

Курсовая: Техническая механика

Расчет червячной передачи

```
In [286... from math import pi, atan, degrees, cos, tan, radians
from IPython.display import Markdown

def degrees_to_radians(degrees, minutes=0):
    total_degrees = degrees + minutes / 60

    # Переводим градусы в радианы
    return radians(total_degrees)
```

```
In [287... # Частота вращения выходного вала редуктора
n_out = 59
# Нагрузка на выходном валу редуктора
P_out = 900
```

Выбор ЭД

```
In [287... # КПД общий
# КПД передачи = 0.8 (таблица 1.1)
kpd_m = 0.98
kpd_u = 0.8

kpd_sum = kpd_m * kpd_u
print(f"{kpd_m} * {kpd_u} = {kpd_m * kpd_u}")
```

0.98 * 0.8 = 0.784

```
In [287... # Мощность электрическая
P_en = P_out / kpd_sum
print(f"{P_out} / {kpd_sum} = {P_out / kpd_sum:.0f}")
```

900 / 0.784 = 1148

```
In [287... # Диапазон частот
print(f"{59*15} ... {59*30}")
```

885 ... 1770

Выбираю ЭД

4A80B4Y3 (3 - Чернавский стр.26)

- Частота оборотов: 1500 Об/мин
- Мощность: 1500 Вт
- Скольжение: 5.8 (3 - Чернавский стр.521, 4- Дунаев стр.457)
- Диаметр вала: 22 мм

```
In [287... # Диаметр вала электродвигателя
d_ed= 22
# Фактическая частота вращения
n_fact = 1500 * (100 - 5.8) / 100
print(n_fact)
```

1413.0

```
In [287... # Передаточное число редуктора
print(f"{n_fact} / {n_out} = {n_fact/n_out:.2f}")
```

1413.0 / 59 = 23.95

```
In [287... # Принимаю стандартное значение передаточного числа редуктора по таблице 3.2
u_p = 25
```

Определение кинематических и силовых параметров для каждого вала

Быстроходный вал

```
In [287... # Частота оборотов
n_fact
```

Out[287... 1413.0

```
In [287... # Угловая скорость
w1 = pi * n_fact / 30
print(f"{w1:.3f}")
```

147.969

```
In [287... # Мощность на входном валу после муфты
P1 = P_en * kpd_m
print(f"{P_en:.0f} * {kpd_m} = {P_en * kpd_m}")
```

1148 * 0.98 = 1125.0

```
In [288... # Момент на входном валу, Н*мм
T1 = P1 * 1000 / w1
```

```
print(T1)
```

7602.94314133258

Тихоходный вал

```
In [288... # Частота оборотов
n1 = n_fact
n2 = n1 / u_p
print(n2)
```

56.52

```
In [288... # Угловая скорость
w2 = pi * n2 / 30
print(w2)
```

5.91876055936317

```
In [288... # Мощность на выходном валу
# 0.8 - КПД для червячного редуктора (таблица 1.1)
P2 = P1 * kpd_u
print(P2)
```

900.0

```
In [288... # Вращающий момент
T2 = P2 * 1000 / w2
print(T2)
```

152058.8628266516

Заполняю таблицу 1.4

```
In [288... #from IPython.display import Markdown

Markdown(f"""
#### Таблица 1.4
##### Кинематические и силовые параметры для каждого вала редуктора
|Номер<br/>вала| Частота вращения,<br/>n, $min^{-1}$ | Угловая скорость<br/>w
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | {n1} | {w1:.3f} | {P1} | {T1:.0f}|
| 2 | {n2} | {w2:.3f} | {P2} | {T2:.0f}|
""")
```

Out[288... Таблица 1.4

Кинематические и силовые параметры для каждого вала редуктора

Номер вала	Частота вращения, n, min^{-1}	Угловая скорость $\omega, \text{с}^{-1}$	Мощность $P, \text{Вт}$	Вращающий момент $T, \text{Н}\cdot\text{мм}$
1	1413.0	147.969	1125.0	7603
2	56.52	5.919	900.0	152059

Выбор материалов и допускаемых напряжений

```
In [288... # Скорость скольжения
v_s = 4.5 * 10 ** (-4) * n1 * (T2 / 1000) ** (1/3)
print(v_s)
```

3.393844358505747

Выбираю материал для червячного колеса

Согласно таблице 3.1 стр.15

Бр А9ЖЗЛ

$$\sigma_T = 200$$

$$\sigma_B = 400$$

$$\sigma_H = 300 - 25v_s$$

$$\sigma_F = 0,25\sigma_T + 0,08\sigma_B$$

$$\sigma_H$$

```
In [288... po_h = 300 - 25 * v_s
print(f"300 - 25*{v_s:.2f} = {300 - 25*v_s:.1f}")
```

300 - 25*3.39 = 215.2

$$\sigma_F$$

```
In [288... po_f = 0.25*200 + 0.08*400
print(po_f)
```

82.0

Проектный расчет червячной передачи по контактным напряжениям

```
In [288... # Согласно таблице 3.2 выбираю стандартное передаточное отношение
# Вычисляю число зубьев колеса
z1 = 2
z2 = z1 * u_p
print(z2)
```

50

```
In [289... # Определяю межосевое расстояние
K_n = 1.1
q = 12.5
T2_m = T2 / 1000
a_w = (z2/q + 1) * ((5400/(z2/q*po_h)) ** 2 * T2_m * K_n) ** (1/3)
print(f"({z2}/{q} + 1) * ((5400/({z2}/{q}*{po_h:.0f})) ** 2 * {T2_m} * {K_n})

# Выбираю стандартное значение a_w = 125 мм
a_w = 125
```

(50/12.5 + 1) * ((5400/(50/12.5*215)) ** 2 * 152.0588628266516 * 1.1) ** (1/3) = 93.719045

```
In [289... # Определяю величину осевого модуля для стандартного a_w
m = 2*a_w/(q + z2)
print(m)
```

4.0

Выбираю стандартные значения из таблицы 3.3

$$a_w = 125 \text{ мм}$$

$$m = 4 \text{ мм}$$

$$q = 12,5$$

$$z_2 : z_1 = 50 : 2$$

Определяю геометрические параметры червяка

```
In [289... d1 = d_1b = q * m
print(d1)
```

50.0

```
In [289... da1 = d1 + 2 * m
print(da1)
```

58.0

```
In [289... df1 = d1 - 2.4*m  
print(df1)
```

40.4

```
In [289... # Длина нарезанной части червяка  
b1 = (11 + 0.06*z2)*m  
print(b1)
```

56.0

Определяю геометрические параметры колеса

```
In [289... d2 = d_2t = m * z2  
print(d2)
```

200.0

```
In [289... da2 = d2 + 2*m  
print(da2)
```

208.0

```
In [289... # Наибольший диаметр червячного колеса  
d_am2 = da2 + 6*m/(z1 + 2)  
print(f"{da2} + 6*{m}/({z1} + 2) = {da2 + 6*m/(z1 + 2)}")
```

208.0 + 6*4.0/(2 + 2) = 214.0

```
In [289... df2 = d2 - 2.4*m  
print(df2)
```

190.4

```
In [290... # Ширина зубчатого венца червячного колеса  
b2 = 0.75*da1  
print(b2)  
b2 = 44  
print(b2)
```

43.5

44

Параметры ступицы смотри далее (Конструирование червячной передачи)

```
In [290... # Проверяю выбранное значение v_s  
tg_y = z1/q  
print(tg_y)
```

0.16

```
In [290... y = atan(tg_y)  
print(y)
```

0.1586552621864014

```
In [290... # Угол в градусах
deg_y = degrees(y)
print(deg_y)
```

9.090276920822323

```
In [290... # Нормальный модуль
m_n = m*cos(y)
print(m_n)
```

3.9497625276668216

Таблица 3.4

Геометрические параметры червячной передачи

```
In [290... #from IPython.display import Markdown

Markdown(f"""
#### Таблица 3.4
##### Геометрические параметры червячной передачи
|$a_w$| u | m | q | z1 | z2 | d1 | d2 | $d_{a1}$|$d_{a2}$|$d_{f1}$|$d_{f2}$|b1|b2|$m_n$
|:---:|:---:|:---:|:---:|:---:|:---:|:---:|:---:|:---:|:---:|:---:|:---:|:---:|:---:|:---:|:---:|
|{a_w}| {u_p} | {m} | {q} | {z1} | {z2} | {d1} | {d2} | {da1} | {da2} | {df1}
""")
```

Out[290... Таблица 3.4

Геометрические параметры червячной передачи

a_w	u	m	q	z1	z2	d1	d2	d_{a1}	d_{a2}	d_{f1}	d_{f2}	b1	b2	m_n
125	25	4.0	12.5	2	50	50.0	200.0	58.0	208.0	40.4	190.4	56.0	44	3.95

Проверочный расчет по контактным напряжениям

```
In [290... # Проверяю условие прочности выбранной стандартной передачи
temp = (5400/(z2/q))*(((z2/q+1)/a_w)**3*T2_m*K_n)**(0.5)
print(f"(5400/({z2}/{q}))*((({z2}/{q}+1)/{a_w}))**3*{T2_m:.0f}*{K_n})**(0.5)

(5400/(50/12.5))*(((50/12.5+1)/125)**3*152*1.1)**(0.5) = 139.6773436750238
```

Прочность по контрольным напряжениям обеспечена так как 139 МПа < 207 МПа

Проверка прочности зубьев червячного венца на изгиб

```
In [290... # Окружная сила на колесе
Ft2 = 2 * T2/d2
print(f"2 * {T2}/{d2} = {2 * T2/d2}")
```

$2 * 152058.8628266516 / 200.0 = 1520.588628266516$

```
In [290... # Окружная сила на червяке
Ft1 = 2 * T1/d1
print(f"2 * {T1:.0f}/{d1} = {2 * T1/d1:.0f}")
```

$2 * 7603 / 50.0 = 304$

```
In [290... # Определение коэффициента формы зуба из таблицы 3.7
z_v = z2/cos(y) ** 3
print(f"{z2}/cos({y:.4f}) ** 3 = {z2/cos(y) ** 3:.1f}")
```

$50 / \cos(0.1587) ** 3 = 51.9$

Принимаю форму зуба из таблицы 3.7

$$Y_F = 1,45$$

Значения коэффициентов расчетной нагрузки K_H и K_F принимаются одинаковыми (стр.18) = 1

```
In [291... Y_F = 1.45
K_F = K_n
po_ff = 0.7*Y_F*Ft2*K_F/(b2*m_n)
print(f"0.7*{Y_F}*{Ft2}*{K_F}/({b2}*{m_n:.2f}) = {0.7*Y_F*Ft2*K_F/(b2*m_n):.1f}")
print(f"{po_ff:.1f} < {po_f}")
print("Прочность по напряжениям изгиба обеспечена")
```

$0.7 * 1.45 * 1520.588628266516 * 1.1 / (44 * 3.95) = 9.77$

$9.8 < 82.0$

Прочность по напряжениям изгиба обеспечена

Уточняю КПД червячной передачи

```
In [291... phi = "1°26'"
f_deg = lambda x: f"{int(x)}°{int((x - int(x))*60)}'"
print(f"tan({f_deg(deg_y)})/tan({f_deg(deg_y)} + {phi})")
kpd_b = tan(y)/tan(y + degrees_to_radians(1, 26))
print(kpd_b)
```

$\tan(9^\circ 5') / \tan(9^\circ 5' + 1^\circ 26')$

0.8613018256599354

Общий КПД

$$\text{КПД} = \text{КПД}_n * \text{КПД}_m$$

```
In [291... kpd_sum = kpd_b * kpd_m
print(f"{kpd_b:.3f} * {kpd_m} = {kpd_b * kpd_m:.3f}")
# print(kpd_sum)
```

$0.861 * 0.98 = 0.844$

Тепловой расчет


```
In [291... # Тепло выделяемое редуктором
FF = P1*(1 - kpd_b)
print(f"{P1}*(1 - {kpd_b:.2f}) = {P1*(1 - kpd_b):.0f}")
print(FF)
```

1125.0*(1 - 0.86) = 156
156.03544613257267

```
In [291... # Площадь редуктора без учета днища
A_plosh = 0.25*0.3 + (0.3*2 + 0.25*2)*0.1
print(f"Площадь редуктора = {0.25*0.3 + (0.3*2 + 0.25*2)*0.1} м2")
t_red = 100      # Температура редуктора допустимая
t_pom = 20       # Температура в помещении
K_tep1 = 17      # Для помещений с интенсивной вентиляцией
# Количество отведенного тепла
FF_otv = K_tep1*(t_red - t_pom)*A_plosh
print(f"Отводимое тепло {FF_otv} Вт")
```

Площадь редуктора = 0.185 м2
Отводимое тепло 251.6 Вт

Параметры ступицы смотри далее (Конструирование червячной передачи)

Расчет валов

Расчет выполняю по таблице 4.1

Быстроходный вал (червяк)

```
In [291... # 1 ступень под муфту
d_1st = 1.2 * d_ed
print(f"1.2 * {d_ed} = {1.2 * d_ed}")
d_1st = 24
print(d_1st)
```

1.2 * 22 = 26.4
24

```
In [291... # 2 ступень под уплотнение крышки с отверстием и подшипник
t = 2 # Таблица 4.2
d_2st = d_1st + 2 * t
print(d_2st)
d_2st = 30
print(d_2st)
```

28
30

```
In [291... # 3 ступень под шестерню
r = 1 # таблица 4.2
d_3st = d_2st + 3.2 * r
print(d_3st)
d_3st = 34
print(d_3st)
```

33.2

34

```
In [291... # 4 ступень
d_4st = d_2st
print(d_4st)
```

30

Тихоходной вал (червячное колесо)

```
In [291... # Выходной вал под муфту: 1-я ступень
d_1st_2 = (T2/(0.2 * 40)) ** (1/3)
print(f"({T2}/(0.2 * 40)) ** (1/3) = {(T2/(0.2 * 40)) ** (1/3):.2f}")
print(d_1st_2)
d_1st_2 = 30
print(d_1st_2)
```

$(152058.8628266516 / (0.2 * 40)) ** (1/3) = 26.69$

26.687460552848524

30

```
In [292... # 2-я ступень
t = 2.5
d_2st_2 = d_1st_2 + 2 * t
print(d_2st_2)
```

35.0

```
In [292... # 3-я ступень
d_3st_2 = d_2st_2 + 3.2 * r
print(f"{d_2st_2} + 3.2 * {r} = {d_2st_2 + 3.2 * r}")
print(d_3st_2)
d_3st_2 = 40
print(d_3st_2)
```

$35.0 + 3.2 * 1 = 38.2$

38.2

40

```
In [292... # 4-я ступень
d_4st_2 = d_2st_2
print(d_4st_2)
```

35.0

```
In [292... # Наибольший диаметр червячного колеса
d_am2 = da2 + 6*m/(z1 + 2)
print(f"{da2} + 6*{m}/({z1} + 2) = {da2 + 6*m/(z1 + 2)}")
```

208.0 + 6*4.0/(2 + 2) = 214.0

```
In [292... # Наружный диаметр ступицы
d_st = 1.8 * d_3st_2
print(f"1.8 * {d_3st_2} = {1.8 * d_3st_2}")
```

1.8 * 40 = 72.0

```
In [292... # Ширина ступицы
l_st = 1.7 * d_3st_2
print(l_st)
```

68.0

```
In [292... po_1 = po_2 = 2 * m
print(po_1)
```

8.0

```
In [292... C = 0.25 * b2
print(C)
C = 12
print(C)
```

11.0

12

```
In [292... # d винта
d_vint = 1.4*m
print(d_vint)
```

5.6

```
In [292... # l винта
l_vint = 0.4*b2
print(l_vint)
```

17.6

```
In [293... f = 0.2*d_vint
print(f"{f:.3f}")
```

1.120

Параметры ступеней валов и подшипников (табл. 4.6)

```
In [293... #from IPython.display import Markdown

l_1st = 50
l_2st = 55
l_3st = 170
l_4st = 30

l_1st_2 = 60
```

```
l_2st_2 = 45
l_3st_2 = 80
l_4st_2 = 20
```

```
Markdown(f"""
```

```
##### Быстроходный вал
```

```
| d1 / l1 | d2 / l2 | d3 / l3 | d4 / l4 |
```

```
|-----|-----|-----|-----|
```

```
| {d_1st} / {l_1st} | {d_2st} / {l_2st} | {d_3st} / {l_3st} | {d_4st} / {l_4st} |
```

```
##### Подшипники для быстроходного вала
```

```
| Обозначение | $dxDxB(T)$ | $Cr, кН$ | $C_0, кН$ | $α°$ |
```

```
|-----|-----|-----|-----|-----|
```

```
| 7506 | 30x62x21.5 | 36 | 27 | 14 |
```

```
***
```

```
##### Тихоходный вал
```

```
| d1 / l1 | d2 / l2 | d3 / l3 | d4 / l4 |
```

```
|-----|-----|-----|-----|
```

```
| {d_1st_2} / {l_1st_2} | {d_2st_2} / {l_2st_2} | {d_3st_2} / {l_3st_2} | {d_4st_2} / {l_4st_2} |
```

```
##### Подшипники для тихоходного вала
```

```
| Обозначение | $dxDxB(T)$ | $Cr, кН$ | $C_0, кН$ | $α°$ |
```

```
|-----|-----|-----|-----|-----|
```

```
| 36207 | 35x72x17 | 24 | 18 | 12 |
```

```
***
```

```
""")
```

Out[293... Быстроходный вал

d1 / l1	d2 / l2	d3 / l3	d4 / l4
24 / 50	30 / 55	34 / 170	30 / 30

Подшипники для быстроходного вала

Обозначение	$d \times D \times B(T)$	C_r , к Н	C_0 , к Н	α °
7506	30x62x21.5	36	27	14

Тихоходный вал

d1 / l1	d2 / l2	d3 / l3	d4 / l4
30 / 60	35.0 / 45	40 / 80	35.0 / 20

Подшипники для тихоходного вала

Обозначение	$d \times D \times B(T)$	C_r , к Н	C_0 , к Н	α °
36207	35x72x17	24	18	12

Выбор шпонок

Шпонки выбираю по таб. 4.8 стр 23

Быстроходный вал: шпонка

```
In [293... # Быстроходный вал: хвостовик
# Проверяю шпонку на смятие
b_sh_b = 8
h_sh_b = 7
l_obsh_b = 32
l_rb = l_obsh_b - b_sh_b
print(l_rb)
t1_b = 4
p_sm1 = 2 * T1 / (d_1st * l_rb * (h_sh_b - t1_b))
print(f"смятие = 2 * {T1} / ({d_1st} * {l_rb} * ({h_sh_b} - {t1_b})) = {2 * T1 / (d_1st * l_rb * (h_sh_b - t1_b))}")
```

24

смятие = 2 * 7602.94314133258 / (24*24*(7 - 4)) = 8.799702709875671

```
In [293... # Тихоходный вал: под колесом
# Проверяю шпонку на смятие
b_sh_t = 12
```

```

h_sh_t = 8
l_obsh_t = 50
l_rt = l_obsh_t - b_sh_t
t1_t = 5
p_sm2 = 2 * T2/(d_3st_2*l_rt*(h_sh_t - t1_t))
print(f"2 * {T2}/({d_3st_2}*{l_rt}*({h_sh_t} - {t1_t})) = {2 * T2/(d_3st_2*l

```

2 * 152058.8628266516/(40*38*(8 - 5)) = 66.69248369589982

```

In [293... # Тихоходный вал: хвостовик
# Проверяю шпонку на смятие
b_sh_out = 10
h_sh_out = 8
l_obsh_out = 56
l_r_out = l_obsh_out - b_sh_out
t1_t_out = 5
p_sm3 = 2 * T2/(d_1st_2*l_r_out*(h_sh_out - t1_t_out))
print(f"2 * {T2}/({d_1st_2}*{l_r_out}*({h_sh_out} - {t1_t_out})) = {2 * T2/(

```

2 * 152058.8628266516/(30*46*(8 - 5)) = 73.5

Таблица 4.9

Результаты проверок шпонок для всех валов

```

In [293... #from IPython.display import Markdown

Markdown(rf"""
#### Таблица 4.9
##### Результаты проверки шпонок для всех валов
|Место<br/>установки<br/>шпонки| Т, Н·мм | d, мм | bхh, мм | $t_1$, мм | l,
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Быстроходный вал,<br/>хвостовик | {T1:.0f} | {d_1st} | {b_sh_b}x{h_sh_b} |
| Тиходный вал,<br/>под колесом | {T2:.0f} | {d_3st_2} | {b_sh_t}x{h_sh_t} |
| Тиходный вал,<br/>хвостовик | {T2:.0f} | {d_1st} | {b_sh_out}x{h_sh_out} |
""")

```

Out[293... Таблица 4.9

Результаты проверки шпонок для всех валов

Место установки шпонки	T, Н·мм	d, мм	bхh, мм	t ₁ , мм	l, мм	l _p , мм	σ _{см} , МПа
Быстроходный вал, хвостовик	7603	24	8x7	4	32	24	8.80
Тиходный вал, под колесом	152059	40	12x8	5	50	38	66.69
Тиходный вал, хвостовик	152059	24	10x8	5	56	46	73.46

Определение сил в зацеплении и консольных сил от муфт

табл.4.10

```
In [293... # Окружная сила на червяке
print(f"2*{T1:.0f}/{d1} = {2*T1/d1:.0f}")
print("Ft1")
```

2*7603/50.0 = 304
Ft1

```
In [293... # Окружная сила на колесе
print(f"2*{T2:.0f}/{d2} = {2*T2/d2:.0f}")
print("Ft2")
```

2*152059/200.0 = 1521
Ft2

```
In [293... # Радиальная сила на колесе и на червяке
Fr2 = Ft2*tan(radians(20))
print(Fr2)
Fr1 = Fr2 = 720
print(f"{Fr2:.0f}")
```

553.4489992526871
720

```
In [293... # Осевая сила на червяке
Fa1 = Ft2
print(f"{Fa1:.0f}")
```

1521

```
In [294... # Осевая сила на колесе
Fa2 = Ft1
print(f"{Fa2:.0f}")
```

304

```
In [294... # Сила на муфте (быстроходный вал)
Fm1 = 4*T1 ** 0.5
print(f"{Fm1:.0f}")
```

349

```
In [294... # Сила на муфте (тихоходный вал)
Fm2 = 4*T2 ** 0.5
print(f"{Fm2:.0f}")
```

1560

Таблица 4.10

Определение сил в зацеплении и консольных сил от муфт

```
In [294... #from IPython.display import Markdown

Markdown(rf"""
#### Таблица 4.10
##### Определение сил в зацеплении и консольных сил от муфт
##### Быстроходная ступень
|Окружная| Радиальная | Осевая | Муфта |
|-----|-----|-----|-----|
|  $F_{t_1} = \frac{2 \cdot T_1}{d_1}$  |  $F_{r1} = F_{r2}$  |  $F_{a1} = F_{t2}$  |  $F_{m1} = 4\sqrt{T_1}$  |
| {Ft1:.0f} | {Fr1} | {Fa1:.0f} | {Fm1:.0f} |

##### Тиходная ступень
|Окружная| Радиальная | Осевая | Муфта |
|-----|-----|-----|-----|
|  $F_{t_2} = \frac{2 \cdot T_2}{d_2}$  |  $F_{r2} = F_{t2} \cdot \tan \alpha$  |  $F_{a2} = F_{t1}$  |  $F_{m2} = 4\sqrt{T_2}$  |
| {Ft2:.0f} | {Fr2} | {Fa2:.0f} | {Fm2:.0f} |
""")
```

Out[294... Таблица 4.10

Определение сил в зацеплении и консольных сил от муфт

Быстроходная ступень

Окружная	Радиальная	Осевая	Муфта
F_{t_1} $= \frac{2 \cdot T_1}{d_1}$	$F_{r1} = F_{r2}$	F_{a1} $= F_{t2}$	F_{m1} $= 4\sqrt{T_1}$
304	720	1521	349

Тиходная ступень

Окружная	Радиальная	Осевая	Муфта
F_{t_2} $= \frac{2 \cdot T_2}{d_2}$	$F_{r2} = F_{t2} \cdot \tan \alpha$	F_{a2} $= F_{t1}$	F_{m2} $= 4\sqrt{T_2}$
1521	720	304	1560

Реакции и эпюры

Расчет быстроходного вала

```
In [294... # Расчет места приложения сил в радиально упорном подшипнике
print(0.5*(29+0.5*(30+72)*tan(radians(12))))
```


19.920192322585564

```
In [294... # Расчет быстроходного вала
def calc_b():
    # Подшипник: 7506
    d_podsh = 30
    D_podsh = 62
    T_podsh = 21.5
    alpha_podsh = 14

    # Точка приложения опорной силы в коническом подшипнике
    a_podsh = 0.5*(T_podsh + 0.5*(d_podsh + D_podsh)*tan(radians(alpha_podsh)
    print(f"a_podsh = {a_podsh}")
    #a_podsh = 20
    # print(f"a_podsh = {a_podsh}")

    # Списки для построения эпюр
    lst_x1 = [0]
    lst_M1 = [0]
    lst_x2 = [0]
    lst_M2 = [0]

    # Червяк: длины, мм
    l1 = l_1st
    l2 = l_2st
    l3 = l_3st
    l4 = l_4st
    d1 = d_1b

    # Участки, мм
    a = T_podsh - a_podsh + l3/2
    b = a
    c = l2 - (T_podsh - a_podsh) + l1/2
    d = d1/2
    print(f"a = {a}, b = {b}, c = {c}, d = {d}")

    # Силы, Н
    Ft = Ft1
    Fr = Fr1
    Fa = Fa1
    Fm = Fm1

    #-----
    # Вертикальная плоскость: XY

    #-----1. Реакции-----
    # Моменты: положительно = против часовой стрелки

    #  $\sum M(A) = 0$ 
    #  $-Fr*a - Fa*d + Rb*(a + b) = 0$ 
    Rb = Rb1 = (Fr*a + Fa*d)/(a + b)

    #  $\sum M(B) = 0$ 
    #  $-Ra*(a + b) + Fr*b - Fa*d = 0$ 
    Ra = Ra1 = (Fr*b - Fa*d)/(a + b)
```

```

# Проверка ось Y
#  $R_a + R_b - F_r = 0$ 
assert abs(Ra + Rb - Fr) < 1e-3, 'Сумма сил должна быть равна нулю'

# Вывод результата
print("\n1.Расчет реакции опор")
print("Вертикальная плоскость: XY")
print(f"Момент  $F_a \cdot d = \{F_a \cdot d:.0f\}$  Н·мм")
print("Ось Y")
print(f"Ra = {Ra:.3f}")
print(f"Rb = {Rb:.3f}\n")

#-----2. Эпюры-----
# Силы: положительно = балка крутится
# по часовой стрелке
#
# Моменты: положительно = балка хочет изогнуться
# вверх

# 1.Участок  $0 \leq x \leq a$ 
#  $x = a$ 
Ma = Ra * a

# Записываю результат
lst_x1 += [a]
lst_M1 += [Ma]

# Вывод результата
print("\n2.Построение эпюр")
print("Вертикальная плоскость: XY")
print("1.Участок  $0 \leq x \leq a$ ")
print("x = 0:  $M_{iy} = 0$ ")
print(f"x = a:  $M_{iy} = \{Ma:.1f\}\n$ ")

# 2.Участок  $a \leq x \leq (a + b)$ 
#  $x = a$ 
Ma = Ra * a + Fa * d
#  $x = a + b$ 
Mb = Ra * (a + b) + Fa * d - Fr * b

# Записываю результат
lst_x1 += [a, a + b, a + b + c]
lst_M1 += [Ma, Mb, 0]

# Вывод результата
print("2.Участок  $a \leq x \leq (a + b)$ ")
print(f"x = a:  $M_{iy} = \{Ma:.1f\}$ ")
print(f"x = a+b:  $M_{iy} = \{Mb:.1f\}\n$ ")
print("-----\n")

#-----
# Горизонтальная плоскость: XZ

```

```

#-----1. Реакции-----
# Моменты: положительно = против часовой стрелки

#  $\sum M(A) = 0$ 
#  $F_t * a - R_b * (a + b) - F_m * (a + b + c) = 0$ 
Rb = Rb2 = (Ft*a - Fm*(a + b + c))/(a + b)

#  $\sum M(B) = 0$ 
#  $R_a * (a + b) - F_t * b - F_m * c = 0$ 
Ra = Ra2 = (Ft*b + Fm*c)/(a + b)

# Проверка ось Z
#  $R_a - F_t + R_b + F_m = 0$ 
assert abs(Ra - Ft + Rb + Fm) < 1e-3 , 'Сумма сил должна быть равна нулю'

# Вывод результата
print("1.Расчет реакции опор")
print("Горизонтальная плоскость: XZ")
print("Ось Z")
print(f"Ra = {Ra:.3f}")
print(f"Rb = {Rb:.3f}\n")

#-----2. Эпюры-----
# Силы: положительно = балка крутится
# по часовой стрелке
#
# Моменты: положительно = балка хочет изогнуться
# вверх

# 1.Участок  $0 \leq x \leq a$ 
#  $x = a$ 
Ma = -Ra * a

# Записываю результат
lst_x2 += [a]
lst_M2 += [Ma]

# Вывод результата
print("\n2.Построение эпюр")
print("Горизонтальная плоскость: XZ\n")
print("1.Участок  $0 \leq x \leq a$ ")
print("x = 0: Mxy = 0")
print(f"x = a: Mxy = {Ma:.1f}\n")

# 2.Участок  $a \leq x \leq (a + b)$ 
#  $x = a$ 
Ma = -Ra * a
#  $x = a + b$ 
Mb = -Ra * (a + b) + Ft * b

# Записываю результат
lst_x2 += [a, a + b]
lst_M2 += [Ma, Mb]

# Вывод результата

```

```

print("2.Участок  $a \leq x \leq (a + b)$ ")
print(f"x = a: Миу = {Ma:.1f}")
print(f"x = a+b: Миу = {Mb:.1f}\n")

# 3.Участок  $(a + b) \leq x \leq (a + b + c)$ 
#  $x = a + b$ 
Mb = -Ra * (a + b) + Ft * b
#  $x = a + b + c$ 
Mc = -Ra * (a + b + c) + Ft * (b + c) - Rb * c

# Записываю результат
lst_x2 += [a + b, a + b + c]
lst_M2 += [Mb, Mc]

# Вывод результата
print("3.Участок  $(a + b) \leq x \leq (a + b + c)$ ")
print(f"x = a+b: Миу = {Mb:.1f}")
print(f"x = a+b+c: Миу = {Mc:.1f}\n")

return (lst_x1, lst_M1), (lst_x2, lst_M2), (Ra1 ** 2 + Ra2 ** 2) ** 0.5,
resultY, resultX, Ra_sum_1, Rb_sum_1 = calc_b()

```

```
a_podsh = 16.484544065393155
a = 90.01545593460685, b = 90.01545593460685, c = 74.98454406539315, d = 25.
0
```

```
1.Расчет реакции опор
Вертикальная плоскость: XY
Момент  $Fa \cdot d = 38015 \text{ Н} \cdot \text{мм}$ 
Ось Y
Ra = 148.843
Rb = 571.157
```

```
2.Построение эпюр
Вертикальная плоскость: XY
1.Участок  $0 \leq x \leq a$ 
x = 0: Миу = 0
x = a: Миу = 13398.2

2.Участок  $a \leq x \leq (a + b)$ 
x = a: Миу = 51412.9
x = a+b: Миу = 0.0
```

```
1.Расчет реакции опор
Горизонтальная плоскость: XZ
Ось Z
Ra = 297.329
Rb = -341.990
```

```
2.Построение эпюр
Горизонтальная плоскость: XZ
```

```
1.Участок  $0 \leq x \leq a$ 
x = 0: Миу = 0
x = a: Миу = -26764.2
```

```
2.Участок  $a \leq x \leq (a + b)$ 
x = a: Миу = -26764.2
x = a+b: Миу = -26153.1
```

```
3.Участок  $(a + b) \leq x \leq (a + b + c)$ 
x = a+b: Миу = -26153.1
x = a+b+c: Миу = -0.0
```

Суммарная реакция опор на подшипниках быстроходного вала

```
In [294... # Подшипник A
print(f"Ra_сум = {Ra_sum_1:.1f} Н\n")
# Подшипник B
print(f"Rb_сум = {Rb_sum_1:.1f} Н\n")
```

Ra_сум = 332.5 Н

Rb_сум = 665.7 Н

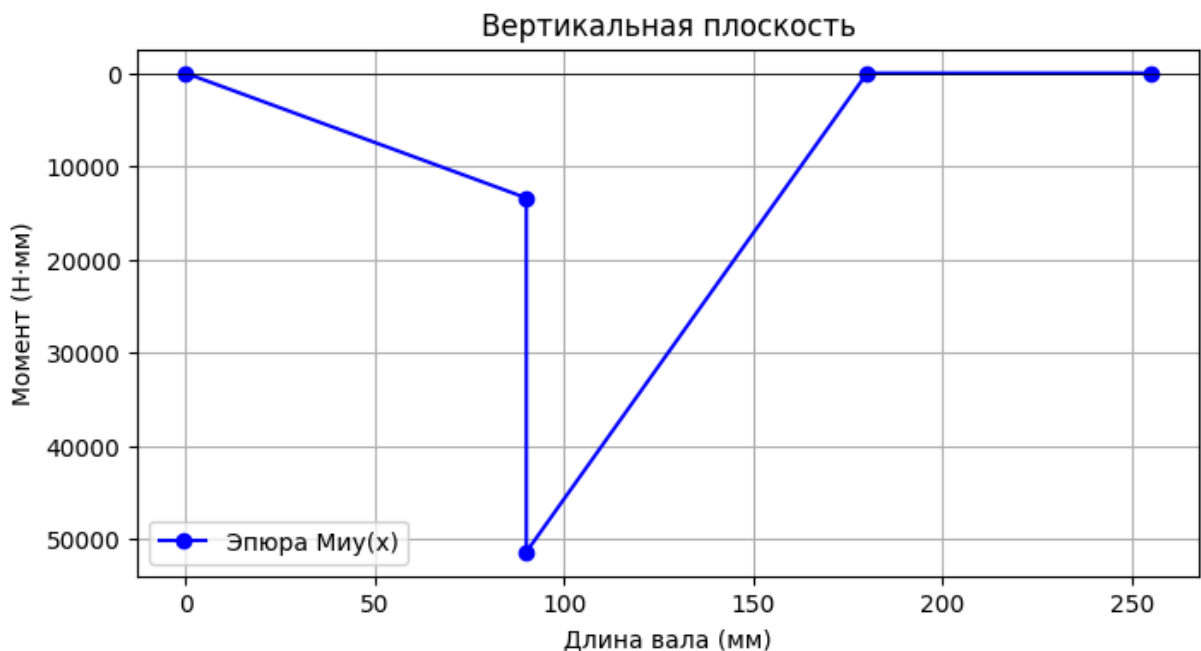
Максимальный изгибающий момент для быстроходного вала

```
In [294...] M_k1 = (51413 ** 2 + 26764 ** 2) ** 0.5  
print(f"{M_k1:.0f}")
```

57962

Графики изгибающих моментов для быстроходного вала

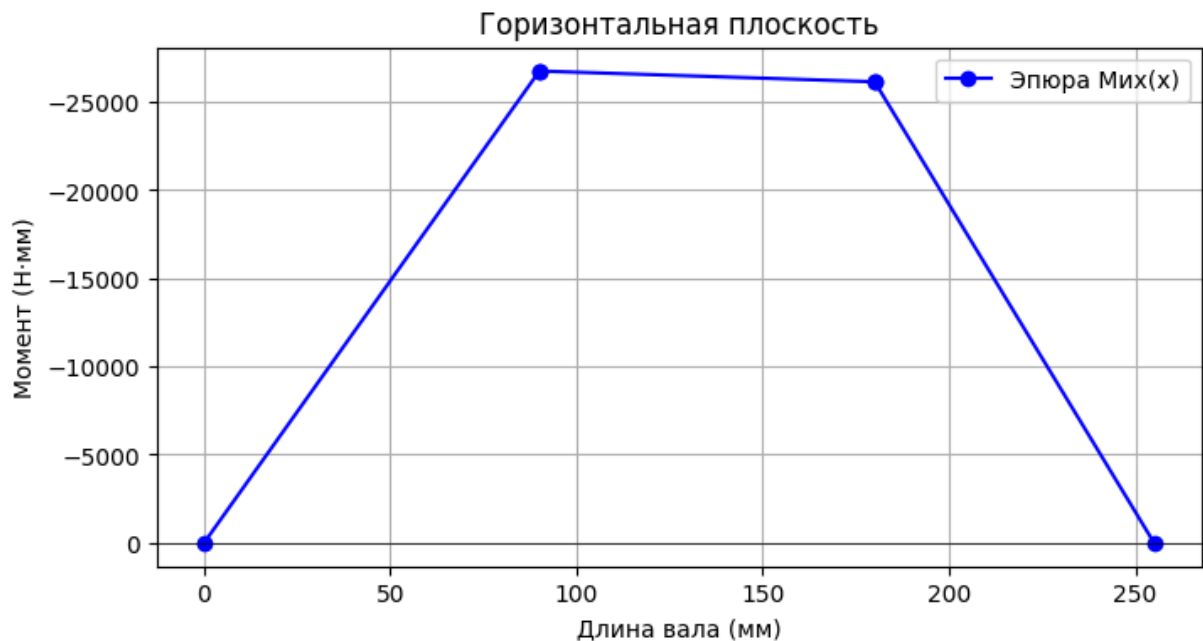
```
In [294...] import matplotlib.pyplot as plt  
  
x, M = resultY  
  
plt.figure(figsize=(8, 4))  
plt.plot(x, M, marker='o', linestyle='-', color='blue', label='Эпюра Миу(x)')  
plt.axhline(0, color='black', linewidth=0.5)  
plt.xlabel('Длина вала (мм)')  
plt.ylabel('Момент (Н·мм)')  
plt.title('Вертикальная плоскость')  
plt.grid(True)  
plt.legend()  
  
# Инвертируем ось Y  
plt.gca().invert_yaxis()  
plt.show()
```



In [294... x, M = resultX

```
plt.figure(figsize=(8, 4))
plt.plot(x, M, marker='o', linestyle='-', color='blue', label='Эпюра Мих(x)')
plt.axhline(0, color='black', linewidth=0.5)
plt.xlabel('Длина вала (мм)')
plt.ylabel('Момент (Н·мм)')
plt.title('Горизонтальная плоскость')
plt.grid(True)
plt.legend()

# Инвертируем ось Y
plt.gca().invert_yaxis()
plt.show()
```



Расчет тихоходного вала

In [295... def calc_t():

```
# Подшипник: 36207
d_podsh = 35
D_podsh = 72
B_podsh = 17
alpha_podsh = 12

# Точка приложения опорной силы в радиально-упорном подшипнике
a_podsh = 0.5*(B_podsh + 0.5*(d_podsh + D_podsh)*tan(radians(alpha_podsh)))
print(f"a_podsh = {a_podsh}")
a_podsh = 14
print(f"a_podsh = {a_podsh}")

# Списки для построения эпюр
```

```

lst_x1 = [0]
lst_M1 = [0]
lst_x2 = [0]
lst_M2 = [0]

# Тихоходный вал: длины, мм
l1 = l_1st_2
l2 = l_2st_2
l3 = l_3st_2
l4 = l_4st_2
d1 = d_2t

# Участки, мм
a = B_podsh - a_podsh + l3/2
b = a
c = l2 - (B_podsh - a_podsh) + l1/2
d = d1/2
print(f"a = {a}, b = {b}, c = {c}, d = {d}")

# Силы, Н
Ft = Ft2
Fr = Fr2
Fa = Fa2
Fm = Fm2

#-----
# Вертикальная плоскость: XY

#-----1. Реакции-----
# Моменты: положительно = против часовой стрелки

#  $\sum M(A) = 0$ 
#  $-Fr*a + Fa*d + Rb*(a + b) = 0$ 
Rb = Rb1 = (Fr*a - Fa*d)/(a + b)

#  $\sum M(B) = 0$ 
#  $-Ra*(a + b) + Fr*b + Fa*d = 0$ 
Ra = Ra1 = (Fr*b + Fa*d)/(a + b)

# Проверка ось Y
#  $Ra + Rb - Fr = 0$ 
assert Ra + Rb - Fr == 0, 'Сумма сил должна быть равна нулю'

# Вывод результата
print("\n1.Расчет реакции опор")
print("Вертикальная плоскость: XY")
print(f"Момент Fa*d = {Fa*d:.0f} Н·мм")
print("Ось Y")
print(f"Ra = {Ra:.3f}")
print(f"Rb = {Rb:.3f}\n")

#-----2. Эпюры-----
# Силы: положительно = балка крутится
# по часовой стрелке
#

```



```

# Моменты: положительно = балка хочет изогнуться
# вверх

# 1.Участок  $0 \leq x \leq a$ 
#  $x = a$ 
Ma = Ra * a

# Записываю результат
lst_x1 += [a]
lst_M1 += [Ma]

# Вывод результата
print("\n2.Построение эпюр")
print("Вертикальная плоскость: XY")
print("1.Участок  $0 \leq x \leq a$ ")
print("x = 0: Mxy = 0")
print(f"x = a: Mxy = {Ma:.1f}\n")

# 2.Участок  $a \leq x \leq (a + b)$ 
#  $x = a$ 
Ma = Ra * a - Fa * d
#  $x = a + b$ 
Mb = Ra*(a + b) - Fa * d - Fr * b

# Записываю результат
lst_x1 += [a, a + b, a + b + c]
lst_M1 += [Ma, Mb, 0]

# Вывод результата
print("2.Участок  $a \leq x \leq (a + b)$ ")
print(f"x = a: Mxy = {Ma:.1f}")
print(f"x = a+b: Mxy = {Mb:.1f}\n")
print("-----\n")

#-----
# Горизонтальная плоскость: XZ

#-----1. Реакции-----
# Моменты: положительно = против часовой стрелки

#  $\sum M(A) = 0$ 
#  $-F_t * a + R_b * (a + b) + F_m * (a+b+c) = 0$ 
Rb = Rb2 = (Ft*a - Fm*(a+b+c))/(a + b)

#  $\sum M(B) = 0$ 
#  $-R_a * (a + b) + F_t * b + F_m * c = 0$ 
Ra = Ra2 = (Ft*b + Fm*c)/(a + b)

# Проверка
assert Ra - Ft + Rb + Fm == 0 , 'Сумма сил должна быть равна нулю'

# Вывод результата
print("1.Расчет реакции опор")
print("Горизонтальная плоскость: XZ")

```

```

print(f"Ra = {Ra:.3f}")
print(f"Rb = {Rb:.3f}\n")

#-----2. Эпюры-----
# Силы: положительно = балка крутится
# по часовой стрелке
#
# Моменты: положительно = балка хочет изогнуться
# вверх

# 1.Участок  $0 \leq x \leq a$ 
#  $x = a$ 
Ma = Ra * a

# Записываю результат
lst_x2 += [a]
lst_M2 += [Ma]

# Вывод результата
print("\n2.Построение эпюр")
print("Горизонтальная плоскость: XZ\n")
print("1.Участок  $0 \leq x \leq a$ ")
print("x = 0: Миу = 0")
print(f"x = a: Миу = {Ma:.1f}\n")

# 2.Участок  $a \leq x \leq (a + b)$ 
#  $x = a$ 
Ma = Ra * a
#  $x = a + b$ 
Mb = Ra * (a + b) - Ft * b

# Записываю результат
lst_x2 += [a, a + b, a + b + c]
lst_M2 += [Ma, Mb, Ra*(a+b+c) - Ft*(b+c) + Rb*c]

# Вывод результата
print("2.Участок  $a \leq x \leq (a + b)$ ")
print(f"x = a: Миу = {Ma:.1f}")
print(f"x = a+b: Миу = {Mb:.1f}\n")
return (lst_x1, lst_M1), (lst_x2, lst_M2), (Ra1 ** 2 + Ra2 ** 2) ** 0.5,

resultY_2, resultX_2, Ra_sum_2, Rb_sum_2 = calc_t()

```

```
a_podsh = 14.185888024673092
a_podsh = 14
a = 43.0, b = 43.0, c = 72.0, d = 100.0
```

```
1.Расчет реакции опор
Вертикальная плоскость: XY
Момент Fa*d = 30412 Н·мм
Ось Y
Ra = 713.625
Rb = 6.375
```

```
2.Построение эпюр
Вертикальная плоскость: XY
1.Участок  $0 \leq x \leq a$ 
x = 0: Миу = 0
x = a: Миу = 30685.9
```

```
2.Участок  $a \leq x \leq (a + b)$ 
x = a: Миу = 274.1
x = a+b: Миу = 0.0
```

```
1.Расчет реакции опор
Горизонтальная плоскость: XZ
Ra = 2066.164
Rb = -2105.365
```

```
2.Построение эпюр
Горизонтальная плоскость: XZ
```

```
1.Участок  $0 \leq x \leq a$ 
x = 0: Миу = 0
x = a: Миу = 88845.1
```

```
2.Участок  $a \leq x \leq (a + b)$ 
x = a: Миу = 88845.1
x = a+b: Миу = 112304.8
```

Суммарная реакция опор на подшипниках тихоходного вала

```
In [295... # Подшипник A
print(f"Ra_сум = {Ra_sum_2:.1f} Н\n")
# Подшипник B
print(f"Rb_сум = {Rb_sum_2:.1f} Н\n")
```

```
Ra_сум = 2185.9 Н
```

```
Rb_сум = 2105.4 Н
```

Максимальный изгибающий момент для тихоходного вала

```
In [295... M_k12 = (30685 ** 2 + 88845 ** 2) ** 0.5
print(M_k12)
M_k22 = 112304 # Самый большой момент!!!
M_k2 = max(M_k12, M_k22)
print(f"Максимальный момент {M_k2}")
```

93994.69798876956

Максимальный момент 112304

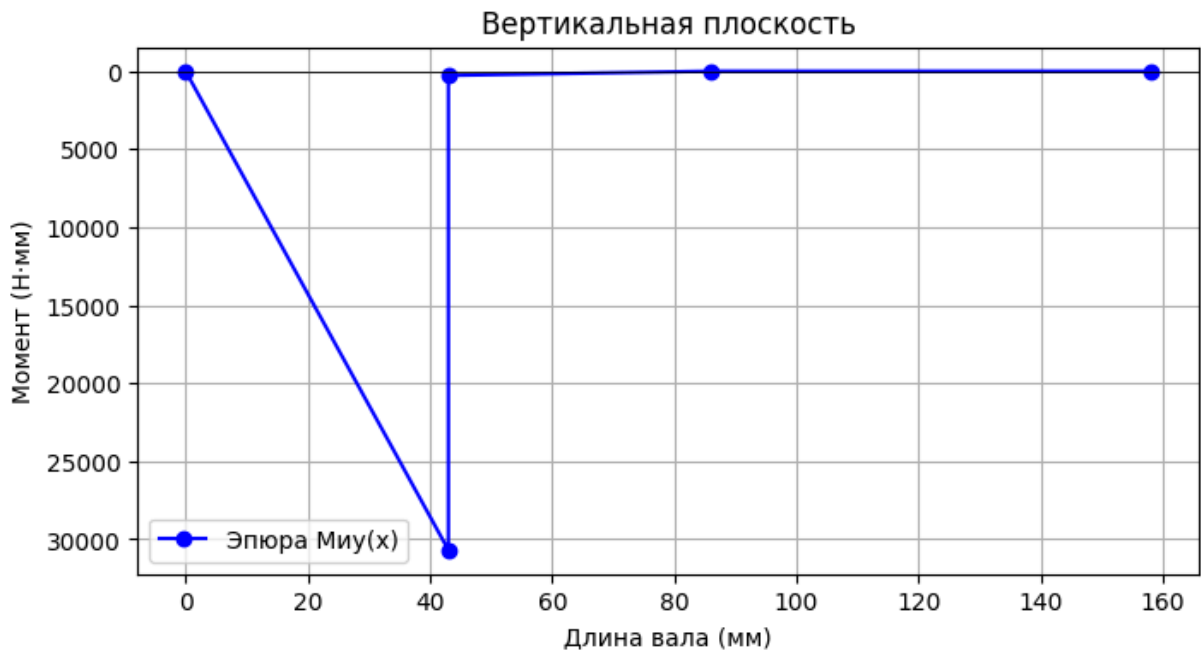
Графики изгибающих моментов для тихоходного вала

```
In [295... import matplotlib.pyplot as plt

x, M = resultY_2

plt.figure(figsize=(8, 4))
plt.plot(x, M, marker='o', linestyle='-', color='blue', label='Эпюра Миу(x)')
plt.axhline(0, color='black', linewidth=0.5)
plt.xlabel('Длина вала (мм)')
plt.ylabel('Момент (Н·мм)')
plt.title('Вертикальная плоскость')
plt.grid(True)
plt.legend()

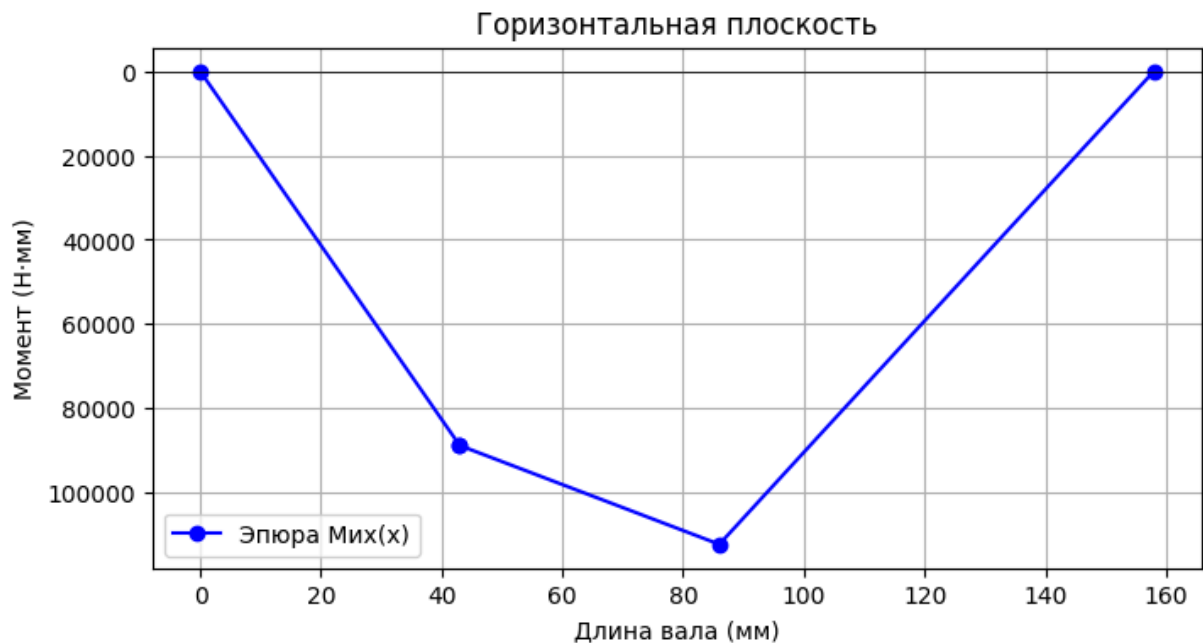
# Инвертируем ось Y
plt.gca().invert_yaxis()
plt.show()
```



```
In [295... x, M = resultX_2

plt.figure(figsize=(8, 4))
plt.plot(x, M, marker='o', linestyle='-', color='blue', label='Эпюра Мих(x)')
plt.axhline(0, color='black', linewidth=0.5)
plt.xlabel('Длина вала (мм)')
plt.ylabel('Момент (Н·мм)')
plt.title('Горизонтальная плоскость')
plt.grid(True)
plt.legend()

# Инвертируем ось Y
plt.gca().invert_yaxis()
plt.show()
```



Проверка валов на усталостную прочность

Быстроходный вал

```
In [295... # Считаю коэффициент для углеродистой стали
# po_b = 900 (3 - Чернавский стр 88)
po_b = 900
po__1 = 0.43*po_b
print(po__1)
```

387.0

```
In [295... t__1 = 0.58*po__1
print(int(t__1))
```

224

```
In [295... W_netto = 0.1 * df1 ** 3
print(f"W_netto = {W_netto}")
W_knetto = 0.2*df1 ** 3
print(f"W_knetto = {W_knetto}")
po_a = M_k1/W_netto
print(f"po_a = {po_a}")
```

W_netto = 6593.9264
W_knetto = 13187.8528
po_a = 8.790229725776864

```
In [295... k_po = 2.45
k_f = 0.9
k_t = 2
k_d = 0.85
t_a = 0.5*T1/W_knetto
ksi = 0.1
ksi_t = 0.05
po_m = 20
t_m = 40
print(t_a)
```

0.28825553547779137

```
In [295... s_po = po__1/(k_po*po_a/(k_d*k_f) + ksi*po_m)
print(f"{po__1}/({k_po}*{po_a}/({k_d}*{k_f}) + {ksi}*{po_m}) = {po__1/(k_po*
print(s_po)
```

387.0/(2.45*8.790229725776864/(0.85*0.9) + 0.1*20) = 12.835090331872747
12.835090331872747

```
In [296... s_t = t__1/(k_t*t_a/(k_d*k_f) + ksi_t*t_m)
print(f"{t__1}/({k_t}*{t_a}/({k_d}*{k_f}) + {ksi_t}*{t_m}) = {t__1/(k_t*t_a/
print(s_t)
```

224.45999999999998/(2*0.28825553547779137/(0.85*0.9) + 0.05*40) = 81.5148338
7272482
81.51483387272482

```
In [296... s_1 = s_po * s_t/(s_po ** 2 + s_t ** 2) ** 0.5
print(s_1)
```

12.678880513780676

Для быстроходного вала

Вывод: 12,437 > [s = 2,5..3]

Тихоходный вал

```
In [296... # Тихоходный вал
# W_netto2 = 0.1 * d_3st_2 ** 3
W_netto2 = 0.1 * d_2st_2 ** 3 # Изгибающий момент на подшипнике B
print(f"W_netto2 = {W_netto2}")
W_knetto2 = 0.2*d_2st_2 ** 3
print(f"W_knetto2 = {W_knetto2}")
```

```
po_a2 = M_k2/W_netto2
print(f"po_a2 = {po_a2}")
```

```
W_netto2 = 4287.5
W_knetto2 = 8575.0
po_a2 = 26.1933527696793
```

```
In [296... t_a2 = 0.5*T2/W_knetto2
print(t_a2)
```

```
8.866405995723126
```

```
In [296... s_po2 = po__1/(k_po*po_a2/(k_d*k_f) + ksi*po_m)
print(f"{po__1}/({k_po}*{po_a2}/({k_d}*{k_f}) + {ksi}*{po_m}) = {po__1/(k_po
print(s_po2)
```

```
387.0/(2.45*26.1933527696793/(0.85*0.9) + 0.1*20) = 4.50590964633441
4.50590964633441
```

```
In [296... s_t2 = t__1/(k_t*t_a2/(k_d*k_f) + ksi_t*t_m)
print(f"{t__1}/({k_t}*{t_a2}/({k_d}*{k_f}) + {ksi_t}*{t_m}) = {t__1/(k_t*t_a
print(s_t2)
```

```
224.45999999999998/(2*8.866405995723126/(0.85*0.9) + 0.05*40) = 8.9141658069
57444
8.914165806957444
```

```
In [296... s_2 = s_po2 * s_t2/(s_po2 ** 2 + s_t2 ** 2) ** 0.5
print(s_2)
```

```
4.021358895486291
```

Для тихоходного вала

Вывод: 3,61 > [s = 2,5..3]

Таблица 4.16

Результаты проверки вала на усталость

```
In [296... #from IPython.display import Markdown
```

```
Markdown(rf"""
```

```
#### Таблица 4.16
```

```
##### Результаты проверки вала на усталость
```

```
##### Быстроходный вал, сталь 40X, термообработка: ТВЧ, HB = 280,  $\sigma_{в}$  = 900
|Сечение (d, мм)| $k_{\sigma}$ | $k_{\tau}$ | $M_{и}$ | T | $W_{\{\{нетто\}\}}$ | $W_{\{\{k\};нетто\}}$
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| {df1} | {k_po} | {k_t} | {M_k1:.0f} | {T1:.0f} | {W_netto:.0f} | {W_knetto
```

```
##### Тихоходный вал, сталь 40X, термообработка: ТВЧ, HB = 280,  $\sigma_{в}$  = 900
|Сечение (d, мм)| $k_{\sigma}$ | $k_{\tau}$ | $M_{и}$ | T | $W_{\{\{нетто\}\}}$ | $W_{\{\{k\};нетто\}}$
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| {d_2st_2} | {k_po} | {k_t} | {M_k2:.0f} | {T2:.0f} | {W_netto2:.0f} | {W_k
```

Out[296... Таблица 4.16

Результаты проверки вала на усталость

Быстроходный вал, сталь 40X, термообработка: ТВЧ, HB = 280, $\sigma_B = 900$

Сечение (d, мм)	k_σ	k_τ	M_H	T	$W_{\text{нETTO}}$	$W_{K \text{ нETTO}}$	σ_a	τ_a	s_σ	s_τ	s	----- ---
--- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----												
							40.4	2.45	2	57962		
7603	6594	13188	8.790	0.288	12.84	81.51	12.68					

Тихоходный вал, сталь 40X, термообработка: ТВЧ, HB = 280, $\sigma_B = 900$

Сечение (d, мм)	k_σ	k_τ	M_H	T	$W_{\text{нETTO}}$	$W_{K \text{ нETTO}}$	σ_a	τ_a	s_σ	s_τ	s	----- ---
--- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----												
							35.0	2.45	2	112304		
152059	4288	8575	26.193	8.866	4.51	8.91	4.02					

Проверка подшипников по динамической грузоподъемности

Расчет подшипников на быстроходном валу

```
In [296... K_b = 1.3
S_1b = None
S_2b = None
Fa1_b = None
Fa2_b = None
F1_ekv_b = None
F2_ekv_b = None
L_h1_b = None
L_h2_b = None
Cr_b = 36
print(f"Fa1/VFr_A = {Fa1/Ra_sum_1:.1f}")
print(f"Fa1/VFr_B = {Fa1/Rb_sum_1:.1f}")
```

Fa1/VFr_A = 4.6

Fa1/VFr_B = 2.3

```
In [296... def resurs1():

    global S_1b, S_2b, Fa1_b, Fa2_b, F1_ekv_b, F2_ekv_b, L_h1_b, L_h2_b

    # Частота оборотов
    n = n1

    # Подшипник: данные
    # 7506
    Cr = Cr_b * 1000
    e = 0.365
    Y = 1.645
    X = 0.4
```



```

# d = 30
# D = 62
# T = 21.5

V = 1
Kb = K_b
Kt = 1
p = 10/3

# -----Силы-----
#
#      (Fa)--->
#   (A)--->      <---(B)
#
# Силы от подшипников и осевая сила
# направлены как на рисунке: Vab == True
#
# Если сила Fa направлена в другую сторону
# Установить флаг Vab == false или указать
# силу со знаком минус

Vab = True

# Силы: указывать в Ньютонах
Fa = Fa1
Ra = Ra_sum_1
Rb = Rb_sum_1

print("Входные данные")
print("\nСилы:")
print(f"Fa = {Fa}")
print(f"Ra = {Ra}")
print(f"Rb = {Rb}")

print("\nПодшипник:")
print(f"Cr = {Cr}")
print(f"e = {e}")
print(f"X = {X}")
print(f"Y = {Y}")

print("\nПостоянные:")
print(f"p = {p:.3f}")
print(f"V = {V}")
print(f"Kb = {Kb}")
print(f"Kt = {Kt}")

if Fa < 0:
    Vab = False
    Fa = -Fa

S1 = S_1b = 0.83 * e * Ra
S2 = S_2b = 0.83 * e * Rb

if Vab:
    F1 = S1 if (-S1 - Fa + S2) < 0 else S2 - Fa

```

```

F2 = S2 if (S1 + Fa - S2) < 0 else S1 + Fa
else:
    F1 = S1 if (-S1 + Fa + S2) < 0 else S2 + Fa
    F2 = S2 if (S1 - Fa - S2) < 0 else S1 - Fa

Fa1_b, Fa2_b = F1, F2
f_ek = lambda r, a: (X*V*r + Y*a)*Kb*Kt
F1_ek = F1_ekv_b = f_ek(Ra, F1)
F2_ek = F2_ekv_b = f_ek(Rb, F2)

print("\nВыходные данные")
print(f"Fa = {Fa}")
print(f"Ra = {Ra:.1f}")
print(f"Rb = {Rb:.1f}")
print(f"S1 = {S1:.1f}")
print(f"S2 = {S2:.1f}")
print(f"F1 = {F1:.1f}")
print(f"F2 = {F2:.1f}")
print(f"Fa1/VFr1 = {F1/Ra:.1f}")
print(f"Fa2/VFr2 = {F2/Rb:.1f}")
print(f"F1_ek = {F1_ek:.1f}")
print(f"F2_ek = {F2_ek:.1f}")

f_l = lambda x: (Cr/x) ** p
L1 = f_l(F1_ek)
L2 = f_l(F2_ek)

print(f"Срок службы 1-го подшипника = {L1:.0f} млн.об")
print(f"Срок службы 2-го подшипника = {L2:.0f} млн.об")

f_lh = lambda x: 1e6 * x / (60 * n)
lh1 = L_h1_b = f_lh(L1)
lh2 = L_h2_b = f_lh(L2)

print(f"Срок службы 1-го подшипника = {lh1:.0f} часов")
print(f"Срок службы 2-го подшипника = {lh2:.0f} часов")

```

resurs1()

Входные данные

Силы:

$$F_a = 1520.588628266516$$

$$R_a = 332.5037294096711$$

$$R_b = 665.7156454959699$$

Подшипник:

$$C_r = 36000$$

$$e = 0.365$$

$$X = 0.4$$

$$Y = 1.645$$

Постоянные:

$$p = 3.333$$

$$V = 1$$

$$K_b = 1.3$$

$$K_t = 1$$

Выходные данные

$$F_a = 1520.588628266516$$

$$R_a = 332.5$$

$$R_b = 665.7$$

$$S_1 = 100.7$$

$$S_2 = 201.7$$

$$F_1 = 100.7$$

$$F_2 = 1621.3$$

$$F_{a1}/V_{Fr1} = 0.3$$

$$F_{a2}/V_{Fr2} = 2.4$$

$$F_{1_ek} = 388.3$$

$$F_{2_ek} = 3813.4$$

$$\text{Срок службы 1-го подшипника} = 3606222 \text{ млн.об}$$

$$\text{Срок службы 2-го подшипника} = 1778 \text{ млн.об}$$

$$\text{Срок службы 1-го подшипника} = 42536231 \text{ часов}$$

$$\text{Срок службы 2-го подшипника} = 20974 \text{ часов}$$

Подшипники быстроходного вала проработают дольше указанного в задании срока $20974 > 16000$ часов

Расчет подшипников на тихоходном валу

Устанавливаю радиально-упорные подшипники для схемы установки вала "враспор". Для этого выбираю минимально-возможный подшипник "36207"

Подшипник нахожу в 3-Чернавский стр.435 (или 219 дежавю): **36207** ($\alpha = 12^\circ$)

Определяю e

```
In [297... C_0_podsh_t = 18100  
print(f"{Fa2}/{C_0_podsh_t} = {Fa2/C_0_podsh_t}")
```

$$304.1177256533032/18100 = 0.016802084290237745$$

Определяю e по таблице 5.1

Для соотношения $F_a/C_0 = 0,021$ и для $\alpha = 12$ выбираю примерное $e = 0,32$ (радиально-упорный шариковый однорядный)

Для

$$F_a/C_a = 0.021 < e = 0.32$$

Устанавливаю:

$$X = 1$$

$$Y = 0$$

Определяю соотношение $F_a/(V F_r)$ для обоих подшипников

```
In [297... V = 1
# Подшипник A
print(f"{Fa2}/{(V*Ra_sum_2)} = {Fa2/(V*Ra_sum_2)}")

# Подшипник B
print(f"{Fa2}/{(V*Rb_sum_2)} = {Fa2/(V*Rb_sum_2)}")
```

304.1177256533032/(1*2185.931266305992) = 0.13912501748841907

304.1177256533032/(1*2105.3742447283985) = 0.14444829769091033

В обоих случаях соотношение $F_a/(V F_r)$ меньше e

```
In [297... # Устанавливаю e
e_podsh_t = 0.32
X_podsh_t = 1
Y_podsh_t = 0

S_1t = None
S_2t = None
Fa1_t = None
Fa2_t = None
F1_ekv_t = None
F2_ekv_t = None
L_h1_t = None
L_h2_t = None
Cr_t = 24
```

```
In [297... def resurs2():

    global S_1t, S_2t, Fa1_t, Fa2_t, F1_ekv_t, F2_ekv_t, L_h1_t, L_h2_t

    # Частота оборотов
    n = n2

    # Подшипник: данные
    # 36207
    Cr = Cr_t * 1000
    C0 = C_0_podsh_t
    alpha = 12
```

```

e = e_podsh_t
X = X_podsh_t
Y = Y_podsh_t

V = 1
Kb = K_b
Kt = 1
p = 3

# -----Силы-----
#
#      (Fa)--->
#  (A)--->      <---(B)
#
# Силы от подшипников и осевая сила
# направлены как на рисунке: Vab == True
#
# Если сила Fa направлена в другую сторону
# Установить флаг Vab == false или указать
# силу со знаком минус

Vab = False

# Силы: указывать в Ньютонах
Fa = Fa2
Ra = Ra_sum_2
Rb = Rb_sum_2

print("Входные данные")
print("\nСилы:")
print(f"Fa = {Fa}")
print(f"Ra = {Ra}")
print(f"Rb = {Rb}")

print("\nПодшипник:")
print(f"Cr = {Cr}")
print(f"C0 = {C0}")
print(f"e = {e}")
print(f"X = {X}")
print(f"Y = {Y}")

print("\nПостоянные:")
print(f"p = {p}")
print(f"V = {V}")
print(f"Kb = {Kb}")
print(f"Kt = {Kt}")

if Fa < 0:
    Vab = False
    Fa = -Fa

S1 = S_1t = e * Ra
S2 = S_2t = e * Rb

if Vab:

```

```

F1 = S1 if (-S1 - Fa + S2) < 0 else S2 - Fa
F2 = S2 if (S1 + Fa - S2) < 0 else S1 + Fa
else:
    F1 = S1 if (-S1 + Fa + S2) < 0 else S2 + Fa
    F2 = S2 if (S1 - Fa - S2) < 0 else S1 - Fa

```

```

Fa1_t, Fa2_t = F1, F2
f_ek = lambda r, a: (X*V*r + Y*a)*Kb*Kt

```

```

print(f"Fa(A)/C0 = {F1/C0:.1f}")
print(f"Fa(B)/C0 = {F2/C0:.1f}")

```

```

F1_ek = F1_ekv_t = f_ek(Ra, F1)
F2_ek = F2_ekv_t = f_ek(Rb, F2)

```

```

print("\nВыходные данные")
print(f"Fa = {Fa}")
print(f"Ra = {Ra:.1f}")
print(f"Rb = {Rb:.1f}")
print(f"S1 = {S1:.1f}")
print(f"S2 = {S2:.1f}")
print(f"F1 = {F1:.1f}")
print(f"F2 = {F2:.1f}")
print(f"Fa1/VFr1 = {F1/Ra:.1f} > 0.35 - нужен радиально-упорный подшипник")
print(f"Fa2/VFr2 = {F2/Rb:.1f} > 0.35 - нужен радиально-упорный подшипник")
print(f"F1_ek = {F1_ek:.1f}")
print(f"F2_ek = {F2_ek:.1f}")

```

```

f_l = lambda x: (Cr/x) ** p
L1 = f_l(F1_ek)
L2 = f_l(F2_ek)

```

```

print(f"Срок службы 1-го подшипника = {L1:.0f} млн.об")
print(f"Срок службы 2-го подшипника = {L2:.0f} млн.об")

```

```

f_lh = lambda x: 1e6 * x / (60 * n)
lh1 = L_h1_t = f_lh(L1)
lh2 = L_h2_t = f_lh(L2)

```

```

print(f"Срок службы 1-го подшипника = {lh1:.0f} часов")
print(f"Срок службы 2-го подшипника = {lh2:.0f} часов")

```

```

resurs2()

```

Входные данные

Силы:

$$F_a = 304.1177256533032$$

$$R_a = 2185.931266305992$$

$$R_b = 2105.3742447283985$$

Подшипник:

$$C_r = 24000$$

$$C_0 = 18100$$

$$e = 0.32$$

$$X = 1$$

$$Y = 0$$

Постоянные:

$$p = 3$$

$$V = 1$$

$$K_b = 1.3$$

$$K_t = 1$$

$$F_a(A)/C_0 = 0.1$$

$$F_a(B)/C_0 = 0.0$$

Выходные данные

$$F_a = 304.1177256533032$$

$$R_a = 2185.9$$

$$R_b = 2105.4$$

$$S_1 = 699.5$$

$$S_2 = 673.7$$

$$F_1 = 977.8$$

$$F_2 = 673.7$$

$$F_{a1}/V_{Fr1} = 0.4 > 0.35 \text{ - нужен радиально-упорный подшипник}$$

$$F_{a2}/V_{Fr2} = 0.3 > 0.35 \text{ - нужен радиально-упорный подшипник}$$

$$F_{1_ek} = 2841.7$$

$$F_{2_ek} = 2737.0$$

$$\text{Срок службы 1-го подшипника} = 602 \text{ млн.об}$$

$$\text{Срок службы 2-го подшипника} = 674 \text{ млн.об}$$

$$\text{Срок службы 1-го подшипника} = 177640 \text{ часов}$$

$$\text{Срок службы 2-го подшипника} = 198821 \text{ часов}$$

Таблица 5.2

Сводная таблица к выбору подшипников качения

In [297... `#from IPython.display import Markdown`

```
Markdown(rf"""
```

```
#### Таблица 5.2
```

```
##### Сводная таблица к выбору подшипников качения
```

```
#### Быстроходный вал:
```

```
#####  $K_b = \{K_b\}$ ,  $K_t = 1$ , Частота вращения =  $\{n1:.0f\} \text{ } \min^{\{-1\}} \{ \}$ 
```

```
|Номер<br/>опоры|Радиальная нагрузка<br/>на подшипник<br/> $F_r$ , Н |  $F_a$  в
```

```
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
```

```
| 1) левый<br/>подшипник (A) |  $\{R_{a\_sum\_1:.1f}\}$  |  $\{F_{a1:.0f}\}$  |  $\{S_{1b:.1f}\}$  |  $\{F_{a1}$ 
```

```
| 2) правый<br/>подшипник (B) |  $\{R_{b\_sum\_1:.1f}\}$  |  $\{F_{a1:.0f}\}$  |  $\{S_{2b:.1f}\}$  |  $\{F_{a1}$ 
```

Тихоходный вал:

$K_6 = \{K_b\}$, $K_t = 1$, Частота вращения = $\{n2:.0f\} \text{ } \min^{\{-1\}}$

|Номер
опоры|Радиальная нагрузка
на подшипник
 F_r , Н | F_a в

|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

| 1) левый
подшипник (A) | $\{Ra_sum_2:.1f\}$ | $\{Fa2:.0f\}$ | $\{S_1t:.1f\}$ | $\{Fa$

| 2) правый
подшипник (B) | $\{Rb_sum_2:.1f\}$ | $\{Fa2:.0f\}$ | $\{S_2t:.1f\}$ | $\{F$

""")

Таблица 5.2

Сводная таблица к выбору подшипников качения

Быстроходный вал:

$$K_6 = 1.3, K_T = 1, \text{ Частота вращения} = 1413 \text{ min}^{-1}$$

|Homer

опоры|Радиальная нагрузка

на подшипник

$$F_r, H \mid F_a \text{ B}$$
зацеплении, $H \mid S_1$ или $S_2, H \mid F_{a1}$ или

F_{a2} | Эквивалентная

нагрузка

$F_{\text{ЭКВ}}$ | Паспортная

динамическая

грузоподъемность

С, кН | Расчетная

долговечность

подshipника

L_h , час |-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----| 1) левый

подшипник (А) | 332.5 | 1521 | 100.7 | 100.7 | 388 | 36 | 42536231 | | 2) правый

подшипник (В) | 665.7 | 1521 | 201.7 | 1621.3 | 3813 | 36 | 20974 |

Тихоходный вал:

$$K_6 = 1.3, K_T = 1, \text{ Частота вращения} = 57 \text{ min}^{-1}$$

|Homer

опоры|Радиальная нагрузка

на подшипник

$$F_r, H \mid F_a \text{ B}$$
зацеплении, $H \mid S_1$ или $S_2, H \mid F_{a,1}$ или F_{a2} | Эквивалентная

нагрузка

$F_{\text{ЭКВ}}$ | Паспортная

динамическая

грузоподъемность

С, кН | Расчетная

долговечность

подшипника

L_h , час |-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----| | 1) левый
 подшипник (А) | 2185.9 | 304 | 699.5 | 977.8 | 2842 | 24 | 177640 | | 2) правый
 подшипник (В) | 2105.4 | 304 | 673.7 | 673.7 | 2737 | 24 | 198821 |

Конструирование корпуса

Основные элементы корпуса из чугуна (табл. 6.1 стр 32)

```
In [297... # Толщина стенки корпуса редуктора
po_stenka = 0.04*a_w + 2
print(po_stenka)
```

7.0

```
In [297... # Толщина крышки редуктора
po_1_krishka = 0.032*a_w + 2
print(po_1_krishka)
```

6.0

```
In [297... # Толщина верхнего пояса(фланца) корпуса
b_korp = 1.5*po_stenka
print(b_korp)
b_korp = 10
print(b_korp)
```

10.5

10

```
In [297... # Толщина нижнего пояса (фланца) крышки корпуса
b_krishka = 1.5*po_1_krishka
print(b_krishka)
```

9.0

```
In [297... # Толщина нижнего пояса корпуса
# При наличии бобышки
p1_korp = 1.5*po_stenka
print(p1_korp)
p1_korp = 10
print(p1_korp)

p2_korp = 2.25 * po_stenka
print(p2_korp)
p2_korp = 16
print(p2_korp)
```

10.5

10

15.75

16

```
In [298... # Толщина ребер основания корпуса
m_korp = 0.85*po_stenka
```

```
print(m_korp)
m_korp = 6
print(m_korp)
```

5.95
6

```
In [298... # Толщина ребер крышки
m1_krishka = 0.85*po_1_krishka
print(m)
m1_krishka = 5
print(m)
```

4.0
4.0

```
In [298... # Диаметр фундаментных болтов (их число больше либо равно 4) (округляют до с
d1_bolt = 0.03 * a_w + 12
print(d1_bolt)
d1_bolt = 16
print(d1_bolt)
```

15.75
16

```
In [298... # Диаметр болтов у подшипников
d2_bolt = 0.7*d1_bolt
print(d2_bolt)
d2_bolt = 12
print(d2_bolt)
```

11.2
12

```
In [298... # Диаметр болтов соединяющих основание корпуса с крышкой
d3_bolt = 0.5*d1_bolt
print(d3_bolt)
```

8.0

```
In [298... # Размеры определяющие положение болтов d2
e_bolt = 1*d2_bolt
print(e_bolt)
```

12

```
In [298... # Размеры определяющие положение болтов d2

d4_bolt = 8 # Диаметр винтов крепления крышки подшипников (табл. 6.2)
q_bolt = 0.5 * d2_bolt + d4_bolt
print(q_bolt)
```

14.0

Дополнительные элементы корпуса из чугуна (табл. 6.1 стр 32)

Гнездо под подшипник

```
In [298... # Винты крепления крышки подшипника d4
print(d4_bolt)
```

8

```
In [298... # Число винтов
n_vint = 4
print(n_vint)
```

4

```
In [298... # Диаметр гнезда для торцевых крышек подшипника
# Наружный диаметр подшипника 7606
D_t = 62
# Диаметр с припуском
Dk_t_prip = D_t + 2
print(Dk_t_prip)
```

64

```
In [299... # Диаметр гнезда для торцевых крышек подшипника
# Наружный диаметр подшипника 36207
D_b = 72
# Диаметр с припуском (торцевая крышка)
Dk_b_prip = D_b + 2
print(Dk_b_prip)
```

74

```
In [299... # Длина гнезда минимальная
# l_gnez = B(Ширина подшипника) + K2(высота буртика удерживающего подшипник)
# Ширина подшипника 36207
B_podsh = 17
l_gnez_t = B_podsh + 4 + 4
print(l_gnez_t)
```

25

```
In [299... # Длина гнезда минимальная
# l_gnez = B(Ширина подшипника) + K2(высота буртика удерживающего подшипник)
# Ширина подшипника 7506
B_podsh_b = 21.5
l_gnez_b = B_podsh_b + 4 + 5
print(l_gnez_b)
```

30.5

Размеры штифта

```
In [299... # Диаметр
d_shtift = d3_bolt
print(d_shtift)
```

8.0

```
In [299... # Длина
l_shtift = b_korp + b_krishka + 5
```

```
print(l_shtift)
```

24.0

Наименьший зазор между наружной поверхностью колеса и стенкой корпуса

```
In [299... # По диаметру и по торцам  
x_zazor = 1.1 * po_stenka  
print(x_zazor)  
x_zazor = 8  
print(x_zazor)
```

7.7000000000000001

8

```
In [299... # До днища от колеса  
Y_zazor = 40  
print(Y_zazor)
```

40