|  |  |
| --- | --- |
|  | **Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  **высшего образования**  **«Московский государственный технический университет**  **имени Н.Э. Баумана**  **(национальный исследовательский университет)»**  **(МГТУ им. Н.Э. Баумана)** |

ФАКУЛЬТЕТ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

КАФЕДРА \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

***К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ***

***НА ТЕМУ:***

***\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_***

***\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_***

***\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_***

***\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_***

***\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_***

***\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_***

Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

(Группа) (Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Руководитель курсового проекта **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Консультант **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

*2025 г.*

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**

**высшего образования**

**«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана**

**(национальный исследовательский университет)»**

**(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(Индекс)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(И.О.Фамилия)

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

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение курсового проекта**

по дисциплине \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Студент группы \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(Фамилия, имя, отчество)

Тема курсового проекта \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Направленность КП (учебный, исследовательский, практический, производственный, др.)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Источник тематики (кафедра, предприятие, НИР) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

График выполнения проекта: 25% к \_\_\_ нед., 50% к \_\_\_ нед., 75% к \_\_ нед., 100% к \_\_\_ нед.

***Задание****\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_*

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

***Оформление курсового проекта:***

Расчетно-пояснительная записка на \_\_\_\_\_ листах формата А4.

Перечень графического (иллюстративного) материала (чертежи, плакаты, слайды и т.п.)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Дата выдачи задания « \_\_\_ » \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Руководитель курсового проекта**  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

**Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Примечание: Задание оформляется в двух экземплярах: один выдается студенту, второй хранится на кафедре.

Оглавление

1. [Техническое задание 3](#_Toc193233706)
2. [Выбор и обоснования конструкции 4](#_Toc193233707)
3. [Подбор электродвигателя 5](#_Toc193233708)
4. [Расчет количества ступеней 7](#_Toc193233709)
5. [Проверка правильности выбора двигателя по пусковому моменту 8](#_Toc193233710)
6. [Силовой расчет ЭМП 9](#_Toc193233711)
7. [Проектный расчет зубчатых передач на прочность 10](#_Toc193233712)
8. [Кинематическая схема 12](#_Toc193233713)
9. [Геометрический расчет зубчатых колес и передач 13](#_Toc193233714)
10. [Проверка установки первой шестерни на вал электродвигателя 15](#_Toc193233715)
11. [Выбор оптимальной схемы и компоновки редуктора 16](#_Toc193233716)
12. [Расчет диаметров валов и геометрии ступиц зубчатых 17](#_Toc193233717)
13. [Расчет шариковой предохранительной муфты 18](#_Toc193233718)

Техническое задание

|  |  |
| --- | --- |
| № варианта | 8 |
| Параметры |
| Момент на выходном валу ***М*с**, **Нмм** | 700 |
| Скорость вращения выходного вала ***ω***, **с-1** | 3 |
| Момент инерции нагрузки ***J***н, ***кг·м***2 | 0.15 |
| Ускорение вращения выходного вала ε, с-2 | 10 |
| Погрешность редуктора на выходном валу ∆***φ*,** угл***. мин***. | 25 |
| Критерий проектирования | Комплексный |
| Тип предохранительной муфты | Шариковая |
| Тип корпуса | По согласованию с преподавателем |
| Тип двигателя. | Постоянного тока (ДПР или ДПМ) |
| Характер производства | Серийный |
| Вывод выходного элемента | По указанию преподавателя (со стороны двигателя или противоположной), |
| Вид крепления к основному изделию | По указанию преподавателя (со шпонкой и резьбой, под штифт или др.). |
| Условия эксплуатации | УХЛ 4.1 |
| Степень защиты | IP44 |

Выбор и обоснования конструкции

Привод заслонок для регулирования потока воздуха.

Подбор электродвигателя

Электродвигатель подбирается по принципу:

,

*;*

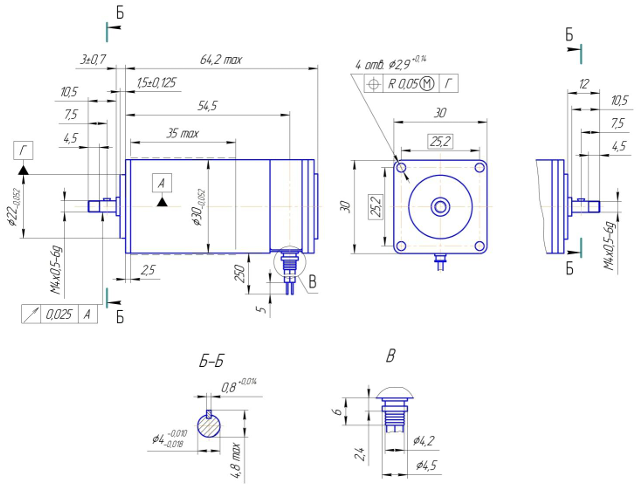
,

*,*

;

Назначаем

Выберем электродвигатель ДПР-52-Ф1-07А



Его характеристики:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| U, В |  |  |  |  | T, ч |
| 14 | 4,6 | 4500 | 9,8 | 54 | 1500 |

Выбранный двигатель нам подходит.0.

Коэффициент запаса:

Коэффициент больше единицы – двигатель прошел проверку.

Расчет количества ступеней

Общее передаточное отношение цепей электромеханического привода:

,

;

Критерий расчета – комплексный. Для расчета по этому критерию, необходимо решить, что важнее: минимизировать массу или минимизировать габариты. В нашем случаи в первую очередь важна компактность, так что число ступеней определяются по формуле:

Назначим

,

*.*

Назначим:

,

.

Данное число зубьев соответствует 1-му предпочтительному ряду, оставляем также.

*.*

Новое общее передаточное отношение:

Погрешность нового передаточного отношения:

Проверка правильности выбора двигателя по пусковому моменту

Рассчитаем приведенные статические и динамические моменты:

;

;

;

0,15 ;

;

Суммарный приведенный момент:

Проводим проверку:

Двигатель прошел проверку по моментам.

Силовой расчет ЭМП

Момент на выходном валу складывается из динамического и статического момента:

Так как , то можно пренебречь. Дальнейшие расчеты будем ввести по статическому моменту.

Для расчет предыдущих моментах на валах, используем формулу:

При предварительных расчетах назначают КПД подшипников в пределах, для цилиндрической зубчатой передачи

Назначим

Рассчитаем моменты на валах:

Двигатель подобран верно.

**Выбор материала элементов передач.**

**При небольших скоростях, малой частоте вращения выходного вала, выберем рекомендуемую пару материалов для цилиндрических прямозубых шестерни и колеса:**

**Колесо – Сталь 35 ГОСТ 1050-74,**

**Шестерная – Сталь 45 ГОСТ 1050-74.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Материал** | **К-т линейного расширения**    **оС** | **Модуль упругости первого рода**  **Е,**  **, МПа** | **Плотность**    **г/см3** | **Предел прочности**  **МПа** | **Предел текучести**  **МПа** |
| **Сталь 35** | **10,6-12,6** | **2,0-2,2** | **7,85** | **540** | **320** |
| **Сталь 45** | **10,6-12,6** | **2,0-2,2** | **7,85** | **640** | **780** |

Проектный расчет зубчатых ****передач на прочность****

Цель работы – определить модули зацепления им размеры передач, обеспечивающие их работоспособность течение заданного срока службы.

Модуль зацепления определяются по формуле:

*;*

*;*

*;*

*;*

*;*

*;*

*.*

Поскольку материалы колеса и шестерни разные, расчет на прочность ведут по тому колесу, для которого отношение большего всего.

Для колеса z = 60

Определим :

*;*

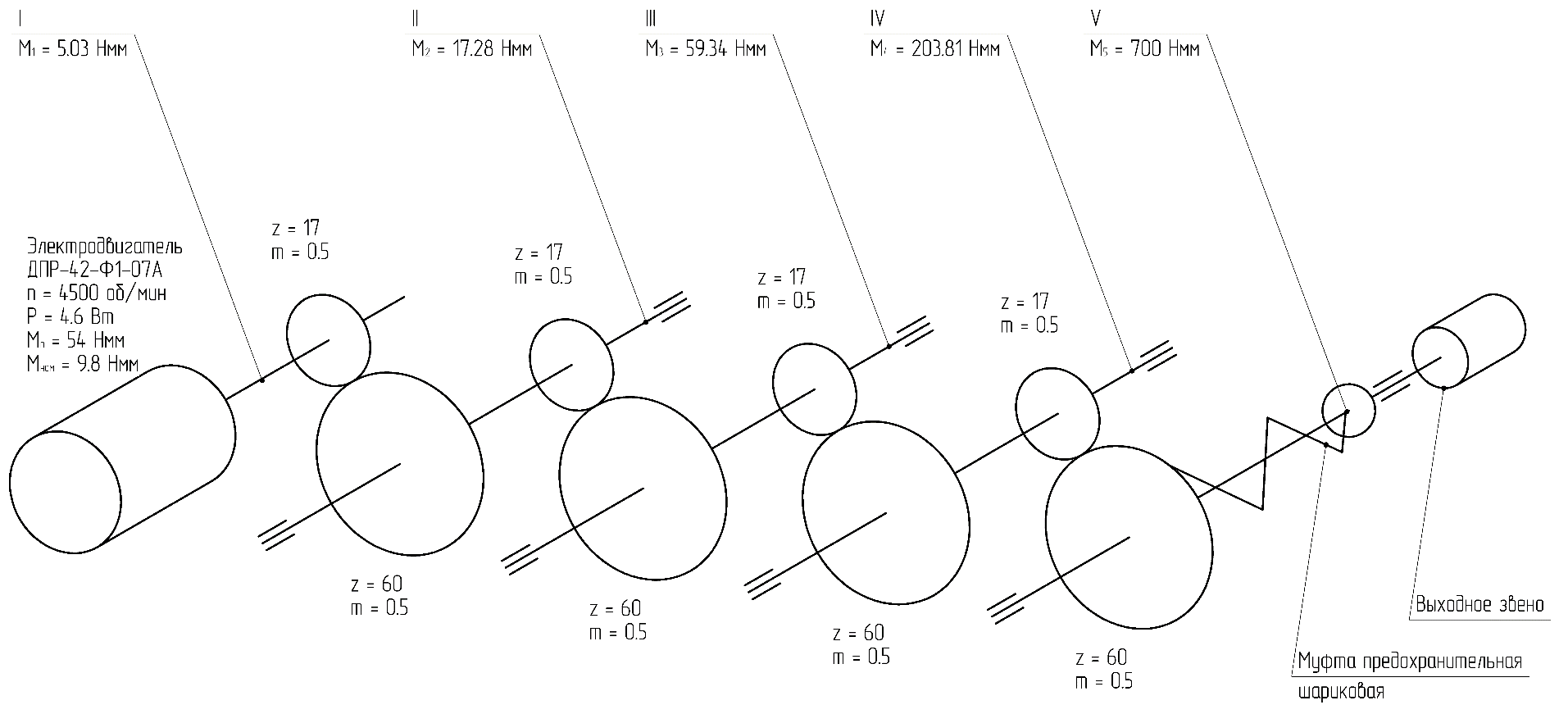
*.*

Назначим коэффициент запаса:

* Для шестерни , тогда:
* Для колеса , тогда:

Расчет ведем по самому нагруженному колесу.

Анализируя полученные результаты расчетов, из конструкторских соображений назначим модуль зацепления передачи из предпочтительного ряда:

Кинематическая схема

Геометрический расчет зубчатых колес и передач

Делительный диаметр цилиндрического зубчатого колеса рассчитывается по формуле:

Для прямозубых колес , соответственно:

;

*.*

Диаметр вершин зубьев цилиндрического зубчатого колеса рассчитывается по формуле:

Для прямозубых колес соответственно:

.

Получаем:

*;*

.

Диаметр впадин зубьев цилиндрического зубчатого колеса рассчитывается по формуле:

Для прямозубых колес при имеем значение соответственно:

*;*

*.*

Ширина колес рассчитывается по формуле:

*.*

Ширина колес рассчитывается по формуле:

Получаем:

Сводная таблиц геометрии зубчатых элементов:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Делительный диаметр, мм | Диаметр вершин, мм | Диаметр впадин, мм | Ширина, мм |
| Шестерня 1 | 9 | 10 | 7,5 | 5,75 |
| Шестерня 2 | 9 | 10 | 7,5 | 5,75 |
| Шестерня 3 | 9 | 10 | 7,5 | 5,75 |
| Шестерня 4 | 9 | 10 | 7,5 | 5,75 |
| Колесо 1 | 30 | 31 | 20,5 | 5 |
| Колесо 2 | 30 | 31 | 20,5 | 5 |
| Колесо 3 | 30 | 31 | 20,5 | 5 |
| Колесо 4 | 30 | 31 | 20,5 | 5 |

Проверка установки первой шестерни на вал электродвигателя

Шестерня устанавливается на выходной вал электродвигателя без проблем, если соблюдаются следующие условия:

1. Диаметр впадин зубьев должен быть достаточно больше диаметра вала электродвигателя.
2. Должен присутствовать запас для шпоночного паза на шестерне.
3. Ширина шестерни не должна превышать предусмотренного для установки шестерни расстояния на выходном валу электродвигателя.

В нашем случае имеем:

* Диаметр выходного вала - 4 мм;
* Диаметр впадин зубьев первой шестерни - 7,5 мм;
* Запас для шпоночного паза на шестерне - 1,25 мм;
* Расстояние на валу, предусмотренное для установки шестерни - 6 мм;
* Ширина шестерни - 5,75 мм.

Все три условия соблюдаются, первая шестерня устанавливается на выходной вал электродвигателя нормально.

Выбор оптимальной схемы и компоновки редуктора



%ТЕКСТ%ОБЪЯСНЯЕМ ПОЧЕМУ ТАКАЯ КОМПОНОВКА КРУТАЯ%ТЕКСТ%

%ТЕКСТ%ОБЪЯСНЯЕМ ПОЧЕМУ ТАКАЯ КОМПОНОВКА КРУТАЯ%ТЕКСТ%

%ТЕКСТ%ОБЪЯСНЯЕМ ПОЧЕМУ ТАКАЯ КОМПОНОВКА КРУТАЯ%ТЕКСТ%

%ТЕКСТ%ОБЪЯСНЯЕМ ПОЧЕМУ ТАКАЯ КОМПОНОВКА КРУТАЯ%ТЕКСТ%

%ТЕКСТ%ОБЪЯСНЯЕМ ПОЧЕМУ ТАКАЯ КОМПОНОВКА КРУТАЯ%ТЕКСТ%

%ТЕКСТ%ОБЪЯСНЯЕМ ПОЧЕМУ ТАКАЯ КОМПОНОВКА КРУТАЯ%ТЕКСТ%

Расчет диаметров валов и геометрии ступиц зубчатых

Выходной вал испытывает нагрузку от сопряженной с ним детали. Масса дедали в нагруженном состоянии – 0,1 кг или 1 Н.

Выберем материал для валов таким же, как и для шестерен, для того чтобы выполнять их совместно

Назначим Сталь 45 ГОСТ 1050-74

Характеристики материала:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Материал | Сечение 15, мм | **Предел текучести МПа** | **Предел прочности**  **МПа** |
| Сталь 45 | 15 | 640 | 780 |

Определим диаметры валов по допустимым значениям предела текучести материала:

;

. Формула: ;

.

Тогда при :

Назначим диаметр выходного вала равным 6 мм.

**Расчет выходного вала.**

Расчет на крутильную жесткость.

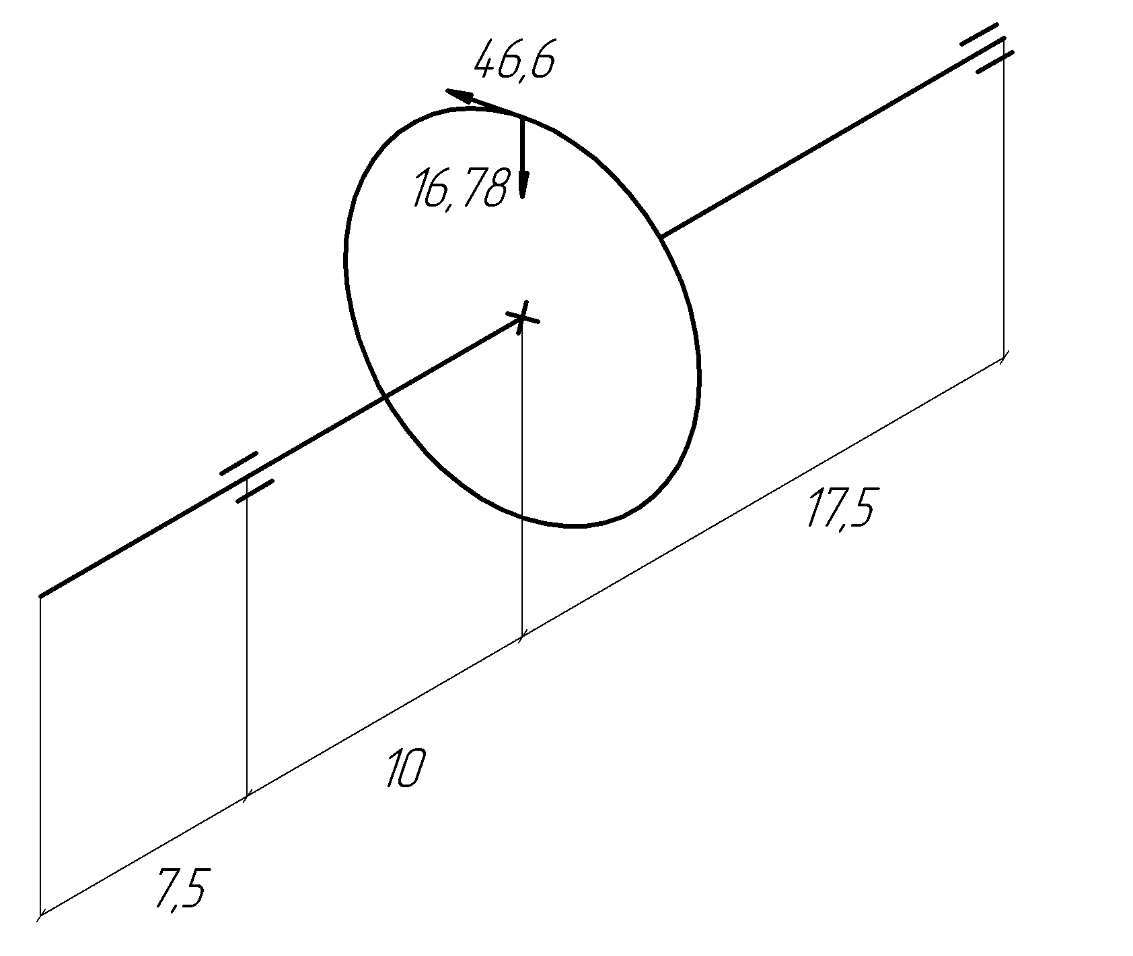
Выбранный диаметр вала прошел проверку.

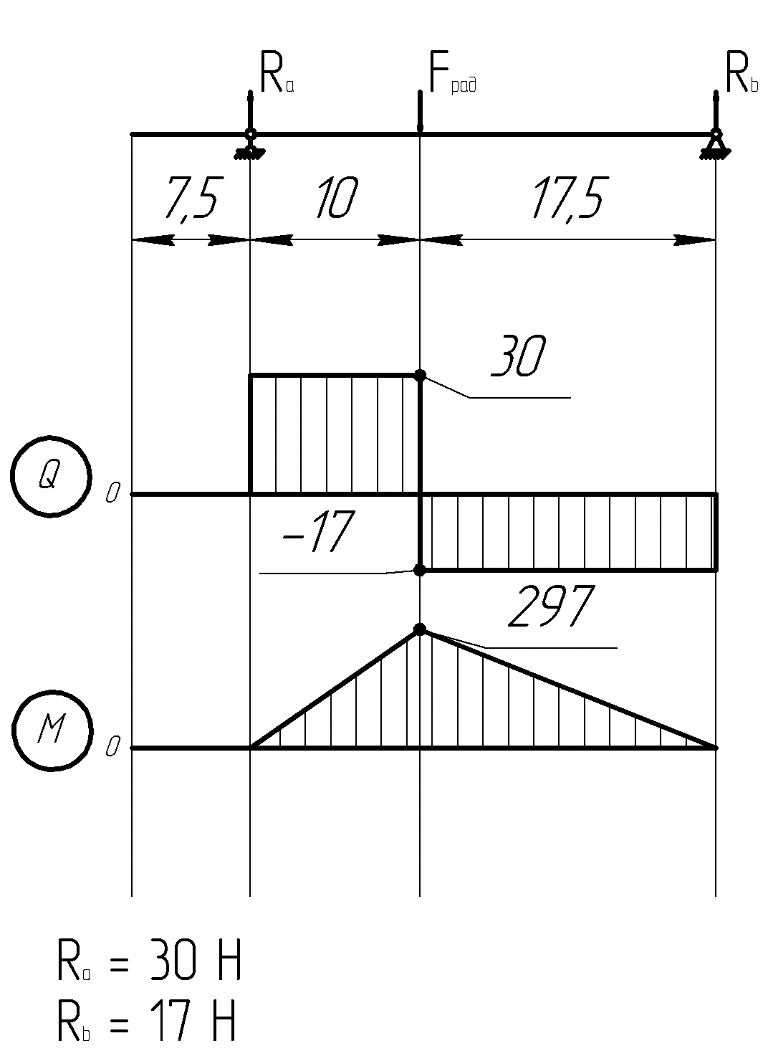
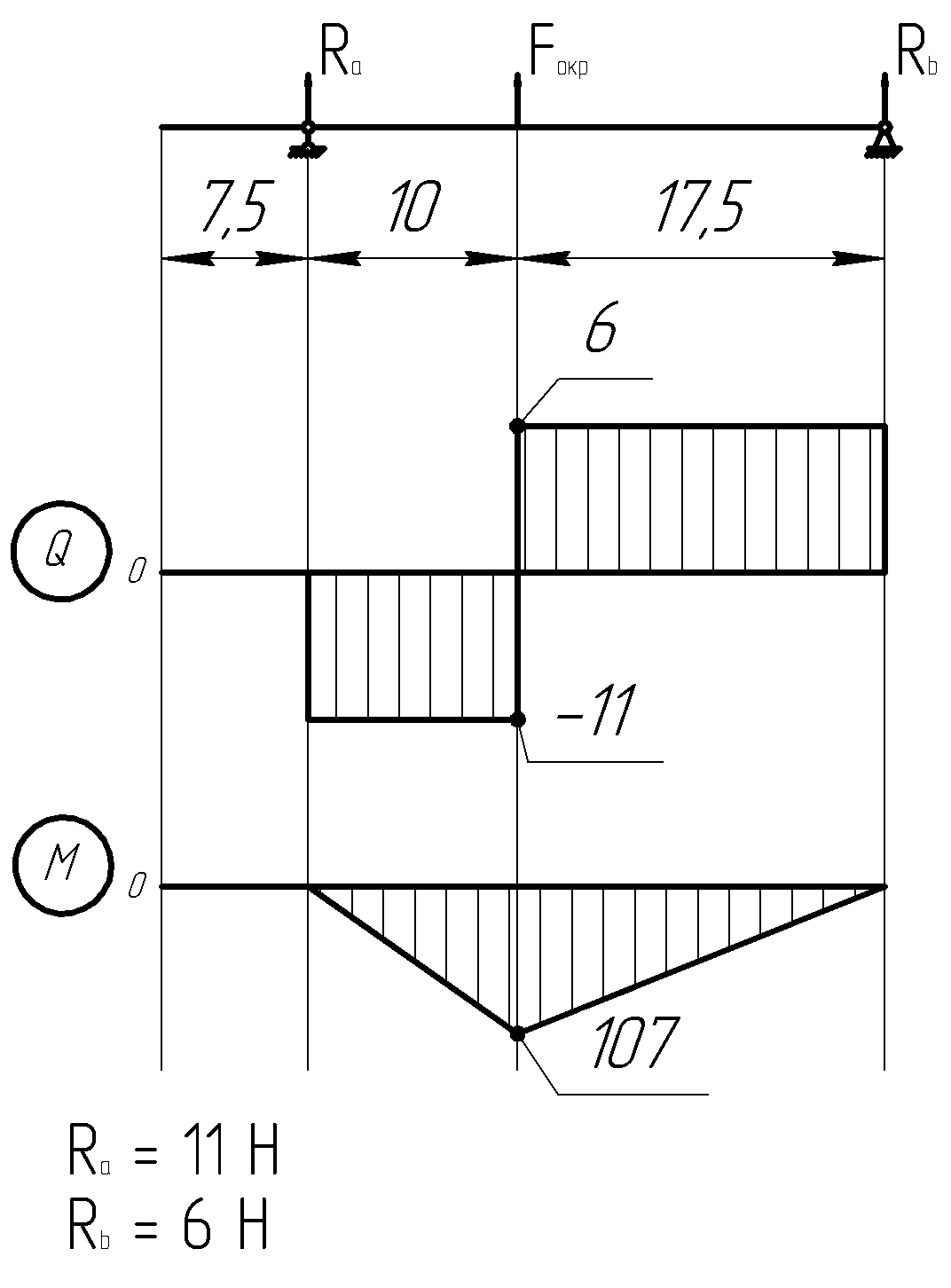
**Проверка вала на изгибную прочность**

Радиальная сила:

Окружная сила:

Нагрузка на выходном валу: Т.к. , то им можно пренебречь.



Строим эпюры в проекциях YOZ и XOZ.

XOZ

YOZ

Расчет шариковой предохранительной муфты

Муфты устанавливаем на самых тихоходной вал, т.е. выходной.

Назначим внутренний диаметр