

**Н.Г. Полюшкин**

**ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

**Руководство к курсовому проектированию**

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

**Н.Г. Полюшкин**

## **ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

### **Руководство к курсовому проектированию**

*Рекомендовано учебно-методическим советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет» для внутривузовского использования в качестве учебного пособия по направлениям подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» и 35.03.06 «Агроинженерия»*

Электронное издание

Красноярск 2023

ББК 34.44

П 53

*Рецензенты:*

*А.Е. Митяев, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой  
прикладной механики Политехнического института СФУ*

*К.В. Сафонов, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой  
прикладной механики СибГУ им. М.Ф. Решетнёва*

П 53 *Полюшкин, Н.Г.* Техническая механика. Руководство к курсовому проектированию: учебное пособие [Электронный ресурс] / *Н.Г. Полюшкин*; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2023. – 128 с.

В издании приведены методические рекомендации по выполнению курсового проекта по дисциплине «Техническая механика», раздел «Детали машин и основы конструирования». Дано поэтапное разъяснение по вариантам заданий и оформлению чертежей.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 35.03.06 «Агроинженерия».

ББК 34.44

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	7
1.1 Виды работ, выполняемых при проектировании .....	7
1.2 Структура пояснительной записки .....	7
1.3 Структура и вид графической части .....	8
1.4 Требования к оформлению расчетно-пояснительной записки и графической части .....	8
2 ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ .....	14
2.1 Общая характеристика заданий.....	14
2.2 Объем проектирования.....	15
2.3 Семестровый график выполнения курсового проекта.....	17
3 МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	20
3.1 Кинематический расчет привода.....	20
3.2 Расчет зубчатых и червячных передач .....	22
3.2.1 Выбор материалов и термообработки .....	22
3.2.2 Допускаемые контактные напряжения.....	23
3.2.3 Допускаемые напряжения на изгиб .....	24
3.2.4 Проектный расчет зубчатых и червячных передач.....	24
3.2.4.1 Расчет зубчатой цилиндрической передачи .....	25
3.2.4.2 Расчет зубчатой конической передачи .....	26
3.2.4.3 Расчет червячной передачи.....	28
3.2.5 Нагрузки валов редуктора.....	30
3.3 Проектирование ременной передачи .....	32
3.3.1 Расчет плоскоремной передачи .....	32
3.3.2 Расчет клиноремной и поликлиноремной передачи .	34
3.4 Проектирование цепной передачи .....	35
3.4.1 Расчет цепной передачи .....	36
3.5 Эскизное проектирование .....	37
3.5.1 Расстояние между деталями .....	38
3.5.2 Конструктивные размеры корпуса редуктора .....	38



3.5.2 Предварительный расчет валов редуктора .....	41
3.5.3 Расчет конструктивных размеров зубчатых и червячных колес.....	44
3.5.4 Выбор подшипников качения.....	46
3.5.5 Выбор шпоночного соединения .....	46
3.6 Конструктивные размеры крышек и стаканов подшипников качения .....	47
3.7 Смазывание и уплотнение подшипниковых узлов .....	50
3.8 Смазывание редукторов .....	52
3.9 Установочные рамы и плиты.....	53
3.10 Выбор муфты.....	54
3.11 Эскизный проект редуктора .....	56
3.11.1 Первый этап эскизного проектирования .....	56
3.11.1.1 Первый этап эскизного проектирования цилиндрического редуктора.....	56
3.11.1.2 Первый этап эскизного проектирования конического редуктора.....	58
3.11.1.3 Первый этап эскизного проектирования червячного редуктора.....	59
3.11.2 Второй этап эскизного проектирования.....	61
3.11.2.1 Второй этап эскизного проектирования цилиндрического редуктора.....	62
3.11.2.2 Второй этап эскизного проектирования конического редуктора.....	62
3.11.2.3 Второй этап эскизного проектирования червячного редуктора.....	63
3.12 Проверочные расчеты.....	64
3.12.1 Проверочный расчет подшипников качения .....	64
3.11.2 Проверочный расчет шпоночного соединения.....	66
3.11.3 Проверочный расчет валов .....	67
3.12 Рабочая документация на электромеханический привод..	68
3.12.1 Разработка сборочного чертежа редуктора.....	68
3.12.2 Спецификация сборочного чертежа .....	69

3.12.3 Рабочие чертежи деталей редуктора.....	69
3.12.4 Выбор посадок гладких соединений.....	71
3.12.5 Назначение допусков формы и расположения поверхностей.....	73
3.12.6 Назначение шероховатости поверхностей.....	74
4 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЗАЩИТЫ .....	77
4.1 Доклад и презентация.....	77
4.2 Вопросы к защите курсового проекта .....	78
4.3 Тестовые задания .....	80
4.3.1 Общие вопросы расчета и проектирования деталей и узлов .....	81
4.3.2 Основы проектирования механизмов, стадии разработки	82
4.3.3 Соединения .....	83
4.3.4 Передачи .....	85
4.3.5 Валы, оси и подшипники качения.....	92
4.3.6 Муфты .....	94
4.3.7 Вопросы конструирования.....	95
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	101
ЛИТЕРАТУРА.....	102
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	103

## ВВЕДЕНИЕ

В состав курса «Техническая механика» входят такие дисциплины, как «Соппротивление материалов», «Теория механизмов и машин», «Детали машин и основы конструирования». Курсовое проектирование является главной составляющей в освоении курса.

Цель курсового проекта – приобретение практических навыков и умений конструирования электромеханического привода общего назначения, состоящего из электродвигателя, редуктора, ременной или цепной передачи и муфт.

Выполнение курсового проекта способствует закреплению и углублению теоретических знаний, развитию творческой инициативы и самостоятельности. Полученные знания позволяют приступить к изучению цикла специальных дисциплин, в которых излагаются основы теории, расчета, конструирования и эксплуатации машин соответствующего назначения.

В ходе проведения проектных работ студенты приобретают практические навыки кинематического исследования механизмов и изображения кинематических схем: изучают устройство электромеханического привода и выполняют инженерные расчеты наиболее распространенных деталей машин общего назначения, входящих в состав открытых и закрытых передач; оценивают их надежность и проводят анализ принятых решений; проводят прочностные расчеты при конструировании. Помимо этого, студенты знакомятся с правилами оформления рабочих чертежей и расчетно-пояснительной записки в соответствии с единой системой конструкторской документации (ЕСКД). Совершенствуют навыки работы в системах автоматизированного проектирования, таких как «КОМПАС-3D», «Т-Flex» и другие. Работают с технической и справочной литературой.

В книге рассматриваются этапы выполнения курсового проекта по дисциплине «Детали машин и основы конструирования». Материалы учебно-методического пособия расположены в таком порядке, в котором следует работать над проектом исходя из варианта технического задания. Представленные в разделах ссылки на рекомендуемую литературу позволяют ускорить курсовое проектирование, а тестовые задания и контрольные вопросы дают возможность успешно подготовиться к защите проекта.

# **1 СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

## **1.1 Виды работ, выполняемых при проектировании**

Темой курсового проекта является «Проектирование электромеханического привода общего назначения».

В качестве объекта проектирования принимается электромеханический привод, в состав которого входят асинхронный электродвигатель, одноступенчатый редуктор, открытая передача, муфта.

В курсовом проекте необходимо выполнить кинематический расчет привода и подобрать электродвигатель; рассчитать зубчатую или червячную передачу; подобрать подшипники качения и рассчитать их долговечность; провести проверочные расчеты валов и шпоночных соединений. По результатам расчета выполняется графическая часть.

Полностью выполненный проект представляется в виде комплекта конструкторской документации – расчетно-пояснительной записки (ПЗ) и чертежей.

## **1.2 Структура пояснительной записки**

Расчетно-пояснительная записка должна содержать введение, техническое задание, основную часть, заключение, список использованных источников.

Основная часть курсового проекта содержит следующие разделы:

1 Кинематический расчет привода.

1.1 Выбор электродвигателя.

1.2 Уточнение передаточных чисел.

1.3 Определение частот вращения и угловых скоростей валов.

1.4 Определение крутящих моментов на валах.

1.5 Определение мощности на валах.

2 Расчет зубчатых (червячных) передач.

2.1 Выбор материалов и термообработки.

2.2 Допускаемые контактные напряжения.

2.3 Допускаемые напряжения на изгиб зубьев.

2.4 Расчет геометрических параметров передачи.

2.5 Расчет нагрузок, действующих в зацеплении.

2.6 Проверочный расчет зубчатой (червячной) передачи.

- 2.7 Тепловой расчет редуктора (червячная передача).
- 3 Расчет ременной (цепной) передачи.
  - 3.1 Проектный расчет.
  - 3.2 Проверочный расчет.
- 4 Эскизное проектирование.
  - 4.1 Расстояние между деталями редуктора.
  - 4.2 Конструктивные размеры корпуса редуктора.
  - 4.3 Предварительный расчет валов.
  - 4.4 Расчет конструктивных элементов зубчатых (червячных)

колес.

- 4.5 Выбор подшипников качения.
- 4.6 Выбор шпоночного соединения.
- 4.7 Конструктивные размеры крышек и стаканов подшипников качения.

#### 5 Проверочные расчеты.

- 5.1 Проверка долговечности подшипников качения.
- 5.2 Проверка прочности шпоночных соединений.
- 5.3 Уточненный расчет валов.

Объем пояснительной записки составляет 25–30 страниц формата А4.

### **1.3 Структура и вид графической части**

Графическая часть должна быть выполнена в соответствии с требованиями действующих стандартов ЕСКД и ЕСДП и включает в себя следующие чертежи:

- сборочный чертеж редуктора – формат А1;
- чертеж тихоходного вала – формат А3;
- чертеж зубчатого (червячного) колеса – формат А3.

### **1.4 Требования к оформлению расчетно-пояснительной записки и графической части**

Пояснительная записка к курсовому проекту должна выполняться в соответствии с требованиями ЕСКД к текстовым документам, а также с учетом рекомендаций, приведенных в учебном пособии.

Оформляется с использованием компьютера в текстовом редакторе «Microsoft Office Word» на листах белой бумаги формата А4.

Используемый шрифт «Times New Roman» размером 14. Межстрочный интервал принимают одинарный или полуторный. Абзацный отступ, за исключением заголовков структурных элементов, должен быть одинаковым по всему тексту документа и равен 1,25 см.

В некоторых случаях допускается рукописное изложение текста документа. При этом почерк должен быть четким и аккуратным, чернила черного цвета, высота букв и цифр не менее 3 мм, расстояние между строк не менее 8 мм и не более 10 мм.

В записке приводится содержание, включающее перечень этапов расчета (структурных элементов). Содержание ПЗ делится на разделы, подразделы, а в случае необходимости на пункты и подпункты. Каждый раздел должен иметь порядковый номер, обозначенный арабскими цифрами, краткое название прописными буквами полужирным шрифтом. В конце названия точка не ставится, например:

## 1 КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРИВОДА

### 2 РАСЧЕТ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

Каждый структурный элемент текстового документа начинают с нового листа и отделяют от текста интервалом в одну строку.

Если раздел содержит подраздел, тогда в нумерацию включают номер раздела и порядковый номер подраздела, разделенные точкой. В конце номера точка не ставится. Наименование подраздела записывают с прописной буквы, например:

#### 1.1 Выбор электродвигателя

#### 1.2 Уточнение передаточных чисел

Номер пункта должен содержать номер раздела, номер подраздела и порядковый номер подпункта, разделенных точкой. Заголовок пункта пишется с прописной буквы, например:

##### 1.1.1 Расчет требуемой мощности электродвигателя

##### 1.1.2 Расчет коэффициента полезного действия

Все выполненные расчеты должны сопровождаться необходимыми пояснениями, содержать уравнения, выводы соответствующих зависимостей, сопровождаться требуемыми графическими иллюстрациями, рисунками или чертежами. Материал ПЗ следует излагать кратко и логически последовательно. Необходимо придерживаться точности формулировок, исключающих возможность неоднозначного толкования.

Расчеты деталей машин производятся в системе СИ (м, мм, Н, кН, Нм, Па, МПа и др.). При выполнении расчетов необходимо обеспечить их достаточную точность. При этом значение силы следует округлять до целого числа Н, для моментов и напряжений – десятая доля чисел Нм и МПа. Все линейные размеры берут целыми числами в миллиметрах в соответствии с рядами предпочтительных чисел.

При записывании расчетов в ПЗ следует сначала записать формулу в отдельной строке, а затем привести пояснение символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу. Пояснение каждого символа приводят с новой строки. Первую строку пояснения начинают со слова «где». После этого формула записывается без преобразований, с числовыми значениями всех величин и результата вычислений. Например, при определении требуемой мощности электродвигателя следует писать

$$P_{э.тр.} = \frac{P_{вых}}{\eta_{общ}},$$

где  $P_{вых}$  – мощность на выходном валу, кВт;  
 $\eta_{общ}$  – суммарный КПД привода.

$$P_{э.тр.} = \frac{5,5}{0,87} = 6,3 \text{ кВт.}$$

Несоблюдение указанного правила затрудняет чтение и проверку расчетов и может привести к ошибке.

Формулы, помещаемые в тексте, нумеруются по порядку арабскими цифрами в пределах всего документа. Номер указывается в круглых скобках в крайнем правом положении:

$$F_{r2} = \frac{2T_2 \cdot 10^3}{d_2}. \quad (1)$$

Допускается нумеровать формулы в пределах каждого раздела. В этом случае номер будет состоять из номера раздела и номера формулы, разделенных точкой:

$$V = \frac{\omega d}{2} = \frac{\pi d n}{60} . \quad (1.1)$$

Чертежи, помещаемые в ПЗ, выполняются в соответствии с требованиями действующих государственных стандартов ЕСКД.

Все имеющиеся иллюстрации нумеруют арабскими цифрами в пределах всего документа или в пределах раздела, например:

Рисунок 1 – Кинематическая схема привода

Рисунок 1.2 – Расчетная схема тихоходного вала.

В заключение необходимо привести выводы по результатам выполненной работы; провести оценку полноты решений поставленных задач, полученных результатов, а также преимущества принятых конструктивных решений.

В конце ПЗ приводится список использованных источников и размещается приложение. В список использованных источников вносят все литературные источники, правовые и нормативные документы, на которые сделаны ссылки в тексте КП. Список использованных источников оформляется в соответствии с СТО 4.2-07-2014.

В приложении помещают материалы, которые не могут быть помещены в основной текст документа: иллюстрации большого формата или объема; справочный материал; таблицы с данными; спецификации и др.

Страницы курсового проекта (КП) нумеруют арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему документу. В основной надписи указывают номер страницы и шифр документа – КП 15.03.02 07.05 ПЗ (рис. 1.1). Шифр содержит номер направления, номер задания и номер варианта исходных данных.

Титульный лист КП включают в общую нумерацию страниц, но номер страницы на нем не проставляют. Пример оформления титульного листа приведен в приложении А.

Графическая часть курсового проекта выполняется на белых листах формата А1 и А3 и подшивается к пояснительной записке.



Инд. № подл.	Подл. и дата	Направление подготовки			Номер задания		Номер варианта	
		КП 15.03.02 07.05 ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				Лист

Рисунок 1.1 – Обозначение листов пояснительной записки

Графический материал выполняется с использованием систем автоматического проектирования. Допускается выполнять простым карандашом при помощи чертежных принадлежностей. Использование цветных карандашей и фломастеров не допускается. При оформлении чертежей необходимо руководствоваться требованиями ЕСКД.

Масштаб выбирается в соответствии с ГОСТ 2.302-68 и зависит от габаритных размеров. По возможности должен быть 1:1. Если нет возможности использовать этот масштаб, допускается меньший масштаб. При выполнении чертежей следует применять масштабы, установленные стандартом: 1:1; при уменьшении – 1:2; 1:1,5; 1:2,4; 1:5; 1:10 и т.д.; при увеличении – 2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1 и т.д.

На всех чертежах должна присутствовать основная надпись (угловой штамп) в соответствии с ГОСТ 2.104-68, которая для машиностроительных чертежей имеет вид, представленный на рисунке 1.2.

				2 КП 15.03.02 07.05 001 СБ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Иванов				У		1:1
Проб.	Полушкин				Лист		Листов 1
Т.контр.					3 Сталь 45 ГОСТ 1050-2013 Красноярский ГАУ гр. И-311-22 о		
Н.контр.							
Утв.							

Рисунок 1.2 – Основная надпись чертежа

В графе 1 указывается наименование изделия в именительном падеже единственного числа, при этом на первое место ставится существительное, например, «Вал тихоходный», «Колесо зубчатое».

В графе 2 делается запись, содержащая информацию о курсовом проекте вида КП 15.03.02 07.05 001 СБ,

где КП – курсовое проектирование;

15.03.02 – код направления;

07 – номер технического задания;

05 – номер варианта;

001 – порядковый регистрационный номер детали (узла);

СБ – код документа (сборочный чертеж).

Для чертежа детали после номера варианта задания (07.05) следующие три цифры обозначают сборочные единицы (001), а последние три цифры – номер позиции на чертеже детали, представленной на сборочном чертеже (002). Например, обозначение детали – КП 15.03.02 0705 001.002. В графе 3 указывается материал и номер стандарта. Заполнение других граф отображено на рисунке 1.2.

При проектировании электромеханического привода и его узлов студент должен учитывать серийность производства, применять наиболее рациональные подходы к проектированию: доступные материалы; общепринятые формы деталей; прогрессивные методы получения заготовки и механической обработки. Кроме того, необходимо руководствоваться ГОСТами, принятыми в машиностроении. Графическая часть курсового проекта должна содержать следующие документы:

- сборочный чертеж редуктора (формат А1);

- чертежи двух деталей (формат А3).

Выполнение сборочного чертежа редуктора необходимо начинать, как только будут получены данные расчета зубчатой передачи и предварительного расчета валов. Чертеж должен содержать две проекции зубчатой (червячной) передачи, что позволит более полно представить устройство передачи. На машиностроительных чертежах важны разрезы и сечения, позволяющие выяснить устройство машин, узлов или отдельных деталей. Выбирать разрезы и сечения следует так, чтобы при наименьшем их числе не только форма, но и все размеры каждой детали выяснились полностью.

Выполнение рабочих чертежей деталей необходимо начинать только после подготовки эскизного проекта. Во избежание ошибок проектирования, чертежи и расчет рекомендуется выполнять параллельно. Это позволит оперативно проверить полученные в расчетах размеры путем нанесения их на чертеж. Оформление как текстовой части, так и графических построений, выполняется в соответствии с предъявленными требованиями.

## 2 ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Задание содержит кинематическую схему электромеханического привода с исходными данными:

- тип передачи;
- мощность на выходном валу  $P_{\text{вых}}$ ;
- частота вращения на выходном валу  $n_{\text{вых}}$ .

### 2.1 Общая характеристика заданий

Темой КП является проектирование и расчет электромеханического привода общего назначения. Привод может состоять из закрытой цилиндрической, конической или червячной передачи (редуктора) и открытой передачи – ременной или цепной (рис. 2.1).

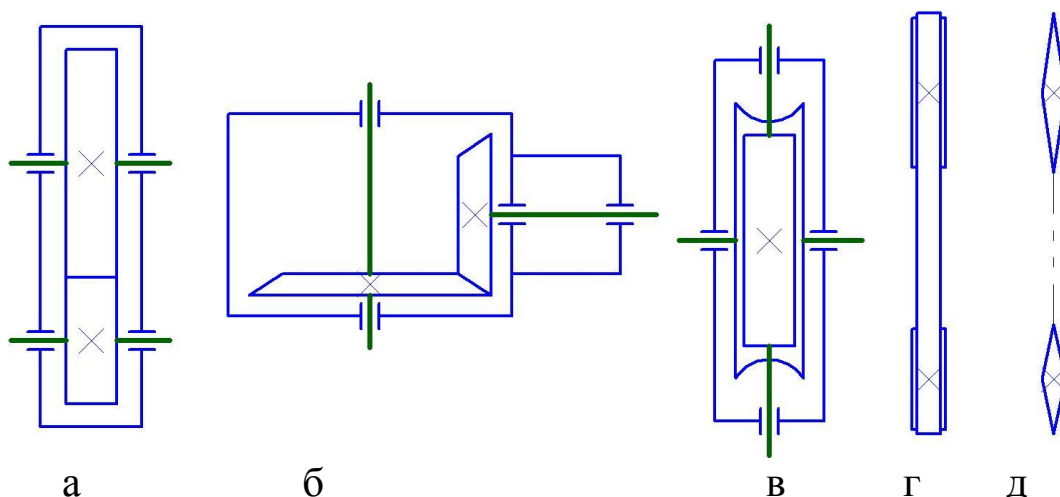


Рисунок 2.1 – Типы передач:

- а – цилиндрическая передача; б – коническая передача;  
в – червячная передача; г – ременная передача; д – цепная передача

Каждое техническое задание содержит 10 вариантов и включает кинематическую схему привода и исходные данные:

- мощность на выходном валу привода;
- частота вращения выходного вала;
- типы передач, входящих в состав привода.

Варианты бланков технического задания, выносимых на курсовое проектирование, приведены в приложении Б.

Каждый студент выполняет курсовой проект по индивидуальному заданию (техническое задание). Вариант определяется двумя

последними цифрами шифра – номер зачетной книжки или студенческого билета.

Исходная кинематическая схема выбирается по последней цифре шифра студенческого билета, а исходные данные – по предпоследней цифре шифра. Например, схема № 7 и исходные данные № 5 варианта соответствуют цифрам шифра 57. Исключением является схема № 10, она соответствует цифре шифра 0. При совпадении у студентов номера варианта это необходимо согласовать с преподавателем.

## 2.2 Объем проектирования

В зависимости от типа передач, входящих в состав электромеханического привода, объем проектирования может иметь незначительные отличия. Это связано со спецификой расчета передач.

*При проектировании зубчатой (червячной передачи) требуется:*

- подобрать по исходным данным электродвигатель серии 4А;
- распределить общее передаточное число привода по передачам;
- выполнить кинематические расчеты привода. Для каждой ступени определить частоту вращения, окружную скорость, крутящий момент и передаваемую мощность;
- выбрать материалы и вид термообработки для зубчатых и червячных передач и определить допускаемые напряжения;
- провести расчет зубчатой (червячной) передачи на контактную прочность и на изгиб, предварительно определив их размеры.

*При проектировании клиноременной передачи требуется:*

- привести краткие сведения о назначении, устройстве, достоинствах и недостатках передачи;
- определить передаточное число и частоту вращения шкивов;
- выявить по передаваемой мощности сечение ремня;
- установить расчетную мощность передачи, приходящуюся на один ремень;
- определить диаметры меньшего и большего шкивов, вычислить угол обхвата меньшего шкива;
- вычислить расчетную длину ремня и подобрать ремень стандартной длины;
- определить число ремней в передаче;
- установить минимальное и максимальное межосевое расстояние передачи;
- вычислить ресурс передачи.

*При проектировании цепной передачи требуется:*

- привести краткие сведения о назначении, устройстве, достоинствах и недостатках передачи;
- определить мощность, передаваемую цепной передачей;
- установить передаточное число цепной передачи и частоты вращения звездочек;
- определить диаметры звездочек и минимальное межосевое расстояние;
- вычислить скорость цепи;
- определить основные параметры цепи и подобрать стандартную цепь;
- определить числа зубьев звездочек;
- проверить цепь на динамическую прочность по числу зубьев меньшей звездочки;
- рассчитать профиль в поперечном сечении зубьев;
- определить длину цепи;
- определить номинальное межосевое расстояние и назначить пределы его изменения;
- определить силы, действующие на валы передачи.

*При выполнении эскизного проектирования требуется:*

- определить расстояния между деталями;
- рассчитать предварительно валы редуктора;
- определить размеры конструктивных элементов колес;
- подобрать предварительно подшипники качения для валов редуктора;
- выбрать шпоночные соединения.

Проверочные расчеты содержат:

- проверку пригодности подшипников качения и расчет их на долговечность;
- расчет шпонок на смятие;
- расчет валов на прочность.

После выполнения расчетов элементов привода необходимо выполнить графическую часть.

## 2.3 Семестровый график выполнения курсового проекта

Курсовой проект выполняется студентами, обучающимися по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», в весеннем и осеннем семестрах по направлению 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» – в весеннем семестре. График выполнения проекта представлен в таблицах 2.1–2.2.

Таблица 2.1 – График выполнения курсового проекта для направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»

Неделя	Дата	Наименование работы	Результат
1	2	3	4
<i>Весенний семестр</i>			
1, 2	-	Выдача задания на курсовое проектирование. Кинематический расчет привода	Разделы пояснительной записки
3, 4	-	Расчет закрытой зубчатой или червячной передачи	Разделы пояснительной записки
5, 6	-	Проектный и проверочный расчеты передачи с гибкой связью	Разделы пояснительной записки
7, 8	-	Расстояние между деталями. Предварительный расчет валов	Разделы пояснительной записки
9, 10	-	Расчет конструктивных элементов зубчатых или червячных колес	Разделы пояснительной записки
11, 12	-	Выбор подшипников качения. Подбор шпоночного соединения	Разделы пояснительной записки
13, 14	-	Конструирование корпусных деталей: корпус, крышка корпуса	Разделы пояснительной записки
15, 16	-	Конструирование корпусных деталей: стаканы; крышки подшипников	Разделы пояснительной записки
17, 18	-	Эскизное проектирование. Компонировка (первый этап)	Компоновочный чертеж
<i>Осенний семестр</i>			
1, 2	-	Проверочный расчет подшипников качения	Разделы пояснительной записки
3, 4	-	Проверочный расчет валов	Разделы пояснительной записки
5, 6	-	Эскизное проектирование. Компонировка (второй этап)	Компоновочный чертеж

## Окончание таблицы 2.1

1	2	3	4
7, 8	-	Проверка прочности шпоночных соединений	Разделы пояснительной записки
9, 10	-	Проверочный расчет валов	Разделы пояснительной записки
11, 12	-	Вычерчивание редуктора	Сборочный чертеж редуктора
13, 14	-	Рабочие чертежи деталей редуктора (зубчатое колесо, тихоходный вал, стакан, крышка подшипников)	Рабочие чертежи деталей
15, 16	-	Оформление пояснительной записки	Пояснительная записка
17, 18	-	Представление курсового проекта на проверку. Устранение ошибок и неточностей. Защита курсового проекта	Оценка

Таблица 2.2 – График выполнения курсового проекта для направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»

Неделя	Дата	Наименование работы	Результат
1, 2	-	Выдача задание на курсовое проектирование. Кинематический расчет привода	Разделы пояснительной записки
3, 4	-	Расчет закрытой зубчатой или червячной передачи	Разделы пояснительной записки
5, 6	-	Расчет передачи с гибкой связью	Разделы пояснительной записки
7, 8	-	Расстояние между деталями. Предварительный расчет валов. Расчет колес. Выбор подшипников	Разделы пояснительной записки
9, 10	-	Эскизное проектирование. Сборочный чертеж редуктора	Сборочный чертеж редуктора
11, 12	-	Проверочный расчет подшипников качения. Проверочный расчет валов	Разделы пояснительной записки
13, 14	-	Рабочие чертежи деталей редуктора	Рабочие чертежи деталей
15, 16	-	Оформление пояснительной записки	Пояснительная записка
17, 18	-	Защита курсового проекта	Оценка

Перед началом выполнения курсового проекта студенты должны быть ознакомлены с графиком выполнения. Студенты, не выполнившие курсовой проект или выполнившие его в неполном объеме, к защите проекта не допускаются.

Расчетно-пояснительная записка и материалы графической части, оформленные небрежно или не в соответствии с предъявляемыми требованиями, к защите не допускаются.



### **3 МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Проектирование электромеханического привода требует определенной последовательности выполнения действий. Процесс проектирования можно разбить на ряд этапов.

Работу над курсовым проектом рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

- 1) ознакомиться с техническим заданием на КП и содержанием методических указаний;
- 2) найти необходимую техническую литературу;
- 3) подобрать электродвигатель и выполнить кинематический расчет;
- 4) выполнить расчет зубчатой (червячной) передачи;
- 5) сделать проектный и проверочный расчет ременной (цепной) передачи;
- 6) выполнить проектный расчет валов и подбор подшипников качения;
- 7) провести проверочный расчет тихоходного вала на прочность;
- 8) произвести эскизную компоновку редуктора и выполнить сборочный чертеж редуктора;
- 9) выполнить рабочие чертежи деталей;
- 10) оформить пояснительную записку.

При знакомстве с техническим заданием на проект студент должен провести анализ задания, выяснить принцип работы и назначение привода, четко представлять цель и задачу проектирования.

Для успешного выполнения курсового проекта студент должен располагать необходимой справочной и технической литературой. Важно ознакомиться с типовыми конструкциями редукторов, представленными в литературе.

#### **3.1 Кинематический расчет привода**

Кинематический расчет привода предусматривает выполнение следующих видов работ:

- выбор электродвигателя;
- подбор передаточных чисел передач;
- расчет кинематических параметров привода.

Выбирая электродвигатель, определяют следующие параметры:

1) требуемую мощность электродвигателя  $P_{э.тр}$ . Значение мощности рассчитывают с учетом коэффициента полезного действия привода  $\eta$ ;

2) требуемую частоту вращения вала электродвигателя  $n_{э.тр}$ . Значение частоты вращения рассчитывают с учетом передаточных чисел  $u$  и передач, входящих в состав привода.

После этого выбирают электродвигатель мощностью  $P_{дв}$  и частотой вращения ротора  $n_{дв}$ , ближайшими к расчетным (требуемая мощность  $P_{э.тр}$  и частота вращения  $n_{э.тр}$ ). При этом значение мощности следует округлять в большую сторону до стандартного числа.

При выборе частоты вращения электродвигателя следует учитывать массогабаритные показатели. Так, с уменьшением синхронной частоты вращения растут его габаритные размеры, масса и стоимость.

Оптимальные решения для приводов:

- с цилиндрическим и коническим редуктором будет двигатель с частотой 1500 об/мин;

- червячными редукторами – 1000 об/мин.

Двигатели с низкой частотой вращения (750 об/мин) применять в приводах малой мощности нежелательно, так как они обладают большой металлоемкостью.

После выбора числа оборотов электродвигателя определяют общее передаточное число привода и передаточные числа передач, входящих в состав привода. Полученные значения передаточных чисел необходимо округлить до стандартных значений.

Расчет кинематических параметров включает в себя:

- частоты вращения валов  $n$ ;

- угловые скорости валов  $\omega$ ;

- крутящие моменты на валах  $T$ ;

- мощности на валах  $P$ .

По кинематической схеме привода необходимо определить количество валов. Первым считается вал электродвигателя с частотой вращения  $n_{дв}=n_1$ .

Для удобства пользования полученными данными в последующих расчетах необходимо составить таблицу (табл. 3.1).

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 5–10; 6, с. 9–15; 9, с. 40–49; 10, с. 4–8].

Таблица 3.1 – Силовые и кинематические параметры привода

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Передаточное число: редуктора $u_p$		Угловые скорости валов $\omega, \text{с}^{-1}$ :	
открытой передачи $u_{оп}$		вал 1 $\omega_1$	
КПД привода $\eta$		вал 2 $\omega_2$	
Марка двигателя		вал 3 $\omega_3$	
Мощность $P_{дв}, \text{кВт}$		Вращающие моменты на валах $T, \text{Нм}$ :	
Частота вращения $N_{дв}, \text{об/мин}$		вал 1 $T_1$	
Частоты вращения валов $n,$ об/мин:		вал 2 $T_2$	
вал 1 $n_1$		вал 3 $T_3$	
вал 2 $n_2$		Мощность на валах $P,$ кВт:	
вал 3 $n_3$		вал 1 $P_1$	
		вал 2 $P_2$	
		вал 3 $P_3$	

### 3.2 Расчет зубчатых и червячных передач

Расчет передачи предусматривает следующие виды работ:

- выбор твердости, термообработки и материалов зубчатых и червячных колес;
- определение допускаемых контактных напряжений и напряжений изгиба;
- расчет геометрических параметров передачи;
- определение сил, действующих в зацеплении;
- выполнение проверочных расчетов передачи.

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 11–36; 6, с. 16–43; 9, с. 50–58; 10, с. 27–68].

#### 3.2.1 Выбор материалов и термообработки

При выборе материалов зубчатых (червячных) колес, а также их твердости, необходимо учитывать вид изделия, условия его эксплуатации, а также требования к габаритным размерам.

В зубчатых передачах чаще всего применяют стали. Для высоконагруженных передач применяют легированные конструкционные стали 15Х, 20Х, 18ХГТ, 12ХН3А, для средненагруженных – легиро-

ванные конструкционные стали 40Х, 45Х, 40ХН и др. Для крупногабаритных передач применяют литейные стали (50Л, 55Л).

Для обеспечения лучшей приработки зубьев твердость шестерни рекомендуется назначать больше твердости колеса для прямозубых передач на 20–30 единиц по шкале НВ. Для косозубых передач твердость шестерни должна быть больше на 50–70 единиц по шкале НВ.

Червяки изготавливают из сталей 15Х, 20Х, 12ХН2, 18ХГТ, 20ХФ, подвергнутых цементации и закалке до твердости HRC 58–63, или сталей 40, 45, 40Х, 40ХН с закалкой до HRC 45–55.

Червячные колеса преимущественно делают из бронзы, при этом в целях экономии из нее изготавливают лишь зубчатый венец. При низких скоростях скольжения (менее 2 м/с) червячные колеса производят целиком из чугуна (СЧ15, СЧ18 и СЧ20).

### 3.2.2 Допускаемые контактные напряжения

Допускаемые контактные напряжения для зубчатых передач определяются отдельно для зубьев шестерни  $[\sigma_{H1}]$  и колеса  $[\sigma_{H2}]$ . При расчете определяют следующие параметры:

- коэффициент долговечности  $K_{HL}$ . Коэффициент принимают  $K_{HL}=1$ ;
- предел контактной выносливости  $[\sigma_{Hlimb}]$ ;
- допускаемые контактные напряжения  $[\sigma_H]$ . В качестве расчетного допускаемого напряжения принимают для прямозубых передач меньшее из них, для косозубых передач – среднее значение;
- максимально допускаемые контактные напряжения (при перегрузках)  $[\sigma_{Hmax}]$ .

Зубья червячных колес рассчитывают так же, как и зубья зубчатых колес, на контактную выносливость. При этом определяют следующие параметры:

- коэффициент долговечности  $K_{HL}$ . Коэффициент принимают  $K_{HL}=1$ ;
- допускаемые контактные напряжения  $[\sigma_{H2}]$ ;
- максимально допускаемые контактные напряжения (при перегрузках)  $[\sigma_{Hmax}]$ .

### 3.2.3 Допускаемые напряжения на изгиб

Допускаемые напряжения изгиба для зубчатых передач определяются отдельно для зубьев шестерни  $[\sigma_{F1}]$  и колеса  $[\sigma_{F1}]$ . При расчете определяют следующие параметры:

- коэффициент долговечности  $K_{FL}$ . Коэффициент принимают  $K_{FL}=1$ ;
- предел выносливости зубьев  $S_F$ ;
- допускаемые напряжения изгиба  $[\sigma_F]$ ;
- максимально допускаемые напряжения изгиба  $[\sigma_{Fmax}]$ .

Зубья червячных колес рассчитывают так же, как и зубья зубчатых колес. Так как сопротивление изгибу витков червяка значительно выше, чем зубьев червячного колеса, допустимые напряжения определяют только для зубьев червячного колеса.

При расчете червячных колес определяют:

- коэффициент долговечности  $K_{FL}$ . Коэффициент принимают  $K_{FL}=1$ ;
- предел выносливости зубьев  $S_F$ ;
- допускаемые напряжения изгиба  $[\sigma_{F2}]$ .

После выбора материалов и определения допускаемых контактных напряжений и напряжений изгиба полученные значения необходимо свести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристика материалов передач

Элемент передачи	Материал	Вид термообработки	Твердость НВ	Механическая характеристика материалов, МПа				
				$\sigma_B$	$\sigma_T$	$\sigma_{-1}$	$[\sigma]_H$	$[\sigma]_F$
Шестерня								
Колесо								

Примечание. Для червячной передачи вместо шестерни в таблице следует указать червяк.

### 3.2.4 Проектный расчет зубчатых и червячных передач

Расчет закрытой зубчатой или червячной передачи проводится в два этапа:

- проектный расчет, когда определяют основные геометрические параметры передачи;

- проверочный расчет, когда проводят проверку по допускаемым контактным напряжениям и допускаемым напряжениям на изгиб зубьев.

### 3.2.4.1 Расчет зубчатой цилиндрической передачи

Проектный расчет цилиндрической передачи включает в себя определение следующих параметров:

1) межосевое расстояние  $a_w$ . Полученное значение округляют до ближайшего стандартного значения;

2) модуль зацепления  $m$ . Полученное значение округляют до ближайшего стандартного значения в большую сторону;

3) угол наклона зубьев  $\beta$ . Рассчитывается только для косозубых зубчатых передач;

4) суммарное число зубьев  $Z_\Sigma$ . Полученное значение округляют в меньшую сторону до целого числа;

5) число зубьев шестерни  $Z_1$  и колеса  $Z_2$ . Полученные значения округляют до ближайшего целого числа;

6) фактическое передаточное число  $u_\phi$ . Проверяют его отклонение  $\Delta u$  от заданного значения  $u$  и при невыполнении условия  $\Delta u \leq 4\%$  пересчитывают  $Z_1$  и  $Z_2$ ;

7) фактическое межосевое расстояние  $a_w$ ;

8) геометрические размеры шестерни и колеса (делительный диаметр  $d_1$  и  $d_2$ , диаметр окружности вершин  $d_{a1}$  и  $d_{a2}$  и впадин  $d_{f1}$  и  $d_{f2}$ , ширина венца  $b_1$  и  $b_2$ ). Точность вычислений геометрических размеров до двух знаков после запятой.

Проверочный расчет заключается в том, чтобы правильно установить:

- межосевое расстояние  $a_w$ ;
- пригодность заготовок;
- контактные напряжения зубьев колеса  $\sigma_H$ ;
- напряжения изгиба шестерни и колеса  $\sigma_F$ .

После выполнения проектного и проверочного расчетов цилиндрической передачи полученные значения необходимо свести в таблицы 3.3–3.4.

Рекомендуемая литература для выполнения заданий раздела: [3, с. 16–24; 6, с. 26–32; 9, с. 59–67; 10, с. 27–41].

Таблица 3.3 – Параметры зубчатой цилиндрической передачи

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Вид зубьев		Диаметры шестерни: делительный диаметр $d_1$ , мм	
Межосевое расстояние $a_w$ , мм			
Модуль зацепления $m$ , мм		диаметр окружности вершин $d_{a1}$ , мм	
Ширина зубчатого венца: шестерни $b_1$ , мм		диаметр окружности впадин $d_{f1}$ , мм	
колеса $b_2$ , мм		Диаметры колеса: делительный диаметр $d_2$ , мм	
Число зубьев: шестерни $Z_1$			
колеса $Z_2$			
Фактическое передаточное число $i$		диаметр окружности вершин $d_{a2}$ , мм	
Угол наклона зубьев $\beta$ , град		диаметр окружности впадин $d_{f2}$ , мм	

Таблица 3.4 – Проверочный расчет цилиндрической передачи

Параметр	Расчетное значение	Допускаемое значение
Контактные напряжения $\sigma_H$ , МПа		
Напряжения изгиба шестерни $\sigma_{F1}$ , МПа		
Напряжения изгиба колеса $\sigma_{F2}$ , МПа		

### 3.2.4.2 Расчет зубчатой конической передачи

Проектный расчет конической передачи включает в себя определение следующих параметров:

- 1) внешний делительный диаметр колеса  $d_{e2}$ . Полученное значение округляют до ближайшего стандартного значения;
- 2) углы делительных конусов шестерни  $\delta_1$  и колеса  $\delta_2$ . Точность вычислений до пятого знака после запятой;
- 3) внешнее конусное расстояние  $R_e$ . Полученное значение до целого числа не округлять;
- 4) ширина зубчатого венца шестерни и колеса  $b$ . Полученное значение округляют до ближайшего стандартного значения по ряду  $R_a40$ ;

5) внешний окружной модуль  $m_{te}$ . Полученное значение до стандартной величины не округлять. Значение модуля принять  $m_{te} \geq 1,5$  мм;

6) число зубьев шестерни  $Z_1$  и колеса  $Z_2$ . Полученное значение округляют до ближайшего целого числа;

7) фактическое передаточное число  $u_f$ . Проверяют его отклонение  $\Delta u$  от заданного значения  $u$  и при невыполнении условия  $\Delta u \leq 4\%$  пересчитывают  $Z_1$  и  $Z_2$ ;

8) действительные углы делительных конусов шестерни  $\delta_1$  и колеса  $\delta_2$ ;

9) коэффициенты смещения инструмента для шестерни  $x_1$  и колеса  $x_2$ ;

10) геометрические размеры шестерни и колеса (делительные диаметры  $d_{e1}$  и  $d_{e2}$ , средние делительные диаметры  $d_1$  и  $d_2$ , диаметры окружности вершин  $d_{ae1}$  и  $d_{ae2}$  и впадин  $d_{fe1}$  и  $d_{fe2}$ ). Точность вычислений геометрических размеров до двух знаков после запятой.

Проверочный расчет заключается в следующем:

- проверяют пригодность заготовок;
- проверяют контактные напряжения зубьев колеса  $\sigma_H$ ;
- проверяют напряжения изгиба шестерни и колеса  $\sigma_F$ .

После выполнения проектного и проверочного расчетов конической передачи полученные значения необходимо свести соответственно в таблицы 3.5–3.6.

Таблица 3.5 – Параметры зубчатой конической передачи (проектный расчет)

Параметр	Значение	Параметр	Значение
1	2	3	4
Вид зуба		Диаметр шестерни: внешний делительный диаметр $d_{e1}$ , мм	
Внешнее конусное расстояние $a_w$ , мм			
Внешний окружной модуль зацепления $m_{te}$ , мм		внешний диаметр окружности вершин $d_{ae1}$ , мм	
Ширина зубчатого венца $b$ , мм		внешний диаметр окружности впадин $d_{fe1}$ , мм	
Число зубьев: шестерни $Z_1$		средний делительный диаметр $d_1$ , мм	
зубьев колеса $Z_2$		Диаметр колеса: внешний делительный диаметр $d_{e2}$ , мм	
Фактическое передаточное число $u$			



Окончание табл. 3.5

1	2	3	4
Угол делительного конуса: шестерни $\delta_1$ , град		внешний диаметр окружности вершин $d_{ae2}$ , мм	
колеса $\delta_2$ , град		внешний диаметр окружности впадин $d_{fe2}$ , мм	
		средний делительный диаметр $d_2$ , мм	

Таблица 3.6 – Проверочный расчет конической передачи

Параметр	Расчетное значение	Допускаемое значение
Контактные напряжения $\sigma_H$ , МПа		
Напряжения изгиба шестерня $\sigma_{F1}$ , МПа		
Напряжения изгиба колесо $\sigma_{F2}$ , МПа		

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 25–29; 6, с. 32–39; 9, с. 68–73; 10, с. 41–53].

### 3.2.4.3 Расчет червячной передачи

Проектный расчет червячной передачи включает в себя определение следующих параметров:

- 1) межосевое расстояние  $a_w$ . Полученное значение округлить до ближайшего стандартного значения;
- 2) число заходов червяка  $Z_1$ . Число зависит от значения передаточного числа  $u$ . Не рекомендуется брать значение  $Z_1=1$ ;
- 3) число зубьев червячного колеса  $Z_2$ . Полученное значение округлить в меньшую сторону до целого числа. Оптимальное значение  $Z_2=40-60$ ;
- 4) модуль зацепления  $m$ . Полученное значение округлить до ближайшего стандартного значения в большую сторону;
- 5) коэффициент диаметра червяка  $q$ . Полученное значение округлить до стандартного значения;
- 6) коэффициент смещения инструмента  $x$ ;
- 7) фактическое передаточное число  $u_f$ . Проверяют его отклонение  $\Delta u$  от заданного значения  $u$  ( $\Delta u \leq 4\%$ );
- 8) фактическое межосевое расстояние  $a_w$ ;

9) геометрические размеры червяка (делительный диаметр  $d_1$ , начальный диаметр  $d_{w1}$ , диаметр вершин витков  $d_{a1}$  и впадин  $d_{f1}$ , делительный угол подъема линии витков  $\gamma$ , длина нарезаемой части  $b_1$ );

10) геометрические размеры червячного колеса (делительный диаметр  $d_2=d_{w2}$ , наибольший диаметр колеса  $d_{ам2}$ , диаметр вершин  $d_{a2}$  и впадин  $d_{f2}$ , ширина венца  $b_2$ , радиусы закруглений зубьев  $R_a$  и  $R_f$ , угол обхвата червяка венцом колеса  $2\delta$ ). Точность вычислений геометрических размеров до двух знаков после запятой. Значение  $b_1$  и  $b_2$  округлить до ближайших предпочтительных чисел.

Проверочный расчет заключается в следующем:

- определяют коэффициент полезного действия  $\eta$ ;
- проверяют контактные напряжения зубьев колеса  $\sigma_H$ ;
- проверяют напряжения изгиба червяка и колеса  $\sigma_F$ ;
- выполняют тепловой расчет.

После выполнения проектного и проверочного расчетов червячной передачи полученные значения необходимо свести соответственно в таблицы 3.7–3.8.

Таблица 3.7 – Параметры червячной передачи (проектный расчет)

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Межосевое расстояние $a_w$ , мм		Диаметр червяка: делительный диаметр $d_1$ , мм	
Модуль зацепления $m$ , мм			
Коэффициент диаметра червяка $q$		начальный диаметр $d_{w1}$ , мм	
Делительный угол витков червяка $\gamma$ , град		диаметр вершин $d_{a1}$ , мм	
Угол обхвата червяка венцом колеса $2\delta$ , град		диаметр впадин $d_{f1}$ , мм	
Число заходов червяка $Z_1$		Диаметр червячного колеса: делительный диаметр $d_2=d_{w2}$ , мм	
Число зубьев червячного колеса $Z_2$			
Длина нарезаемой части червяка $b_1$ , мм		диаметр вершин $d_{a2}$ , мм	
Ширина венца колеса $b_2$ , мм		диаметр впадин $d_{f2}$ , мм	
Фактическое передаточное число $i$		наибольший диаметр $d_{ам2}$ , мм	

Таблица 3.8 – Проверочный расчет конической передачи

Параметр	Расчетное значение	Допускаемое значение
Коэффициент полезного действия $\eta$		
Контактные напряжения $\sigma_H$ , МПа		
Напряжения изгиба $\sigma_F$ , МПа		
Температура масла $t_m$ , °С		

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 30–36; 6, с. 39–43; 9, с. 74–78; 10, с. 54–64].

### 3.2.5 Нагрузки валов редуктора

Во время работы валы редукторов испытывают деформации кручения и изгиба. Деформации кручения возникают под действием вращающих моментов. Деформации изгиба валов возникают в результате действия сил в зацеплении передачи и консольными силами со стороны открытых передач и муфт.

В зависимости от типа проектируемой передачи в зацеплении будут возникать следующие силы (рис. 3.1):

- в цилиндрической прямозубой передаче действуют окружная  $F_t$  и радиальная  $F_r$  силы;
- цилиндрической косозубой передаче действуют окружная  $F_t$ , радиальная  $F_r$  и осевая  $F_a$  силы;
- цилиндрической шевронной передаче действуют окружная  $F_t$  и радиальная  $F_r$  силы;
- передаче с коническими колесами действуют окружная  $F_t$ , радиальная  $F_r$  и осевая  $F_a$  силы;
- червячной передаче действуют окружная  $F_t$ , радиальная  $F_r$  и осевая  $F_a$  силы;
- ременной передаче действует нагрузка  $F_B$  от натяжения ремня;
- цепной передаче действует нагрузка  $F_B$ , учитывающая окружную силу  $F_t$  на звездочке.

Точкой приложения сил принимают полюс зацепления в средней плоскости колеса (червяка).

После нахождения всех действующих нагрузок на валы редуктора полученные результаты необходимо свести в единую таблицу (табл. 3.9).

Таблица 3.9 – Нагрузки, действующие в зацеплении

Элемент передачи	Действующая нагрузка		
	Окружная сила $F_t$ , Н	Радиальная сила $F_r$ , Н	Осевая сила $F_a$ , Н
Шестерня*			
Колесо			

\*Для червячной передачи вместо шестерни в таблице указать червяк.

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [6, с. 112–114; 9, с. 99–110; 10, с. 158–161].

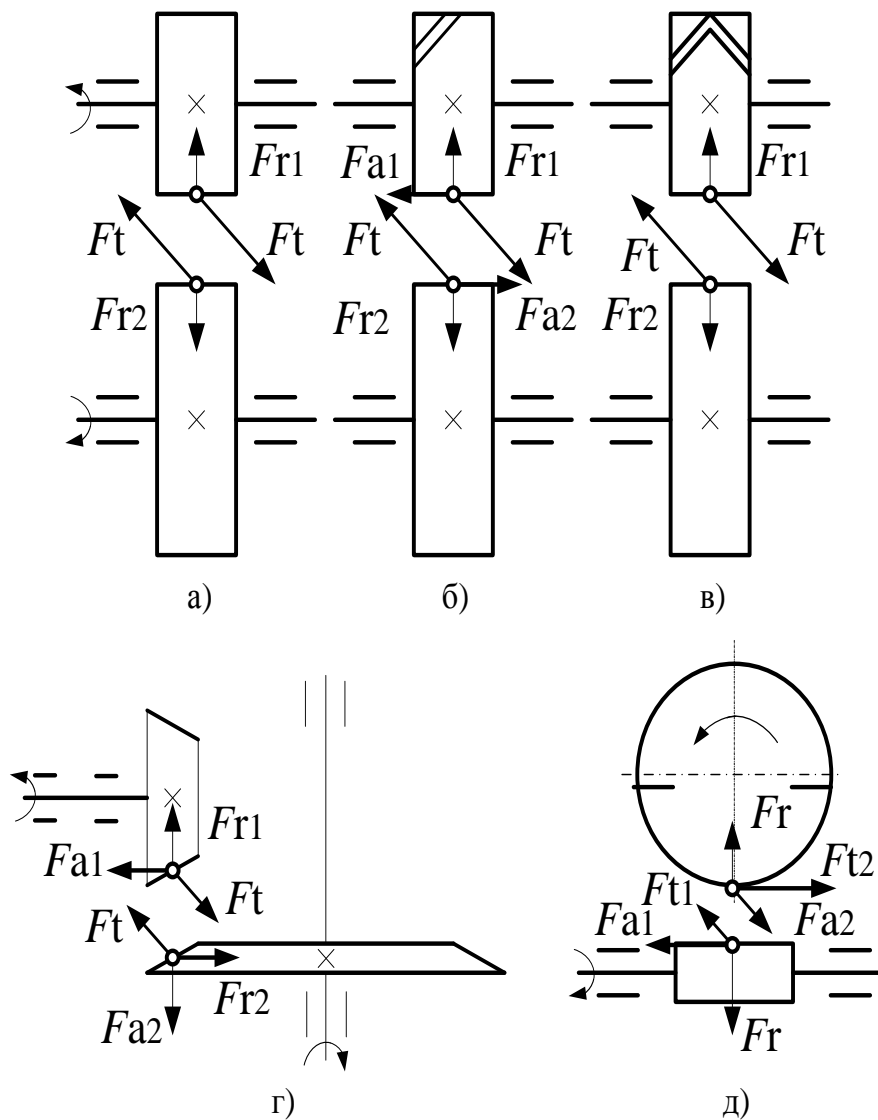


Рисунок 3.1 – Силы в зацеплении зубчатых и червячных передач:  
 а – цилиндрическая прямозубая; б – цилиндрическая косозубая;  
 в – цилиндрическая шевронная; г – коническая; д – червячная

### 3.3 Проектирование ременной передачи

Ременная передача в приводе служит для уменьшения частоты вращения и увеличения крутящего момента выходного вала. Такая передача является быстроходной, поэтому ее рекомендуется располагать в приводе первой ступенью – между двигателем и редуктором.

В курсовом проекте проводится расчет ременных передач открытого типа с прорезиненными ремнями плоского, клинового и поликлинового сечения. Перекрестные, полуперекрестные передачи, а также передачи с натяжным роликом, применяются реже, поэтому в расчетах не рассматриваются.

Расчет проводится в 2 этапа:

- проектный расчет;
- проверочный расчет.

Целью первого этапа является определение геометрических параметров передачи. На втором этапе проверяют ремень на прочность.

#### 3.3.1 Расчет плоскоремной передачи

В ходе проектного расчета определяют следующие параметры:

- 1) диаметр ведущего шкива  $d_1$ . Округляют до ближайшего большего значения из числового ряда;
- 2) диаметр ведомого шкива  $d_2$ . Округляют до ближайшего меньшего значения из числового ряда;
- 3) фактическое передаточное число  $u$ ;
- 4) межосевое расстояние  $a$ ;
- 5) расчетная длина ремня  $l$ . Принимают стандартное значение из числового ряда;
- 6) межосевое расстояние  $a$ . При расчете учитывается длина ремня  $l$ ;
- 7) угол обхвата ремнем ведущего шкива  $\alpha_1$ . Должно выполняться условие  $\alpha_1 \geq 150$ ;
- 8) скорость ремня  $V$ . Полученное значение сравнивают с допусковым значением  $[V]$ ;
- 9) частота пробегов ремня  $U$ . Полученное значение сравнивают с допусковым значением  $[U]$ ;
- 10) окружная сила, передаваемая ремнем  $F_t$ ;
- 11) допускаемая удельная окружная сила  $[k_{\text{н}}]$ ;
- 12) ширина ремня  $b$ . Принимают стандартное значение из числового ряда;

- 13) площадь поперечного сечения ремня  $A$ ;
- 14) сила предварительного натяжения ремня  $F_0$ ;
- 15) силы натяжения ведущей  $F_1$  и ведомой  $F_2$  ветвей ремня;
- 16) сила давления ремня на вал  $F_{оп}$ .

В проверочном расчете проверяют прочность ремня по максимальным напряжениям в сечении ведущей ветви  $\sigma_{max}$ . Полученное значение сравнивают с допускаемым значением  $[\sigma]_p$ .

После выполнения проектного и проверочного расчетов плоскоременной передачи полученные значения необходимо свести в единую таблицу (табл. 3.10).

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 285–289; 6, с. 45–52; 9, с. 80–85; 10, с. 118–130].

Таблица 3.10 – Параметры плоскоременной передачи

Проектный расчет			
Параметр	Значение	Параметр	Значение
Тип ремня		Частота пробегов ремня $U, c^{-1}$	
Толщина ремня $\delta, мм$		Угол обхвата ведущего шкива $\alpha$	
Ширина ремня $b, мм$		Окружная сила $F_t, Н$	
Длина ремня $l, мм$		Допускаемая удельная окружная сила $[k_n], Н$	
Передаточное число Передачи $u$		Площадь поперечного сече- ния ремня $A, мм^2$	
Межосевое расстояние $a, мм$		Сила предварительного натяжения ремня $F_0, Н$	
Диаметр шкивов: ведущего шкива $d_1,$ мм		Силы натяжения ветвей ремня: ведущей $F_1, Н$	
		ведомой $F_2, Н$	
ведомого шкива $d_2,$ мм		Сила давления ремня на вал $F_{оп}, Н$	
Проверочный расчет			
Параметр	Значение	Допускаемое значение	
Максимальное напряжение в веду- щей ветви $\sigma_{max}, МПа$			

### 3.3.2 Расчет клиноременной и поликлиноременной передачи

В ходе проектного расчета определяют следующие параметры:

- 1) сечение ремня. Сечение выбирают по номограмме в зависимости от передаваемой мощности;
- 2) диаметр ведущего шкива  $d_1$ . Определяют в зависимости от крутящего момента на валу и выбранного сечения ремня;
- 3) диаметр ведомого шкива  $d_2$ . Округляют до ближайшего стандартного значения из числового ряда;
- 4) фактическое передаточное число  $u$ ;
- 5) межосевое расстояние  $a$ ;
- 6) расчетная длина ремня  $l$ . Принимают стандартное значение из числового ряда;
- 7) межосевое расстояние  $a$  с учетом длины ремня  $l$ ;
- 8) угол обхвата ремнем ведущего шкива  $\alpha_1$ . Должно выполняться условие  $\alpha_1 \geq 120^\circ$ ;
- 9) скорость ремня  $V$ . Полученное значение сравнивают с допускаемым значением  $[V]$ ;
- 10) частота пробегов ремня  $U$ . Полученное значение сравнивают с допускаемым значением  $[U]$ ;
- 11) допускаемая мощность, передаваемая одним клиновым ремнем или поликлиновым ремнем, с десятью клиньями  $[P_{\Pi}]$ ;
- 12) количество клиновых ремней или число клиньев поликлинового ремня  $z$ . Полученное значение выбрать из стандартных значений;
- 13) сила предварительного натяжения ремня  $F_0$ ;
- 14) окружная сила  $F_t$ ;
- 15) силы натяжения ведущей  $F_1$  и ведомой  $F_2$  ветвей ремня;
- 16) сила давления ремней на вал  $F_{оп}$ .

В проверочном расчете проверяют прочность ремня по максимальным напряжениям в сечении ведущей ветви  $\sigma_{\max}$ . Полученное значение сравнивают с допускаемым значением  $[\sigma]_p$ .

После выполнения проектного и проверочного расчетов клиновой или поликлиновой ременной передачи полученные значения необходимо свести в единую таблицу (табл. 3.11).

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 285–289; 6, с. 57–63; 9, с. 85–92; 10, с. 130–145].

Таблица 3.11 – Параметры клиновой (поликлиновой) передачи

Проектный расчет			
Параметр	Значение	Параметр	Значение
Тип ремня		Частота пробегов ремня $U, c^{-1}$	
Сечение ремня		Допускаемая мощность, передаваемая ремнем $[P_{\Pi}]$ , кВт	
Диаметр ведущего шкива $d_1$ , мм			
Диаметр ведомого шкива $d_2$ , мм		Сила предварительного натяжения ремня $F_0$ , Н	
Передаточное число $u$		Окружная сила $F_t$ , Н	
Длина ремня $l$ , мм		Силы натяжения веду- щей ветви ремня $F_1$ , Н	
Межосевое расстояние $a$ , мм		Силы натяжения ведомой ветви ремня $F_2$ , Н	
Количество клиновых ремней (число клиньев)		Сила давления ремня на вал $F_{оп}$ , Н	
Проверочный расчет			
Параметр	Значение	Допускаемое значение	
Прочность ремня по максимальным напряжениям в сечении ведущей ветви $\sigma_{max}$ , МПа			

### 3.4 Проектирование цепной передачи

В проектируемых приводах проводится расчет цепной передачи с однорядной роликовой цепью.

Расчет цепной передачи проводится в 2 этапа:

- проектный расчет;
- проверочный расчет.

Целью первого этапа является определение геометрических параметров передачи. На втором этапе проверяют цепь на прочность и износостойкость.



### 3.4.1 Расчет цепной передачи

В ходе проектного расчета определяют следующие параметры:

- 1) шаг цепи  $p$ . Полученное значение округляют до ближайшего стандартного значения;
- 2) число зубьев ведомой звездочки  $z_2$ ;
- 3) диаметр ведущего шкива  $d_1$ . Определяют в зависимости от крутящего момента на валу и выбранного сечения ремня;
- 4) фактическое передаточное число  $u$ ;
- 5) межосевое расстояние  $a$ ;
- 6) число звеньев цепи  $l_p$ . Полученное значение округляют до целого числа;
- 7) межосевое расстояние в шагах  $a_p$ . Полученное значение не округляют до целого числа;
- 8) фактическое межосевое расстояние  $a$ . Полученное значение не округляют до целого числа;
- 9) длина цепи  $l$ ;
- 10) диаметры звездочек: делительной окружности  $d_1$  и  $d_2$ ; окружности выступов  $D_{e1}$  и  $D_{e2}$ ; окружности впадин  $D_{f1}$  и  $D_{f2}$ .

В ходе проверочного расчета определяют следующее:

- 1) частота вращения ведущей звездочки  $n_1$ . Полученное значение сравнивают с допусκαемым значением  $[n_1]$ ;
- 2) число ударов цепи о зубья звездочек  $U$ . Полученное значение сравнивают с допусκαемым значением  $[U]$ ;
- 3) фактическая скорость цепи  $V$ ;
- 4) окружная сила  $F_t$ ;
- 5) давление в шарнирах цепи  $p_{ц}$ . Полученное значение сравнивают с допусκαемым значением  $[p_{ц}]$ ;
- 6) прочность цепи  $S$ . Полученное значение прочности сравнивают с допусκαемым значением  $[S]$ ;
- 7) сила давления цепи на вал  $F_{оп}$ .

После выполнения проектного и проверочного расчетов цепной передачи полученные значения необходимо свести в единую таблицу (табл. 3.12).

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 297; 6, с. 64–71; 9, с. 92–99; 10, с. 146–157].

Таблица 3.12 – Параметры цепной передачи

Проектный расчет			
Параметр	Значение	Параметр	Значение
Тип цепи		Диаметр делительной окружности звездочек: ведущей $d_1$ , мм	
Шаг цепи $p$ , мм			
Передаточное число $u$		ведомой $d_2$ , мм	
Межосевое расстояние $a$ , мм		Диаметр окружности выступов звездочек: ведущей $D_{e1}$ , мм	
Длина цепи $l$ , мм			
Число звеньев $l_p$		ведомой $D_{e2}$ , мм	
Число зубьев звездочек: ведущей $Z_1$		Диаметр окружности впадин звездочек: ведущей $D_{f1}$ , мм	
	ведомой $Z_2$		
Сила давления цепи на вал $F_{оп}$ , Н		ведомой $D_{f2}$ , мм	
Проверочный расчет			
Параметр	Значение	Допускаемое значение	
Частота вращения ведущей звездочки $n_1$ , об/мин			
Число ударов цепи $U$			
Коэффициент запаса прочности $S$			
Давление в шарнирах цепи $p_{ш}$ , МПа			

### 3.5 Эскизное проектирование

После выполнения расчетов для зубчатой (червячной) передачи и передачи гибкой связью (ременная или цепная) приступают к разработке конструкции редуктора и его эскизного проекта.

Эскизное проектирование содержит:

- определение расстояний между деталями;
- предварительный расчет валов редуктора;
- выбор типов подшипников и схем их установки;
- расчет элементов конструкции зубчатых (червячных) колес;
- выбор шпоночного соединения;
- составление компоновочного чертежа редуктора (эскизный проект редуктора).

### 3.5.1 Расстояние между деталями

Чтобы поверхности вращающихся деталей не задевали за внутренние поверхности стенок корпуса, между ними оставляют зазор. Расчет включает определение следующих параметров:

1) толщина стенки редуктора  $\delta$ . Минимальное значение составляет 8 мм;

2) зазор между деталями передачи и корпусом  $a$ . Вычисленное значение  $a$  округляют в большую сторону до целого числа;

3) расстояние  $b_0$  между дном корпуса и поверхностью колес или червяка. Вычисленное значение  $b_0$  округляют в большую сторону до целого числа.

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 45–47; 6, с. 72–73; 9, с. 224–244; 10, с. 238–245].

### 3.5.2 Конструктивные размеры корпуса редуктора

В корпусе редуктора размещаются детали зубчатых и червячных передач. При конструировании корпуса необходимо обеспечить его прочность и жесткость, исключить перекосы валов. Для повышения жесткости служат ребра. Обычно корпус выполняют разъемным, состоящим из основания (картера) и крышки корпуса (рис. 3.2). Плоскость разъема проходит через оси валов. В вертикальных редукторах разъем может выполняться по двум или трем плоскостям. Материалы, используемые для изготовления корпуса, – это чугуны СЧ10 или СЧ15, реже применяют сварные конструкции из листовой стали Ст2 и Ст3.

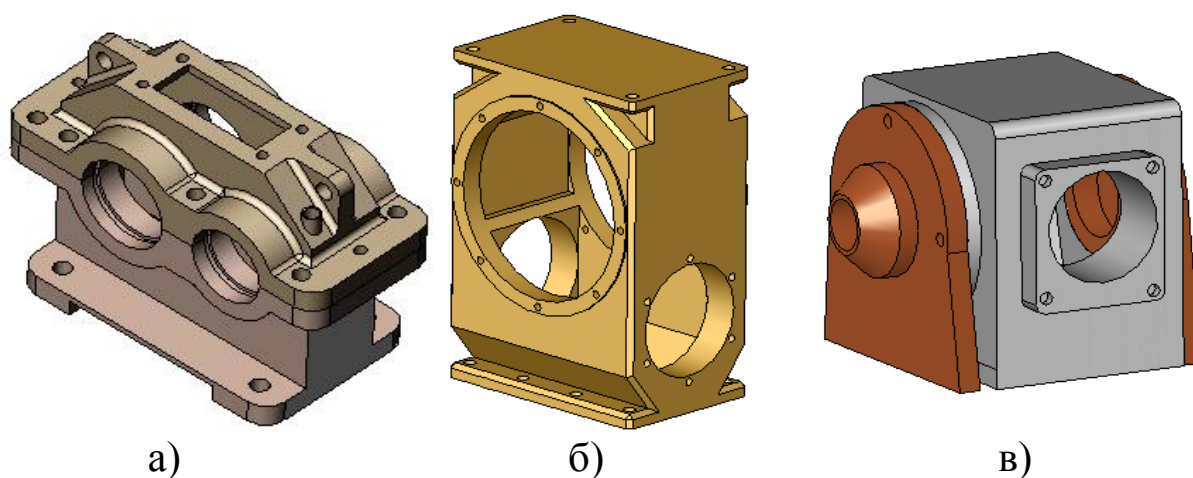


Рисунок 3.2 – Корпуса редукторов: а – цилиндрический редуктор; б – червячный редуктор; в – конический редуктор

Рекомендации по конструированию корпуса редуктора:

1. Конструкция корпуса с крышками подшипников на болтах целесообразнее конструкции с врезными крышками. Последние, несмотря на простоту и низкую стоимость, имеют существенные недостатки, поскольку не обеспечивают достаточной герметичности корпуса, затрудняют осмотр и регулировку подшипников.

2. Расстояние от основания редуктора до линии разъема корпуса определяется глубиной погружения колес в масло и количеством заливаемого масла.

3. Расстояние от окружности выступов наибольшего колеса до внутренней поверхности днища корпуса должно составлять не менее 5–10 модулей этого колеса, чтобы продукты износа не взбалтывались, а отстаивались.

4. Для более полного слива загрязненного масла и промывки редуктора днище должно иметь уклон  $1-2^\circ$  в сторону маслоспускного отверстия. Отверстие делают под пробку с цилиндрической или конической резьбой. Коническая резьба уплотняет надежней.

5. В корпусе должно быть предусмотрено отверстие для маслоуказателя.

6. Для осмотра зацепления и заливки масла в крышке корпуса делают окно, закрываемое крышкой на винтах. По периметру отверстия расположен выступ (платик).

7. В червячных редукторах необходимо предусмотреть отдушину, соединяющую внутренний объем редуктора с внешней атмосферой. Отдушину обычно ставят на крышке смотрового окна или предусматривают отверстие в крышке корпуса редуктора.

8. Болты, стягивающие корпус у бобышек под подшипники, ставят на приливах, которые позволяют приблизить болты к отверстиям под подшипники и делают соединение более жестким.

9. Отверстия под подшипники одного вала выполняют одинакового диаметра, лучше всего на проход, что облегчает расточку корпуса.

10. Прокладки между корпусом и крышкой редуктора не допускаются, так как они могут исказить форму отверстий. Поверхность стыка обрабатывают с шероховатостью не выше Ra1,6 и при монтаже редуктора смазывают герметичной пастой.

11. Крышку и корпус фиксируют относительно друг друга при помощи штифтов, чаще всего конических, установленных на флан-

цах. Штифты ставят несимметрично относительно продольной оси корпуса. Основание и крышку корпуса соединяют болтами.

12. Для захватывания и транспортировки редуктора в крышку корпуса ввинчивают грузовые болты (рым-болт) или делают под фланцем основания приливы с крюками или проушинами.

13. В некоторых случаях выступающие на наружных поверхностях элементы корпуса редуктора, например, такие как бобышки подшипниковых гнезд и крепежные болты, убирают внутрь корпуса.

В ходе проектного расчета определяют толщину стенки корпуса и крышки редуктора; толщину верхнего и нижнего пояса (фланца) редуктора; толщину ребер основания корпуса и крышки редуктора; диаметр фундаментных болтов; диаметр крепежных болтов и размеры, определяющие их положение; высоту бобышки.

После выполнения проектного и проверочного расчетов цепной передачи полученные значения необходимо свести в единую таблицу (табл. 3.13).

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 45–47; 6, с. 72–73; 10, с. 238–247, 254].

Таблица 3.13 – Параметры корпуса редуктора

Параметр	Значение
Толщина стенки корпуса и крышки редуктора $\delta$ , мм	
Толщина верхнего пояса (фланца) корпуса $b$ , мм	
Толщина нижнего пояса (фланца) крышки редуктора $b_1$ , мм	
Толщина нижнего пояса корпуса без бобышки $p$ , мм	
Толщина нижнего пояса корпуса при наличии бобышки $p_1$ и $p_2$ , мм	
Толщина ребер основания корпуса $t$ , мм	
Толщина ребер крышки $t_1$ , мм	
Диаметр фундаментных болтов $d_1$ , мм	
Диаметр болтов у подшипников $d_2$ , мм	
Диаметр болтов, соединяющих основание корпуса с крышкой $d_3$ , мм	
Размеры, определяющие положение болтов $d_2$ , мм	
Высота бобышки $h_5$ под болт $d_2$	

### 3.5.2 Предварительный расчет валов редуктора

При проектировании редукторов различных типов наибольшее распространение получили ступенчатые конструкции валов, что продиктовано условиями сборки. При ступенчатой форме вала детали свободно проходят по нему до своего посадочного места.

Количество и размер ступеней зависят от типа передачи и устанавливаемых на вал деталей – зубчатые или червячные колеса, подшипники качения, шпонки, крышки подшипников, манжетные уплотнения, муфты, шкивы, звездочки и др. (рис. 3.3).

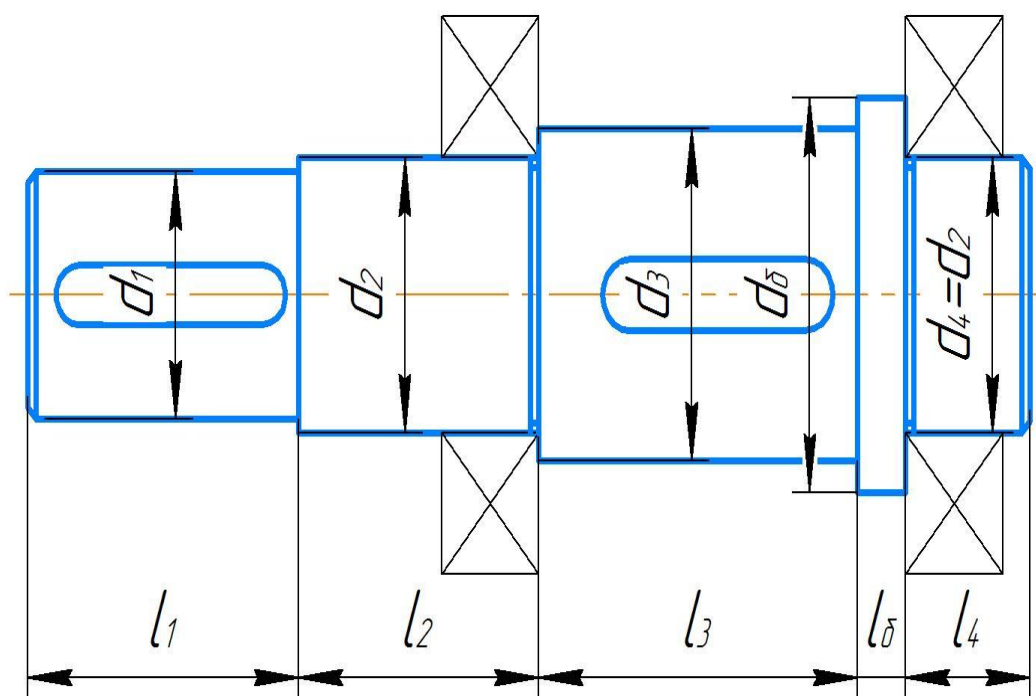


Рисунок 3.3 – Тихоходный вал редуктора

Особенностью валов передач является небольшое отношение их длины к диаметру. Быстроходные валы передач, как правило, выполняют заодно с шестерней или червяком (рис. 3.4).

В качестве материалов проектируемых валов рекомендуется применять термически обработанные среднеуглеродистые и легированные стали 45, 40Х. Стали следует выбирать одинаковые для быстроходного и тихоходного валов.

Целью предварительного (проектного) расчета является определение примерных геометрических размеров каждой ступени вала с последующим его конструированием.

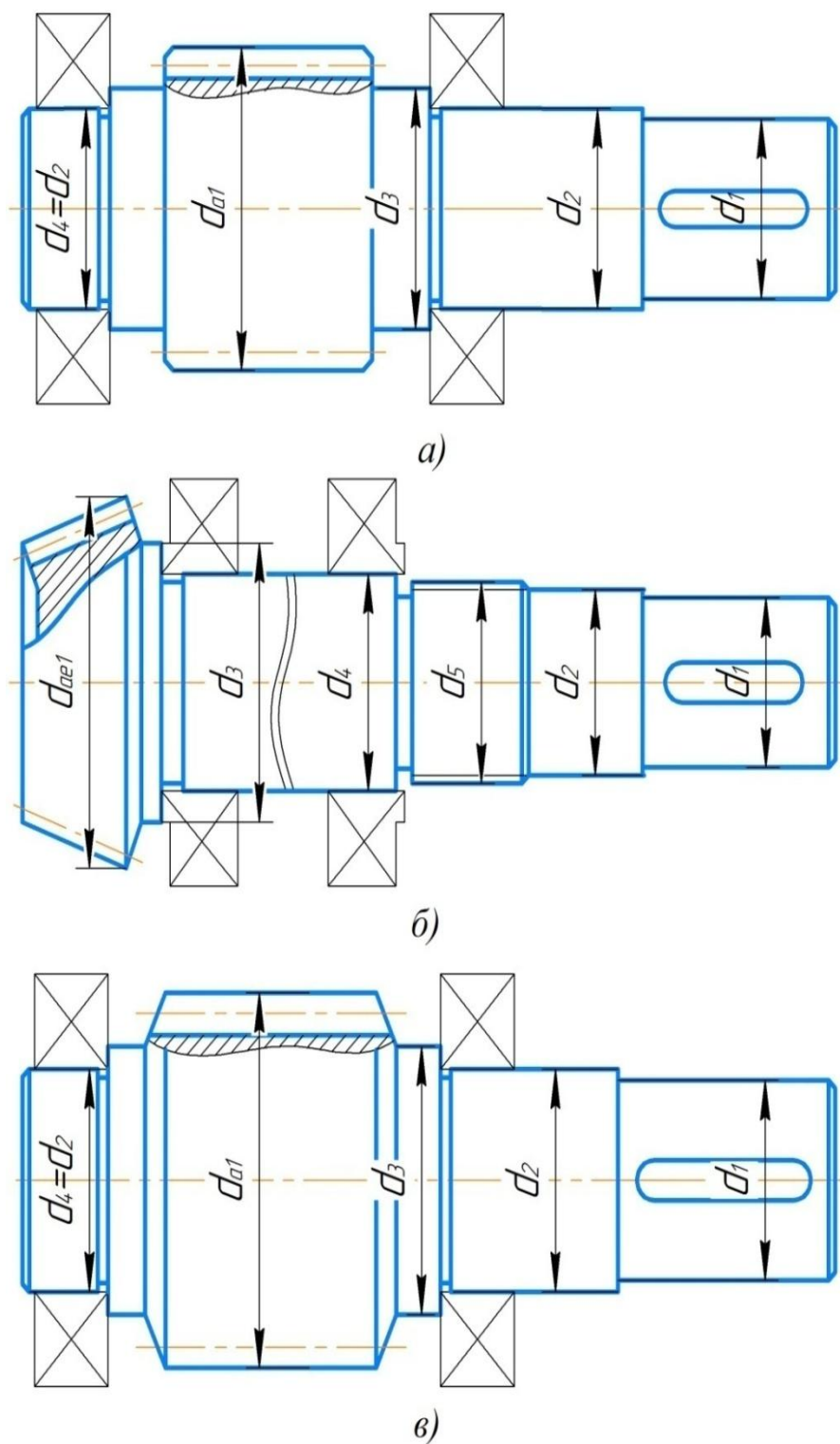


Рисунок 3.4 – Конструкции быстроходных валов:  
 а – вал-шестерня цилиндрическая; б – вал-шестерня коническая;  
 в – червячный вал

В ходе проектного расчета валов определяют следующие параметры:

- 1) диаметр  $d_1$  и длина  $l_1$  выходного участка вала;

- 2) диаметр  $d_2$  и длина  $l_2$  участка вала под крышку с манжетным уплотнением и подшипник качения;
- 3) диаметр  $d_3$  и длина  $l_3$  участка вала под зубчатое (червячное) колесо;
- 4) диаметр  $d_Б$  и длина  $l_Б$ , ширина бурта;
- 5) диаметр  $d_4$  и длина  $l_4$  концевой участка вала под подшипник.

Полученные значения диаметров и длин ступеней следует уточнить, согласовав их с деталями, установленными на валу (подшипники качения, зубчатые и червячные колеса, полумуфты, звездочки и др.) и округлить до ближайших предпочтительных чисел.

После выполнения проектного расчета валов редуктора полученные значения необходимо свести в таблицу (табл. 3.14).

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 42–44; 6, с. 73–76; 9, с. 110–111, 182–192; 10, с. 161–168].

Таблица 3.14 – Размеры ступеней валов редуктора

Ступень вала		Вал	
		быстроходный	тихоходный
1-я ступень	$d_1$ , мм		
	$l_1$ , мм		
2-я ступень	$d_2$ , мм		
	$l_2$ , мм		
3-я ступень	$d_3$ , мм		
	$l_3$ , мм		
4-я ступень	$d_4$ , мм		
	$l_4$ , мм		
Бурт*	$d_Б$ , мм		
	$l_Б$ , мм		

\* Бурт может отсутствовать. Конструкцией вала могут быть предусмотрены заплечики, упоры, канавки под стопорные кольца и др.

*Примечание.* Диаметр  $d_5$  – резьбовой участок на валу конической шестерни. Данный показатель добавить в таблицу для конической передачи.



### 3.5.3 Расчет конструктивных размеров зубчатых и червячных колес

Конструкция колес и червяков определяется проектными размерами, материалом, способом получения заготовки и объемом производства. Основными конструктивными элементами зубчатых и червячных колес являются обод, ступица и диск (рис. 3.5).

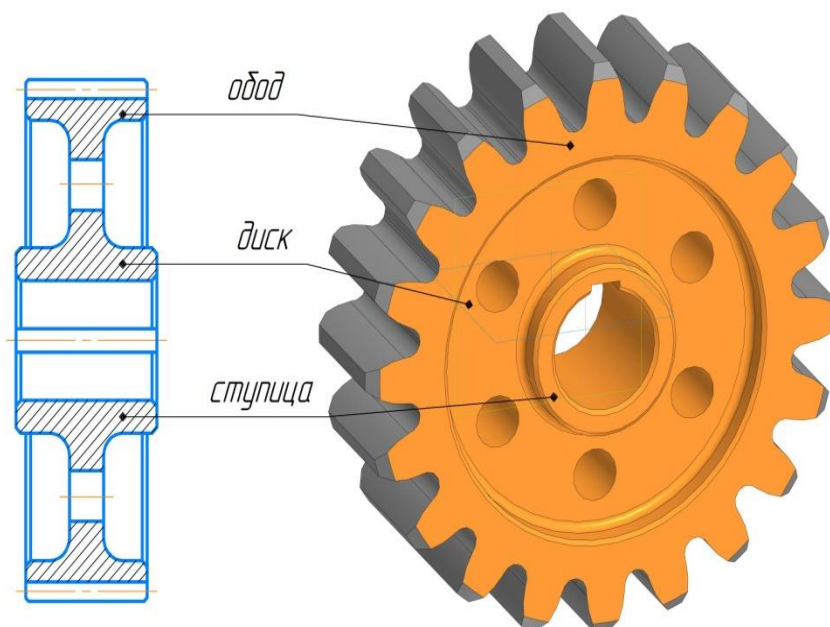


Рисунок 3.5 – Основные конструктивные элементы зубчатого колеса

При выполнении эскизного проекта вычерчиваются контуры зубчатых или червячных колес и червяков, после чего определяют размеры конструктивных элементов (рис. 3.6).

Для зубчатых и червячных колес определяют следующие параметры:

- 1) диаметр  $d_{a2}$ , толщина  $S$  и ширина обода  $b_2$ ;
- 2) диаметр  $d_{ст}$  и длина ступицы  $l_{ст}$ ;
- 3) толщина диска  $c$ , радиусы закруглений  $R$ , уклоны  $\gamma$  (при наличии), диаметры отверстий  $d_{отв}$  и количество отверстий;
- 4) параметры фасок.

После определения размеров конструктивных элементов колес полученные значения необходимо свести в таблицу (табл. 3.15).

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 62–76; 9, с. 166–181; 10, с. 230–237].

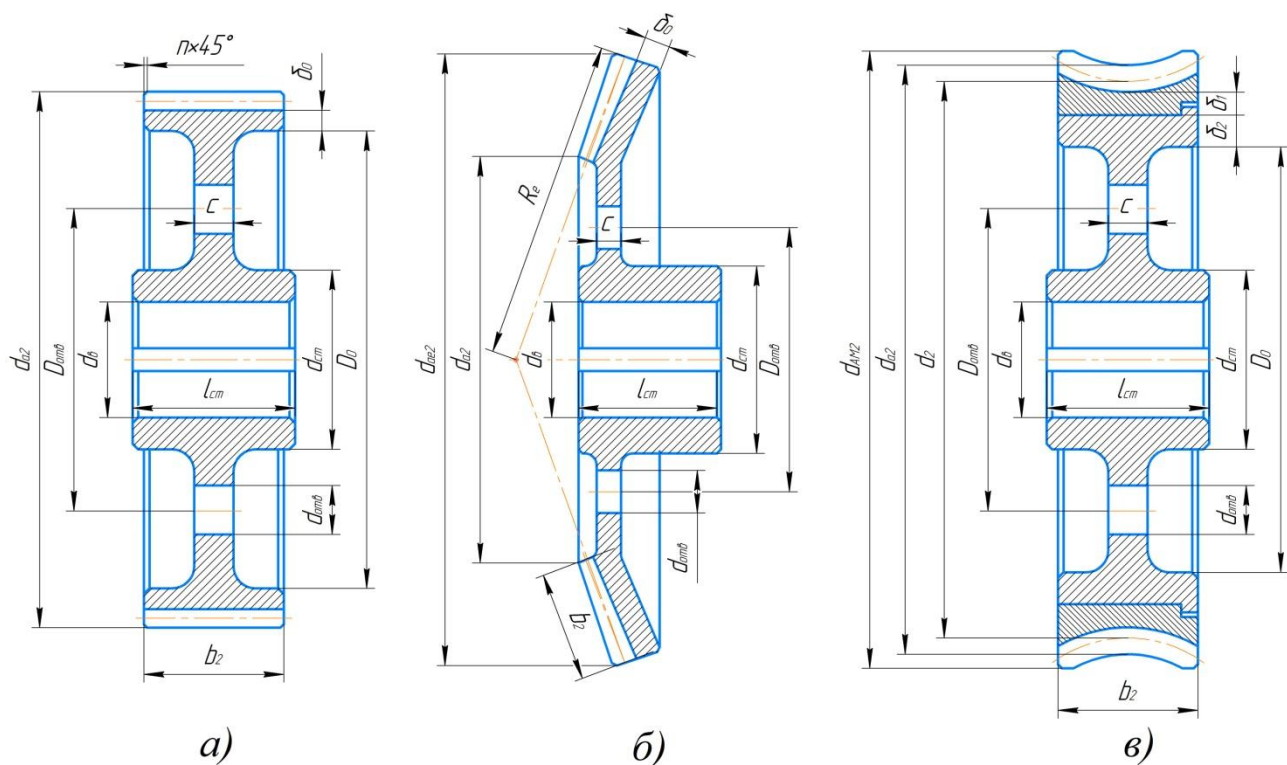


Рисунок 3.6 – Размеры конструктивных элементов колеса:  
 а – цилиндрическое колесо; б – коническое колесо;  
 в – червячное колесо

Таблица 3.15 – Размеры конструктивных элементов зубчатых или червячных колес

Элемент колеса	Параметр	Значение
Обод	Диаметр $d_a$ , мм	
	Диаметр наибольший* $d_{ам}$ , мм	
	Диаметр внутренний* $d_{а2}$ , мм	
	Толщина $s$ , мм	
	Ширина $b_2$ , мм	
Ступица	Диаметр внутренний $d$ , мм	
	Диаметр наружный $d_{ст}$ , мм	
	Длина $l_{ст}$ , мм	
Диск	Толщина $C$ , мм	
	Радиусы закруглений $R$ , мм	
	Уклон $\gamma$ , град	
	Диаметры отверстий $d_0$ , мм	
	Количество отверстий	

\*Для червячных колес.

### 3.5.4 Выбор подшипников качения

При разработке конструкции подшипникового узла учитывают следующие факторы:

- условие монтажа, эксплуатации и ремонта;
- величину, направление и характер действующих нагрузок;
- требуемую долговечность и надежность узла, его стоимость;
- состояние окружающей среды.

Выбор подшипников производится в следующем порядке:

1) выбирают тип, серию и схему установки подшипников качения.

Выбор производится в соответствии с типом редуктора и действующими в зацеплении нагрузками. Предварительно назначают легкую серию;

2) выбирают типоразмер подшипника. Типоразмер подшипников осуществляется на основании проектного расчета валов (диаметры ступеней под подшипники  $d_2$  и  $d_4$ ). В большинстве случаев диаметр внутреннего кольца подшипника будет кратен пяти.

После подбора типоразмера подшипников качения их основные параметры необходимо свести в таблицу (табл. 3.16). Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 105–111; 6, с. 76–78, 84–92; 9, с. 111–115; 10, с. 211–222].

Таблица 3.16 – Основные параметры подшипников качения

Параметр	Вал	
	быстроходный	тихоходный
Типоразмер (марка)		
Диаметр наружного кольца $D$ , мм		
Диаметр внутреннего кольца $d$ , мм		
Ширина подшипника $B$ , мм		
Статическая грузоподъемность $C_{0г}$ , Н		
Динамическая грузоподъемность $C_r$ , Н		

### 3.5.5 Выбор шпоночного соединения

Для передачи крутящего момента в зубчатых и червячных передачах чаще применяют призматическое шпоночное соединение. Это обусловлено их простотой конструкции и технологичностью. Размеры шпонок ( $b$ ,  $h$  и  $l$ ) и шпоночных пазов ( $t_1$ ,  $t_2$ ) нормированы ГОСТ 23360-78 и выбираются в зависимости от диаметра вала (рис. 3.7). Длину

шпонки назначают из стандартного ряда, чтобы она была на 5–10 мм меньше длины ступицы.

После выбора шпоночного соединения полученные значения необходимо свести в таблицу (табл. 3.17).

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 28–30; 6, с. 108–109; 9, с. 193–194, 449; 10, с. 168–175].

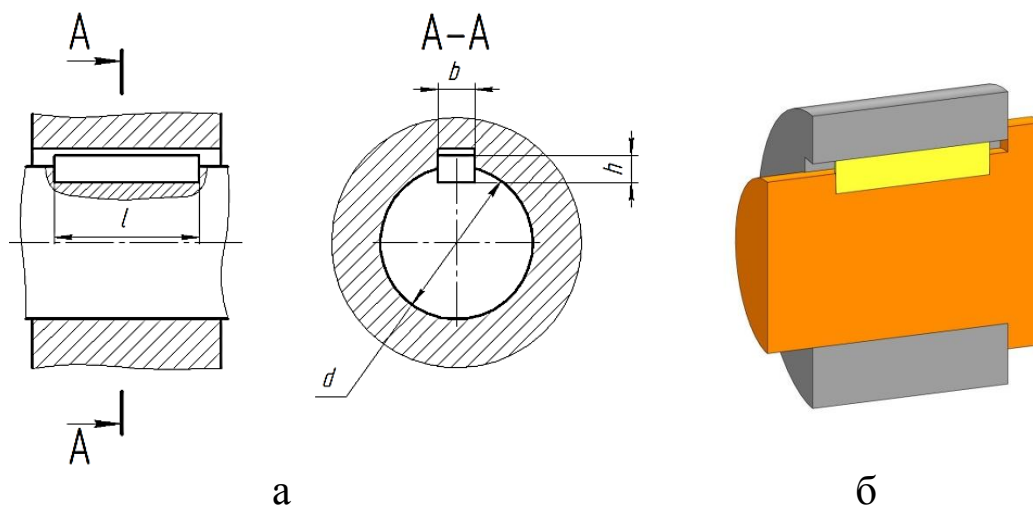


Рисунок 3.7 – Шпоночное соединение:  
а – в разрезе; б – модель соединения

Таблица 3.17 – Параметры шпоночного соединения

Параметр	Вал	
	быстроходный	тихоходный
Диаметр вала $d$ , мм		
Высота шпонки $h$ , мм		
Ширина шпонки $b$ , мм		
Длина шпонки $l$ , мм		
Глубина паза вала $t_1$		
Глубина паза втулки $t_2$		

### 3.6 Конструктивные размеры крышек и стаканов подшипников качения

Крышки и стаканы подшипников не рассчитывают на прочность. Их размеры следует принимать, исходя из конструктивных соображений, а также на основе опыта эксплуатации аналогичных агрегатов и узлов.

Применение стаканов при конструировании подшипниковых узлов обусловлено облегчением их сборки (и разборки) вне корпуса редуктора и удобством регулировки подшипников и колес. Установка стаканов необходима в подшипниковых узлах быстроходных валов конических и червячных редукторов, а также в цилиндрических вертикальных редукторах с неразъемным корпусом.

Стаканы обычно изготавливают литыми из чугуна СЧ15, в редких случаях из стали. Размеры стаканов рассчитываются через соотношения. Толщину стенки стаканов выбирают в зависимости от наружного диаметра  $D$  устанавливаемого подшипника. Конструкция стакана приведена на рисунке 3.8.

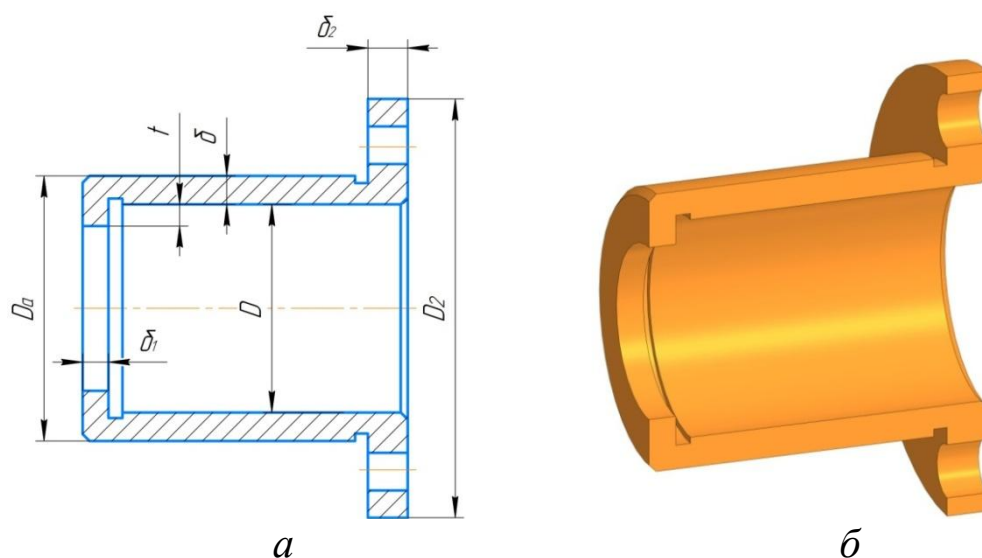


Рисунок 3.8 – Стаканы:  
а – в разрезе; б – модель соединения

Крышки подшипников служат для герметизации узла, осевой фиксации подшипников и восприятия осевых нагрузок. Изготавливают их, как правило, из чугуна СЧ15 двух видов – накладные (торцовые) и закладные (врезные). Конструкции крышек приведены на рисунке 3.9.

Накладные крышки применяют в редукторах с разъемными и неразъемными корпусами. Конструкция крышки зависит от уплотнения валов, крепления и регулировки подшипников, а также размещения деталей.

Закладные крышки широко применяют в разъемных корпусах с межосевым расстоянием  $a_w < 250$  мм. Выбор конструкции крышки зависит от способа уплотнения валов.

Основные размеры крышек подшипников: диаметр  $D$  (равен наружному диаметру подшипника); диаметр фланца  $D_0$ ; толщина стенки  $\delta_1$  и фланца крышки  $\delta$ .

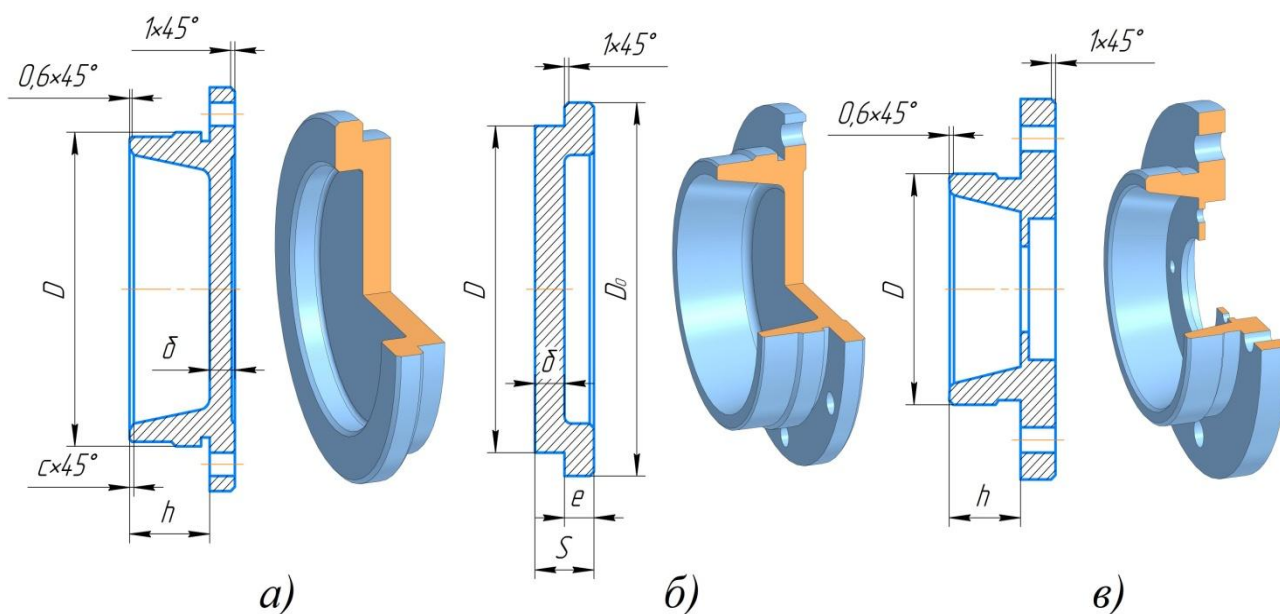


Рисунок 3.9 – Крышки подшипников:  
а – накладные; б – закладные; в – сквозные

После выбора параметров крышек подшипников качения и других корпусных элементов данные необходимо свести в таблицы 3.18–3.19.

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [6, с. 122; 9, с. 210–213, 414–419; 10, с. 196–200].

Таблица 3.18 – Параметры стаканов

Параметр	Значение
Толщина стенки $\delta$ , мм	
Толщина упорного буртика $\delta_1$ , мм	
Толщина фланца $\delta$ , мм	
Высота упорного буртика $t$ , мм	
Диаметр фланца $D_1$ , мм	
Диаметр фланца $D_2$ , мм	
Количество отверстий $n$ , шт.	

Таблица 3.19 – Параметры крышек подшипников

Параметр	Значение
Диаметр $D$ , мм	
Диаметр фланца $D_0$ , мм	
Толщина стенки $\delta_1$ , мм	
Толщина крышки фланца $\delta_2$ , мм	
Размер $h$ , мм	
Размер $e^*$ , мм	
Размер $S^*$ , мм	

\*Размеры для закладных крышек.

### 3.7 Смазывание и уплотнение подшипниковых узлов

Смазывание подшипников качения осуществляется пластичными и жидкими смазочными материалами. Пластичные смазочные материалы выбирают по рабочей температуре и температуре каплепадения, жидкие смазочные материалы выбирают в зависимости от вязкости и температуры эксплуатации.

В редукторах применяют следующие методы смазывания подшипников:

- погружением в масляную ванну;
- фитилем;
- разбрызгиванием (картерное);
- под давлением (циркуляционное);
- масляным туманом (распылением).

Для защиты подшипников от излишнего смазывания и от попадания в них продуктов износа устанавливают защитные шайбы (рис. 3.10). Для отделения узла от общей смазочной системы и удержания смазочного материала применяют мазеудерживающие кольца (рис. 3.11), вращающиеся вместе с валом.

Для защиты подшипникового узла от пыли и влаги извне, а также для предохранения от вытекания смазки из узла, применяют уплотнения. В качестве уплотнительных устройств используют контактные (манжетные), лабиринтные, щелевые; центробежные и комбинированные. В машиностроении наибольшее распространение получили контактные уплотнения (рис. 3.12).

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [9, с. 420–421; 10, с. 203–211].



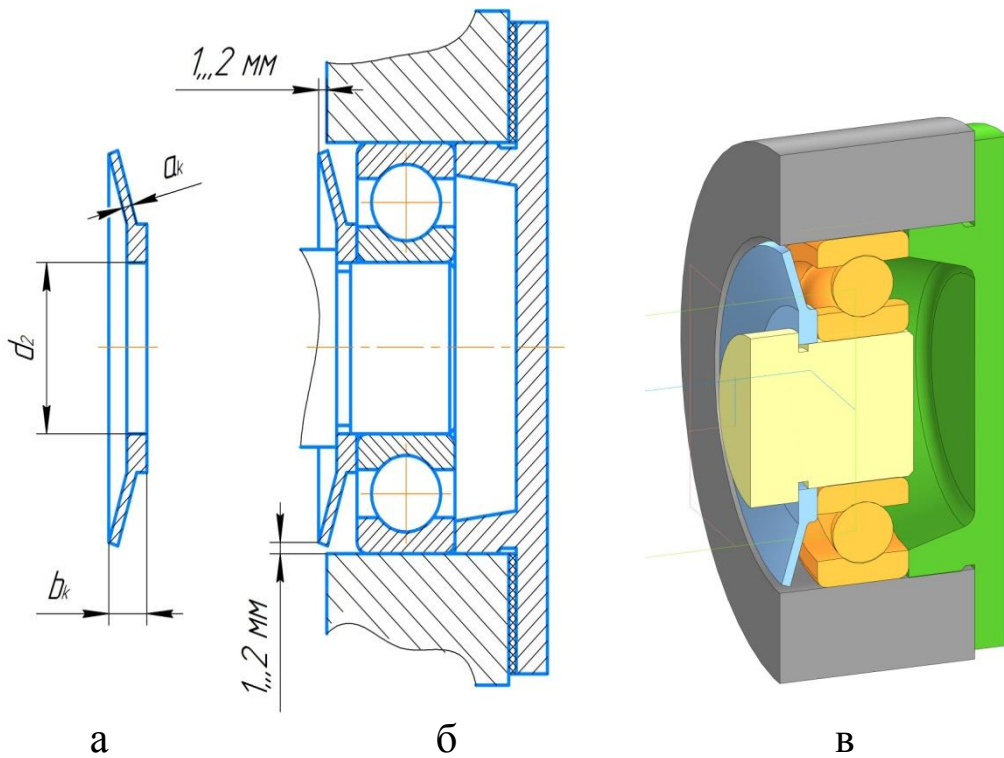


Рисунок 3.10 – Подшипниковый узел с маслоотражающим кольцом:  
 а – маслоотражающее кольцо; б – узел в разрезе; в – модель узла

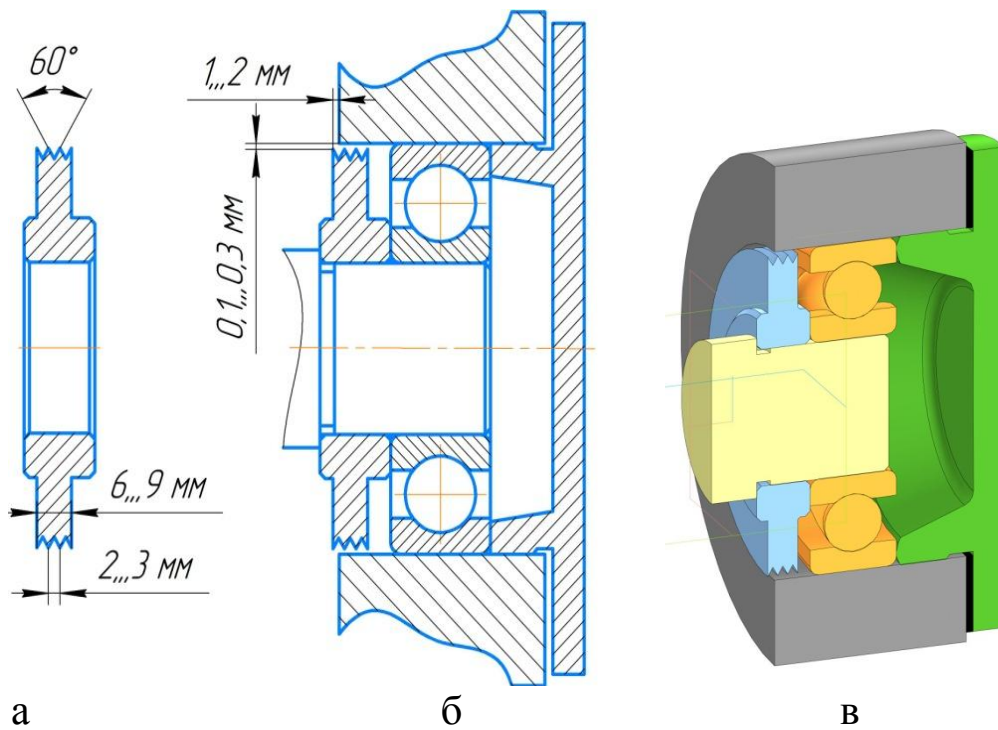


Рисунок 3.11 – Подшипниковый узел с мазеудерживающим кольцом:  
 а – мазеудерживающее кольцо; б – узел в разрезе; в – модель узла



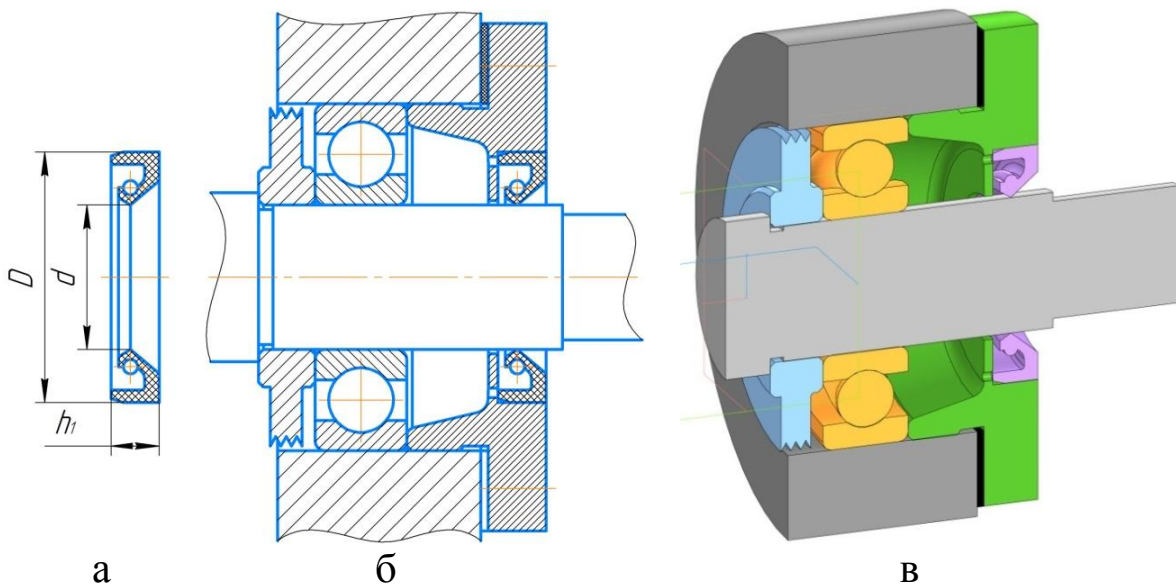


Рисунок 3.12 – Подшипниковый узел с манжетным уплотнением:  
 а – манжетное уплотнение; б – узел в разрезе; в – модель узла

### 3.8 Смазывание редукторов

По способу подвода смазочного материала к зацеплению различают картерное и циркуляционное смазывание. Для менее ответственных узлов используют периодическое смазывание.

Циркуляционное смазывание применяется, когда требуется постоянно подводить свежее отфильтрованное масло, что характерно для кривошипно-шатунных механизмов и кулачковых валов привода клапанов двигателей внутреннего сгорания.

Картерное смазывание осуществляется погружением зубчатых и червячных колес в масло, заливаемое внутрь корпуса редуктора. Глубину погружения выбирают в зависимости от типа передачи.

Периодическое смазывание заключается в закладывании с помощью шприца консистентного (пластичного) смазочного материала. Это выполняется при сборке узлов или их периодическом обслуживании.

Назначение сорта масла зависит от контактного давления и окружной скорости колеса. С учетом данных параметров определяется кинематическая вязкость масла. Пластичные смазки назначаются с учетом рабочих температур и области применения.

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [6, с. 124–125; 10, с. 250–255].

### 3.9 Установочные рамы и плиты

Для обеспечения требований точности монтажа электродвигатель и редуктор устанавливают на сварных рамах или литых плитах. Рамы выполняют сварными из листовой стали и профильного проката – уголков или швеллеров (рис. 3.13). Литые плиты выполняют из серого чугуна СЧ 15 (рис. 3.14).

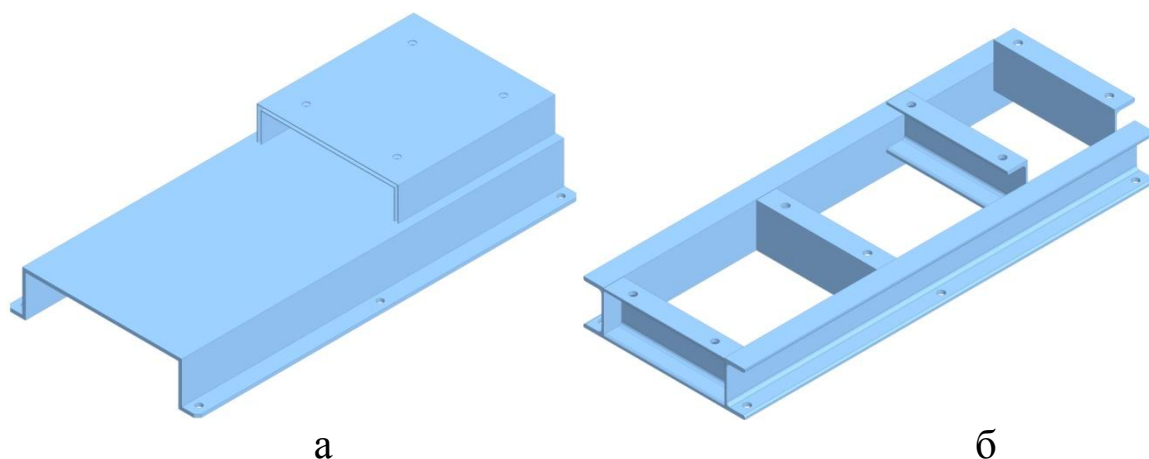


Рисунок 3.13 – Установочная сварная рама:  
а – листовая сталь; б – профильный прокат

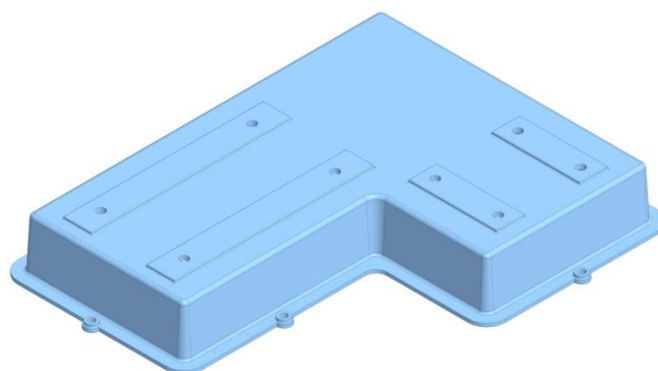


Рисунок 3.14 – Установочная литая плита

Рекомендации для сварных рам:

- швеллеры располагают для удобства постановки болтов полками наружу;
- на внутреннюю поверхность полки накладывают косые шайбы или наваривают косые накладки, которые выравнивают опорную поверхность под головки болтов.

Опорные поверхности – пластики, на которые устанавливают редукторы и электродвигатели, создаются привариванием узких полосок стали высотой 5–6 мм. В случаях, когда болт проходит через обе полки швеллера, жесткость увеличивают ребрами, угольниками или трубками.

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [10, с. 247–250].

### 3.10 Выбор муфты

Выбор муфты для соединения валов выполняется из числа стандартных конструкций с учетом особенностей эксплуатации привода и с последующей проверкой элементов муфты на прочность.

Основной характеристикой при выборе муфты является номинальный вращающий момент, установленный стандартом. Таким образом, типоразмер муфты выбирают по наибольшему диаметру концов соединяемых валов расчетному моменту, который должен быть в пределах номинального. Стандартные муфты могут быть с цилиндрическим или коническим посадочным отверстием для длинных или коротких валов. Допускается сочетание полумуфт с различными диаметрами посадочных отверстий.

В приводах наибольшее распространение получили муфты для постоянного сцепления валов, устанавливаемых на весь срок эксплуатации, и предохранительные, автоматически, размыкающие привод в случае возникновения случайных перегрузок.

К муфтам постоянного сцепления относятся втулочные, фланцевые, муфты упругие втулочно-пальцевые, упругие со звездочками, с торообразной оболочкой, цепные, кулачково-дисковые.

Втулочные муфты обладают простотой конструкции, малыми радиальными габаритами. Применяются только для соосных валов. Для данных муфт рекомендуется выполнение проверочных расчетов.

Фланцевые муфты просты конструктивно. Применяются только для соосных валов. Прочность муфты определяется прочностью болтового соединения фланцев. Данные муфты рекомендуется рассчитывать на прочность.

Для муфт упругих втулочно-пальцевых (МУВП) характерна простота конструкции и небольшая компенсирующая способность: радиальное смещение 0,2–0,6 мм; осевое смещение 1,0–5,0 мм; угловое смещение до  $1^{\circ}30'$ . При соединении несоосных валов оказывают

большое силовое воздействие на валы и опоры и, как результат, быстрый выход из строя резиновых втулок.

Муфты упругие со звездочками имеют незначительную компенсирующую способность: радиальное смещение 0,1–0,4 мм; осевое смещение 1,0–5,0 мм; угловое смещение до  $1^{\circ}30'$ . При соединении несоосных валов муфты оказывают на них значительное силовое воздействие. Обладают большой радиальной, угловой и осевой жесткостью.

Муфты с торообразной оболочкой просты конструктивно, обладают высокой податливостью, что позволяет применять их в конструкциях, где трудно обеспечить соосность валов, при переменных ударных нагрузках, а также при значительных кратковременных перегрузках. Компенсирующая способность данных муфт: радиальное смещение 1–5 мм; осевое смещение 1–11 мм; угловое смещение до  $1^{\circ}30'$ .

Цепные муфты обладают хорошими компенсирующими свойствами. Допускаемое радиальное смещение валов –  $0,01 d$ , угловое смещение – до  $1^{\circ}$ . Такие муфты не применяют в реверсивных приводах, а также в приводах с большими динамическими нагрузками.

Кулачково-дисковые муфты используются при радиальном смещении валов на  $0,03 d$  и углом до  $30'$ . Имеют большую массу, как следствие, ограничения по частоте вращения. Для курсовых проектов муфты данного типа не рекомендуются.

К наиболее распространенным предохранительным муфтам относятся муфты со срезным штифтом, кулачковые, шариковые.

Муфты со срезным штифтом имеют компактную конструкцию и обладают высокой точностью срабатывания, являются простейшими из предохранительных муфт. Применяются при единичных случаях перегрузки, в тех случаях, когда аварийная ситуация маловероятна. Работа муфты возможна только после замены ломающегося элемента.

Муфты кулачковые и шариковые применяются в приводах, испытывающих переменные нагрузки. Данные муфты многократного действия. При критической нагрузке происходит срабатывание, при снижении нагрузки происходит включение муфты. Применяются такие муфты до 300–400 об/мин.

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [9, с. 250–254, 422–431; 10, с. 268–282].

### 3.11 Эскизный проект редуктора

Эскизный проект редуктора (компоновка) принято проводить в два этапа:

- на первом этапе приближенно определяют положение зубчатых колес относительно опор для последующего определения опорных реакций и подбора подшипников качения;
- второй этап проводится с целью конструктивного оформления зубчатых колес, валов, корпуса, узлов подшипников качения и подготовки данных для проверочных расчетов валов и других деталей.

#### 3.11.1 Первый этап эскизного проектирования

При выполнении эскизной компоновки редуктора необходимо руководствоваться требованиями ЕСКД. Эскизная компоновка выполняется на миллиметровой бумаге или с помощью САПР (КОМПАС 3-D, AutoCAD, T-Flex и др.) в масштабе 1:1. Число проекций на чертеже зависит от типа редуктора:

- цилиндрический редуктор выполняется в одной проекции;
- конический редуктор выполняется в одной проекции;
- червячный редуктор выполняется в двух проекциях.

Компоновку выполняют в соответствии с результатами расчета геометрических параметров зубчатой или червячной передачи. Эскиз рекомендуется выполнять в определенной последовательности. Ниже приведен порядок построения зубчатых и червячной передач.

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [9, с. 116–132].

##### 3.11.1.1 Первый этап эскизного проектирования цилиндрического редуктора

Построение зубчатой цилиндрической передачи (прил. В) проходит в следующем порядке:

- 1) проводят горизонтальную осевую линию, которую рекомендуется располагать посередине листа (рис. 3.15);
- 2) проводят две параллельные вертикальные осевые линии на расстоянии  $a_w$ ;
- 3) откладывают относительно осевых линий влево и вправо отрезки на расстоянии  $0,5 d_1$  и  $0,5 d_2$ ;

4) откладывают относительно осевых линий влево и вправо отрезки на расстоянии  $0,5 d_{a1}$  и  $0,5 d_{a2}$ ;

5) вычерчивают упрощенно контур шестерни и колеса с учетом ширины венца  $b_1$  и  $b_2$ . При этом шестерню и колесо следует располагать симметрично относительно горизонтальной осевой линии. Длину ступицы колеса на первом этапе принимают равной  $b_2$ ;

6) очерчивают контур внутренней стенки корпуса редуктора с учетом расстояний до корпусных деталей  $a=\delta$  и  $a_1=1,2 \delta$ , где  $\delta$  толщина стенки редуктора ( $\delta \geq 8$  мм);

7) подбирают предварительно подшипники качения средней серии. Размеры подшипников выбирают по посадочному диаметру вала. С целью предотвращения вымывания пластичного смазочного материала на валу устанавливают мазеудерживающие кольца. Для этого подшипники располагают утопленными внутрь корпуса на расстоянии  $y=8-12$  мм;

8) намечают в зависимости от структуры привода расположение шкива, звездочки или полумуфты на тихоходном валу (диаметр  $d$  и ширина  $b$ );

9) определяют замером для проверочного расчета расстояния на быстроходном  $l_1$  и тихоходном валах  $l_2$  и  $l_3$ .

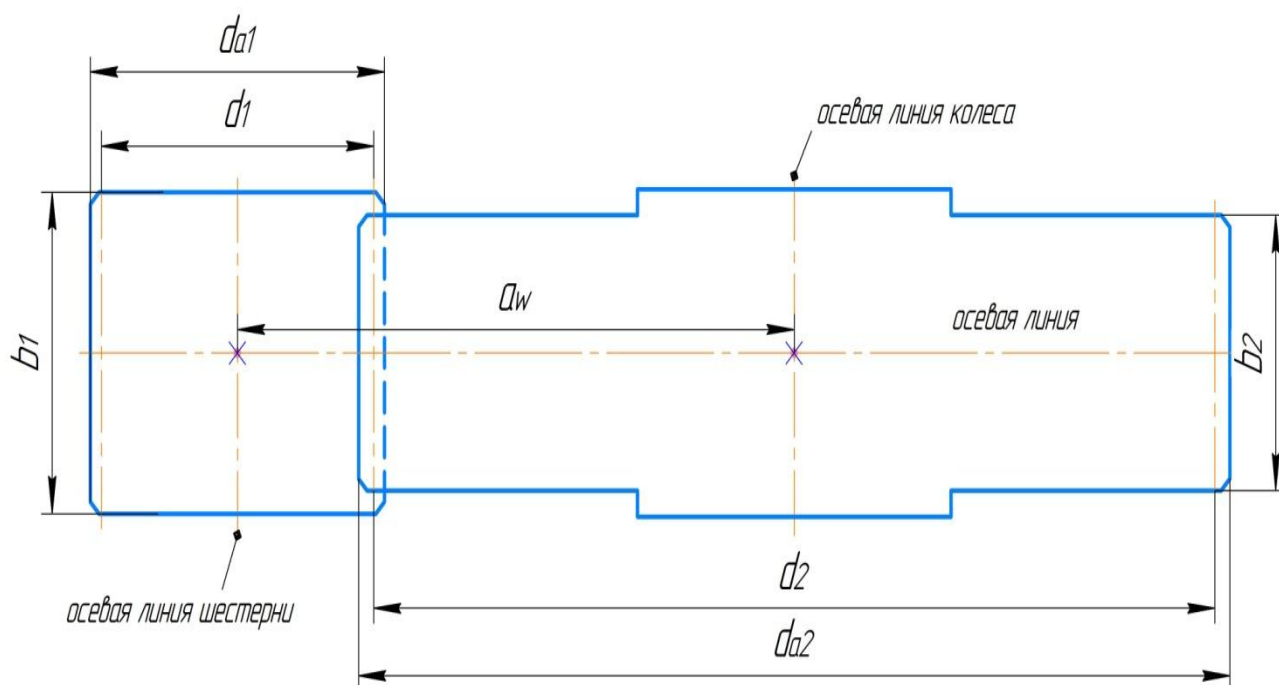


Рисунок 3.15 – Начальные построения эскизной компоновки цилиндрической передачи

### 3.11.1.2 Первый этап эскизного проектирования конического редуктора

Построение конической зубчатой передачи (прил. В) проходит в следующем порядке:

1) проводятся две взаимно перпендикулярные осевые линии, обозначается их точка пересечения  $O$ . Линии надо располагать примерно посередине листа (рис. 3.16);

2) из точки пересечения осей  $O$  проводятся под углом  $\delta_1$  образующие делительных конусов и на них откладываются отрезки  $R_e$ ;

3) в точках  $C$  к образующим делительных конусов восстанавливают перпендикуляры, на которых откладывают высоту головки зуба  $h_a = m_{te}$  и высоту ножки  $h_f = 1,25 m_{te}$ . Концы отложенных отрезков соединяют с точкой  $O$  линиями, которые представляют собой образующие конусов вершин и впадин зубьев;

4) вдоль образующих делительных конусов от точек  $C$  по направлению к точке  $O$  откладывают ширину зуба  $b$  и проводят границу зуба;

5) толщину обода шестерни и колеса назначают одинаковой и равной  $d_0 = 2,5m_{te} + 2$ ;

6) вычерчивают контур зубчатых колес. Для уменьшения расстояния между опорами ступицу колеса располагают несимметрично относительно диска;

7) контур корпуса редуктора проводят с учетом расстояния до корпусных деталей  $a$  и  $1,5 a$ ;

8) подбирают предварительно подшипники качения средней серии. Размеры подшипников выбирают по посадочному диаметру вала. С целью предотвращения вымывания пластичного смазочного материала на валах устанавливают мазеудерживающие кольца. Для этого подшипники располагают утопленными внутрь корпуса на расстоянии  $y_1$  и  $y_2$ : для быстроходного вала –  $y_1 = 15$  мм, для тихоходного –  $y_2 = 20$  мм.

Подшипники быстроходного вала располагаются в стакане на расстоянии  $c_1 \approx (1,4 - 2,3) \cdot f_1$ , где  $f_1$  расстояние от среднего диаметра шестерни до радиальных реакций подшипника. Для радиально-упорного подшипника реакции считать приложенными к валу в точках пересечения нормалей, проведенных к серединам контактных площадок тел качения.

Подшипники тихоходного вала располагаются симметрично относительно оси ведущего вала. Расстояния  $A$  и  $A^\circ$  определяются замером и при этом  $A = A^\circ$ ;

9) намечают в зависимости от структуры привода расположение шкива, звездочки или полумуфты на тихоходном валу (размеры  $d$  и  $l$ );

10) определяют замером для проверочного расчета расстояния на быстроходном валу  $c_1$  и  $f_1$ , на тихоходном валу –  $c_2, f_2$  и  $l_2$ .

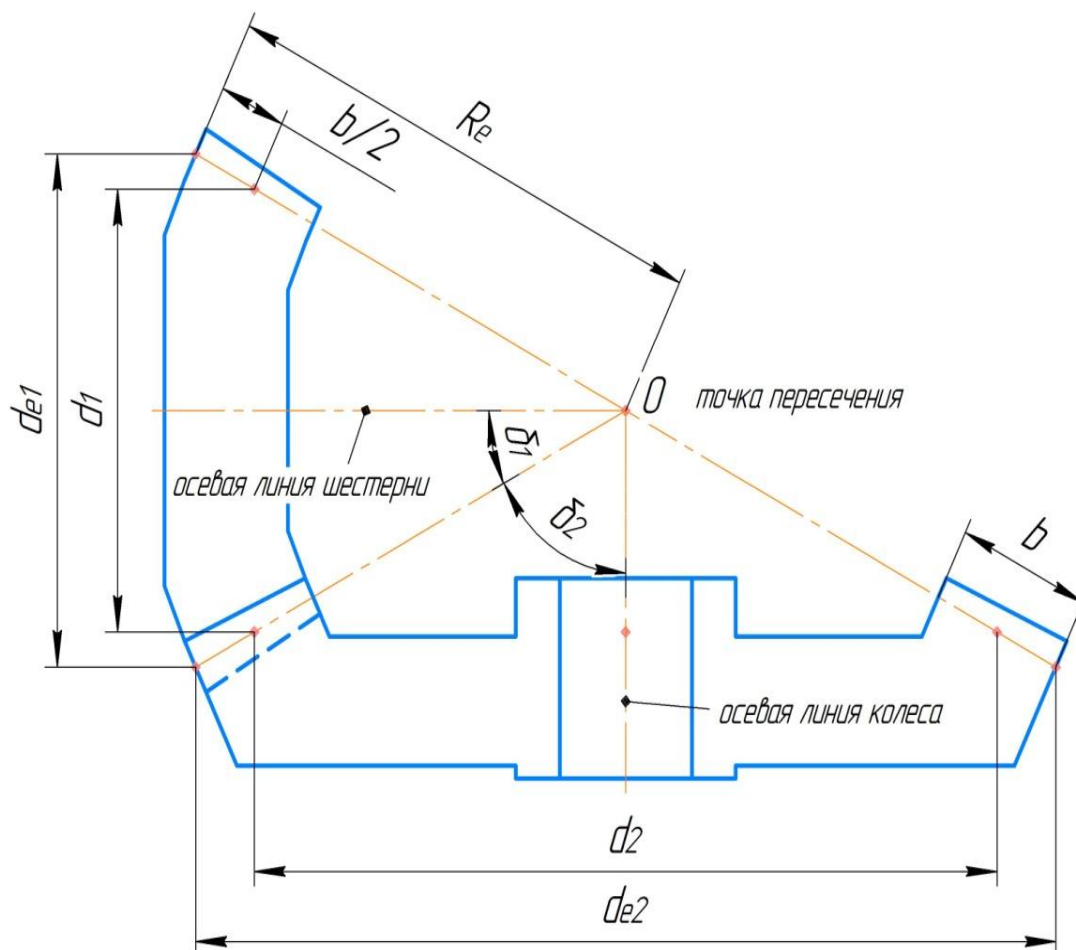


Рисунок 3.16 – Начальные построения эскизной компоновки конической передачи

### 3.11.1.3 Первый этап эскизного проектирования червячного редуктора

Последовательность построения червячной передачи (прил. В) сводится к следующему:

1) проводят горизонтальную осевую линию. Параллельно ей проводят вторую на расстоянии  $a_w$ . Пересекают их перпендикулярной



осью симметрии. Горизонтальную линию рекомендуется располагать примерно посередине листа (рис. 3.17);

2) проводят из точки пересечения  $O_2$  – центра червячного колеса – окружности диаметром  $d_2$ ,  $d_{a2}$  и  $d_{am2}$ ;

3) откладывают от оси червяка вверх и вниз отрезки, равные  $0,5 d_1$ . При этом линия начального диаметра червяка должна быть касательной к делительной окружности колеса;

4) откладывают относительно оси червяка на расстоянии  $0,5 d_{a1}$  отрезки. На этих отрезках относительно вертикальной оси симметрии откладывают длину нарезной части червяка  $b_1$ ;

5) проводят перпендикулярную осевую линию для построения второй проекции червячной передачи на продолжении горизонтальных осей, проходящих через центр червячного колеса  $O_2$  и ось червяка;

6) проводят окружности диаметром, равным  $d_1$ ,  $d_{a1}$ , из точки пересечения  $O_1$   $d_{f1}$ ;

7) проводят дуги из центра  $O_1$ , которые устанавливают границы поверхностей вершин зубьев и впадин червячного колеса. При этом необходимо учесть, что между диаметром вершин витков червяка  $d_{a1}$  и впадин зубьев червячного колеса  $d_{f2}$ , а также между диаметром вершин зубьев червячного колеса  $d_{a2}$  и впадин витков червяка  $d_{f1}$ , должен быть зазор  $c$ , равный  $0,2 m$ ;

8) достраивают окончательный контур колеса с учетом наибольшим диаметра  $d_{am2}$  и ширины венца червячного колеса  $b_2$ ;

9) вычерчивают контур внутренней стенки корпуса редуктора на расстоянии  $a \approx 15$  мм и  $b_0$ ;

10) подбирают предварительно подшипники качения средней серии. Размеры подшипников выбирают по посадочному диаметру вала. Подшипники червяка вычерчиваются симметрично относительно среднего сечения на расстоянии  $l_1 \approx d_{AM2}$  друг от друга. Опоры вала червячного колеса также располагают симметрично на расстоянии  $l_2$ . Подшипники тихоходного вала располагают утопленными внутрь корпуса на расстоянии  $y = 2-5$  мм;

11) намечают в зависимости от структуры привода расположение шкива, звездочки или полумуфты на тихоходном валу (размеры  $d$  и  $b$ );

12) определяют замером для проверочного расчета расстояния на быстроходном валу  $l_1$  и  $f_1$ , на тихоходном валу –  $l_2$  и  $f_2$ .

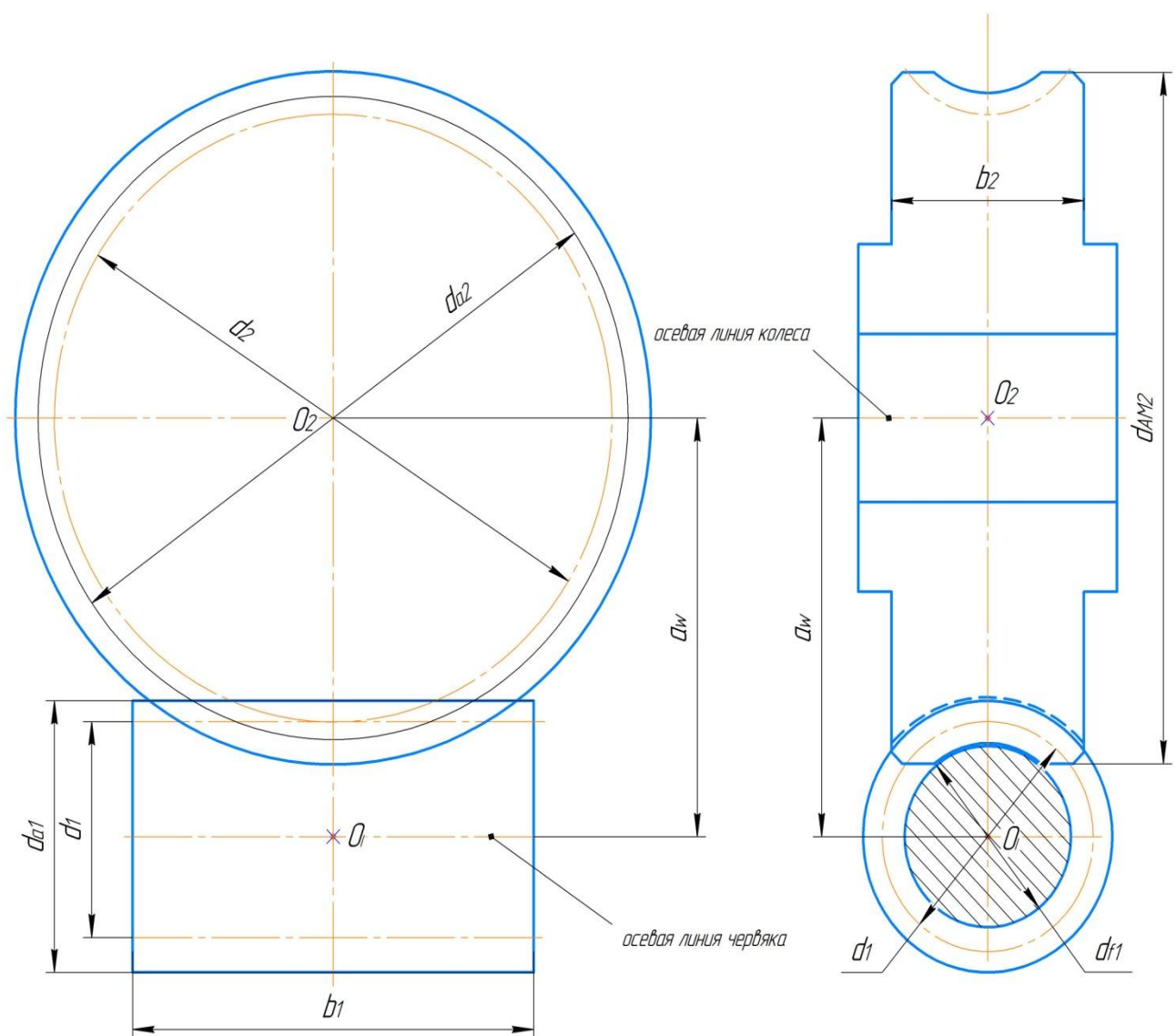


Рисунок 3.17 – Начальные построения эскизной компоновки червячной передачи

### 3.11.2 Второй этап эскизного проектирования

На втором этапе выполняются следующие работы:

- конструктивно оформляются зубчатые колеса и валы, корпус, узлы подшипников качения;
- подготавливаются данные для проверочных расчетов валов, шпоночных соединений и других деталей.

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 15–20; 9, с. 158–224].

### 3.11.2.1 Второй этап эскизного проектирования цилиндрического редуктора

Примерный порядок второго этапа эскизного проектирования цилиндрического редуктора сводится к следующему (прил. Г):

1) вычерчивают шестерню и колесо с учетом их конструктивных размеров: диаметры  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_{a1}$ ,  $d_{a2}$ ,  $d_{f1}$ ,  $d_{f2}$ ; ширина венца  $b_1$  и  $b_2$ ; диаметр и длина ступицы  $d_{ст}$  и  $l_{ст}$ ; толщина обода  $\delta_0$ ; толщина диска  $C$ . Шестерню выполняет заодно с валом;

2) конструируют узел ведущего вала:

- вычерчивают быстроходный вал-шестерню;
- вычерчивают подшипники качения на расстоянии  $l_1$ ;
- вычерчивают маслоотражающие шайбы или мазеудерживающие кольца. Кольца следует устанавливать так, чтобы они выступали внутрь корпуса на 1–2 мм (см. рис. 3.10–3.11);

3) аналогичным образом конструируют узел ведомого вала цилиндрического редуктора:

- вычерчивают тихоходный вал;
- для фиксации зубчатого колеса необходимо на валу предусмотреть утолщение вала (бурт);
- с другой стороны устанавливают распорную втулку. Для прижатия мазеудерживающего кольца необходимо, чтобы переход вала был смещен внутрь втулки на 2–3 мм;

4) вычерчивают на ведущем и ведомом валах шпонки, при этом их длина должна быть на 5–10 мм меньше длины ступицы;

5) уточняют расстояния между опорами, зубчатыми колесами и шкивами, звездочками или полумуфтами. При значительном изменении этих расстояний уточняются реакции опор, проверяется долговечность подшипников.

### 3.11.2.2 Второй этап эскизного проектирования конического редуктора

Второй этап эскизного проектирования конического редуктора сводится к следующему (прил. Г):

1) вычерчивают вал-шестерню и колесо с учетом их конструктивных размеров: ширина венца  $b$ ; диаметр и длины ступиц  $d_{ст}$  и  $l_{ст}$ ; толщина обода  $\delta_0$ ; толщина диска  $C$ ;

2) конструируют узел ведущего вала:

- вычерчивают быстроходный вал-шестерню;

- вычерчивают подшипники качения на расстоянии  $c_1$ . Между подшипниками располагают распорную втулку. Толщина стенки втулки должна быть равной  $(0,1-0,15) \cdot d_{п1}$ ;

- вычерчивают маслоотражающие кольца или мазеудерживающие кольца. Кольца следует устанавливать так, чтобы они выступали внутрь корпуса на 1–2 мм (см. рис. 3.10–3.11);

3) конструируют узел ведомого вала:

- вычерчивают тихоходный вал;

- предусматривают для фиксации зубчатого колеса на валу утолщение вала (бурт);

- вычерчивают подшипники качения на расстоянии  $c_2$  и  $f_2$ ;

4) вычерчивают шпонки на ведущем и ведомом валах, при этом их длина должна быть на 5–10 мм меньше длины ступицы;

5) уточняют расстояния между опорами, зубчатыми колесами, шкивами, звездочками или полумуфтами. При значительном изменении этих расстояний уточняются реакции опор, проверяется долговечность подшипников.

### *3.11.2.3 Второй этап эскизного проектирования червячного редуктора*

Примерный порядок второго этапа эскизного проектирования червячного редуктора сводится к следующему (прил. Г):

1) вычерчивают червячный вал и червячное колесо с учетом их конструктивных размеров: длина нарезной части  $b_1$  и ширина венца  $b_2$ ; диаметр и длина ступицы  $d_{ст}$  и  $l_{ст}$ ; толщина обода  $\delta_0$ ; толщина диска  $C$ . Чаще всего червячные колеса изготавливают составными – чугунная ступица и бронзовый венец. При этом необходимо учитывать размер  $S$  и  $S_0$ ;

2) конструируют узел ведущего вала (червяка):

- вычерчивают червячный вал;

- вычерчивают подшипники качения на расстоянии  $l_1$ ;

- вычерчивают маслоотражающие кольца или мазеудерживающие кольца. Кольца следует устанавливать так, чтобы они выступали внутрь корпуса на 1–2 мм (см. рис. 3.10–3.11). При уровне залитого масла ниже уровня витков для его разбрызгивания на валу червяка устанавливают крыльчатки;

3) конструируют узел ведомого вала:

- вычерчивают тихоходный вал;

- предусматривают для фиксации червячного колеса на валу утолщение вала (бурт);

- устанавливают с другой стороны распорную втулку. Для прижатия мазеудерживающего кольца необходимо, чтобы переход вала был смещен внутрь втулки на 2–3 мм;

- вычерчивают подшипники качения на расстоянии  $l_2$ ;

4) вычерчивают шпонки на ведущем и ведомом валах, при этом их длина должна быть на 5–10 мм меньше длины ступицы;

5) уточняют расстояния между опорами, червячным колесом, шкивами, звездочками или полумуфтами. При значительном изменении этих расстояний уточняются реакции опор, проверяется долговечность подшипников.

### 3.12 Проверочные расчеты

#### 3.12.1 Проверочный расчет подшипников качения

Проверочный расчет предварительно подобранных подшипников выполняется для быстроходного и тихоходного валов. При проведении расчета необходимо:

1) составить расчетную схему с учетом предварительного расчета валов и действующих на них нагрузок – окружная  $F_t$ , радиальная  $F_r$  и осевая сила  $F_a$ ; сила от открытой передачи  $F_{оп}$  либо муфты  $F_m$ ; реакции опор (рис. 3.18);

2) определить реакции опор в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. После чего определить суммарные реакции в опорах;

3) определить изгибающие моменты в вертикальной и горизонтальной плоскости и построить эпюры;

4) построить эпюру крутящего момента. Знак момента определяется направлением момента от окружающей силы  $F_t$ ;

5) определить суммарные изгибающие моменты в наиболее нагруженных сечениях вала;

6) рассчитать эквивалентную нагрузку. Расчет ведется для наиболее нагруженной опоры;

7) определить расчетную динамическую грузоподъемность  $C_{гр}$  и долговечность  $L_{10h}$ . Полученные значения необходимо сравнить с табличными, при этом должны выполняться следующие условия:  $C_{гр} \leq C_r$  и  $L_{10h} \leq L_h$ .

После выполнения проверочного расчета подшипников полученные значения необходимо свести в таблицу (табл. 3.20).

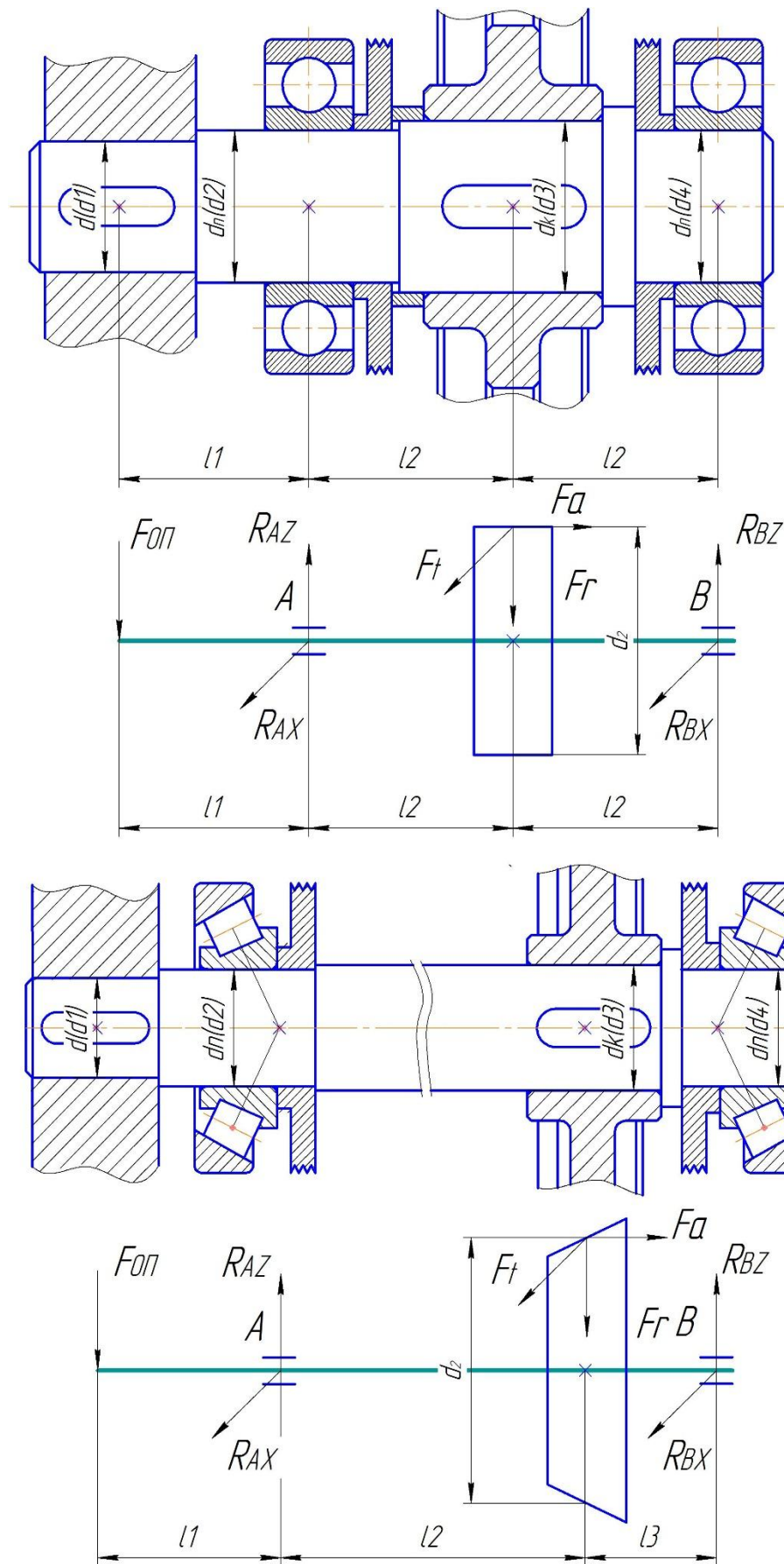


Рисунок 3.18 – Расчетные схемы тихоходных валов зубчатых передач

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 10–104, 164–172; 6, с. 112–121; 9, с. 101–105; 10, с. 133–139, 140–157].

Таблица 3.20 – Результаты проверочного расчета подшипников качения

Параметр	Вал	
	быстроходный	тихоходный
Реакции опор $R$ , Н		
Изгибающие моменты $M$ , Нм		
Крутящий момент $T$ , Нм		
Динамическая грузоподъемность $C_{гр}$ , Н		
Долговечность $L_{10h}$ , ч		

### 3.11.2 Проверочный расчет шпоночного соединения

Выбранные шпонки проверяют на напряжения смятия  $\sigma_{см}$ . Проверке подлежат одна шпонка на быстроходном валу (полумуфта или элемент открытой передачи) и две шпонки на тихоходном валу (колесо, элемент открытой передачи или полумуфта). В ходе расчета должно выполняться следующее условие прочности:  $\sigma_{см} < [\sigma_{см}]$ .

Для шпонок применяют нормализованную сталь 45. Допускаемые напряжения смятия зависят от материала ступицы и режима работы:

- при стальной ступице  $[\sigma_{см}] = 800–1200$  МПа;
- чугунной ступице  $[\sigma_{см}] = 400–600$  МПа;
- неравномерной или ударной нагрузке  $[\sigma_{см}]$  будет ниже на 25–40 %.

Если расчетное напряжение  $\sigma_{см}$  будет значительно ниже допускаемого значения  $[\sigma_{см}]$ , то есть шпоночное соединение будет недогружено, можно взять шпонку на номер меньше и повторить расчет.

После выбора шпоночного соединения и расчета шпонки на смятие полученные значения необходимо свести в таблицу (табл. 3.21).

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [10, с. 265–264, 449].

Таблица 3.21 – Параметры шпоночного соединения

Напряжение смятия	Вал	
	быстроходный	тихоходный
Расчетные напряжения $\sigma_{см}$ , МПа		
Допускаемое значение $[\sigma_{см}]$ , МПа		

### 3.11.3 Проверочный расчет валов

Предварительно выбрав конструкцию тихоходного и быстроходного валов и установив их основные размеры (диаметры и длины участков, расстояние между серединами опорных участков), выполняют проверочный расчет валов на прочность.

Проверочный расчет валов проводится после установления окончательных размеров валов. Целью расчета является определение коэффициентов запаса прочности  $S$  для опасных сечений и сравнение их с допускаемым значением  $[S]$ .

При проведении проверочного расчета необходимо:

1) установить по эпюрам изгибающего момента несколько опасных сечений. В проектируемых валах одноступенчатых редукторов, как правило, намечают два опасных сечения на каждом валу – одно под колесом (шестерней), второе – под одной из опор качения;

2) определить нормальные  $\sigma_a$  и касательные напряжения  $\tau_a$  в опасных сечениях вала;

3) установить коэффициент концентрации нормальных  $K_\sigma$  и касательных напряжений  $K_\tau$  для расчетного сечения вала;

4) определить пределы выносливости в расчетном сечении вала  $(\sigma_{-1})_D$  и  $(\tau_{-1})_D$ ;

5) определить коэффициенты запаса прочности по нормальным  $S_\sigma$  и касательным напряжениям  $S_\tau$ ;

6) определить общий коэффициент запаса прочности в опасном сечении  $S$ . Полученное значение коэффициента сравнить с допускаемым значением, при этом должно выполняться условие  $S \geq [S]$ .

После выполнения проверочного расчета быстроходного и тихоходного валов полученные значения необходимо свести в таблицу (табл. 3.22).

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 164–171; 6, с. 112–121; 9, с. 114–121; 10, с. 267–272].



Таблица 3.22 – Результаты проверочного расчета быстроходного и тихоходного валов

Параметр	Вал быстроходный		Вал тихоходный	
	Участок 1	Участок 2	Участок 1	Участок 2
Нормальные напряжения $\sigma_a$ , МПа				
Касательные напряжения $\tau_a$ , МПа				
Пределы выносливости $(\sigma_{-1})_D$ , и $(\tau_{-1})_D$ , МПа				
Коэффициенты запаса прочности $S_\sigma$ и $S_\tau$				
Запас прочности $S$				

### 3.12 Рабочая документация на электромеханический привод

Рабочая документация разрабатывается на основании проектных и проверочных расчетов и включает в себя сборочный чертеж редуктора, спецификацию и рабочие чертежи двух деталей – тихоходный вал, зубчатое или червячное колесо. При этом назначают посадки для сопряженных деталей; определяют предельные отклонения размеров, формы и расположения поверхностей, а также задают шероховатость.

#### 3.12.1 Разработка сборочного чертежа редуктора

Сборочный чертеж редуктора выполняют в соответствии с ГОСТ 2.109-73 на листе формата А1 в масштабе 1:1. Чертеж должен содержать:

- одну или две проекции редуктора;
- размеры (справочные, габаритные, установочные, присоединительные, посадочные);
- предельные отклонения;
- номера позиций;
- технические требования и техническую характеристику;
- основную надпись.

Примеры сборочных чертежей редукторов приведены в приложении Д.

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 402–406; 9, с. 280–297].

### ***3.12.2 Спецификация сборочного чертежа***

Спецификация сборочного чертежа составляется в соответствии с ГОСТ 2.108-68. Выполняется на листе формата А4. Первый лист спецификации выполняют по форме 2, последующие – по форме 2а.

Спецификация сборочного чертежа состоит из следующих разделов:

- документация. В этот раздел вносят «Сборочный чертеж»;
- сборочные единицы. Раздел содержит сборочные изделия, например, червячное колесо;
- детали. В разделе указывают оригинальные изделия. Детали следуют по назначению;
- стандартные изделия. Данный раздел содержит стандартные изделия, включенные в состав редуктора.

Пример спецификации представлен в приложении Е.

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [3, с. 397–401; 9, с. 290–297].

### ***3.12.3 Рабочие чертежи деталей редуктора***

Рабочие чертежи деталей выполняются в соответствии с ГОСТ 2.109-73 и должны содержать все сведения, необходимые для их изготовления и контроля. Рабочие чертежи деталей выполняют на листе формата А3 в масштабе 1:1. Деталь на чертеже необходимо располагать в положении, соответствующем ее положению при изготовлении или на компоновке.

Рабочий чертеж должен содержать:

- изображение детали с нанесенными размерами;
- предельные отклонения размеров;
- допуски формы и расположения поверхностей;
- параметры шероховатости поверхностей;
- обозначение покрытий, термической и других видов обработки;
- технические требования;
- основную надпись.

На чертежах зубчатых и червячных колес проставляются габаритные размеры; размеры, входящие в размерные цепи; ширина венца; размеры фасок или радиусы кривизны линий притупления на кромках зубьев.

Чертеж зубчатого (червячного) колеса должен содержать таблицу параметров зубчатого венца (рис. 3.19), состоящую из трех частей:

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

Части отделяются друг от друга сплошными основными линиями.

$\sqrt{Ra 6.3 (\sqrt{I})}$		
Модуль	$m$	4
Число зубьев	$z_2$	50
Направление линии зуба	-	Правое
Коэффициент смещения	$x$	0
Степень точности по ГОСТ 3675-81	-	8-B
Межосевое расстояние	$a_w$	125
Делительный диаметр червячного колеса	$d_2$	200
Вид сопряженного колеса	-	ZN2
Число витков	$z_1$	1
	10	35
110		

Рисунок 3.19 – Таблица параметров зубчатого (червячного) колеса

Параметры в таблице будут меняться в зависимости от типа передачи. Так, для зубчатого цилиндрического колеса в таблицу заносят модуль; число зубьев; коэффициент смещения; степень точности; длину общей нормали; допуски на радиальное и торцевое биение; допуск параллельности; делительный диаметр; шаг зацепления.

На чертеже червячного колеса таблица состоит только из основных и справочных данных и включает модуль; число зубьев; направление линии зуба; коэффициент смещения; степень точности; межосевое расстояние; делительный диаметр; вид сопряженного червяка; число витков червяка; обозначение чертежа сопряженного червяка.

На чертеже зубчатого конического колеса таблица состоит из трех частей и включает в себя следующие данные: модуль; число зубьев; нормальный исходный контур; коэффициент смещения; угол делительного конуса; степень точности; размеры зуба в измерительном сечении; межосевой угол передачи; средний окружной модуль;

внешнее конусное расстояние; среднее конусное расстояние; средний делительный диаметр; внешняя высота зуба; внешний диаметр вершин зубьев; допуск на биение конуса вершин зубьев.

Выполняя чертеж тихоходного вала зубчатой или червячной передачи, следует придерживаться следующих требований:

- осевые линейные размеры располагают под изображением вала;

- условные обозначения базовых осей располагают под изображением вала;

- условные обозначение допусков формы и расположения поверхностей располагают над изображением вала;

- линии выноски с обозначением элементов располагают над изображением вала;

- условные обозначения шероховатости поверхности располагают на верхних поверхностях изображения вала.

Примеры рабочих чертежей деталей редуктора приведены в приложении Ж.

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [1, с. 105–128, 135–154, 198–205; 3, с. 354–370; 9, с. 298–331].

### ***3.12.4 Выбор посадок гладких соединений***

Выбор посадок производится следующими методами:

- метод аналогов. Посадки выбираются по аналогии с посадкой в надежно работающем узле;

- метод подобия. Посадки выбираются на основании рекомендации отраслевых технических документов;

- расчетный метод. Посадки рассчитываются по зависимостям.

При выборе посадок следует придерживаться следующих рекомендаций:

- 1) в первую очередь выбирать посадки для наиболее ответственных и точных сопряжений;

- 2) при назначении посадок необходимо использовать стандарты и нормативно-технические документы;

- 3) перед выбором посадки определяют характер соединения (подвижное или неподвижное) и конструктивные требования;

- 4) после выбора вида посадки назначают ее точность;

- 5) при неодинаковых допусках отверстия и вала квалитет отверстия должен быть грубее ( $H7/r6$ );

б) допуски отверстия и вала могут отличаться не более чем на 2 квалитета.

В курсовом проекте необходимо выбрать посадки для следующих сопряжений:

- элемент открытой передачи или полумуфта на концевой участок вала;
- внутреннее кольцо подшипника качения на вал;
- наружное кольцо подшипника качения в корпус;
- зубчатое (червячное) колесо на вал;
- мазеудерживающие кольца, втулки, дистанционные кольца на вал;
- шпоночное соединение.

В таблице 3.23 приведены рекомендуемые посадки для основных деталей.

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [1, с. 16–17, 23, 26–27; 2, с. 103–118; 9, с. 308–310, 317–323].

Таблица 3.23 – Рекомендуемые посадки основных деталей

Показатель	Область применения
$\frac{H7}{r6} \frac{H7}{s6}$	Зубчатые и червячные колеса на валы при тяжелых ударных нагрузках
$\frac{H7}{p6} \frac{H7}{r6}$	Зубчатые и червячные колеса на валы, венцы червячных колес
$\frac{H7}{n6} \frac{H7}{m6} \frac{H7}{k6}$	Зубчатые колеса при частом демонтаже, мазеудерживающие кольца, муфты
$\frac{H7}{js6} \frac{H7}{\square 6} \frac{H7}{\square 7}$	Стаканы, распорные втулки (дистанционные кольца)
$\frac{H7}{r6}$	Муфты при тяжелых режимах работы (ударная нагрузка)
$\frac{H7}{js6} \frac{H7}{\square 6}$	Шкивы и звездочки на валы
$\frac{H8}{\square 8} \frac{H8}{\square 7}$	Распорные кольца, манжетные уплотнения
Отклонение вала $k6$	Внутреннее кольцо подшипника качения на вал
Отклонение отверстия $H7$	Наружное кольцо подшипника качения в корпус

### 3.12.5 Назначение допусков формы и расположения поверхностей

Допуски формы и расположения поверхностей деталей указывают на чертежах с помощью условных обозначений или записывают в технические требования в соответствии с ГОСТ 2.308-79.

Выбор допусков зависит от конструктивных и технологических требований и связан с допуском размера. Отклонение формы не может превышать допуск размера. Допуски формы назначают в тех случаях, когда они должны быть меньше допуска размера.

Данные о предельных отклонениях формы и расположения поверхностей указывают в прямоугольной рамке. Структура обозначения приведена на рисунке 3.20. Примеры обозначения предельных отклонений приведены на рисунке 3.21.

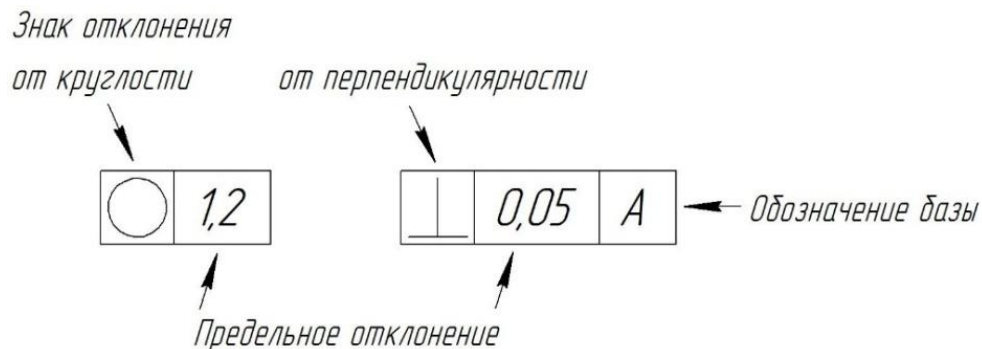


Рисунок 3.20 – Структура обозначения

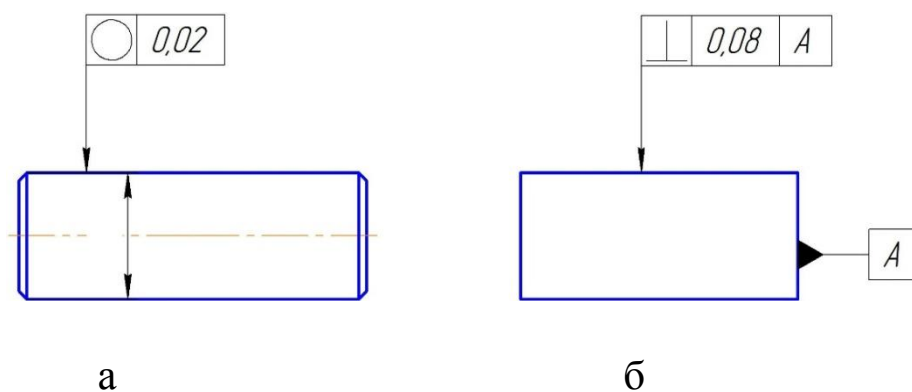


Рисунок 3.21 – Примеры обозначений формы и расположения поверхностей:  
а – отклонение от круглости; б – отклонение от перпендикулярности

Значение допусков формы и расположения поверхностей назначают в зависимости от степени точности.

При проектировании передач назначают следующие допуски формы и расположения поверхностей: радиального и осевого биения; круглости; продольного сечения; цилиндричности; параллельности; перпендикулярности; симметричности.

Допуск радиального биения:

- поверхности установки подшипников качения;
- поверхности установки ступиц колес, муфт и др.;
- поверхности установки уплотнений.

Допуск осевого биения уступов вала для установки:

- подшипников качения;
- колес зубчатых (червячных) передач, муфт и др.

Допуски круглости и профиля продольного сечения (допуск цилиндричности) для установки:

- подшипников качения.

Допуски параллельности и симметричности:

- элементы соединения вал-ступица (шпоночное соединение).

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [1, с. 65–82, 169–173; 2, с. 124–134; 9, с. 310–312, 324–325].

### ***3.12.6 Назначение шероховатости поверхностей***

Выбор параметров шероховатости поверхности выполняется в соответствии с ее функциональным назначением.

При выборе параметров шероховатости поверхности следует учитывать:

- 1) функциональное назначение поверхности;
- 2) нормирование шероховатости поверхности по параметру  $R_a$ . Параметр  $R_z$  нормируется в тех случаях, когда невозможно проконтролировать  $R_a$  напрямую;
- 3) числовые значения параметров выбирают из таблиц. Рекомендуется применять в первую очередь предпочтительные значения.

Параметры шероховатости поверхности назначают следующими методами:

- по рекомендациям для наиболее характерных видов сопряжений;
- устанавливаются стандартами (поверхности под подшипники качения);
- в зависимости от допуска размера, формы или расположения.

Шероховатость поверхности обозначают на чертеже для всех поверхностей изделия независимо от методов их образования.

Обозначение шероховатости поверхности и правила нанесения на чертежах установлено ГОСТ 2.309-73\*. Структура обозначения показана на рисунке 3.22.

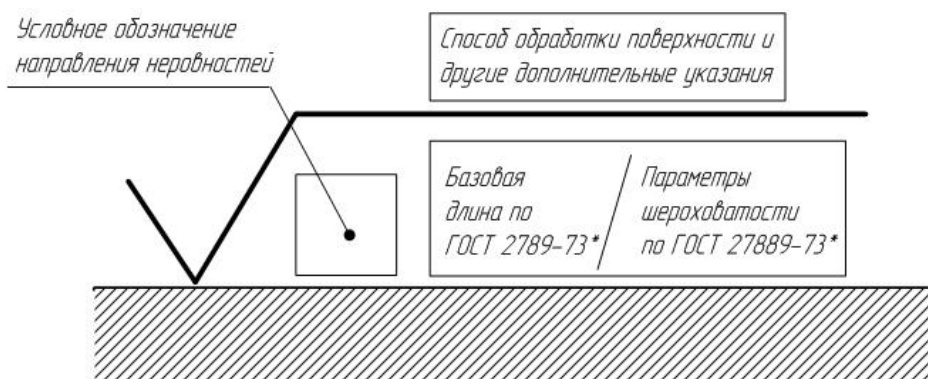
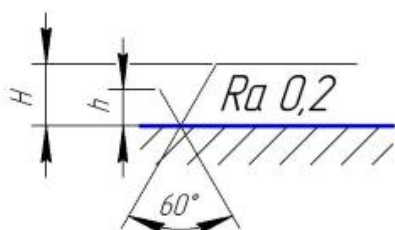


Рисунок 3.22 – Структура обозначения шероховатости поверхности

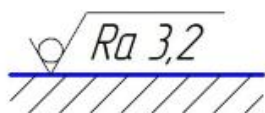
Для обозначения шероховатости поверхности применяют знаки, приведенные на рисунке 3.23. Числовые значения параметров шероховатости указываются после соответствующего символа, например:  $Ra1.6$ ,  $Rz6.3$ ,  $Rmax10$ .



Знак наиболее предпочтительный.  
Параметр  $Ra$  не должен превышать 0,2 мкм



Знак, показывающий, что поверхность образована путем удаления слоя металла.  
Параметр  $Rz$  должен находиться в пределах от 0,80 до 0,32 мкм



Знак, показывающий, что поверхность образована без снятия слоя металла.  
Параметр  $Ra$  не должен превышать 3,2 мкм



Знак, показывающий, что поверхность не обрабатывается по данному чертежу.

Рисунок 3.23 – Графическое изображение шероховатости



В случае одинаковой шероховатости для всех поверхностей детали соответствующее обозначение помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображении не указывают (рис. 3.24).

На рисунке 3.25 приведены примеры проставления шероховатости поверхности на элементах колес зубчатых и червячных передач.

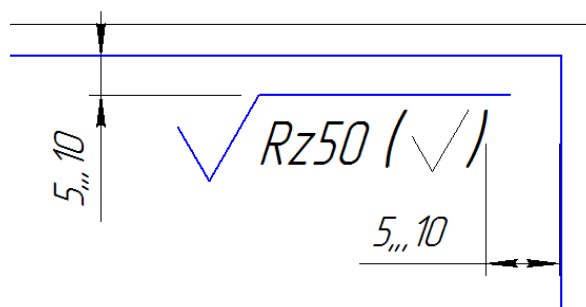


Рисунок 3.24 – Обозначение неуказанной шероховатости поверхности

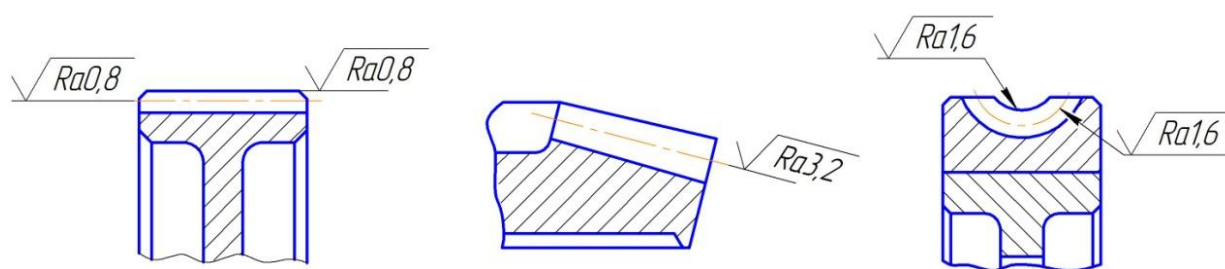


Рисунок 3.25 – Обозначение шероховатости на зубчатых и червячных колесах

При выполнении курсового проекта необходимо назначить шероховатости для следующих поверхностей:

- 1) поверхности установки подшипников качения;
- 2) поверхности установки зубчатых и червячных колес;
- 3) поверхности установки деталей открытых передач (шкив, звездочка) или муфт;
- 4) торцевые поверхности уступов вала для установки подшипников качения, ступиц колес, муфт и т.д.;
- 5) поверхности вала, контактирующие с манжетными уплотнениями;
- б) другие необозначенные поверхности (рис. 3.25).

Рекомендуемая литература для выполнения раздела: [1, с. 84–89, 173; 2, с. 119–124; 9, с. 312–314, 324–325].

## 4 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЗАЩИТЫ

К защите курсового проекта допускаются студенты с предварительно проверенными пояснительной запиской и чертежами, внесшие исправления и дополнения в них.

Защита проводится в форме доклада или собеседования, предусматривает ответы на контрольные вопросы, решение практических задач или тестовых заданий и призвана выявить уровень знаний студента по тематике курсового проекта.

Студент, получивший за курсовой проект неудовлетворительную оценку, продолжает дополнительно работать над проектом или же выполняет новое задание по решению преподавателя.

Студенты, не выполнившие проект или выполнившие его в неполном объеме, к защите проекта не допускаются. Защита курсового проекта без пояснительной записки или графической части не допускается. Пояснительная записка и материал графической части, оформленные небрежно или не в соответствии с предъявляемыми требованиями, не могут быть приняты для защиты курсового проекта.

### 4.1 Доклад и презентация

При подготовке доклада необходимо учитывать, что для выступления с защитой курсового проекта устанавливается ограниченное время. Как правило, доклад должен составлять 5–7 мин. Для доклада необходимо подготовить слайды в программе Microsoft Power Point или с помощью любого другого аналогичного программного обеспечения. Содержание слайдов должно отражать итоги основных этапов работы над курсовым проектированием. Материал, размещаемый на слайдах, должен отражать основные результаты, достигнутые студентом в ходе выполнения курсового проекта, и быть согласованным с докладом.

Примерный перечень слайдов: титульный лист; техническое задание; достоинства и недостатки передач, входящих в состав привода; чертежи и модели деталей; сборочный чертеж редуктора; заключение и выводы по проекту.

При оценивании учитывается оформление расчетно-пояснительной записки и чертежей, уровень доклада и презентации, правильность ответов на задаваемые вопросы.

## 4.2 Вопросы к защите курсового проекта

Во время защиты студент должен показать знание методов расчета и проектирования электромеханического привода и его элементов, давать четкие ответы на задаваемые вопросы. Знать назначение и работу всех деталей и узлов привода. Уметь объяснить целесообразность принятых конструктивных решений.

На защите проекта нужно осветить такие вопросы, как достоинства и недостатки проектируемого привода, определение кинематических параметров, выбор передаточных чисел, характер разрушения зубчатых и червячных передач, особенности выбора и расчета подшипников качения, обоснование выбора материалов деталей (зубчатые или червячные колеса, валы), обоснование выбора шероховатости поверхностей, допусков и посадок и др.

Примерный перечень вопросов к защите курсового проекта:

1. Каково назначение редуктора? По каким признакам можно классифицировать передачи?
2. Как выбирается электродвигатель для привода?
3. Каким образом определяется передаточное число и на какие кинематические характеристики оно оказывает влияние?
4. Как определить общий КПД привода?
5. В каких элементах привода происходят потери мощности?
6. Как связаны частоты вращения быстроходного и тихоходного валов?
7. По каким критериям работоспособности рассчитываются детали машин?
8. Каким образом выбирается материал зубчатых или червячных колес?
9. Перечислите основные геометрические параметры зубчатой (червячной) передачи.
10. Какие геометрические параметры передачи стандартизованы?
11. Как изменяются контактные напряжения в передаче при увеличении межосевого расстояния?
12. Чем отличается расчет допускаемых контактных напряжений для прямозубых и косозубых передач?
13. Что такое проектный расчет передачи? Что при этом определяется?

14. Назовите основные характеристики закрытой передачи. Перечислите ее достоинства и недостатки.?
15. Какие силы действуют в зацеплении?
16. Каковы характерные виды разрушения зубчатой (червячной) передачи?
17. В чем заключается проектный и проверочный расчеты передачи гибкой связью?
18. На какие виды подразделяется передача гибкой связью, используемой в вашем приводе?
19. В чем заключается отличие проектного расчета вала от проверочного?
20. Какие внешние нагрузки действуют на вал и учитываются при прочностных расчетах?
21. Назовите критерии работоспособности валов и осей.
22. Каким образом устанавливалось опасное сечение вала?
23. Что является конечным результатом уточненного расчета валов?
24. Как учитываются конструктивные элементы вала при уточненном расчете?
25. Что следует предпринять, если не обеспечивается выполнение условия прочности при уточненном расчете вала?
26. В какой последовательности выполняется уточненный расчет?
27. На каком этапе проектного расчета определяется положение опор на расчетной схеме вала?
28. В каком случае вал и шестерня изготавливаются как одна деталь?
29. Как подбираются подшипники качения? Назовите их основные характеристики.
30. Каким образом обозначаются подшипники качения?
31. Классификация подшипников качения.
32. Что является критерием работоспособности подшипников качения?
33. Какая минимальная долговечность допускается для подшипников качения, устанавливаемых в зубчатых редукторах?
34. Как рассчитывается долговечность подшипников? В каких единицах она выражается?
35. Назовите способы передачи крутящего момента.
36. Как подбирается шпоночное соединение?

37. В чем заключается проверочный расчет шпоночного соединения?
38. Что является критерием работоспособности призматических шпоночных соединений?
39. В каких случаях требуется выполнять расчет шпоночных соединений по напряжениям среза?
40. С какой целью при изготовлении шпоночных соединений обеспечивается зазор между шпонкой и торцевой поверхностью шпоночного паза ступицы?
41. Что такое напряженное соединение?
42. Могут ли ненапряженные шпоночные соединения обеспечивать осевую фиксацию колес?
43. Как назначаются посадки гладких соединений в передаче?
44. Какие способы смазывания и виды смазочных материалов выбраны при выполнении курсового проекта?
45. Как производится подбор смазки для зубчатых передач?
46. Что такое ненапряженное соединение?
47. Как осуществляется смазывание подшипников качения?
48. Из каких деталей состоит система смазки в редукторе?
49. Как определяются уровни смазки при проектировании и в процессе эксплуатации редуктора?
50. Какие виды уплотнений применяются в редукторах?
51. Как проектировались корпусные детали, такие как корпус, крышка корпуса, подшипниковые крышки, стаканы и др.?
52. С какой целью выполняется отверстие в ручке смотровой крышки?
53. Как по чертежу редуктора можно определить его передаточное число?
54. Как определить, какой из выходных валов является быстроходным, а какой тихоходным, не проворачивая валы?
55. С какой целью в конструкции редуктора используются штифты?
56. Какие размеры проставляются на сборочном чертеже?

### 4.3 Тестовые задания

Защита курсового проекта может проводиться в виде тестирования в случае дистанционной формы обучения. Тестовые задания размещаются на платформе LMS Moodle Красноярского ГАУ в курсах «Техническая механика» для направления 15.03.02 и «Детали машин и основы конструирования» для направления 35.03.06.

### **4.3.1 Общие вопросы расчета и проектирования деталей и узлов**

1. Типы передаточных механизмов:

- а) зубчатый;
- б) цепной;
- в) червячный;
- г) клеммовый;
- д) шпоночный.

2. Последовательность стадий проектирования и конструирования машины:

- а) техническое задание;
- б) техническое предложение;
- в) эскизный проект;
- г) технический проект.

3. Стадии конструирования машины:

- а) выполнение уточненных расчетов;
- б) разработка рабочей документации;
- в) разработка принципиальной схемы машины;
- г) детальная проработка всех элементов машины;
- д) выполнение проектных приближенных расчетов.

4. Последовательность стадий создания машины по новой технологии проектирования с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР):

- а) мысленный образ оригинала;
- б) разработка трехмерных твердотельных моделей деталей и сборок;
- в) создание чертежей;
- г) производство.

5. Требования, предъявляемые к проектируемой машине:

- а) надежность;
- б) экономическая эффективность;
- в) энергоемкость;
- г) удобство управления;
- д) повышенная материалоемкость.

### 4.3.2 Основы проектирования механизмов, стадии разработки

6. Выбранный вариант проектируемой машины, обеспечивающий нужные экономические эксплуатационные показатели при минимальных затратах на ее создание, называется \_\_\_\_\_ вариантом.

7. Критерии работоспособности деталей машин – это:

- а) прочность;
- б) жесткость;
- в) износостойкость;
- г) пластичность;
- д) взаимозаменяемость.

8. Соответствие условий прочности и методов их расчета:

- 1)  $\sigma \leq [\sigma]$ ;
- 2)  $S \geq [S] = 1,5 - 2,5$ ;
- 3)  $P \leq 0,010 - 0,001$ .

- а) по допускаемым напряжениям;
- б) коэффициентам запаса прочности;
- в) вероятности разрушения;
- г) статическим напряжениям;
- д) напряжениям кручения.

9. Методы расчета деталей машин на прочность – это методы:

- а) по допускаемым напряжениям;
- б) коэффициентам запаса прочности;
- в) вероятности разрушения;
- г) допускаемым деформациям;
- д) устойчивости.

10. Способы повышения прочности детали:

- а) повышение поверхностной твердости;
- б) уменьшение шероховатости поверхности;
- в) увеличение шероховатости поверхности;
- г) введение облегчающих отверстий.

11. Соответствие критериев работоспособности и их определений:

- 1) прочность;

- 2) жесткость;
- 3) износостойкость.

а) способность детали сопротивляться разрушению под действием приложенных к ней нагрузок;

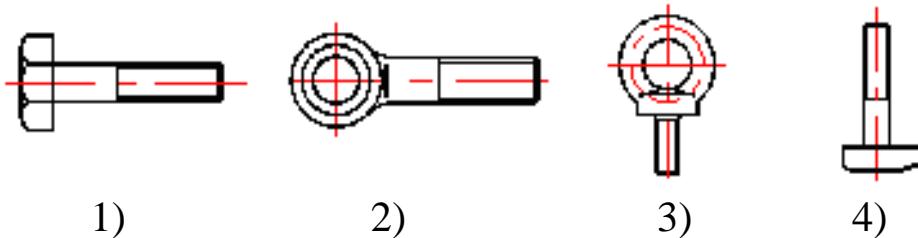
б) способность детали сопротивляться изменению формы и размеров под нагрузкой;

в) способность детали сопротивляться уменьшению размеров и массы с увеличением срока эксплуатации;

г) способность детали сохранять устойчивость под действием нагрузок.

### 4.3.3 Соединения

12. Соответствие рисунков болтов и их наименований:



- а) крепежный;
- б) откидной;
- в) грузовой;
- г) г-образный (костыльный);
- д) концевой.

13. Соответствие наименований резьб и их обозначений:

- 1) с крупным шагом наружная;
- 2) с мелким шагом внутренняя;
- 3) левая наружная.

- а)  $M2 - 6g$ ;
- б)  $M2 \times 1 - 6H$ ;
- в)  $M2 \times 1H - 6g$ ;
- г)  $M2 \times 1H - 6H$ .

14. Напряжение, по которому ведется расчет на прочность болтов, установленных в отверстия без зазора, – это напряжение:

- а) среза;



- б) изгиба;
- в) смятия;
- г) сдвига;
- д) жесткости.

15. Соединение с гарантированным натягом обеспечивает передачу:

- а) осевого усилия и крутящего момента;
- б) только осевого усилия;
- в) только крутящего момента.

16. Факторы, определяющие величину натяга в соединении с натягом, – это:

- а) передаваемая нагрузка;
- б) прочность втулки;
- в) прочность вала;
- г) наличие пластических деформаций в соединении.

17. Назначение шпоночных соединений – это:

- а) передача вращающего момента между валом и ступицей;
- б) передача осевого усилия между валом и ступицей;
- в) передача усилия между двумя плоскими поверхностями;
- г) осевая фиксация ступицы на валу.

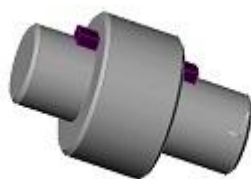
18. Типы шлицевых соединений:

- а) прямобочные;
- б) эвольвентные;
- в) треугольные;
- г) прямоугольные;
- д) конические.

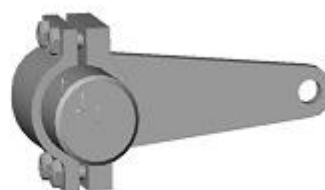
19. Соответствие рисунков и названий соединений:



1)



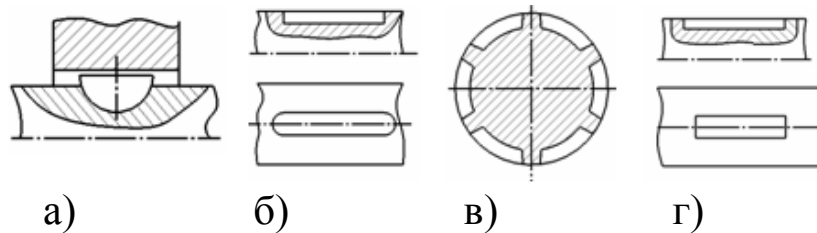
2)



3)

- а) шлицевое;
- б) шпоночное;
- в) клеммовое;
- г) болтовое;
- д) с натягом .

20. Изображения соединения призматической шпонкой – это:



21. Параметр, по которому производится выбор ширины и высоты шпонки, – это:

- а) диаметр вала;
- б) длина вала;
- в) длина ступицы;
- г) длина шпонки.

22. Основной критерий работоспособности шпоночного соединения – это:

- а) прочность по смятию шпонки;
- б) прочность по срезу шпонки;
- в) жесткость вала;
- г) прочность шпоночного паза.

#### **4.3.4 Передачи**

23. Параметры, которые, как правило, изменяются при передаче механической энергии, – это направление, скорость и \_\_\_\_\_.

24. Элемент привода, используемый для понижения угловой скорости выходного звена:

- а) редуктор;
- б) кривошип;
- в) мультипликатор;
- г) муфта.

25. Устройства, передающие механическую энергию от двигателя к исполнительному органу, – это передачи:

- а) зубчатые;
- б) червячные;
- в) фрикционные;
- г) пневматические;
- д) гидравлические.

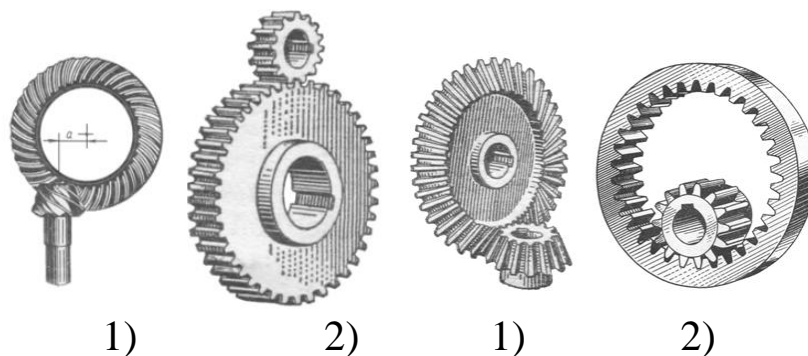
26. Передача, имеющая наименьший КПД:

- а) червячная;
- б) зубчатая цилиндрическая;
- в) клиноременная;
- г) цепная;
- д) фрикционная.

27. Передачи, требующие регулировки бокового зазора в зацеплении:

- а) зубчатые конические;
- б) червячные;
- в) зубчатые цилиндрические;
- г) волновые.

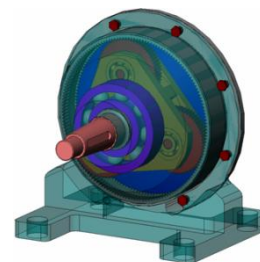
28. Соответствие общих видов передач и их наименований:



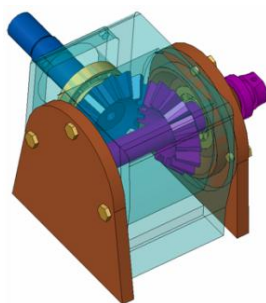
- а) гипоидная;
- б) цилиндрическая прямозубая;
- в) реечная;
- г) спироидная;
- д) коническая;
- е) цилиндрическая с внутренним зацеплением.

29. Тип редуктора по его общему виду:

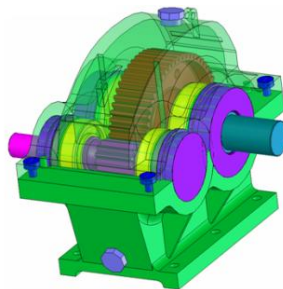
- а) планетарный;
- б) цилиндрический трехступенчатый;
- в) коническо-цилиндрический;
- г) шевронный трехступенчатый.



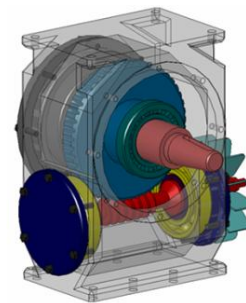
30. Соответствие редукторов и их наименований:



1)



2)



3)

- а) конический;
- б) цилиндрический;
- в) червячный;
- г) планетарный;
- д) волновой.

31. Напряжение, вызывающее усталостное разрушение поверхностей зубьев зубчатых колес закрытых передач, – это напряжение:

- а) контакта;
- б) сжатия;
- в) изгиба;
- г) растяжения.

32. Условия прочности по контактным напряжениям в передачах зацеплением:

- а)  $\sigma < [\sigma]$ ;
- б)  $\sigma = [\sigma]$ ;
- в)  $\sigma > [\sigma]$ ;
- г)  $\sigma \neq [\sigma]$ .

33. Наиболее распространенный способ смазки передач стационарных машин:

- а) картерная;
- б) масленками;
- в) струей масла;
- г) консистентная;
- д) циркуляционная.

34. Напряжение, вызывающее поломку зубьев в зубчатых передачах, – это напряжение:

- а) изгиба;
- б) сжатия;
- в) контактное;
- г) растяжения;
- д) касательное.

35. Формула определения момента, передаваемого ведущим валом редуктора  $T_1$  ( $P_1$  – мощность на ведущем валу;  $\omega_1$  – угловая скорость ведомого вала):

- а)  $T_1 = \frac{P_1}{\omega_1}$ ;
- б)  $T_1 = P_1 \cdot \omega_1$ ;
- в)  $T_1 = \frac{\omega_1}{P_1}$ ;
- г)  $T_1 = \frac{1}{P_1 \cdot \omega_1}$ .

36. Основной параметр зубчатого зацепления:

- а) модуль;
- б) угол зацепления;
- в) диаметр колеса;
- г) величина смещения.

37. Формулы, по которым определяется передаточное отношение  $U$  цилиндрической зубчатой передачи ( $d_1, d_2$  – диаметры колес;  $\omega_1, \omega_2$  – угловые скорости):

- а)  $U = \frac{d_2}{d_1}$ ;

б)  $U = \frac{\omega_1}{\omega_2}$ ;

в)  $U = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ ;

г)  $U = \frac{d_1}{d_2}$ .

38. Передача, обеспечивающая возможность самоторможения:

- а) червячная;
- б) зубчатая;
- в) коническая;
- г) ременная;
- д) цепная.

39. Расстояние между центрами колес цилиндрической передачи называется \_\_\_\_\_ расстояние.

40. Основная причина выхода из строя зубьев закрытых зубчатых передач:

- а) усталостное выкрашивание;
- б) усталостная поломка;
- в) абразивный износ;
- г) молекулярно-механический износ.

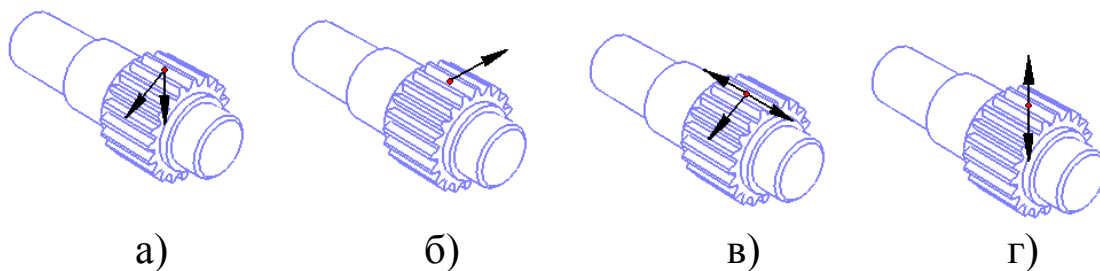
41. Материалы, используемые для изготовления цилиндрических колес зубчатых передач:

- а) углеродистая сталь;
- б) серый чугун;
- в) латунь;
- г) бронза.

42. Факторы, влияющие на усталостное выкрашивание поверхностей зубьев, – это:

- а) твердость;
- б) контактное напряжение;
- в) число циклов перемены напряжений;
- г) напряжение изгиба;
- д) боковой зазор.

43. Схема сил, действующих в зацеплении прямозубой цилиндрической передачи:



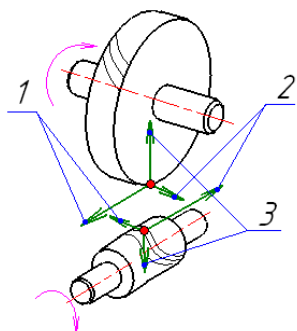
44. Число заходов червяка при больших передаваемых мощностях рекомендуется принимать, равным:

- а)  $z_1 = 4$ ;
- б)  $z_1 = 1$ ;
- в)  $z_1 = 2$ ;
- г)  $z_1 = 3$ .

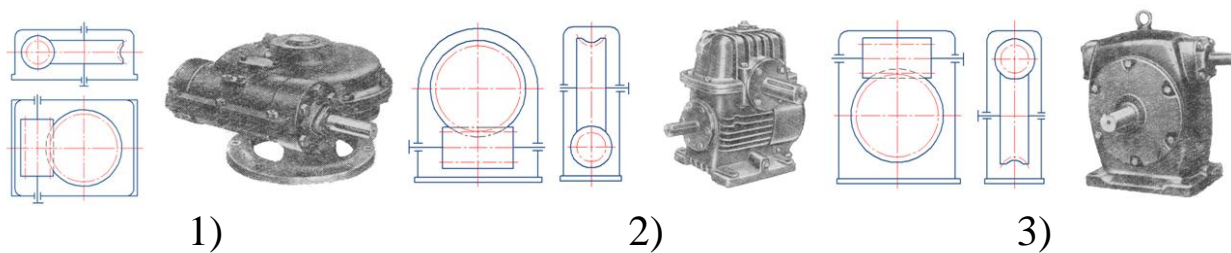
45. Диапазон рекомендуемых передаточных отношений в червячных передачах:

- а)  $U = 16 \div 40$ ;
- б)  $U = 1 \div 3$ ;
- в)  $U = 5 \div 10$ ;
- г)  $U = 100 \div 300$ .

46. Цифра, которой обозначены радиальные усилия колес червячной передачи \_\_\_\_\_.



47. Соответствие схем расположения червяка в червячных закрытых передачах и их наименований:

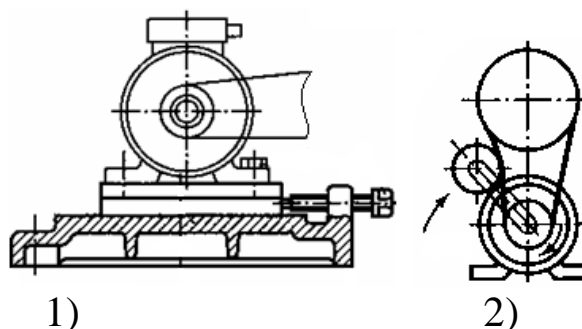


- а) боковое;
- б) нижнее;
- в) верхнее;
- г) параллельное.

48. Габаритные размеры передачи зубчатым ремнем в сравнении с клиноременной передачей:

- а) меньше;
- б) равные;
- в) больше.

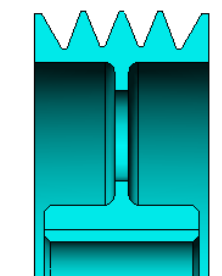
49. Соответствие схем натяжных устройств ремней и их наименований:



- а) линейным перемещением электродвигателя;
- б) натяжным роликом;
- в) поворотом плиты с установленным электродвигателем;
- г) оттяжным роликом.

50. Тип ремня, взаимодействующего с ободом шкива ременной передачи:

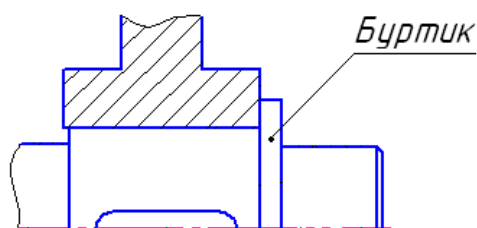
- а) поликлиновый;
- б) клиновый;
- в) плоский;
- г) круглый;
- д) зубчатый.





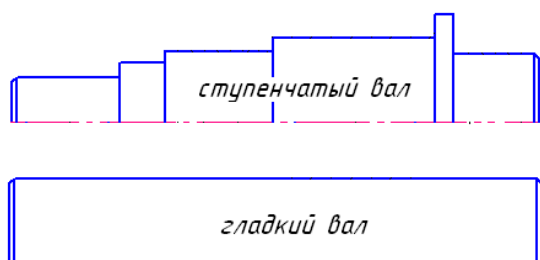
### 4.3.5 Валы, оси и подшипники качения

51. Буртик на валу предназначен:



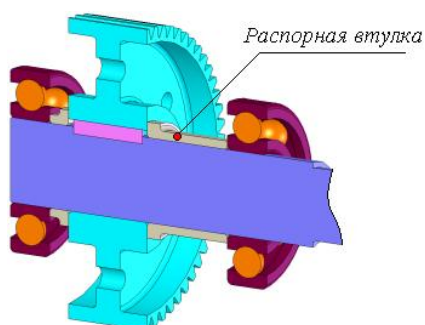
- а) для фиксации деталей, установленных на валу, в осевом направлении;
- б) фиксации деталей, установленных на валу, в радиальном направлении;
- в) передачи крутящего момента с колеса на вал;
- г) демпфирования колебаний вала.

52. Функции ступеней на валах – это:



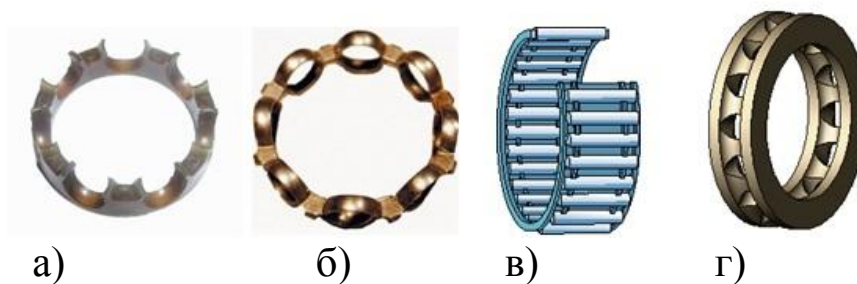
- а) фиксация деталей в осевом направлении;
- б) приближение к равнопрочности вала по изгибу в осевом направлении;
- в) обеспечение удобства осевой сборки;
- г) увеличение крутильной жесткости вала.

53. Функция распорной втулки:

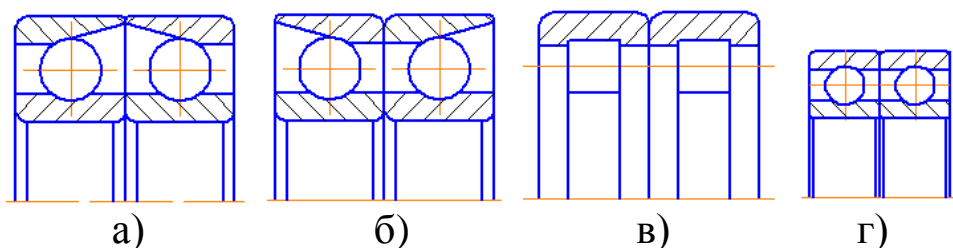


- а) установка определенного осевого расстояния между подшипником и колесом;
- б) демпфирование при осевых нагрузках;
- в) поглощение колебаний вала;
- г) увеличение жесткости вала.

54. Тип сепаратора, шариковых подшипников, используемый при больших скоростях вращения валов:



55. Шариковые радиально-упорные сдвоенные подшипники – это:



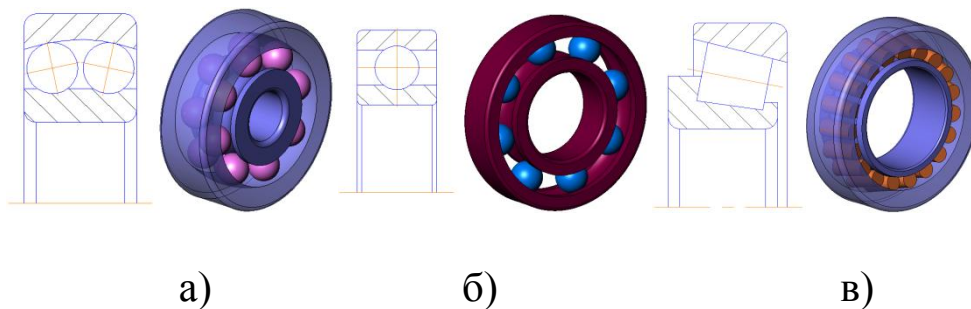
56. Основной вид отказа подшипника качения, вращающегося со скоростью более 10 об/мин и работающего в защищенной от абразива среде, – это:

- а) усталостное выкрашивание дорожек и тел качения;
- б) пластическая деформация дорожек и тел качения;
- в) износ дорожек и тел качения;
- г) раскалывание колец и тел качения;
- д) разрушение сепаратора.

57. Цель расчета подшипника качения по статической грузоподъемности заключается в определении:

- а) предельной допустимой нагрузки;
- б) срока службы подшипника;
- в) допустимой частоты вращения одного из колец;
- г) рабочей температуры подшипника.

58. Тип подшипника качения, имеющего наибольшую динамическую грузоподъемность при одинаковых параметрах:



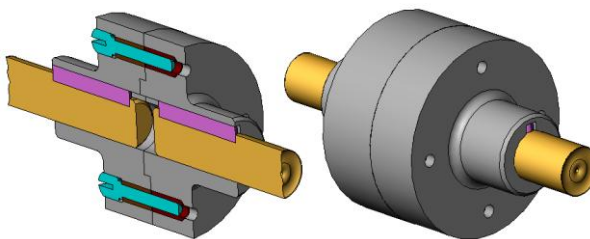
### 4.3.6 Муфты

59. Муфты передают вращающий момент:

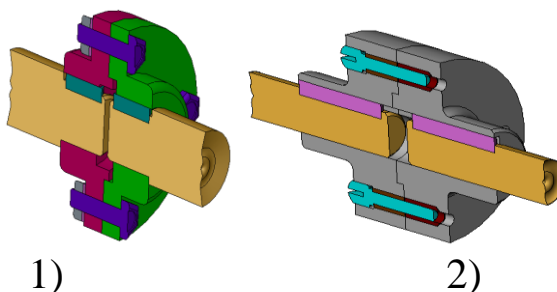
- а) не меняя его направление и величину;
- б) не меняя его направление, но изменяя величину;
- в) не меняя его величину, но изменяя направление;
- г) меняя его направление и величину.

60. Тип муфты по ее общему виду:

- а) предохранительная;
- б) сцепная;
- в) глухая;
- г) компенсирующая.



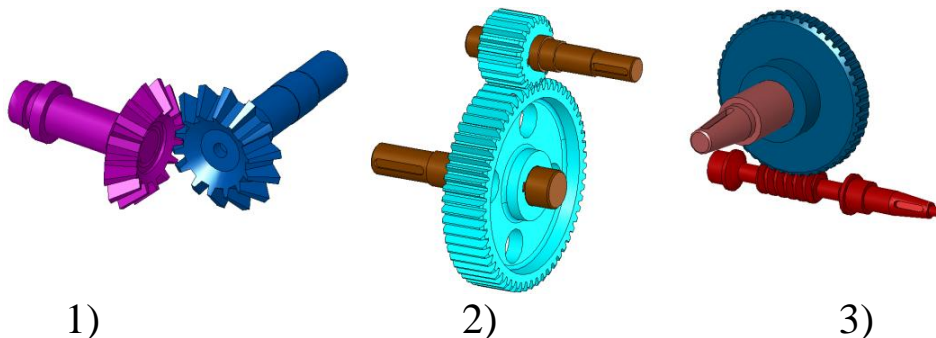
61. Соответствие видов муфт и их наименований:



- а) фланцевая;
- б) предохранительная;
- в) кулачково-дисковая;
- г) втулочная.

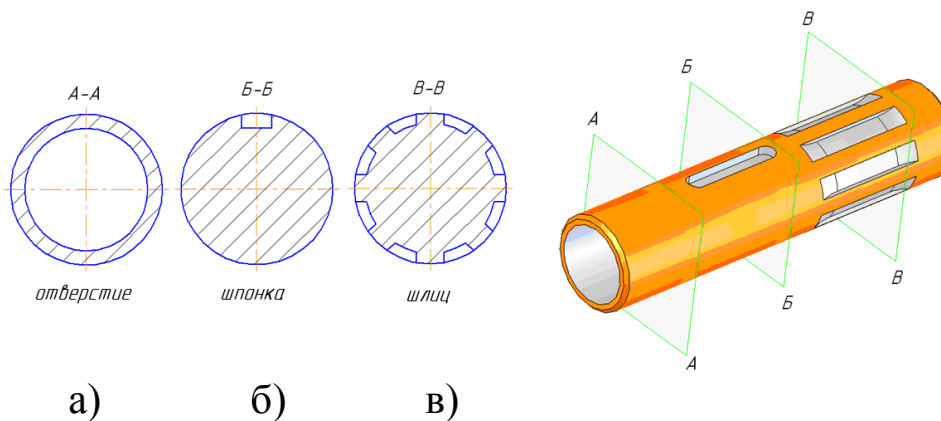
### 4.3.7 Вопросы конструирования

62. Соответствие расположений валов в пространстве и их наименований:

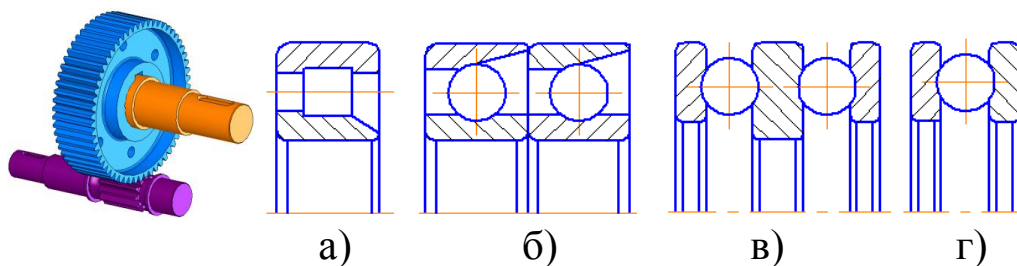


- а) пересекающиеся;
- б) параллельное;
- в) перекрещивающиеся;
- г) соосное;
- д) раздвоенное.

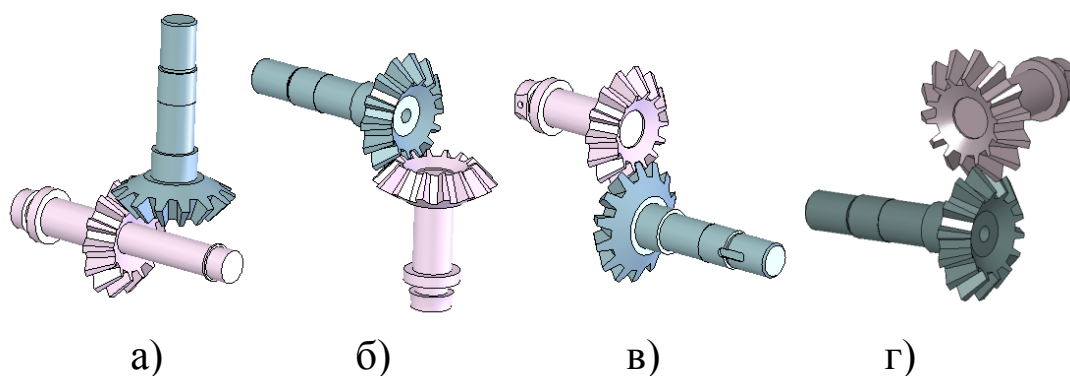
63. Наиболее прочным сечением вала при равномерном распределении крутящих и изгибающих моментов на всем участке является сечение:



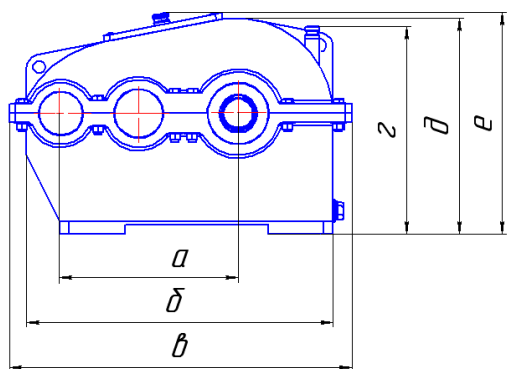
64. Тип подшипников качения, наиболее подходящих для установки в опорах данных валов:



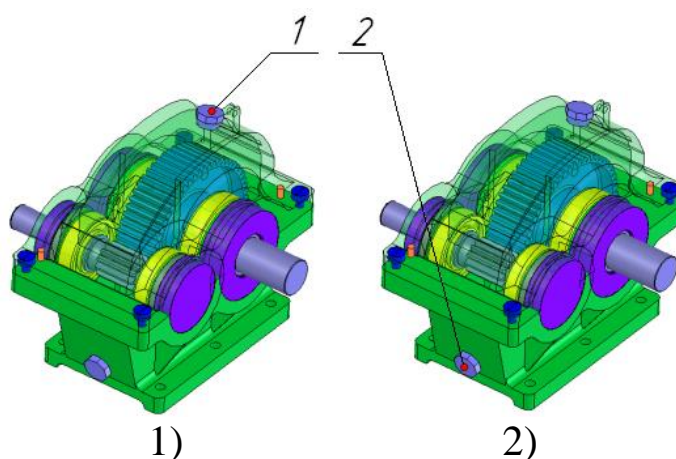
65. Возможные расположения колес в конической передаче:



66. Габаритные размеры редуктора – это \_\_\_\_\_.

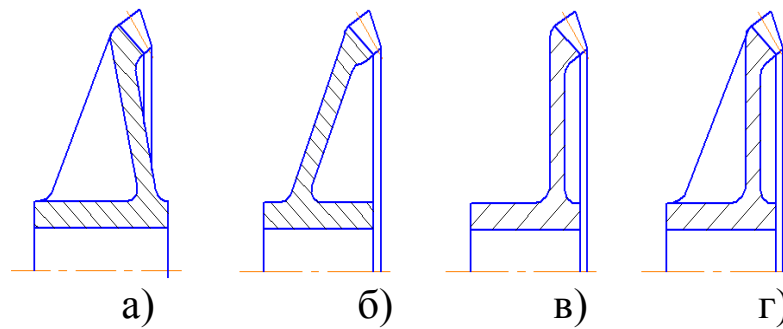


67. Соответствие элементов редуктора и их наименований:

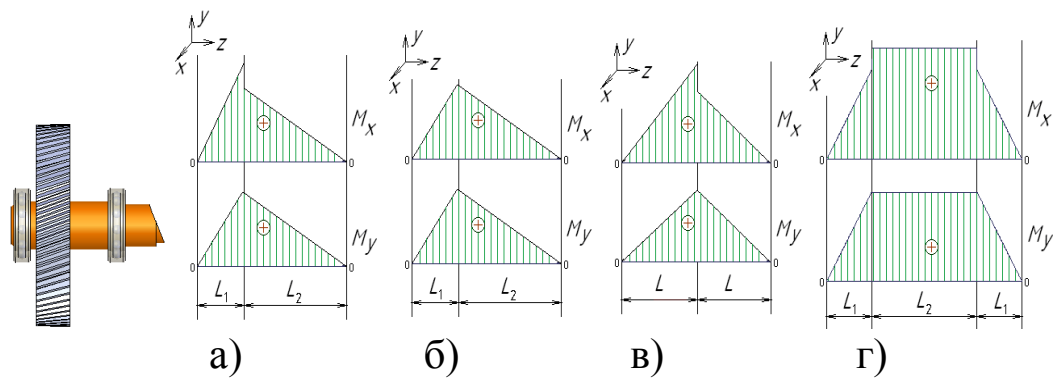


- а) отдушина;
- б) маслосливная пробка;
- в) крышка корпуса;
- г) крышка подшипника;
- д) проушина.

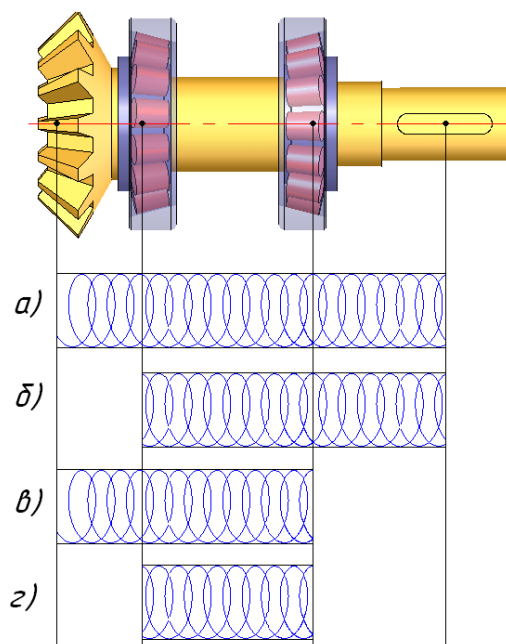
68. Конструкция зубчатого колеса конической передачи, обладающая наибольшей радиальной жесткостью:



69. Схема эпюр изгибающих моментов вала в двух плоскостях при косозубом цилиндрическом зацеплении (внешняя нагрузка не учитывается):

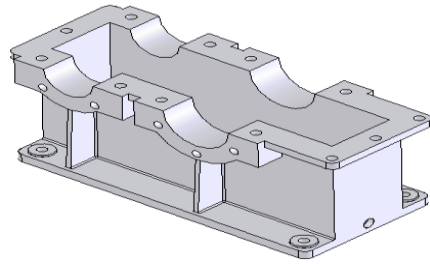


70. Участок действия крутящего момента на нагруженном валу:



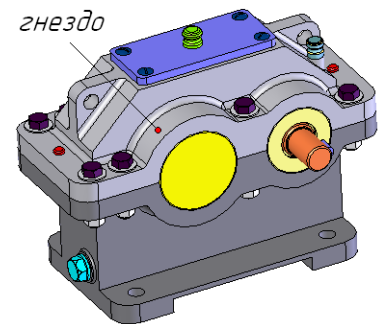
71. Вид крышки подшипника, применяемой в данной конструкции:

- а) привертная;
- б) закладная;
- в) вставная;
- г) врезная;
- д) самофиксирующаяся.

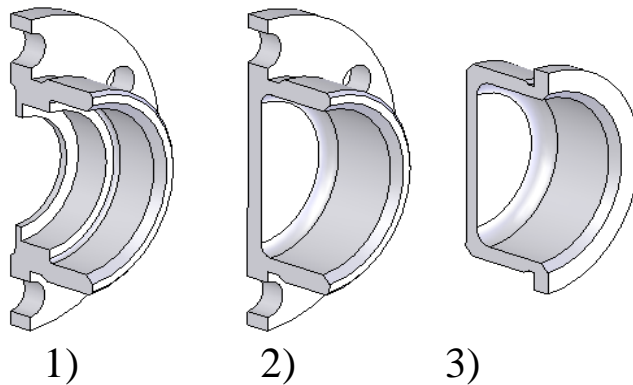


72. Назначение гнезда в редукторе:

- а) установка подшипников;
- б) снижение давления внутри корпуса;
- в) подъем и транспортировка редуктора;
- г) крепление корпуса редуктора к основанию;
- д) залив масла и внешний осмотр деталей;
- е) передача крутящего момента.



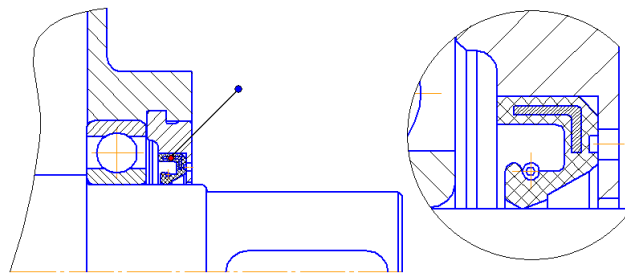
73. Соответствие общих видов крышек подшипника и их наименований:



- а) привертная с отверстием для выходного конца вала;
- б) привертная глухая;
- в) закладная глухая;
- г) закладная с отверстием для выходного конца вала;
- д) глухая привертная под уплотнение.



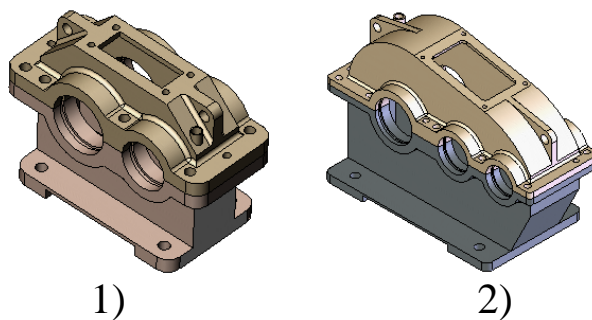
74. Назначение выделенного элемента редуктора:



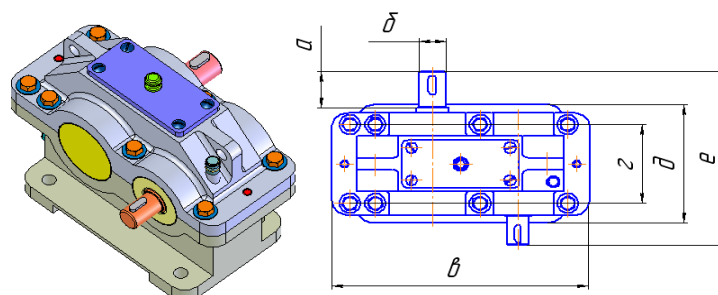
- а) предотвращение вытекания смазочного материала из подшипниковых узлов;
- б) точное фиксирование крышки подшипника;
- в) регулирование осевой игры подшипников;
- г) фиксация вала в корпусе редуктора;
- д) повышение жесткости крышки подшипника.

75. Соответствие общих видов корпусов и наименований редукторов, к которым они относятся:

- а) цилиндрический одноступенчатый;
- б) цилиндрический двухступенчатый;
- в) конический;
- г) червячный двухступенчатый;
- д) планетарный.

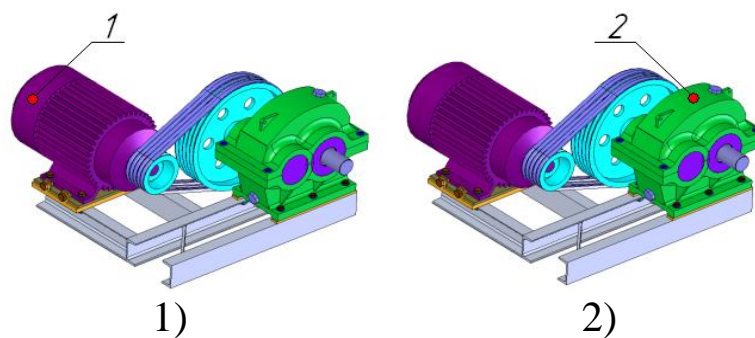


76. Присоединительные размеры редуктора – это \_\_\_\_\_.



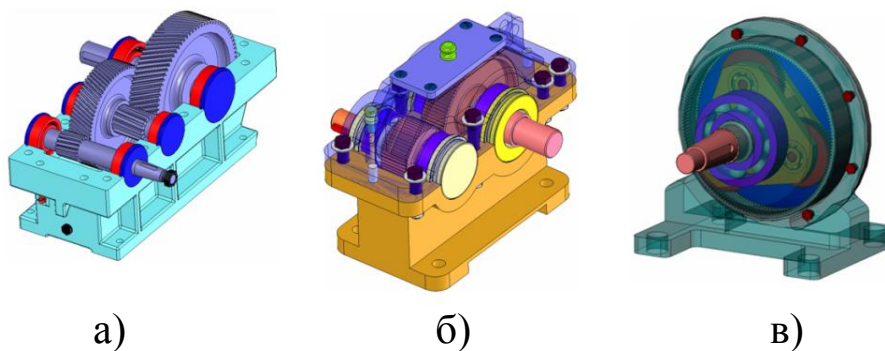


77. Соответствие элементов привода и их наименований:



- а) электродвигатель;
- б) редуктор;
- в) натяжное устройство;
- г) муфта;
- д) шкив.

78. Передаточное отношение  $u=2$  наиболее рационально реализуется в редукторе:



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Курсовой проект по дисциплине «Техническая механика» является первой комплексной конструкторской работой студента, при выполнении которой приходится решать общие задачи конструирования электромеханического привода. Полученные знания и навыки становятся базой для конструкторской подготовки студента при освоении специальных дисциплин и выполнении выпускной работы.

Выполнение курсового проекта обеспечивает формирование следующих структурных элементов компетенций.

*Знать:* методики инженерных расчетов по критериям работоспособности деталей и узлов общего назначения; типовые конструкции деталей и узлов машин, их свойства и области применения; правила оформления проектной и рабочей документации в соответствии с ЕСКД.

*Уметь:* проводить анализ проектных решений и их предварительное технико-экономическое обоснование; подбирать справочную литературу, стандарты, а также прототипы конструкций при проектировании; учитывать при конструировании требования прочности, надежности, технологичности, экономичности, стандартизации и унификации, охраны труда, промышленной эстетики; выбирать наиболее подходящие материалы для деталей машин и рационально их использовать.

*Владеть:* способностью разрабатывать с использованием информационных технологий конструкторско-техническую документацию; творческими способностями, знаниями для конструирования и проектирования.

Учебное пособие написано в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по дисциплине «Техническая механика». Может быть использовано при выполнении курсового проекта студентами, обучающимися по направлению подготовки 35.03.06 по дисциплинам «Детали машин и основы конструирования» и «Прикладная механика».

Издание рекомендуется использовать совместно с ЭУМКД «Техническая механика» и «Детали машин и основы конструирования», размещенными на платформе LMS Moodle Красноярского государственного аграрного университета.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Анухин, В.И.* Допуски и посадки: учеб. пособие / *В.И. Анухин.* – Санкт-Петербург: Питер, 2012. – 206 с.
2. *Димов, Ю.В.* Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для студентов вузов/ *Ю.В. Димов.* – Санкт-Петербург: Питер, 2013. – 496 с.
3. *Дунаев, П.Ф.* Конструирование узлов и деталей машин / *П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов.* – Москва: Высш. шк., 2007. – 444 с.
4. Детали машин и основы конструирования: учеб. пособие / *Г.Ф. Прокофьев, Н.Ю. Микловцик, М.Ю. Кабакова* [и др.]. – Архангельск: САФУ, 2018. – 194 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/161797> (дата обращения: 06.02.2023).
5. *Иванов, М.Н.* Детали машин: учебник / *М.Н. Иванов, В.А. Финогенов.* – Москва: Высшая школа, 2008. – 408 с.
6. *Меновщиков, В.А.* Механика. Курсовое проектирование деталей машин: учеб. пособие / *В.А. Меновщиков, Е.Г. Синенко, В.И. Сенькин.* – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2007. – 298 с.
7. *Муйземнек, А.Ю.* Детали машин и основы конструирования: учеб. пособие / *А.Ю. Муйземнек.* – Пенза: Изд-во ПГУ, 2019. – 234 с.
8. *Устиновский, Е.П.* Детали машин и основы конструирования: учеб. пособие / *Е.П. Устиновский, Е.В. Вайчулис.* – Челябинск, 2019. – 220 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/146044> (дата обращения: 06.02.2023).
9. *Шейнблит, А.Е.* Курсовое проектирование деталей машин: учеб. пособие для студентов вузов/ *А.Е. Шейнблит.* – Калининград: Янтар. сказ, 2006. – 456 с.
10. *Чернавский, С.А.* Курсовое проектирование деталей машин: учеб. пособие/ *С.А. Чернавский, К.Н. Боков, И.М. Чернин.* – Москва: Альянс, 2005. – 415 с.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

## Пример оформления титульного листа

*Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Департамент научно-технологической политики,  
образования и рыбохозяйственного комплекса*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
"Красноярский государственный аграрный университет"*

*Кафедра "Общеинженерных дисциплин"*

### **КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

техническое задание № \_\_ вариант \_\_

*Руководитель проекта*

\_\_\_\_\_

*подпись, дата*

\_\_\_\_\_

*инициалы, фамилия*

*Студент*

\_\_\_\_\_

*номер группы*

\_\_\_\_\_

*подпись, дата*

\_\_\_\_\_

*инициалы, фамилия*

*Красноярск 20 \_\_ з.*

КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены

Инв. № подл. Подп. и дата

Взам. инв. № Инв. № дубл.

Инв. № подл. Подп. и дата

Не для коммерческого использования

Варианты заданий на курсовое проектирование

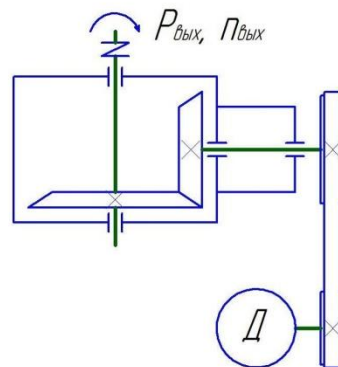
ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет  
Институт инженерных систем и энергетики  
Кафедра «Общеинженерных дисциплин»

Техническое задание на курсовой проект № 1  
Вариант \_\_\_\_

Тема КП: Проектирование электромеханического привода общего назначения с коническим редуктором

Привод состоит из электродвигателя серии АИР, ременной передачи, одноступенчатого конического редуктора, муфты

Кинематическая схема привода



Дано	№ Варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{\text{вых}}$ , кВт	2	2,5	4	3	3,5	1,8	4,5	4	6	6,5
$n_{\text{вых}}$ , об/мин	60	100	80	70	75	80	85	105	100	120
Коническая передача	Прямозубая									
Ременная передача	Плоскоременная					Клиноременная				

Перечень представляемых материалов по результатам выполненной работы:

1. Расчетно-пояснительная записка.
2. Графические материалы:
  - лист 1 - сборочный чертеж редуктора (формат А1);
  - лист 2 - чертеж тихоходного вала редуктора; (формат А3);
  - лист 3 - чертеж зубчатого колеса редуктора (формат А3).

КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инд. № дубл.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.				
Проб.				
Н.контр.				
Утв.				

Проектирование привода с одноступенчатым коническим редуктором

Лит.	Лист	Листов
		1

Красноярский ГАУ  
гр.

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4



КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Взам. инв. № Инв. № дубл.

Подп. и дата

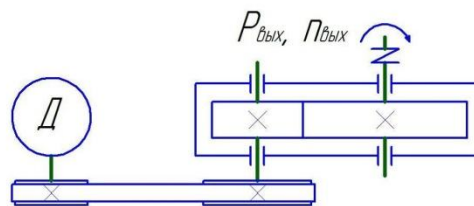
Инв. № подл.

**ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет**  
**Институт инженерных систем и энергетики**  
**Кафедра «Общеинженерных дисциплин»**  
**Техническое задание на курсовой проект № 2**  
**Вариант —**

Тема КП: Проектирование электромеханического привода общего назначения с цилиндрическим редуктором

Привод состоит из электродвигателя серии АИР, ременной передачи, одноступенчатого цилиндрического редуктора, муфты

**Кинематическая схема привода**



Дано	№ Варианта										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$P_{вых}$ , кВт	2	4	3,3	3	2	2,5	4,6	3	2	4,5	
$n_{вых}$ , об/мин	70	110	80	75	90	80	85	115	100	118	
Цилиндрическая передача	Косозубая					Прямозубая					
Ременная передача	Клиноременная					Плоскорременная					

**Перечень представляемых материалов по результатам выполненной работы:**

1. Расчетно-пояснительная записка.
2. Графические материалы:  
 лист 1 - сборочный чертеж редуктора (формат А1);  
 лист 2 - чертеж тихоходного вала редуктора; (формат А3);  
 лист 3 - чертеж зубчатого колеса редуктора (формат А3).

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Проектирование привода с одноступенчатым цилиндрическим редуктором	Лит.	Лист	Листов
Разрад.								1
Проб.						Красноярский ГАУ		
Н.контр.						зр.		
Утв.								

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4

КОМПАС-3D v20 учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дробл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

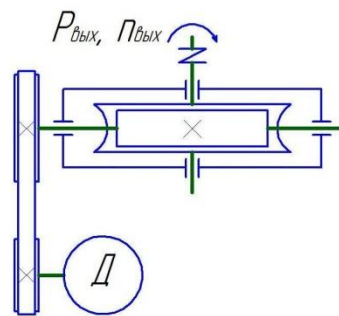
Инв. № подл.

**ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет**  
**Институт инженерных систем и энергетики**  
**Кафедра «Общеинженерных дисциплин»**  
**Техническое задание на курсовой проект № 3**  
**Вариант —**

Тема КП: Проектирование электромеханического привода общего назначения с червячным редуктором

Привод состоит из электродвигателя серии АИР, ременной передачи, одноступенчатого червячного редуктора, муфты

**Кинематическая схема привода**



Дано	№ Варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{вых}, кВт$	7	4	6,5	3	2	3,5	4,5	3	2,5	5
$n_{вых}, об/мин$	20	18	25	30	28	30	15	40	20	25
Червячная передача	Архимедов червяк					Конволютный червяк				
Ременная передача	Клиноременная					Плоскоремennая				

**Перечень представляемых материалов по результатам выполненной работы:**

1. Расчетно-пояснительная записка.
2. Графические материалы:  
 лист 1 - сборочный чертеж редуктора (формат А1);  
 лист 2 - чертеж тихоходного вала редуктора; (формат А3);  
 лист 3 - чертеж червячного колеса редуктора (формат А3).

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Проектирование привода с одноступенчатым червячным редуктором	Лит.	Лист	Листов
Разраб.								1
Проб.						Красноярский ГАУ зр.		
Н.контр.								
Утв.								

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4

КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дробл.

Взам инв. №

Подп. и дата

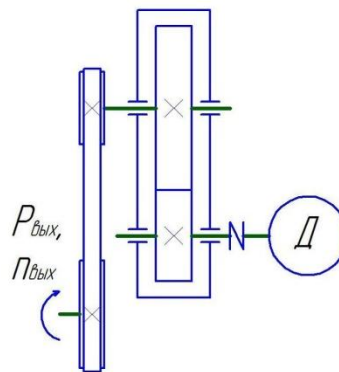
Инв. № подл.

**ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет**  
**Институт инженерных систем и энергетики**  
**Кафедра «Общеинженерных дисциплин»**  
**Техническое задание на курсовой проект № 4**  
**Вариант —**

Тема КП: Проектирование электромеханического привода общего назначения с цилиндрическим редуктором

Привод состоит из электродвигателя серии АИР, муфты, ременной передачи, одноступенчатого цилиндрического редуктора

**Кинематическая схема привода**



Дано	№ Варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{вых}, \text{кВт}$	7	4	6,5	3	2	3,5	4,5	3	2,5	5
$n_{вых}, \text{об/мин}$	100	98	120	200	140	120	150	140	160	80
Цилиндрическая передача	Прямозубая					Косозубая				
Ременная передача	Клиноременная					Плоскорременная				

**Перечень представляемых материалов по результатам выполненной работы:**

1. Расчетно-пояснительная записка.
2. Графические материалы:
  - лист 1 - сборочный чертеж редуктора (формат А1);
  - лист 2 - чертеж тихоходного вала редуктора; (формат А3);
  - лист 3 - чертеж зубчатого колеса редуктора (формат А3).

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Проектирование привода с одноступенчатым цилиндрическим редуктором	Лит.	Лист	Листов
Разрад.								1
Проб.						Красноярский ГАУ		
И.контр.						гр.		
Утв.								

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4



КОМПАС-3D v20 учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Взам. инв. №

Инв. № подл.

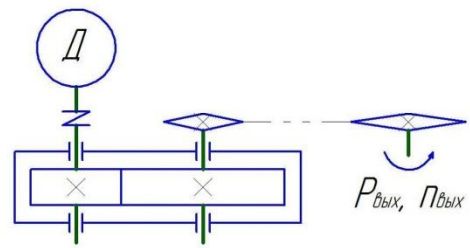
Инв. № подл.

**ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет**  
**Институт инженерных систем и энергетики**  
**Кафедра «Общеинженерных дисциплин»**  
**Техническое задание на курсовой проект № 5**  
**Вариант \_\_\_\_**

Тема КП: Проектирование электромеханического привода общего назначения с цилиндрическим редуктором

Привод состоит из электродвигателя серии АИР, муфты, одноступенчатого цилиндрического редуктора, цепной передачи

**Кинематическая схема привода**



Дано	№ Варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{вых}$ , кВт	8	4	5,5	3,5	4	4,5	2,5	3	5,5	6
$n_{вых}$ , об/мин	120	118	80	130	100	70	75	110	100	90
Цилиндрическая передача	Косозубая					Прямозубая				
Цепная передача	Роликовая									

**Перечень представляемых материалов по результатам выполненной работы:**

1. Расчетно-пояснительная записка.
2. Графические материалы:  
 лист 1 - сборочный чертеж редуктора (формат А1);  
 лист 2 - чертеж тихоходного вала редуктора; (формат А3);  
 лист 3 - чертеж зубчатого колеса редуктора (формат А3).

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Проектирование привода с одноступенчатым цилиндрическим редуктором	Лит.	Лист	Листов
Разраб.								1
Проб.						Красноярский ГАУ		
Н.контр.						зр.		
Утв.								

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4

КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № отдл.

Взам инв. №

Подп. и дата

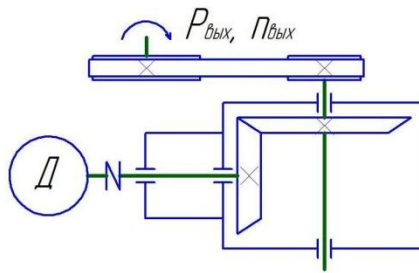
Инв. № подл.

**ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет**  
**Институт инженерных систем и энергетики**  
**Кафедра «Общеинженерных дисциплин»**  
**Техническое задание на курсовой проект № 6**  
**Вариант —**

Тема КП: Проектирование электромеханического привода общего назначения с коническим редуктором

Привод состоит из электродвигателя серии АИР, муфты, одноступенчатого конического редуктора, ременной передачи

**Кинематическая схема привода**



Дано	№ Варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{\text{вых}}$ , кВт	5	3,8	5	4	3	3,2	4,5	7,5	2,5	3,8
$n_{\text{вых}}$ , об/мин	110	100	140	65	70	80	85	90	120	180
Коническая передача	Прямозубая									
Ременная передача	Клиноременная					Плоскоремennая				

**Перечень представляемых материалов по результатам выполненной работы:**

1. Расчетно-пояснительная записка.
2. Графические материалы:
  - лист 1 - сборочный чертеж редуктора (формат А1);
  - лист 2 - чертеж тихоходного вала редуктора; (формат А3);
  - лист 3 - чертеж зубчатого колеса редуктора (формат А3).

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Проектирование привода с одноступенчатым коническим редуктором	Лит.	Лист	Листов
Разраб.								1
Проб.						Красноярский ГАУ		
Н.контр.						гр.		
Утв.								

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4

КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.  
 Инв. № подл. Подп. и дата. Инв. № докл. Подп. и дата. Взам инв. № Инв. № докл. Подп. и дата.

Перв. примен.

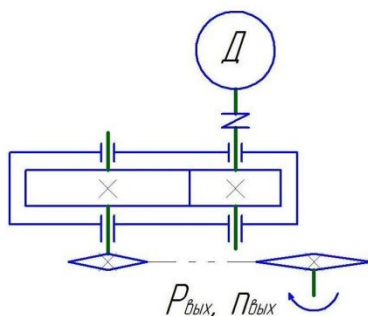
Справ. №

**ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет**  
**Институт инженерных систем и энергетики**  
**Кафедра «Общеинженерных дисциплин»**  
**Техническое задание на курсовой проект № 7**  
**Вариант —**

Тема КП: Проектирование электромеханического привода общего назначения с цилиндрическим редуктором

Привод состоит из электродвигателя серии АИР, муфты, одноступенчатого цилиндрического редуктора, цепной передачи

**Кинематическая схема привода**



Дано	№ Варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{вых}, \text{кВт}$	5,5	7	5	4	2,5	3,5	3,2	4,2	2,5	3
$n_{вых}, \text{об/мин}$	100	80	160	220	180	200	140	110	90	80
Цилиндрическая передача	Прямозубая					Косозубая				
Цепная передача	Роликовая									

**Перечень представляемых материалов по результатам выполненной работы:**

1. Расчетно-пояснительная записка.
2. Графические материалы:
  - лист 1 - сборочный чертеж редуктора (формат А1);
  - лист 2 - чертеж тихоходного вала редуктора; (формат А3);
  - лист 3 - чертеж зубчатого колеса редуктора (формат А3).

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Лист	Листов
Разраб.							
Проб.							
Н.контр.							
Утв.							

Проектирование привода с одноступенчатым цилиндрическим редуктором

Красноярский ГАУ  
 зр.

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4



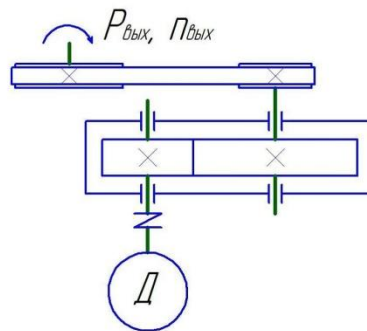
КОМПАС-3D v20 учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.  
 Инв. № подл. Подп. и дата. Инв. № докл. Подп. и дата. Взам инв. № Инв. № докл. Подп. и дата. Справ. № Перв. примен.

**ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет**  
**Институт инженерных систем и энергетики**  
**Кафедра «Общеинженерных дисциплин»**  
**Техническое задание на курсовой проект № 8**  
**Вариант —**

Тема КП: Проектирование электромеханического привода общего назначения с цилиндрическим редуктором

Привод состоит из электродвигателя серии АИР, муфты, одноступенчатого цилиндрического редуктора, ременной передачи

**Кинематическая схема привода**



Дано	№ Варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{вых}, кВт$	7	4	6,5	3	2	3,5	4,5	3	2,5	5
$n_{вых}, об/мин$	110	80	150	180	120	90	140	100	90	80
Цилиндрическая передача	Косозубая					Прямозубая				
Ременная передача	Клиноременная					Плоскоремennая				

**Перечень представляемых материалов по результатам выполненной работы:**

1. Расчетно-пояснительная записка.
2. Графические материалы:
  - лист 1 - сборочный чертеж редуктора (формат А1);
  - лист 2 - чертеж тихоходного вала редуктора; (формат А3);
  - лист 3 - чертеж зубчатого колеса редуктора (формат А3).

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Проектирование привода с одноступенчатым цилиндрическим редуктором	Лит.	Лист	Листов
Разраб.								1
Проб.						Красноярский ГАУ		
Н.контр.						зр.		
Утв.								

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4

КОМПАС-3D v20 учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

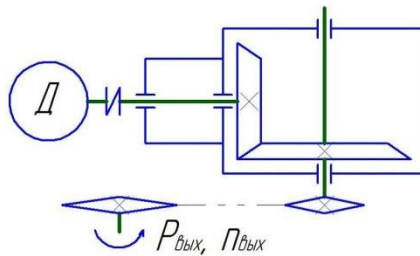
Инв. № подл.

**ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет**  
**Институт инженерных систем и энергетики**  
**Кафедра «Общеинженерных дисциплин»**  
**Техническое задание на курсовой проект № 9**  
**Вариант —**

Тема КП: Проектирование электромеханического привода общего назначения с коническим редуктором

Привод состоит из электродвигателя серии АИР, муфты, одноступенчатого конического редуктора, цепной передачи

**Кинематическая схема привода**



Дано	№ Варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{вых}, кВт$	2,8	3	5,4	6	8	5	5,5	3,5	4	4,5
$n_{вых}, об/мин$	70	80	140	100	90	100	120	80	130	95
Коническая передача	Прямозубая					Косозубая				
Цепная передача	Роликовая									

**Перечень представляемых материалов по результатам выполненной работы:**

1. Расчетно-пояснительная записка.
2. Графические материалы:  
 лист 1 - сборочный чертеж редуктора (формат А1);  
 лист 2 - чертеж тихоходного вала редуктора; (формат А3);  
 лист 3 - чертеж зубчатого колеса редуктора (формат А3).

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Проектирование привода с одноступенчатым коническим редуктором</b>	Лит.	Лист	Листов
Разраб.								1
Проб.								
Н.контр.								
Утв.								

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4

КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Взам. инв. №

Инв. № инв.

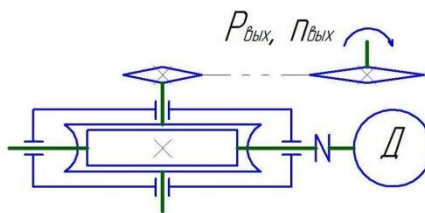
Подп. и дата

**ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет**  
**Институт инженерных систем и энергетики**  
**Кафедра «Общеинженерных дисциплин»**  
**Техническое задание на курсовой проект № 10**  
**Вариант —**

Тема КП: Проектирование и расчет электромеханического привода общего назначения с червячным редуктором

Привод состоит из электродвигателя серии АИР, муфты, одноступенчатого червячного редуктора, цепной передачи

**Кинематическая схема привода**



Дано	№ Варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{вых}, кВт$	2,5	5	7	4	3,5	4,5	3	6,5	3	2
$n_{вых}, об/мин$	20	26	20	18	80	15	40	25	30	28
Червячная передача	Архимедов червяк					Конволюнтный червяк				
Цепная передача	Роликовая									

**Перечень представляемых материалов по результатам выполненной работы:**

1. Расчетно-пояснительная записка.
2. Графические материалы:  
 лист 1 - сборочный чертеж редуктора (формат А1);  
 лист 2 - чертеж тихоходного вала редуктора; (формат А3);  
 лист 3 - чертеж червячного колеса редуктора (формат А3).

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Проектирование привода с одноступенчатым червячным редуктором	Лит.	Лист	Листов
Разраб.								1
Проб.						Красноярский ГАУ гр.		
Н.контр.								
Утв.								

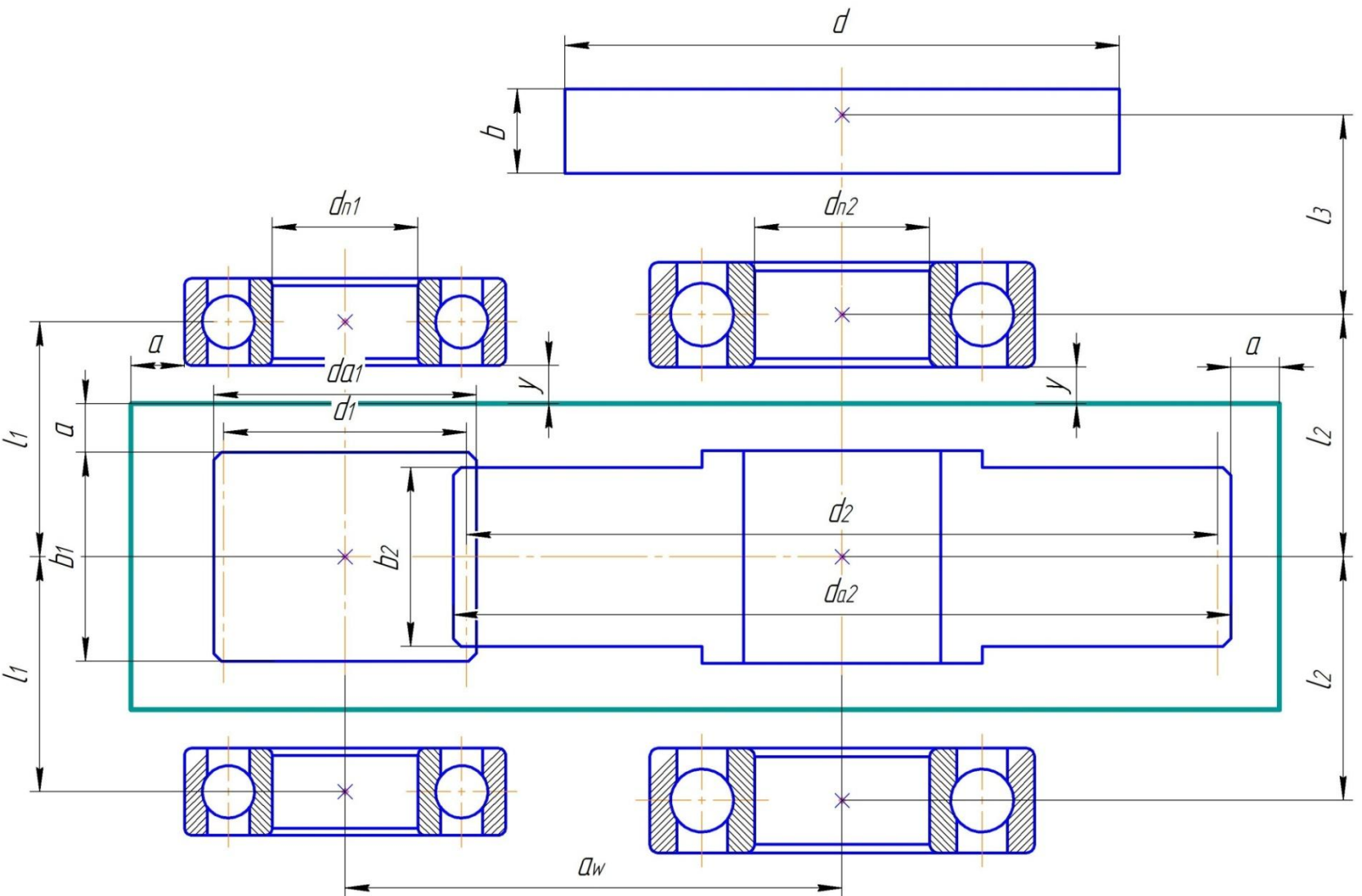
Не для коммерческого использования

Копировал

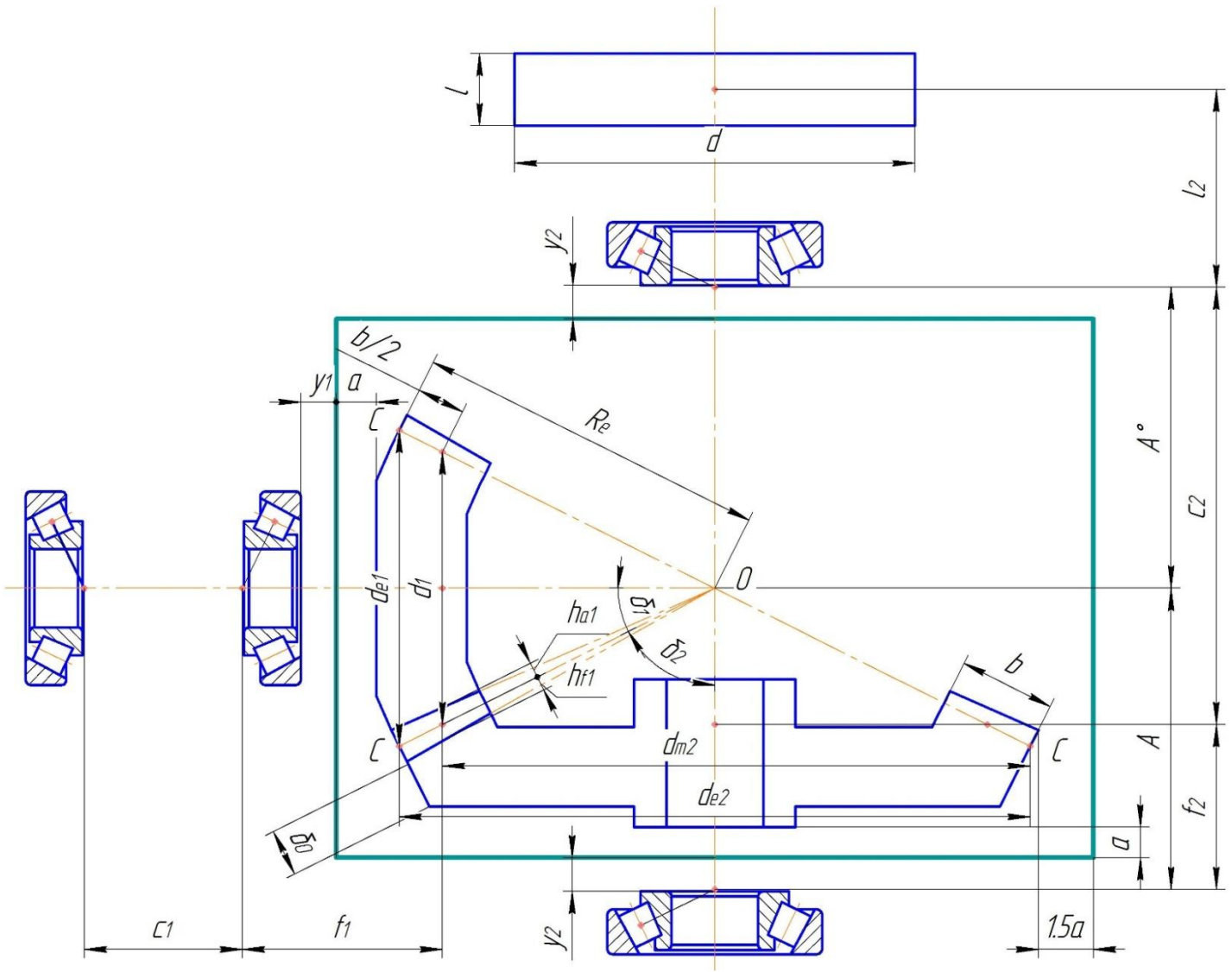
Формат А4



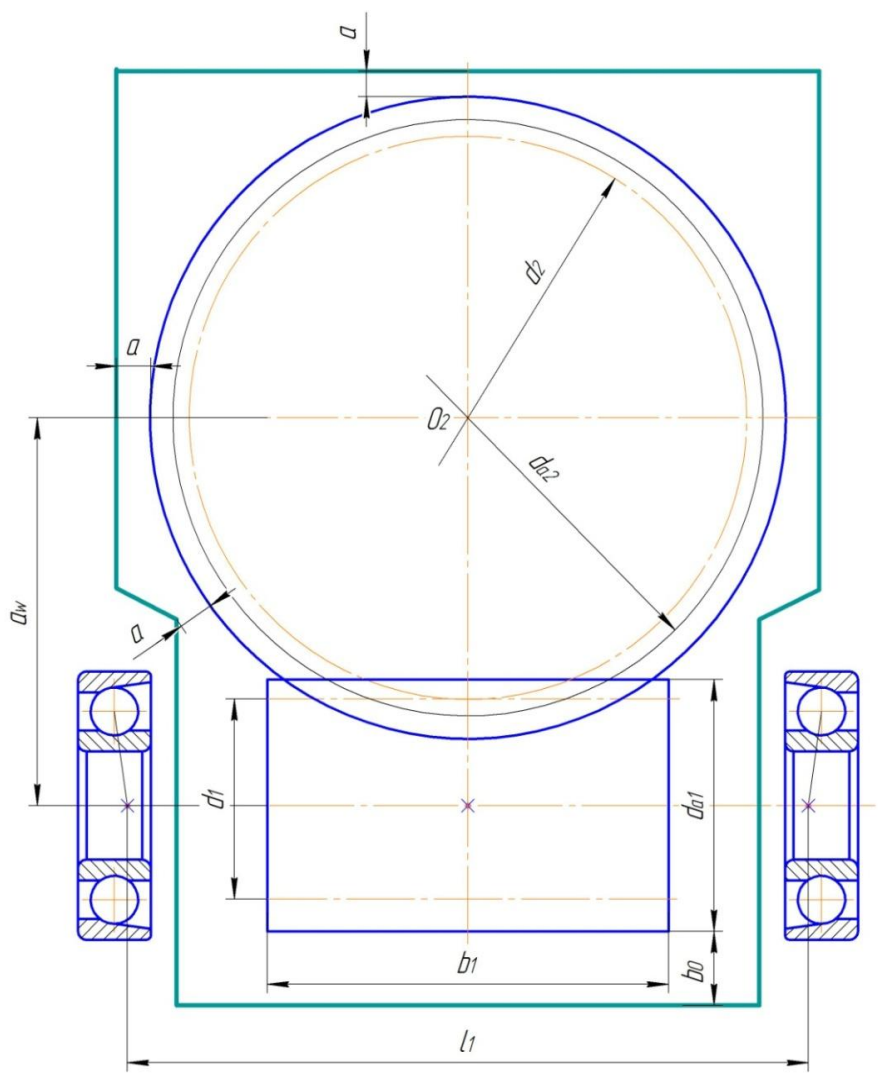
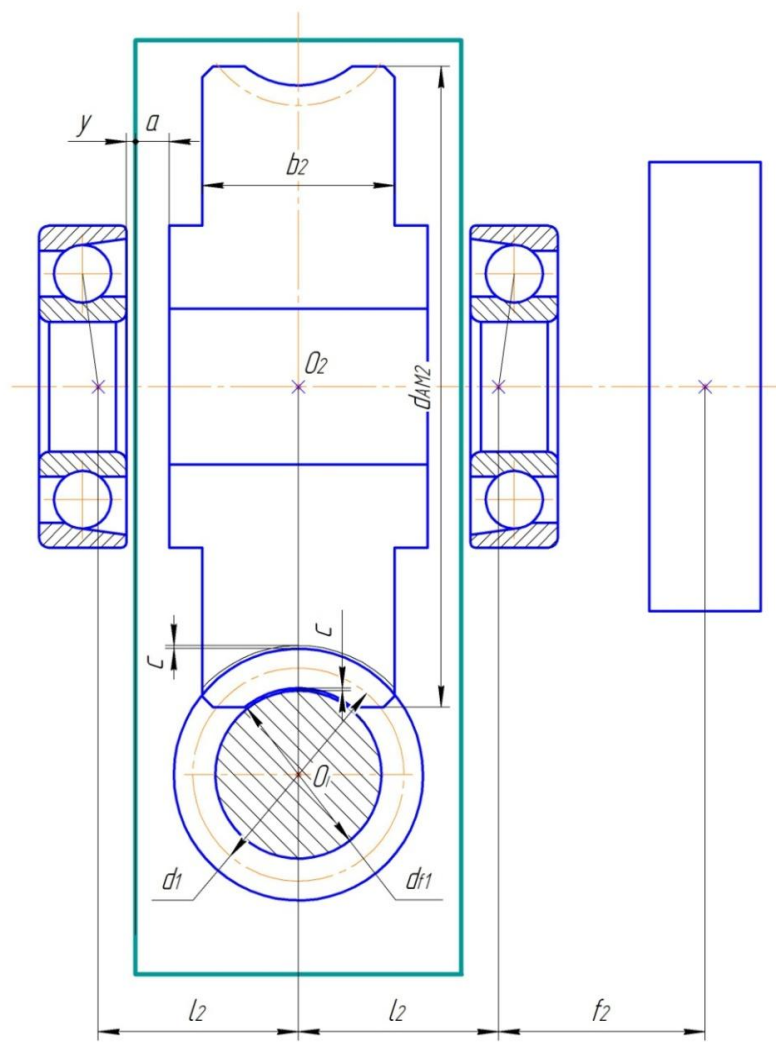
Приложение В  
Первый этап эскизной компоновки цилиндрического редуктора



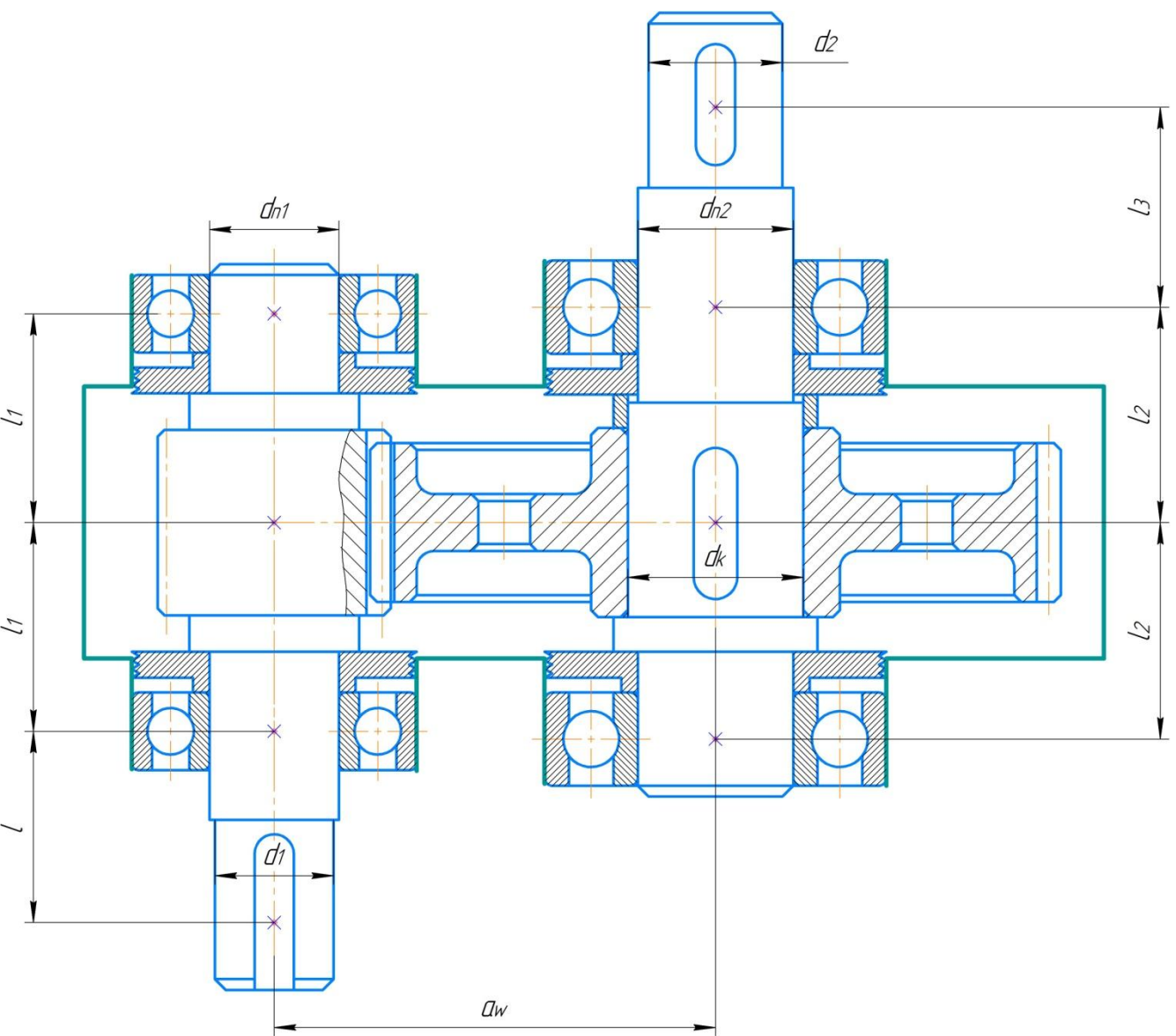
Первый этап эскизной компоновки конического редуктора



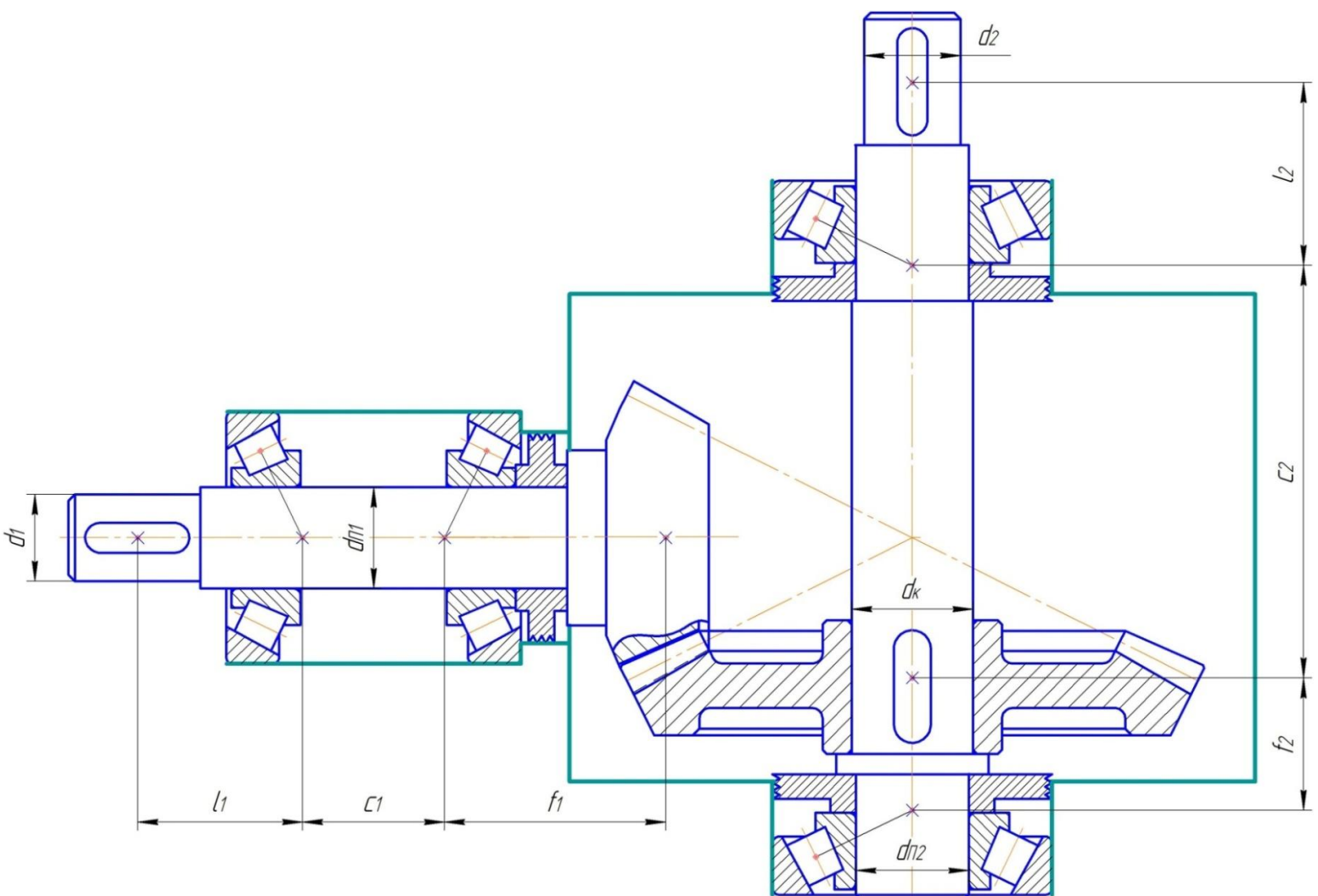




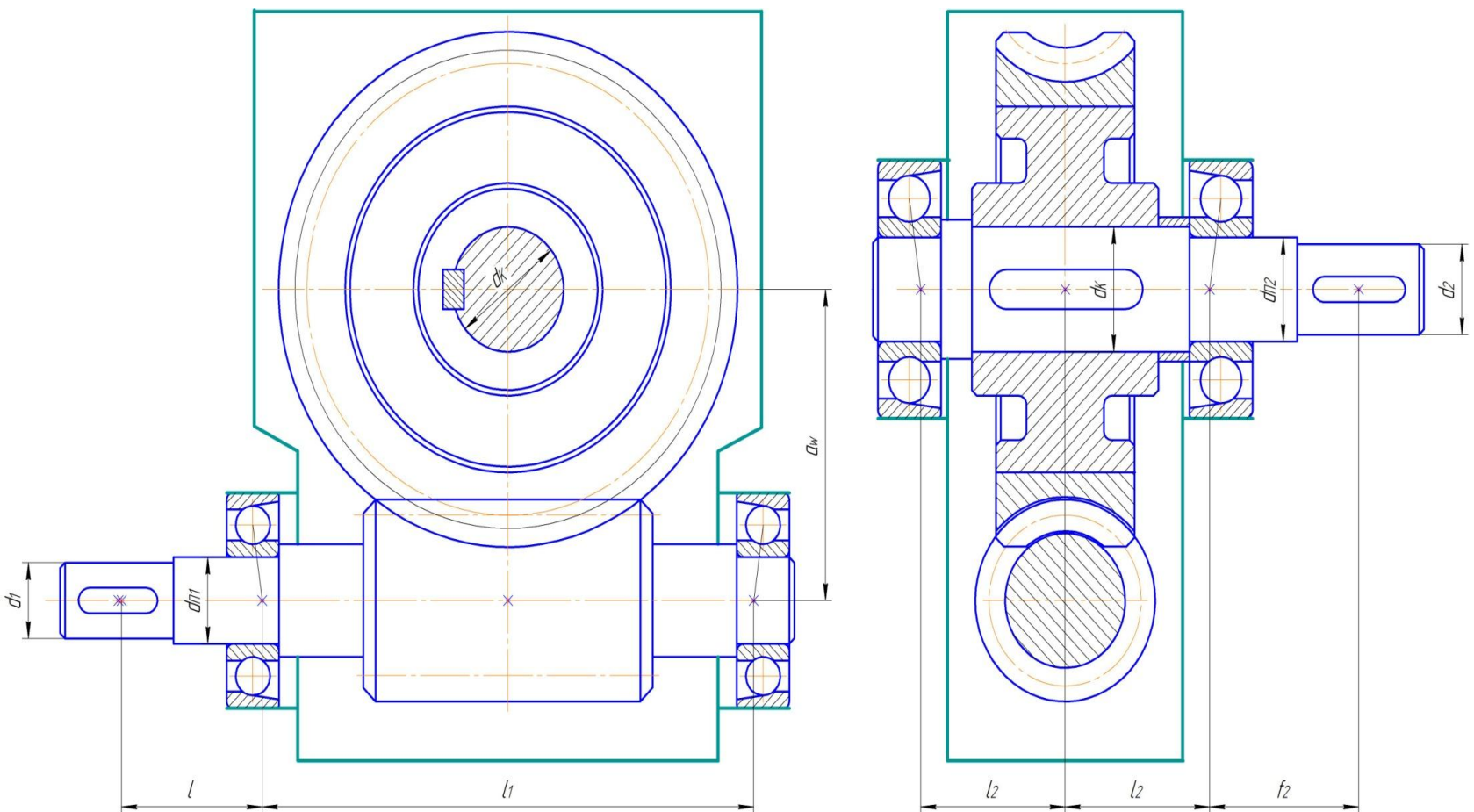
Приложение Г  
Второй этап эскизной компоновки цилиндрического редуктора



Второй этап эскизной компоновки конического редуктора

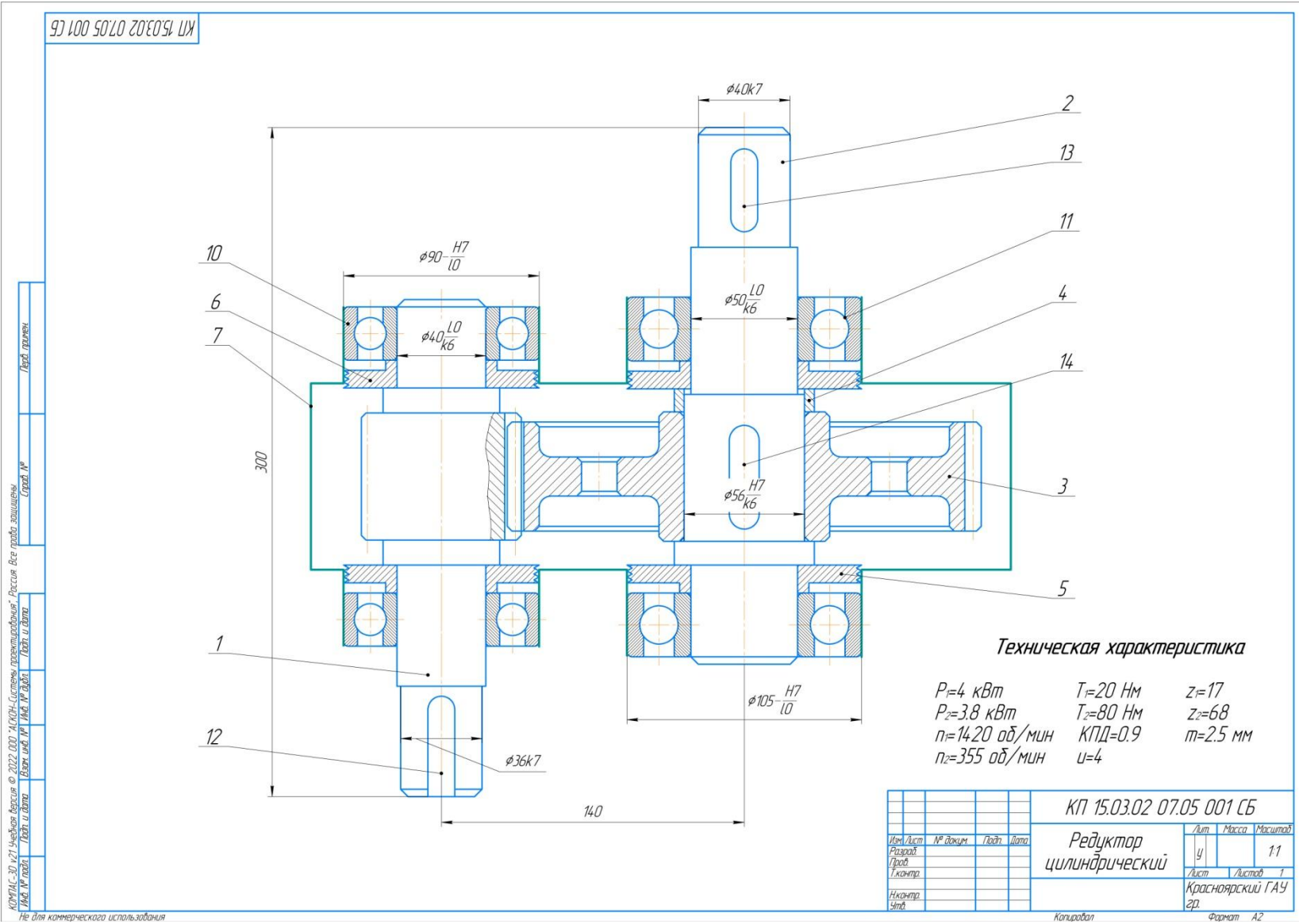


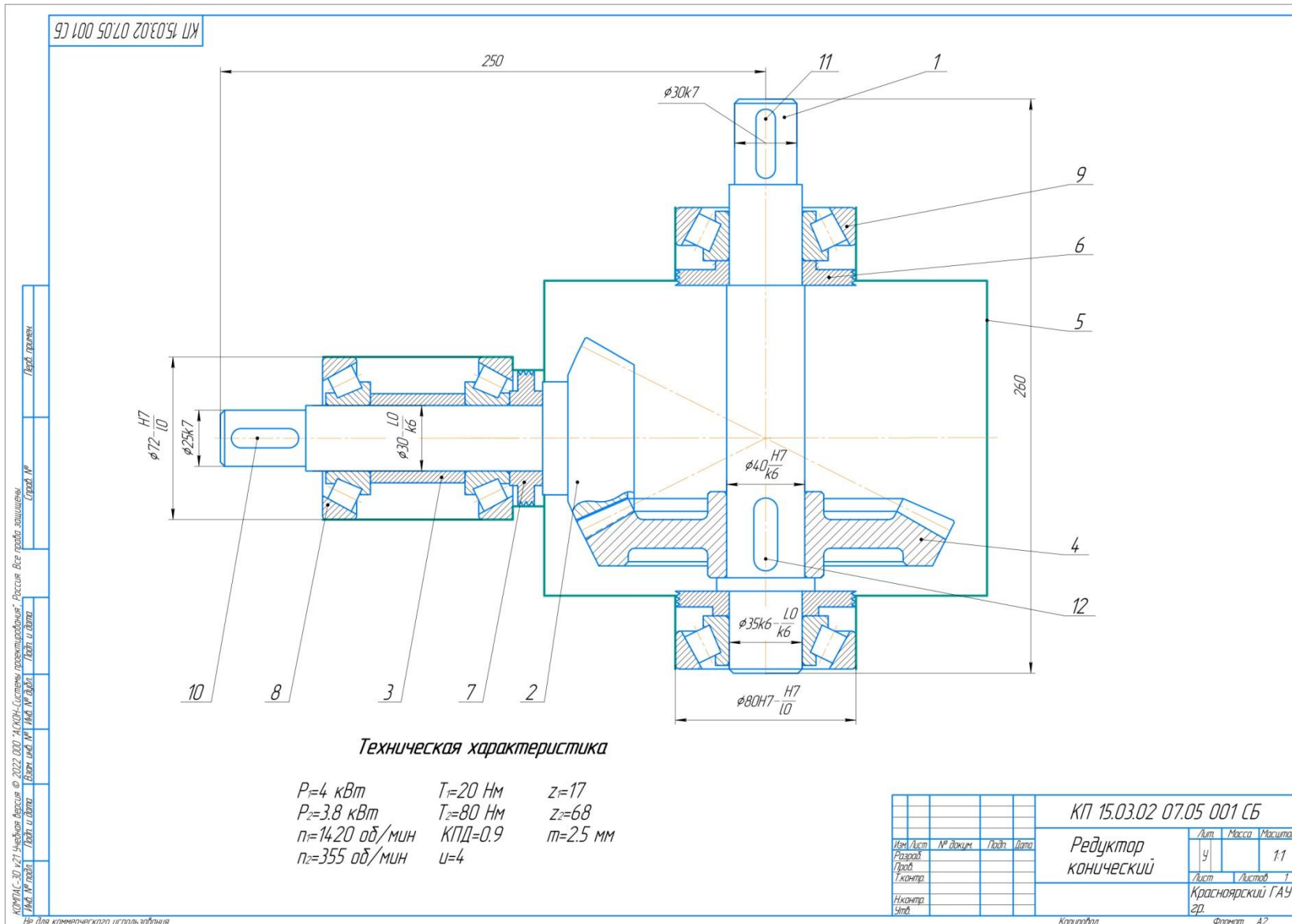
**Второй этап эскизной компоновки червячного редуктора**



# Сборочный чертеж цилиндрического редуктора

Приложение Д





Техническая характеристика

$P_1=4$  кВт       $T_1=20$  Нм       $z_1=17$   
 $P_2=3.8$  кВт       $T_2=80$  Нм       $z_2=68$   
 $n_1=1420$  об/мин      КПД=0.9       $m=2.5$  мм  
 $n_2=355$  об/мин       $u=4$

КП 15.03.02 07.05 001 СБ			
Имен. Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разработ			
Проект			
Технича			
Начальн			
Завед			
Редуктор конический		Лист	Листов 1
		Красноярский ГАУ	
		ЗР.	

Копировал Формат А2

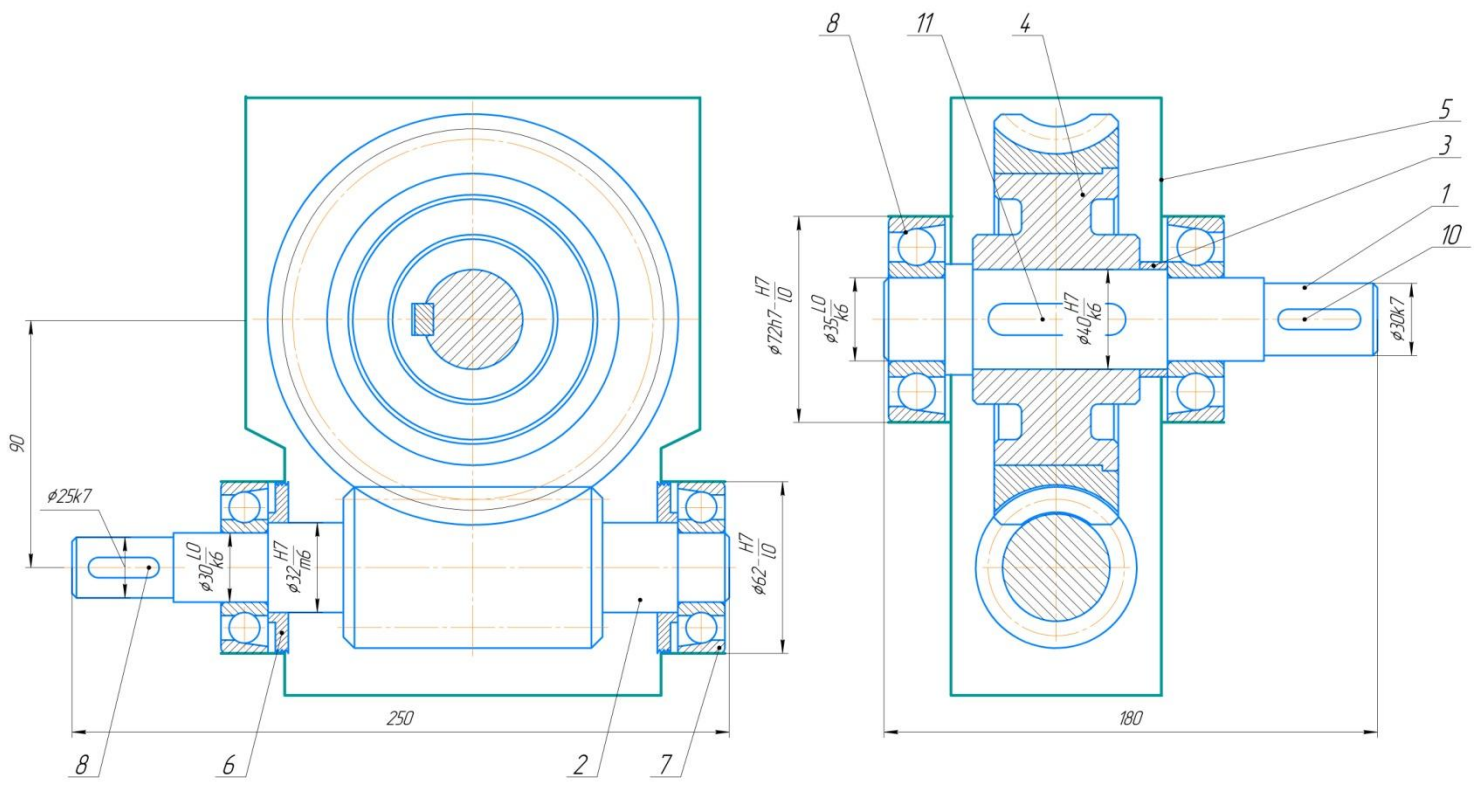
Сборочный чертёж конического редуктора

КП 15.03.02 07.05 001 СБ

АДМФАС-30 v21 Уфёйск Вёрста © 2022 ООО "АСОИИ"-Системы проектирования. Россия. Все права защищены.  
 Имя Лист № докум. Подп. Дата  
 Разработ Проект Технича Начальн Завед  
 Не для коммерческого использования



# Сборочный чертёж червячного редуктора



### Техническая характеристика

$P_1=4$  кВт       $T_1=20$  Нм       $z_1=2$   
 $P_2=3.2$  кВт       $T_2=950$  Нм       $z_2=50$   
 $n_1=2950$  об/мин      КПД=0.7       $m=2.5$  мм  
 $n_2=60$  об/мин       $u=25$        $q=15$  мм

КП 15.03.02 07.05 001 СБ			
Изм.	Лист	№ докум.	Год
Разраб.	Проф.	Инж.	Дата
Эксперт			
Начальн.			
Учт.			
Редуктор червячный		Лит.	Масштаб
		у	1:1
		Лист	Листов 1
		Красноярский ГАУ	
		ЗР	

Копирбол      Формат А2

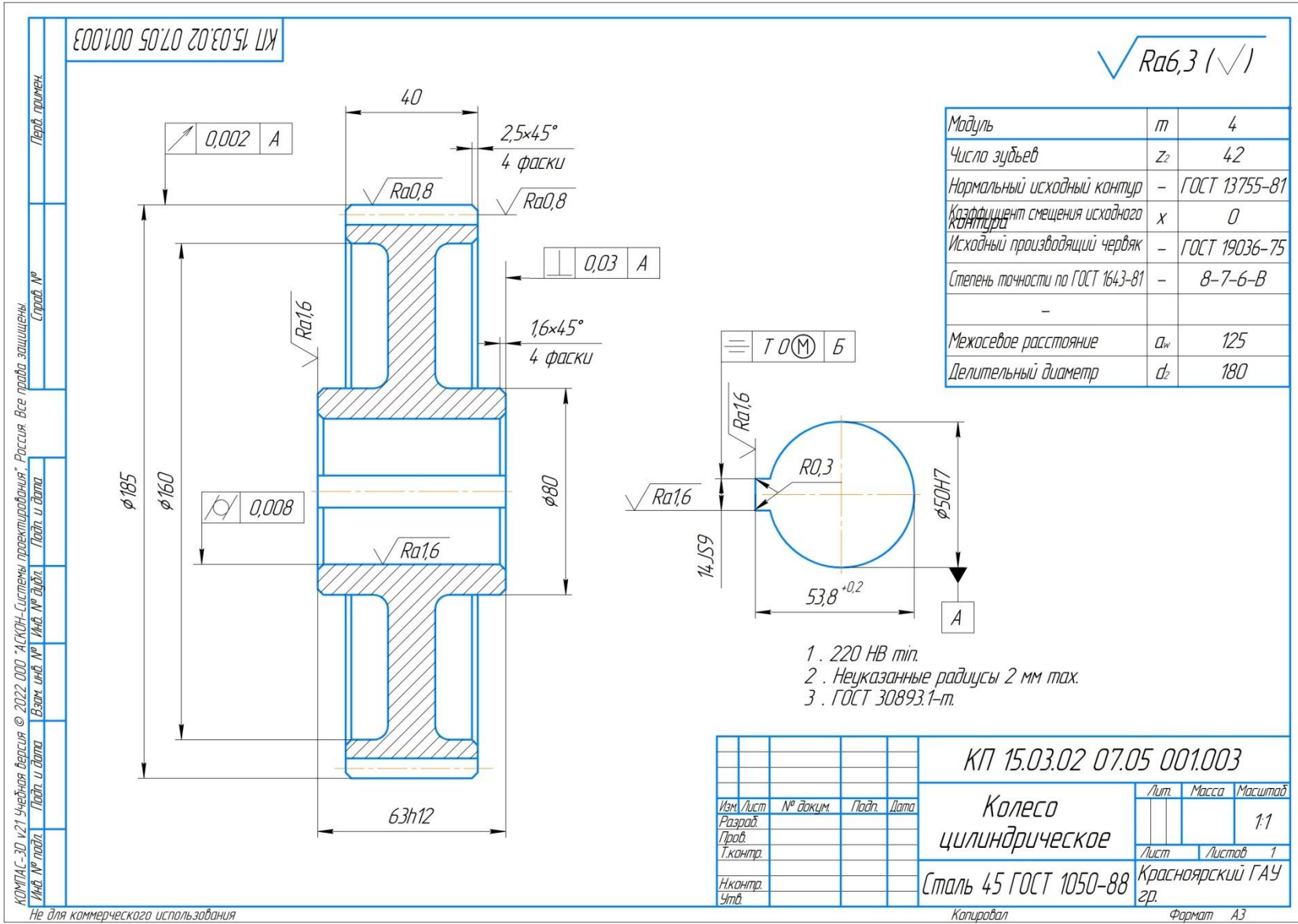
КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "Центрум проектных решений" Ростов, все права защищены. Лист 1 из 1. Дата: 15.03.2022 07:05:00.

КП 15.03.02 07.05 001 СБ

Спецификация сборочного чертежа (лист первый)

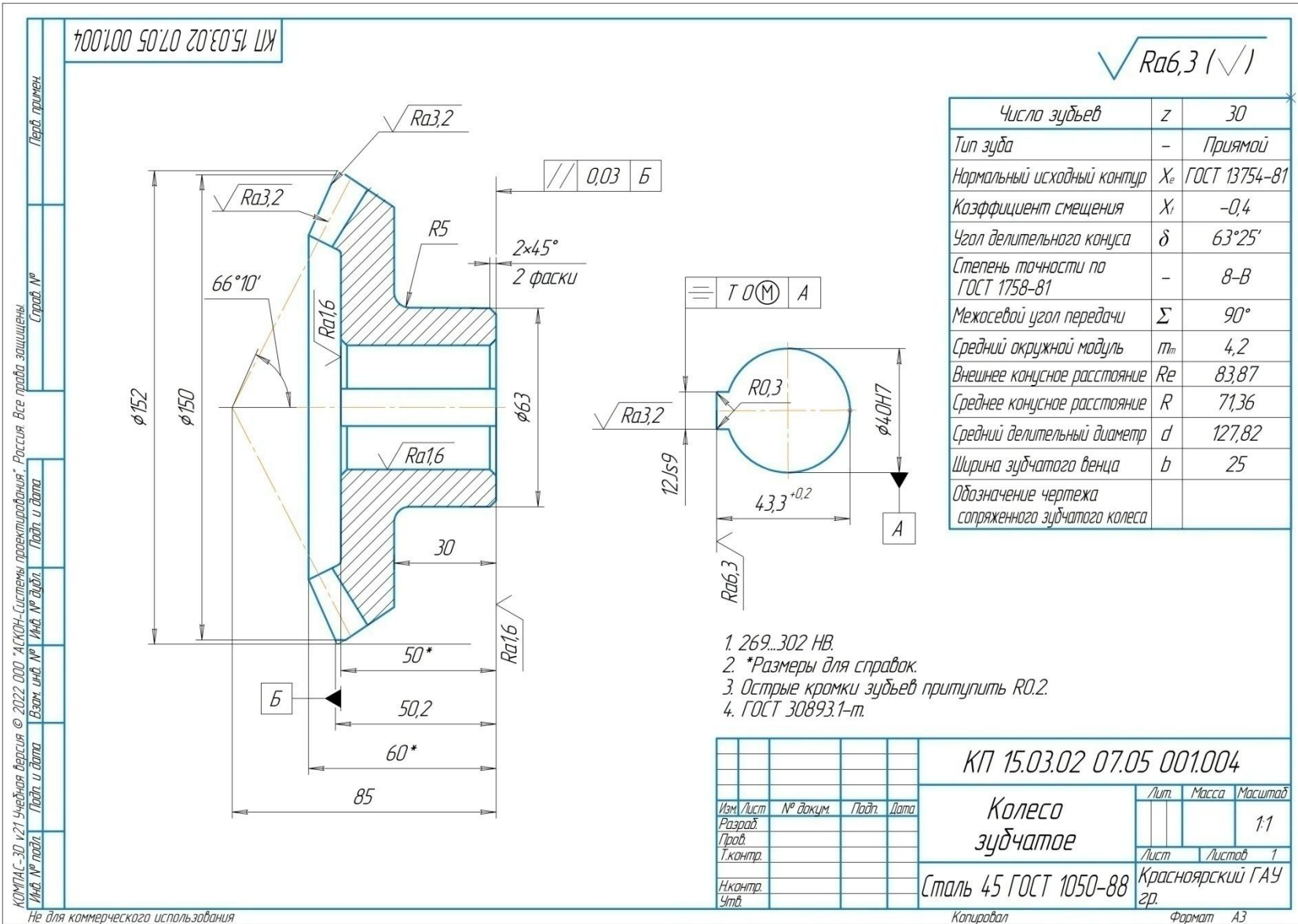
КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены. Инв. № подл. Подп. и дата Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата Справ. № Подп. и дата Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
						Документация		
	A1			КП 15.03.02 05.07 001 СБ	Сборочный чертеж			
						Сборочные единицы		
						Детали		
		1		КП 15.03.02 05.07 001. 001	Вал-шестерня	1		
	A3	2		КП 15.03.02 05.07 001. 002	Вал тихоходный	1		
		3		КП 15.03.02 05.07 001. 003	Втулка дистанционная	1		
	A3	4		КП 15.03.02 05.07 001. 004	Колесо зубчатое	1		
		5		КП 15.03.02 05.07 001. 005	Кольцо мазеудерживающее	2		
		6		КП 15.03.02 05.07 001. 006	Кольцо мазеудерживающее	2		
		7		КП 15.03.02 05.07 001. 007	Корпус	1		
						Стандартные изделия		
					Подшипник ГОСТ 8338-75			
	10			308	2			
	11			310	2			
					Шпонка ГОСТ 23360-78			
	12			10x8x32	1			
	13			12x8x50	1			
	14			10x8x35	1			
				КП 15.03.02 05.07 001				
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
	Разраб.					Лит.	Лист	
	Проб.						Листов	
	Н.контр.						1	
	Утв.						2	
						Красноярский ГАУ гр.		
Не для коммерческого использования				Копировал		Формат А4		





Чертеж цилиндрического колеса

Приложение Ж



КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.  
 Имя, № подл. Подп. и дата. Взам. инв. №. Инв. № д-ла. Подп. и дата. Справ. №.

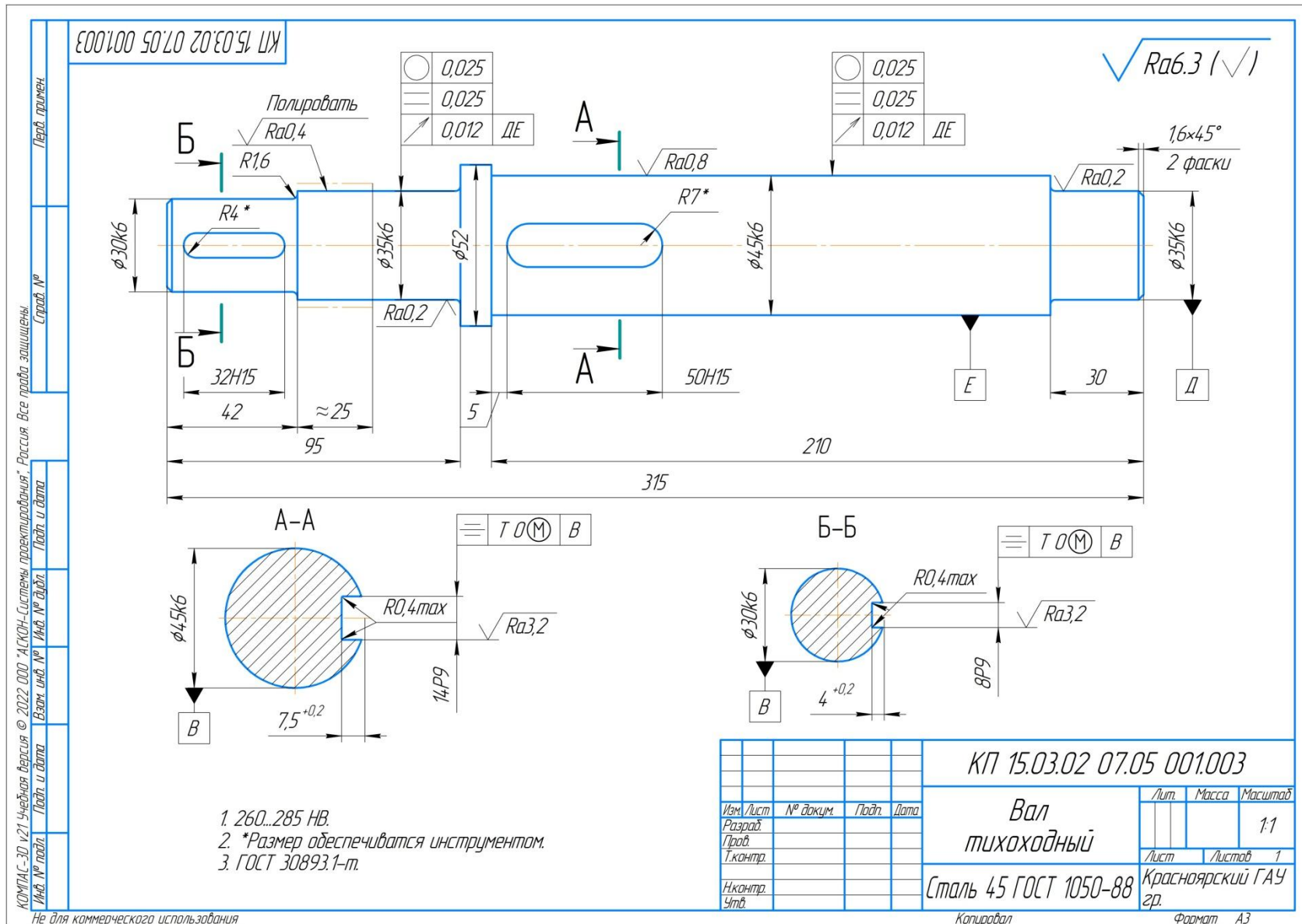
Число зубьев	<i>z</i>	30
Тип зуба	-	Прямой
Нормальный исходный контур	<i>X<sub>e</sub></i>	ГОСТ 13754-81
Коэффициент смещения	<i>X<sub>f</sub></i>	-0,4
Угол делительного конуса	<i>δ</i>	63°25'
Степень точности по ГОСТ 1758-81	-	8-B
Межосевой угол передачи	<i>Σ</i>	90°
Средний окружной модуль	<i>m<sub>m</sub></i>	4,2
Внешнее конусное расстояние	<i>R<sub>e</sub></i>	83,87
Среднее конусное расстояние	<i>R</i>	71,36
Средний делительный диаметр	<i>d</i>	127,82
Ширина зубчатого венца	<i>b</i>	25
Обозначение чертежа сопряженного зубчатого колеса		

1. 269...302 НВ.
2. \*Размеры для справок.
3. Острые края зубьев притупить R0,2.
4. ГОСТ 30893.1-т.

КП 15.03.02 07.05 001.004			
Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.			
Проб.			
Т.контр.			
Н.контр.			
Утв.			
Колесо зубчатое		Лит.	Масса
		Масштаб 1:1	
Сталь 45 ГОСТ 1050-88		Лист	Листов 1
		Красноярский ГАУ гр.	
Копировал		Формат А3	

Чертеж конического колеса





Чертеж тихоходного вала

# ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

## Руководство к курсовому проектированию

*Учебное пособие*

ПОЛЮШКИН Николай Геннадьевич

*Редактор Н.А. Семенкова*

Электронное издание

Подписано в печать 20.09.2023. Регистрационный номер 9

Редакционно-издательский центр Красноярского государственного аграрного университета

660017, Красноярск, ул. Ленина, 117