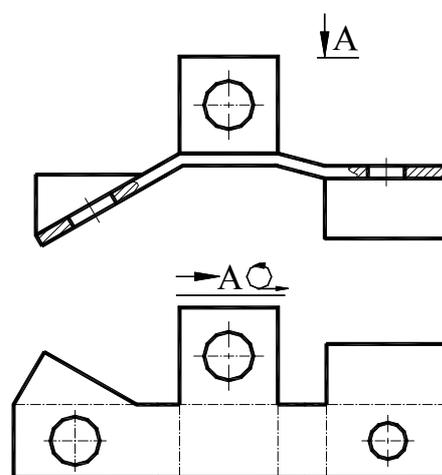


Рис. 2.14

На *основном виде* изделие необходимо располагать так, чтобы изображение давало наиболее полное представление о его форме и размерах.

Расположение видов должно быть выполнено в соответствии с рис. 2.12. Виды, расположенные иначе (в том числе расположенные на другом листе), и направление проецирования следует отмечать так, как показано на рис. 2.15 и в табл. 2.6.

Обозначения видов должны быть выполнены в положении, параллельном основной надписи чертежа, над соответствующим изображением.

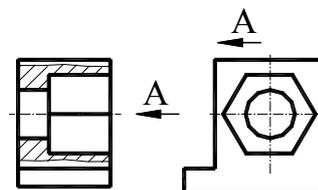
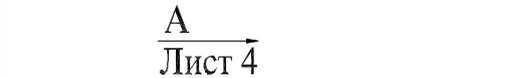
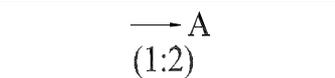
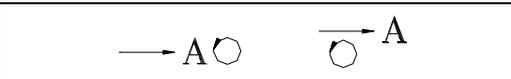
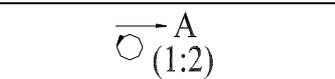
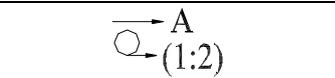


Рис. 2.15

Структура обозначения видов указана в табл. 2.6.

Разрез – изображение предмета, мысленно рассеченного одной или несколькими плоскостями, при этом мысленное рассечение предмета относится только к данному разрезу и не влечет за собой изменение других изображений того же предмета.

Обозначения видов (ГОСТ 2.305–68)

Вид обозначения	Способ обозначения при масштабе изображения	
	одинаковым	разном
Направление проецирования		
Вид, выполненный на другом листе		
Изображение вида		
Повернутый вид		
Развернутый вид		

На разрезе показывают то, что получается в секущей плоскости и что расположено за ней.

Для обозначения видов, разрезов и сечений рекомендуется применять:

- прописные буквы латинского и русского алфавитов;
- арабские цифры;
- комбинацию цифр и букв, например *A2*.

Не следует использовать буквы:

- из латинского алфавита *I, O, R, Q, X*;
- из русского алфавита *З, Й, О, Х, Ф, Ч, Ь, Ъ*.

Буквы, цифры или их комбинации должны использоваться в алфавитном порядке или по порядку номеров, без повторений и без пропусков, независимо от количества листов чертежа.

Все части предмета, пересекаемые плоскостью, заштриховывают, пустоты не штрихуют. Кроме того, следует помнить, что такие элементы, как винты, заклепки, шпонки, пустотелые валы и шпиндели, рукоятки и т. п., в продольном сечении показывают нерассеченными.

Обычно нерассеченными в продольном сечении изображают гайки и шайбы.

Шарики всегда показывают нерассеченными.

Тонкие стенки типа ребер жесткости, спиц маховиков, шкивов, зубчатых колес показывают незаштрихованными в том случае, если секущая плоскость проходит вдоль оси или длинной стороны такого элемента.

Способы обозначений разрезов и сечений на чертежах приведены в табл. 2.7.

Плоскость разреза должна проходить так, чтобы можно было показать характерные формы изделия. Положения плоскости разреза или сечения обозначают разомкнутой линией в виде штрихов длиной (10–12) мм.

Обозначения разрезов и сечений (ГОСТ 2.305–68)

Вид обозначения	Способ обозначения без букв при масштабе изображения		Способ обозначения с буквами при масштабе изображения	
	одинаковом	разном	одинаковом	разном
Направление проецирования на мнимую плоскость разреза				
Изображение разреза на другом листе	—	—		
Изображение разреза (сечения)	—	—	A—A	A—A (1:2)
Изображение повернутого разреза (сечения)			A—A	A—A
Изображение развернутого сечения			A—A	A—A

При сложном разрезе (ломаном или ступенчатом) штрихи проводят также у перегибов линии сечения (рис. 2.16).

Штрихи не должны пересекать контур изображения. На начальном и конечном штрихах для указания направления проецирования ставят стрелки на расстоянии (2–3) мм от конца штриха.

Плоскость разреза обозначается одной и той же буквой или буквой в сочетании с цифрой (о применении букв и цифр см. выше). Буквы (или буквы с цифрами) наносят непосредственно около стрелок, указывающих направление проецирования.

Допускается не изображать мнимую плоскость разреза и не обозначать изображение простого разреза в следующих случаях:

- положение плоскости разреза однозначно;
- изображение разреза получается по принципу прямоугольного проецирования на основные плоскости;
- изображение разреза находится в непосредственной связи с изображением, от которого произведен разрез (рис. 2.17).

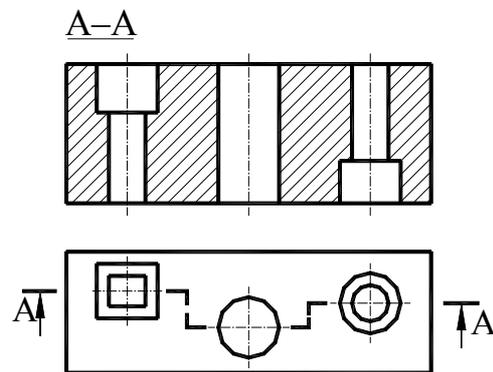


Рис. 2.16

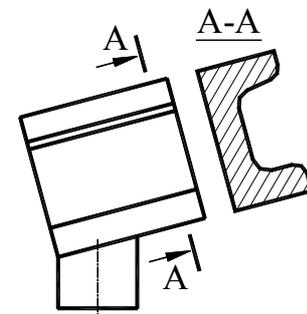


Рис. 2.17

При одинаковых изображениях разрезов (сечений) в нескольких секущих плоскостях допускается вычерчивать только один из этих разрезов (сечений), обозначив при этом плоскости разреза одной и той же буквой (рис. 2.18).

Наклонные разрезы, как правило, размещают в направлении проецирования (рис. 2.17), однако, допускается изображать их с поворотом (рис. 2.19).

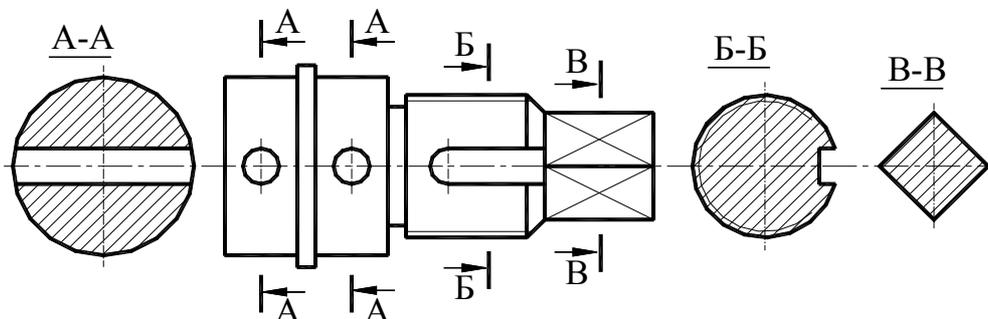


Рис. 2.18

В обоих случаях обозначение разреза должно соответствовать табл. 2.7.

При изображении *ломаного разреза* элементы, рассеченные мнимыми плоскостями, изображают до совмещения в одну плоскость (рис. 2.20).

Элементы, видимые за плоскостью разреза, изображают так, как они проецируются на соответствующую плоскость, до которой производится совмещение (рис. 2.20).

Элементы *ступенчатых разрезов*, рассеченные плоскостью разреза, изображают в одной плоскости без развертывания плоскости разреза, причем изображают только части, видимые в направлении проецирования (рис. 2.16).

Частичный разрез выделяют на виде волнистой линией (рис. 2.21) или линией с изломом, причем эта линия не должна совпадать с какими-либо другими линиями изображения.

Симметричные предметы можно изображать, соединяя половину вида и половину разреза. Граница между ними – ось симметрии. В разрезе изображают нижнюю или правую половину предмета без обозначения разреза. Разрезы *искривленных* предметов могут быть развернуты в плоскость для получения неискаженного изображения с обозначением в соответствии с табл. 2.7.

Сечение – изображение фигуры, получающейся при мысленном рассечении предмета одной или несколькими плоскостями. На сечении показывают только то, что получается непосредственно в секущей плоскости. Сечения являются составной частью разреза. В случае если они изображаются самостоятельно, их подразделяют на *вынесенные* и *наложенные*.

Вынесенные сечения располагают вне изображения предмета, наложенные сечения совмещают с соответствующим видом предмета. Контуры сечений, входящих

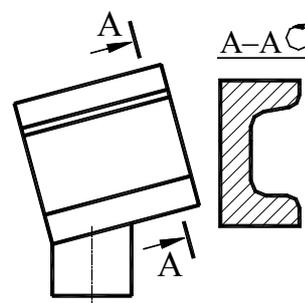


Рис. 2.19

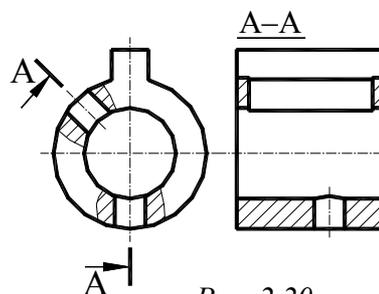


Рис. 2.20

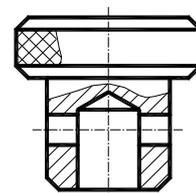


Рис. 2.21

в состав разреза и вынесенных сечений, изображают сплошными толстыми (основными) линиями; контуры наложенных сечений изображают сплошными тонкими линиями, не прерывая при этом контура изображения предмета на месте наложенного сечения, поверхность сечения штрихуют, наложенное сечение и мнимую секущую плоскость не обозначают (рис. 2.22).

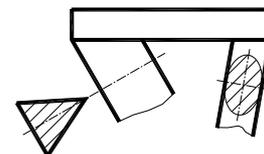


Рис. 2.22

Наложённые и (или) *выносные сечения* изображают так, чтобы направление проецирования на плоскость сечения совпало с направлением взгляда на предмет справа или снизу. *Вынесенные сечения* при их однозначности могут вычерчиваться на оси, совпадающей с положением мнимой секущей плоскости. Их контуры изображают сплошной основной линией. При этом сечение и секущую плоскость не обозначают. Если положение секущей плоскости не определено однозначно, то сечение необходимо указывать в соответствии с табл. 2.7. *Мнимые* плоскости сечения должны проходить так, чтобы получалось неискаженное изображение сечения (рис. 2.22).

При изображении *ряда поперечных разрезов* или *сечений* их можно разместить:

а) по методу прямоугольного проецирования на основные плоскости (рис. 2.12) или так, как показано на рис. 2.18; мнимые секущие плоскости и отдельные изображения должны быть обозначены;

б) как вынесенные сечения; отдельные изображения можно не обозначать (рис. 2.23);

в) на любом месте чертежа с обозначением секущих плоскостей и изображения сечений.

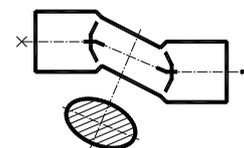


Рис. 2.23

Выносной элемент – дополнительное отдельное изображение (обычно увеличенное) какой-либо части предмета, требующий графического и других пояснений в отношении формы, размеров и иных данных. Выносной элемент следует располагать по возможности ближе к соответствующему месту на изображении предмета.

При выполнении выносного элемента соответствующее место отмечают на виде, разрезе или сечении замкнутой сплошной тонкой линией – окружностью, овалом и т. п. с обозначением выносного элемента на полке линии-выноски прописными буквами латинского или русского алфавита или их комбинацией с арабскими цифрами. Выносной элемент должен быть обозначен аналогично с указанием масштаба (рис. 2.24). Этот элемент может содержать подробности, не указанные на соответствующем изображении, отличаться от него по содержанию, например изображение – вид, а выносной элемент – разрез. При размещении выносного элемента отдельно от основного изображения на последнем дается ссылка, где изображен элемент (рис. 2.24).

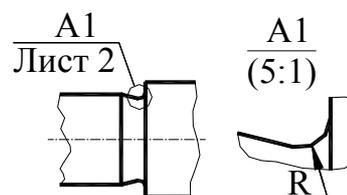


Рис. 2.24

Количество изображений на чертежах должно быть минимальным, необходимым для полного и однозначного представления о предмете (изделии и его составных частях).

Детали следует *изображать* в функциональном положении или в положении, удобном для их изготовления.

Сборочные единицы следует изображать в функциональном положении. Однако при *наклонном* функциональном положении их изображают вертикально или горизонтально.

Невидимые контуры и грани предметов изображают лишь в тех случаях, когда это необходимо для пояснения конструкции изделия или для уменьшения числа изображений.

Для *симметричных фигур* допускается вычерчивать половину изображения, отмечая ось симметрии на каждом конце двумя параллельными отрезками длиной не менее 3,5 мм (рис. 2.25).

Равномерно повторяющиеся одинаковые элементы одного предмета можно изображать один раз в начале или в конце предмета, а остальные из них изображать упрощенно сплошными линиями (рис. 2.26) или условно по существующим стандартам (рис. 2.27). При этом делительные (шаговые) окружности или прямые, на которых расположены повторяющиеся элементы, выполнять штрихпунктирными линиями; изображать один элемент, а для остальных – обозначать только их оси (рис. 2.27).

Четкие грани видимых пересечений и переходов выполняют основной линией и доводят до линии контура.

Плавные пересечения и переходы, как правило, не изображают. При необходимости их можно обозначить сплошной тонкой линией, которую не доводят до контурной линии (рис. 2.23).

Незначительный уклон или конусность допускается изображать с увеличением (рис. 2.17). Если уклон или конусность отчетливо не выявляются, проводят только одну линию, соответствующую меньшему размеру элемента с уклоном или меньшему основанию конуса (рис. 2.17).

Длинные предметы, имеющие постоянное или закономерно изменяющееся поперечное сечение (например вал), допускается изображать с разрывом (рис. 2.28).

Разрыв изображения предмета можно выполнить:

- двумя сплошными параллельными линиями с изломами;
- двумя сплошными тонкими линиями, проведенными от руки.

Плоские поверхности предмета выделяют сплошными *тонкими* линиями, проведенными диагонально (рис. 2.28).

Предметы из *прозрачных* материалов изображают как непрозрачные.

Часть предмета или его *элементы* (например шкала, стрелка и т. п.), находящиеся за *прозрачными элементами*, можно изображать как *видимые*.

Предметы, состоящие из идентичных элементов (пакет регулировочных прокладок подшипникового узла и т. п.), можно изображать на видах как монолитное тело.

У предметов со сплошной сеткой, плетенкой, накаткой и т. п. следует изображать эти элементы сплошными тонкими линиями, причем допускается наносить их частично (рис. 2.21).

Крайние положения подвижных частей изображают в виде контура тонкой штрихпунктирной линией с двумя точками. При этом контурные линии и грани предмета, находящиеся за подвижными частями, изображают как *видимые*.

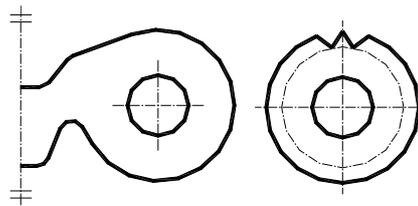


Рис. 2.25

Рис. 2.26

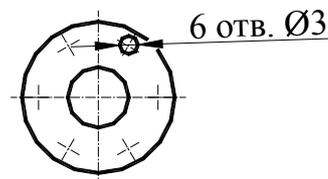


Рис. 2.27

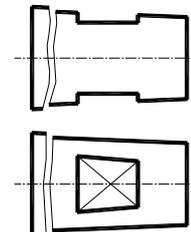


Рис. 2.28

Соседние предметы, приводимые лишь для пояснения, вычерчивают в виде контура тонкой штрихпунктирной линией с двумя точками. Эти предметы допускаются вычерчивать и тонкой сплошной линией.

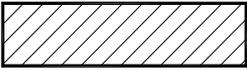
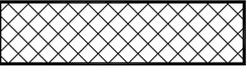
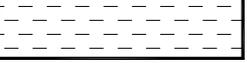
Контурные линии и грани изображаемого предмета, скрытые соседними предметами, приведенными для пояснения, изображают как видимые.

2.4.1.6. Графические обозначения материалов и правила их нанесения на чертежах

Графические обозначения материалов в сечениях в зависимости от вида материалов выполняются в соответствии с ГОСТ 2.306–68. Для четырех групп материалов графические обозначения приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Графические обозначения материалов в сечении (ГОСТ 2.306–68)

Обозначение	Материал
	Общее назначение, независимо от материала Металлы и твердые сплавы
	Неметаллические материалы, в том числе волокнистые, за исключением дерева, камня, керамики, бетона, стекла (и других светопрозрачных материалов), жидкостей, грунтов, засыпок, из любого материала и сеток
	Стекло и другие светопрозрачные материалы
	Жидкости

Штриховка в сечениях выполняется в виде прямых параллельных линий, проводимых под углом в 45° или к линии контура изображения, или к его оси, или к линии рамки чертежа.

При совпадении линий штриховки, проведенных к линиям рамки чертежа под углом в 45° , с линиями контура или с осевыми линиями вместо угла в 45° следует принять угол 30° или 60° . Наклон штриховки может быть как *правым*, так и *левым*, но для всех разрезов и сечений *одной и той же* детали его следует выполнять *в одну и ту же* сторону.

Расстояние между линиями штриховки должно быть одинаковым для всех сечений данной детали, выполняемых в одном масштабе. Величина расстояния между линиями штриховки составляет 1–10 мм (в зависимости от размера чертежа).

2.4.2. Нанесение размеров

При проектировании деталей машин задают следующие *геометрические параметры*:

- размеры отдельных элементов (линейные и угловые);
- форму поверхностей (плоскую, цилиндрическую и т. п.);
- взаимное расположение отдельных поверхностей и их осей (перпендикулярность, параллельность и т. п.);

- профили детали (поперечный и продольный).
В соответствии с геометрическими параметрами различают следующие *погрешности*, характеризующие точность исполнения детали:

- отклонение размеров;
- отклонение формы поверхности (от прямолинейности, плоскостности, круглости и т. п.);
- отклонение взаимного расположения поверхностей и их осей (отклонения от перпендикулярности, параллельности и т. п.).

В процессе проектирования решаются две задачи:

- установление номинальных значений параметров детали;
- нормирование точности получения параметров детали установлением пределов, ограничивающих погрешности.

При решении второй задачи (установления пределов) исходят из двух противоречивых условий – условия нормального функционирования детали в течение заданного срока службы и минимальной суммарной стоимости изготовления и эксплуатации.

ГОСТ 2.307–68 устанавливает правила нанесения размеров и предельных отклонений на чертежах и других технических документах на изделия всех отраслей промышленности и строительства.

2.4.2.1. Основные требования

При нанесении размеров следует руководствоваться ГОСТ 2.307–68.

Основными требованиями к размерам, наносимым на чертеж, являются:

- *размеры*, наносимые на чертеж, служат основанием для определения величины, формы и взаимного расположения элементов изображаемого предмета независимо от масштаба изображения; исключения составляют случаи, когда изображение предназначено для определения размеров;
- *линейные размеры* должны определять величину элементов предмета; длину, ширину, высоту, диаметр или радиус и взаимное расположение этих элементов; угловые размеры должны характеризовать углы, образованные поверхностями, и углы, определяющие расположение элементов изображаемого на чертеже предмета;
- *количество размеров* на чертеже должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и контроля изделия;
- *размеры одного и того же элемента* должны быть проставлены на чертеже только один раз;
- размеры следует проставлять от *баз: конструкторских* (точки, линии, поверхности) и *технологических* (опорные поверхности);
- *размеры, относящиеся к одному и тому же конструкторскому элементу* (отверстиям, выступам, пазам и т. п.), следует группировать в одном месте, располагая их на том изображении, на котором форма этого элемента показана наиболее полно;
- *размеры на чертежах указывать* графически размерными числами, размерными и выносными линиями и знаками ограничения размера; к графической форме размера относят также линии-выноски и отметки уровней;
- при нанесении размеров следует максимально использовать *условные знаки* (табл. 2.9);
- *размерные числа*, нанесенные на чертеж, должны определять *величину* изображаемого изделия и его отдельных элементов (габаритные размеры), *способ и*

точность соединения деталей (сопряженные размеры) и, кроме того, упрощать пользование чертежом;

Таблица 2.9

Условные знаки

Условный знак	Произношение	Обозначение	Пример назначения
диаметра	диаметр	∅	
квадрата	квадрат	□	
конусности	конусность	∇	
уклона	уклон	∕	
уровня	уровень	√	
–	радиус	R (r)	
дуги	дуга	⌒	
–	глубина	h	
–	толщина	S	
–	сфера	○	

- для размерных чисел следует применять десятичные дроби, а размеры в дюймах указывать простыми дробями;

- линейные размеры должны указывать на чертеже в миллиметрах без обозначения единиц измерения, а приводимые в технических требованиях – с единицами измерения; при необходимости нанесения размеров в других единицах измерения (например в метрах) размерные числа записывать с обозначением единиц измерения или указывать их в технических требованиях чертежа (если единица измерения одинакова для всех размеров на чертеже), например «Все размеры в метрах»;

- *угловые размеры* проставлять в градусах, минутах и секундах с обозначением этих единиц, например «24°45'34"». Если угловой размер менее 1° или 1', то его указывать, как, например, «0°0'23"».

- *справочные размеры*, приводимые для удобства пользования чертежом, заключать в круглые скобки;

- при необходимости *ссылки в технических требованиях на размер* его следует *обозначать* прописной буквой с соответствующим разъяснением (рис. 2.29);

- *размеры поверхностей деталей, подвергаемых покрытию*, в большинстве случаев указывать *до их покрытия*. Допускается указывать одновременно размеры до и после покрытия, а также – после покрытия; в последнем случае размеры должны сопровождаться соответствующими текстовыми пояснениями.

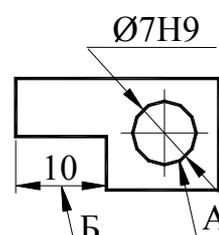


Рис. 2.29

2.4.2.2. Правила указания размеров

Размерные линии рекомендуется по возможности выносить из контура изображения.

На чертежах деталей расстояние размерной линии от параллельной (или концентричной) ей линии контура, осевой, выносной и других линий, а также расстояние между параллельными (концентричными) размерными линиями должны быть в пределах (6–10) мм, причем их следует сохранять одинаковыми в пределах всего чертежа. Для чертежей общих видов, сборочных и других, указанные расстояния должны быть не менее 10 мм.

Следует избегать по возможности пересечения размерных и выносных линий, а также размерных линий между собой.

Размерные линии допускается проводить с обрывом в следующих случаях:

а) при указании диаметра окружности, изображенной полностью или частично (рис. 2.30);

б) при изображении на видах или в разрезе половины симметричного предмета (рис. 2.30);

в) при указании размеров симметричного изделия, если проведение всех размерных и выносных линий усложнит изображение;

г) при нанесении размеров от базы, не изображенной на данном чертеже.

В случаях а), б), в) размерные линии должны выступать за центр или линию симметрии на (2–10) мм.

При изображении изделия (например вала) с разрывом размерную линию не прерывать (рис. 2.31).

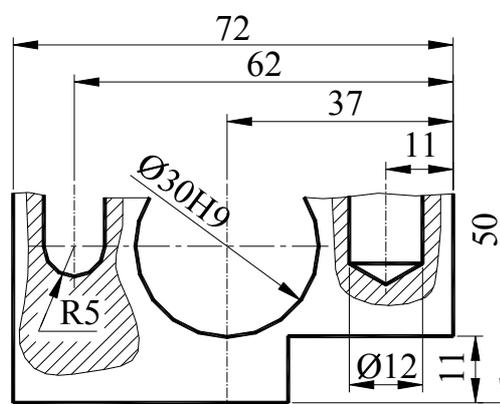


Рис. 2.30

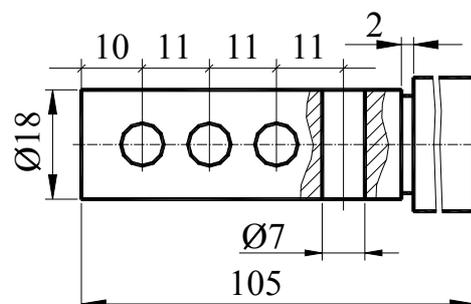


Рис. 2.31

Форму и размеры элементов стрелок размерных линий выдерживают одинаковыми на всем чертеже (независимо от масштаба отдельных видов и выбирают в зависимости от толщины S линий видимого контура (рис. 2.32).

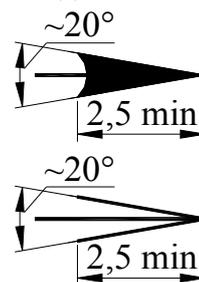


Рис. 2.32

При недостаточной для размещения стрелок длине размерной линии ее следует продолжить за выносные линии (линии контура, осевые, центровые и т. п.) и нанести стрелки так, как показано на рис. 2.31. Если при этом размеры расположены цепью, промежуточные стрелки заменяют четко наносимыми точками или засечками, проводимыми под углом 45° к размерным линиям. При близко расположенных контурных линиях их допускается прерывать для размещения стрелок (рис. 2.33).

Выносные линии, являющиеся продолжением линий контура, осевых, центровых и т. п., должны выходить за концы стрелок размерных линий не более чем на 5 мм.

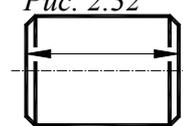


Рис. 2.33

Размерную и выносные линии в отдельных случаях (например для удобства простановки размера) можно проводить так, чтобы они вместе с измеряемым отрезком образовывали параллелограмм (рис. 2.34).

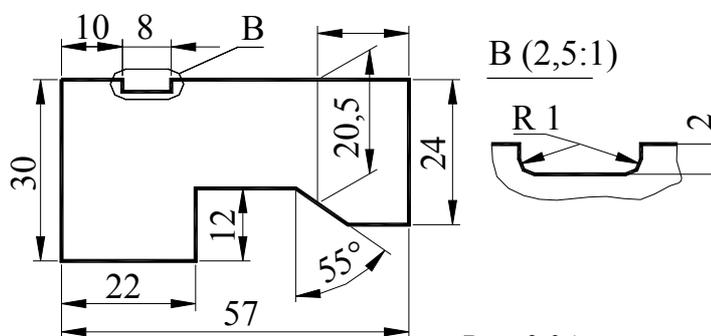


Рис. 2.34

Размерные числа наносят над размерной линией с просветом не менее 1 мм, параллельно ей и возможно ближе к середине, или на полке линии-выноски. При недостатке места над размерной линией размер следует наносить на ее продолжении (рис. 2.31). Размерные числа при параллельных или концентричных размерных линиях наносят в шахматном порядке (рис. 2.30).

В пределах одного чертежа размерные числа выполняют одним шрифтом (обычно 3 или 5), независимо от масштаба отдельных видов.

Размерные числа (и предельные отклонения) нельзя разделять или пересекать какими бы то ни было линиями чертежа.

Не допускается разрывать линию контура для нанесения размерных чисел и наносить эти числа в местах пересечения размерных, осевых или центровых линий.

В месте нанесения размерного числа осевые, центровые линии, а также линии штриховки прерывают (рис. 2.34).

Размеры фасок под углом 45° наносят, как показано на рис. 2.35.

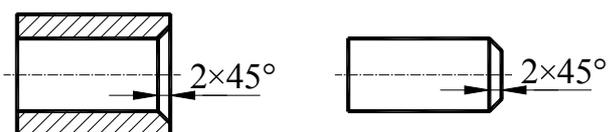


Рис. 2.35

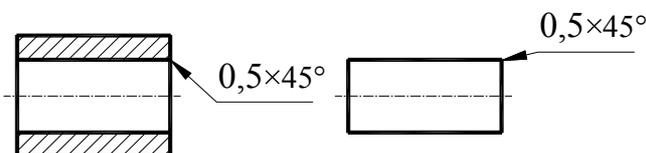


Рис. 2.36

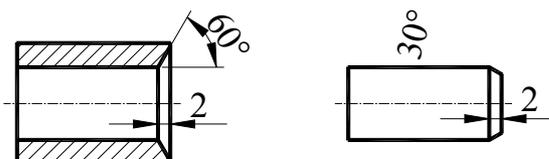


Рис. 2.37

На рис. 2.36 приведено обозначение фаски, размер которой 1 мм и менее.

Размеры фасок, выполняемых под углами, отличными от 45° , указывают либо линейным и угловым размерами (рис. 2.37), либо двумя линейными размерами (рис. 2.39).

Размеры наружных и внутренних скруглений следует наносить так, как показано на рис. 2.38.

Размеры одинаковых радиусов допускается проставлять на одной полке (рис. 2.34).

При одинаковых радиусах скруглений на всем чертеже или при преобладании какого-либо радиуса рекомендуется в технических требованиях делать запись типа «Радиусы скруглений 2 мм», а не наносить размеры этих радиусов непосредственно на изображение.

Размерные числа линейных размеров при различных наклонах размерных линий следует располагать так, как показано на рис. 2.40. При необходимости размерное число наносят на полке линии-выноски (рис. 2.40, 2.41).

Размерные числа угловых размеров (рис. 2.41) в зоне, расположенной выше горизонтальной центральной линии, помещают над размерными линиями со стороны их выпуклости; в зоне, расположенной ниже горизонтальной центральной линии, – со стороны вогнутости; в зоне, помеченной штриховкой, – на расположенной горизонтально полке линии-выноски, отводимой от размерной линии.

При недостатке места размерные числа для углов помещают на полках линий-выносок в любой зоне (рис. 2.41).

Если для написания размерного числа недостаточно места над размерной линией, способ нанесения такого числа при различном положении размерных линий определяют наибольшим удобством чтения (рис. 2.42, 2.43).

Если при нанесении размера радиуса дуги окружности необходимо указать размер, определяющий положение ее центра, то этот центр изображают в виде пересечения центровых или выносных линий.

При большой величине радиуса центр можно приблизить к дуге, а размерную линию радиуса показывать с изломом под углом 90° (рис. 2.44).

При нанесении размера дуги окружности размерную линию проводят concentрично дуге, а выносные линии – параллельно биссектрисе угла (рис. 2.45).

Допускается проводить выносные линии размера дуги радиально и при наличии других concentричных дуг контура следует указывать, к какой дуге относится размер (рис. 2.46).

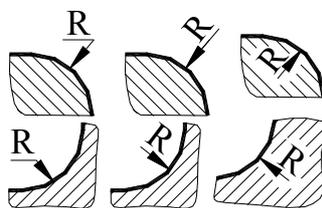


Рис. 2.38

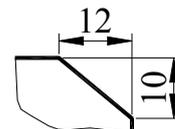


Рис. 2.39

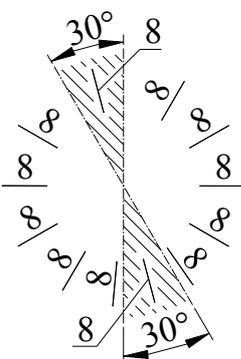


Рис. 2.40

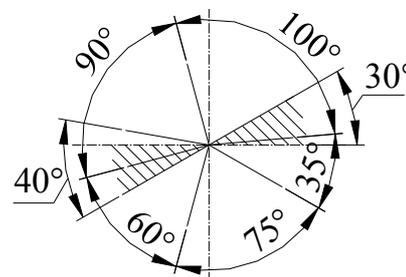


Рис. 2.41

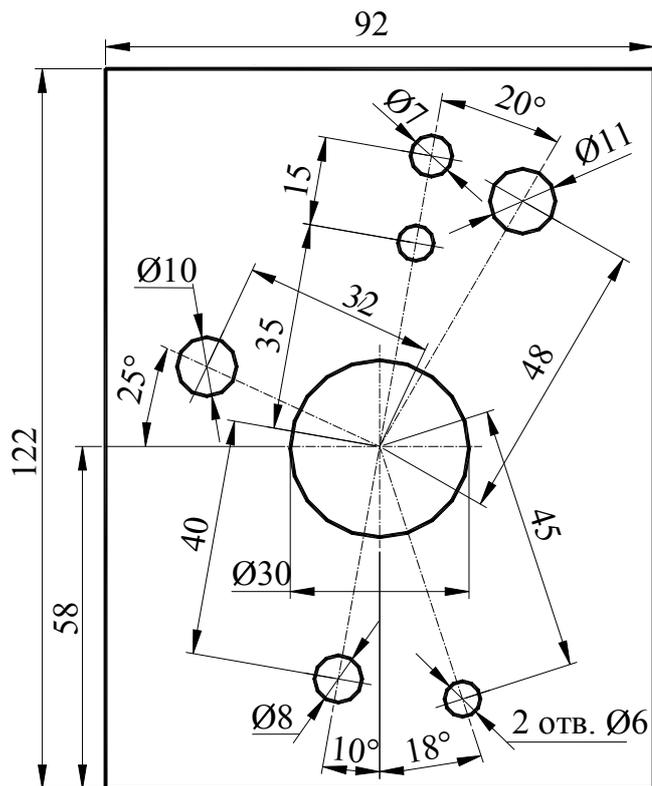


Рис. 2.42

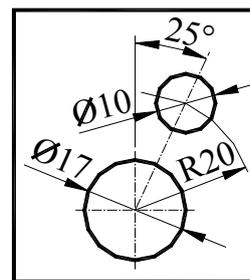


Рис. 2.43



Рис. 2.44



Рис. 2.45

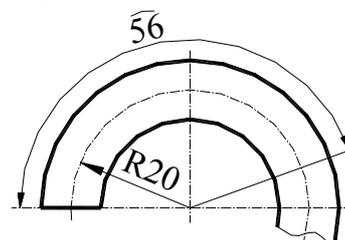


Рис. 2.46

2.4.2.3. Нанесение размеров на чертеж детали

Все размеры, наносимые на чертеж детали, условно разделяют на три группы:

- *цепные* (размеры, образующие сборочные размерные цепи);
- *сопряженные* (размеры, относящиеся одновременно к двум соединенным друг с другом деталям);
- *свободные* (размеры, не вошедшие в цепные и в сопряженные).

Цепные и сопряженные размеры следует брать из чертежа *сборочной* единицы.

Перед нанесением размеров на чертеж детали следует выбрать метод их про- становки из трех методов, применяемых в машиностроении:

- цепного;
- координатного;
- комбинированного.

При *цепном* методе размеры отдельных элементов детали проставляют последовательно, как звенья одной цепи (рис. 2.47).

Этот метод применяют при про- становке размеров на межосевые рас- стояния; в ступенчатых деталях, когда требуется получить точные размеры отдельных участков между уступами; при обработке деталей комплектом режущего инструмента и т. п. Ошибка в размере, получаемая при этом на отдельных участках, не зависит от ошибок предыдущих размеров, что является достоинством данного ме- тода.

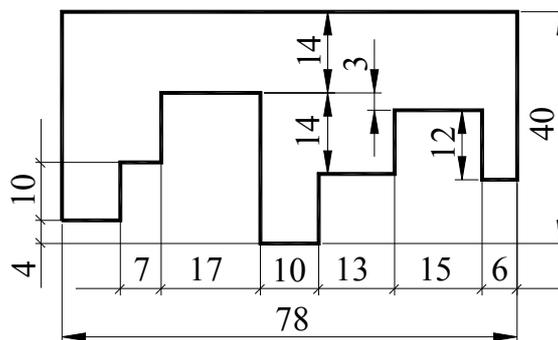


Рис. 2.47

При координатном методе размеры проставляют от одной базы (рис. 2.48, 2.49).

Этот метод используют при необходимости точного расположения элементов детали относительно одной базы, однако при этом несколько увеличиваются ошибки в размерах между соседними элементами детали.

Чаще всего пользуются комбинированным методом, представляющим собой сочетание цепного и координатного методов.

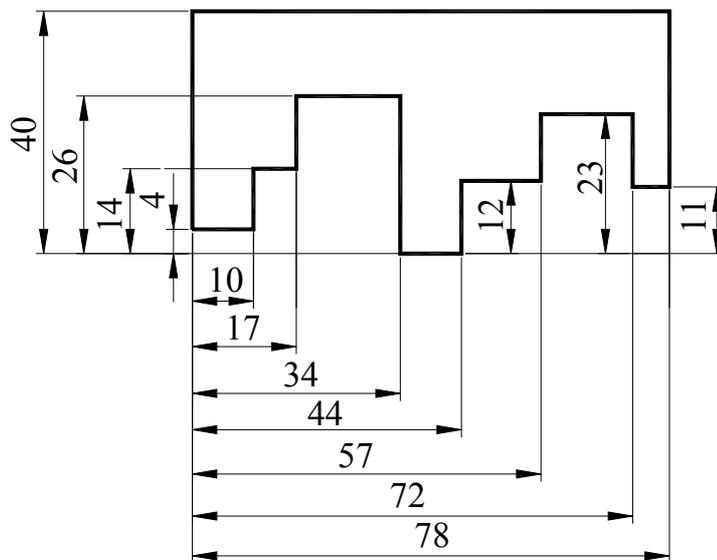


Рис. 2.48

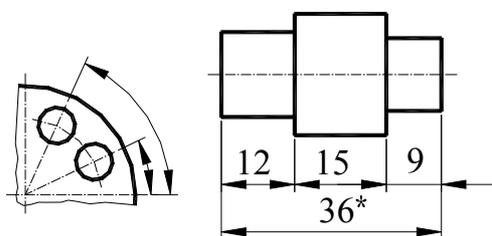


Рис. 2.49

Рис. 2.50

При простановке цепных (осевых) размеров размерная цепь на чертеже должна быть незамкнутой. В качестве замыкающего размера (не проставляемого на чертеже) выбирают наименее ответственный размер детали.

Если замыкающим размером оказался габаритный размер, его показывают на чертеже в качестве справочного (рис. 2.50).

Справочными называются размеры, не подлежащие выполнению по данному чертежу и указываемые для большего удобства пользования чертежом. Справочные размеры на чертеже обозначают звездочкой (*), а в технических требованиях записывают: * Размеры для справок (рис. 2.50).

Размеры на *симметричных* изделиях наносят, как показано на рис. 2.51.

Размеры с предельными отклонениями размеров элементов, обрабатываемых *совместно*, заключают в квадратные скобки и в технических требованиях помещают указание: «Обработку по размерам в квадратных скобках производить совместно с дет. поз. ...», причем это требование помещают на чертежах обеих сопряженных деталей (рис. 2.52).

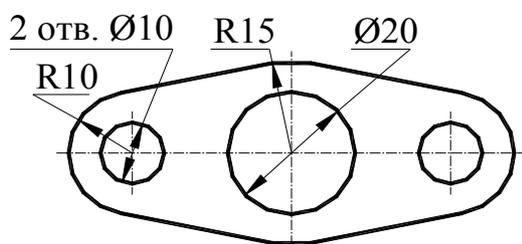
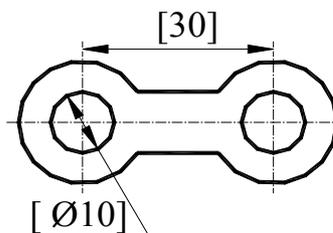


Рис. 2.51



2 отв. Рис. 2.52

2.4.2.4. Нанесение размеров на чертеж сборочной единицы

Чертеж *сборочной единицы* должен содержать:

- *размеры и предельные отклонения*, которые должны быть выполнены и проконтролированы по данному чертежу;
- *сопряженные размеры с обозначением посадок* (в местах установки на валы зубчатых и червячных колес, муфт, шкивов, звездочек, распорных втулок, подшипников, в местах установки в корпус изделия крышек подшипников, стаканов, фланцев и т. п.);
- *присоединительные размеры* (по которым данное изделие присоединяют к другим изделиям) с необходимыми предельными отклонениями;
- *установочные размеры* (по которым данное изделие устанавливают на месте монтажа) с необходимыми предельными отклонениями;
- *габаритные размеры*, определяющие предельные очертания изделия;
- *основные размеры*, характеризующие изделие и его основные составные части (например для редуктора с цилиндрическими косозубыми колесами: межосевое расстояние с допускаемыми отклонениями; направление линии, угла наклона зубьев; модуль зацепления);
- *необходимые справочные размеры*.

2.4.3. Допуски и посадки

2.2.3.1. Применение ЕСДП для гладких цилиндрических и плоских соединений

2.4.3.1.1. Общие положения

Взаимозаменяемость деталей по геометрическим параметрам обеспечивается стандартной системой допусков и посадок – ЕСДП.

ГОСТ 25346–89 устанавливает:

- термины и определения;
- ряды допусков;
- ряды основных отклонений размеров;
- правила образования полей допусков и посадок;
- условные обозначения основных отклонений и посадок для гладких элементов деталей, образующих соединения;
- условные обозначения основных отклонений для свободных размеров деталей.

ГОСТ 25347–82 распространяется на *гладкие* элементы деталей с номинальными размерами до 3150 мм и устанавливает поля допусков для этих элементов в посадках и для несопрягаемых элементов. Этот стандарт ограничивает выбор полей допусков валов и отверстий для общего применения из всей совокупности полей допусков, которые могут быть получены различным сочетанием основных отклонений и допусков по ГОСТ 25346–89.

ГОСТ 25348–82 распространяется на гладкие сопрягаемые и несопрягаемые элементы деталей с номинальными размерами свыше 3150 мм до 10000 мм и устанавливает ряды допусков и основных отклонений, поля допусков и рекомендуемые посадки таких элементов.

Рекомендуемые посадки в системе отверстия для номинальных размеров (1–500) мм указаны в табл. П.51, для номинальных размеров свыше 500 мм до 3150 мм – в табл. П.52.

Значения допусков *IT* для размеров до 500 мм (с 5 по 14 квалитет) приведены в табл. П.53.

Номинальные размеры, как правило, округляют до ближайшего числа из ряда *нормальных линейных размеров* в соответствии с ГОСТ 6636–69 (табл. П.50).

Предельные отклонения отверстий по ГОСТ 25347–82 приведены в табл. П.54.

Предельные отклонения валов по ГОСТ 25347–82 приведены в табл. П.55.

Поля допусков и предельные отклонения для гладких сопрягаемых и несопрягаемых элементов деталей из *пластмасс* с номинальными размерами до 3150 мм установлены ГОСТ 25349–88 (который является ограничительным отбором из совокупности полей допусков по ГОСТ 25347–82), но образованные по ГОСТ 25346–89.

В обоснованных случаях для обеспечения требований к изделиям из пластмасс допускается применять *другие поля допусков* по ГОСТ 25347–82, а также *дополнительные поля допусков* по ГОСТ 25349–88.

При конструировании машин и механизмов очень важно рационально выбрать систему посадок и назначить посадки, определяющие характер соединения деталей, так как это во многом определит работоспособность сконструированной машины или механизма.

Не менее важно правильно проставить посадочные (сопряженные) размеры на сборочных чертежах и предельные отклонения размеров деталей на рабочих чертежах.

2.4.3.1.2. Выбор системы посадок

Различные посадки можно осуществить, используя две *основные системы*:

1) *систему отверстия* (основное отверстие выполняют с допуском по *H* в соответствующем квалитете);

2) *систему вала* (основной вал выполняют по *h* в соответствующем квалитете).

Система отверстия должна иметь преимущественное применение, а *системе вала* следует применять лишь в *следующих случаях*:

а) при использовании деталей из пруткового калиброванного материала без обработки резанием сопрягаемых поверхностей;

б) при необходимости расположения на длинных валах постоянного сечения (на деталях цилиндрической формы) нескольких деталей с различными посадками;

в) при использовании стандартных деталей и сборочных единиц с посадочными размерами, выполненными в системе вала, например: в соединениях наружных колец подшипников качения с отверстиями корпуса, шпонок с пазами на втулке и на валу и т. п.

В технически обоснованных случаях применяют *внесистемные* посадки, то есть посадки, в которых *допуски на отверстие* выполняются в *системе вала*, а *допуски на вал* – в *системе отверстия*.

Такие посадки применяют в тех случаях, когда на вал, выполненный с допуском, отличным от *h*, необходимо посадить детали с различными характеристиками зазоров (например на участок вала, выполненный с допуском *k6*, устанавливают распорную втулку, выполненную по внутреннему диаметру с допуском *F8*).

2.4.3.1.3. Выбор посадок

Наиболее употребительные посадки приведены в табл. 2.10.

Из 19 квалитетов, предусмотренных стандартом СТ СЭВ 144–75, квалитеты с 5-го по 13-й следует использовать для сопрягаемых размеров, а с 14-го по 17-й – для несопрягаемых размеров.

Таблица 2.10

Наиболее употребительные посадки

Сопрягаемые детали и условия работы соединения	Посадка
Крышки подшипников качения торцовые с отверстием для манжетного уплотнения в корпусах.	H7/h8; H8/h8;
Соединения с валом на шпонке колес, муфт, шкивов при невысоких требованиях к точности механизма	H9/h8; H9/h9
Крышки подшипников качения глухие в корпусах	H7/h10; H8/d10;
Стаканы подшипников в корпусах. Небольшие шкивы на концах валов при частом демонтаже и монтаже	H7/js6
Зубчатые колеса, звездочки цепных передач, шкивы на валах редукторов при частом демонтаже и монтаже	H7/k6
Зубчатые колеса, звездочки цепных передач, шкивы на валах редукторов при тяжело нагруженных передачах и редкой разборке. Бронзовые венцы червячных колес на чугунных ступицах	H7/n6
Распорные втулки на валах	H8/h8; F8/k6; F8/n6;
Соединение шпонки с втулкой	Js9/h9
Соединение шпонки с валом	N9/h9; P9/h9

2.4.3.1.4. Предельные отклонения размеров

Предельные отклонения размеров на чертежах могут указываться одним из трех способов:

- 1) условными обозначениями полей допусков, например 45f7, $\varnothing 80H8$;
- 2) числовыми значениями предельных отклонений, например $\varnothing 45_{-0,035}^{+0,021}$; $\varnothing 45_{-0,021}^{+0,021}$; $\varnothing 75_{-0,045}$; $\varnothing 75_{-0,075}$; при этом отклонение (верхнее или нижнее), равное нулю, не проставляется;
- 3) смешанным способом, то есть после числового значения номинального размера проставляется условное обозначение поля допуска, а за ним в круглых скобках – числовые значения предельных отклонений, например $\varnothing f7_{-0,050}^{-0,025}$.

При учебном проектировании следует применять 3-й способ.

Структура условного обозначения посадочного размера на сборочном чертеже должна иметь следующий вид:

$$AB \frac{CD}{EF}, \text{ или } AB \ CD/EF,$$

где A – знак обозначающий вид поверхности сопряжения, например для цилиндрической поверхности – знак \varnothing ; B – номинальный размер, единый для отверстия и ва-

ла, мм; C – буква (или буквы) условного обозначения поля допуска отверстия; D – номер квалитета поля допуска отверстия; E – буква (или буквы) условного обозначения поля допуска вала; F – номер квалитета поля допуска вала.

Например: $\varnothing \frac{H7}{f7}$; $\varnothing \frac{F7}{h6}$; $\varnothing \frac{F7}{k7}$; $\varnothing 45H7/f7$; $\varnothing 45F7/h6$; $\varnothing 45F7/k6$.

Выборка предельных отклонений из ГОСТ 25347–82 приведена в табл. П.54, П.55.

Предельные отклонения размеров с неуказанными допусками должны назначаться в соответствии с ГОСТ 25670–83.

Для линейных размеров их следует выбирать по квалитетам: от 12-го до 17-го для номинальных размеров, от 1 до 10 000 мм и от 11-го до 13-го – для размеров менее 1 мм.

В общей записи допускается оговаривать неуказанные симметричные предельные отклонения по квалитетам ($\pm \frac{IT}{2}$) (табл. П.53).

Для металлических деталей, обрабатываемых резанием, отклонения назначают по 14-му квалитету.

Неуказанные предельные отклонения дают в одной общей записи в технических требованиях чертежа при условии, что эта запись однозначно определяет величины и направления (знаки) предельных отклонений.

Например: «Неуказанные предельные отклонения размеров $H14$, $h14$, $\pm \frac{IT14}{2}$ ».

В этой записи: $H14$ – предельные отклонения отверстий; $h14$ – предельные отклонения валов; $\pm \frac{IT14}{2}$ – предельные отклонения размеров, не относящихся к отверстиям и к валам.

Предельные отклонения радиусов закруглений и фасок не оговариваются отдельно, а определяются ГОСТ 25670–83 в зависимости от квалитета неуказанных предельных отклонений линейных размеров (табл. П.56).

2.4.3.2. Нормальные углы и допуски углов

ГОСТ 8908–81 распространяется на углы (угловые размеры) и допуски углов конусов, призматических элементов деталей с длиной меньшей стороны угла до 2500 мм.

Стандарт не распространяется на углы, связанные расчетными зависимостями с другими принятыми размерами, на углы конусов по ГОСТ 8593–81 и на допуски конусов, для которых задан допуск диаметра в каждом сечении на длине конуса, и отклонения угла конуса допускаются в пределах всего поля допуска диаметра конуса.

ГОСТ 8908–81 устанавливает нормальные углы (табл. П.57). При выборе углов ряд 1 следует предпочитать ряду 2, а ряд 2 – ряду 3.

Для призматических деталей (рис. 2.53), кроме углов, приведенных в табл. П.57, допускается применять уклоны и соответствующие им углы, приведенные в табл. П.58.

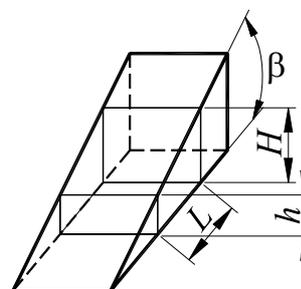


Рис. 2.53

ГОСТ 8908–81 устанавливает следующие допуски углов:

δ_α – допуск угла, выраженный в угловых единицах;

a – допуск угла конуса, равный допуску разности диаметров в двух нормальных к оси сечениях конуса на заданном расстоянии L между ними (определяются по перпендикуляру к оси конуса).

При обозначении допуска угла заданной степени точности к обозначению допуска угла добавляют номер соответствующей степени точности, например: $\delta_\alpha 8$, $\delta_\alpha 10$.

ГОСТ 8908–81 устанавливает 17 степеней точности допусков углов: 1; 2; 3; ...; 17.

Допуски на угловые размеры приведены в табл. П.59.

Допуски углов конусов с конусностью не более 1:3 следует назначать в зависимости от номинальной длины конуса L (рис. 2.54), а с конусностью более 1:3 – в зависимости от длины образующей конуса L_1 (рис. 2.55).

Допуски углов призматических элементов деталей выбирают в зависимости от номинальной длины L_1 меньшей стороны угла (табл. П.59). Значения a , приведенные в табл. П.59, указаны для крайних значений интервалов длин L и L_1 .

В табл. 2.11 приведены рекомендации по назначению степеней точности на угловые размеры деталей.

Таблица 2.11

Рекомендации по назначению степеней точности на угловые размеры

Степень точности	Детали	Методы обработки
3	Высшей точности внутренние конусы для герметичных соединений	Тонкое шлифование с последующей доводкой
4	Высокой точности, требующие хорошего центрирования; центрирующие концы валов под зубчатые колеса и отверстия в зубчатых колесах высоких степеней точности	Шлифование, развертывание и точение высокой точности
5, 6	Высокой точности, передающие на конусном соединении большие крутящие моменты; фрикционные конусы и втулки; штифты конусные (1:50) и отверстия для них	Шлифование, развертывание и точение высокой точности; слесарная обработка высокой точности
7, 8	Нормальной точности: конусы фрикционных деталей с последующей подгонкой зубчатых конических колес, центрирующие концы осей, штифты конические (1:50) нормальной точности, направляющие планки кареток	Точение на токарных и револьверных станках обычной точности, фрезерование высокой точности с применением делительных механизмов, шлифование с установкой на столе и в приспособлении, развертывание
9	Невысокой точности, передающие движение, стопорящие и т. п.; угловые пазы, звездочки фиксаторов, втулки стопорные к поводкам, храповые и фрикционные остановы, прессованные детали	Получистовое точение, чистовое фрезерование по разметке, строгание в приспособлении, зенкование, шлифование
10	Размеры, к точности которых не предъявляется высоких требований (свободные размеры)	Грубая обработка на станках всех видов, литье, гибка в гибочных штампах высокой точности

2.4.3.3. Отклонения и допуски формы и расположения поверхностей

При изготовлении деталей могут возникнуть *погрешности* не только линейных и угловых размеров, но и *геометрической формы*, а также *взаимного расположения поверхностей*. Их величины необходимо ограничивать предельными отклонениями в тех случаях, когда эти погрешности нарушают условия нормальной работы детали.

Если предельные отклонения формы и расположения поверхностей допустимы в пределах *всего* поля допуска на размер, то на чертеже их оговаривать не следует.

ГОСТ 24643–81 распространяется на допуски формы и расположения поверхностей деталей машин и приборов и устанавливает числовые значения допусков (табл. П.60).

Термины и определения допусков формы и расположения поверхностей даны в ГОСТ 24642–81, *указание допусков формы и расположения на чертежах* – в ГОСТ 2.308–79.

Числовые значения допусков формы, допусков расположения и суммарных допусков формы и расположения поверхностей должны соответствовать указанным в табл. П.61–П.64.

Значения позиционных допусков, допусков формы заданного профиля или заданной поверхности должны назначаться по табл. П.60; неуказанные допуски формы и расположения поверхностей – по ГОСТ 25069–81.

Рекомендуемые соотношения между допусками формы и расположения и допуском размера – по рекомендуемому приложению 2 ГОСТ 24643–81.

Классификация допусков формы и расположения поверхностей приведена в табл. 2.12.

Допуски формы и расположения при необходимости, определяемой конструктивными или технологическими соображениями, *указывают на чертежах*, согласно ГОСТ 2.308–79, одним из двух способов:

- условными обозначениями;
- текстом в технических требованиях.

Применение *условных обозначений* предпочтительнее.

Таблица 2.12

Классификация допусков формы и расположения поверхностей и их осей

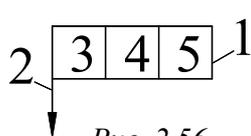
Группа допусков	Допуск	Знак	Группа допусков	Допуск	Знак
Допуски формы	прямолинейности	—	Суммарные допуски формы и расположения	радиального биения	↗
	плоскостности	▱		торцового биения	
	круглости	○		биения в заданном направлении	
	цилиндричности	⊙		полного радиального биения	↗↗
	профиля продольного сечения	≡		полного торцового биения	
Допуски расположения	параллельности	∥		формы заданного профиля	⊂
	перпендикулярности	⊥		формы заданной поверхности	⊂
	наклона	∠			
	соосности	≡			
	симметричности	⊙			
	позиционный	⊕			
	пересечения осей	×			

Текстовая часть должна включать:

- наименование допуска;
- указание поверхности или другого элемента, для которого задается допуск (для этого используют буквенное обозначение поверхности или конструктивное наименование, определяющее поверхность);
- числовое значение допуска в миллиметрах;
- для допусков расположения и суммарных допусков формы и расположения дополнительно указывают базы, относительно которых задается допуск, и оговаривают зависимые допуски расположения или формы.

Текст должен соответствовать терминологии и определениям ГОСТ 24642–81, например: «допуск профиля продольного сечения поверхности А 0,008 мм».

Структура условного обозначения имеет следующий вид (рис. 2.56).



- 1 – рамка;
- 2 – соединительная линия;
- 3 – знак допуска (табл. 2.12);
- 4 – числовая величина допуска;
- 5 – буквенное обозначение базы (баз)

Рис. 2.56

Рамку следует вычерчивать сплошными тонкими линиями.

Размеры рамки и ее полей должны обеспечивать возможность четкого вписывания всех данных.

Высота цифр и букв, вписываемых в рамку, должна быть равна размеру шрифта размерных чисел.

Примеры условного обозначения на чертежах допусков формы и расположения поверхностей приведены в табл. 2.13.

Допуски формы и расположения поверхностей следует назначать в зависимости от номинального размера и степени точности.

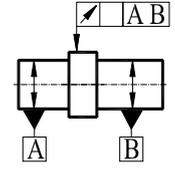
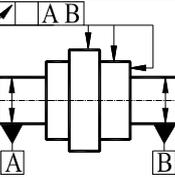
Примеры назначения степеней точности и способы обработки для их достижения приведены в табл. 2.14.

Таблица 2.13

Условные обозначения на чертежах допусков формы и расположения поверхностей (ГОСТ 2.308–79)

Пояснение	Пример условного обозначения
<i>Соединение рамки с изображением нормируемого элемента (с контурной линией элемента или с выносной линией, продолжающей контурную)</i>	
Соединительная линия может быть прямой или ломаной. Конец этой линии, заканчивающийся стрелкой, должен быть направлен по линии измерения отклонения (обычно по нормали к поверхности)	
Допускается начинать соединительную линию от второй (последней) части рамки и заканчивать ее на выносной линии со стороны материала детали	
Если допуск относится к поверхности или к ее профилю, а не к оси элемента, то стрелку располагают на некотором расстоянии от конца размерной линии	

Пояснение	Пример условного обозначения
Если допуск относится к оси или к плоскости симметрии элемента, то конец соединительной линии должен совпадать с продолжением размерной линии этого элемента	
Допуск относится к общей оси или плоскости симметрии двух элементов, и из чертежа ясно, для каких элементов данная ось является общей	
<i>Соединение рамки с изображением нормируемого элемента (с контурной линией элемента или с выносной линией, продолжающей контурную)</i>	
<i>Дополнительные знаки перед числовым значением допуска</i>	
При указании кругового или цилиндрического поля допуска его диаметром	
При указании кругового или цилиндрического поля допуска его радиусом	
Для допуска симметричности, пересечения осей, формы заданной поверхности или заданного профиля, позиционного допуска в диаметральном выражении. Символ <i>T</i> означает, что указывается полная ширина соответствующего поля допуска	
Те же виды допусков, что и в предыдущем случае, но в радиусном выражении. Символ <i>T/2</i> означает, что указывается половина ширины соответствующего поля допуска	
При указании поля допуска, ограниченного сферой	
<i>Указание нормируемого участка</i>	
Допуск относится ко всей поверхности (длине элемента)	
Допуск относится к любому участку поверхности (элемента), имеющему заданную длину или площадь	
Допуск относится к нормируемому участку, расположенному в определенном месте (участок обозначают штрихпунктирной линией и указывают размерами)	
Знак базы – зачерненный равнобедренный треугольник с высотой, равной размеру шрифта размерных чисел	
Если соединение рамки, содержащей обозначение допуска, с базой затруднительно, то базу обозначают прописной буквой и эту букву вписывают в третье поле рамки допуска	
Базой является ось элемента	
Базой является общая ось элементов	

Пояснение	Пример условного обозначения
<i>Указание нескольких базовых элементов</i>	
Несколько элементов образуют одну базу (например общую ось), и их последовательность не имеет значения. Указывают в одном поле рамки	
<i>Одинаковые условные обозначения, относящиеся к разным элементам</i>	
Повторяющиеся допуски, обозначаемые одним и тем же условным знаком и имеющие одно и то же числовое значение	

Расположение осей в деталях может быть задано на чертежах либо межосевым расстоянием, либо расстоянием от каких-либо баз, например от одной или двух плоскостей детали.

Допуски смещения отверстий задают двумя способами:

- в виде указания предельных отклонений размеров между осями;
- в виде указания предельных смещений осей отверстий от номинального расположения (позиционный допуск).

Различают соединения:

- типа А (например соединения болтами);
- типа В (например соединения шпильками).

В соединении А зазоры предусмотрены в обоих соединяемых деталях, в соединении В – в одной.

Таблица 2.14

*Рекомендации по применению степеней точности (ГОСТ 24643–81)
и способы обработки для их достижения*

Степень точности	Область применения	Методы обработки
<i>Отклонения формы плоских поверхностей: плоскостность, прямолинейность</i>		
3–4	Направляющие станков повышенной точности. Столы фрезерных, плоскошлифовальных и других станков высокой точности	Доводка, суперфиниширование, тонкое шлифование, тонкое шабрение
5–6	Направляющие станков нормальной точности, точных приборов и машин. Рабочие поверхности столов станков нормальной и повышенной точности	Шлифование, шабрение, чистовое точение повышенной точности
7–8	Базовые поверхности кондукторов и других технологических приспособлений. Направляющие кривошипных и гидравлических прессов, ползуны. Опорные поверхности корпусов подшипников. Разъемы корпусов редукторов, масляных насосов	Шлифование, тонкое фрезерование и строгание, протягивание, чистовое точение

Продолжение табл. 2.14

Степень точности	Область применения	Методы обработки
9–10	Опорные поверхности машин, устанавливаемых на клиньях и амортизаторах. Присоединительные поверхности арматуры и фланцев. Кронштейны и основания вспомогательных и других механизмов	Чистое фрезерование, строгание и долбление, протягивание, точение
<i>Отклонение формы цилиндрических поверхностей: круглость</i>		
3–4	Рабочие поверхности плунжерных и золотниковых пар при высоких давлениях. Посадочные поверхности подшипников качения классов точности 4 и 2 и отверстия в корпусах для этих подшипников. Шейки шпинделей под подшипники станков повышенной точности	Тонкое точение, шлифование, алмазное растачивание, хонингование, доводка
5–6	Посадочные поверхности подшипников качения классов точности 0, 6, 5 на валах и в корпусах. Поршни и цилиндры гидравлических устройств, насосов и компрессоров при средних давлениях. Цилиндры автомобильных двигателей. Поверхности соединений втулок с цилиндрами и корпусами в гидравлических системах высокого давления	Шлифование, алмазное растачивание, тонкое точение, тонкое развертывание, хонингование, протягивание
7–8	Гильзы, поршневые кольца и поршни тракторных двигателей. Отверстия под втулки в шатунах дизелей, компрессоров, тракторных двигателей	Точение, сверление, растачивание, протягивание, черновое шлифование
9–10	Поршни и цилиндры насосов низких давлений. Подшипники скольжения с легкими условиями работы	Черновое точение, сверление, растачивание, зенкерование, вырубание в штампах обычной точности
<i>Отклонения от параллельности плоскостей</i>		
3–4	Основные рабочие поверхности станков высокой и повышенной точности. Скользящие поверхности деталей насосов	Доводка, тонкое шлифование, шабрение
5–6	Рабочие поверхности станков нормальной точности. Базовые поверхности приспособлений. Трудящиеся поверхности	Шлифование, тонкие фрезерование и строгание, шабрение
7–8	Номинально параллельные поверхности машиностроительных деталей средней точности. Рабочие поверхности кондукторов средней точности	Шлифование, фрезерование, строгание, опилковка, протягивание, литье под давлением
9–10	Стыковые поверхности без взаимного перемещения при невысоких требованиях к герметичности и точности соединений. Нерабочие поверхности	Фрезерование, строгание, долбление
11–12		Все грубые способы обработки

Степень точности	Область применения	Методы обработки
<i>Отклонения от параллельности поверхностей вращения</i>		
4–5 (5–6)	Рабочие поверхности станков нормальной точности. Точные измерительные приборы и точные кондукторы	Шлифование. Координатное растачивание
6–7 (7–8)	Точные машиностроительные детали и кондукторы средней точности	Шлифование. Растачивание на расточном станке, протягивание
8–9 (9–10)	Машиностроительные детали средней точности	Растачивание, сверление и развертывание по кондуктору
13–15	Литые детали всех размеров из цветных сплавов	Растачивание, сверление
<i>Отклонения от перпендикулярности плоскостей</i>		
3–4	Основные направляющие и базовые поверхности станков нормальной и повышенной точности. Точные инструменты и измерительные приборы	Доводка, тонкое шлифование, шабрение повышенной точности
5	Ответственные детали точных станков, измерительных инструментов и приборов средней точности	Тонкое шлифование, шабрение
6–7	Ответственные детали станков средней точности, детали насосов, двигателей внутреннего сгорания, точных кондукторов и приспособлений	Чистовое шлифование, шабрение, тонкие фрезерование и строгание
8	Ответственные машиностроительные детали кондукторов и приспособлений	Шлифование, чистовое строгание, фрезерование и долбление
9–10	Машиностроительные детали средней точности	Строгание, фрезерование, долбление
11		Все способы обработки
<i>Отклонения от перпендикулярности торца (торцовое биение)</i>		
3–4	Опорные и трущиеся поверхности ответственных машиностроительных деталей, точных станков и турбин. Фланцы валов крупных турбин и генераторов	Доводка, тонкое шлифование, шабрение повышенной точности
5–6	Опорные и трущиеся поверхности ответственных машиностроительных деталей, точных станков и турбин. Фланцы валов крупных турбин и генераторов	Шлифование, шабрение, тонкое обтачивание и растачивание
7	Опорные и трущиеся поверхности машиностроительных деталей	Шлифование, шабрение, тонкое обтачивание и растачивание

Степень точности	Область применения	Методы обработки
8–9	Малоответственные рабочие поверхности машиностроительных деталей	Шлифование, чистовое обтачивание и растачивание
10–12	Плоские поверхности под установку прокладок, под арматуру и т. п. Свободные поверхности	Шлифование, обтачивание, растачивание
<i>Отклонения от соосности (радиальное биение)</i>		
3–4	Рабочие поверхности шпинделей, столов и других деталей станков повышенной и нормальной точности. Детали гидравлических машин. Измерительные инструменты и приборы	Доводка, тонкое шлифование, тонкое обтачивание, суперфиниширование, хонингование
5–6	Точные машиностроительные детали, изготавливаемые по 6–7 квалитетам	Чистовое шлифование, тонкое обтачивание и растачивание
7	Машиностроительные детали, изготавливаемые по 8–9 квалитетам	Шлифование, чистовое обтачивание и растачивание
8	Машиностроительные детали, изготавливаемые по 10–11 квалитетам	Точение, растачивание, зенкерование, вытяжка в штампах
9–10	Машиностроительные детали, изготавливаемые по 12–13 квалитетам	
<i>Примечание.</i> Степени точности, указанные в скобках, рекомендуются для отклонений от параллельности оси одной детали по отношению к оси другой (сопрягаемой)		

Для выбора числовых значений допусков расположения осей отверстий определяют *расчетное смещение осей соединения*.

Величина *предельного* смещения оси от номинального расположения $\Delta_{\text{расч}}$ определяется по формулам:

а) для соединения болтами:

$$\Delta_{\text{расч}} = \frac{d_{\text{отв}} - d}{2}; \quad (2.1)$$

б) для соединения винтами или шпильками:

$$\Delta_{\text{расч}} = \frac{d_{\text{отв}} - d}{4}, \quad (2.2)$$

где $\Delta_{\text{расч}}$ – расчетное значение смещения осей болта (винта, шпильки) и отверстия, мм; $d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстия, мм; d – диаметр болта (винта, шпильки), мм.

Полученное расчетом значение $\Delta_{\text{расч}}$ округляется до ближайшего меньшего стандартного значения из ряда:

0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

По величине предельного смещения определяются величины допуска на линейные размеры L_i (табл. П.65).

По величине предельного отклонения $\Delta_{расч}$ определяются и величины допусков на диаметры D и радиусы R расположения центров отверстий, а также допуски на центральные углы α между осями двух любых отверстий и на углы между осью каждого отверстия и осью базового отверстия (ϕ) (табл. П.66).

2.4.3.4. Шероховатость поверхности

2.4.3.4.1. Общие положения

Шероховатость поверхности – это совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная, например, с помощью базовой длины.

ГОСТ 2789–73 устанавливает перечень параметров и типов направлений неровностей, которые должны применяться при установлении требований и контроле шероховатостей поверхности, числовые значения параметров и общие указания по установлению требований к шероховатости поверхности.

Требования к шероховатости поверхности должны устанавливаться, исходя из функционального назначения поверхности, для обеспечения заданного качества изделий. Если в этом нет необходимости, то требования к шероховатости поверхности не устанавливаются.

2.4.3.4.2. Обозначение шероховатости поверхности

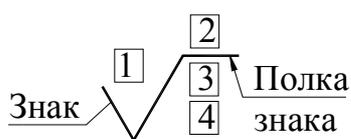


Рис. 2.57

Структура обозначения шероховатости поверхности (рис. 2.57) должна соответствовать ГОСТ 2.309–73.

При наличии в обозначении шероховатости только значения ее параметра применяют знак без полки.

По ГОСТ 2.309–73 для обозначения шероховатости поверхности на чертежах используют *знаки*, указанные на рис. 2.58–2.61, где

- 1 – параметр (параметры) шероховатости по ГОСТ 2789–73;
- 2 – вид обработки поверхности и (или) другие дополнительные указания;
- 3 – базовая длина по ГОСТ 2789–73;
- 4 – условное обозначение направления микронеровностей.

Если вид обработки конструктором не указывается, то применяется знак по рис. 2.58, если указывается, то – по рис. 2.59. Высоту h принимают равной высоте размерных чисел на чертеже, высоту H , в зависимости от объема записи, принимают равной $(1,5–3)h$. Толщина линий знаков примерно должна быть равна $0,5S$, где S – толщина основных линий чертежа.

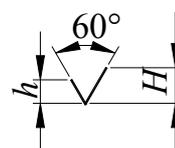


Рис. 2.58



Рис. 2.59

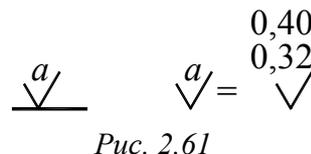
Если поверхность образуется без снятия материала (например, штамповкой и т. п.), то применяют знак по рис. 2.60.



Рис. 2.60

Состояние поверхности, обозначенной знаком (рис. 2.60), должно удовлетворять требованиям, установленным соответствующим стандартом, причем на этот документ должна быть ссылка в виде указания сортамента материала в графе 3 основной надписи чертежа (рис. 2.1).

Допускается применять *упрощенное обозначение шероховатости поверхности* с разъяснением его в технических требованиях чертежа (рис. 2.61). При этом используют знак и строчные буквы русского алфавита в алфавитном порядке, без повторений и, как правило, без пропусков.



Шероховатость поверхности по ГОСТ 2789–73 характеризуется шестью параметрами:

R_a – среднее арифметическое отклонение профиля, мкм;

R_z – высота неровностей профиля по десяти точкам, мкм;

R_{\max} – наибольшая высота неровностей профиля, мкм;

S_m – средний шаг неровностей;

S – средний шаг местных выступов профиля;

t_p – относительная опорная длина профиля, где p – значение уровня сечения профиля.

Числовые значения параметров шероховатости приведены в табл. П.75, П.76. Параметры шероховатости относятся к нормальному сечению.

Требования к шероховатости поверхности должны устанавливаться путем указания параметра шероховатости (одного или нескольких из вышеперечисленных шести параметров), числового значения выбранного параметра и базовой длины, на которой происходит определение параметра.

В большинстве случаев в проектах достаточно проставлять один из двух первых, указанных выше, параметров – R_a или R_z , причем параметр R_a является предпочтительным.

Если параметры R_a , R_z , R_{\max} определяются в соответствии с табл. П.75, П.76 на базовых длинах, которые соответствуют базовым длинам по ГОСТ 2789–73, то эти базовые длины не указываются в требованиях к шероховатости.

При необходимости устанавливаются требования к направлению неровностей поверхности (табл. 2.15), к способу или последовательности способов получения (обработки) поверхности.

Направление сечения не оговаривается, если требования технической документации относятся к направлению сечения на поверхности, которое соответствует наибольшим значениям высотных параметров.

Значения параметров шероховатости поверхности изделий, в зависимости от их назначения, характера соединения деталей, размеров, различных видов обработки, приведены в табл. 2.16 и П.75–П.86.

Значения параметров шероховатости в обозначении записывают по следующим правилам:

- значение параметра R_a указывают без символа (например 1,25), а остальных параметров – после соответствующего символа (например $R_z 40$);
- при указании более одного параметра шероховатости их значения записывают сверху вниз (рис. 2.57) в следующем порядке:
 - параметр высоты неровностей профиля,
 - параметр шага неровностей профиля,
 - относительная опорная длина профиля;

- при указании R_a или R_z базовую длину в обозначении не приводят, если определение параметра производится по нормам по ГОСТ 2789–73;
- вид обработки указывают только в том случае, если он является единственно возможным для получения требуемого качества поверхности;
- при необходимости указываются направления неровностей (по ГОСТ 2.309–73).

Таблица 2.15

Типы направлений неровностей поверхностей

Типы направлений неровностей	Схематическое изображение	Условное обозначение на чертеже	Пояснение
Параллельное			Параллельно линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования
Перпендикулярное			Перпендикулярно линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования
Перекрещивающееся			Перекрещивание в двух направлениях наклонно к линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования
Произвольное			Различные направления по отношению к линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования
Кругообразное			Приблизительно кругообразно по отношению к центру поверхности, к шероховатости которой устанавливаются требования
Радиальное			Приблизительно радиально по отношению к центру поверхности, к шероховатости которой устанавливаются требования

2.4.3.4.3. Выбор и указание на чертеже шероховатости поверхности

Выбор параметров шероховатости следует проводить с учетом назначения и эксплуатационных свойств поверхности детали. Необходимо учитывать и рациональность метода обработки.

Из высотных параметров предпочтительно назначать R_a . Наибольшие допускаемые значения этого параметра рекомендуется устанавливать из следующих условий:

- при допуске формы 60 % от допуска размера T_p $R_a < 0,05T_p$;
- при допуске формы 40 % от допуска размера T_p $R_a < 0,025T_p$.

При необходимости нормировать параметр R_z :

- при допуске формы 60 % от допуска размера T_p $R_z < 0,2T_p$;
- при допуске формы 40 % от допуска размера T_p $R_z < 0,1T_p$.

Соотношения при допуске формы 60 % соответствуют нормальной (Н) относительной геометрической точности, при 40 % – повышенной (П).

Ориентировочно шероховатость поверхности можно назначать, используя данные табл. 2.16.

Таблица 2.16

Параметры шероховатости в зависимости от характера и назначения поверхностей изделий

Параметры шероховатости, мкм	Характеристика и назначение поверхности
R_z	
R_z 1250 R_z 630	Поверхности отливок, получаемых литьем в землю; сварных швов
R_z 320 R_z 160	Поверхности: очень грубые, не подвергающиеся механической обработке; отливок повышенного качества, полученных литьем в землю. Нерабочие контуры деталей (зачищенные поверхности отливок, поковок)
R_z 100	Поверхности отверстий и фасок из-под сверла, зенковок. Разделка кромок под сварку
R_z 80	Поверхности: грубые, не соприкасающиеся друг с другом, деталей эксплуатационного и технологического оборудования, приспособлений; боковых и задних стенок шасси, обшивок; сквозных отверстий качества 14 под болты, винты, заклепки и др.
R_z 40	Поверхности: кронштейнов, муфт, втулок, колец, фланцев, колес и других деталей, не соприкасающихся с другими поверхностями и не используемые в качестве технологических баз; свободные поверхности пружин сжатия; сквозных отверстий качества 12 под болты, винты, заклепки и др.
R_z 20	Поверхности: деталей, прилегающих к другим поверхностям; не трущиеся и не подвергающиеся износу; опорных плоскостей корпусов, кронштейнов, крышек; торцов бобышек; зенкованные под винты. Канавки, фаски, галтели валов. Нерабочие поверхности шпоночных пазов на валах
R_z 0,1	Поверхности базовые точных приборов

Параметры шероховатости, мкм	Характеристика и назначение поверхности
R_a	
R_a 100–50	Нерабочие контуры деталей. Поверхности деталей, устанавливаемые на бетонных, кирпичных и деревянных основаниях
R_a 25	Отверстия на проход крепежных деталей. Выточки, проточки, отверстия масляных каналов на силовых валах, кромки детали под сварные швы. Опорные поверхности пружин сжатия. Подошвы станин, корпусов, лап
R_a 12,5	Внутренний диаметр шлицевых соединений (не шлифованных). Свободные несопрягаемые торцовые поверхности валов, муфт, втулок. Поверхности головок винтов. Нерабочие торцовые поверхности зубчатых и червячных колес и звездочек. Канавки, фаски, выточки, зенковки, закругления и т. п. Болты и гайки нормальной и повышенной точности (кроме резьбы)
R_a 6,3	Торцовые поверхности под подшипники качения. Поверхности втулок, колец, ступиц, прилегающие к другим поверхностям, но не являющиеся посадочными. Нерабочие торцы валов, втулок, планок. Шейки валов 12-го качества диаметром (80–500) мм. Поверхности отверстий 11-го и 12-го качества диаметром (18–500) мм
R_a 3,2	Канавки под уплотнительные резиновые кольца подвижных и неподвижных торцовых соединений. Радиусы скруглений на силовых валах. Поверхности осей для эксцентриков. Опорные плоскости реек. Поверхности выступающих частей быстро вращающихся деталей. Шейки валов 9-го качества диаметром (80–500) мм, 11-го качества диаметром (3–300) мм. Поверхности отверстий 7-го качества диаметром (80–500) мм, 9-го качества диаметром (18–300) мм, 11-го качества диаметром (1–10) мм. Отверстия в неподвижных соединениях всех классов. Отверстия в подвижных соединениях 10-го и 11-го классов. Торцовые поверхности под подшипники качения 0-го и 6-го классов. Торцовые поверхности втулок, колец, ступиц колес и шкивов. Нерабочие поверхности шпоночных пазов колес
R_a 2,5	Поверхности (прилегающие друг к другу, но не трущиеся, высокого качества) деталей, предельные отклонения которых находятся в пределах допусков на неточность изготовления до 7-го качества включительно. Боковые поверхности зубьев 8-й и 9-й степеней точности (в том числе червячных). Рабочие поверхности шкивов, звездочек и шпоночных пазов на валах
R_a 1,6	Наружные диаметры шлицевого соединения. Отверстия пригоняемых и регулируемых соединений (вкладыши подшипников и др.) с допуском зазора-натяга (25–40) мкм. Цилиндры, работающие с резиновыми манжетами. Трущиеся поверхности малонагруженных деталей. Посадочные поверхности отверстий и валов под неподвижные посадки. Шейки валов 6-го качества диаметром (120–500) мм, 8-го качества диаметром (6–80) мм. Поверхности отверстий 6-го качества диаметром (50–500) мм, 7-го качества диаметром (10–180) мм, 9-го качества диаметром (1–18) мм. Отверстия в подвижных соединениях 7-го и 8-го классов. Боковые поверхности зубьев колес 7-й степени точности (в том числе червячных). Рабочие поверхности шпоночных пазов колес

Параметры шероховатости, мкм	Характеристика и назначение поверхности
$R_a 1,25$	Поверхности: трущиеся, к которым не предъявляются высокие требования в отношении износостойкости и стабильности сохранения зазора или взаимного расположения, опорные, центрирующие; базовые, предназначенные для установки деталей, отклонения которых находятся в пределах допусков на неточность изготовления 8 и более точных квалитетов; муфт сцепления рабочие. Поверхности разъема герметичных соединений без прокладок. Отверстия корпусов под подшипники качения 0-го и 6-го классов. Поверхности валов под подшипники качения 0-го и 6-го классов. Боковые поверхности зубьев колес 6-й степени точности (в том числе червячных). Рабочая поверхность витка червяка червячной передачи 9-й степени точности
$R_a 0,63$	Поверхности зеркала цилиндров, работающих с резиновыми манжетами. Валы в пригоняемых и регулируемых соединениях с допуском зазора-натяга (7–25) мкм. Трущиеся поверхности нагруженных деталей. Посадочные поверхности 7-го квалитета с длительным сохранением заданной посадки – оси эксцентриков, точные червяки, зубчатые колеса. Сопряженные поверхности бронзовых зубчатых колес. Рабочие шейки распределительных валов. Штоки и шейки валов в уплотнениях. Шейки валов 5-го квалитета диаметром (30–500) мм, 6 квалитета диаметром (10–120) мм. Поверхности отверстий 5-го квалитета диаметром (3–50) мм, 6-го квалитета диаметром (1–10) мм. Поверхности валов под подшипники качения 0-го и 6-го классов. Рабочая поверхность витка червяка червячной передачи 8-й степени точности
$R_a 0,4$	Шейки валов 5-го квалитета диаметром свыше 1 мм до 30 мм, 6-го квалитета диаметром свыше 1 мм до 10 мм. Валы в пригоняемых и регулируемых соединениях (шейки шпинделей, золотники) с допуском зазора-натяга (16–25) мкм. Отверстия пригоняемых и регулируемых соединений (вкладыши подшипников) с допуском зазора-натяга (4–7) мкм. Трущиеся элементы сильнонагруженных деталей. Цилиндры, работающие с поршневыми кольцами
$R_a 0,32$	Поверхности: трущиеся, хорошо противостоящие износу; деталей с повышенными требованиями к точности и коррозионной стойкости; точных шаровых соединений; уплотняющие. Трущиеся элементы сильнонагруженных деталей (рабочая поверхность витка червяка червячной передачи 6-й и 7-й степеней точности). Поверхности валов под резиновые манжеты
$R_a 0,2$	Поверхности деталей, работающие на трение, от износа которых зависит точность работы механизма
$R_a 0,16$	Поверхности: трущиеся, особо ответственных деталей; качения высокого качества; плоскостей, для обеспечения контроля которых необходима притираемость (контроль интерференционным способом); направляющих линеек; пазов высокой точности

Параметры шероховатости, мкм	Характеристика и назначение поверхности
$R_a 0,1$	Рабочие шейки валов прецизионных быстроходных станков и механизмов. Шейки валов в пригоняемых соединениях с допуском зазора – натяга (2,5–6) мкм. Поверхности отверстий пригоняемых и регулируемых соединений с допуском зазора – натяга до 2,5 мкм
$R_a 0,08$	Поверхности: качения высокой точности, например: рабочие поверхности подшипников, фрикционных механизмов и др.; полированных деталей без гальванических покрытий с целью повышения отражения тепловых лучей
$R_a 0,04$	Поверхности: качения высшей точности, например рабочие поверхности особо ответственных подшипников

Согласно ГОСТ 2.309–73 обозначения шероховатости поверхности на изображении изделия следует располагать на линиях контура, выносных линиях или на полках линий-выносок.

При указании *одинаковой* шероховатости для всех поверхностей изделия обозначение шероховатости помещают лишь в *правом верхнем* углу чертежа (рис. 2.62). Размеры и толщина линий знака при этом должны быть в 1,5 раза больше, чем в обозначениях, наносимых на изображение детали. Одинаковую шероховатость для части поверхности

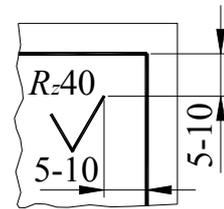


Рис. 2.62

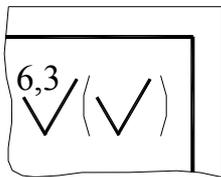


Рис. 2.63

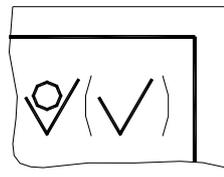


Рис. 2.64

детали указывают, как на рис. 2.63, 2.64, где условное обозначение (√) показывает, что все поверхности, на которых на изображении не нанесены обозначения шероховатости, должны иметь шероховатость, указанную перед обозначением (√).

Шероховатость поверхности, *не обрабатываемой по данному чертежу*, следует указывать так, как показано на рис. 2.64, 2.65. На рис. 2.64 показан случай, когда остальные поверхности сохраняются в состоянии поставки, а на рис. 2.65 – когда аналогичные поверхности получены без снятия материала (например, литьем).

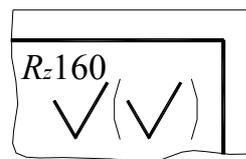


Рис. 2.65



Рис. 2.66

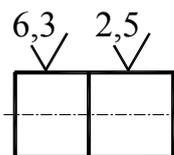


Рис. 2.67

При одинаковой шероховатости поверхностей, образующих контур, ее обозначают только один раз (рис. 2.66). Если шероховатость двух поверхностей, имеющих одинаковый размер, различна, то ее следует обозначать так, как показано на рис. 2.67.

Обозначение шероховатости рабочих поверхностей зубьев зубчатых колес, шлицев и т. п., при отсутствии на чертеже их профиля, условно наносят на линии делительной окружности.

2.4.4. Расположение на чертеже детали размеров, обозначений баз, допусков формы, шероховатости

Для удобства чтения чертежа все сведения, необходимые для изготовления детали, должны быть нанесены на поле чертежа в определенной системе.

На чертежах *деталей – тел вращения* (колес, валов, червяков, стаканов и т. п.) следует располагать:

- *осевые линейные размеры – под изображением детали в нескольких уровнях;*
- *условные обозначения баз – под изображением детали;*
- *условные обозначения допусков формы и расположения поверхностей – над изображением детали на одном – двух уровнях;*
- *условные обозначения параметров шероховатости – на верхних частях изображения детали, а на торцовых поверхностях – под изображением детали, причем условные обозначения шероховатости располагают в непосредственной близости от размерной линии;*
- *полки линий-выносок, указывающих поверхности для термообработки и покрытий, – над изображением детали.*

3. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ

3.1. Общие сведения

Механические передачи предназначены для *трансформации* вращательного движения или для *преобразования* его в поступательное движение.

По *энергетической характеристике* механические передачи делятся:

- на кинематические (передаваемая мощность $P < 0,1$ кВт);
- силовые (передаваемая мощность $P \geq 0,1$ кВт).

По *принципу передачи энергии* механические передачи можно подразделить на следующие разновидности:

- передачи зацеплением;
- фрикционные передачи.

Передачи зацеплением делятся:

- на передачи зацеплением с *непосредственным контактом жестких звеньев* (цилиндрические, конические, червячные);
- *волновые* передачи зацеплением;
- передачи зацеплением с *гибким звеном* (зубчато-ременные, цепные).

Фрикционные передачи подразделяют:

- на фрикционные передачи с *жесткими звеньями* (с различного рода катками, дисками);
- фрикционные передачи с *гибким звеном* (ременные, канатные).

Основными *внешними характеристиками* передач являются:

- мощность (передаваемый вращающий момент);
- передаточное отношение;
- КПД;
- масса;
- надежность.

Основные характеристики одноступенчатых передач различных типов, реализованные в серийных приводах приведены в табл. П.193.

Основные стандарты по механическим передачам приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Перечень основных стандартов в области механических передач

Стандарт	Наименование
ГОСТ 1284.1–89	Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Основные размеры. Методы контроля
ГОСТ 1284.2–89	Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Технические условия
ГОСТ 1284.3–96	Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Расчет передач и передаваемые мощности
ГОСТ 5813–93	Ремни вентиляторные клиновые и шкивы для двигателей, автомобилей, тракторов и комбайнов. Технические условия
ГОСТ 23831–79	Ремни плоские приводные резинотканевые. Технические условия
ГОСТ 20889–88	Шкивы для приводных клиновых ремней монолитные с одной-сторонней выступающей ступицей. Основные размеры

Стандарт	Наименование
ГОСТ 191–82	Цепи грузовые пластинчатые. Технические условия
ГОСТ 588–81	Цепи тяговые пластинчатые. Технические условия
ГОСТ 13552–81	Цепи приводные зубчатые. Технические условия
ГОСТ 13568–97	Цепи приводные роликовые и втулочные. Общие технические условия
ГОСТ 23540–79	Цепи грузовые пластинчатые с закрытыми валиками. Технические условия
ГОСТ 25996–97	Цепи круглозвенные высокопрочные для горного оборудования. Технические условия
ГОСТ 16532–70	Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет геометрии
ГОСТ 13755–81	Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные. Исходный контур
ГОСТ 2185–66	Передачи зубчатые цилиндрические. Основные параметры
ГОСТ 9563–74	Основные нормы взаимозаменяемости. Колеса зубчатые. Модули
ГОСТ 21354–87	Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные. Расчет на прочность
ГОСТ 19274–73	Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внутреннего зацепления. Расчет геометрии
ГОСТ 12289–76	Передачи зубчатые конические. Основные параметры
ГОСТ 16202–81	Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые конические с круговыми зубьями. Исходный контур
ГОСТ 19326–73	Передачи зубчатые конические с круговыми зубьями. Расчет геометрии
ГОСТ 13754–81	Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые конические с прямыми зубьями. Исходный контур
ГОСТ 19624–74	Передачи зубчатые конические с прямыми зубьями. Расчет геометрии
ГОСТ 25022–81	Редукторы планетарные. Основные параметры
ГОСТ 2144–76	Передачи червячные цилиндрические. Основные параметры
ГОСТ 9369–77	Передачи глобоидные. Основные параметры
ГОСТ 17696–89	Передачи глобоидные. Расчет геометрии
ГОСТ 19036–94	Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи червячные цилиндрические. Исходный червяк и исходный производящий червяк
ГОСТ 19650–97	Передачи червячные цилиндрические. Расчет геометрии
МР 2–042–80	Передачи червячные цилиндрические. Расчеты на прочность и заедание
ГОСТ 24438–80	Передачи глобоидные. Исходный червяк и исходный производящий червяк
РТМ 2–056–2–80	Редукторы общего назначения. Расчет валов
ГОСТ 24266–94	Редукторы общего назначения. Концы валов. Основные размеры, допускаемые крутящие моменты

3.2. Зубчатые передачи

3.2.1. Общие сведения

По *расположению осей колес в пространстве* различают:

- цилиндрические передачи, у которых оси колес параллельны, состоят из двух цилиндрических колес;
- конические передачи, у которых оси колес пересекаются, состоят из двух конических колес;
- смешанные коническо-цилиндрические передачи, оси у которых пересекаются, состоят из цилиндрического и конического колес;
- гиперboloидные передачи, у которых оси колес скрещиваются (винтовые передачи, составленные из цилиндрических колес; гипоидные передачи, составленные из конических колес, червячные передачи и др.).

По относительному расположению поверхностей вершин и впадин колес различают передачи:

- *внешнего зацепления*, в которых оба зубчатых колеса имеют внешние зубья;
- *внутреннего зацепления*, в которых одно из колес имеет внешние зубья, а второе – внутренние.

По *назначению* различают:

- *силовые передачи*, предназначенные для передачи мощности;
- *кинематические передачи*, то есть передачи, не передающие значительной мощности, а выполняющие чисто кинематические функции.

В зависимости от *формы линии зуба*, то есть линии пересечения боковой поверхности зуба с делительной, начальной или однотипной соосной поверхностью, различают:

- *передачи с прямыми зубьями* (прямозубые), у которых линия зуба лежит в плоскости, проходящей через ось колеса;
- *передачи с винтовыми зубьями*, у которых линия зуба является винтовой линией любого вида (косозубые, шевронные, с тангенциальными зубьями и круговыми зубьями).

По *профилю зуба* различают:

- *эвольвентные*, профили зубьев которых в цилиндрических передачах являются частями эвольвент окружности; а в конических – частями сферических эвольвент;
- *циклоидные*, профили зубьев которых являются кривыми циклоидного семейства;
- *с зацеплением Новикова*, профили зубьев колес которой – дуги окружностей или близкие к ним кривые;
- *с зубьями других специальных профилей*.

Для зубчатых передач приняты *термины*:

- *шестерня* – зубчатое колесо передачи с меньшим числом зубьев;
- *колесо* – зубчатое колесо передачи с большим числом зубьев.

При *одинаковом числе зубьев* зубчатых колес передачи *шестерней* называют *входное* (ведущее) зубчатое колесо, а *колесом* – *выходное* (ведомое).

Индекс 1 установлен для величин, относящихся к *шестерне*; индекс 2 установлен для величин, относящихся к *колесу*.

Основной *причиной выхода из строя* зубчатых колес является повреждение зубчатых венцов в результате *усталостного выкрашивания, износа и поломок зубьев*.

Целью приводимых ниже расчетов является определение минимально возможных габаритов передач при обеспечении их нормального функционирования под заданной нагрузкой в течение срока службы.

Точный расчет напряжений и деформаций в точках зубчатого колеса связан со значительными математическими трудностями и может быть реализован методами теории упругости.

В связи с этим при проектировании выполняют следующие *приближенные расчеты зубьев колес*:

1) *на контактную выносливость*:

- *проектный расчет*, в процессе которого определение основных параметров передачи производится по допускаемым контактным напряжениям; при этом задаются целым рядом табличных величин и коэффициентов, результаты некоторых расчетных величин округляют до целых или стандартных значений, в поиске оптимальных решений приходится неоднократно делать пересчеты;

- *проверочный расчет*, который должен подтвердить правильность выбора табличных величин, коэффициентов и полученных результатов в проектном расчете, а также определить соотношения между расчетными и допускаемыми напряжениями изгибной и контактной выносливости, производят после окончательного определения параметров зацепления (при неудовлетворительных результатах проверочного расчета нужно изменить параметры передачи и повторить проверку);

2) *на изгибную выносливость* – для определения модуля передачи после установления основных параметров;

3) *на статическую прочность* – *проверочный*, применяют только при больших кратковременных перегрузках;

4) *на износ* – выполняют для *открытых* передач;

5) *на заедание* – для общепромышленных сравнительно тихоходных передач (применяется редко).

3.2.2. Материалы зубчатых колес

3.2.2.1. Выбор материалов зубчатых колес

Механические свойства материалов для зубчатых колес приведены в табл. П.1 и П.2. При этом для получения при термической обработке принятых для расчета механических характеристик материала колес требуется, чтобы толщины заготовок колес не превышали предельно допустимые значения (табл. П.2).

Чугун применяют для изготовления малонагруженных или редко работающих передач, в которых габариты и масса не имеют определяющего значения.

Зубчатые колеса передач и редукторов в большинстве случаев изготавливают из *сталей*, подвергнутых термическому или химико-термическому упрочнению. Для передач, к размерам которых не предъявляют специальных требований, следует применять дешевые марки сталей типа 40, 45, 40Х. Для унификации марок сталей в производстве и для упрощения изготовления запасных частей марки сталей рекомендуется выбирать из следующего сортамента (табл. 3.2).

Для сталей, не включенных в табл. П.2, предел прочности определяют по формулам:

- для высоколегированных цементуемых сталей:

$$\sigma_B = 3,5HB; \quad (3.1)$$

- для всех других сталей:

$$\sigma_B = 3,2HB. \quad (3.2)$$

При отсутствии данных усталостные характеристики сталей можно определить по формулам:

$$\sigma_{-1} \approx 0,43\sigma_B; \quad (3.3)$$

$$\tau_{-1} \approx 0,60\sigma_{-1}. \quad (3.4)$$

Таблица 3.2

Рекомендуемые материалы для зубчатых колес

Марка стали	Термообработка
35, 45	Нормализация
40X, 35XM, 40XH	Улучшение
35XM, 40XH, 50	Закалка при нагреве ТВЧ
35XM, 40XH	Плазменная закалка
45, 40X, 35XM, 40XH	Объемная закалка
18XГГ, 12ХН3А	Цементация

Способы упрочнения зубьев, в том числе и термообработка, изложены в разд. 3.2.2.3

3.2.2.2. Назначение твердости материалов зубчатых колес

Твердость назначают по одной из следующих шкал:

HB – для нормирования твердости всех материалов, ГОСТ 6012–59;

HV – для нормирования твердости тонких деталей толщиной (0,3–0,5) мм, для поверхностных слоев толщиной (0,03–0,05) мм, ГОСТ 2999–75;

HRA – для нормирования твердости очень твердых материалов (твердых сплавов), ГОСТ 9013–59;

HRB – для нормирования твердости мягких материалов (незакаленная сталь), ГОСТ 9013–59;

HRC – для нормирования твердости твердых материалов (термообрабатываемой стали, в том числе и закаленной), ГОСТ 9013–59.

Сравнительные значения твердости по основным шкалам представлены в табл. П.6.

Перевод чисел твердости *HRC* шкалы С Роквелла, ранее применявшийся в промышленности, в числа твердости *HRC_Э* шкалы С_Э Роквелла, воспроизводимой государственным специальным эталоном, представлен в табл. П.7.

В табл. П.8 приведена твердость *HRC_Э* и *HB* для некоторых деталей и инструментов.

В условиях индивидуального и мелкосерийного производства, предусмотренного техническими заданиями на курсовое проектирование, в мало- и средненагруженных передачах, а также в передачах с большими колесами (открытых) применя-

ют зубчатые колеса с твердостью материала менее или равной 350 *HB*. При этом обеспечивается чистовое нарезание зубьев после термообработки, высокая точность изготовления и хорошая прирабатываемость зубьев.

Для равномерного изнашивания зубьев и лучшей их прирабатываемости твердость шестерни HB_1 назначается больше твердости колеса HB_2 . Разность средних твердостей рабочих поверхностей зубьев шестерни и колеса в передачах с прямыми и непрямыми зубьями составляет: $HB_{1cp} - HB_{2cp} = 20 - 50$.

В ряде случаев для увеличения нагрузочной способности передачи, уменьшения ее габаритов и металлоемкости достигают разности средних твердостей $HB_{1cp} - HB_{2cp} \geq 70$. При этом твердость рабочих поверхностей зубьев колеса меньше или равна 350 *HB*, а твердость зубьев шестерни больше или равна 350 *HB* (измеряется по шкале Роквелла – HRC_3).

Соотношение твердостей в единицах *HB* и *HRC* приведено в табл. П.6.

3.2.2.3. Способы упрочнения зубьев

При химико-термической обработке происходит, в основном, изменение структуры поверхностного слоя материала, в результате чего повышаются твердость, износостойчивость и устойчивость против коррозии.

Наиболее распространенными видами химико-термической обработки являются цементация и азотирование (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Виды химико-термической обработки стали

Химико-термическая обработка	Насыщение элементами поверхностных слоев	Назначение	Область применения
Цементация (науглероживание)	Углеродом на заданную глубину (после цементации рекомендуется закалка и низкий отпуск)	Получение поверхностного слоя высокой твердости 500 <i>HV</i> –600 <i>HV</i> , износостойкости при наличии вязкой сердцевины деталей. Обеспечивает высокую нагрузочную способность и стабильность свойств. Недостатки способа – большое коробление	Высоконагруженные передачи малых и средних размеров разных степеней точности
Азотирование	Азотом на заданную глубину (перед азотированием проводят закалку и высокий отпуск)	Повышение поверхностной твердости 800 <i>HV</i> –1200 <i>HV</i> , износостойкости, предела выносливости, коррозионной и эрозионной стойкости деталей. Обеспечивает высокую нагрузочную способность практически без коробления. Необходимо специальное оборудование	Быстроходные точные передачи, работающие без ударов

Химико-термическая обработка	Насыщение элементами поверхностных слоев	Назначение	Область применения
Высокотемпературное цианирование (азотоуглероживание)	Азотом и углеродом на заданную глубину (после цианирования рекомендуется поверхностный наклеп). Глубина слоя азотирования не должна превышать (5–6) % сечения (толщины) детали	Повышение поверхностной твердости 650HV–850HV, износостойкости, предела выносливости при изгибе и контактной выносливости деталей из низкоуглеродистых и среднеуглеродистых сталей (например 35, 40, 35X и др.)	Для передач, испытывающих значительные динамические нагрузки, применять цианирование не рекомендуется

Термообработка металлов – процесс тепловой обработки металлов и сплавов с целью изменения их структуры, а следовательно, и свойств, заключающийся в нагреве до определенной температуры, выдержке при этой температуре и последовательном охлаждении с заданной скоростью.

Способы термообработки зубчатых колес из стали зависят от требуемой несущей способности зубчатых колес, марки стали, оборудования и трудоемкости изготовления.

Основные виды термообработки приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Основные виды термообработки стали

Вид термообработки	Технологические процессы при термообработке	Назначение	Результат термообработки	Область применения
Нормализация (отжиг нормализационный)	Нагрев, выдержка и последующее охлаждение на спокойном воздухе	Исправление структуры перегретой стали, снятие внутренних напряжений в деталях из конструкционных сталей и улучшение их обрабатываемости; увеличение глубины прокаливаемости деталей из сталей перед закалкой	Позволяет получить лишь низкую нагрузочную способность. Используют для поковок и отливок из среднеуглеродистых сталей; сохраняет точность при механической обработке; передачи хорошо и быстро прирабатываются	Редукторы больших размеров, индивидуальное производство, малонагруженные передачи

Вид термообработки	Технологические процессы при термообработке	Назначение	Результат термообработки	Область применения	
Закалка	непрерывная	Нагрев, выдержка и последующее резкое охлаждение	Получение в сочетании с отпуском высокой твердости и износостойчивости стальных деталей	Повышает нагрузочную способность до средней. Технология проста, коробление умеренное. Прирабатывается плохо	Мелкие тихоходные зубчатые колеса низкой точности
	поверхностная	Нагрев поверхностного слоя и последующее быстрое охлаждение	Для деталей, к которым предъявляют требования поверхностной твердости	При нагреве ТВЧ дает среднюю нагрузочную способность при достаточно простой технологии. Передачи плохо прирабатываются. Теряется точность вследствие коробления. Размеры зубчатых колес практически не ограничены. При модулях, меньших 5 мм, зуб прокаливается насквозь	Тихоходные передачи низкой точности. Можно увеличить нагрузочную способность передачи за счет сочетания шестерни, закаленной при нагреве ТВЧ, и улучшенного колеса
Улучшение	Закалка стали и последующий высокий отпуск (отпуск – нагрев до 500–680 °С и последующее медленное или быстрое охлаждение)	Обеспечение сочетания высокой прочности и пластичности при окончательной термообработке деталей из конструкционных сталей, испытывающих в работе ударные и вибрационные нагрузки	Обеспечивает свойства, аналогичные получаемым при нормализации, но нарезание зубьев труднее из-за большой их твердости. Заготовки – средние по размерам поковки и отливки из среднеуглеродистых сталей	Редукторы средних размеров и передачи с небольшими нагрузками	

3.2.2.4. Требования к термообрабатываемым деталям

Детали должны иметь максимально *простые геометрические формы*, без выступающих острых граней и резких переходов от одного сечения к другому.

Перепад между соседними диаметрами детали желательно назначать по рекомендации: $\frac{D_1}{D_2} \leq 1,3$.

Необходимо предусматривать *технологические припуски на коробление*, которые при последующей обработке позволяют исправить размеры и форму деталей.

В местах контроля твердости устанавливают более широкие допуски на размеры, так как это связано с последующей зачисткой поверхности детали.

Шероховатость поверхности деталей, подвергаемых окончательной термобработке, должна быть не менее $R_z 40$ (при цементации и азотировании – не менее $R_z 20$). Шероховатость поверхности детали, на которой проводят контроль твердости, должна быть до проведения термобработки не менее $R_z 20$ при задании твердости в единицах HRC_3 и не менее $R_a 2,5$ – при задании твердости в единицах HV .

Для *цементированных* деталей рекомендуется применять конструкционные низкоуглеродистые стали, содержащие не более 0,25 % углерода. Рекомендуемая глубина цементованного слоя, мм: 0,3–0,6; 0,5–0,8; 0,9–1,2; 1,2–1,5; 1,6–2; 2,1–2,5.

Для сохранения твердости закаленного цементованного слоя рекомендуется *припуск на шлифование* назначать в следующих пределах:

- не более 20 % глубины слоя при полной его глубине до 2 мм;
- не более 25 % глубины слоя при полной его глубине свыше 2 мм.

Для деталей, в которых по условиям эксплуатации требуется более прочная сердцевина, допускается применение сталей с содержанием углерода до 0,35 %.

Детали простейшей формы постоянной толщины в основном подвергаются закалке с нагревом током высокой частоты.

Глубина h закаленного слоя, в зависимости от диаметра детали d , для диапазона диаметров (10–100) мм, определяется по формуле:

$$h = 2,91 + 0,28d - 0,121d^2. \quad (3.5)$$

Полученное значение *округлить* до стандартного числа (табл. П.50, при этом округленное значение не должно отличаться от расчетного более чем на 30 %).

3.2.2.5. Определение допускаемых напряжений материалов для зубчатых колес

В табл. 3.5 приведен алгоритм определения допускаемых напряжений материалов для зубчатых колес.

Таблица 3.5

Алгоритм определения допускаемых напряжений материалов для зубчатых колес

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания	
Расчетный момент T_H , Нм	на шестерне	T_{H1}	см. разд. 13.3
	на колесе	$T_{H2} = uT_{H1}\eta_{3.п}$	
Частота вращения шестерни n_1 , об/мин			
Передаточное число u			
Частота вращения колеса n_2 , об/мин		$n_2 = \frac{n_1}{u}$	
Число циклов перемен напряжений N_c	на шестерне	$N_{c1} = 60n_1t_h$	значение срока службы привода t_h (ч) – из задания на проект (см. разд. 1.7)
	на колесе	$N_{c2} = 60n_2t_h$	

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания				
<i>Контактные напряжения</i>					
Число циклов перемены напряжений, соответствующее пределу выносливости N_{H0}	$N_{H01} = 30 HB_1^{2,4}$		при $HB \geq (563 HB = 56 HRC)$ следует принять $N_{H0} = 1,2 \times 10^8$		
	$N_{H02} = 30 HB_2^{2,4}$				
Коэффициент долговечности K_{HL}	$K_{HL1} = \left(\frac{N_{H01}}{N_{c1}} \right)^{0,167}$		если $N_c > N_{H0}$, то $K_{HL} = 1$		
	$K_{HL2} = \left(\frac{N_{H02}}{N_{c2}} \right)^{0,167}$				
	<i>Примечания:</i> 1. При улучшении, нормализации, объемной закалке коэффициент K_{HL} принимают не более 2,6. 2. При поверхностном упрочнении зубьев (цементации, нитроцементации, поверхностной закалке) величину K_{HL} принимают не более 1,8				
Коэффициент, учитывающий шероховатость сопряженных поверхностей, Z_R	R_a или R_z – шероховатость элемента сопряженной пары с более грубой поверхностью, мкм	при $R_a = 1,25-0,63$	1,00		
		при $R_a = 2,5-1,25$	0,95		
		при $R_z = 40-10$	0,90		
Коэффициент, учитывающий окружную скорость, Z_v	При твердости рабочих поверхностей $HB \leq 350$		$0,85V^{0,1}$		
	При твердости рабочих поверхностей $HB > 350$		$0,925V^{0,005}$		
	При проектном расчете, когда габариты передачи неизвестны, предварительно следует принять значение $Z_v = Z_{v, предв} = 1$ (при $v = 5$ м/с). При проверочном расчете это значение следует уточнить				
Предел контактной выносливости поверхностей зубьев, соответствующий базовому числу циклов перемены напряжений $\sigma_{Hlim b}$, МПа	Термическая или термхимическая обработка	нормализация	Твердость поверхностей зубьев H	$\leq 350HB$	$2HB + 70$
		улучшение		$(40-50)HRC$	$17HRC + 100$
		объемная закалка			
		поверхностная закалка		$(40-56)HRC$	$17HRC + 200$
		цементация		$(54-64)HRC$	$23HRC$
		нитроцементация			
		азотирование		$(550-750)HV$	1050

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания				
Коэффициент безопасности при расчетах на контактную прочность S_{Hp1}, S_{Hp2}		Термическая или термомеханическая обработка	нормализация	Твердость поверхностей зубьев H	$\leq 350HB$	1,1
			улучшение		$(40-50)HRC$	
			объемная закалка			
		поверхностная закалка	$(40-56)HRC$	1,2		
		цементация	$(54-64)HRC$			
		нитроцементация				
		азотирование	$(550-750)HV$			
Допускаемое контактное напряжение материала σ_{Hp} , МПа	шестерни	$\sigma_{Hp1} = K_{HL1} Z_R Z_V \frac{\sigma_{H1 \text{ lim } b}}{S_{Hp1}}$				
	колеса	$\sigma_{Hp2} = K_{HL2} Z_R Z_V \frac{\sigma_{H2 \text{ lim } b}}{S_{Hp2}}$				
Допускаемое контактное напряжение σ_{Hp} , МПа	прямозубая	Допускаемое контактное напряжение σ_{Hp} принимается равным меньшему из значений σ_{Hp1} и σ_{Hp2} , полученных выше, то есть по менее прочным зубьям				
	цилиндрическая					
	косозубая цилиндрическая при $HB_1-HB_2 = 20-50$					
	коническая с прямыми и с непрямыми зубьями					
косозубая цилиндрическая при $HB_1-HB_2 \geq 50$	$\sigma_{Hp} = 0,707 \sqrt{\sigma_{Hp1}^2 + \sigma_{Hp2}^2}$, при этом σ_{Hp} не должно превышать $1,23 \sigma_{Hp2}$					
<i>Напряжения изгиба</i>						
Показатель степени m_F	при $HB \leq 350$		6			
	при $HB > 350$		9			
Коэффициент долговечности K_{FL}	$K_{FL1} = m_{F1} \sqrt{\frac{4000000}{N_{c1}}}$		при $HB \leq 350 K_{FL} \leq 2$; при $HB > 350 K_{FL} \leq 1,6$; при $N_c > 4000000 K_{FL} = 1$			
	$K_{FL2} = m_{F2} \sqrt{\frac{4000000}{N_{c2}}}$					
Коэффициент γ_{Fc}	для нормализованных и улучшенных сталей		0,35			
	при $HRC \geq 45$		0,25			
Коэффициент, учитывающий симметричность нагрузки K_{Fc}	$K_{Fc1} = 1 - \gamma_{Fc1}$		при нереверсивной нагрузке $K_{Fc1} = K_{Fc2} = 1$			
	$K_{Fc2} = 1 - \gamma_{Fc2}$					
Коэффициент безопасности при расчетах на изгибную прочность S_{Fp}	S_{Fp1}		принять по табл. 3.6			
	S_{Fp2}					

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Предел выносливости зубьев при изгибе ($R = 0$ и $N_c \geq N_0$) σ_{F1limb}^0 , МПа	σ_{F1limb}^0	принять по табл. 3.6
	σ_{F2limb}^0	
Допускаемое напряжение изгиба на переходной поверхности зуба σ_{Fp} , МПа	$\sigma_{Fp1} = K_{FL1} K_{Fc1} \frac{\sigma_{F1limb}^0}{S_{Fp1}}$	
	$\sigma_{Fp2} = K_{FL2} K_{Fc2} \frac{\sigma_{F2limb}^0}{S_{Fp2}}$	

Таблица 3.6

Пределы выносливости σ_{F1limb}^0 и значения S_{Fp}

Вид термообработки и марки стали		Твердость зубьев, <i>HRC</i>		σ_{F1limb}^0	S_{Fp}
		на поверхности	в сердцеvine		
Цементация легированных сталей	стали марок 20ХН2М, 12ХН2, 12ХН3А и др.	57–63	32–45	950	1,7
	стали марок 18ХТТ, 30ХГТ, 12Х2Н4А и др.	57–63	32–45	800	1,7
Нитроцементация легированных сталей	сталь 25ХГМ	57–63	32–45	1000	1,7
	стали марок 25ХГТ, 30ХГТ и др.	57–63	32–45	750	1,7
Закалка при нагреве током высокой частоты по всему контуру	стали пониженной прокаливаемости (например, 55ПП)	58–62	28–35	900	1,7
	стали марок 60ХВ, 60Х, 60ХН и др.	54–60	25–35	700	1,7
	стали марок 35ХМА, 40Х, 40ХН и др.	48–60	25–35	600	1,7
Нормализация или улучшение		(180–350)HB		1,35HB + 100	1,65
Азотирование легированных сталей		–	24–40	18HRC _{сердц} + 50	2,0
Взаимоперевод твердостей по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу приведен в табл. П.6					

3.2.3. Цилиндрические зубчатые передачи

3.2.3.1. Общие сведения

Индекс n установлен для величин, относящихся к *нормальному* сечению. Индекс t установлен для величин, относящихся к *окружному (торцовому)* сечению. В тех случаях, когда не может быть разночтения и неясности, индексы n и t можно исключить.

На рис. 3.1 представлен *исходный контур* зубчатых цилиндрических колес эвольвентного зацепления по ГОСТ 13755–81 и конических колес с прямыми и тангенциальными зубьями по ГОСТ 13754–81.

Термины параметров *нормального исходного контура* и *нормального исходного производящего контура*, выраженных в долях модуля нормального исходного контура, образуют добавлением слова «коэффициент» перед термином соответствующего параметра и знака «*», например c^* – коэффициент радиального зазора пары исходных контуров.

Под *исходным контуром* колес (рис. 3.1) подразумевают контур зубьев рейки в *нормальном* к направлению зубьев *сечении*.

Модуль t (m_n) следует устанавливать по ГОСТ 9563–74 (табл. П.200).

Радиальный зазор $c = 0,25t$, радиус кривизны переходной кривой зуба $\rho_f = 0,4t$. Допускается увеличение радиуса ρ_f , если это не нарушает правильности зацепления, а также увеличение c до $0,35t$ (при обработке колес долбяками и шеверами) и до $0,4t$ (при шлифовании зубьев).

Основные элементы зубчатого зацепления указаны на рис. 3.2, 3.3.

Чтобы повысить прочность зубьев на изгиб, снизить контактные напряжения на их поверхности и уменьшить износ за счет относительного скольжения профилей, рекомендуется производить смещение инструмента для цилиндрических (и конических) зубчатых передач, у которых $z_1 \neq z_2$.

Наибольший эффект достигается в следующих случаях:

- при смещении передач, у которых шестерня имеет *малое число зубьев* ($z_1 < 18$), так как при этом устраняется подрез у корня зуба;
- при *больших передаточных числах*, так как в этом случае значительно снижается относительное скольжение профилей.

Положение исходного производящего контура относительно нарезаемого колеса, при котором делительная прямая рейки касается делительной окружности колеса, называют *номинальным положением* (рис. 3.3, а). Колесо, зубья которого образованы при номинальном положении исходной производящей рейки, называют *колесом без смещения*.

Если *исходная производящая рейка* в станочном зацеплении *смещена* из номинального положения и установлена так, что ее делительная прямая не касается делительной окружности нарезаемого колеса, то в результате обработки получится *колесо со смещением*.

Расстояние от делительной прямой исходной производящей рейки (или исходного контура) до делительной окружности колеса является *величиной смещения*.

Отношение смещения исходного контура к расчетному модулю называют *коэффициентом смещения* x .

Если делительная прямая линия исходного контура не пересекает делительную окружность зубчатого колеса и не соприкасается с ней (рис. 3.3, б) – смещение называют *положительным* ($x > 0$).

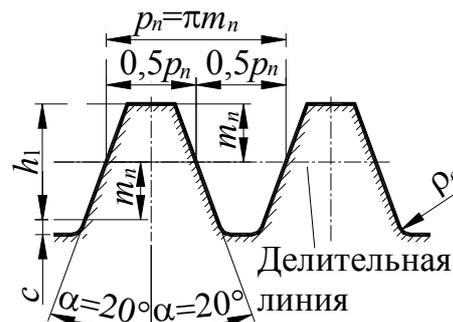


Рис. 3.1

Если делительная прямая исходного контура пересекает делительную окружность зубчатого колеса (рис. 3.3, в), смещение называют *отрицательным* ($x < 0$).

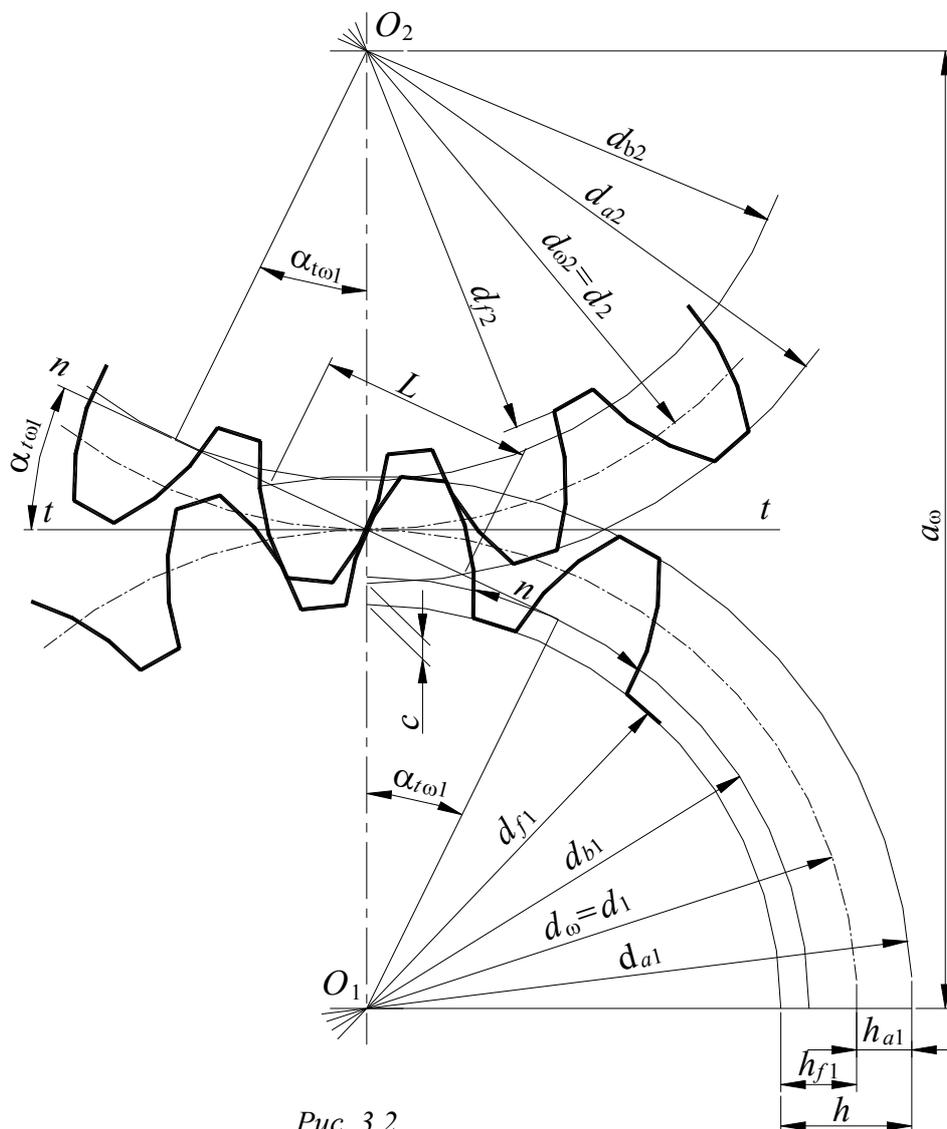


Рис. 3.2

При *номинальном положении* исходного контура смещение равно нулю ($x = 0$). Коэффициент смещения x обеспечивается установкой инструмента относительно заготовки зубчатого колеса в *станочном* зацеплении.

Значения *наименьшего числа зубьев* z_{\min} зубчатого колеса с коэффициентом смещения $x = 0$ при *станочном* зацеплении с исходной производящей рейкой приведены в табл. П.199.

Коэффициенты смещения у зубчатых колес рекомендуется выбирать:

- для *прямозубой* передачи – по табл. П.195;
- *косозубой* и *шевронной* передач – по табл. П.196.

Основные элементы *зубчатого зацепления со смещением* указаны на рис. 3.4, на котором представлено зацепление зубчатого колеса со смещением исходной производящей рейкой в сечении, параллельном торцовому, и на рис 3.5, на котором показана толщина зуба по постоянной хорде и высота до постоянной хорды в нормальном сечении.

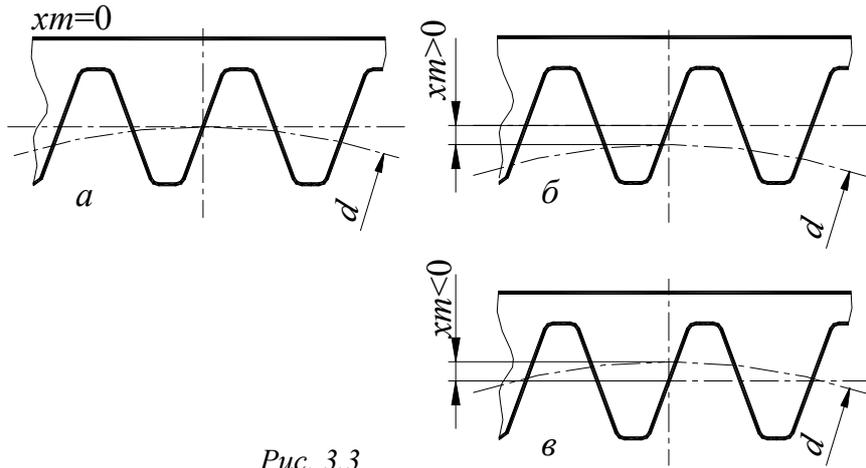


Рис. 3.3

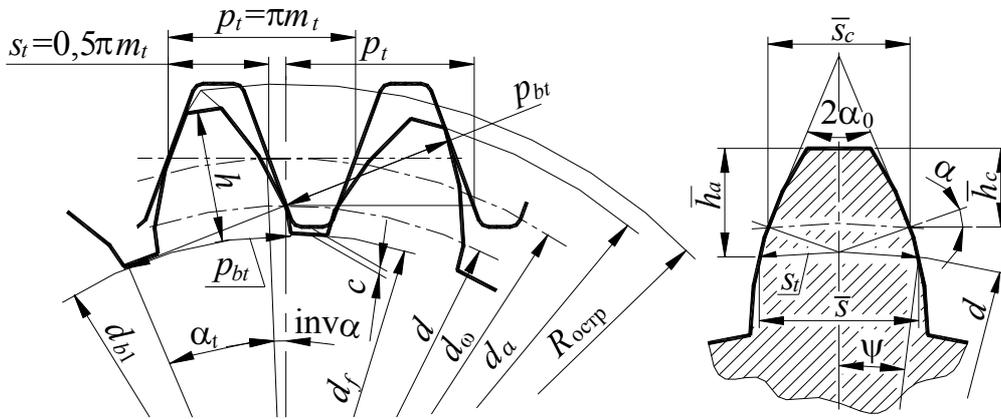


Рис. 3.4

Рис. 3.5

Косозубая передача работает более плавно и передает большую мощность, чем прямозубая, при тех же габаритных размерах.

Недостатком косозубых передач является возникающая в зацеплении осевая сила F_a .

Линии зубьев имеют *правое* или *левое* направление.

Правой называют такую линию, точка на которой движется по часовой стрелке при удалении вдоль зуба, если смотреть на колесо со стороны его торца (рис. 3.6).

Углы наклона двух сопряженных колес равны.

Схема развертки делительного цилиндра зубчатого колеса показана на рис. 3.7.

Основные элементы и параметры зубчатых шестерни и колеса внутреннего зацепления показаны на рис. 3.8.

На рис. 3.9 приведена схема измерения длины общей нормали колеса с внутренним зацеплением.

На рис. 3.10 приведены основные элементы при определении положения ролика (шарика) во впадине колеса с внутренними зубьями.

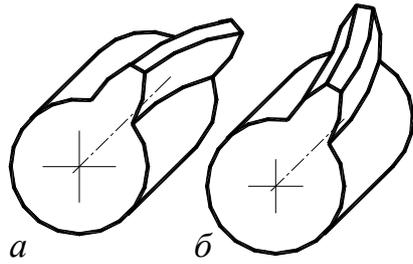


Рис. 3.6. Линии винтовых
зубьев колес:
а - правая; б - левая

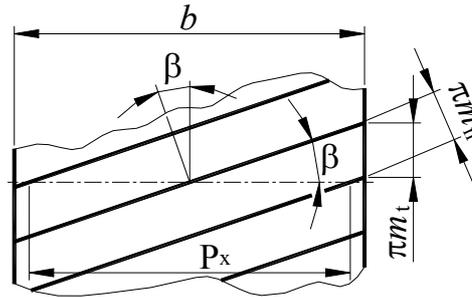


Рис. 3.7

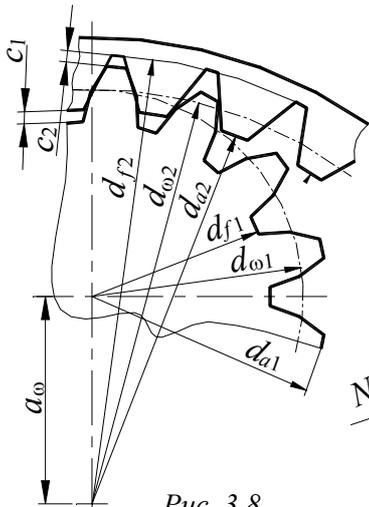


Рис. 3.8

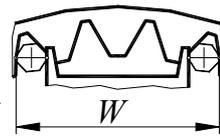


Рис. 3.9

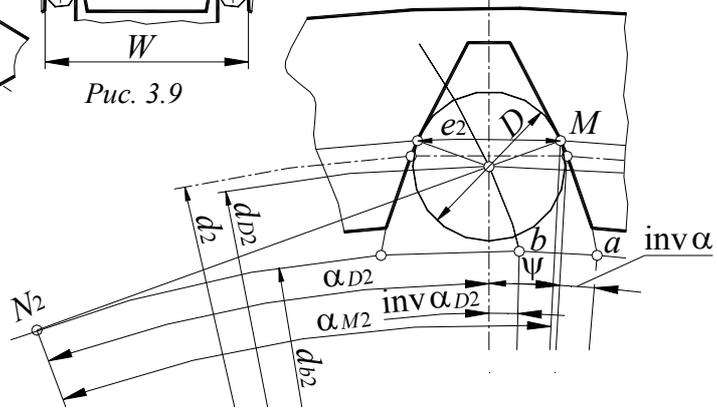


Рис. 3.10

3.2.3.2. Расчет цилиндрических зубчатых передач

Таблица 3.7

Алгоритм расчета цилиндрических зубчатых передач

Точность вычислений значений:			
<ul style="list-style-type: none"> • диаметров – до третьего знака после запятой; • углов – до пятого знака после запятой 			
Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания	
Расчетный момент T_H , Нм	на шестерне	T_{H1}	см. разд. 13.3
	на колесе	$T_{H2} = uT_{H1}\eta_{з.п}$	
Частота вращения шестерни n_1 , об/мин		см. разд. 13.3	
Передаточное число u			
Частота вращения колеса n_2 , об/мин		$n_2 = \frac{n_1}{u}$	см. разд. 13.3

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
<i>Проектный расчет</i>		
Коэффициент ψ_{bd}	$\psi_{bd} = \frac{b_{\omega}}{d_{\omega 1}}$ <p>Назначать по табл. 3.8, в зависимости от схемы передачи (схемы передач представлены на рис. 3.6) и твердости рабочих поверхностей зубьев</p>	
Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки по ширине венца $K_{H\beta}$	<p>Назначать по графикам на рис. 3.13 или 3.14, в зависимости от схемы передачи (схемы передач представлены на рис. 3.11)</p>	
Коэффициент ширины венца колеса ψ_{ba}	$\psi_{ba} = \frac{2\psi_{bd}}{u \pm 1}$	
Допускаемое контактное напряжение $\sigma_{Hр}$, МПа	табл. 3.5	
Угол наклона зубьев на делительном цилиндре $\beta_{пред}$, град (<i>предварительная величина</i>)	в <i>шевронных</i> передачах и в <i>раздвоенных ступенях</i> редукторов	
	в остальных случаях	
		$\beta = 25-40^\circ$
		$\beta = 8-16^\circ$
Межосевое расстояние a_{ω} , мм	при $\beta = 0$	$a_{\omega} \geq 495(u \pm 1) \sqrt[3]{\frac{T_{H1} K_{H\beta}}{\psi_{ba} u \sigma_{Hр}^2}}$
	при $\beta \neq 0$	$a_{\omega} \geq 430(u \pm 1) \sqrt[3]{\frac{T_{H1} K_{H\beta}}{\psi_{ba} u \sigma_{Hр}^2}}$
	Полученное значение округлить до ближайшего большего из стандартного ряда размеров (табл. П.50)	
Рекомендуемое число зубьев шестерни z_1	при $\beta = 0$	$z_{1max} = \frac{40000(u \pm 1) \sigma_{Fp min}}{K_{Fa} u \sigma_{Hр}^2} - 1.$ <p>$z_{1 min}$ – определить по табл. П.197</p>
	при $\beta \neq 0$	$z_{1max} = \frac{66000(u \pm 1) \chi \sigma_{Fp min}}{u \sigma_{Hр}^2} - 1,$ <p>где $\chi = 0,85 - \left(\frac{\beta^\circ - 10^\circ}{53,7^\circ} \right)^2$,</p> <p>при $\beta^\circ \leq 12^\circ$ χ принять равным 0,85, $z_{1 min}$ – определить по табл. П.199</p>
	$K_{Fa} = 1,00$ при $n_{ст.точн} \leq 7$; $K_{Fa} = 0,75$ при $n_{ст.точн} \geq 8$	

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания		
Рекомендуемое число зубьев шестерни z_1	$n_{\text{ст.точн}}$ – степень точности передачи (5, 6, 7, 8, 9, 10). При <i>проектном</i> расчете <i>предварительно</i> рекомендуется назначать 7-ю или 8-ю степень точности. Полученное значение $z_{1\text{max}}$ округлить в <i>меньшую</i> сторону до целого числа. Знак «+» в формулах относится к <i>внешнему</i> зацеплению, знак «-» относится к <i>внутреннему</i> зацеплению		
Число зубьев колеса z_2	$z_2 = uz_1$		
	Полученное значение z_2 округлить до ближайшего целого <i>меньшего</i> значения		
Модуль нормальный m_n , мм	при $\beta = 0$	$m = \frac{2a_\omega}{z_2 \pm z_1}$	Знак «+» относится к внешнему зацеплению, знак «-» – к внутреннему
	при $\beta \neq 0$	$m_n = \frac{2a_\omega \cos\beta}{(z_2 \pm z_1)}$	
Полученное значение округлить до ближайшего стандартного значения по табл. П.200			
Передаточное число u (уточненное значение)	$u = \frac{z_2}{z_1}$	Значение u , полученное в результате расчета, не должно отличаться от заданного более чем на $\pm 3\%$, в противном случае необходимо выбрать другое значение z_1 из определенного выше диапазона ($z_{1\text{min}} < z_1 < z_{1\text{max}}$) и произвести перерасчет z_2 и u	
Начальный диаметр d_ω , мм	$d_{\omega 1} = \frac{2a_\omega}{u \pm 1}$	Знак «+» относится к внешнему зацеплению, знак «-» – к внутреннему	
	$d_{\omega 1} = \frac{2a_\omega u}{u \pm 1}$		
Рабочая ширина зубчатого венца b_ω , мм	$b_\omega = \psi_{ba} a_\omega$. Полученное значение округлить до ближайшего большего из стандартного ряда размеров (табл. П.50)		
Коэффициент ψ_{bd} (уточненное значение)	$\psi_{bd} = \frac{b_\omega}{d_{\omega 1}}$		
Ширина венца колеса b_2 , мм	$b_2 = b_\omega$		
Ширина венца шестерни b_1 , мм	$b_1 = b_2 + (2 - 5)$		

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Угол наклона зубьев на делительном цилиндре β , град (уточненная величина)	$\cos\beta = \frac{m_n z_1 (u \pm 1)}{2a_\omega}$ <p>Рекомендуется проверить условие:</p> $\beta \geq \arcsin \frac{\pi m \varepsilon_{\beta \min}}{b_\omega},$ <p>где $\varepsilon_{\beta \min}$ – минимально допустимый коэффициент осевого перекрытия, равный 1,1</p>	
Окружная скорость v , м/с	$v = 5,236 \cdot 10^{-5} n_1 d_1$	
Степень точности передачи $n_{ст. точн}$ (уточненное значение)	определить по табл. П.194	
<i>Проверочный расчет</i>		
1. Проверка на <i>контактную</i> выносливость		
Основной угол наклона линии зуба β_b	$\beta_b = \arcsin(\sin\beta \cos\alpha)$	
Угол профиля зуба исходного контура в нормальном сечении α , град	$\alpha = 20^\circ$	
Угол профиля α_t , град	при $\beta = 0$	$\alpha_t = \alpha$
	при $\beta \neq 0$	$\alpha_t = \arctg \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta}$
Угол зацепления $\alpha_{t\omega}$ в торцовом сечении	при $\beta = 0$	$\alpha_{t\omega} = \arccos \frac{a \cos \alpha}{a_\omega}$
	при $\beta \neq 0$	$\alpha_{t\omega} = \arccos \frac{a \cos \alpha_t}{a_\omega}$
Коэффициент, учитывающий форму сопряженных поверхностей зубьев, Z_H	$Z_H = \sqrt{\frac{2 \cos \beta_b}{\sin 2\alpha_{t\omega}}}$	
Коэффициент, учитывающий механические свойства материалов сопряженных шестерни и колеса, Z_M , Н ² мм	в общем случае	$Z_M = \sqrt{\frac{2E_1 E_2}{\pi[E_2(1-\mu_1^2) + E_1(1-\mu_2^2)]}}$ <p>где μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона; E_1, E_2 – модули упругости материала, МПа, соответственно, шестерни и колеса</p>
	для <i>стальных</i> шестерни и колеса	$Z_M = 274$

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания		
Коэффициент суммы смещений x_Σ	Внешнее зацепление	$x_\Sigma = \frac{0,5(z_2 + z_1)(\text{inv}\alpha_{t\omega} - \text{inv}\alpha_t)}{\text{tg}\alpha}$	Значение эвольвентной функции определить по табл. П.202	
Коэффициент смещения шестерни x_1		при исходном контуре по ГОСТ 13755–81 разбивку значения $x_\Sigma = x_1 + x_2$ на составляющие x_1 и x_2 рекомендуется производить по табл. П.195–П.198		
Коэффициент смещения колеса x_2				
Коэффициент разности смещений x_d	Внутреннее зацепление	$x_d = \frac{0,5(z_2 - z_1)(\text{inv}\alpha_{t\omega} - \text{inv}\alpha_t)}{\text{tg}\alpha}$		
Коэффициент смещения шестерни x_1		рекомендации по разбивке значения $x_d = x_2 - x_1$ на составляющие x_1 и x_2 стандартом не установлены. Величины x_1 и x_2 определяются требуемыми качествами передачи		
Коэффициент смещения колеса x_2				
Основной диаметр d_b , мм		$d_{b1} = d_{\omega 1} \cos \alpha_{t\omega}$		
		$d_{b2} = d_{\omega 2} \cos \alpha_{t\omega}$		
Диаметр вершин зубьев d_a , мм	Внешнее зацепление	прямозубое	без смещения	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}^* m = d_1 + 2m$
				$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}^* m = d_2 + 2m$
		со смещением		$d_{a1} = d_1 + 2(h_{a1}^* - x_2)m_n = d_1 + 2(1 - x_2)m_n$
				$d_{a2} = d_2 + 2(h_{a2}^* - x_1)m_n = d_2 + 2(1 - x_1)m_n$
		косозубое	без смещения	$d_{a1} = d_1 + 2h_{f1}^* m_n = d_1 + 2m_n$
				$d_{a2} = d_2 + 2h_{f2}^* m_n = d_2 + 2m_n$
	со смещением		$d_{a1} = d_1 + 2(h_{a1}^* - x_2)m_n = d_1 + 2(1 - x_2)m_n$	
			$d_{a2} = d_2 + 2(h_{a2}^* - x_1)m_n = d_2 + 2(1 - x_1)m_n$	
	Внутреннее зацепление	прямозубое	без смещения	$d_{a1} = d_1 + h_{a1}^* m = d_1 + 2m = m(z_1 + 2)$
				$d_{a2} = d_2 - h_{a2}^* m = d_2 - 2m = m(z_2 - 2)$
		со смещением		$d_{a1} = d_1 + 2(h_{a1}^* + x_1)m = d_1 + 2(1 + x_1)m$
				$d_{a2} = d_2 - 2(h_{a2}^* - x_2 - 0,2)m = d_2 - 2(0,8 - x_2)m$
косозубое		без смещения	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}^* m_n = d_1 + 2m_n$	
			$d_{a2} = d_2 - 2h_{a2}^* m_n = d_1 - 2m_n$	
со смещением		$d_{a1} = d_1 + 2(h_{a1}^* + x_1)m_n = d_1 + 2(1 + x_1)m_n$		
		$d_{a2} = d_2 - 2(h_{a2}^* - x_2 - 0,2)m_n = d_1 - 2(0,8 - x_2)m_n$		

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Угол профиля зуба в точке окружности вершин α_a , град	$\alpha_{a1} = \arccos \frac{d_{b1}}{d_{a1}}$	
	$\alpha_{a2} = \arccos \frac{d_{b2}}{d_{a2}}$	
Коэффициент торцового перекрытия ε_α	$\varepsilon_\alpha = \frac{z_1 (\operatorname{tg} \alpha_{a1} - \operatorname{tg} \alpha_{t\omega}) \pm z_2 (\operatorname{tg} \alpha_{a2} - \operatorname{tg} \alpha_{t\omega})}{2\pi}$	
	Знак «+» в « \pm » относится к внешнему зацеплению, знак «-» – к внутреннему	
Коэффициент, учитывающий суммарную длину контактных линий, Z_ε	при $\beta = 0$	$Z_\varepsilon = 0,577\sqrt{4 - \varepsilon_\alpha}$
	при $\beta \neq 0$	$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_\alpha}}$
Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки между зубьями, $K_{H\alpha}$	при $\beta = 0$	$K_{H\alpha} = 1$
	при $\beta \neq 0$	определить по графику на рис. 3.12 в зависимости от степени точности по нормам плавности (6, 7, 8, 9)
Коэффициент, учитывающий влияние проявления погрешностей зацепления на динамическую нагрузку, δ_H	определить по табл. 3.9	
Коэффициент, учитывающий влияние разности шагов зацепления зубьев шестерни и колеса, g_0	определить по табл. 3.9	
Удельная окружная динамическая сила w_{HV} , Н/мм	$w_{HV} = \delta_H g_0 V \sqrt{\frac{a_\omega}{u}}$	
	если значения w_{HV} , вычисленные по формуле, превышают предельные значения, указанные в табл. 3.11, их следует принять равными этим предельным значениям	
Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки по ширине венца, $K_{H\beta}$	назначать по графикам на рис. 3.13 или 3.14 в зависимости от схемы передачи (рис. 3.11) с учетом уточнения величины ψ_{bd}	
Динамическая добавка v_H	$v_H = 4,76 \times 10^{-4} \frac{w_{HV} b_\omega d_{\omega 1}}{T_{H1} K_{H\alpha} K_{H\beta}}$	
Коэффициент, учитывающий динамическую нагрузку, возникающую в зацеплении, K_{HV}	$K_{HV} = 1 + v_H$	
Удельная расчетная окружная сила W_{Ht} , Н/мм	$W_{Ht} = 2000 \frac{T_{H1} K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{HV}}{b_\omega d_{\omega 1}}$	

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Расчетное напряжение σ_H , МПа	в общем случае	$\sigma_H = Z_M Z_H Z_\varepsilon \sqrt{\frac{W_{Ht}(u \pm 1)}{u d_{o1}}}$
	для стальных шестерни и колеса	$\sigma_H = 274 Z_H Z_\varepsilon \sqrt{\frac{W_{Ht}(u \pm 1)}{u d_{o1}}}$
	знак «+» в формулах относится к внешнему зацеплению, знак «-» – к внутреннему	
<p>Полученное значение σ_H необходимо сравнить с допускаемым $\sigma_{Hр}$ (табл. 3.5). Должно выполняться условие: $\sigma_H \leq \sigma_{Hр}$. Недогрузка по контактным напряжениям более 25 % не рекомендуется. Если условие прочности не выполняется, то следует:</p> <ul style="list-style-type: none"> • или увеличить ширину зубчатого венца, • или увеличить межосевое расстояние, • или назначить другие материалы шестерни и колеса, • или назначить другую термообработку. <p>Затем, после принятой корректировки, следует произвести перерасчет передачи</p>		
2. Проверка на выносливость при изгибе		
Коэффициент торцового перекрытия ε_α	см. раздел данной таблицы «1. Проверка на контактную выносливость»	
Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки между зубьями, $K_{F\alpha}$	при $\beta = 0$	$K_{F\alpha} = 1$
	при $\beta \neq 0$	$K_{F\alpha} = \frac{6 + (\varepsilon_\alpha - 1)(n_{ст.точн} - 3)}{6\varepsilon_\alpha},$ где $n_{ст.точн}$ – степень точности передачи
Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки по ширине венца, $K_{F\beta}$	определить по графикам на рис. 3.15, 3.16	
Коэффициент, учитывающий влияние вида зубчатой передачи, δ_F	при $\beta = 0$	$\delta_F = 0,016$
	при $\beta \neq 0$	$\delta_F = 0,006$
Коэффициент, учитывающий влияние разности шагов зацепления зубьев шестерни и колеса, g_0	определить по табл. 3.10	
Удельная окружная динамическая сила w_{Fv} , Н/мм	$w_{Fv} = \frac{\delta_F g_0 v a_\omega}{u}$	
	если значения w_{Fv} , вычисленные по формуле, превышают предельные значения, указанные в табл. 3.11, их следует принять равными этим предельным значениям	

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Динамическая добавка v_F	$v_F = 4,76 \times 10^{-4} \frac{w_{FV} b_{\omega} d_{\omega 1}}{T_{H1} K_{F\alpha} K_{F\beta}}$	
Коэффициент, учитывающий динамическую нагрузку, возникающую в зацеплении, K_{Fv}	$K_{Fv} = 1 + v_F$	
Эквивалентное число зубьев z_v	$z_{V1} = \frac{z_1}{\cos^3 \beta}$	
	$z_{V2} = \frac{z_2}{\cos^3 \beta}$	
Коэффициент, учитывающий форму зуба, Y_F	Y_{F1}	определить для колес с внешними зубьями по графику на рис. 3.17, для колес с внутренними зубьями – по графикам на рис. 3.18, 3.19
	Y_{F2}	
Коэффициент, учитывающий наклон зубьев, Y_{β}	при $\beta = 0$	$Y_{\beta} = 1$
	при $\beta \neq 0$	$Y_{\beta} = 1 - \frac{\beta^{\circ}}{140^{\circ}}$
Удельная расчетная окружная сила W_{Ht} , Н/мм	$W_{Ft} = 2000 \frac{T_{H1} K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv}}{b_{\omega} d_{\omega 1}}$	
Расчетное напряжение на переходной поверхности σ_F , МПа	$\sigma_{F1} = \frac{Y_{F1} Y_{\beta} W_{Ft}}{m_n}$	при $\beta = 0$ $m_n = m$
	$\sigma_{F2} = \frac{Y_{F2} Y_{\beta} W_{Ft}}{m_n}$	
<p>Полученные значение σ_{F1} и σ_{F2} необходимо сравнить с допускаемыми σ_{Fp1} и σ_{Fp2} (табл. 3.5).</p> <p>Должно выполняться условие: $\sigma_{F1} \leq \sigma_{Fp1}$; $\sigma_{F2} \leq \sigma_{Fp2}$.</p> <p>Если условие прочности не выполнено, то следует увеличить величину модуля m_n (m), уменьшив пропорционально z_1 и z_2.</p> <p>При этом:</p> <ul style="list-style-type: none"> • если межосевое расстояние a_{ω} не изменилось, то после корректировки следует произвести только перерасчет по проверке на выносливость при изгибе; • если межосевое расстояние a_{ω} изменилось, то после корректировки следует произвести перерасчет и по проверке на контактную выносливость, и по проверке на выносливость при изгибе. <p>Если в итоге приведенных выше расчетов результаты удовлетворяют условиям прочности на контактную и изгибную выносливость, далее необходимо произвести геометрический расчет передачи:</p> <ul style="list-style-type: none"> • прямозубая передача с внешним зацеплением (табл. 3.12); • косозубая передача с внешним зацеплением (табл. 3.13); • прямозубая передача с внутренним зацеплением (табл. 3.14); • косозубая передача с внутренним зацеплением (табл. 3.15) 		

Таблица 3.8

Значения коэффициента $\Psi_{bd \max}$

Расположение опор относительно зубчатого венца (рис. 3.11)	$\Psi_{bd \max}$ при твердости рабочих поверхностей зубьев	
	$H_2 \leq 350 \text{ HB}$	$H_2 > 350 \text{ HB}$
Симметричное и вблизи зубчатого венца (передачи 5 и 6)	1,20–1,35	0,90–1,00
Несимметричное при высокой жесткости конструкции (передача 4)		
Несимметричное (передачи 2 и 3)	1,00–1,10	0,65–0,75
По одну сторону от зубчатого венца (передачи 1)	0,60–0,70	0,45–0,55
Обычно принимают $\Psi_{bd} = (0,8 - 0,95) \Psi_{bd \max}$		

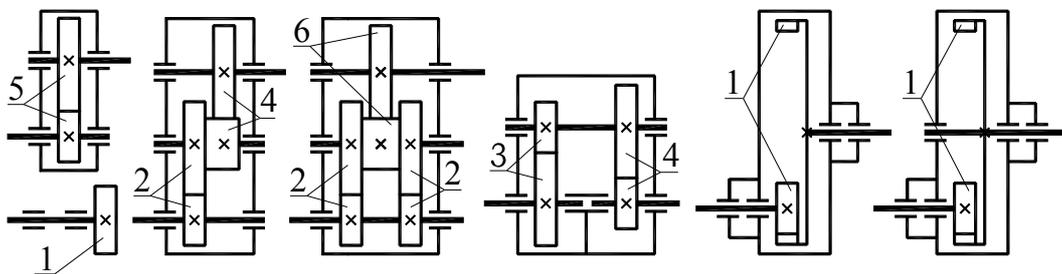


Рис. 3.11

Таблица 3.9

Значения коэффициента δ_H

Твердость поверхностей зубьев по Бринеллю	Вид зубьев	δ_H
При $H_1 \leq 350 \text{ HB}$ или $H_2 \leq 350 \text{ HB}$	прямые	0,006
	непрямые	0,002
При $H_1 > 350 \text{ HB}$ и $H_2 > 350 \text{ HB}$	прямые	0,014
	непрямые	0,004

Таблица 3.10

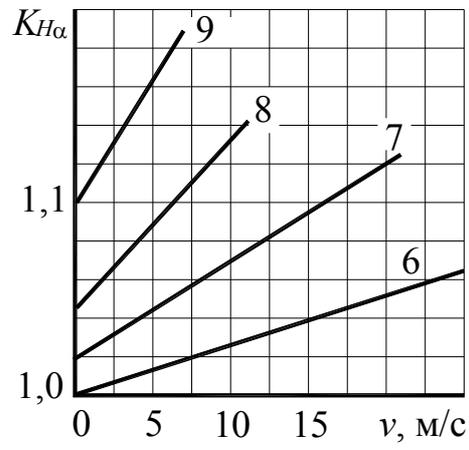
Значения коэффициента g_0

Модуль m , мм	Степень точности по нормам плавности по ГОСТ 1643–81				
	5	6	7	8	9
До 3,5	28	38	47	56	73
Св. 3,5 до 10	31	42	53	61	82
Св. 10	37	48	64	73	100

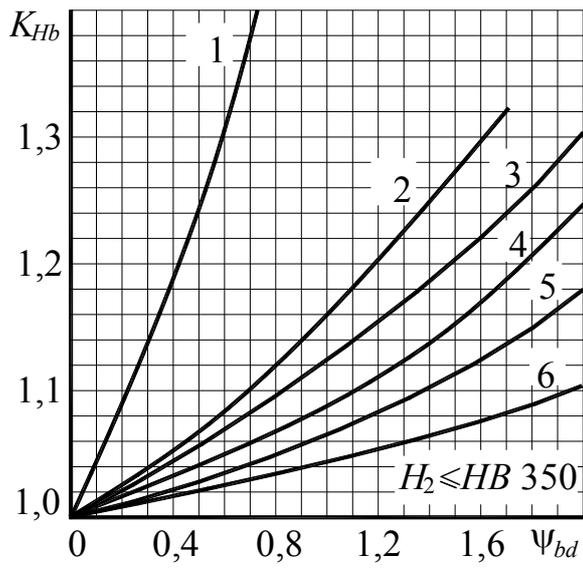
Таблица 3.11

Значения коэффициентов $w_{HV \max}$, $w_{FV \max}$

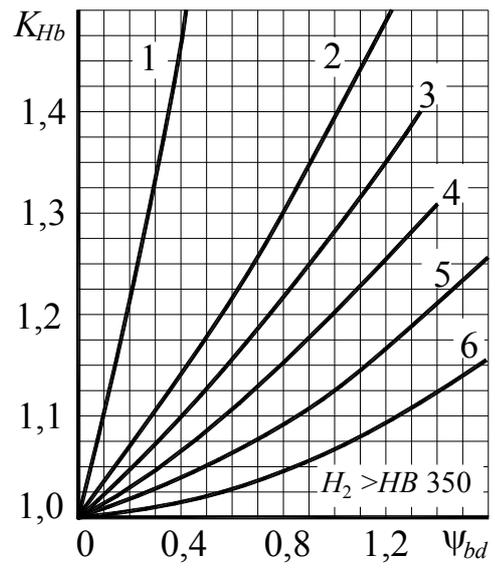
Модуль m , мм	Степень точности по нормам плавности по ГОСТ 1643–81				
	5	6	7	8	9
До 3,5	85	160	240	380	700
Св. 3,5 до 10	105	194	310	410	880
Св. 10	150	250	450	590	1050



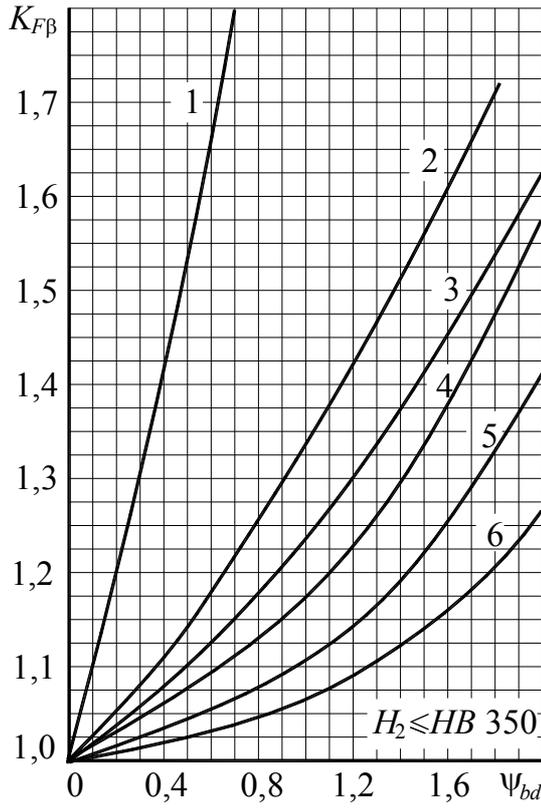
Puc. 3.12



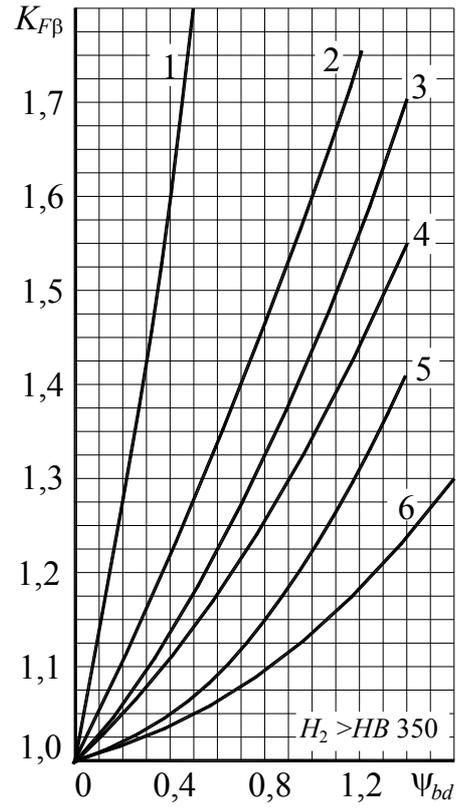
Puc. 3.13



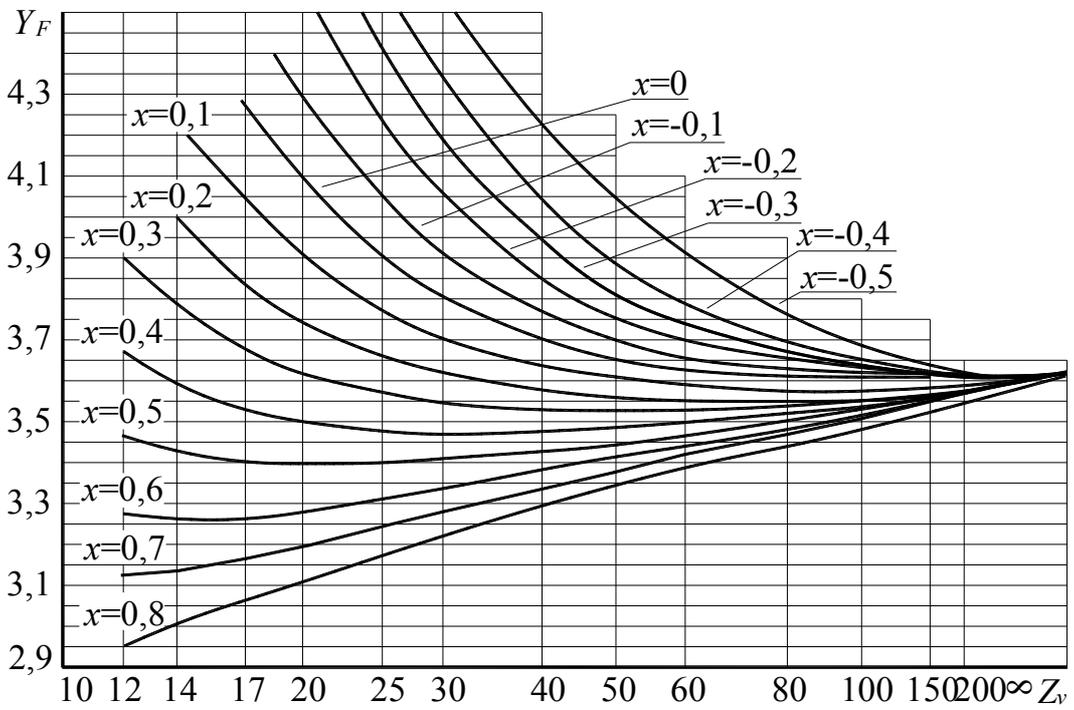
Puc. 3.14



Puc. 3.15



Puc. 3.16



Puc. 3.17

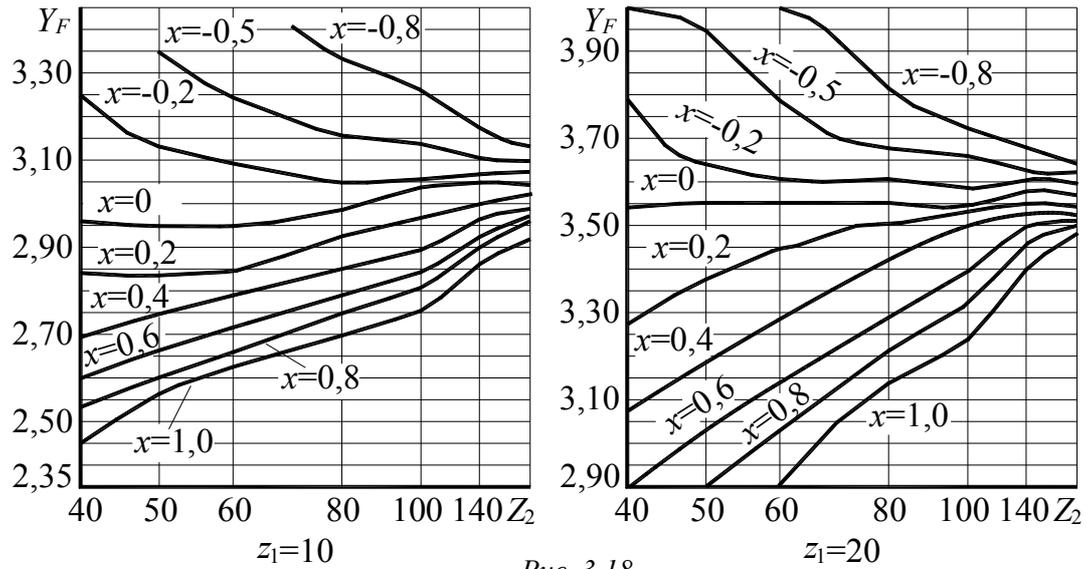


Рис. 3.18

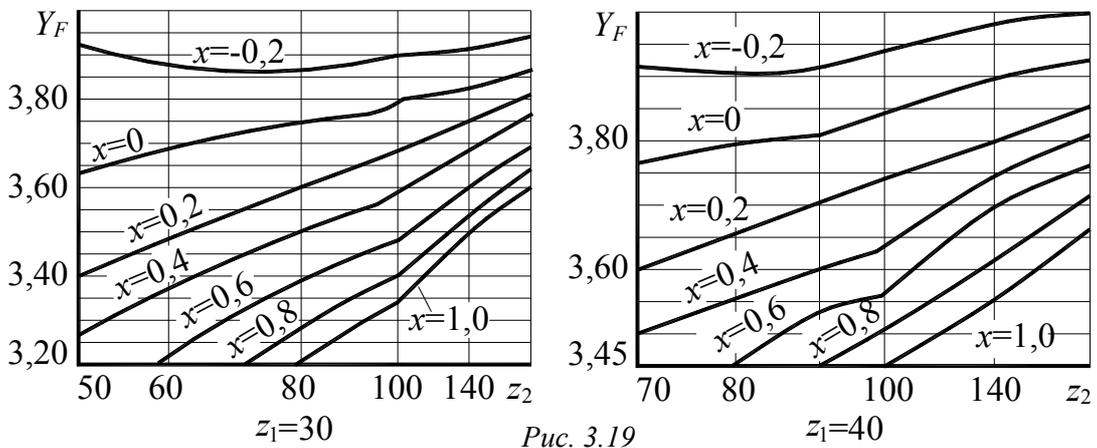


Рис. 3.19

Таблица 3.12

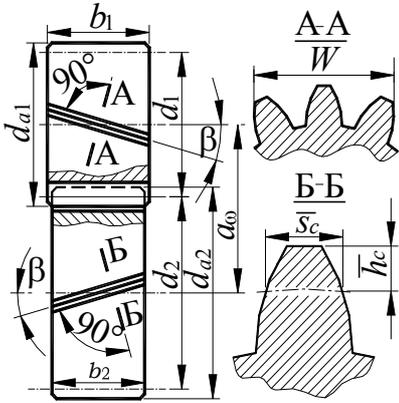
Формулы для геометрического расчета прямозубой передачи внешнего зацепления.
Размеры, мм (ГОСТ 16532–70)

Исходные данные	
Угол профиля исходного профиля в нормальном сечении α , град	20°
Число зубьев шестерни z_1	принять из предыдущего расчета (табл. 3.7)
Число зубьев колеса z_2	
Модуль t , мм	
Передаточное число u	
Межосевое расстояние a_0 , мм	
Без смещения	
Угол зацепления α_0 , град	табл. 3.12
Делительное межосевое расстояние a , мм	$a = a_0$

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Делительный диаметр d , мм	$d_1 = z_1 m$	
	$d_2 = z_2 m$	
Диаметр начальной окружности d_ω , мм	$d_{\omega 1}$	табл. 3.7
	$d_{\omega 2}$	
Диаметр вершин зубьев d_a , мм	d_{a1}	
	d_{a2}	
Диаметр впадин d_f , мм (справочный размер)	$d_{f1} = d_1 - 2h_{f1}^* m = d_1 - 2,5m = m(z_1 - 2,5)$	
	$d_{f2} = d_2 - 2h_{f2}^* m = d_2 - 2,5m = m(z_2 - 2,5)$	
<i>Со смещением</i>		
Угол зацепления α_ω , град	табл. 3.7	
Коэффициент суммы смещений x_Σ	табл. 3.7	
Коэффициент смещения x	x_1	табл. 3.7
	x_2	
Делительное межосевое расстояние a , мм	$a = 0,5m(z_2 + z_1)$	
Делительный диаметр d , мм	$d_1 = z_1 m$	
	$d_2 = z_2 m$	
Диаметр начальной окружности d_ω , мм	$d_{\omega 1}$	табл. 3.7
	$d_{\omega 2}$	
Диаметр вершин зубьев d_a , мм	d_{a1}	
	d_{a2}	
Диаметр впадин d_f , мм (справочный размер)	$d_{f1} = d_1 - 2(h_{f1}^* - x_1)m = d_1 - 2(1,25 - x_1)m$	
	$d_{f2} = d_2 - 2(h_{f2}^* - x_2)m = d_2 - 2(1,25 - x_2)m$	

Таблица 3.13

Формулы для геометрического расчета косозубой передачи внешнего зацепления.
Размеры, мм (ГОСТ 16532–70)

	Исходные данные	
	Угол профиля зуба исходного контура в нормальном сечении α , град	20°
Нормальный модуль зубьев m_n , мм	принять из предыдущего расчета (табл. 3.7)	
Число зубьев шестерни z_1		
Число зубьев колеса z_2		
Передаточное число i		
Ширина зубчатого венца шестерни b_1 , мм		
Ширина зубчатого венца колеса b_2 , мм		
Межосевое расстояние a_0 , мм		
Угол наклона линии зуба β , град		
Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
<i>Без смещения</i>		
Делительное межосевое расстояние a , мм	$a = a_0$	
Окружной (торцовый) модуль m_t , мм	$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$	
Угол профиля α_t , град	табл. 3.12	
Угол зацепления α_{t0} , град		
Начальный диаметр d_0 , мм	d_{01}	табл. 3.7
	d_{02}	
Делительный диаметр d , мм	$d_1 = \frac{m_n z_1}{\cos \beta}$	
	$d_2 = \frac{m_n z_2}{\cos \beta}$	
Диаметр вершин зубьев d_a , мм	d_{a1}	табл. 3.7
	d_{a2}	
Диаметр впадин зубьев d_f , мм (справочный размер)	$d_{f1} = d_1 - 2m_n h_{f1}^* = d_1 + 2,5m_n = m_n (z_1 - 2,5)$	
	$d_{f2} = d_2 - 2m_n h_{f2}^* = d_2 + 2,5m_n = m_n (z_2 - 2,5)$	
	табл. 3.7	

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
<i>Со смещением</i>		
Коэффициент смещения x	x_1	табл. 3.7
	x_2	
Делительное межосевое расстояние a , мм	$a = \frac{m_n(z_2 + z_1)}{2 \cos \beta}$	
Делительный диаметр d , мм	$d_1 = \frac{m_n z_1}{\cos \beta}$	
	$d_2 = \frac{m_n z_2}{\cos \beta}$	
Начальный диаметр d_{ω} , мм	$d_{\omega 1}$	табл. 3.7
	$d_{\omega 2}$	
Диаметр вершин зубьев d_a , мм	d_{a1}	табл. 3.7
	d_{a2}	
Диаметр впадин d_f , мм (справочный размер)	$d_{f1} = d_1 - 2(h_{f1}^* - x_1)m_n = d_1 - 2(1,25 - x_1)m_n$	
	$d_{f2} = d_2 - 2(h_{f2}^* - x_2)m_n = d_2 - 2(1,25 - x_2)m_n$	

Таблица 3.14

Алгоритм геометрического расчета зубчатых цилиндрических прямозубых передач с внутренним зацеплением. Размеры, мм

	Исходные данные		
	Угол профиля зуба исходного контура в нормальном сечении α , град	20°	
	Модуль зубьев m , мм	принять из предыдущего расчета (табл. 3.7)	
	Число зубьев шестерни z_1		
	Число зубьев колеса z_2		
	Передаточное число u		
	Ширина зубчатого венца шестерни b_1 , мм		
	Ширина зубчатого венца колеса b_2 , мм		
Межосевое расстояние a_{ω} , мм			
<i>Без смещения</i>			
Угол зацепления α_{ω} , град	Табл. 3.7		
Делительное межосевое расстояние a , мм	$a = a_{\omega}$		
Делительный диаметр d , мм	$d_1 = d_{\omega 1} = z_1 m$		
	$d_2 = d_{\omega 2} = z_2 m$		

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Диаметр начальной окружности d_{ω} , мм	$d_{\omega 1}$	табл. 3.7
	$d_{\omega 2}$	
Диаметр вершин зубьев d_a , мм	d_{a1}	
	d_{a2}	
Диаметр впадин d_f , мм (справочный размер)	$d_{f1} = d_1 - 2(c_1 + m) = d_1 - 2mh_{f1}^* = m(z_1 - 2,5)$	
	$d_{f2} = d_2 + 2(c_2 + m) = d_2 + 2mh_{f2}^* = m(z_2 + 2,5)$	
<i>Со смещением</i>		
Угол зацепления α_{ω} , град	табл. 3.7	
Коэффициент разности смещений x_d		
Коэффициент смещения x	x_1	табл. 3.7
	x_2	
Делительное межосевое расстояние a , мм	$a = 0,5m(z_2 - z_1)$	
Делительный диаметр d , мм	$d_1 = z_1m$	
	$d_2 = z_2m$	
Диаметр начальной окружности d_{ω} , мм	$d_{\omega 1}$	табл. 3.7
	$d_{\omega 2}$	
Диаметр начальной окружности d_{ω} , мм	$d_{\omega 1}$	
	$d_{\omega 2}$	
Диаметр вершин зубьев d_a , мм	d_{a1}	
	d_{a2}	
Диаметр впадин d_f , мм (справочный размер)	$d_{f1} = d_1 - 2(h_{f1}^* - x_1)m = d_1 - 2(1,25 - x_1)m$	
	$d_{f2} = d_1 + 2(h_{f2}^* + x_2)m = d_2 + 2(1,25 + x_2)m$	

Таблица 3.15

Формулы для геометрического расчета косозубой передачи
внутреннего зацепления. Размеры, мм

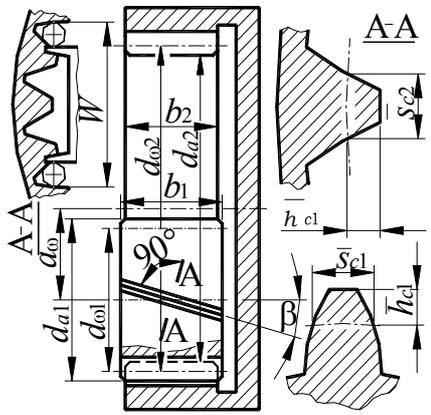
		Исходные данные			
		Угол профиля зуба исходного контура в нормальном сечении α , град		20°	
Нормальный модуль зубьев m_n , мм		принять из предыдущего расчета (табл. 3.7)			
Число зубьев шестерни z_1					
Число зубьев колеса z_2					
Передаточное число i					
Ширина зубчатого венца шестерни b_1 , мм					
Ширина зубчатого венца колеса b_2 , мм					
Межосевое расстояние a_w , мм					
Угол наклона линии зуба β					
Параметры и обозначения				Расчетные формулы и указания	
<i>Со смещением</i>					
Угол профиля α_t , град		табл. 3.7			
Угол зацепления α_{t_w} , град					
Коэффициент разности смещений x_d					
Коэффициент смещения x				x_1	x_2
Делительное межосевое расстояние a , мм		$a = \frac{m(z_2 - z_1)}{2 \cos \beta}$			
Делительный диаметр d , мм		$d_1 = \frac{z_1 m_n}{\cos \beta}$			
		$d_2 = \frac{z_2 m_n}{\cos \beta}$			
Диаметр начальной окружности d_w , мм		d_{w1}			
		d_{w2}			
Диаметр вершин зубьев d_a , мм		d_{a1}			
		d_{a2}			
Диаметр впадин d_f (справочный размер)		$d_{f1} = d_1 - 2(h_{f1}^* - x_1)m_n = d_1 - 2(1,25 - x_1)m_n$			
		$d_{f2} = d_2 + 2(h_{f2}^* + x_2)m_n = d_2 + 2(1,25 + x_2)m_n$			

Таблица 3.16

Формулы для определения величин составляющих силы
в зацеплении цилиндрической передачи

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Расчетный крутящий момент T_n , Нм	T_{H1}	
	T_{H2}	
Диаметр начальной окружности d_ω , мм	$d_{\omega 1}$	
	$d_{\omega 2}$	
Угол профиля α_t , град	табл. 3.7	
Угол зацепления $\alpha_{t\omega}$ в торцовом сечении		
Угол наклона зубьев на делительном цилиндре β , град		
Угол наклона зубьев на начальном цилиндре β_ω , град	$\beta_\omega = \arctg \frac{\tg \beta \cos \alpha_t}{\cos \alpha_{t\omega}}$	
Окружная составляющая $F_{t\omega}$ (F_t), Н	при $x_2 \pm x_1 \neq 0$	$F_{t\omega} = 2000 \frac{T_{H1}}{d_{\omega 1}} = 2000 \frac{T_{H2}}{d_{\omega 2}}$
	при $x_2 \pm x_1 = 0$	$F_t = 2000 \frac{T_{H1}}{d_1} = 2000 \frac{T_{H2}}{d_2}$
Радиальная составляющая F_r , Н	при $x_2 \pm x_1 \neq 0$	$F_r = F_{t\omega} \tg \alpha_{t\omega}$
	при $x_2 \pm x_1 = 0$	$F_r = F_t \tg \alpha_{t\omega}$
Осевая составляющая F_a , Н	при $x_2 \pm x_1 \neq 0$	$F_a = F_{t\omega} \tg \beta_\omega$
	при $x_2 \pm x_1 = 0$	$F_a = F_t \tg \beta$

Ориентировочные значения коэффициента полезного действия одноступенчатых цилиндрических передач на подшипниках качения

Вид передачи	КПД
Закрытая с жидкой смазкой обычного изготовления с окружной скоростью $v \leq 12$ м/с	0,98–0,985
Открытая с пластичной смазкой	0,96–0,97

3.2.3.3. Правила выполнения чертежей

Правила выполнения чертежей зубчатых цилиндрических колес установлены ГОСТ 2.403–75.

На чертеже цилиндрического зубчатого колеса должны быть:

- изображены виды и разрезы цилиндрического колеса;
- нанесена необходимая текстовая часть;
- указаны габаритные и другие размеры, необходимые для изготовления колеса;
- условные обозначения баз;
- допуски формы и расположения поверхностей;
- параметры шероховатости;
- технические требования:
- требования к материалу, заготовке, термической обработке;
- указания о размерах (размеры для справок, радиусы закруглений и т. п.);
- неуказанные предельные отклонения размеров;
- параметры, характеризующие зубчатый венец:

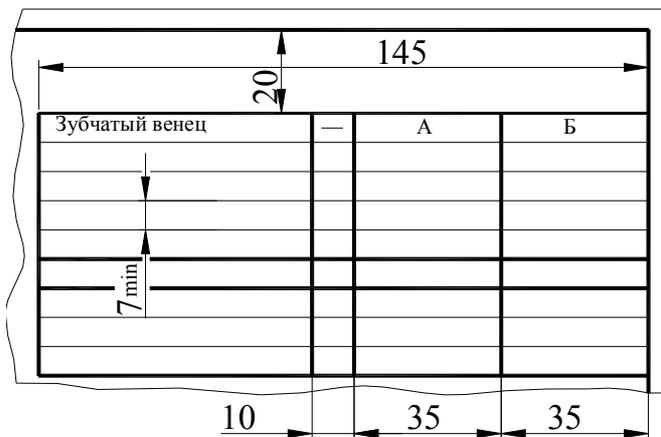


Рис. 3.21

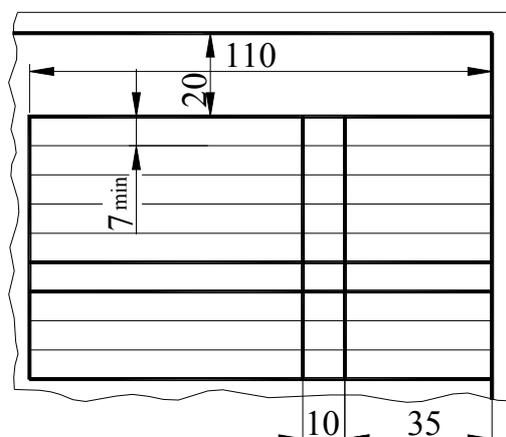


Рис. 3.20

- диаметр вершин зубьев;
- ширина зубчатого венца;
- размер фасок или радиусы кривизны линий притупления на кромках зубьев (допускается указывать в технических требованиях чертежа вместо указания их на изображении зубчатой детали);
- шероховатость боковых поверхностей зубьев.

Таблица параметров (рис. 3.20, 3.21) должна состоять из трех частей, которые разделяются сплошными основными линиями.

Первая часть содержит основные параметры для нарезания зубьев, в которой должны быть указаны:

- модуль;
- число зубьев колеса;
- угол наклона зуба;
- направление линии зуба с надписью «Левое», «Правое» или «Шевронное»;
- исходный контур (для стандартного контура указывается ссылка на соответствующий стандарт, для нестандартного контура указывается величина угла профиля);
- коэффициент высоты головки;
- коэффициент радиального зазора и коэффициент радиуса кривизны переходной кривой;
- коэффициент смещения с соответствующим знаком; при отсутствии смещения следует проставлять 0;
- степень точности и вид сопряжения по нормам бокового зазора.

Во второй части таблицы параметров венца приводят данные для контроля взаимного положения разноименных профилей зубьев (в данном курсовом проекте не разрабатываются).

В третьей части таблицы должны быть приведены справочные данные:

- делительный диаметр;
- для колес указывают обозначение сопрягаемой шестерни или рейки;
- при необходимости приводят прочие справочные данные, (например: шаг зацепления, осевой шаг, ход зуба, размеры элементов зубьев для контроля).

Если зубчатое колесо имеет два и более венца, то каждый венец и соответствующая колонка таблицы должны быть обозначены одной прописной буквой русского алфавита (рис. 3.21, 3.25).

Обозначения данных в таблице – по ГОСТ 2.403–75.

Неиспользованные строки в табл. допускается исключать или прочеркивать.

При изображении видов и сечений зубчатых цилиндрических колес следует руководствоваться следующими основными правилами.

1. Зубья колес вычерчивают в осевых разрезах и сечениях.

В остальных случаях зубья и витки не вычерчивают и изображаемые детали ограничивают поверхностями выступов (рис. 3.22–3.25).

Если необходимо показать профиль зуба, вычерчивают зуб на выносном элементе; допускается показывать их на ограниченном участке изображения детали (рис. 3.23).

2. Окружности и образующие поверхностей выступов зубьев показывают сплошными основными линиями, в том числе и в зоне зацепления (рис. 3.22–3.25).

3. На чертежах зубчатых колес показывают делительные окружности, делительные линии, образующие делительных цилиндров (рис. 3.22–3.25).

4. На сборочных чертежах зубчатых передач показывают начальные окружности, начальные линии, образующие начальных поверхностей (рис. 3.24).

5. Делительные, начальные, расчетные окружности, а также линии и образующие делительных, начальных и расчетных поверхностей, показывают штрихпунктирными тонкими линиями (рис. 3.22–3.25).

6. Окружности и образующие поверхностей впадин зубьев в разрезах и сечениях показывают на всем протяжении сплошными основными линиями.

На видах цилиндрических зубчатых колес допускается показывать окружности и образующие поверхностей впадин зубьев или витков, при этом их наносят сплошными тонкими линиями (рис. 3.22–3.25).

7. Если секущая плоскость проходит перпендикулярно к оси зубчатого колеса, то зубчатые колеса допускается показывать *нерассеченными*; при необходимости показать их *рассеченными*, применяют местный разрез и проводят штриховку до линии поверхности впадин.

Если секущая плоскость проходит *через оси обоих зубчатых колес*, находящихся в зацеплении, то на разрезе в зоне зацепления зуб одного из колес (предпочтительно ведущего) показывают расположенным перед зубом сопрягаемого колеса (рис. 3.24, *а*).

В перечисленных случаях невидимые контуры допускается не наносить, если это не затрудняет чтение чертежа.

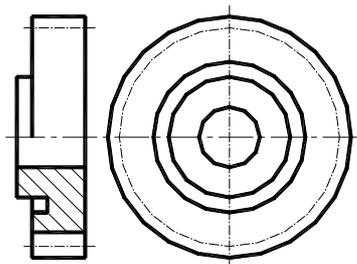


Рис. 3.22

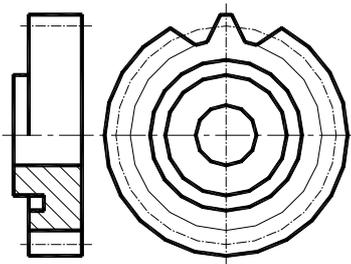


Рис. 3.23

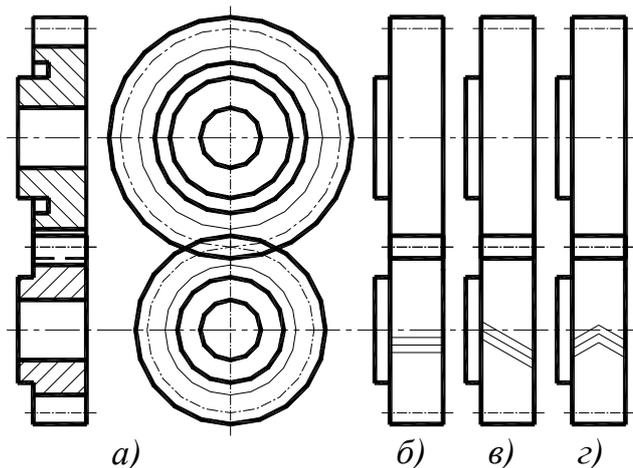


Рис. 3.24

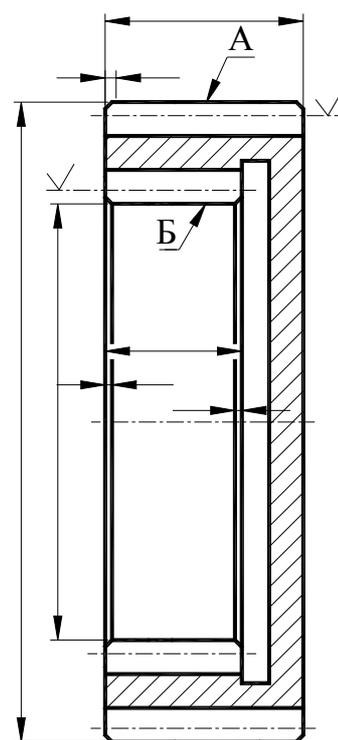


Рис. 3.25

8. Если необходимо показать *направление зубьев зубчатого колеса*, то на изображении поверхности зубьев наносят (как правило, вблизи оси) *три сплошных тонких линии с соответствующим наклоном*.

На изображении зубчатого зацепления направление зубьев указывают только на *одном* из элементов зацепления (рис. 3.24, *б, в, з*).

3.2.3.4. Конструирование цилиндрических зубчатых колес внешнего зацепления

Форма зубчатого колеса может быть плоской (рис. 3.26, *а, б*) или с выступающей ступицей (рис. 3.27). Значительно реже (в одноступенчатых редукторах) колеса делают со ступицей, выступающей в обе стороны.

На рис. 3.26, 3.27 показаны простейшие формы колес, изготавливаемых в единичном и мелкосерийном производстве.

При небольших диаметрах колес их изготавливают из прутка, а при больших – заготовки получают свободной ковкой с последующей токарной обработкой.

Чтобы уменьшить объем точной обработки резанием, на дисках колес выполняют выточки (рис. 3.26, б; 3.27). При диаметре d_a менее 80 мм эти выточки, как правило, не делают (рис. 3.26, а).

Длину посадочного отверстия колеса $l_{ст}$ желательно принимать равной или больше ширины зубчатого венца b_2 ($l_{ст} > b_2$). Принятую длину ступицы согласуют с расчетной (разд. 4.2.2, 4.2.3) и с диаметром посадочного отверстия d :

$$l_{ст} = (0,8 - 1,5)d. \quad (3.6)$$

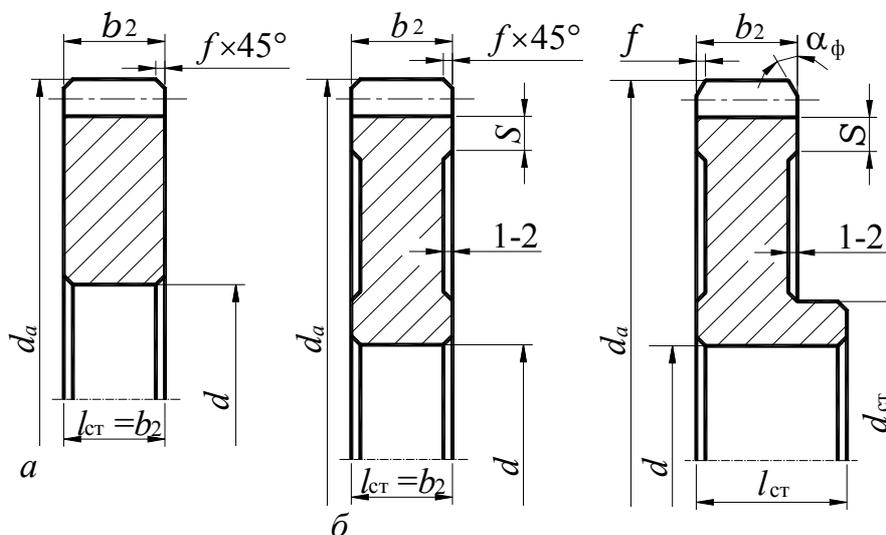


Рис. 3.26

Рис. 3.27

Диаметр ступицы $d_{ст}$ ширину торцов зубчатого венца принимают:

$$d_{ст} \approx 1,6d; \quad (3.7)$$

$$S = 2,5m + 2 \text{ мм}, \quad (3.8)$$

где m – модуль зацепления.

На торцах зубчатого венца выполняют фаски размером, равным f :

$$f = (0,5 - 0,7)m, \quad (3.9)$$

которые округляют до стандартного значения:

d , мм	20–30	30–40	40–50	50–80	80–120	120–150	150–250	250–500
f , мм	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0

На *прямозубых* зубчатых колесах фаску выполняют под углом $\alpha_{ф} = 45^\circ$, на *косозубых* и *шевронных* колесах при твердости рабочих поверхностей $HB < 350$ – под углом $\alpha_{ф} = 45^\circ$ (рис. 3.26, а, б), а при $HB > 350$ – $\alpha_{ф} = 15-20^\circ$ (рис. 3.27). Острые кромки на торцах ступицы, углах обода притупляют фасками, размеры которых принимают по вышеприведенным рекомендациям.

При серийном производстве заготовки колес получают из прутка свободной ковкой, а также ковкой в штампах.

При годовом объеме выпуска колес более 50 штук используют ковку в простейших односторонних подкладных штампах. Форма зубчатых колес в этом случае, после дополнительной обработки на металлообрабатывающих станках, рекомендуется по типу, показанному на рис. 3.28, а, б.

При годовом объеме выпуска более 100 штук применяют двусторонние штампы. Форму зубчатых колес в этом случае проектируют по рис. 3.29, а, б.

Тонкими линиями показана заготовка колеса *после* штамповки.

Для уменьшения влияния термической обработки зубчатых колес на точность геометрической формы зубчатые колеса делают массивными:

$$c = (0,35 - 0,40)b_2. \quad (3.10)$$

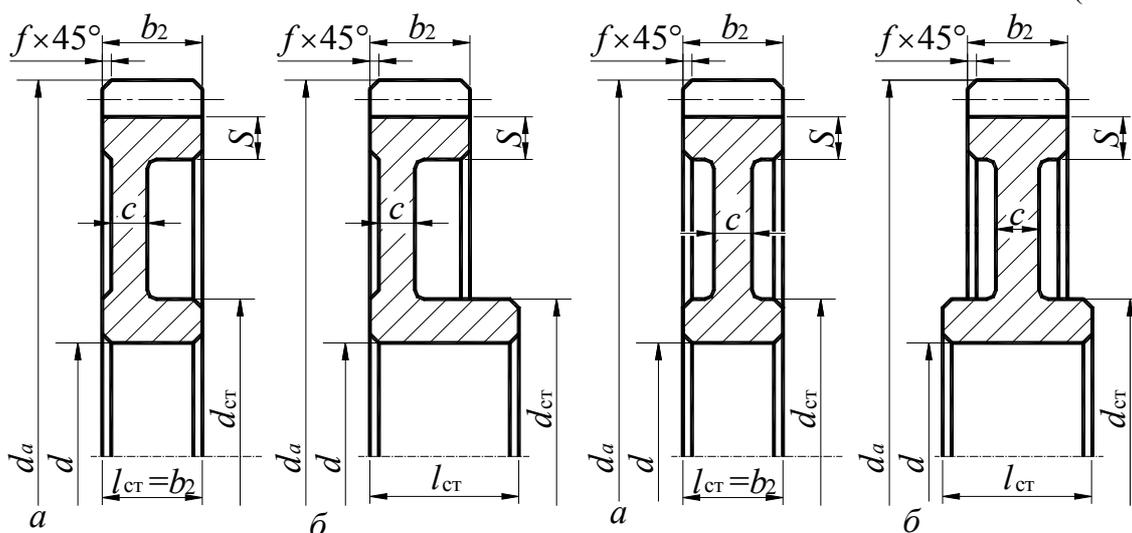


Рис. 3.28

Рис. 3.29

Для быстроходных колес, подвергаемых балансировке, толщину обода увеличивают против расчетной на ~20 %. Балансировку проводят после обработки резанием.

Базовыми поверхностями при нарезании зубьев являются поверхность центрального отверстия и торцы зубчатого венца.

На рис. 3.30 показана схема базирования колеса при нарезании зубьев долбяком и дисковой модульной фрезой. Чтобы обеспечить соприкосновение торцов зубчатых венцов, следует занижать торцы ступиц или оговаривать в технологии, что торец ступицы не должен выступать за торец венца.

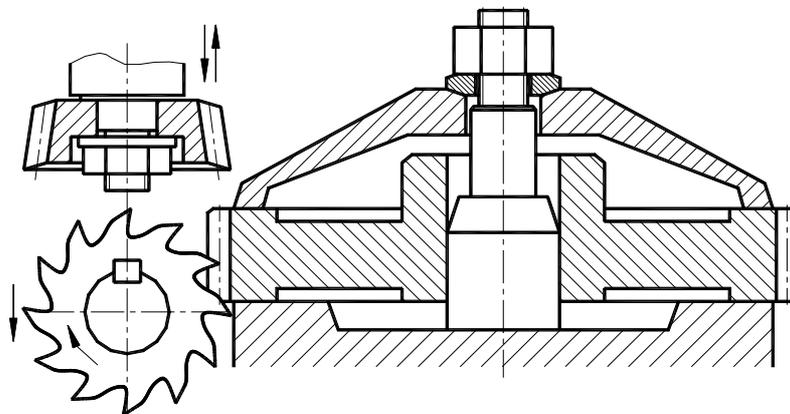


Рис. 3.30

3.2.3.5. Конструирование цилиндрических зубчатых колес внутреннего зацепления

Размеры основных конструктивных элементов $d_{ст}$, $l_{ст}$, S , f (рис. 3.31) колес внутреннего зацепления принимают по соотношениям для колес внешнего зацепления (разд. 3.2.3.2).

Конструктивное исполнение колес внутреннего зацепления может быть выполнено по одному из вариантов, показанных на рис. 3.31, *а*, *б* и отличающихся расположением ступицы относительно зубчатого венца: *а* – ступица расположена внутри колеса, что обеспечивает лучшие условия работы зацепления по сравнению с вариантом *б*, в котором ступица вынесена за контур зубчатого венца.

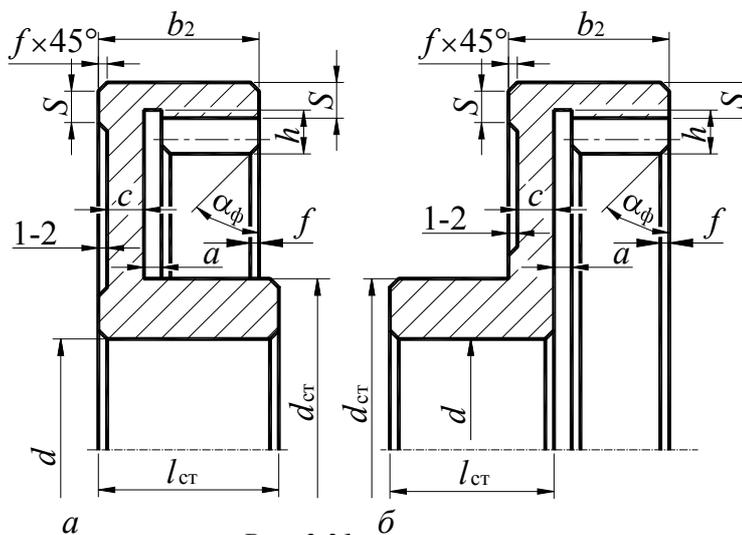


Рис. 3.31

Вариант *а* можно применять в том случае, когда расстояние от наружной поверхности ступицы до внутренней поверхности зубчатого венца больше наружного диаметра D_e долбяка, которым изготовляют зубья.

Кроме того, требуется, чтобы шестерня, находящаяся в зацеплении с колесом, свободно размещалась между зубчатым венцом и ступицей.

Диаметр D_e долбяка, размер a канавки для выхода долбяка и размещения стружки, образующейся при долблении зубьев, для прямозубых колес принимают в зависимости от модуля.

Размер a канавки в *косозубых* колесах *внутреннего* зацепления увеличивают на (30–40) %. Глубину канавки во всех случаях принимают:

$$h = 2,5m. \quad (3.11)$$

Толщину диска принимают равной:

$$c = (1,2 - 1,5)S. \quad (3.12)$$

3.2.3.6. Конструирование валов-шестерен

Используются два конструктивных сочетания шестерен зубчатых передач с валом:

- вал-шестерня – шестерня изготавливается заодно с валом (рис. 3.32, 3.33);
- шестерня соединяется с валом при посредстве шпоночных, шлицевых и других соединений (насадная шестерня).

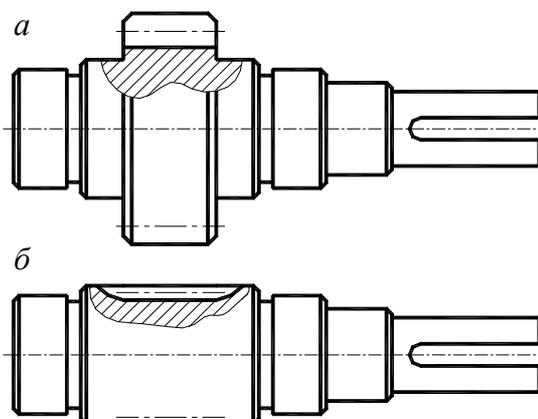


Рис. 3.32

Качество (жесткость, точность и др.) вала-шестерни оказывается выше, а стоимость изготовления ниже, чем суммарная стоимость вала и насадной шестерни, поэтому их используют достаточно часто.

Кроме того, валы-шестерни используют при шестернях небольшого диаметра (относительно диаметра вала), когда невозможно применить соединения, передающие крутящий момент с шестерни на вал или наоборот.

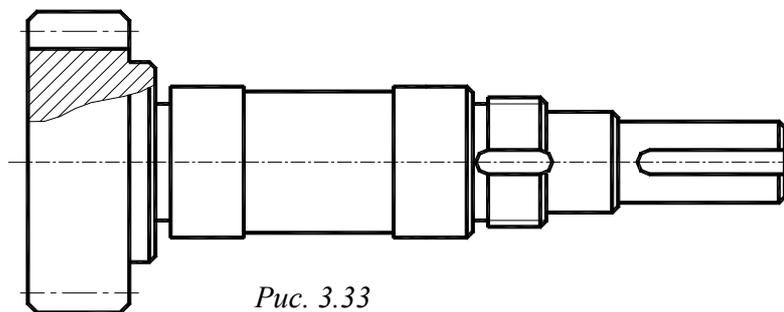


Рис. 3.33

Основным недостатком этой конструкции является то, что при выходе из строя зубчатого венца приходится менять и вал.

На рис. 3.32, а показана конструкция вала-шестерни, которая обеспечивают нарезание зубьев со свободным выходом инструмента.

При больших передаточных числах наружный диаметр шестерни, как правило, мало отличается от диаметра вала и валы-шестерни конструируют по рис. 3.32, б. В этом случае зубья нарезают на поверхности вала. Желательно избегать врезных шестерен, так как в этом случае затрудняется зубофрезерование и шлифование зубьев.

На рис. 3.33 показана конструкция консольного вала-шестерни. Такая конструкция достаточно часто используется для цилиндрической передачи внутреннего зацепления.

3.2.3.7. Допуски цилиндрических зубчатых передач

Допуски распространяются на *эвольвентные цилиндрические* зубчатые передачи внешнего и внутреннего зацепления с прямыми, косыми и шевронными зубчатыми колесами с делительным диаметром до 4000 мм, шириной венца или полушеврона до 400 мм, с модулем зубьев от 1 до 16 мм и с исходным контуром по ГОСТ 13755–81.

3.2.3.7.1. Степени точности и виды сопряжений

1. Степени точности зубчатых колес и передач обозначают в порядке убывания точности цифрами 5, 6, 7, 8, 9, 10.

2. Для каждой степени точности зубчатых колес и передач установлены нормы:

- кинематической точности;
- плавности работы;
- контакта зубьев колес и передач.

3. Допускается комбинирование норм кинематической точности колес и передач, норм плавности работы и норм контакта зубьев разных степеней точности.

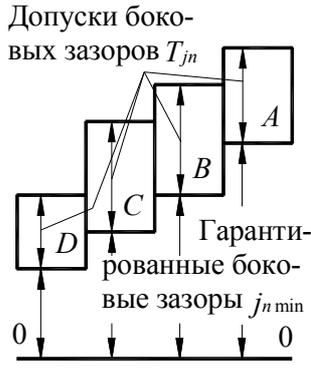
4. При комбинировании норм разных степеней точности нормы плавности работы зубчатых колес и передач могут быть не более чем на две степени точнее или на одну степень грубее норм кинематической точности.

Нормы контакта зубьев могут назначаться по любым степеням, более точным, чем нормы плавности работы зубчатых колес и передач, а для передач с коэффициентом осевого перекрытия $\varepsilon_\beta \leq 1,25$ – также и на одну степень грубее норм плавности.

5. Независимо от степени точности зубчатых колес и передач виды сопряжений зубчатых колес в передаче приведены в табл. 3.18.

Таблица 3.18

Виды сопряжений и величины гарантированных боковых зазоров

 <p>Допуски боковых зазоров T_{jn}</p> <p>Гарантированные боковые зазоры $j_{n \min}$</p>	Вид сопряжения	Диапазон степеней кинематической точности передач
		A
	B	6–10
	C	6–9
	D	6–9

Примечание: сопряжение вида B гарантирует минимальную величину бокового зазора, при котором исключается возможность заклинивания стальной или чугунной передачи от нагрева при разности температур колес и корпуса в 25 °С

Виды допуска на боковой зазор обозначают в порядке его возрастания буквами d, c, b, a, z, y, x .

При отсутствии специальных требований к партии или к комплекту передач видам сопряжений D, C, B и A соответствуют виды допуска d, c, b и a .

6. Нормы бокового зазора и соответствие между видом сопряжения зубчатых колес в передаче и видом допуска на боковой зазор разрешается изменять, используя при этом и виды допуска z, y и x .

7. Точность изготовления цилиндрических зубчатых колес и передач определяется степенью точности, а требования к боковому зазору – видом сопряжения по нормам бокового зазора.

8. ГОСТ 1643–81 предусматривает:

- допуски на делительные диаметры до 6300 мм;
- ширину венца или полушеврона до 1250 мм;
- модули зубьев до 56 мм;
- степени точности 1, 2, 3, 4, 5, 11, 12;
- виды сопряжений E и H ;
- дополнительные виды норм.

Степени точности 11 и 12 применяются для зубчатых колес без механической обработки по боковым поверхностям зуба.

9. Отраслевой стандарт министерства станкостроительной и инструментальной промышленности ОСТ 2 НЗ6–1–74 предусматривает:

- степени точности 5–9;
- один вид сопряжения – B .

Примеры обозначения:

1. Точность передачи со степенью точности по всем трем нормам, с видом сопряжения колес C и соответствием между видами сопряжения и допуска на боковой зазор:

7–С ГОСТ 1643–81.

Примечание. Для передач, у которых величина гарантированного бокового зазора не соответствует ни одному из указанных видов сопряжений, буква, обозначающая вид сопряжения, не указывается.

В этом случае указывают:

- величину принятого гарантированного бокового зазора в мкм;
 - вид допуска на боковой зазор.
2. Точность передачи со степенью точности 7, гарантированным боковым зазором 600 мкм (не соответствующим ни одному из указанных видов сопряжения для заданного межосевого расстояния 450 мм) и допуском на боковой зазор вида у:

7–600 у ГОСТ 1643–81

При комбинировании норм разных степеней точности и изменении соответствия между видом сопряжения и видом допуска на боковой зазор точность зубчатых колес и передач обозначают последовательным написанием трех цифр и двух букв.

Между собой и от слитно пишущихся букв цифры разделяются тире.

Первая цифра обозначает степень по нормам кинематической точности.

Вторая цифра обозначает степень по нормам плавности работы.

Третья цифра обозначает степень по нормам контакта зубьев.

Первая буква обозначает вид сопряжения.

Вторая буква обозначает вид допуска на боковой зазор.

Пример обозначения:

Точность передачи со степенью 8 по нормам кинематической точности, со степенью 7 по нормам плавности работы, степенью 6 по нормам контакта зубьев, с видом сопряжения колес *B* и видом допуска на боковой зазор *a*:

8–7–6–Ba ГОСТ 1643–81.

3.2.3.7.2. Нормы точности

1. Допуски и отклонения по нормам *кинематической точности, нормам плавности работы и нормам контакта зубьев* для различных степеней точности зубчатых колес и передач; устанавливаются по табл. П.204–П.209.

Значения в скобках даны для справок.

2. Показателями кинематической точности являются:

- для зубчатых колес:
 - F_{rr} и V_{Wr} – при степенях точности 6, 7, 8;
 - F_{ir}'' и V_{Wr}'' – при степенях точности 6, 7, 8;
 - F_{ir}'' – при степенях точности 9, 10;
 - F_{rr} – при степенях точности 7, 8 и диаметрах зубчатых колес свыше 1600 мм, а также при степенях точности 9, 10 и при любых диаметрах зубчатых колес;
- для передач:
 - F_{ior}' – при степенях точности 6, 7, 8.

Примечание. Допускается, чтобы одна из величин, входящих в комплекс, превосходила предельное значение, если суммарное влияние обеих величин не превышает $F_{i'}$.

3. Показатели плавности работы:

- при степени точности 6, 7, 8 с коэффициентом осевого перекрытия ε_{β} не менее указанного в табл. 3.19:
для зубчатых колес:

f_{zkr} и f_{ir} – при степенях точности 6, 7, 8;

f_{ptr} – при степенях точности 7, 8;

– для передач:

f_{zkor} – при степенях точности 6, 7, 8.

Для степеней точности 6, 7, 8 с коэффициентом осевого перекрытия ε_β , менее указанного в табл. 3.19, и степеней точности 9, 10 при любом ε_β показателя плавности работы:

- для зубчатых колес:

f_{pbr} и f_{fr} – при степенях точности 6, 7, 8;

f_{ptr} – при степенях точности 6, 7, 8;

f_{ir} – при степенях точности 6, 7, 8, 9, 10;

- для передач:

f_{zcor} – при степенях точности 6, 7, 8.

Таблица 3.19

Коэффициент осевого перекрытия в зависимости от степеней точности

Степень точности	6	7	8
ε_β	2	2,5	8,5

4. Показателями, определяющими *контакт зубьев* в передаче, являются:

- для зубчатых колес:

– с коэффициентом осевого перекрытия ε_β свыше 1,25:

F_{pxnr} и F_{kr} или F_{pxnr} и f_{pbr} ;

– с коэффициентом осевого перекрытия ε_β до 1,25:

$F_{\beta r}$ или F_{kr} ;

- для передач:

– с нерегулируемым расположением осей:

* суммарное пятно контакта f_x и f_y ;

– с регулируемым расположением осей:

* суммарное пятно контакта.

Примечание. Допускается оценивать точность зубчатых колес по суммарному пятну контакта их зубьев с зубьями измерительного зубчатого колеса. При этом относительные размеры суммарного пятна контакта должны быть соответственно увеличены по сравнению с указанными в табл. П.209.

5. Зависимости предельных отклонений и допусков от геометрических параметров зубчатых колес даны в табл. П.216.

6. В табл. П.217 приведены поля допусков диаметра вершин зубьев d_a и ширины зубчатого венца b цилиндрических колес, а в табл. П.218 приведены допуски на торцовое биение зубчатого венца цилиндрических колес при $d = 100$ мм с модулем $m \geq 1$ мм.

3.2.3.7.3. Нормы бокового зазора

1. Величины гарантированного бокового зазора $j_{n \min}$ и предельных отклонений межосевого расстояния f_a для различных видов сопряжений устанавливаются, независимо от степеней точности и их комбинирования, по табл. П.210.

2. Показателями, обеспечивающими гарантированный боковой зазор, являются:

- для зубчатых колес – A_{Wme} (табл. П.211–П.213) или A_{ce} (табл. П.214);
- для передач с нерегулируемым расположением осей – f_a ;
- для передач с регулируемым расположением осей – $J_{n \min}$.

3.2.4. Конические зубчатые передачи

3.2.4.1. Общие сведения

3.2.4.1.1. Характеристики основных форм зубьев конических зубчатых колес

Форма зуба I (рис. 3.34)

Пропорционально понижающиеся зубья. Вершины конусов делительного и впадин совпадают. Высота ножки пропорциональна конусному расстоянию.

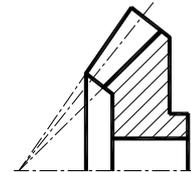


Рис. 3.34

Область применения:

- зубчатые колеса с прямыми зубьями;
- зубчатые колеса с круговыми зубьями при: $m_n = (2-2,5)$ мм, $R = (60-650)$ мм, $\beta_n = 0-45^\circ$, $z_c = 20-100$.

Форма зуба II (рис. 3.35)

Понижающиеся зубья. Вершины конусов делительного и впадин не совпадают.

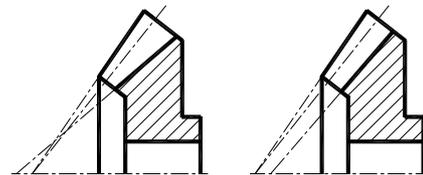


Рис. 3.35

Область применения:

- зубчатые колеса с тангенциальными зубьями;
- зубчатые колеса с круговыми зубьями при $m_n = (0,4-25)$ мм, $R = (60-700)$ мм, $\beta_n = 0-15^\circ$ (допускается до 45°), $z_c = 24-100$.

Форма зуба III (рис. 3.36)

Равновысокие зубья. Образующие конусов делительного, впадин и вершин параллельны. Высота зуба постоянна по всей длине.

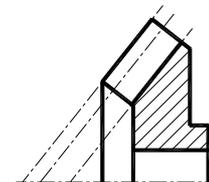


Рис. 3.36

Область применения:

- зубчатые колеса с круговыми зубьями при $m_n = (2-25)$ мм, $R = (75-7500)$ мм, $\beta_n = 25-45^\circ$, $z_c > 40$. Применяется достаточно редко.

Основные параметры

Схема и основные элементы конической передачи показаны на рис. 3.38.

Ряд диаметров внешних делительных окружностей d_{e2} конических колес по ГОСТ 12289–76 приведен в табл. П.219.

Ширина зубчатых колес, в зависимости от номинального внешнего делительного диаметра колеса и передаточных чисел, приведена в табл. П.220.

Эти данные распространяются на *ортогональные* конические передачи и являются стандартными (обязательными) для редукторов и рекомендуемыми для встроенных передач.

Примечание. При отсутствии дополнительных указаний везде, где упоминается профиль зуба, имеется в виду *внешний торцовый профиль*.

3.2.4.1.3. Конические передачи с круговым зубом

Конические передачи с круговым зубом, благодаря наклону и бочкообразной форме зубьев, более прочны, бесшумны и допускают большие погрешности при монтаже, чем прямозубые.

Модули

В качестве расчетного принят нормальный модуль m_n в середине ширины венца. Модулям m_n по ГОСТ 9563–74 соответствуют разводы резцов зуборезных головок по ГОСТ 11902–66.

Угол наклона зуба и направление линии зуба

Предпочтителен к применению угол наклона $\beta_n = 35^\circ$. Сопряженные зубчатые колеса имеют противоположные направления линий зуба.

Исходный контур

Под исходным контуром (рис. 3.1) *конических* зубчатых колес с круговыми зубьями подразумевают контур зубьев условной рейки, профиль которой и высотные размеры зубьев совпадают с одноименными элементами зубьев плоского исходного колеса в среднем нормальной сечении; шаг и толщину зубьев принимают, соответственно, равными окружному шагу и половине окружного шага плоского исходного колеса посередине ширины зубчатого венца, умноженным на косинус среднего угла наклона линии зубьев плоского исходного колеса; $c = \rho_f = 0,25m_n$.

В технически обоснованных случаях допускается неравенство толщины зуба и ширины впадины по средней линии, изменение величин h_a , c и ρ_f , если это не нарушает правильности зацепления и не препятствует использованию стандартного инструмента.

Конические передачи с круговыми зубьями общего назначения при $m_n > 1$ мм должны выполняться с параметрами исходного контура по ГОСТ 16202–81:

$$\alpha = 20^\circ; h_a^* = 1; c^* = 0,25 \text{ и } \rho_f = 0,25.$$

Примечание. При отсутствии дополнительных указаний везде, где упоминается профиль зуба, имеется в виду профиль в нормальном расчетном сечении.

Выбор коэффициентов смещения и коэффициентов изменения расчетной толщины зуба исходного контура

1. При $u > 1$ шестерню рекомендуется выполнять с положительным смещением x_{n1} , а колесо – с равным ему по величине отрицательным смещением x_{n2} ($x_{n1} + x_{n2} = 0$).

2. При $u \geq 2,5$ зубчатые колеса рекомендуется выполнять не только со смещением, устанавливаемым по п. 1, но и с различной толщиной зуба исходного контура – увеличенной, по сравнению с расчетной ($0,5\pi m_e$), у исходного контура шестерни и, соответственно, уменьшенной у исходного контура колеса.

Для ответственных тяжелоагрессивных передач значения x_τ следует определять из расчета зубьев на изломную прочность.

При расчете коэффициентов для расчета угла ножек и угла головок зубьев конических зубчатых колес с осевой формой II величину диаметра зуборезной головки d_0 принять по табл. П.221, учитывая, что $k_0 = \frac{R}{d_0} = 0,3 - 0,7$.

При проектировании конических зубчатых колес с круговыми зубьями осевой формы II для обеспечения приблизительного постоянства ширины вершинной ленточки по всей длине зуба при определенном сочетании значений β_n , z_1 и u вынужденно принимают $\theta_{a1} \neq \theta_{a2}$ и $\theta_{a2} = \theta_{f1}$, допуская тем самым переменный радиальный зазор в передаче.

В табл. П.222 приведены значения коэффициента угла головки зуба K_a , равного отношению угла головки зуба данного зубчатого колеса к углу ножки зуба сопряженного с ним зубчатого колеса, для передач, выполненных в соответствии с исходным контуром по ГОСТ 16202–81 и с рекомендованными коэффициентами x_{n1} и x_{n2} .

3.2.4.2. Расчет конических зубчатых передач

Таблица 3.20

Алгоритм расчета ортогональных конических зубчатых передач

Точность вычислений значений:		
<ul style="list-style-type: none"> • диаметров – до третьего знака после запятой; • углов – до пятого знака после запятой 		
Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания
Расчетный момент T_n , Нм	на шестерне	T_{n1}
	на колесе	$T_{n2} = u T_{n1} \eta_{з.п}$
Частота вращения шестерни n_1 , об/мин		см. разд. 13.3
Передаточное число u		
Частота вращения колеса n_2 , об/мин	$n_2 = \frac{n_1}{u}$	см. разд. 13.3
Межосевой угол δ , град		90°
<i>Проектный расчет</i>		
Угол наклона зуба β_n	для прямозубых передач	$\beta_n = 0$
	для передач с круговым зубом	расчетный угол наклона зуба β_n может находиться в пределах $0^\circ - 45^\circ$. Рекомендуется принимать одно из значений ряда: $10^\circ; 15^\circ; 20^\circ; 25^\circ; 30^\circ; 35^\circ; 40^\circ; 45^\circ$. Сопряженные зубчатые колеса должны иметь противоположные направления линий зуба
Коэффициент θ_H	для прямозубой передачи	$\theta_H = 1,0$
	для передачи с круговым зубом при $\beta_n = 30 - 40^\circ$	$\theta_H = 1,5$

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания	
Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки между зубьями, $K_{H\alpha}$		для прямозубой передачи	$K_{H\alpha} = 1,0$
		для передачи с круговым зубом	$K_{H\alpha} = 1,25$
Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки по ширине венца, $K_{H\beta}$		назначать по графикам на рис. 3.40 в зависимости от схемы передачи (схемы передач – на рис. 3.39) для передач с круговыми зубьями при $HB_2 \leq 350$ принять: $K_{H\beta} = 1,0$	
Коэффициент, учитывающий влияние проявления погрешностей зацепления на динамическую нагрузку, δ_H		по табл. 3.9	
Коэффициент, учитывающий динамическую нагрузку, возникающую в зацеплении, K_{HV}		$K_{HV} = 1 + \frac{2400 \sqrt[3]{\left(\frac{u+1}{u}\right)^5 (n_{ст. точн.} - 2) \delta_H n_1}}{\sqrt[3]{\sigma_{Hp}^7}}$ <p>$n_{ст. точн.}$ – степень точности передачи (6, 7, 8, 9, 10). При проектном расчете <i>предварительно</i> рекомендуется назначать 7-ю или 8-ю степень точности</p>	
Коэффициент K_m		при консольной установке шестерни	$K_m = 0,6$
		при опорах, расположенных по обе стороны от шестерни	$K_m = 0,8$
Коэффициент ширины зубчатого венца K_{be}		$K_{be} = \frac{2}{\frac{u}{K_m} + K_m} \leq 0,3$	
Допускаемое контактное напряжение σ_{Hp} , МПа		табл. 3.5	
Внешний делительный диаметр шестерни d_{e1} , мм (для стальных шестерни и колеса)		для прямозубой передачи	$d_{e1} \geq 1013 \sqrt[3]{\frac{T_{H1} K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{HV}}{K_{be} (1 - K_{be}) u \theta_H \sigma_{Hp}^2}}$
		для передачи с круговым зубом	
Число зубьев z для прямозубых передач	шестерни z_1	<p>Рекомендуется: $z_1 = \sqrt{(22 - 9 \lg u)^2 + \frac{(6,25 - 4 \lg u) d_{e1}^2}{645}}$.</p> <p>Полученное значение z_1 округлить до ближайшего целого числа $z_{1min} = 18,4 \cos \delta_1$</p>	
	колеса z_2	<p>$z_2 = uz_1$.</p> <p>Полученное значение z_2 округлить до ближайшего целого числа</p>	

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания	
для передач с круговым зубом	шестерни z_1	Рекомендуется: $z_1 = \sqrt{\left[22 - 9 \lg u + \left(\frac{16}{u} - 22 \right) \sin^2 \beta_n \right]^2 + \frac{d_{e1}^2 (6,25 - 4 \lg u)}{645}}$ Полученное значение z_1 округлить до ближайшего целого числа $z_{1\min} = 18,4 \cos \delta_1 \cos^3 \beta$	
	колеса z_2	$z_2 = uz_1$. Полученное значение z_2 округлить до ближайшего целого числа	
	При конструировании конических колес с круговым зубом следует учитывать возможность нарезания их на станке: <ul style="list-style-type: none"> • в интервале числа зубьев 6–100 можно нарезать колесо с любым числом зубьев; • в интервале числа зубьев 100–200 можно нарезать только колеса с числом зубьев, которое можно разложить на множители 		
Передаточное число u (уточненное значение)		$u = \frac{z_2}{z_1}$. Полученное значение u не должно отличаться от заданного более чем на $\pm 3\%$. В противном случае следует выбрать другое значение z_1 и произвести перерасчет z_2 и u	
Число зубьев плоского колеса z_c		$z_c = \sqrt{z_2^2 + z_1^2}$	
Внешнее конусное расстояние R_e		для прямозубой передачи	$R_e = 0,5m_e z_c$
		для передачи с круговым зубом	$R_e = 0,5m_{te} z_c$
Ширина зубчатого венца b , мм		$b = 0,5d_{e1} K_{be} \sqrt{u^2 + 1} = R_e K_{be} \leq 10 \frac{d_{e1}}{z_1}$. Полученное значение округлить до ближайшего большего из ряда стандартных размеров (табл. П.50), учитывая ограничивающее условие	
Модуль m , мм	для прямозубых передач	В качестве расчетного принят внешний окружной модуль m_e . $m_e = \frac{d_{e1}}{z_1}$ При нарезании на зубострогальных станках модуль можно выбирать нестандартным и дробным	Значение m_e округлить до ближайшего по ГОСТ 9563–74 (табл. П.200)
	для передач с круговыми зубьями	В качестве расчетного принят нормальный модуль m_n в середине ширины венца: $m_n = \left(\frac{d_{te}}{z_1} - \frac{b}{z_c} \right) \cos \beta_n;$ $m_{te} = \frac{m_n}{\cos \beta_n} + \frac{b}{z_c}$	Значение m_n округлить до ближайшего по ГОСТ 9563–74 (табл. П.200)

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Внешний делительный диаметр шестерни d_{e1} , мм (уточненное значение)	для прямозубой передачи	$d_{e1} = m_e z_1$
	для передачи с круговым зубом	$d_{te1} = m_{te} z_1$
Внешний делительный диаметр колеса d_{e2} , мм	$d_{e2} = u d_{e1}$	
Коэффициент ширины зубчатого венца K_{be} (уточненное значение)	$K_{be} = \frac{b}{R_e} = \frac{2b}{d_{e1} \sqrt{u^2 + 1}}$	
Угол делительного конуса δ , град	$\delta_2 = \arctg \frac{z_2}{z_1}$	
	$\delta_1 = 90^\circ - \delta_2$	
<i>Проверочный расчет</i>		
1. Проверка на контактную выносливость		
Средний делительный диаметр d_m , мм	для прямозубой передачи	$d_{m1} = m_m z_1$
		$d_{m2} = m_m z_2$
	для передачи с круговым зубом	$d_{m1} = \frac{m_n z_1}{\cos \beta_n}$
		$d_{m2} = \frac{m_n z_2}{\cos \beta_n}$
Окружная скорость v , м/с	$v = 5,236 \cdot 10^{-5} n_1 d_{m1}$	
Степень точности передачи $n_{ст. точн}$ (уточненное значение)	определить по табл. П.194	
Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки между зубьями, $K_{H\alpha}$	для прямозубой передачи	$K_{H\alpha} = 1$
	для передачи с круговым зубом	определить по графику на рис. 3.12 в зависимости от степени точности по нормам плавности (6, 7, 8, 9)
Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки по ширине венца, $K_{H\beta}$	назначать по графикам на рис. 3.26 в зависимости от схемы передачи (рис. 3.39) с учетом уточнения величин K_{be} , u	
	для передач с круговыми зубьями при $HB_2 \leq 350$ принять: $K_{H\beta} = 1,0$	
Коэффициент, учитывающий влияние проявления погрешностей зацепления на динамическую нагрузку, δ_H	определить по табл. 3.9	
Коэффициент, учитывающий влияние разности шагов зацепления зубьев шестерни и колеса, g_0	определить по табл. 3.10	

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Удельная окружная динамическая сила w_{Hv} , Н/мм	$w_{Hv} = \delta_H g_0 v \sqrt{\frac{d_{m1}(u+1)}{u}}$ <p>Если значения w_{Hv}, вычисленные по формуле, превышают предельные значения, указанные в табл. 3.11, их следует принять равными этим предельным значениям</p>	
Динамическая добавка v_H	$v_H = 4,76 \times 10^{-4} \frac{w_{Hv} b d_{m1}}{T_{H1} K_{H\alpha} K_{H\beta}}$	
Коэффициент, учитывающий динамическую нагрузку, возникающую в зацеплении, K_{Hv}	$K_{Hv} = 1 + v_H$	
Коэффициент θ_H	для прямозубой передачи	$\theta_H = 1,0$
	для передачи с круговым зубом при $\beta_n = 30-40^\circ$	$\theta_H = 1,5$
Расчетное напряжение σ_H , МПа	$\sigma_H = 32240 \sqrt{\frac{T_{H1} K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{Hv}}{d_{e1}^3 K_{be} (1 - K_{be}) u \theta_H}}$	
<p>Полученное значение σ_H необходимо сравнить с допускаемым σ_{Hp} (табл. 3.5). Должно выполняться условие: $\sigma_H \leq \sigma_{Hp}$. Недогрузка по контактным напряжениям более 25 % не рекомендуется. Если условие прочности не выполняется, то следует:</p> <ul style="list-style-type: none"> • или увеличить величину внешнего делительного диаметра шестерни d_{e1}, • или назначить другие материалы шестерни и колеса, • или назначить другую термообработку. <p>Затем, после принятой корректировки, следует произвести перерасчет передачи</p>		
2. Проверка на выносливость при изгибе		
Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки между зубьями, $K_{F\alpha}$	определить по графику на рис. 3.41	
Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки по ширине венца, $K_{F\beta}$	принять $K_{F\beta} \approx K_{H\beta}$. Назначать по графикам на рис. 3.40 в зависимости от схемы передачи (схемы передач представлены на рис. 3.39), с учетом уточнения величин K_{be} и u	
	для передач с круговыми зубьями при $HB_2 \leq 350$ принять: $K_{F\beta} \approx K_{H\beta} = 1$	
Коэффициент, учитывающий влияние вида зубчатой передачи, δ_F	для прямозубой передачи	$\delta_F = 0,016$
	для передачи с круговым зубом	$\delta_F = 0,006$

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания	
Коэффициент, учитывающий влияние разности шагов зацепления зубьев шестерни и колеса, g_0		определить по табл. 3.10	
Удельная окружная динамическая сила w_{Fv} , Н/мм		$w_{Hv} = \delta_H g_0 v \sqrt{\frac{d_{m1}(u+1)}{u}}$ Если значения w_{Fv} , вычисленные по формуле, превышают предельные значения, указанные в табл. 3.11, их следует принять равными этим предельным значениям	
Динамическая добавка v_F		$v_F = 4,76 \times 10^{-4} \frac{w_{Fv} b d_{m1}}{T_{H1} K_{F\alpha} K_{F\beta}}$	
Коэффициент, учитывающий динамическую нагрузку в зацеплении, K_{Fv}		$K_{Fv} = 1 + v_F$	
Эквивалентное число зубьев z_v	для прямозубой передачи	$z_{v1} = \frac{z_1}{\cos \delta_1}$	
		$z_{v2} = \frac{z_2}{\cos \delta_2}$	
	для передачи с круговым зубом	$z_{v1} = \frac{z_1}{\cos \delta_1 \cos^3 \beta}$	
		$z_{v2} = \frac{z_2}{\cos \delta_2 \cos^3 \beta}$	
Коэффициент, учитывающий форму зуба, Y_F		Y_{F1} Y_{F2}	Значения Y_F , определенные по графику на рис. 3.17 в зависимости от z_v , умножить на коэффициент, равный 1,2
Расчетное напряжение на переходной поверхности σ_F , МПа	для прямозубой передачи	$\sigma_{F1} = \frac{2280 T_{H1} K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv} Y_{F1}}{b d_{e1} m_e (1 - K_{be})}$	
		$\sigma_{F2} = \sigma_{F1} \frac{Y_{F2}}{Y_{F1}}$	
	для передачи с круговым зубом	$\sigma_{F1} = \frac{1500 T_{H1} K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv} Y_{F1}}{b d_{e1} m_e (1 - K_{be}) \cos \beta_n}$	
		$\sigma_{F2} = \sigma_{F1} \frac{Y_{F2}}{Y_{F1}}$	
Полученные значения σ_{F1} и σ_{F2} необходимо сравнить с допускаемыми σ_{Fp1} и σ_{Fp2} (табл. 3.5). Должны выполняться условия: $\sigma_{F1} \leq \sigma_{Fp1}$; $\sigma_{F2} \leq \sigma_{Fp2}$			

Если условие прочности не выполняется, то следует:

- или увеличить величину модуля m_e (m_n), уменьшив пропорционально z_1 и z_2 (если при этом сохраняется условие $z_1 \geq z_{1min}$); после корректировки следует произвести только перерасчет по проверке на выносливость при изгибе;
- или увеличить величину внешнего делительного диаметра шестерни d_{e1} ;
- или назначить другие материалы шестерни и колеса;
- или назначить другую термообработку.

Затем, после принятой корректировки, следует произвести перерасчет передачи.

Если в итоге приведенных выше расчетов результаты удовлетворяют условиям прочности на контактную и изгибную выносливость, далее необходимо произвести геометрический расчет передачи (табл. 3.21 или табл. 3.22)

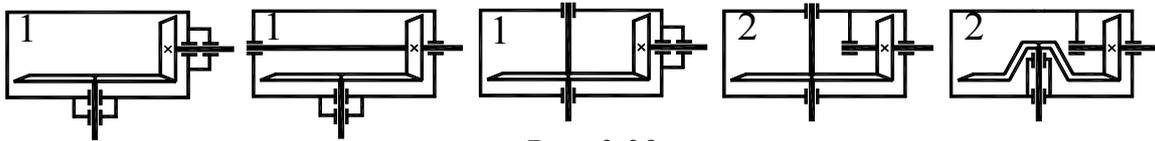


Рис. 3.39

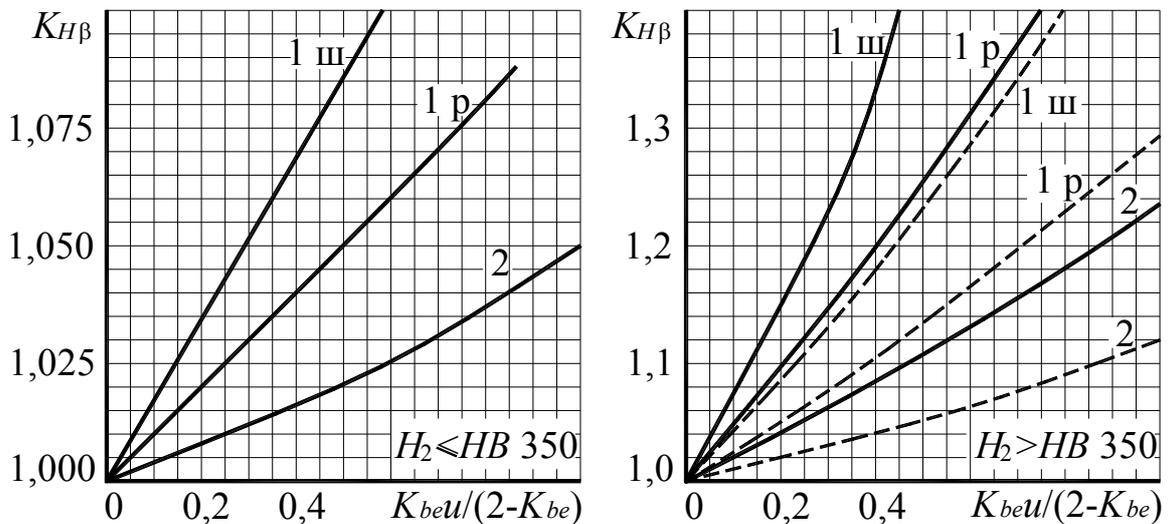
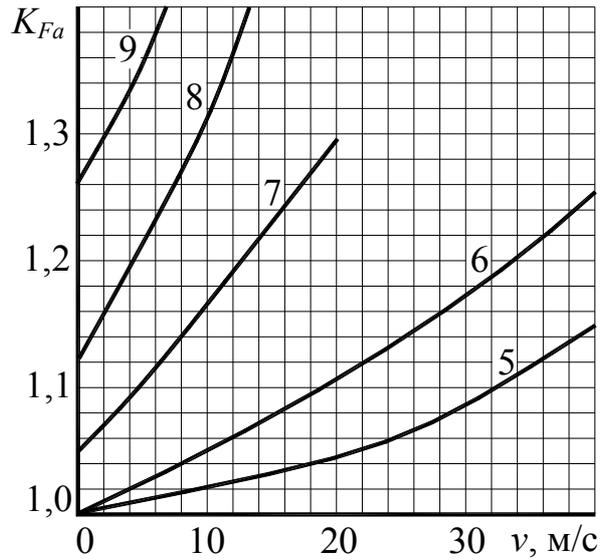


Рис. 3.40. Ориентировочные значения $K_{H\beta}$ для конических передач с межосевым углом $\delta = 90^\circ$ для схем, показанных на рис 3.39 (1 и 2):

ш – шариковые подшипники; р – роликовые подшипники;

————— – для передач с прямыми зубьями;

----- – для передач с круговыми зубьями



Цифры на графике соответствуют степеням точности передачи

Рис. 3.41

Таблица 3.21

Формулы для геометрического расчета конической прямозубой передачи

Схема передачи представлена на рис. 3.38		
Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
<i>Без смещения</i>		
Исходные данные		
Число зубьев z	z_1	
	z_2	
табл. 3.20		
Передаточное число u	табл. 3.20	
Межосевой угол передачи δ		
Внешний окружной модуль m_e , мм		
Нормальный модуль m_n в середине ширины венца, мм		
Внешний торцовый исходный контур		
по ГОСТ 13754–81		
Расчет передачи		
Число зубьев плоского колеса z_c	табл. 3.20	
Внешнее конусное расстояние R_e , мм		
Ширина зубчатого венца b , мм		
Угол делительного конуса δ , град		δ_1
		δ_2
Средний делительный диаметр d_m , мм		d_{m1}
		d_{m2}
Внешний делительный диаметр d_e , мм		d_{e1}
	d_{e2}	

Продолжение табл. 3.21

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания
Среднее конусное расстояние R_m , мм	$R_m = R_e - 0,5b$
Средний окружной модуль m_m , мм	$m_m = m_e \frac{R_m}{R_e}$
Внешняя высота головки зуба h_{ae} , мм	$h_{ae1} = m_e$
	$h_{ae2} = m_e$
Внешняя высота ножки зуба h_{fe} , мм	$h_{fe1} = 1,2m_e$
	$h_{fe2} = 1,2m_e$
Внешняя высота зуба h_e , мм	$h_{e1} = h_{ae1} + h_{fe1} = 2,2m_e$
	$h_{e2} = h_{ae2} + h_{fe2} = 2,2m_e$
Внешняя окружная толщина зуба s_e , мм	$s_{e1} = 0,5\pi m_e$
	$s_{e2} = 0,5\pi m_e$
Угол ножки зуба θ_f , град	$\theta_{f1} = \arctg \frac{h_{fe1}}{R_e}$
	$\theta_{f2} = \arctg \frac{h_{fe2}}{R_e}$
Угол головки зуба θ_a , град	$\theta_{a1} = \theta_{f2}$
	$\theta_{a2} = \theta_{f1}$
Угол конуса вершин δ_a , град	$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{a1}$
	$\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{a2}$
Угол конуса впадин δ_f , град	$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1}$
	$\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2}$
Внешний диаметр вершин зубьев d_{ae} , мм	$d_{ae1} = d_{e1} + 2h_{ae1}\cos\delta_1$
	$d_{ae2} = d_{e2} + 2h_{ae2}\cos\delta_2$
Расстояние от вершины до плоскости внешней окружности вершин зубьев B , мм	$B_1 = 0,5d_{e2} - h_{ae1}\sin\delta_1$
	$B_2 = d_{e1} - 2h_{ae2}\sin\delta_2$
<i>Со смещением</i>	
Исходные данные	
Число зубьев z	z_1
	z_2
Передаточное число u	табл. 3.20
Межосевой угол передачи δ , град	
Внешний окружной модуль m_e , мм	
Внешний торцовый исходный контур	по ГОСТ 13754–81

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания
Расчет передачи		
Число зубьев плоского колеса z_c		табл. 3.20
Внешнее конусное расстояние R_e , мм		
Ширина зубчатого венца b , мм		$b \leq 0,3R_e$; $b \leq 10m_e$
Средний делительный диаметр d_m , мм	d_{m1}	табл. 3.20
	d_{m2}	
Угол делительного конуса δ , град	δ_1	
	δ_2	
Среднее конусное расстояние R_m , мм		$R_m = R_e - 0,5b$
Средний окружной модуль m_m , мм		$m_m = m_e \frac{R_m}{R_e}$
Внутренний окружной модуль m_i , мм		$m_i = m_e \frac{R_e - b}{R_e}$
Коэффициент смещения x		для передач с $HB_{1\text{ пов}} - HB_{2\text{ пов}} \leq 100$:
		$x_1 = 2 \frac{\left(1 - \frac{1}{u^2}\right)}{\sqrt{z_1}}$;
		для передач с $HB_{1\text{ пов}} - HB_{2\text{ пов}} > 100$:
		$x_1 = 0$;
		$x_2 = -x_1$
Коэффициент изменения толщины зуба шестерни (коэффициент тангенциального смещения) x_τ		для передач с $u \geq 2,5$:
		$x_{\tau 1} = 0,03 + 0,008(u - 2,5)$;
		для передач с $u < 2,5$:
		$x_{\tau 1} = 0$
		$x_{\tau 2} = -x_{\tau 1}$
Внешняя высота головки зуба h_{ae} , мм		$h_{ae1} = (h_a^* + x_1)m_e$
		$h_{ae2} = 2h_a^* m_e - h_{ae1}$
Внешняя высота ножки зуба h_{fe} , мм		$h_{fe1} = h_{ae2} + 0,2m_e$
		$h_{fe2} = h_{ae1} + 0,2m_e$
Внешняя высота зуба h_e , мм		$h_{e1} = h_{ae1} + h_{fe1}$
		$h_{e2} = h_{ae2} + h_{fe2}$
Угол ножки зуба θ_f , град		$\theta_{f1} = \arctg \frac{h_{fe1}}{R_e}$
		$\theta_{f2} = \arctg \frac{h_{fe2}}{R_e}$

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания
Угол головки зуба θ_a , град		$\theta_{a1} = \theta_{f2}$
		$\theta_{a2} = \theta_{f1}$
Угол конуса вершин δ_a , град		$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{a1}$
		$\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{a2}$
Угол конуса впадин δ_f , град		$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1}$
		$\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2}$
Внешний делительный диаметр d_e , мм	d_{e1}	табл. 3.20
	d_{e2}	
Внешний диаметр вершин зубьев d_{ae} , мм		$d_{ae1} = d_{e1} + 2h_{ae1}\cos\delta_1$
		$d_{ae2} = d_{e2} + 2h_{ae2}\cos\delta_2$
Расстояние от вершины до плоскости внешней окружности вершин зубьев B , мм		$B_1 = 0,5d_{e2} - h_{ae1}\sin\delta_1$
		$B_2 = 0,5d_{e1} - h_{ae2}\sin\delta_2$

Таблица 3.22

Формулы для геометрического расчета конической передачи с круговыми зубьями. Размеры, мм

Схема передачи представлена на рис. 3.38			
Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания	
Число зубьев z	z_1	табл. 3.20	
	z_2		
Передаточное число u			
Межосевой угол передачи δ , град			
Средний нормальный (расчетный) модуль m_n (если задано m_n), мм			
Внешний окружной модуль m_{te} (если задано m_{te}), мм			
Средний угол наклона зуба (расчетный) β_n , град			
Направление зуба	шестерни		правое (левое)
	колеса		левое (правое)
Внешний торцовый исходный контур			по ГОСТ 16202–81
Расчет передачи			
Число зубьев плоского колеса z_c		табл. 3.20	
Среднее конусное расстояние R_m (при заданном m_n), мм		$R_m = \frac{0,5m_n z_c}{\cos\beta_n}$	
Внешнее конусное расстояние R_e (при заданном m_{te}), мм		табл. 3.20	
Выбор осевой формы зуба		учитываются приведенные в разд. 3.2.4.1.1 рекомендации по выбору осевой формы зуба	

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания
Угол делительного конуса δ , град	δ_1	табл. 3.20
	δ_2	
Ширина зубчатого венца b , мм		
Коэффициент смещения x		<p>для передач с $HB_{1\text{ пов}} - HB_{2\text{ пов}} \leq 100$:</p> $x_1 = 2 \left(1 - \frac{1}{u^2} \right) \sqrt{\frac{\cos^3 \beta_n}{z_1}};$ <p>для передач с $HB_{1\text{ пов}} - HB_{2\text{ пов}} > 100$:</p> $x_1 = 0; \quad x_2 = -x_1$
Коэффициент изменения толщины зуба шестерни (коэффициент тангенциального смещения) x_τ		<p>для передач с $u \geq 2,5$ и $29^\circ \leq \beta_n \leq 40^\circ$:</p> $x_{\tau 1} = 0,11 + 0,01(u - 2,5);$ <p>для передач с $u < 2,5$: $x_{\tau 1} = 0$;</p> $x_{\tau 2} = -x_{\tau 1}$
Внешнее конусное расстояние R_e , мм		табл. 3.20
Внешний окружной модуль m_e (при заданном m_n), мм		
Нормальный модуль в расчетном сечении m_n , мм		
Среднее конусное расстояние R_m , мм		$R_m = \frac{0,5m_n z_c}{\cos \beta_n}$
Расстояние от внешнего торца до расчетного сечения l_e , мм		$l_e = R_e - R_m$
Поправка на ножку зуба h_f^*		<p>величину h_f^* определить по табл. П.223.</p> <p>Поправка h_f^* вводится только при $x_{\tau 1} = 0$ и при двусторонней обработке колеса</p>
Высота ножки зуба в расчетном сечении h_f , мм		$h_{fe1} = (1,2 - x_{n1} + h_f^*)m_n$ $h_{fe1} = (1,2 + x_{n1} + h_f^*)m_n$
Нормальная толщина зуба в расчетном сечении s_n , мм		$s_{n1} = (0,5\pi + 2x_{n1} \operatorname{tg} \alpha_n + x_{\tau 1})m_n$ $s_{n2} = \pi m_n - s_{n1}$
Номинальный диаметр зуборезной головки (шлифовального круга) d_0 , мм		<p>принять по табл. П.221, учитывая, что</p> $k_0 = \frac{R}{d_0} = (0,3 - 0,7)$

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания
Сумма углов ножек шестерни и колеса (только для зубчатых колес с осевой формой II) $\theta_{f\Sigma}$		При $\beta = 0^\circ$ $\theta_{f\Sigma} = \frac{29673}{z_c}$ (в минутах)
		При $\beta \neq 0^\circ$ $\theta_{f\Sigma} = \frac{K}{\sin\beta_n}$ (в минутах)
		$K = \frac{C_1 - C_2 R_m}{z_c}$;
		$C_1 = 10800 \frac{\text{tg}\beta_n}{\text{tg}\alpha_n}$; $C_2 = \frac{2C_1 \sin\beta_n}{d_0}$.
		При $K > 500$ следует уменьшить d_0 или перейти на осевую форму I. При $K \leq 0$ рекомендуется увеличить d_0 и перейти на осевую форму III
Угол ножки зуба θ_f	Осевая форма I	$\theta_{f1} = \text{arc tg} \frac{h_{f1}}{R_m}$
		$\theta_{f2} = \text{arc tg} \frac{h_{f2}}{R_m}$
	Осевая форма II	$\theta_{f1} = \frac{\theta_{f\Sigma} s_{n2}}{\pi m_n}$ (в минутах)
		$\theta_{f2} = \theta_{f\Sigma} - \theta_{f1}$ (в минутах)
	Осевая форма III	$\theta_{f1} = 0$
		$\theta_{f2} = 0$
Угол головки зуба θ_a	Осевая форма I	$\theta_{a1} = \theta_{f2}$
		$\theta_{a2} = \theta_{f1}$
	Осевая форма II	$\theta_{a1} = K_{a1} \theta_{f2}$.
		Значение K_{a1} определить по табл. П.222 $\theta_{a2} = K_{a2} \theta_{f1}$.
	Осевая форма III	Значение K_{a1} определить по табл. П.222 $\theta_{a1} = 0$
		$\theta_{a2} = 0$
Увеличение высоты головки зуба при переходе от расчетного сечения на внешний торец δh_{ae} , мм		$\Delta h_{ae1} = l_e \text{tg}\theta_{a1}$
		$\Delta h_{ae2} = l_e \text{tg}\theta_{a2}$

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания
Увеличение высоты ножки зуба при переходе от расчетного сечения на внешний торец δh_{fe} , мм		$\Delta h_{fe1} = l_e \operatorname{tg} \theta_{f1}$
		$\Delta h_{fe2} = l_e \operatorname{tg} \theta_{f2}$
Уменьшение высоты головки зуба в расчетном сечении δh_a , мм		$\delta h_{a1} = (b - l_e)(\operatorname{tg} \theta_{f2} - \operatorname{tg} \theta_{a1})$
		$\delta h_{a2} = (b - l_e)(\operatorname{tg} \theta_{f1} - \operatorname{tg} \theta_{a2})$
Высота головки зуба в расчетном сечении h_a , мм		$h_{a1} = (1 + x_{n1})m_n - \delta h_{a1}$
		$h_{a2} = (1 - x_{n1})m_n - \delta h_{a2}$
Внешняя высота головки зуба h_{ae} , мм		$h_{ae1} = h_{a1} + \Delta h_{ae1}$
		$h_{ae2} = h_{a2} + \Delta h_{ae2}$
Внешняя высота ножки зуба h_{fe} , мм		$h_{fe1} = h_{f1} + \Delta h_{fe1}$
		$h_{fe2} = h_{f2} + \Delta h_{fe2}$
Внешняя высота зуба h_e , мм		$h_{e1} = h_{ae1} + h_{fe1}$
		$h_{e2} = h_{ae2} + h_{fe2}$
Угол конуса вершин δ_a , град		$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{a1}$
		$\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{a2}$
Угол конуса впадин δ_f , град		$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1}$
		$\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2}$
Средний делительный диаметр d_m , мм	d_{m1}	табл. 3.20
	d_{m2}	
Внешний делительный диаметр d_e , мм	d_{e1}	
	d_{e2}	
Внешний диаметр вершин зубьев d_{ae} , мм		$d_{ae1} = d_{e1} + 2h_{ae1} \cos \delta_1$
		$d_{ae2} = d_{e2} + 2h_{ae2} \cos \delta_2$
Расстояние от вершины до плоскости внешней окружности вершин зубьев B , мм		$B_1 = 0,5d_{e2} - h_{ae1} \sin \delta_1$
		$B_2 = 0,5d_{e1} - h_{ae2} \sin \delta_2$

Таблица 3.23

Формулы для определения величин составляющих силы
в зацеплении конической передачи

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания	
Расчетный крутящий момент, Нм	T_{H1}	табл. 3.20	
	T_{H2}		
Угол профиля в нормальном сечении, град		для прямозубой передачи	$\alpha = 20^\circ$
		для передачи с круговым зубом	$\alpha_n = 20^\circ$
Угол делительного конуса δ , град	δ_1	табл. 3.20	
	δ_2		
Средний делительный диаметр d_m , мм	d_{m1}	табл. 3.20	
	d_{m2}		
Средний угол наклона зуба β_n , град			
Окружная составляющая силы в зацеплении F_t , Н	для прямозубой передачи	$F_t = F_{t12} = F_{t21} = 2000 \frac{T_{H1}}{d_{m1}} = 2000 \frac{T_{H2}}{d_{m2}}$	
	для передачи с круговым зубом		
Радиальная составляющая силы в зацеплении F_r , Н	для прямозубой передачи	$F_{r1} = F_{r21} = F_t \operatorname{tg} \alpha \cos \delta_1$	
		$F_{r2} = F_{r12} = F_t \operatorname{tg} \alpha \sin \delta_1$	
	для передачи с круговым зубом	$F_{r1} = F_{r21} = F_t \frac{\operatorname{tg} \alpha_n \cos \delta_1 \mp \sin \beta_n \sin \delta_1}{\cos \beta_n}$	
		$F_{r2} = F_{r12} = F_t \frac{\operatorname{tg} \alpha_n \cos \delta_2 \pm \sin \beta_n \sin \delta_2}{\cos \beta_n}$	
Осевая составляющая силы в зацеплении F_a , Н	для прямозубой передачи	$F_{a1} = F_{a21} = F_t \operatorname{tg} \alpha \sin \delta_1$	
		$F_{a2} = F_{a12} = F_t \operatorname{tg} \alpha \cos \delta_1$	
	для передачи с круговым зубом	$F_{a1} = F_{a21} = F_t \frac{\operatorname{tg} \alpha_n \sin \delta_1 \pm \sin \beta_n \cos \delta_1}{\cos \beta_n}$	
		$F_{a2} = F_{a12} = F_t \frac{\operatorname{tg} \alpha_n \sin \delta_2 \mp \sin \beta_n \cos \delta_2}{\cos \beta_n}$	
<p>В вышеприведенных формулах верхний знак в \mp и в \pm следует брать при совпадении направлений винтовой линии зубьев рассматриваемого зубчатого колеса (если смотреть на него с вершины делительного конуса) и внешнего момента, нижний знак – в противном случае.</p> <p>На рисунке в табл. направление винтовой линии у шестерни <i>правое</i>, а у колеса – <i>левое</i></p>			

Таблица 3.24

Ориентировочные значения коэффициента полезного действия одноступенчатых конических передач на подшипниках качения

Вид передачи	КПД
Закрытая с жидкой смазкой обычного изготовления с окружной скоростью $v \leq 12$ м/с	0,97–0,98
Открытая с пластичной смазкой	0,95–0,97

3.2.4.3. Правила выполнения чертежей

Правила выполнения чертежей зубчатых конических колес установлены ГОСТ 2.405–75.

На чертеже *конического* зубчатого колеса должны быть:

- изображены виды и разрезы конического колеса;
- нанесена необходимая текстовая часть;
- указаны габаритные и другие размеры, необходимые для изготовления и контроля параметров колеса;
- условные обозначения баз;
- допуски формы и расположения поверхностей;
- параметры шероховатости;
- технические требования:
- требования к материалу, заготовке, термической обработке;
- указания о размерах (размеры для справок, радиусы закруглений и т. п.);
- неуказанные предельные отклонения размеров;
- параметры, характеризующие зубчатый венец:
 - внешний диаметр вершин зубьев;
 - расстояние от базовой плоскости до плоскости внешней окружности вершин зубьев;
 - угол конуса вершин зубьев;
 - угол дополнительного конуса или его дополнительный угол;
 - ширина зубчатого венца по образующей делительного конуса;
 - размер фасок или радиусы кривизны линий притупления на кромках зубьев (допускается помещать эти размеры в технических требованиях);
 - расстояние от базовой плоскости до вершины делительного конуса (базовое расстояние);
 - шероховатость боковых поверхностей зубьев.

Таблица параметров (рис. 3.20) должна состоять из трех частей, которые разделяются сплошными основными линиями.

Первая часть содержит *основные параметры* для нарезания зубьев, в которой должны быть указаны:

- внешний окружной модуль;
- число зубьев колеса;
- тип зуба надписью «Прямой», «Тангенциальный» или «Круговой»;
- направление линии зуба надписью «Правое» или «Левое»;
- исходный контур:
 - стандартный – со ссылкой на соответствующий стандарт;
 - нестандартный – угол профиля;

- коэффициент высоты головки;
- коэффициент радиального зазора;
- коэффициент радиуса кривизны переходной кривой;
- коэффициент смещения;
- коэффициент изменения толщины зуба x_τ проставляют с соответствующим знаком; при отсутствии изменения расчетной толщины зуба следует проставлять 0;
- угол делительного конуса;
- степень точности и вид сопряжения по нормам бокового зазора (приводят по соответствующему стандарту с указанием его обозначения).

Во второй части таблицы параметров венца приводят данные для контроля взаимного положения разноименных профилей зубьев (в данном курсовом проекте не разрабатываются).

В третьей части таблицы должны быть приведены справочные данные:

- средний делительный диаметр;
- межосевой угол передачи;
- среднее конусное расстояние;
- внешнее конусное расстояние;
- угол конуса впадин;
- внешняя высота зуба;
- обозначение чертежа сопряженной шестерни;
- при необходимости приводят прочие справочные данные (например, внешнюю головку зуба h_{ae} ; внешнюю окружную толщину зуба s_e – для прямозубого колеса; среднюю нормальную толщину зуба s_n – для колеса с круговыми зубьями).

Обозначения данных в табл. – по ГОСТ 2.405–75.

Неиспользованные строки в таблице допускается исключать или прочеркивать.

В случае, когда передний торец зубчатого колеса выполняют *плоскосрезанным*, размер ширины зубчатого венца на чертеже указывают как *справочный* (рис. 3.43).

На изображении конического колеса указывают положение *измерительного сечения* (рис. 3.42, 3.43).

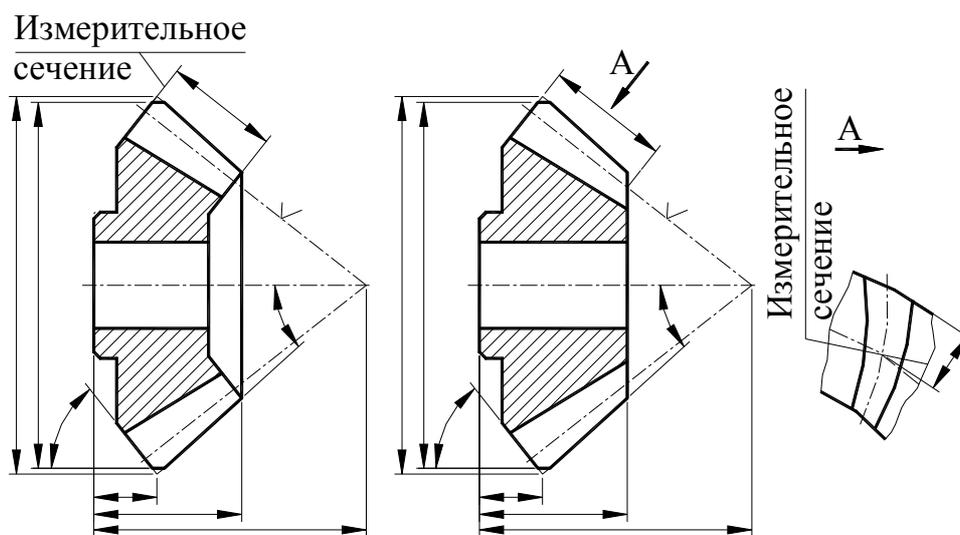


Рис. 3.42

Рис. 3.43

При *изображении видов и сечений зубчатых конических колес* следует руководствоваться следующими основными правилами.

1. Зубья зубчатых колес конических передач вычерчивают в осевых разрезах и сечениях. В остальных случаях зубья не вычерчивают и изображаемые детали ограничивают поверхностями выступов (рис. 3.44–3.45). Если необходимо показать профиль зуба, вычерчивают зуб на выносном элементе. Допускается показывать их на ограниченном участке изображения детали (рис. 3.45).

2. Окружности и образующие конусов выступов зубьев показывают сплошными основными линиями, в том числе и в зоне зацепления (рис. 3.44–3.46).

3. На чертежах зубчатых колес показывают делительные окружности, делительные линии, образующие делительных конусов и окружности больших оснований делительных конусов (рис. 3.44–3.46).

4. На сборочных чертежах конических зубчатых передач показывают начальные окружности, начальные линии, образующие начальных поверхностей и окружности больших оснований начальных конусов (рис. 3.44–3.46).

5. Делительные, начальные, расчетные окружности и линии, образующие делительных, начальных и расчетных поверхностей, окружности больших оснований делительных и начальных конусов показывают штрихпунктирными тонкими линиями.

6. Окружности и образующие поверхностей впадин зубьев в разрезах и сечениях показывают на всем протяжении сплошными основными линиями.

7. Если секущая плоскость проходит перпендикулярно к оси зубчатого колеса, то зубчатые колеса, как правило, показывают нерассеченными.

При необходимости показать зубчатые колеса рассеченными, применяют местный разрез и проводят штриховку до линии поверхности впадин (рис. 3.44–3.46).

Если секущая плоскость проходит через оси обоих зубчатых колес, находящихся в зацеплении, то на разрезе в зоне зацепления зуб одного из колес (предпочтительно ведущего) показывают расположенным перед зубом сопрягаемого колеса (рис. 3.46, *а*).

8. Если необходимо показать направление зубьев зубчатого колеса, то на изображение поверхности зубьев наносят (как правило, вблизи оси) три сплошных тонких линии с соответствующим наклоном (рис. 3.46, *б*).

На изображении зубчатого зацепления направление зубьев указывают только на одном из элементов зацепления (рис. 3.46, *б*).

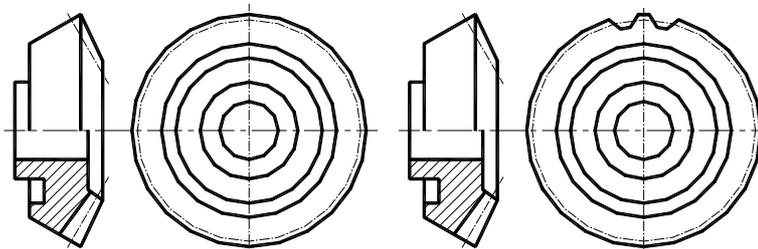


Рис. 3.44

Рис. 3.45

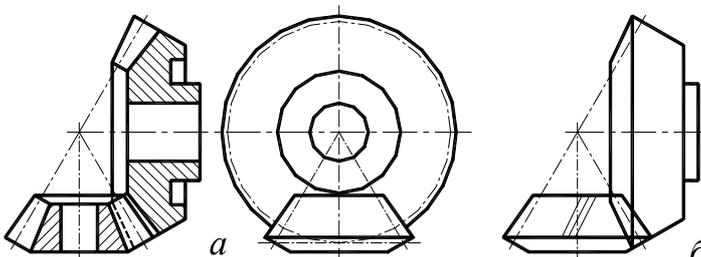


Рис. 3.46

3.2.4.4. Конструирование конических зубчатых колес

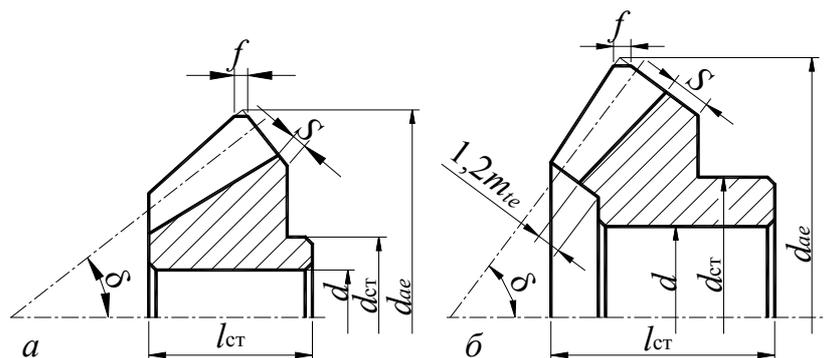


Рис. 3.47

Конструктивные формы конических зубчатых колес с внешним диаметром вершин зубьев $d_{ae} \leq 120$ мм показаны на рис. 3.47. При угле делительного конуса $\delta \leq 30^\circ$ колеса выполняют по рис. 3.47, а, а при угле $\delta \geq 30^\circ$ – по рис. 3.47, б.

Если угол делительного конуса находится между 30° и 45° , то допускаются обе формы конических колес.

Размер ступицы определяют по соотношениям для цилиндрических зубчатых колес (разд. 3.2.3.4).

На рис. 3.48 показана форма конических зубчатых колес при внешнем диаметре вершин зубьев $d_{ae} > 120$ мм.

По рис. 3.48 конструируют колеса при единичном и мелкосерийном производстве. Колеса меньших диаметров изготавливают из прутка, больших – свободной ковкой с последующей токарной обработкой.

Внешние углы зубьев притупляют фаской

$$f \approx 0,5m, \quad (3.13)$$

обрабатывая колеса по внешнему диаметру d_{ae} параллельно оси посадочного отверстия.

Ширину S (в мм) принимают равной:

$$S = 2,5m_{te} + 2 \text{ мм.} \quad (3.14)$$

Торец зубчатого венца шириной

$$b = (1-1,1)S \quad (3.15)$$

используют для установки заготовки при нарезании зубьев.

Для уменьшения объема точной механической обработки выполняют выточки глубиной (1–2) мм.

При внешнем диаметре $d_{ae} > 180$ мм с целью экономии дорогостоящих сталей колеса иногда выполняют составными.

В зависимости от размеров колеса зубчатый венец крепят к ступице или к фланцу вала болтами, установленными без зазора, – «под развертку» (рис. 3.49, а), либо заклепками (рис. 3.49, б). Зубчатый венец располагают так, чтобы осевая сила, возникающая в зацеплении, была направлена на опорный фланец. Центрирование зубчатого венца, как правило, производят по диаметру D (рис. 3.49).

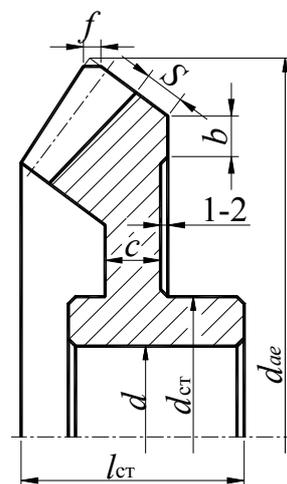


Рис. 3.48

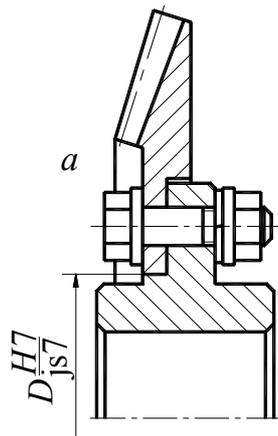


Рис. 3.49

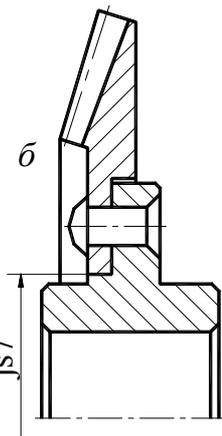
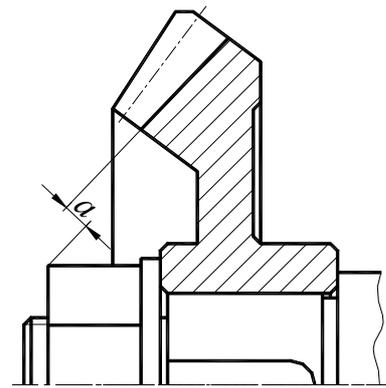


Рис. 3.50



Широкое применение имеют конические колеса с *круговыми зубьями*, которые нарезают резцовыми головками, закрепляя заготовку на оправке. Чтобы такое нарезание можно было осуществить, необходимо предусмотреть свободный выход инструмента – размер a (рис. 3.50):

$$a \geq 0,5m_{te}, \quad (3.16)$$

где m_{te} – внешний окружной модуль.

3.2.4.5. Конструирование валов-шестерен

Конструирование конических валов-шестерен производится аналогично конструированию цилиндрических валов-шестерен, которое описано в разд. 3.2.3.6.

На рис. 3.51 показан вариант исполнения конического вала-шестерни.

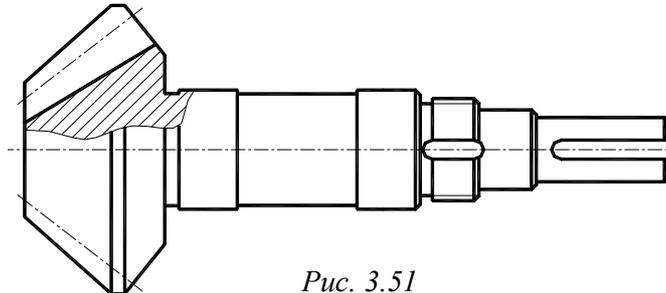


Рис. 3.51

3.2.4.6. Допуски конических передач

Допуски конических зубчатых передач определяются ГОСТ 1758–81 и ГОСТ 9368–81.

Допуски распространяются на конические передачи внешнего зацепления с прямыми и круговыми зубьями со средним делительным диаметром зубчатых колес до 4000 мм, средним нормальным модулем от 1 до 16 мм, с прямолинейным профилем исходного контура и номинальным углом его профиля 20° .

3.2.4.6.1. Степени точности и виды сопряжения

1. Степени точности зубчатых колес и передач обозначают в порядке убывания точности цифрами 6, 7, 8, 9, 10.

2. Для каждой степени точности зубчатых колес и передач установлены *нормы*: кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев зубчатых колес в передаче.

3. Допускается *комбинирование норм* кинематической точности зубчатых колес и передач, норм плавности работы и норм контакта зубьев различных степеней точности.

4. При комбинировании *норм разных степеней* точности:

- нормы плавности работы зубчатых колес и передач могут быть не более, чем на две степени, точнее или одну степень грубее норм кинематической точности;
- нормы контакта зубьев не могут назначаться по степеням точности, более грубым, чем нормы плавности.

5. Независимо от степени точности зубчатых колес и передач установлены виды сопряжений зубчатых колес в передаче (табл. 3.25) и соответствующие им гарантированные боковые зазоры, обозначаемые буквами *a, b, c, d*.

Пример обозначения точности передачи или пары со степенью 7 по всем трем нормам точности и видом сопряжения зубчатых колес *C*:

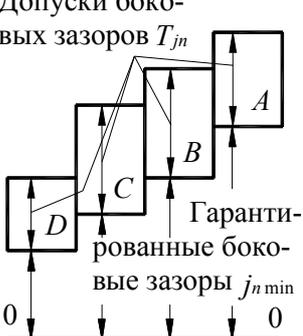
7–C ГОСТ 1758–81.

Пример обозначения точности передачи со степенью точности 7, гарантированным боковым зазором 400 мкм (не соответствующим ни одному из указанных видов сопряжения):

7–400 ГОСТ 1758–81.

Таблица 3.25

Виды сопряжений и величины гарантированных боковых зазоров

 Допуски боковых зазоров T_{jn}	Вид сопряжения	Диапазон степеней кинематической точности передач
	<i>A</i>	6–10
<i>B</i>	6–10	
<i>C</i>	6–9	
<i>D</i>	6–9	

Примечание: приведенные в табл. диапазоны степеней точности являются ориентировочными при выборе боковых зазоров

6. При комбинировании норм разных степеней точности точность зубчатых колес и передач обозначают последовательным написанием *трех цифр и буквы*:

- первая цифра означает степень по нормам кинематической точности;
- вторая цифра означает степень по нормам плавности работы;
- третья цифра означает степень по нормам контакта зубьев;
- буква означает вид сопряжения.

Между собой цифры и буквы разделяются тире.

Пример обозначения точности передачи со степенью 8 по нормам кинематической точности, со степенью 7 – по нормам плавности работы, со степенью 6 – по нормам контакта зубьев, с видом сопряжения *B*:

8–7–6–B ГОСТ 1758–81.

Пример обозначения точности передачи со степенью 8 по нормам кинематической точности, со степенью 7 – по нормам плавности работы, со степенью 6 по нормам контакта зубьев, с видом сопряжения *B*:

8–7–6–B ГОСТ 1758–81.

3.2.4.6.2. Нормы точности

1. Допуски и предельные отклонения по нормам кинематической точности, нормам плавности работы и нормам контакта зубьев для различных степеней точности зубчатых колес и передач устанавливаются по табл. П.224–П.230.

2. Правила определения суммарного пятна контакта, относительных размеров пятна контакта сопряженных поверхностей зубьев, место его расположения на этих поверхностях назначаются конструктором передачи в зависимости от ее служебного назначения, степени нагруженности, жесткости и геометрических особенностей рабочих поверхностей зубьев зубчатых колес.

Если не указаны специальные требования по нагрузке (торможению) зубчатой передачи, пятно контакта устанавливается при легком торможении, обеспечивающем непрерывное контактирование зубьев обоих колес. Зона касания и ее расположение на поверхности зуба устанавливаются в зависимости от требований к данной передаче или в соответствии с табл. П.231.

Нормы точности f_α и интервалы значения ε_β , указанные в табл. П.230 и П.228, относятся к зубчатым передачам с номинальными относительными размерами пятна контакта по длине зубьев в 70 %.

При других (измененных) номинальных относительных размерах пятна контакта зубьев по их длине значения f_α и ε_β в табл. П.230 и П.228 должны быть изменены в отношениях:

$$\begin{aligned} (f_a) &= \frac{f_\alpha a}{(a)}; \\ (\varepsilon_\beta) &= \frac{\varepsilon_\beta a}{(a)}, \end{aligned} \quad (3.17)$$

где a – номинальный относительный размер пятна контакта по длине зубьев, равный 70 %; (a) – измененный номинальный размер пятна контакта по длине зубьев, отличный от 70 %; (f_α) и (ε_β) – измененные значения норм пятна контакта и коэффициента осевого перекрытия.

3. Коэффициент перекрытия в зависимости от степени точности:

Степень точности	6–7	8
Коэффициент осевого перекрытия ε_β	1,55	2,0

4. Зависимости предельных отклонений и допусков от геометрических параметров зубчатых колес и передач даны в табл. П.235.

3.2.4.6.3. Нормы бокового зазора

Величины гарантированного бокового зазора $f_{n \min}$ для регулируемых передач с различными видами сопряжений устанавливаются независимо от степеней точности и их комбинирования по табл. П.233.

Гарантированный боковой зазор в передаче обеспечивается выбором предельного отклонения межосевого угла передачи E_δ (табл. П.234).

3.3. Червячные передачи

3.3.1. Общие сведения

Червячные передачи относятся к *гиперboloидным* передачам, у которых оси колес перекрещиваются.

При буквенных обозначениях, общих для червяка и колеса, (d , d_a и др.), параметры, относящиеся к червяку, помечаются индексом 1, к колесу – индексом 2.

Термины и обозначения червячных передач регламентируются ГОСТ 18498–89.

Характеристика передачи

Ведущим (входным) звеном обычно является червяк; лишь иногда в ускоряющих передачах ведущим (выходным) является колесо.

Основные достоинства червячных передач – плавность и относительная бесшумность, возможность реализации большого передаточного числа в одной ступени.

Основной недостаток – низкий КПД.

Смещение (корригирование) осуществляют у червяка (чаще всего – с целью получения стандартного межосевого расстояния).

В червячных передачах необходимо предусматривать возможность регулирования при сборке редуктора положения колеса вдоль его оси для совмещения с осевой плоскостью червяка.

Основные параметры

Схема и основные элементы червячной передачи показаны на рис. 3.52.

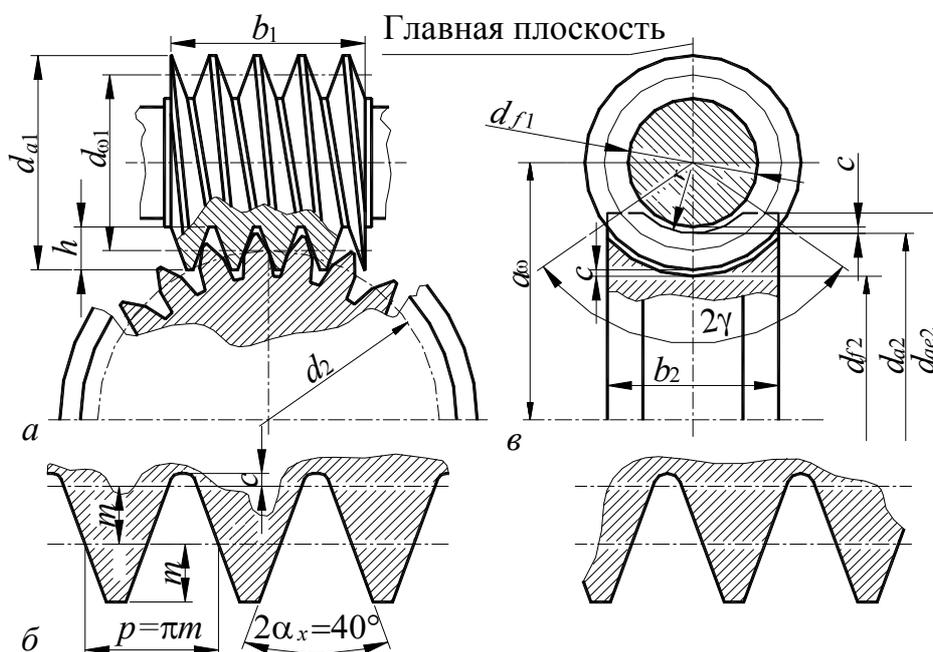


Рис. 3.52

Модули m цилиндрических червячных передач, определяемые в осевом сечении червяка, приведены в табл. П.236.

Величины коэффициентов диаметра червяка q приведены в табл. П.237.

Червяки

ГОСТ 18498–89 и ГОСТ 19036–94 предусматривают следующие основные типы цилиндрических червяков:

- архимедов червяк (ZA);
- эвольвентный червяк ($Z1$);
- с прямолинейным профилем витка ($ZN1$);
- с прямолинейным профилем впадины ($ZN2$);
- цилиндрический, образованный конусом ($ZK1$).

Наиболее распространены архимедовы червяки (ZA), их обычно не шлифуют. Для силовых передач предпочтительны:

- эвольвентные червяки ($Z1$);
- червяки, образованные конусом (ZK).

Эти червяки подвергают шлифованию.

Исходный червяк – по ГОСТ 19036–81.

В передачах с *однозаходным* червяком происходят большие потери на трение. Такие передачи рекомендуется применять при кратковременных периодах работы и в кинематических (отсчетных) механизмах, так как однозаходные червяки, как правило, точнее многозаходных.

Направление витков следует назначать *правое*; левое направление витков применяют лишь в особых случаях.

Червячные колеса

Число зубьев червячного колеса z_2 , выбирают в зависимости от передаточного отношения и числа заходов червяка.

В силовых передачах желательно назначать такую заходность червяка, чтобы число зубьев червячного колеса z_2 было в диапазоне 30–70.

При z_2 , близком к нижнему пределу, несколько уменьшаются габариты передачи; но при этом снижается ее коэффициент полезного действия, так как приходится выполнять червяки с малым числом заходов z_1 . Поэтому z_2 из диапазона 30–50 рекомендуется лишь при сравнительно небольших передаваемых мощностях.

При больших мощностях следует стремиться к повышению коэффициента полезного действия, увеличивая число зубьев червячного колеса z_2 до 60–70.

Применять z_2 более 80 не рекомендуется, так как в этом случае обычно становится критичной прочность зубьев на изгиб, особенно для бронз с высокой износостойкостью.

Назначать z_2 менее 28 не следует во избежание подреза зуба. Если требуется использовать z_2 менее 28, то следует применять смещение исходного контура (инструмента), как у цилиндрических зубчатых колес.

При нарезании червячных колес *летучими резцами* число зубьев колеса z_2 по возможности не должно содержать *общих множителей* с числом заходов червяка z_1 . Это достигается при сохранении стандартных параметров червяка (z_1 , m и q) заменой, например, $z_2 = 32$ на $z_2 = 31$ или 33; $z_2 = 36$ на $z_2 = 35$ или 37 и т. п. Для этих передач, чтобы не выходить за пределы допустимых отклонений от u и не иметь $x > 1$, требуется применять многозаходные летучие резцы (по одному на заход), или же z_1 раз сместить оправку с летучим резцом в направлении ее оси на величину осевого шага, или же z_1 раз повернуть заготовку колеса на один угловой шаг.

Число зубьев z_2 стандартом не регламентируется. Их значения, приведенные в табл. П.238, подобраны для нарезания колес червячными фрезами с учетом дости-

жения по возможности одинаковых значений передаточных чисел u для соседних межосевых расстояний.

Для червячных редукторов, выпускаемых серийно, данные табл. П.238 являются стандартными. В ней приведены сочетания основных параметров a_w , u , m , q , z_1 , а также числа зубьев червячных колес z_2 , соответствующие принятым основным параметрам, величины коэффициентов смещения червяка x и фактические передаточные числа.

При проектировании червячных передач следует:

- передаточное число u назначать из стандартного ряда (табл. П.239);
- число заходов червяка z_1 , число зубьев червячного колес z_2 , коэффициент диаметра червяка q и межосевое расстояние a_w назначать из стандартных рядов по табл. П.240.

3.3.2. Материалы червяков и червячных колес. Назначение твердости и термообработки

3.3.2.1. Общие сведения

Основной причиной выхода из строя зубчатых колес является повреждение зубчатых венцов в результате *усталостного выкрашивания, износа и поломок зубьев*. Наименьшая интенсивность изнашивания в червячной паре обеспечивается, если червяк имеет высокую твердость ($H > 45HRC$), а его рабочие поверхности отполированы. Поэтому для червяков используются стали марок 45, 40X, 40XH, 35XГСА, закаленные до твердости $(45 - 55)HRC$ с последующей шлифовкой и полированием.

Широко применяются червяки из сталей 20X, 12XН3А, 18XГТ и другие, подверженные цементации и из сталей 38X2МЮА, 38X2Ю и другие, упрочняемые азотированием. В этом случае достигается твердость поверхностей червяка $(56 - 63)HRC$, а финишную обработку производят шлифованием и полированием.

В качестве материалов для изготовления *венцов червячных колес* червячных передач используются бронзы, латуни и серые чугуны, которые условно делят на три группы:

- группа I – оловянные бронзы;
- группа II – безоловянные бронзы и латуни;
- группа III – серые чугуны (применяют для изготовления малонагруженных или редко работающих передач, в которых габариты и масса не имеют определяющего значения).

Выбор марки материала червячного колеса зависит от скорости скольжения и производится по табл. П.4. Скорость скольжения V_s , мм, определяется по эмпирической формуле:

$$V_s = 0,00045n_1 \sqrt[3]{T_2}, \quad (3.18)$$

где T_2 – вращающий момент на валу червячного колеса, Н·м; n_1 – частота вращения червяка, об/мин.

3.3.2.2. Определение допускаемых напряжений для материалов венцов червячных колес

Таблица 3.26

Алгоритм определения допускаемых напряжений $\sigma_{Hр2}$ и $\sigma_{Fр2}$ для венцов колес из оловянных бронз при шлифованных и полированных витках червяков с твердостью рабочих поверхностей более 45 HRC

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания	
Исходные данные			
Расчетный момент T_H , Н·м	на червяке	T_{H1}	см. разд. 13.2 и 13.3
	на червячном колесе	$T_{H2} = uT_{H1}\eta_{ч.п}$	
Частота вращения червяка n_1 , об/мин	см. разд. 12.2 и 13.3		
Передаточное число u			
Частота вращения колеса n_2 , об/мин	$n_2 = \frac{n_1}{u}$	см. разд. 12.2 и 13.3	
Число циклов перемен напряжений N_c	на червяке	$N_{c1} = 60n_1t_h$	значение срока службы привода t_h , ч – из задания на проект (разд. 1.7)
	на червячном колесе	$N_{c2} = 60n_2t_h$	
<i>Контактные напряжения</i>			
Предел прочности материала венца червячного колеса $\sigma_{в2}$	определить по табл. П.4		
Допускаемое контактное напряжение $\sigma_{Hр2}$, МПа	$\sigma_{Hр2} = 0,9\sigma_{в2}\sqrt[8]{\frac{10^7}{N_{c2}}}$		
<i>Изгибные напряжения</i>			
Допускаемое напряжение изгиба $\sigma_{Fр2}$, МПа	при нереверсивной нагрузке	$\sigma_{Fр2} = (0,25\sigma_{T2} + 0,03\sigma_{в2})\sqrt[9]{\frac{10^6}{N_{c2}}}$	
	при реверсивной нагрузке	$\sigma_{Fр2} = 0,16\sigma_{в2}\sqrt[9]{\frac{10^6}{N_{c2}}}$	

3.3.2.3. Расчет червячной передачи

Таблица 3.27

Алгоритм расчета червячных передач

Точность вычислений значений:			
<ul style="list-style-type: none"> • диаметров – до третьего знака после запятой; • углов – до пятого знака после запятой 			
Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания	
Расчетный момент T_H , Нм	на червяке	T_{H1}	см. разд. 13.3
	на червячном колесе	$T_{H2} = uT_{H1}\eta_{ч.п}$	

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Частота вращения червяка n_1 , об/мин	см. разд. 13.3	
Передаточное число u		
Частота вращения червячного колеса n_2 , об/мин	$n_2 = \frac{n_1}{u}$	см. разд. 13.3
<i>Проектный расчет</i>		
Число заходов червяка z_1	Назначить по табл. 3.28 в зависимости от величины передаточного числа u	
Число зубьев червячного колеса z_2	$z_2 = uz_1$ Полученное значение z_2 округлить до ближайшего целого числа	
Коэффициент диаметра червяка q	$q = 0,33z_2$. Полученное значение q округлить до ближайшего стандартного значения (табл. П.237). $q_{\min} = 0,33z_2 - 2$; $q_{\max} = 0,33z_2 + 2$	
Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки по ширине венца, $K_{H\beta}$	$K_{H\beta} = 1$ (при постоянной нагрузке)	
Коэффициент, учитывающий точность передачи, K_a	Назначить по табл. 3.29 в зависимости от степени точности передачи. При проектном расчете предварительно принять 7-ю или 8-ю степень точности	
Допускаемое контактное напряжение $\sigma_{H\beta 2}$, МПа	табл. 3.26	
Делительный диаметр колеса d_2 , мм	$d_2 = 630 \sqrt[3]{\frac{T_{H2} K_{H\beta} z_2}{K_a \sigma_{H\beta 2}^2 q}}$	
Осовой модуль зацепления m , мм	$m = \frac{d_2}{z_2}$. Полученное значение m округлить до ближайшего стандартного значения по табл. П.236	
Делительный диаметр червяка d_1 , мм	$d_1 = qm$	
Делительный диаметр колеса d_2 , мм (уточненное значение)	$d_2 = z_2 m$	

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Межосевое расстояние a_w , мм	$a_w \approx 0,5(d_1 + d_2)$. Полученное значение a_w округлить до ближайшего большего стандартного значения по табл. П.240	
Коэффициент смещения червяка x	$x = \frac{a_w}{m} - \frac{z_2 + q}{2}$. Коэффициент смещения червяка рекомендуется принимать в пределах $1 \geq x \geq -1$. Если значение x выходит за указанные выше границы, необходимо изменить значение z_2 и (или) q , а также произвести перерасчет передачи. При этом рекомендуется изменять z_2 не более чем на 2 зуба, чтобы не превысить допускового отклонения фактического передаточного числа u от заданного ($\Delta u \leq \pm 4\%$). Значение q должно остаться в границах: $(0,33z_2 - 2) \leq q \leq (0,33z_2 + 2)$	
Число зубьев червячного колеса z_2 (уточненное значение)	Величина z_2 , полученная после корректировки при расчете коэффициента смещения червяка x	
Коэффициент диаметра червяка q (уточненное значение)	Величина q , полученная после корректировки при расчете коэффициента смещения червяка x	
Передаточное число u_ϕ (фактическое значение)	$u_\phi = \frac{z_2}{z_1}$	
Отклонение фактического передаточного числа u от заданного	$\Delta u = \frac{u_\phi - u}{u} 100\%$. Должно выполняться условие $\Delta u \leq 4\%$	
Делительный угол подъема γ	$\gamma = \arctg \frac{z_1}{q}$	
Скорость скольжения v_s , м/с	$v_s = 5,236 \times 10^{-5} n_1 \frac{d_1}{\cos \gamma}$	
Степень точности передачи $n_{ст. точн}$	при $v_s \leq 10$ м/с	7-я степень точности
	при $v_s \leq 8$ м/с	8-я степень точности
<i>Проверочный расчет</i>		
1. Проверка на контактную выносливость		
Расчетный момент $T_{н2}$, Н·м	см. разд. 3.1	
Модуль упругости материала венца червячного колеса E_2 , МПа	табл. П.4	
Коэффициент, учитывающий механические свойства материалов сопряженных червяка и червячного колеса, Z_M , Н ^{0,5} /мм ² (при стальном червяке)	$Z_M = 381 \sqrt{1 + \frac{1}{210000 E_2}}$	

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания
Число зубьев червячного колеса z_2 (<i>уточненное значение</i>)	Величина z_2 , полученная после корректировки при проектном расчете коэффициента смещения червяка x
Коэффициент диаметра червяка q	Величина q , полученная после корректировки при проектном расчете коэффициента смещения червяка x
Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки по ширине венца, $K_{H\beta}$	$K_{H\beta} = 1$ (<i>при постоянной нагрузке</i>)
Коэффициент, учитывающий точность передачи, K_a	Назначить по табл. 3.29 в зависимости от степени точности передачи
Делительный диаметр колеса d_2 , мм	Проектный расчет (<i>уточненное значение</i>)
Контактное напряжение σ_{H2} , МПа	$\sigma_{H2} = 72,58 Z_M \sqrt{\frac{T_{H2} K_{H\beta} z_2}{K_a q d_2^3}}$ <p>Полученное значение σ_{H2} необходимо сравнить с значением допускаемого напряжения σ_{Hp2} (табл. 3.26). Должно выполняться условие: $\sigma_{H2} \leq \sigma_{Hp2}$. <i>Недогрузка по контактным напряжениям более 25 % не рекомендуется.</i> Если условие прочности не выполняется, то следует:</p> <ul style="list-style-type: none"> • или назначить другой материал венца червячного колеса, • или увеличить величину внешнего делительного диаметра червячного колеса d_{e2}. <p>Затем, <i>после принятой корректировки</i>, следует произвести перерасчет передачи</p>
2. Проверка на выносливость при изгибе	
Расчетный момент T_{H2} , Н $\sigma_{F1 \lim b}^o$ М	см. разд. 13.3
Число зубьев червячного колеса z_2 (<i>уточненное значение</i>)	Величина z_2 , полученная после корректировки при проектном расчете коэффициента смещения червяка x
Эквивалентное число зубьев червячного колеса z_{v2}	$z_{v2} = \frac{z_2}{\cos^3 \gamma}$
Коэффициент, учитывающий форму зуба червячного колеса, Y_{F2}	табл. 3.30

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания
Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки по ширине венца, $K_{F\beta}$	$K_{F\beta} = K_{H\beta} = 1$ (при постоянной нагрузке)
Делительный угол подъема γ , град	Проектный расчет
Коэффициент диаметра червяка q (уточненное значение)	Величина q , полученная после корректировки при проектном расчете коэффициента смещения червяка x
Коэффициент, учитывающий точность передачи, K_a	Раздел 1 «Проверка на контактную выносливость»
Осевой модуль зацепления m , мм	Проектный расчет
Напряжение изгиба σ_{F2} , МПа	$\sigma_{F2} = 1,5 \frac{T_{H2} Y_{F2} K_{F\beta} \cos \gamma}{q m^3 z_2 K_a}$
<p>Полученное значение σ_{F2} необходимо сравнить с допусаемым значением напряжения σ_{Fp2} (табл. 3.26). Должно выполняться условие $\sigma_{F2} \leq \sigma_{Fp2}$.</p> <p>Если условие прочности не выполняется, то следует увеличить величину модуля m. После корректировки следует произвести перерасчет передачи.</p> <p>Если в итоге приведенных выше расчетов результаты удовлетворяют условиям прочности на контактную и изгибную выносливость, то далее необходимо произвести геометрический расчет передачи по табл. 3.31</p>	

Таблица 3.28

Рекомендуемые числа заходов червяка

Передаточное число u	$8 \leq u < 14$	$14 \leq u \leq 30$	$u > 30$
Число заходов червяка z_1	4	2	1

Таблица 3.29

Коэффициент, учитывающий точность передачи

Степень точности передачи $n_{ст. точн}$	6	7	8	9
K_a	1,20	1,15	1,10	1,00

Таблица 3.30

Коэффициент Y_{F2} , учитывающий форму зуба червячного колеса

Эквивалентное число зубьев червячного колеса z_{v2}	20	24	26	28	30	32	35	37	40	45	50	60	80	100	150	300
Y_{F2}	1,98	1,88	1,85	1,80	1,76	1,71	1,64	1,61	1,55	1,48	1,45	1,40	1,34	1,30	1,27	1,24

Расчет геометрии червячной передачи производят в соответствии с ГОСТ 19650–74, который предусматривает передачи с углом скрещивания осей червяка и колеса, равным 90° , и исходным червяком по ГОСТ 19036–81. Формулы для геометрического расчета цилиндрической червячной передачи приведены в табл. 3.31.

Таблица 3.31

Алгоритм геометрического расчета цилиндрической червячной передачи

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания	
Модуль m , мм		Табл. 3.27	
Коэффициент диаметра червяка q , мм			
Число заходов червяка z_1			
Вид червяка		Исходные данные	
Угол профиля	архимедов червяк (ZA) с углом профиля α_x в осевом сечении витка	ГОСТ 18498–89, 19036–81	$\alpha_x = 20^\circ$
	эвольвентный червяк (Z1) с углом профиля α_n в нормальном сечении зуба рейки, сопряженной с червяком		$\alpha_n = 20^\circ$
	с прямолинейным профилем витка (ZN1) с углом профиля в нормальном сечении витка α_{nT}		$\alpha_{nT} = 20^\circ$
	с прямолинейным профилем впадины (ZN2) с углом профиля в нормальном сечении витка α_{nS}	ГОСТ 18498–89, 19036–81	$\alpha_{nS} = 20^\circ$
	цилиндрический, образованный конусом (ZK1), с углом профиля конической производящей поверхности α_0		$\alpha_0 = 20^\circ$
Коэффициент радиального зазора c^*		ГОСТ 19036–81	$c^* = 0,2$. 1. Допускается изменять коэффициент радиального зазора, но его величина должна быть в пределах $0,15 \leq c^* \leq 0,3$. 2. Для эвольвентных червяков и червяков с делительным углом $\gamma \geq 26,565^\circ$ принимать: $c^* = 0,2 \cos \gamma$
Коэффициент высоты витка h^*			$h^* = 2 + c^*$
Коэффициент высоты головки h_a^*			$h_a^* = 1$
Коэффициент высоты ножки h_f^*			$h_f^* = 1 + c^*$

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания
Коэффициент граничной высоты h_l^*		$h_l^* \geq 2$
Коэффициент расчетной толщины s^*		$s^* = 0,5\pi$
Коэффициент глубины захода h_d^*		$h_d^* = 2$
Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой ρ_f^*	ГОСТ 19036-81	$\rho_f^* = 0,3$. Допускается уменьшать величину коэффициента радиуса кривизны переходной кривой $\rho_f \geq 0,2$
Межосевое расстояние a_ω , мм		табл. 3.27
Коэффициент смещения червяка x		
Передаточное число u		
<i>Расчет передачи</i>		
Число зубьев червячного колеса z_2		табл. 3.27
Коэффициент смещения червяка x		
Межосевое расстояние a_ω , мм		табл. 3.27
Делительный диаметр червяка d_1 , мм		
Делительный диаметр колеса d_2 , мм		
Начальный диаметр червяка $d_{\omega 1}$, мм		$d_{\omega 1} = (q + 2x)m$
Делительный угол подъема γ , град		табл. 3.27
Начальный угол подъема γ_ω , град		$\gamma_\omega = \arctg \frac{z_1 m}{d_{\omega 1}}$
Основной угол подъема γ_b , град		$\cos \gamma_b = \cos \alpha_n \cos \gamma$. Определяется для червяка Z1
Основной диаметр червяка d_{b1} , мм		$d_b = \frac{z_1 m}{\operatorname{tg} \gamma_\beta}$. Определяется для червяка Z1
Высота витка червяка h_1 , мм		$h_1 = h^* m$
Высота головки витка червяка h_{a1} , мм		$h_{a1} = h_a^* m$
Диаметр вершин витков червяка d_{a1} , мм		$d_{a1} = d_1 + 2h_a^* m$
Диаметр вершин зубьев колеса d_{a2} , мм		$d_{a2} = d_2 + 2(h_a^* + x)m$
Наибольший диаметр червячного колеса d_{ae2} , мм		$d_{ae2} \leq d_{a2} + \frac{6m}{z_2 + 2}$
Радиус кривизны переходной кривой червяка ρ_{f1} , мм		$\rho_{f1} = \rho_f^* m$

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания		
Длина нарезанной части червяка b_1 , мм	x	z_1	
		1 и 2 4	
	-1	$b_1 \geq (10,5 + z_1)m$	$b_1 \geq (10,5 + z_1)m$
	-0,5	$b_1 \geq (8 + 0,06z_2)m$	$b_1 \geq (9,5 + 0,09z_2)m$
	0	$b_1 \geq (11 + 0,06z_2)m$	$b_1 \geq (12,5 + 0,09z_2)m$
	x	z_1	
		1 и 2 4	
	+0,5	$b_1 \geq (11 + 0,1z_2)m$	$b_1 \geq (12,5 + 0,1z_2)m$
	+1	$b_1 \geq (12 + 0,1z_2)m$	$b_1 \geq (13 + 0,1z_2)m$
	<p><i>Примечания:</i></p> <p>1. При промежуточном значении коэффициента x длину b_1 вычисляют по ближайшему пределу x, который дает большее значение b_1.</p> <p>2. Для шлифуемых и фрезеруемых червяков полученную по таблице длину b_1 следует увеличить:</p> <ul style="list-style-type: none"> • на 25 мм при $m < 10$ мм; • на (35–40) мм при $m = (10–16)$ мм; • на 50 мм при $m > 16$ мм 		
Ширина венца червячного колеса b_2 , мм	<p>Рекомендуется принимать:</p> <p>$b_2 \leq 0,75d_{a1}$ при $z_1 < 4$;</p> <p>$b_2 \leq 0,67d_{a1}$ при $z_1 = 4$</p>		
Условный угол обхвата 2δ , град	$\delta = \arcsin \left[\frac{b_2}{d_{a1} - 0,5m} \right].$ <p>Угол обхвата 2δ может быть принят:</p> <ul style="list-style-type: none"> • для силовых передач $2\delta = 90^\circ - 120^\circ$; • для кинематических передач $2\delta = 45 - 120^\circ$ 		
Расчетный шаг червяка p_1 , мм	$p_1 = \pi m$		
Ход витка p_{z1} , мм	$p_{z1} = p_1 z_1$		

Таблица 3.32

Формулы для определения величин составляющих силы
в зацеплении цилиндрической червячной передачи

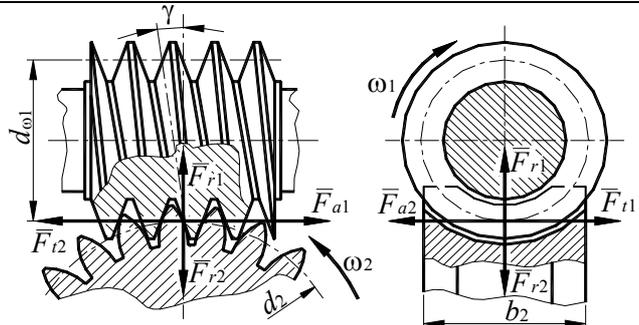
		
Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Расчетный крутящий момент на червячном колесе T_{H2} , Нм	табл. 3.27	
Делительный диаметр червячного колеса d_2 , мм		
Начальный угол подъема d_2 , град	табл. 3.31	
Скорость скольжения v_S , м/с	табл. 3.27	
Угол трения φ' , град	определить по табл. 3.33	
Окружная составляющая силы в зацеплении, действующей на червячное колесо, F_{t2} , Н	$F_{t2} = 2000 \frac{T_H}{d_2}$	
Окружная составляющая силы в зацеплении, действующей на червяк, F_{t1} , Н	$F_{t1} = F_{t2} \operatorname{tg}(\gamma_{\omega} \pm \varphi')$	знак «+» – при входном червяке, знак «-» – при выходном червяке
Осевая составляющая силы в зацеплении, действующей на червячное колесо, F_{a2} , Н	$F_{a2} = F_{t2} \operatorname{tg}(\gamma_{\omega} \pm \varphi')$	
Осевая составляющая силы в зацеплении, действующей на червяк, F_{a1} , Н	$F_{a1} = F_{t2}$	
Радиальная составляющая силы в зацеплении, действующей на червячное колесо, F_{r2} , Н	$F_{r2} \approx 0,37F_{t2}$	
Радиальная составляющая силы в зацеплении, действующей на червяк, F_{r1} , Н	$F_{r1} \approx 0,37F_{t2}$	

Таблица 3.33

Зависимость угла трения φ' от скорости скольжения v_S

Скорость скольжения, м/с	0,01	0,10	0,25	0,50	1,0
Угол трения φ'	6,28–6,85	4,57–5,15	3,72–4,28	3,15–3,72	2,58–3,15
Скорость скольжения, м/с	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
Угол трения φ'	2,28–2,87	2,00–2,58	1,72–2,28	1,60–2,00	1,32–1,72
Скорость скольжения, м/с	7,0	10,0	15,0 и более		
Угол трения φ'	1,03–1,48	0,92–1,37	0,80–1,15		
В значениях φ' учтены потери на разбрызгивание масла					

Таблица 3.34

Ориентировочные значения коэффициента полезного действия одноступенчатых червячных передач на подшипниках качения

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Начальный угол подъема γ_ω , град	табл. 3.31	
Угол трения φ' , град	табл. 3.32	
Коэффициент полезного действия η	При ведущем (входном) червяке	$\eta = \frac{\operatorname{tg} \gamma_\omega}{\operatorname{tg}(\gamma_\omega + \varphi')}$
	При ведомом (выходном) червяке	$\eta = \frac{\operatorname{tg}(\gamma_\omega - \varphi')}{\operatorname{tg} \gamma_\omega}$

Червячный редуктор в связи с невысоким КПД и большим выделением теплоты проверяют на нагрев. Температура нагрева масла:

- без искусственного охлаждения:

$$t_{\text{раб}} = P_{\text{ч}} \frac{1 - \eta_{\text{чп}}}{K_{\text{T}} A (1 + \psi)} + 20^\circ \leq t_{p \text{ раб}}; \quad (3.19)$$

- с охлаждением вентилятором:

$$t_{\text{раб}} = P_{\text{ч}} \frac{1 - \eta_{\text{чп}}}{A [0,4 K_{\text{ТВ}} + (0,6 + \psi) K_{\text{T}}]} + 20^\circ \leq t_{p \text{ раб}}, \quad (3.20)$$

где $t_{\text{раб}}$ – температура нагрева масла, $^\circ\text{C}$; $t_{p \text{ раб}}$ – максимальная допустимая температура нагрева масла (для наиболее распространенных типов масла $t_{p \text{ раб}} = 95^\circ\text{C}$); $P_{\text{ч}}$ – мощность на червяке, Вт (разд. 3.1); $\eta_{\text{чп}}$ – КПД червячной передачи (табл. 3.34); K_{T} – коэффициент теплоотдачи, принимаемый в расчетах равным (9–17) Вт/($\text{м}^2 \times ^\circ\text{C}$) (большие значения при хороших условиях охлаждения); $K_{\text{ТВ}}$ – коэффициент при обдуве вентилятором (определяется по графику на рис. 3.53, где $n_{\text{вент}}$ – частота вращения вентилятора, об/мин); ψ – коэффициент, учитывающий отвод теплоты от корпуса редуктора в металлическую плиту или раму, принимаемый в данных расчетах равным 0,3; A – поверхность охлаждения корпуса, м^2 .

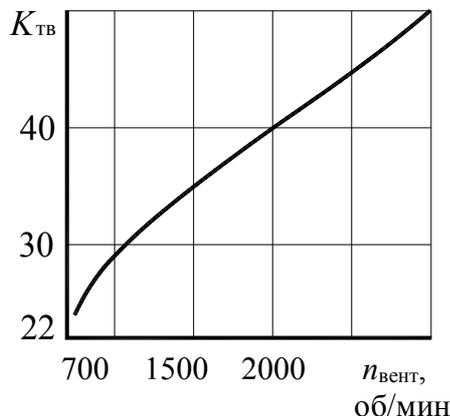


Рис. 3.53

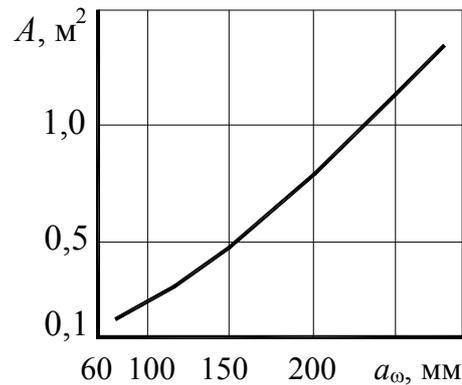


Рис. 3.54

Поверхность охлаждения корпуса A равна поверхности всех его стенок, кроме поверхности дна, которой он крепится к плите или раме.

Приближенно поверхность охлаждения корпуса можно принять в зависимости от межосевого расстояния передачи (график на рис. 3.54) или по формуле:

$$A = 12a_{\omega}^{1,71} \quad (3.21)$$

3.3.2.4. Правила выполнения чертежей

Правила выполнения чертежей *цилиндрических червяков* установлены ГОСТ 2.406–76.

На изображении такого червяка (рис. 3.55) должны быть:

- изображены виды и разрезы червяка;
- нанесена необходимая текстовая часть;
- указаны габаритные и другие размеры, необходимые для изготовления червяка;
- условные обозначения баз;
- допуски формы и расположения поверхностей;
- параметры шероховатости;
- технические требования:
 - требования к материалу, заготовке, термической обработке;
 - указания о размерах (размеры для справок, радиусы закруглений и т. п.);
 - неуказанные предельные отклонения размеров;
- параметры, характеризующие размеры витков червяка:
 - диаметр вершин витков;
 - длина нарезанной части червяка по вершинам;
 - размер фасок или радиусы кривизны линий притупления на кромках витков (допускается указывать в технических требованиях чертежа вместо указания их на изображении зубчатой детали);
 - шероховатость боковых поверхностей витков.

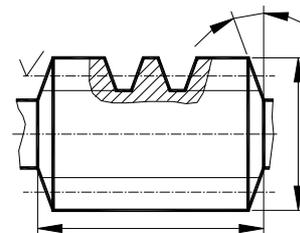


Рис. 3.55

Кроме того, необходимо приводить параметры других конструктивных элементов червяка.

Эти параметры следует указывать и на изображении *глобoidного червяка* (рис. 3.56).

Таблица параметров (рис. 3.20, рис. 3.21) должна состоять из трех частей, которые разделяются сплошными основными линиями.

Первая часть содержит *основные параметры* для нарезания витков червяка, в которой должны быть указаны:

- модуль m ;
- число витков червяка z_1 ;
- вид червяка;
- угол подъема витка γ ;
- направление подъема линии витка;
- исходный червяк;
- степень точности и вид сопряжения по нормам бокового зазора.

Во *второй части* таблицы параметров венца приводят *данные для контроля* взаимного положения разноименных профилей витков червяка:

- расчетный шаг червяка p_i ;
- ход витка p_{z1} ;

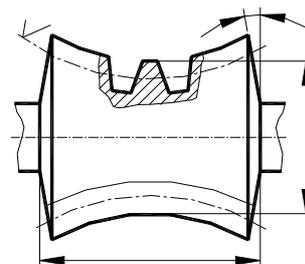


Рис. 3.56

- делительная толщина по хорде витка червяка s_{a1} ;
- высота до хорды витка h_{a1} .

В третьей части таблицы должны быть приведены справочные данные:

- делительный диаметр d_1 ;
- коэффициент диаметра червяка q ;
- межосевой угол Σ ;
- межосевое расстояние a_w ;
- число зубьев сопряженного червячного колеса z_2 ;
- обозначение чертежа сопряженного колеса;
- другие справочные данные (при необходимости).

Обозначения данных в таблице – по ГОСТ 2.403–75.

Неиспользованные строки в таблице допускается исключать или прочеркивать.

Правила выполнения чертежей червячных колес установлены ГОСТ 2.406–76.

На сборочном чертеже червячного колеса должны быть:

- изображены виды и разрезы червячного колеса, нанесена необходимая текстовая часть;
- указаны номера позиций деталей;
- указан посадочный размер в соединении зубчатого венца и ступицы (если колесо – сборное) с обозначением посадки по ГОСТ 25346–82 и ГОСТ 25347–82;
- указаны габаритные и другие размеры, необходимые для изготовления и контроля параметров червячного колеса;
- приведены необходимые технические требования;
- параметры, характеризующие зубчатый венец:
 - диаметр вершин зубьев;
 - ширина венца;
 - расстояние базового торца до средней торцевой плоскости колеса;
 - наибольший диаметр;
 - радиус выемки поверхности вершин зубьев;
 - размер фасок или радиусы кривизны линий притупления на кромках зубьев (допускается помещать эти размеры в технических требованиях);
 - шероховатость боковых поверхностей зубьев.

Таблица параметров (рис. 3.20, рис. 3.21) должна состоять из трех частей, которые разделяются сплошными основными линиями.

Первая часть содержит основные параметры для нарезания зубьев, в которой должны быть указаны:

- модуль;
- число зубьев колеса;
- вид сопряженного червяка;
- направление линии зуба;
- исходный производящий червяк;
- коэффициент смещения червяка;
- степень точности и вид сопряжения по нормам бокового зазора.

Вторая часть таблицы параметров в данном курсовом проекте не разрабатывается.

В третьей части таблицы должны быть приведены справочные данные:

- делительный диаметр;
- межосевой угол передачи;
- межосевое расстояние;
- число витков сопряженного червяка;
- обозначение чертежа червяка.

Обозначения данных в таблице – по ГОСТ 2.406–76.

Неиспользованные строки в таблице допускается исключать или прочеркивать.

При изображении видов и сечений червяков и червячных колес следует руководствоваться следующими основными правилами.

1. Зубья червячных колес и витки червяков вычерчивают в осевых разрезах и сечениях.

В остальных случаях зубья и витки не вычерчивают и изображаемые детали ограничивают поверхностями выступов (рис. 3.55–3.59).

Если необходимо показать профиль зуба или витка, вычерчивают зуб или виток на выносном элементе; допускается показывать их на ограниченном участке изображения детали (рис. 3.55–3.57).

2. Окружности и образующие цилиндров выступов зубьев и витков показывают сплошными основными линиями, в том числе и в зоне зацепления (рис. 3.57–3.59).

3. На чертежах червячных колес и червяков показывают делительные окружности, делительные линии, образующие делительных цилиндров (рис. 3.55–3.59).

4. На сборочных чертежах червячных передач показывают начальные окружности, начальные линии, образующие начальных поверхностей (рис. 3.55–3.59).

5. Делительные, начальные, расчетные окружности и линии, образующие делительных, начальных и расчетных поверхностей показывают штрихпунктирными тонкими линиями.

6. Окружности и образующие поверхностей впадин зубьев и витков в разрезах и сечениях показывают на всем протяжении сплошными основными линиями.

На видах червячных колес и червяков допускается показывать окружности и образующие поверхностей впадин зубьев или витков, при этом их наносят сплошными тонкими линиями (рис. 3.55–3.56).

7. Если секущая плоскость проходит перпендикулярно к оси червячного колеса или вдоль червяка, то червячные колеса, как правило, показывают нерассеченными.

При необходимости показать их рассеченными, применяют местный разрез и проводят штриховку до линии поверхности впадин (рис. 3.57–3.59).

8. Если секущая плоскость проходит через ось червячного колеса или червяка, то виток червяка показывают расположенным перед зубом колеса (рис. 3.59).

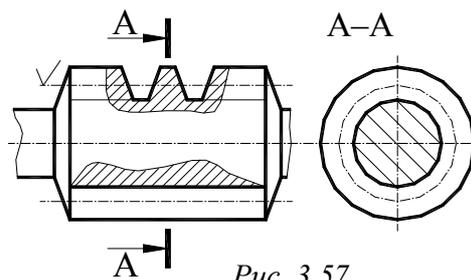


Рис. 3.57

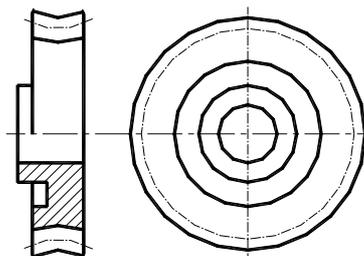


Рис. 3.58

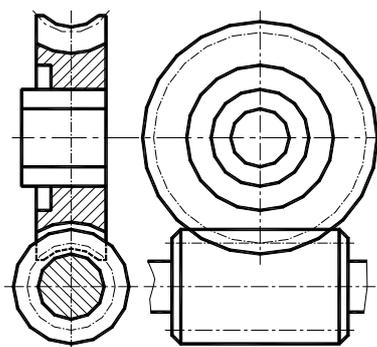


Рис. 3.59

В перечисленных случаях невидимые контуры допускается не наносить, если это не затрудняет чтение чертежа.

9. Если необходимо показать направление зубьев червячного колеса или витков червяка, то на изображение поверхности зубьев или витков наносят (как правило, вблизи оси) три сплошных тонких линии с соответствующим наклоном.

На изображении червячного зацепления направление зубьев указывают на одном из элементов зацепления.

3.3.2.5. Конструирование червячных колес

Основные геометрические размеры червячного колеса определяются из расчета (разд. 3.2.3). Чаще всего червячные колеса изготавливают *составными*: центр выполняют из серого чугуна или из стали, зубчатый венец – из бронзы. Соединение венца с центром должно обеспечивать передачу большого вращающего момента и сравнительно небольшой осевой силы. Конструкция червячного колеса и способ соединения венца с центром зависят от объема выпуска.

При единичном и мелкосерийном производстве, когда годовой объем выпуска менее 50 шт. и при небольших размерах колес (d_{ae2} менее 400 мм) зубчатые венцы соединяют с центром посадкой с натягом.

При постоянном направлении вращения червячного колеса на наружной поверхности центра предусматривают буртик, на который направляют осевую силу (рис. 3.60).

При больших размерах колес ($d_{ae2} > 350$ мм) крепление венца к центру можно осуществлять болтами, поставленными без зазора (рис. 3.61, а) или заклепками (рис. 3.61, б). В этом случае венец центрируют по диаметру D . Сопряжение центрирующих поверхностей выполняют по переходной посадке.

В такой конструкции необходимо предусматривать надежное стопорение гайки от самоотвинчивания.

Фиксирующие болты (в количестве 3–4) имеют следующие размеры:

$$d_{\text{винт}} = (1,2 - 1,4)m; \quad (3.22)$$

$$l_{\text{винт}} = (1,6 - 1,8)b_2. \quad (3.23)$$

Червячные колеса вращаются с небольшой скоростью и, как правило, не требуют балансировки, поэтому нерабочие поверхности обода, диска, ступицы колеса оставляют необработанными и делают конусными с большими радиусами закруглений.

Острые кромки на торцах венца притупляют фасками

$$f \approx 0,5m, \quad (3.24)$$

где m – модуль зацепления с округлением до стандартного значения (табл. 3.27).

Размеры других основных конструктивных элементов принимают по соотношениям:

$$s \approx 2,5m; \quad (3.25)$$

$$c = (3,6 - 4,2)m; \quad (3.26)$$

$$h \approx 0,15b_2; \quad (3.27)$$

$$t \approx 0,8h. \quad (3.28)$$

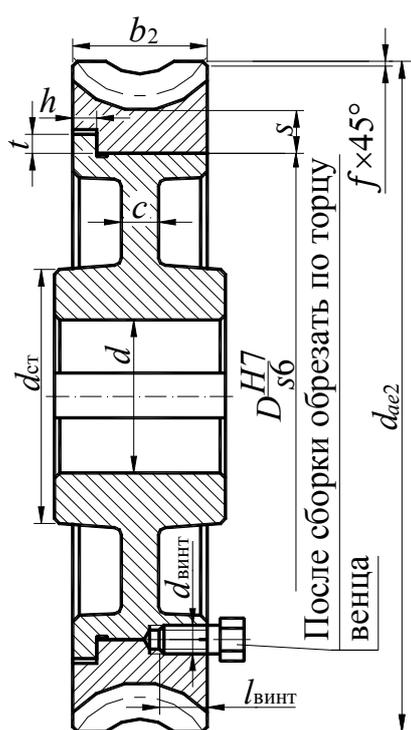


Рис. 3.60

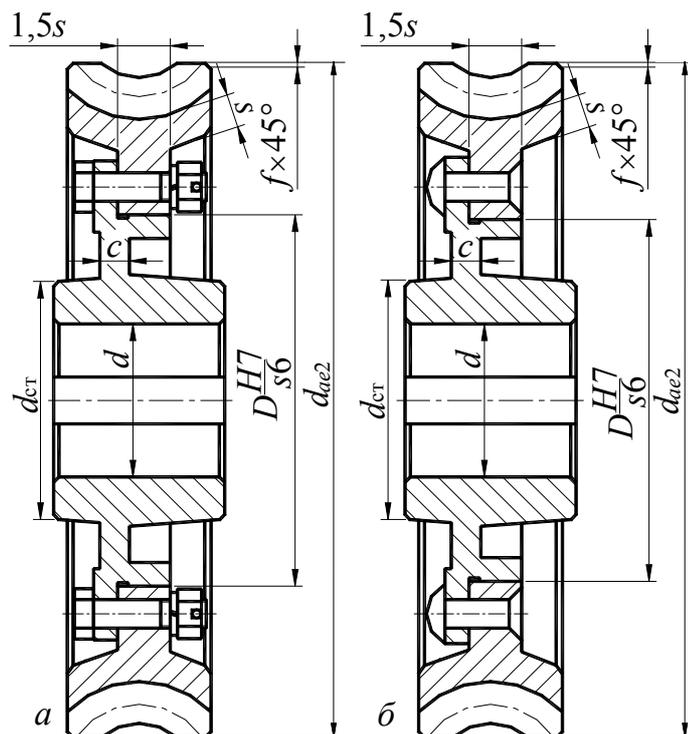


Рис. 3.61

Остальные конструктивные элементы червячных колес следует принимать такими же, как для цилиндрических зубчатых колес внешнего зацепления (разд. 3.2.3.4).

При любой конструкции зубчатого венца механическую обработку и нарезание зубьев производят после соединения венца с центром.

3.3.2.6. Конструирование червяков

Червяки, как правило, выполняют стальными и, чаще всего, заодно с валом. Геометрические размеры червяка, в том числе длина нарезанной части b_1 и ориентировочное расстояние l между опорами, определяют из расчетов и эскизного чертежа редуктора. Поэтому при конструировании вала-червяка эти данные являются исходными.

Размеры выступающего из редуктора конца вала-червяка, диаметр вала в месте установки подшипников и другие его диаметры определяют по рекомендациям, приведенным в разд. 5.

На рис. 3.62 приведены возможные конструкции червяков.

Одним из основных требований, предъявляемых к ним, является обеспечение высокой жесткости червяка. Для этого расстояние между опорами стараются делать как можно меньшим. Диаметр вала-червяка в ненарезанной части назначают таким, чтобы обеспечить по возможности свободный выход инструмента при обработке витков и необходимую величину упорного заплечика для подшипника.

На рис. 3.62, а, б диаметр вала-червяка перед нарезанной частью удовлетворяет условию свободного выхода инструмента при обработке витков. На рис. 3.62, а высота заплечика при этом оказывается достаточной для упора подшипника, а на рис. 3.62, б она мала. Поэтому для упора подшипника предусмотрен специальный заплечик. При малом диаметре червяк приходится выполнять по рис. 3.62, в. В этом

случае упорные заплечики в местах установки подшипников выполняют как по рис. 3.62, б, так и по рис. 3.62, в.

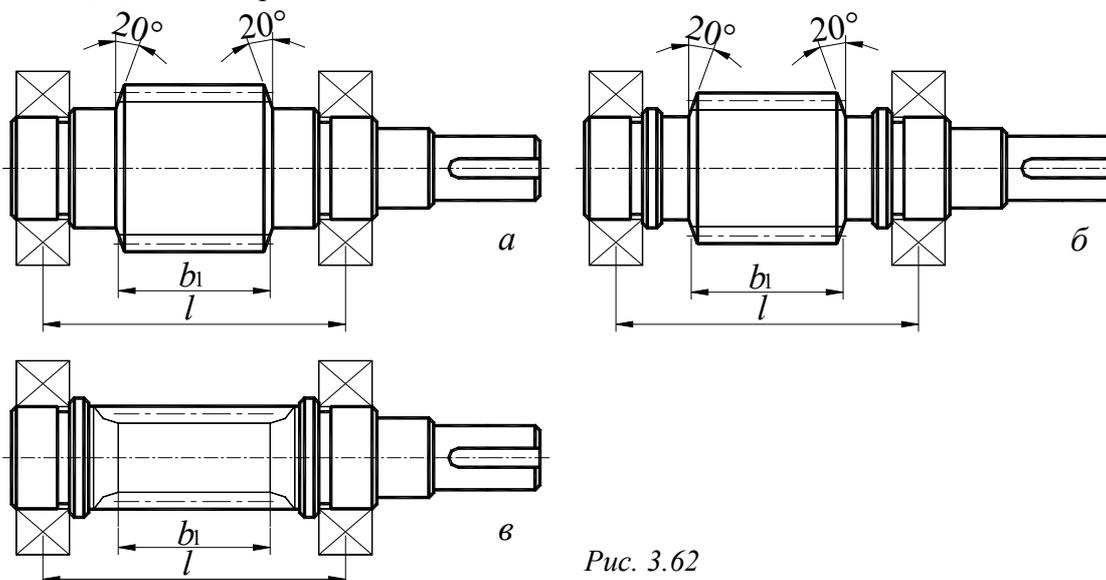


Рис. 3.62

Глобоидные червяки (рис. 3.63) конструктивно отличаются от цилиндрических формой участка нарезки и диаметром шеек под подшипники, соизмеримых с диаметром червяка.

Остальные элементы червяков этого типа конструируют так же, как и цилиндрических.

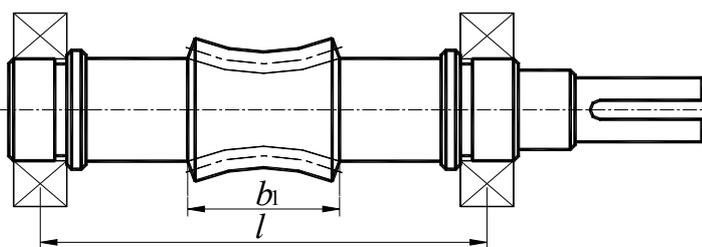


Рис. 3.63

3.3.2.7. Допуски цилиндрических червячных передач

ГОСТ 3675–81, ГОСТ 9774–81, ГОСТ 16502–83 распространяется на червячные цилиндрические передачи с межосевым углом, равным 90° :

- с архимедовыми червяками *ZA*;
- с эвольвентными червяками *Z1*;
- с конволютными червяками *ZN* всех типов;
- с червяками типов *ZK*, образованными конусом.

3.3.2.7.1. Степени точности и виды сопряжений

1. Степени точности червяков, червячных колес, червячных пар и червячных передач обозначают в порядке убывания точности цифрами 6, 7, 8, 9, 10.

2. Для каждой степени точности установлены нормы кинематической точности, нормы плавности работы и нормы контакта зубьев и витков.

Степень точности передачи или пары определяют по элементу (червяку или червячному колесу) с наиболее низкими показателями.

Для нерабочих боковых поверхностей (сторон) зубьев червячного колеса и витков червяка, используемых в течение ограниченного времени при пониженных нагрузках, допускается снижение точности, но не более чем на две степени.

3. Допускается *комбинирование норм кинематической точности, норм плавности работы и норм контакта зубьев и витков разных степеней точности.*

4. При комбинировании норм разных степеней точности:

- нормы плавности работы червяков, червячных колес, червячных пар и червячных передач могут быть не более чем на две степени точнее, или на одну степень грубее норм кинематической точности;
- нормы контакта зубьев червячного колеса и витков червяка не могут быть грубее норм плавности работы червячных передач.

5. Независимо от степени точности передачи принято четыре вида сопряжений червяка с червячным колесом – *A, B, C, D* (рис. 3.64) и семь видов допуска T_{jn} на боковой зазор – *x, y, z, a, b, c, d*. Обозначения приведены в порядке убывания величины бокового зазора и допуска на него.

Рекомендуемое соответствие между видами сопряжения червяка с червячным колесом в передаче и степенью кинематической точности:

Вид сопряжения	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Степени кинематической точности	3–10	6–10	6–9	6–8

6. Видам сопряжений *D, C, B* и *A* соответствует вид допуска на боковой зазор *d, c, b* и *a*.

Соответствие между видом сопряжения элементов червячной передачи и видом допуска на боковой зазор допускается изменять. При этом также могут быть использованы виды допуска на боковой зазор *x, y, z*.

Точность изготовления червячных передач задается степенью точности, а требования к боковому зазору – видом сопряжения по нормам бокового зазора и видом допуска на боковой зазор.

Пример обозначения точности червячной передачи или пары со степенью точности 7 по всем трем нормам, с видом сопряжения элементов передачи *C* и неизменным соответствием между видами сопряжения и допуска на боковой зазор:

7–С ГОСТ 3675–81.

8. При комбинировании норм разных степеней точности и изменении соответствия между видом сопряжения и видом допуска на боковой зазор точность червяка, червячного колеса, червячной передачи и червячной пары обозначается последовательным написанием трех цифр и двух букв.

Между собой и от слитно пишущихся букв цифры разделяются тире:

- первая цифра означает степень по нормам кинематической точности;
- вторая цифра означает степень по нормам плавности работы;
- третья цифра означает степень по нормам контакта зубьев червячного колеса и витков червяка;
- первая из букв означает вид сопряжения;
- вторая из букв означает вид допуска на боковой зазор.

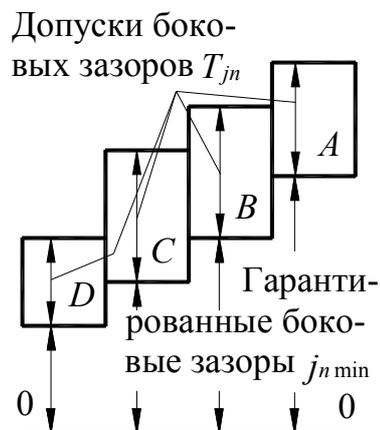


Рис. 3.64

Пример обозначения точности червячной передачи со степенью 8 по нормам кинематической точности, со степенью 7 – по нормам плавности, со степенью 6 – по нормам контакта зубьев червячного колеса и витков червяка, с видом сопряжения червяка и червячного колеса B и видом допуска на боковой зазор a :

8–7–6–Ba CT 7–С ГОСТ 3675–81.

3.3.2.7.2. Нормы точности

1. Допуски и предельные отклонения по нормам кинематической точности, нормам плавности работы и нормам контакта зубьев червячного колеса и витков червяка для различных степеней точности червячной передачи и ее элементов устанавливаются по табл. П.241–П.245. Значения в скобках даны для справок.

2. Нормы кинематической точности, кроме F_r и F_i'' , и нормы плавности работы, кроме f_i'' , в зависимости от условий работы червяка и червячного колеса по правым и левым профилям допускается назначать из разных степеней точности.

3. Каждый установленный комплекс показателей, используемый при приемке червяков и червячных колес, червячных передач, является равноправным с другими, хотя при сравнительных (например, расчетных) оценках влияния точности передач на их эксплуатационные качества основными во всех случаях являются функциональные показатели F_{ior} , F_{zoz} , f_{zhor} и суммарное пятно контакта.

4. ГОСТ 3675–81 устанавливает требования к точности червяка и червячных колес, находящихся на рабочих осях. Погрешности, вносимые при использовании в качестве измерительной базы поверхностей, имеющих неточности формы и расположения, относительно рабочей оси, должны быть учтены или компенсированы введением производственного допуска.

5. Для червячных передач с углом профиля исходного червяка α , не равным 20° , допуск на радиальное биение червяка f_r , допуск на колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе f_i'' , а также предельное отклонение межосевого расстояния $\pm f_a$ должны быть умножены на коэффициент, равный отношению $\frac{\sin 20^\circ}{\sin \alpha}$.

6. Зависимости предельных отклонений и допусков разных степеней точности от геометрических параметров червяков, червячных колес, червячных пар и червячных передач приведены в табл. П.257 и П.258.

3.3.2.7.3. Нормы бокового зазора

Величину *гарантированного бокового зазора* для различных видов сопряжений устанавливают по табл. П.253 независимо от степеней точности и их комбинирования.

Показателями, обеспечивающими гарантированный боковой зазор при всех видах сопряжений, являются:

$J_{n \min}$ – для червячных передач с регулируемым расположением осей (табл. П.253);

E_{ss}^- и T_s^- – для червячных передач с нерегулируемым расположением осей (табл. П.254–П.256).

ГОСТ 3675–81 и ГОСТ 9774–81, кроме приведенных, предусматривает:

- модуль от 1 до 25 мм;
- делительные диаметры червяка – до 450 мм;
- делительные диаметры червячного колеса – до 6300 мм;
- степени точности 1, 2, 3, 4, 5, 11, 12;
- виды сопряжения E и H ;
- другие показатели и нормы точности, а также определения терминов.

3.4. Цепные передачи

3.4.1. Общие сведения

Общий вид цепной передачи представлен на рис. 3.65.

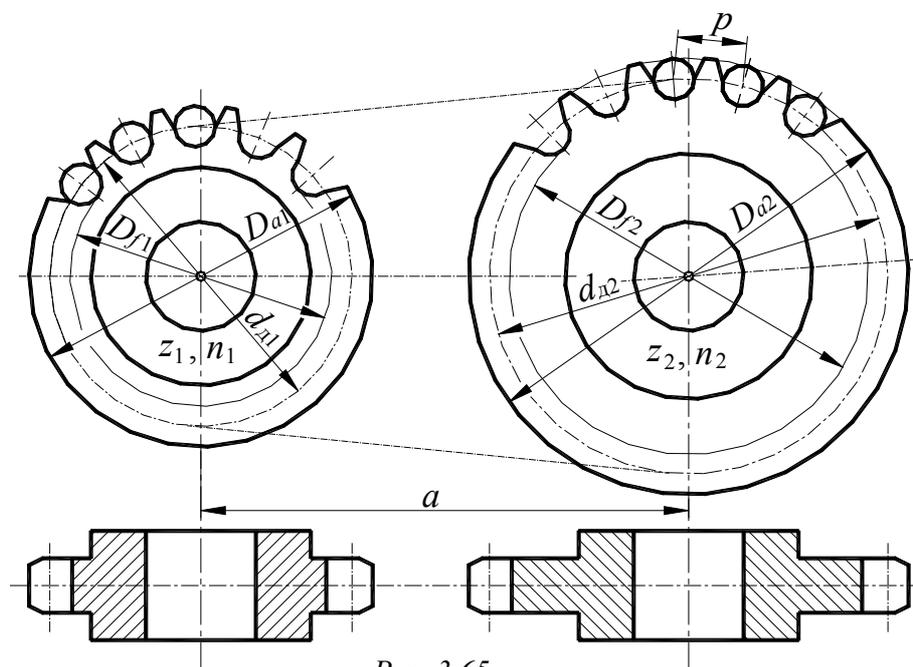


Рис. 3.65

Передача обычно состоит из ведущей и ведомой звездочек, связанных между собой приводной цепью. Цепные передачи используют для трансформации моментов и угловой скорости между параллельными валами. Передаваемая мощность, как правило, не превышает 100 кВт, межосевое расстояние – до (6–8) м.

Цепные передачи, по сравнению с ременными, имеют значительно меньшие габаритные размеры и нагрузки на валы, более высокий КПД ($\eta = 0,96–0,98$), в них исключено окружное проскальзывание цепи по звездочке.

Недостатки передачи: вытягивание цепей (увеличение шага цепей вследствие износа шарниров) и, как следствие, необходимость применения натяжных устройств, необходимость ухода при эксплуатации (смазывание, регулирование), шумность, неравномерность хода.

Пластины цепей изготавливают из среднеуглеродистых и легированных сталей 45, 50, 40X, 40XН с закалкой до твердости не менее 34HRCэ.

Оси, втулки и призмы обычно изготавливают из сталей 15, 15X, 20X, 12XНЗА, затем их цементируют и подвергают закалке до твердости не менее 46HRCэ.

Звездочки тихоходных, слабо нагруженных передач изготавливают из чугуна СЧ20 с закалкой или из других антифрикционных высокопрочных марок чугуна.

Звездочки быстроходных и тяжелонагруженных передач изготавливают из углеродистых легированных сталей (45, 40Х, 40ХН) или сталей 15, 20, 12Х2Н4А с цементацией венцов на глубину (1–1,5) мкм. Твердость поверхностей зубьев (46–56)HRCэ.

3.4.2. Расчет цепной передачи

Алгоритм расчета цепной передачи приведен в табл. 3.35, а основные данные – в табл. П.260–П.264.

Таблица 3.35

Алгоритм расчета цепной передачи

Точность вычислений значений:								
<ul style="list-style-type: none"> • диаметров – до третьего знака после запятой; • углов – до пятого знака после запятой 								
Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания						
Расчетный момент T_n , Н·м	на шестерне	$T_{н1}$	См. разд. 13.3					
	на колесе	$T_{н2} = uT_{н1}\eta_{ц.п}$						
Частота вращения ведущей (входной) звездочки n_1 , об/мин		см. разд. 13.3. Максимально допускаемые значения n_1 приведены в табл. П.262						
Передаточное число u		см. разд. 13.2						
Частота вращения ведомой (выходной) звездочки n_2 , об/мин		$n_2 = \frac{n_1}{u}$						
<i>Проектный расчет</i>								
Число зубьев малой ведущей звездочки z_1 (оптимальное)	u	св. 1 до 2	св. 2 до 3	св. 3 до 4	св. 4 до 5	св. 5 до 6	св. 6 до 7	св. 7 до 8
	z_1	27	25	23	21	19	17	15
Число зубьев большой звездочки z_2		$z_2 = z_1 u$. Полученное значение округлить до ближайшего целого числа; z_2 при нечетном числе z_1 должно быть четным; $z_{2max} = 120$						
Передаточное число u_ϕ (уточненное значение)		$u_\phi = \frac{z_2}{z_1}$						
Отклонение передаточного числа u от заданного (Δu)		$\Delta u = \frac{u_\phi - u}{u} 100 \%$. Должно выполняться условие $\Delta u \leq 4 \%$. В противном случае следует выбрать другое число зубьев z_2						

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания		
Динамический коэффициент k_d	$k_d = 1,0$ при спокойной нагрузке; $k_d = 1,25$ при переменной нагрузке; $k_d = 2,0$ при ударной нагрузке		
Коэффициент, учитывающий влияние наклона линии центров звездочек к горизонту, k_n	$k_n = 1,0$ при наклоне до 60° и автоматическом регулировании; $k_n = 1,25$ при наклоне более 60°		
Коэффициент, зависящий от способа смазывания, $k_{см}$	$k_{см} = 0,8$ при картерной смазке; $k_{см} = 1,0$ при непрерывной смазке; $k_{см} = 1,5$ при периодической смазке		
Коэффициент, учитывающий периодичность работы передачи, $k_{п}$	$k_{п} = 1,0$ при работе в одну смену; $k_{п} = 1,25$ при двухсменной работе; $k_{п} = 1,5$ при трехсменной работе		
Коэффициент, зависящий от способа регулирования, k_p	$k_p = 1,0$ при регулировке передвигающимися опорами; $k_p = 0,8$ при регулировке нажимными звездочками; $k_p = 1,25$ для нерегулируемой передачи		
Коэффициент, учитывающий условия монтажа и эксплуатации, k_3	$k_3 = k_d k_n k_{см} k_{п} k_p$		
Число рядов цепи m	выбирается конструктором		
Шаг цепи p , мм	$n_1 \leq 620$ об/мин	однорядная цепь	$p \geq 2,78(k_3 T_{H1})^{0,33} n_1^{0,037}$
		двухрядная цепь	$p \geq 2,33(k_3 T_{H1})^{0,33} n_1^{0,037}$
	$n_1 > 620$ об/мин	однорядная цепь	$p \geq 0,85(k_3 T_{H1})^{0,33} n_1^{0,222}$
		двухрядная цепь	$p \geq 0,72(k_3 T_{H1})^{0,33} n_1^{0,222}$
Полученное в результате расчета значение p округлить до ближайшего большего значения из стандартного ряда шагов цепи (табл. П.260, П.261)			
Допускаемое давление в шарнирах роликовой цепи p_p , МПа	Определить по табл. П.263		
Делительный диаметр звездочки d_d , мм	$d_{d1} = \frac{p}{\sin \frac{180^\circ}{z_1}}$		
	$d_{d2} = \frac{p}{\sin \frac{180^\circ}{z_2}}$		

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Диаметр ролика цепи d_1 , мм	табл. П.260, П.261	
Диаметр окружности выступов звездочки D_a , мм	$D_{a1} = p \left(0,5 + \operatorname{ctg} \frac{180^\circ}{z_1} \right)$	
	$D_{a2} = p \left(0,5 + \operatorname{ctg} \frac{180^\circ}{z_2} \right)$	
Межосевое расстояние a , мм	оптимальное	$a = (30 - 50) p$
	максимально допустимое	$a_{\max} = 80 p$
	минимально допустимое	$a_{\min} = 0,6(D_{a1} + D_{a2}) + (30 - 50)$
Межосевое расстояние, выраженное в шагах a_p	$a_p = \frac{a}{p}$	
Число звеньев цепи L_p	$L_p = 2a_p + \frac{z_2 + z_1}{2} + 0,02533 \frac{(z_2 - z_1)^2}{a_p}$. Значение L_p округлить до целого числа	
Межосевое расстояние a , мм (уточненное значение)	$a = p \frac{L_p - \frac{z_1 + z_2}{2} + \sqrt{\left(L_p - \frac{z_1 + z_2}{2} \right)^2 - 0,20264(z_2 - z_1)^2}}{4}$. Значение a уменьшить на (0,2–0,4) % для свободного провисания цепи	
<i>Проверочный расчет</i>		
1. Проверка по числу ударов цепи о зубья звездочек		
Допускаемое число ударов U_p	$U_p = \frac{508}{p}$	
Расчетное число ударов U	$U = 0,0667 \frac{z_1 n_1}{L_p}$. Должно выполняться условие: $U \leq U_p$. Нарушение условия $U \leq U_p$ не допускается, в противном случае следует увеличить межосевое расстояние a	
2. Проверка по давлению в шарнирах цепи		
Средняя скорость цепи v_u , м/с	$v_u = 1,667 \cdot 10^{-5} z_1 p n_1$; $v_u < 2$ м/с и $u = 10-15$ – тихоходная передача; $v_u = (2-6)$ м/с и $u \leq 6$ – среднескоростная передача; $v_u = (6-25)$ м/с и $u \leq 3$ – быстроходная передача	
Окружная сила F_t , Н	$F_t = 2000 \frac{T_{н1}}{d_{д1}}$	

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания
Проекция опорной поверхности шарнира $A_{оп}$, мм ²	табл. П.260, П.261
Допускаемое давление в шарнирах p_p , МПа	табл. П.263
Расчетное давление в шарнирах $p_{расч}$, МПа	$p_{расч} = \frac{F_t k_z}{A_{оп}}$ <p>Должно выполняться условие: $p_{расч} \leq p_p$.</p> <p>Перегрузка цепи не допускается.</p> <p>Если условие $p_{расч} \leq p_p$ не выполняется, то следует:</p> <ul style="list-style-type: none"> • либо принять цепь с большим шагом p, • либо увеличить z_1. <p>После принятой корректировки следует произвести перерасчет передачи</p>
3. Проверка прочности цепи по коэффициенту безопасности	
Масса одного метра цепи q , кг/м	табл. П.260, П.261
Центробежная сила $F_{ц}$, Н	$F_{ц} = qv_{ц}^2$
Коэффициент, учитывающий расположение цепи k_f	$k_f = 6$ при горизонтально расположенной цепи; $k_f = 1,5$ при наклонной цепи; $k_f = 1$ при вертикальной цепи
Ускорение свободного падения g , м/с ²	$g = 9,81$ м/с ²
Натяжение от провисания цепи F_f , Н	$F_f = k_f q a g$
Разрушающая нагрузка Q , Н	Табл. П.260, П.261
Нормативный коэффициент безопасности s_p	Табл. П.264
Коэффициент безопасности s	$s = \frac{Q}{k_d F_t + F_{ц} + F_f}$ <p>Должно выполняться условие: $s_p \leq s$.</p> <p>Перегрузка цепи не допускается.</p> <p>Если условие $s_p \leq s$ не выполняется, то следует:</p> <ul style="list-style-type: none"> • либо принять цепь с большим шагом p, • либо увеличить z_1. <p>После принятой корректировки следует произвести перерасчет передачи</p>
Предварительное натяжение цепи от провисания F_0 , Н	$F_0 = F_f$
Сила давления цепи на вал $F_{оп}$, Н	$F_{оп} = k_n F_t + 2F_0$

Таблица 3.36

*Расчет геометрических параметров звездочек цепной роликовой
и втулочной передач*

Точность вычислений значений:	
<ul style="list-style-type: none"> • линейных размеров – до второго знака после запятой; • углов – до угловой минуты 	
Схема передачи представлена на рис. 3.65	
Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания
<i>1. Размеры в торцевом сечении звездочек</i>	
Шаг цепи p , мм	табл. 3.35
Диаметр ролика (для роликовых цепей) d_1 , мм	
Диаметр втулки (для втулочных цепей) d_1 , мм	
Профиль зуба звездочки цепной передачи со смещением центров дуг впадин	
Число зубьев звездочки z	табл. 3.35
Диаметр делительной окружности d_d , мм	табл. 3.35
Диаметр окружности выступов D_a , мм	табл. 3.35
Половина угла впадины α , град	$\alpha_1 = 55^\circ - \frac{60^\circ}{z_1}$
	$\alpha_2 = 55^\circ - \frac{60^\circ}{z_2}$
Угол сопряжения β , град	$\beta_1 = 18^\circ - \frac{56^\circ}{z_1}$
	$\beta_2 = 18^\circ - \frac{56^\circ}{z_2}$

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Половина угла зуба φ , град	$\varphi_1 = 17^\circ - \frac{64^\circ}{z_1}$	
	$\varphi_2 = 17^\circ - \frac{64^\circ}{z_2}$	
Радиус впадин r , мм	$r = 0,5025d_1 + 0,05$ мм	
Диаметр окружности впадин D_f , мм	D_{f1}	$D_f = d_d - 2r$
	D_{f2}	
Радиус сопряжения r_1 , мм	$r_1 = 0,8d_1 + r$	
Радиус головки зуба r_2 , мм	для звездочки z_1	$r_2 = d_1(1,24\cos\varphi_1 + 0,8\cos\beta_1) - r$
	для звездочки z_2	$r_2 = d_1(1,24\cos\varphi_2 + 0,8\cos\beta_2) - r$
Прямой участок профиля FC , мм	для звездочки z_1	$FC = d_1(1,24\sin\varphi_1 - 0,8\sin\beta_1)$
	для звездочки z_2	$FC = d_1(1,24\sin\varphi_2 - 0,8\sin\beta_2)$
Расстояние от центра дуги впадины до центра дуги выступа зуба OO_2 , мм	$OO_2 = 1,24d_1$	
Наибольшая хорда (для контроля звездочек с нечетным числом зубьев) L_x , мм	для звездочек без смещения центров дуг впадин	$L_{x1} = d_{d1} \cos \frac{90^\circ}{z_1}$
		$L_{x2} = d_{d2} \cos \frac{90^\circ}{z_2}$
	для звездочек со смещением центров дуг впадин	$L_{x1} = d_{d1} \cos \frac{95^\circ}{z_1} - 2r$
		$L_{x2} = d_{d2} \cos \frac{95^\circ}{z_2} - 2r$
Смещение центров дуг впадин e , мм	для звездочек без смещения центров дуг впадин	$e = 0$
	для звездочек со смещением центров дуг впадин	$e = 0,03p$
Координаты точки O_1 , мм	для звездочки z_1	$x_1 = 0,8d_1\sin\alpha_1$
		$y_1 = 0,8d_1\cos\alpha_1$
	для звездочки z_2	$x_1 = 0,8d_1\sin\alpha_2$
		$y_1 = 0,8d_1\cos\alpha_2$

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Координаты точки O_2 , мм	Для звездочки z_1	$x_2 = 1,24d_1 \cos \frac{180^\circ}{z_1}$
		$y_2 = 1,24d_1 \sin \frac{180^\circ}{z_1}$
	Для звездочки z_2	$x_2 = 1,24d_1 \cos \frac{180^\circ}{z_2}$
		$y_2 = 1,24d_1 \sin \frac{180^\circ}{z_2}$
2. Размеры в поперечном сечении звездочек		
<p>Размеры зуба и венца звездочек в поперечном сечении следует вычислять с <i>точностью</i> до первого знака после запятой. Для исполнения <i>a</i> допускается округление величины <i>m</i> до целой величины в меньшую сторону. Размер D_c следует округлить до целой величины</p>		
Ширина пластины цепи (наибольшая) h , мм	табл. П.260, П.261	
Расстояние между внутренними пластинами цепи $B_{вн}$, мм	табл. П.260, П.261	
Расстояние между осями цепи A , мм	табл. П.261	
Радиус закругления зуба (наименьший) r_3 , мм	$r_3 = 1,7d_1$	
Расстояние от вершины зуба до линии центра дуг закруглений H , мм	$H = 0,8d_1$	
Диаметр обода (наибольший) D_c , мм	$D_{c1} = p \operatorname{ctg} \frac{180^\circ}{z_1} - 1,3h$	
	$D_{c2} = p \operatorname{ctg} \frac{180^\circ}{z_2} - 1,3h$	
	при $d_d < 150$ мм допускается $D_c = p \operatorname{ctg} \frac{180^\circ}{z} - 1,2h$	

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Радиус закруглений r_4 , мм	при $p \leq 35$ мм	$r_4 = 1,6$ мм
	при $p > 35$ мм	$r_4 = 2,5$ мм
Ширина зуба звездочки t , мм	однорядной	$t = 0,93B_{\text{BH}} - 0,15$ мм
	двухрядной	$t = 0,90B_{\text{BH}} - 0,15$ мм

Таблица 3.37

Формулы для определения величин составляющих силы, действующей на опору цепной передачи

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания
Силовая схема цепной передачи	
Угол γ , град	Исходные данные
Угол δ , град	$\delta = \arcsin \frac{d_{д1}(u-1)}{2a}$
Вертикальная составляющая F_y , Н	$F_y = F_{y1} = F_{y2} = F_0 \sin(\gamma + \delta) + (F_0 + F_t) \sin(\gamma - \delta)$
Горизонтальная составляющая F_x , Н	$F_x = F_{x1} = F_{x2} = F_0 \cos(\gamma + \delta) + (F_0 + F_t) \cos(\gamma - \delta)$

Таблица 3.38

Ориентировочные значения коэффициента полезного действия одноступенчатых цепных передач на подшипниках качения

Вид передачи	КПД
Закрытая с жидкой смазкой обычного изготовления	0,95–0,97
Открытая с пластичной смазкой	0,90–0,93

3.4.3. Правила выполнения чертежей

На чертеже звездочки должны быть:

- изображены виды и разрезы звездочки;
- нанесена необходимая текстовая часть;
- указаны габаритные и другие размеры, необходимые для изготовления звездочки;
- условные обозначения баз;
- допуски формы и расположения поверхностей;

- параметры шероховатости;
- технические требования:
- требования к материалу, заготовке, термической обработке;
- указания о размерах (размеры для справок, радиусы закруглений и т. п.);
- неуказанные предельные отклонения размеров;
- параметры, характеризующие параметры звездочки:
 - диаметр окружности выступов;
 - длина нарезанной части червяка по вершинам;
 - размер фасок или радиусы кривизны линий притупления на кромках зубьев (допускается указывать в технических требованиях чертежа вместо указания их на изображении звездочки);
 - шероховатость боковых поверхностей зубьев.

Кроме того, необходимо приводить параметры других конструктивных элементов звездочки.

Таблица параметров (рис. 3.20, 3.21) должна состоять из трех частей, которые разделяются сплошными основными линиями:

Первая часть содержит основные параметры для нарезания зубьев звездочки, в которой должны быть указаны:

- число зубьев звездочки z_1 ;
- параметры сопрягаемой цепи (тип цепи по ГОСТ 13568–75, шаг цепи, диаметр ролика);
- профиль зуба по ГОСТ 591–82;
- класс точности передачи по ГОСТ 591–82.

Во второй части таблицы параметров венца приводят данные для контроля взаимного положения разноименных профилей зубьев звездочки:

- диаметр окружности впадин D_f ;
- допуск на разность шагов δ_p ;
- радиальное биение окружности впадин E_0 ;
- торцовое биение зубчатого венца.

В третьей части таблицы должны быть приведены справочные данные:

- делительный диаметр d_d ;
- параметры сопрягаемой цепи:
 - ширина внутренней пластины h ,
 - расстояние между внутренними пластинами $B_{вн}$.

При изображении видов и сечений червяков и червячных колес следует руководствоваться следующими основными правилами.

1. Зубья звездочек цепных передач вычерчивают в осевых разрезах и сечениях.

В остальных случаях зубья не вычерчивают и изображаемые детали ограничивают поверхностями выступов зубьев (рис. 3.65–3.67).

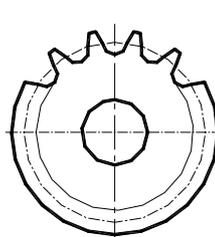


Рис. 3.66

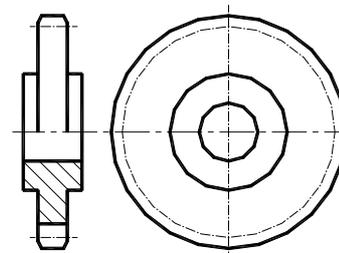


Рис. 3.67

Если необходимо показать профиль зуба, вычерчивают зуб на выносном элементе; допускается показывать их на *ограниченном участке* изображения детали (рис. 3.65–3.67).

2. *Окружности и образующие поверхностей выступов зубьев* показывают *сплошными основными линиями* (рис. 3.65, 3.66).

3. На чертежах звездочек цепных передач показывают *делительные окружности*, образующие делительных поверхностей (рис. 3.65, 3.67).

4. На *сборочных* чертежах цепных передач показывают *начальные окружности, начальные линии, образующие начальных поверхностей* (рис. 3.65).

5. *Делительные окружности и линии, образующие делительные поверхности*, показывают *штрихпунктирными тонкими линиями*.

6. *Окружности и образующие поверхностей впадин зубьев в разрезах и сечениях* показывают на всем протяжении *сплошными основными линиями*.

На видах звездочек цепных передач допускается показывать *окружности и образующие поверхностей впадин зубьев*, при этом их наносят *сплошными тонкими линиями* (рис. 3.65, 3.66).

7. Если секущая плоскость проходит *перпендикулярно к оси звездочки*, то звездочки, как правило, показывают *нерассеченными*; при необходимости показать звездочки *рассеченными* применяют *местный разрез* и проводят штриховку до линии поверхности впадин.

В перечисленных случаях невидимые контуры допускается не наносить, если это не затрудняет чтение чертежа.

8. При изображении цепных передач *цепь* показывают *штрихпунктирной тонкой линией*, соединяющей *делительные окружности* звездочек.

3.4.4. Конструирование элементов цепных передач

Конструкция звездочек цепных передач отличается от конструкции цилиндрических зубчатых колес внешнего зацепления лишь зубчатым венцом. Поэтому диаметр и длину ступицы выполняют по соотношениям для зубчатых колес внешнего зацепления (разд. 3.2.3.4).

Размеры венца звездочек роликовых и втулочных цепей (рис. 3.68) определяют по табл. 3.37 и 3.38.

Толщина диска c определяется по рекомендации:

$$c = (0,6 - 0,7)(D_i - D_c). \quad (3.29)$$

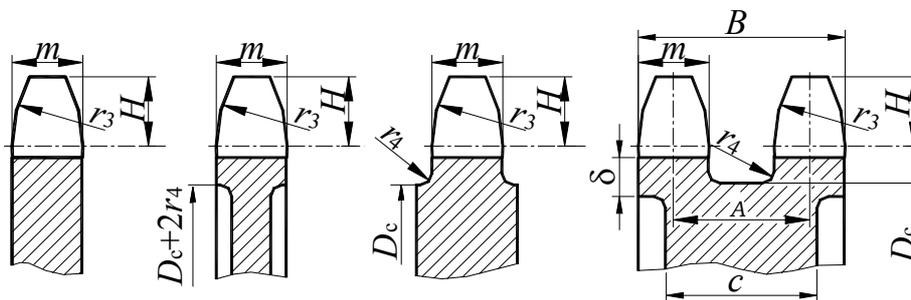


Рис. 3.68

3.4.5. Допуски на размеры звездочек цепных передач

При назначении допусков на размеры звездочек следует руководствоваться данными табл. П.265.

3.5. Ременные передачи

3.5.1. Общие сведения

Ременная передача предназначена для передачи вращения за счет *фрикционного* взаимодействия *замкнутой гибкой связи* (приводного ремня) с *жесткими звеньями* (шкивами).

Основные *достоинства* передач:

- простота конструкций;
- сравнительно малая стоимость;
- способность передавать вращательное движение на достаточно большие расстояния и работать с высокими скоростями;
- плавность работы;
- малый уровень шума;
- малая чувствительность к толчкам, ударам и перегрузкам (кратковременная перегрузка – до 300 %);
- отсутствие смазочной системы.

Основные *недостатки*:

- невысокая долговечность ремня;
- большие радиальные габаритные размеры;
- значительные нагрузки на валы и опоры;
- непостоянство передаточного отношения.

Используют ременную передачу в приводах мощностью до 50 кВт при скоростях ремня до 50 м/с.

Передаточное число u – соотношение диаметров большого и меньшего шкивов ($u_{\max} = 6$ для передач без натяжного ролика и $u_{\max} = 10$ для передач с натяжным роликом).

Ременную передачу применяют обычно в качестве *быстроходной* ступени привода, устанавливая ведущий шкив на вал двигателя.

Ременные передачи могут быть между:

- параллельными валами (рис. 3.69);
- перекрестными валами (рис. 3.70);
- полуперекрестными валами (рис. 3.71, рис. 3.72).

По типу ремней передачи подразделяют на плоскоремные (рис. 3.73, а, б), клиноремные (рис. 3.73, в), поликлиновые (рис. 3.73, г), круглоремные (рис. 3.73, д), вариаторные широким ремнем (рис. 3.73, е).

Наиболее распространены ремни общего назначения и антистатические ремни, которые состоят из тканевого каркаса и имеют резиновые прослойки между прокладками. Морозостойкие и антистатические ремни изготавливают с наружными резиновыми обкладками.

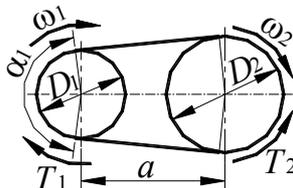


Рис. 3.69

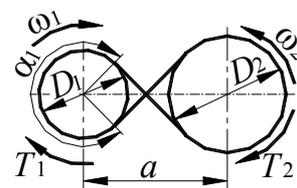


Рис. 3.70

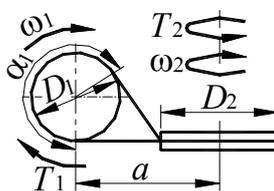


Рис. 3.71

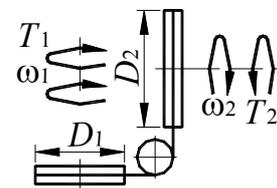


Рис. 3.72

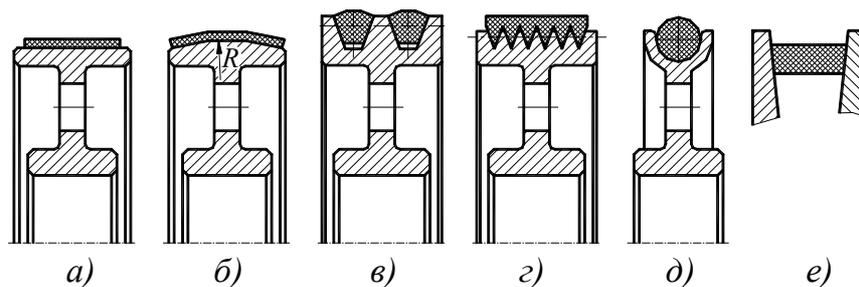


Рис. 3.73

Так как *вытяжка* ремней в процессе работы передачи может достигать 5 % от их первоначальной длины, при конструировании ременной передачи следует предусмотреть *натяжное устройство*. На рис. 3.74 приведена схема натяжного устройства: *а* – с *передвижным валом*; *б* – с *оттяжным валом*; *в* – с *качающимся валом*; *г* – с *натяжным роликом*.

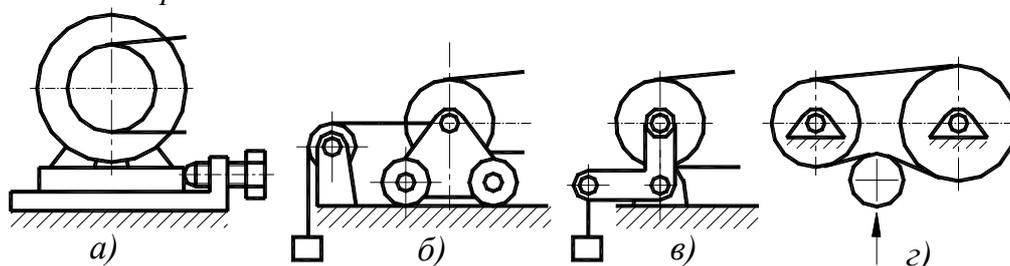


Рис. 3.74

Таблица 3.39

Ориентировочные значения коэффициента полезного действия одноступенчатых ременных передач на подшипниках качения

Вид передачи	КПД
Плоскоременная	0,96–0,98
Клиноременная	0,95–0,97

3.5.2. Плоскоременные передачи

3.5.2.1. Общие сведения

В *плоскоременных* передачах применяют ремни:

- резиноканевые;
- кожаные;
- хлопчатобумажные.

Резиноканевые ремни не рекомендуется использовать в среде загрязненной парами нефтепродуктов.

Кожаные ремни не рекомендуются для эксплуатации в средах с высокой влажностью, с парами кислот и щелочей, их отличает высокая стоимость.

Хлопчатобумажные ремни имеют относительно невысокую стоимость, характеризуются хорошим сцеплением со шкивом, но чувствительны к воздействию кислотных и водяных паров.

Технические данные *плоских* ремней приведены в табл. П.266–П.268, алгоритм расчета *плоскоременной* передачи – в табл. 3.40.

3.5.2.2. Расчет плоскоремennых передач

Таблица 3.40

Алгоритм расчета плоскоремennой передачи

Точность вычислений значений:			
<ul style="list-style-type: none"> • диаметров – до первого знака после запятой; • углов – до третьего знака после запятой 			
Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания	
Расчетный момент T_H , Нм	на входном шкиве	T_{H1}	см. разд. 13.3
	на выходном шкиве	$T_{H2} = uT_{H1}\eta_{пр.п}$	
Частота вращения входного (ведущего) шкива n_1 , об/мин		см. разд. 13.2	
Передаточное число u			
<i>Проектный расчет</i>			
Диаметр входного (ведущего) шкива d_1 , мм		$d_1 \approx 60\sqrt[3]{T_{H1}}$. По найденному значению подбирают из стандартного ряда (табл. П.270)	
Относительное скольжение ε		$\varepsilon = 0,01$	для передач с регулируемым натяжением ремня
Диаметр выходного (ведомого) шкива d_2 , мм		$d_2 = d_1u(1 - \varepsilon)$. Полученное значение округлить до ближайшего из стандартного ряда чисел (табл. П.50)	
Передаточное число u_ϕ (уточненное значение)		$u = \frac{d_2}{d_1(1 - \varepsilon)}$	
Отклонение передаточного числа от заданного Δu		$\Delta u = \frac{u_\phi - u}{u} 100\%$. Полученное значение не должно превышать $\pm 4\%$. В противном случае следует изменить значение d_2	
Межосевое расстояние a , мм		$a = 2(d_1 + d_2)$	
Угол обхвата малого шкива α_1 , град		$\alpha_1 = 180^\circ - 57,3^\circ \frac{d_2 - d_1}{a}$	
Длина ремня L , мм		$L = 2a + \frac{\pi(d_1 + d_2)}{2} + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a}$	Без учета припуска на соединение концов
Скорость ремня v , м/с		$v \approx 5,24 \cdot 10^{-5} d_1 n_1$	
Число пробегов ремня в секунду λ		$\lambda = 1000 \frac{v}{L}$. Должно выполняться условие: $\lambda \leq 15 \text{ с}^{-1}$. В противном случае следует увеличить длину ремня и сделать перерасчет	

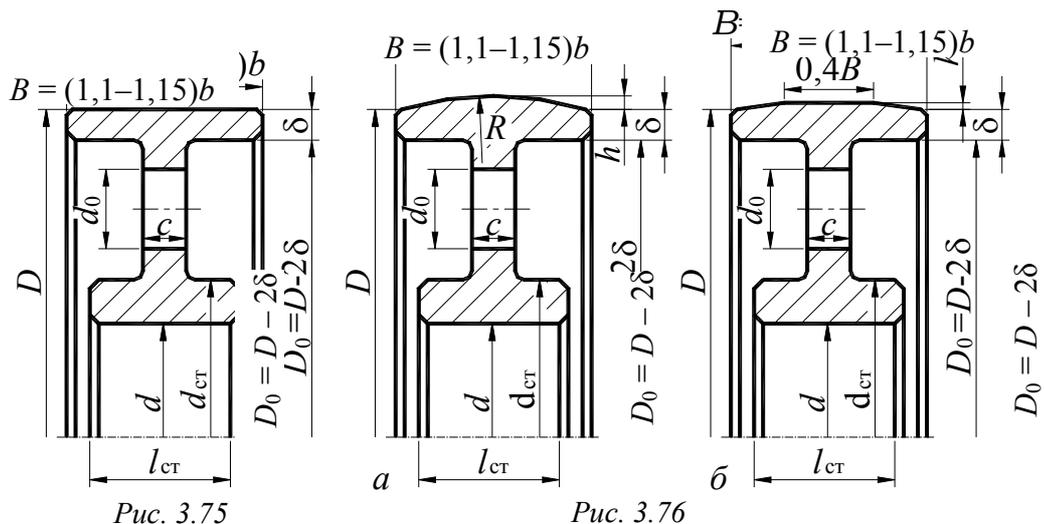
Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания	
Окружная сила, Н		$F_t = 2000 \frac{T_{н1}}{d_1}$	
Коэффициент угла обхвата C_α		$C_\alpha = 1 - 0,003(180^\circ - \alpha_1)$	
Коэффициент, учитывающий влияние скорости ремня, C_v		$C_v = 1,04 - 0,0004v^2$	
Коэффициент, учитывающий влияние угла наклона линии центров передачи, C_γ		$C_\gamma = 1$ при $\gamma < 60^\circ$; $C_\gamma = 0,9$ при $80^\circ > \gamma \geq 60^\circ$; $C_\gamma = 0,8$ при $\gamma \geq 80^\circ$	
Коэффициент режима работы C_p		табл. П.272	
Наибольшая допускаемая нагрузка на прокладку, p_0 , Н/мм ширины		табл. П.266	
p_p – допускаемая рабочая нагрузка на 1 мм ширины прокладки		$p_p = p_0 C_\alpha C_v C_p C_\gamma$	
Число прокладок z		табл. П.266	
Ширина ремня b , мм		$b \geq \frac{F_1}{z p_p}$. Полученное значение округлить до стандартного по табл. П.266	
Число прокладок $z_{п}$		табл. П.266	
Расчетная толщина прокладки с резиновой прослойкой $\delta_{п}$, мм		табл. П.266	
Толщина ремня δ_p , мм		$\delta_p = z_{п} \delta_{п}$	
Напряжение от предварительного натяжения ремня (<i>оптимальное значение</i>) σ_0 , МПа		$\sigma_0 = 1,8$ МПа	
Предварительное натяжение ремня F_0 , Н		$F_0 = \sigma_0 b \delta_p$	
Натяжение ветвей F , Н	ведущей	$F_1 = F_0 + 0,5F_t$	
	ведомой	$F_2 = F_0 - 0,5F_t$	
Напряжение от силы F_1 , МПа		$\sigma_1 = \frac{F_1}{b \delta}$	
Модуль упругости $E_{и}$, МПа		для резинотканевых и кожаных ремней	$E_{и} = (100 - 150)$ МПа
		для хлопчатобумажных ремней	$E_{и} = (50 - 80)$ МПа

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Напряжение изгиба, МПа	$\sigma_{и} = \frac{E_{и}\delta}{d_1}$	
Плотность ремня ρ , кг/м ³	$\rho = (1100-1200) \text{ кг/м}^3$	
Напряжение от центробежной силы σ_v , МПа	$\sigma_v = \rho v^2 10^{-6}$	
Предел выносливости σ_{-1} , МПа	для кожаных и резинотканевых ремней	$\sigma_{-1} = 7 \text{ МПа}$
	для хлопчатобумажных ремней	$\sigma_{-1} = 5 \text{ МПа}$
Максимальное напряжение σ_{\max} , МПа	$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_{и} + \sigma_v$. Необходимо выполнение условия: $\sigma_{\max} \leq \sigma_{-1}$. В противном случае необходимо: <ul style="list-style-type: none"> • либо увеличить ширину ремня b, • либо увеличить диаметр шкива d_1. После принятой корректировки необходимо произвести перерасчет передачи	
Коэффициент, учитывающий влияние передаточного отношения, C_u	$C_u = 1,5\sqrt[3]{u} - 0,5$	
Коэффициент, учитывающий влияние нагрузки, C_H	при постоянной нагрузке	$C_H = 1$
	при периодически изменяющейся нагрузке от нуля до номинального значения	$C_H = 2$
Рекомендуемая долговечность h_0 , ч	$h_0 = 2000 \text{ ч}$	
Долговечность h , ч	$h = 1,38 \times 10^3 \left(\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{\max}} \right)^6 \frac{C_u C_H}{\lambda}$ Необходимо выполнение условия: $h \leq h_0$. В противном случае необходимо: <ul style="list-style-type: none"> • либо увеличить ширину ремня b; • либо увеличить диаметр шкива d_1. После принятой корректировки необходимо произвести перерасчет передачи	

3.5.2.3. Конструкции шкивов

Типы, исполнения и основные параметры шкивов плоскоремennых передач приведены в табл. П.278.

Шкивы плоскоремennых передач могут иметь внешнюю поверхность цилиндрическую (при небольших линейных скоростях) (рис. 3.75), сферическую (рис. 3.76, а) или цилиндрическую с краями в форме конусов (рис. 3.76, б), которые уменьшают возможность схода ремня со шкива в процессе работы, особенно при наличии непараллельности осей валов, а также в быстроходных передачах.



В высокоскоростных передачах ($v > 40$ м/с) на шкивах выполняют кольцевые канавки, которые, как показывает практика, уменьшают «аэродинамический клин» между ремнем и шкивом, ослабляющий сцепление между ними.

Диаметр и длину ступицы выполняют по соотношениям для зубчатых колес внешнего зацепления (разд. 3.2.3.4).

В заказе на шкивы указывать:

- тип и исполнение шкива;
- наружный диаметр;
- ширину обода;
- диаметр посадочного отверстия;
- предельное отклонение посадочного отверстия.

3.5.2.4. Допуски плоскоременных передач

Допуски назначают по 7-й степени точности:

- на радиальное биение (табл. П.64);
- на торцовое биение (табл. П.63);
- на цилиндричность (табл. П.61);
- на круглость (табл. П.61);
- на профиль продольного сечения (табл. П.61).

3.5.3. Клиноременные передачи

Основные данные по клиноременным передачам приведены в табл. П.269–П.277.

3.5.3.1. Расчет клиноременных передач

Таблица 3.41

Алгоритм расчета клиноременной передачи

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания	
Точность вычислений значений: <ul style="list-style-type: none"> • диаметров – до первого знака после запятой; • углов – до третьего знака после запятой 			
Расчетный момент T_n , Нм	на входном шкиве	T_{n1}	см. разд. 13.3
	на выходном шкиве	$T_{n2} = uT_{n1}\eta_{кр.п}$	
Частота вращения входного (ведущего) шкива n_1 , об/мин		см. разд. 13.2	
Передаточное число u			
Проектный расчет			
Выбор сечения ремня			
Диаметр входного (ведущего) шкива d_1 , мм		$d_1 \approx (30 - 40)\sqrt[3]{T_1}$	По найденному значению подбирают из стандартного ряда (табл. П.270)
Относительное скольжение ε		$\varepsilon = 0,015 - 0,020$	
Диаметр выходного (ведомого) шкива d_2 , мм		$d_2 = d_1 u (1 - \varepsilon)$	Полученное значение округлить до ближайшего из стандартного ряда чисел (табл. П.50)
Передаточное число u_ϕ (уточненное значение)		$u = \frac{d_2}{d_1 (1 - \varepsilon)}$	
Отклонение передаточного числа от заданного Δu		$\Delta u = \frac{u_\phi - u}{u} 100 \%$	Полученное значение не должно превышать $\pm 4 \%$. В противном случае следует изменить значение d_2
Высота сечения ремня T_0 , мм		табл. П.269	

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания
Межосевое расстояние a , мм	$a_{\min} = 0,55(d_1 + d_2) + T_0$
	$a_{\max} = (1,5 - 2)(d_1 + d_2)$
Длина ремня L , мм	$L = 2a + \frac{\pi(d_1 + d_2)}{2} + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a}$ <p>Полученное значение округлить до ближайшего большего расчетного значения L_p по табл. П.270</p>
Вспомогательные величины, мм	$x = 0,5\pi(d_1 + d_2)$
	$y = (d_2 - d_1)^2$
Межосевое расстояние a , мм (уточненное значение)	$A = \frac{L_p - x + \sqrt{(L_p - x)^2 - 2y}}{4}$
Скорость ремня v , м/с	$v \approx 5,24 \cdot 10^{-5} d_1 n_1$
Число пробегов ремня в секунду λ , с ⁻¹	$\lambda = 1000 \frac{V}{L_p}$ <p>Должно выполняться условие $\lambda \leq 30 \text{ с}^{-1}$. В противном случае следует увеличить длину ремня (см. табл. П.270) и сделать перерасчет</p>
Угол обхвата малого шкива α_1 , град	$\alpha_1 = 180^\circ - 57,3^\circ \frac{d_2 - d_1}{a}$
Коэффициент режима работы C_p	Табл. П.272
Коэффициент, учитывающий влияние длины ремня, C_L	Табл. П.271
Коэффициент угла обхвата C_α	Табл. П.273
Коэффициент, учитывающий число ремней в передаче, C_z	Табл. П.274
Номинальная мощность, допускаемая для передачи одним ремнем, P_0 , кВт	Табл. П.270
Число ремней z	$z = 1,05 \times 10^{-4} \frac{T_{н1} n_1}{C_p C_L C_\alpha C_z P_0}$ <p>Полученное значение округлить до ближайшего большего целого числа. В передачах малой и средней мощности рекомендуется принимать число клиновых ремней не более 4-х из-за их неодинаковой длины и, следовательно, неравномерности нагружения</p>

Параметры и обозначения		Расчетные формулы и указания
Число ремней z (продолжение)		В противном случае необходимо: <ul style="list-style-type: none"> • либо принять большее сечение ремня; • либо увеличить диаметр шкива d_1. После принятой корректировки необходимо произвести перерасчет передачи
Коэффициент, учитывающий центробежную силу, θ , (Нс ² /м ²)		Табл. П.275
Предварительное натяжение ветви одного ремня F_0 , Н		$F_0 = 0,089T_{н1}n_1 \frac{C_p C_L}{z\nu C_\alpha} + \theta v^2$
Окружная сила F_t , Н		$F_t = 2000 \frac{T_{н1}}{d_1}$
Натяжение ветвей F , Н	ведущей	$F_1 = zF_0 + 0,5F_t$
	ведомой	$F_2 = zF_0 - 0,5F_t$
Площадь поперечного сечения ремня A , мм ²		Табл. П.269
Напряжение от силы F_1 , МПа		$\sigma_1 = \frac{F_0 + \frac{F_t}{z}}{A}$
Модуль упругости $E_{и}$, МПа		$E_{и} = (80-100)$ МПа
Напряжение изгиба $\sigma_{и}$, МПа		$\sigma_{и} = \frac{E_{и}h}{d_1}$
Плотность ремня ρ , кг/м ³		$\rho = (1250-1400)$ кг/м ³
Напряжение от центробежной силы σ_v , МПа		$\sigma_v = 10 - 6 \times \rho v^2$
Предел выносливости σ_{-1} , МПа		$\sigma_{-1} = 10$ МПа
Максимальное напряжение σ_{max} , МПа		$\sigma_{max} = \sigma_1 + \sigma_{и} + \sigma_v$. Необходимо выполнение условия: $\sigma_{max} \leq \sigma_{-1}$. В противном случае необходимо: <ul style="list-style-type: none"> • либо принять большее сечение ремня, • либо увеличить диаметр шкива d_1. После принятой корректировки необходимо произвести перерасчет передачи
Коэффициент, учитывающий влияние передаточного отношения, C_u		$C_u = 1,5\sqrt[3]{u} - 0,5$

Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания	
Коэффициент, учитывающий влияние нагрузки, C_H	при постоянной нагрузке	$C_H = 1$
	при периодически изменяющейся нагрузке от нуля до номинального значения	$C_H = 2$
Рекомендуемая долговечность h_0 , ч	при легком режиме работы	$h_0 = 5000$ ч
	при среднем режиме работы	$h_0 = 2000$ ч
	при тяжелом режиме работы	$h_0 = 1000$ ч
Базовое число циклов $N_{0ц}$	Табл. П.276	
Рабочий ресурс передачи h , ч	$h = 0,0053 N_{0ц} L_p \left(\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{max}} \right)^8 \frac{C_u C_H}{d_1 n_1}$ <p>Необходимо выполнение условия: $h \leq h_0$.</p> <p>В противном случае необходимо:</p> <ul style="list-style-type: none"> • либо принять большее сечение ремня, • либо увеличить диаметр шкива d_1. <p>После принятой корректировки необходимо произвести перерасчет передачи</p>	

3.5.3.2. Конструкции шкивов клиноременных передач

Профили канавок шкивов клиноременных передач (рис. 3.77) приведены в табл. П.277.

Диаметр и длину ступицы выполняют по соотношениям для зубчатых колес внешнего зацепления (разд. 3.2.3.4).

В заказе на шкивы указывают:

- тип шкива;
- наружный диаметр;
- ширину обода;
- диаметр посадочного отверстия,
- предельное отклонение посадочного отверстия.

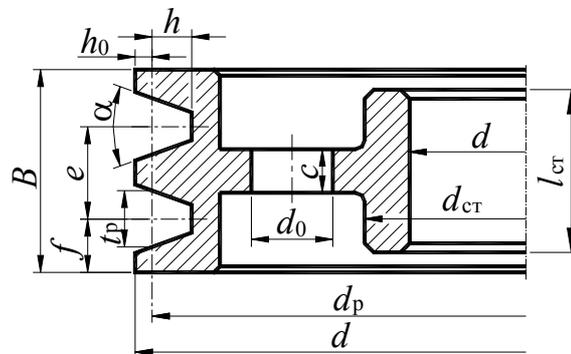


Рис. 3.77

3.5.3.3. Допуски клиноременных передач

Предельные отклонения расчетных диаметров d – по $b11$ (табл. П.55).

Предельные отклонения наружных диаметров d_a – по $h11$ (табл. П.55).

Неуказанные предельные отклонения размеров обрабатываемых поверхностей (табл. П.54–П.55):

- отверстий – по $H14$;
- валов – $h14$;
- остальных – по $JS15$ ($js15$).

Предельные отклонения угла конусного отверстия – по 6-й степени точности ГОСТ 8908–81 (табл. П.59).

Предельные отклонения длины ступицы L для шкивов с коническим посадочным отверстием не должны быть более $h12$ (табл. П.55).

Допуски назначают по 8 степени точности:

- на радиальное биение (табл. П.64);
- торцовое биение (табл. П.63);
- цилиндричность (табл. П.61);
- круглость (табл. П.61);
- профиль продольного сечения (табл. П.61).

Предельные отклонения угла канавки для механически обработанных шкивов не должны быть более:

- 1° – для ремней сечений Z (О), A (А), B (Б);
- 30' – для ремней сечений C (В), D (Г), E (Д).

Биение конусной рабочей поверхности канавки шкива на каждые 100 мм диаметра шкива, замеренное перпендикулярно образующей конуса, не должно быть более:

- 0,20 мм – при частоте вращения шкива до 8 рад/с;
- 0,15 мм – при частоте вращения шкива (8–16) рад/с;
- 0,10 мм – при частоте вращения шкива более 16 рад/с.

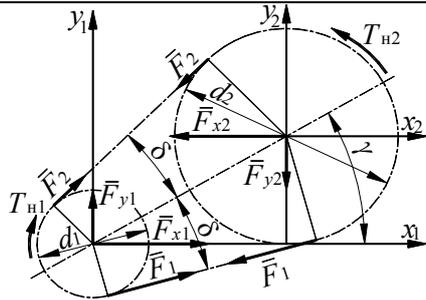
В шкивах со спицами ось шпоночного паза должна совпадать с продольной осью спицы. На рабочих поверхностях канавок шкивов не должно быть пористости, пузырей, царапин и вмятин после механической обработки.

Параметры шероховатости R_a рабочих поверхностей канавок должны быть не более 2,5 мкм (по ГОСТ 2789–73).

3.5.4. Определение величин составляющих силы, действующей на опору ременной передачи

Таблица 3.42

Формулы для определения величин составляющих силы, действующей на опору ременной передачи

Силовая схема ременной передачи	
Параметры и обозначения	Расчетные формулы и указания
Угол γ , град	Исходные данные
Угол δ , град	$\delta = \arcsin \frac{d_1(u-1)}{2a}$
Вертикальная составляющая F_y , Н	$F_y = F_{y1} = F_{y2} = F_1 \sin(\gamma - \delta) + F_2 \sin(\gamma + \delta)$
Горизонтальная составляющая F_x , Н	$F_x = F_{x1} = F_{x2} = F_1 \cos(\gamma - \delta) + F_2 \cos(\gamma + \delta)$

3.5.5. Установка шкивов

Шкивы, как правило, устанавливают консольно и фиксируют в осевом направлении.

Пример установки шкива представлен на рис. 3.78.

Обод шкива, установленного на консольном участке вала, для уменьшения изгибающего момента следует располагать как можно ближе к опоре (рис. 3.78).

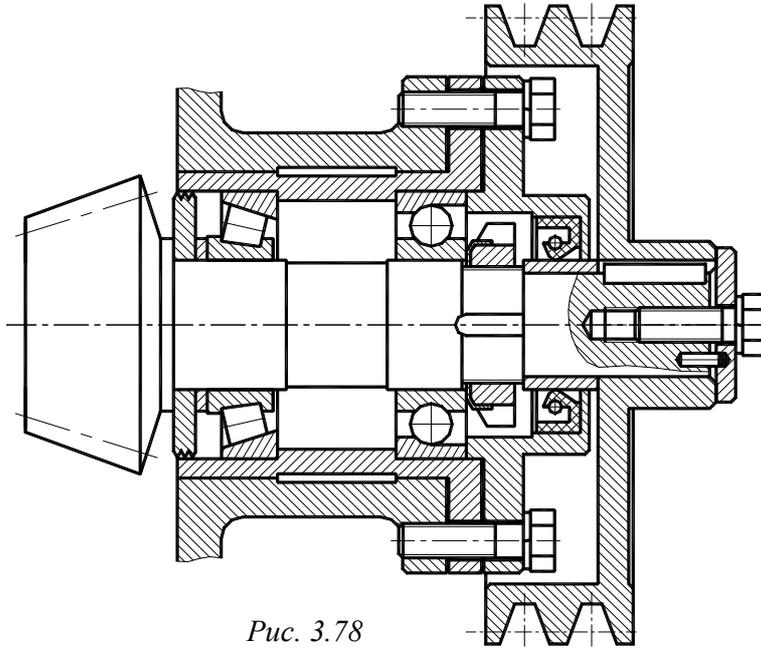


Рис. 3.78