6. ПРОВЕРКА ВАЛОВ, ПОДШИПНИКОВ И ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В AUTODESK INVENTOR 2019

6.1 Допускаемые значения для проверки валов на прочность и жесткость

Допускаемая стрела прогиба под колесом для быстроходной ступени:

$$[y_{\text{Б}}] \approx 0{,}01 \cdot m = 0{,}01 \cdot 2{,}5 = 0{,}025 \text{ [мм]} \quad (6.1)$$

Допускаемая стрела прогиба под колесом для тихоходной ступени:

$$[y_{\text{Т}}] \approx 0{,}005 \cdot m = 0{,}005 \cdot 10 = 0{,}05 \text{ [мм]} \quad (6.2)$$

В соответствии с [2, стр.302] допускаемый угол поворота (отклонения) вала: $[\theta] = 0{,}005$ рад.

Допускаемое действующее напряжение кручения: $[\tau] = (12 \dots 15)$ МПа.

6.2 Проверка сконструированных валов на прочность и жесткость

1) Проверка быстроходного вала:

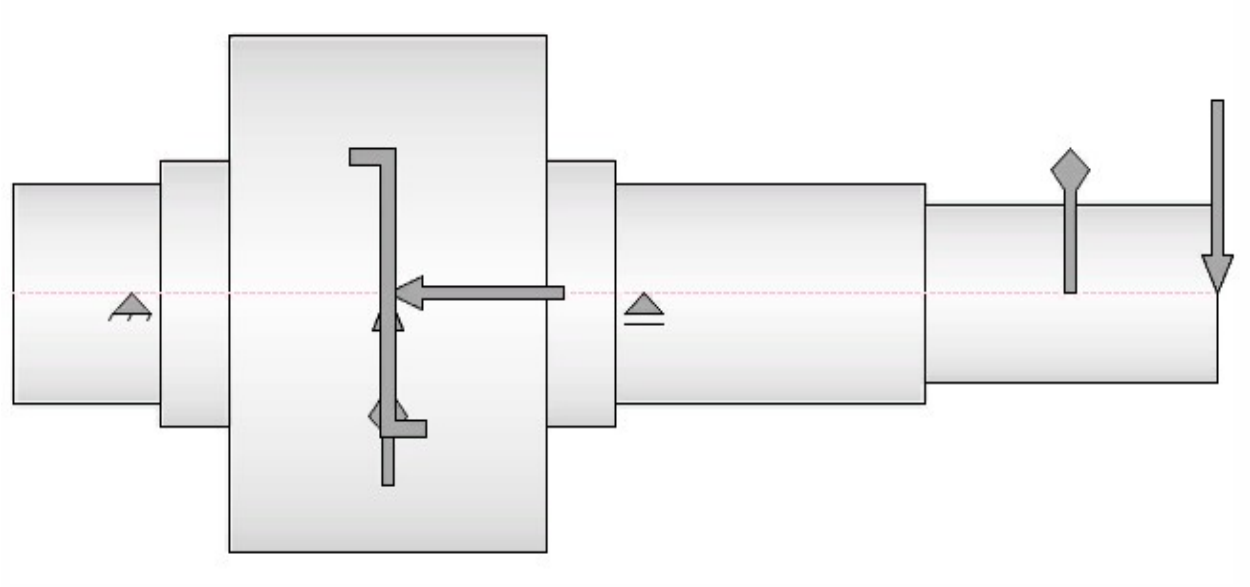

Рисунок 7 – Схема быстроходного вала

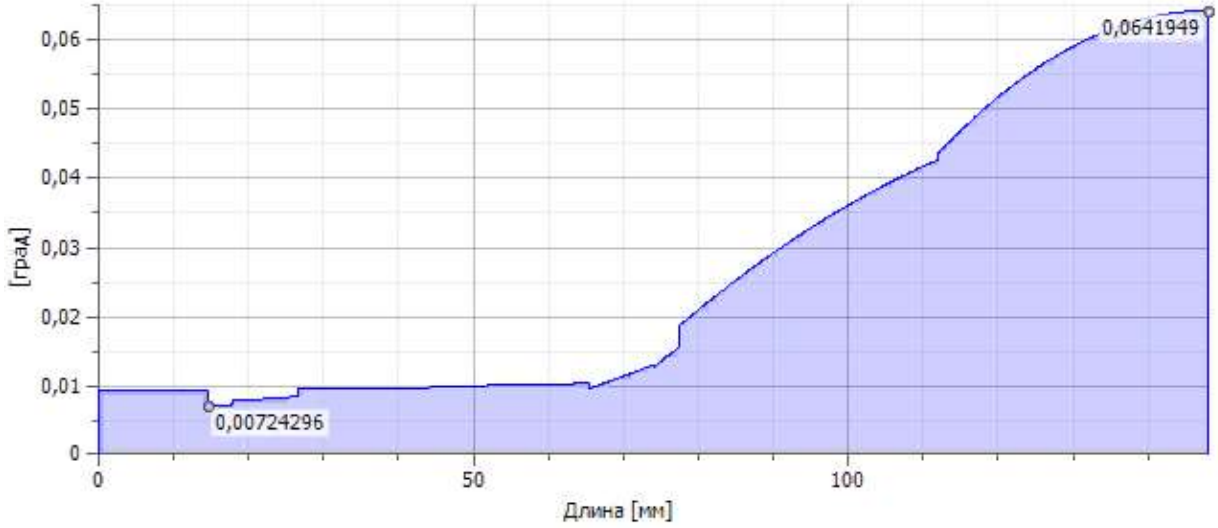

Рисунок 8 – Эпюра угла отклонения

Угол отклонения быстроходного вала:

$$\theta = 0{,}064° = \frac{0{,}064 \cdot \pi}{180} = 0{,}001\ [\text{рад}] < [\theta] = 0{,}005\ [\text{рад}]$$

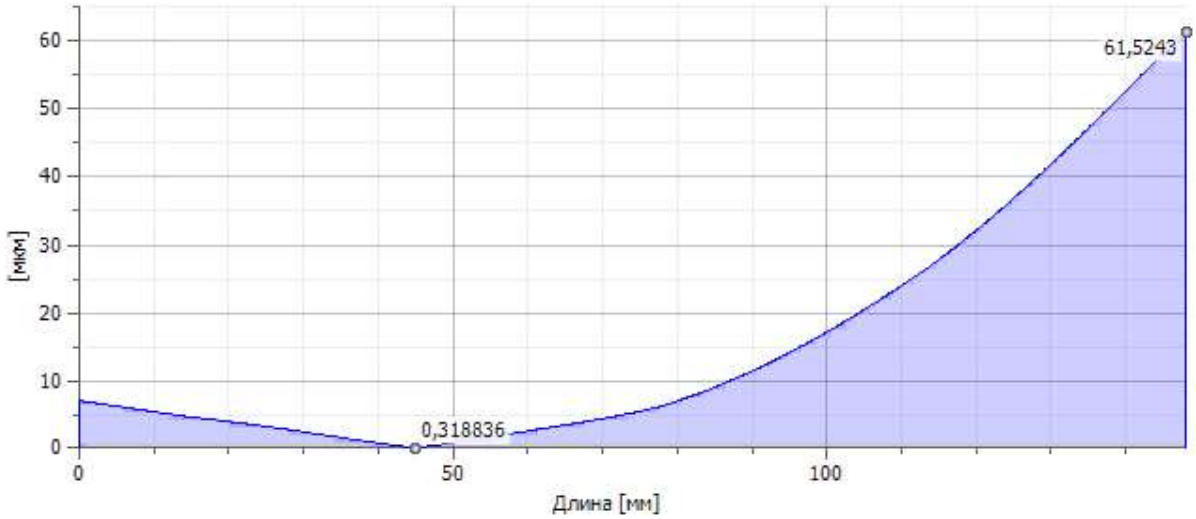

Рисунок 9 – Эпюра отклонения

Стрела прогиба быстроходного вала:

$$y_Б = 0{,}319\ [\text{мкм}] = 0{,}0003\ [\text{мм}] < [y_Б] = 0{,}025\ [\text{мм}]$$

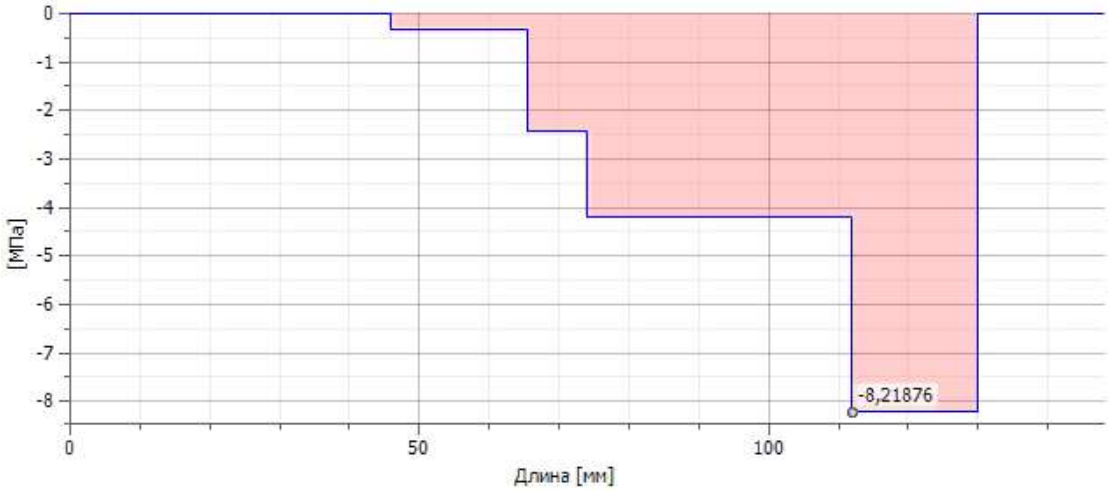

Рисунок 10 – Эпюра касательных напряжений при кручении

Напряжение кручения быстроходного вала:

$$\tau = 8{,}219\ [\text{МПа}] < [\tau] = (12 \dots 15)\ [\text{МПа}]$$

2) Проверка промежуточного вала:

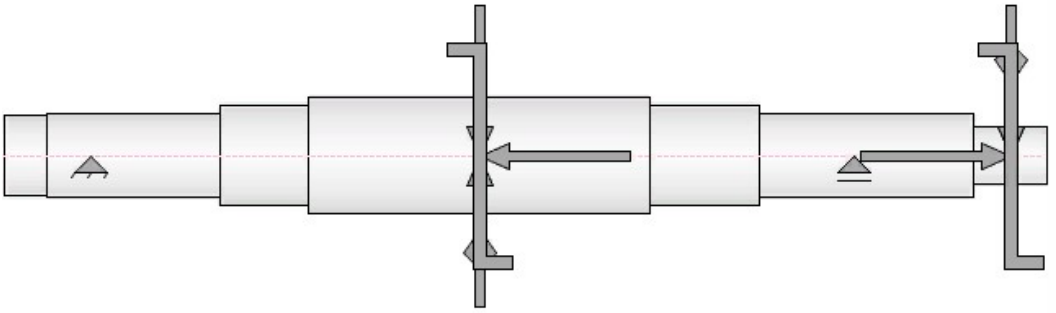

Рисунок 11 – Схема промежуточного вала

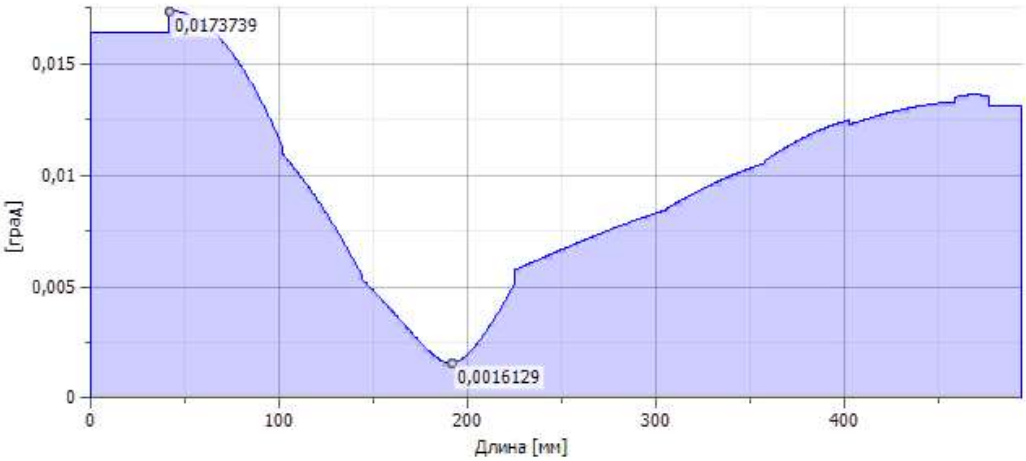

Рисунок 12 – Эпюра угла отклонения

Угол отклонения промежуточного вала:

$$\theta = 0{,}017° = \frac{0{,}017 \cdot \pi}{180} = 0{,}0003 \text{ [рад]} < [\theta] = 0{,}005 \text{ [рад]}$$

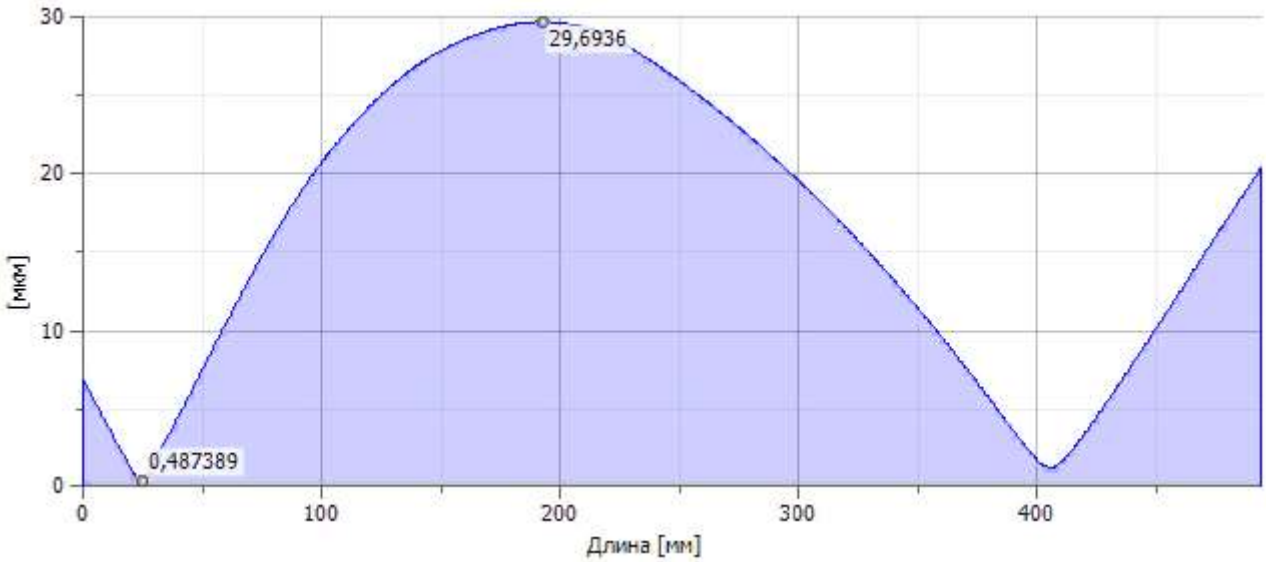

Рисунок 13 – Эпюра отклонения

Стрела прогиба промежуточного вала в месте быстроходного зацепления:

$$y_Б = 16{,}191 \text{ [мкм]} = 0{,}016 \text{ [мм]} < [y_Б] = 0{,}025 \text{ [мм]}$$

Стрела прогиба промежуточного вала в месте тихоходного зацепления:

$$y_Т = 28{,}667 \text{ [мкм]} = 0{,}029 \text{ [мм]} < [y_Т] = 0{,}05 \text{ [мм]}$$

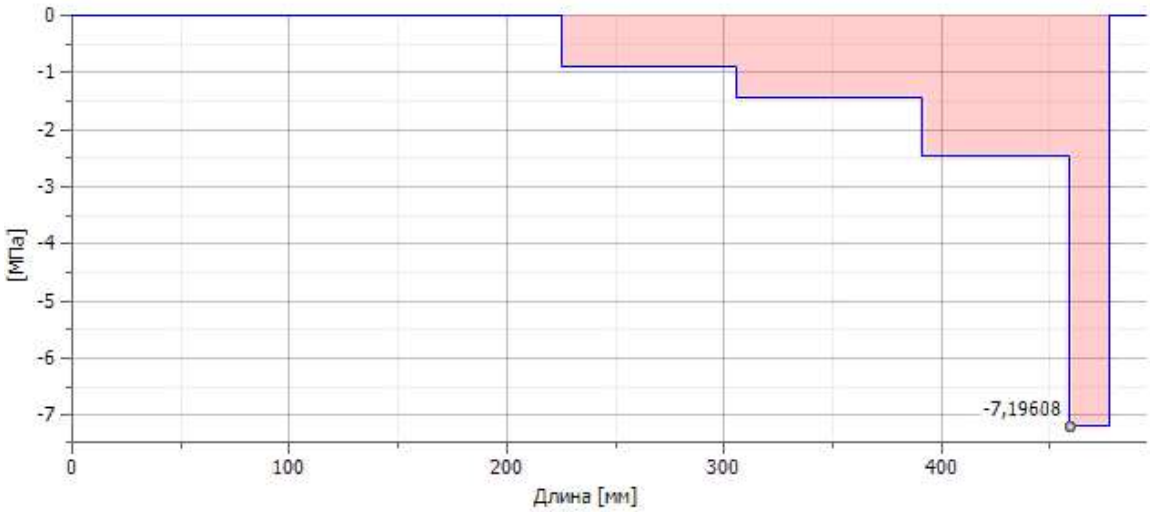

Рисунок 14 – Эпюра касательных напряжений при кручении

Напряжение кручения промежуточного вала:

$$\tau = 7{,}196\ [\text{МПа}] < [\tau] = (12 \dots 15)\ [\text{МПа}]$$

3) Проверка тихоходного вала:

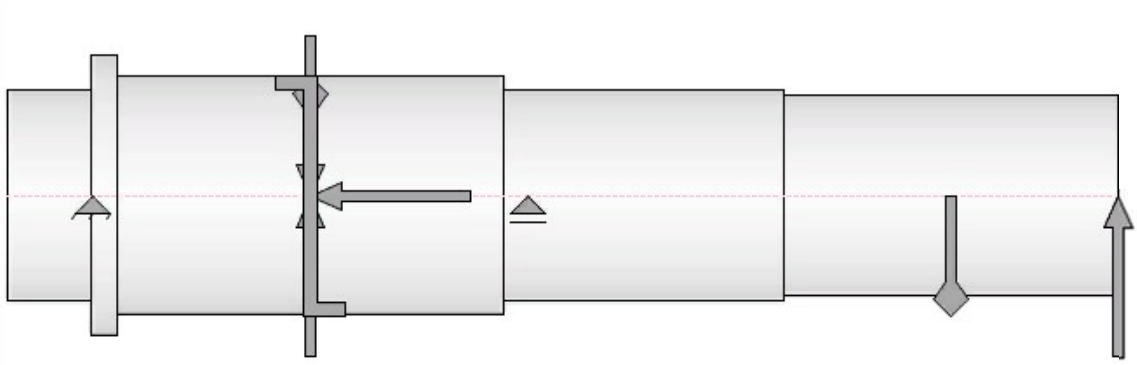

Рисунок 15 – Схема тихоходного вала

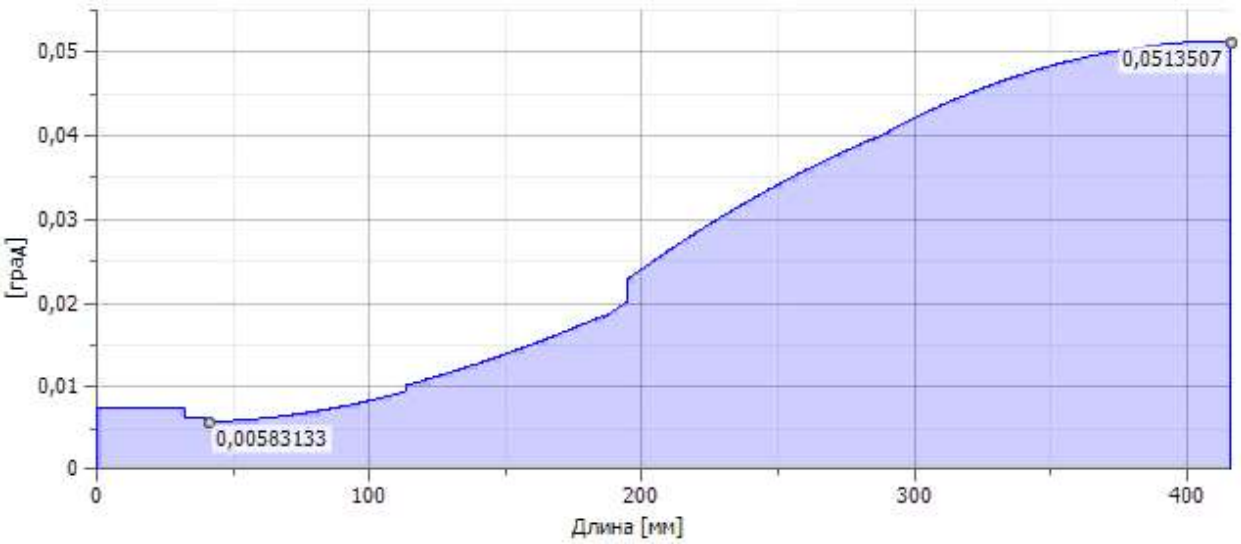

Рисунок 16 – Эпюра угла отклонения

Угол отклонения тихоходного вала:

$$\theta = 0{,}051° = \frac{0{,}051 \cdot \pi}{180} = 0{,}0009\ [\text{рад}] < [\theta] = 0{,}005\ [\text{рад}]$$

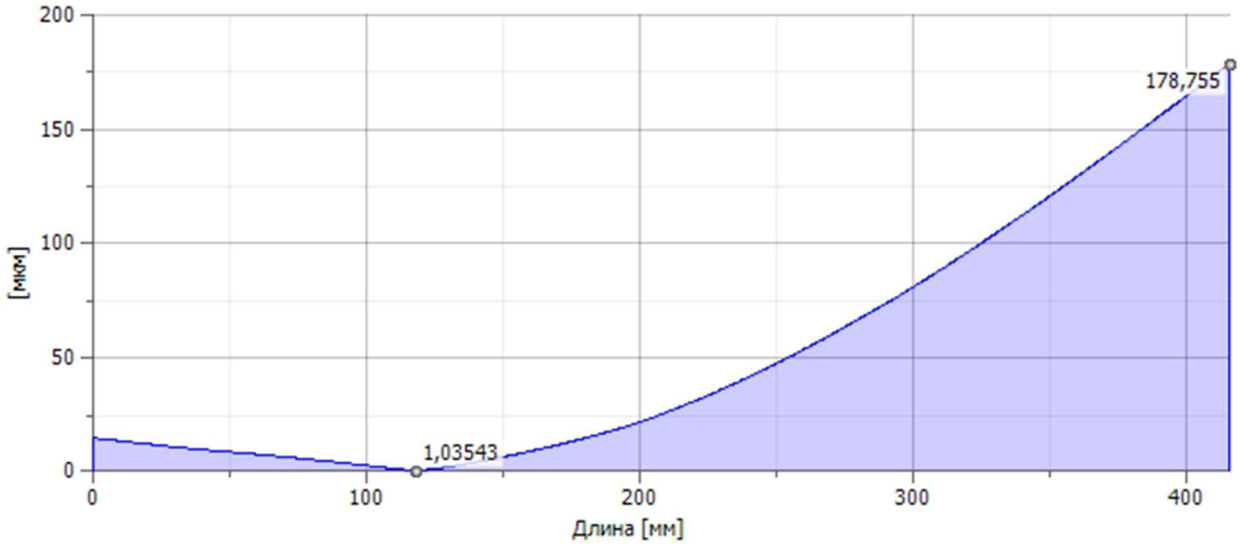

Рисунок 17 – Эпюра отклонения

Стрела прогиба тихоходного вала:

$$y_{\text{Т}} = 1{,}737\ [\text{мкм}] = 0{,}002\ [\text{мм}] < [y_{\text{Т}}] = 0{,}05\ [\text{мм}]$$

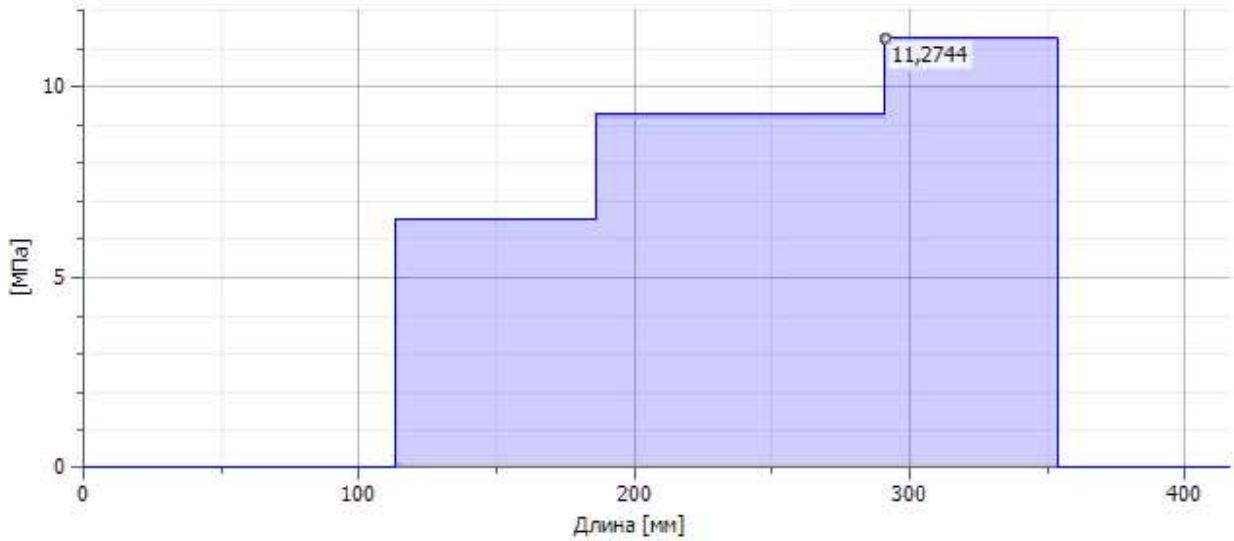

Рисунок 18 – Эпюра касательных напряжений при кручении

Напряжение кручения тихоходного вала:

$$\tau = 11{,}274\ [\text{МПа}] < [\tau] = (12 \ldots 15)\ [\text{МПа}]$$

Вывод: исследуемые валы прошли проверку на прочность и жесткость.

6.3 Проверка подшипников на долговечность

Требуемый срок службы подшипников: 30000 часов.

1) Проверка подшипников быстроходного вала:

Обозначение		Подшипник ГОСТ 27365-87 (7205А)
Внутренний диаметр подшипника	d	25,000 мм
Наружный диаметр подшипника	D	52,000 мм
Ширина подшипника	B	16,250 мм
Номинальный контактный угол подшипника	α	5 град
Основная динамическая грузоподъемность	C	29200 Н
Основная статическая грузоподъемность	C_0	21000 Н
Коэффициент динамической радиальной нагрузки	X	0,60 бр / 0,60 бр
Коэффициент динамической осевой нагрузки	Y	0,50 бр / 0,50 бр
Предельное значение F_a/F_r	e	0,40 бр
Коэффициент статической радиальной нагрузки	X_0	0,60 бр
Коэффициент статической осевой нагрузки	Y_0	0,50 бр
Консистентная смазка для ограничения скорости	n_{Lim1}	0 об_мин
Смазочное масло для ограничения скорости	n_{Lim2}	0 об_мин

Рисунок 19 – Параметры подшипников быстроходного вала

Основной номинальный срок службы	L_{10}	350510 ч
Настроенный номинальный срок службы	L_{na}	350510 ч
Расчетный коэффициент статического запаса прочности	s_{0c}	12,28772 бр
Потеря мощности при трении	P_z	7,28304 Вт
Необходимая минимальная нагрузка	$F_{мин}$	0 Н
Статическая эквивалентная нагрузка	P_0	1709 Н
Динамическая эквивалентная нагрузка	P	1073 Н
Коэффициент ускоренного вращения	k_n	0,000 бр
Коэффициент настройки срока службы для надежности	a_1	1,00 бр
Температурный коэффициент	f_t	1,00 бр
Эквивалентная скорость	n_e	2880 об_мин
Минимальная скорость	$n_{мин}$	2880 об_мин
Максимальная скорость	$n_{макс}$	2880 об_мин
Проверка прочности	**Положительная**	

Рисунок 20 – Результаты проверки подшипников быстроходного вала на долговечность

2) Проверка подшипников промежуточного вала:

Обозначение		Подшипник ГОСТ 27365-87 (7308А)
Внутренний диаметр подшипника	d	40,000 мм
Наружный диаметр подшипника	D	90,000 мм
Ширина подшипника	B	25,250 мм
Номинальный контактный угол подшипника	α	5 град
Основная динамическая грузоподъемность	C	80900 Н
Основная статическая грузоподъемность	C_0	56000 Н
Коэффициент динамической радиальной нагрузки	X	0,60 бр / 0,60 бр
Коэффициент динамической осевой нагрузки	Y	0,50 бр / 0,50 бр
Предельное значение F_a/F_r	e	0,40 бр
Коэффициент статической радиальной нагрузки	X_0	0,60 бр
Коэффициент статической осевой нагрузки	Y_0	0,50 бр
Консистентная смазка для ограничения скорости	n_{Lim1}	0 об_мин
Смазочное масло для ограничения скорости	n_{Lim2}	0 об_мин

Рисунок 21 – Параметры подшипников промежуточного вала

Основной номинальный срок службы	L_{10}	566069 ч
Настроенный номинальный срок службы	L_{na}	566069 ч
Расчетный коэффициент статического запаса прочности	s_{0c}	16,56506 бр
Потеря мощности при трении	P_z	14,81893 Вт
Необходимая минимальная нагрузка	$F_{мин}$	0 Н
Статическая эквивалентная нагрузка	P_0	3381 Н
Динамическая эквивалентная нагрузка	P	3381 Н
Коэффициент ускоренного вращения	k_n	0,000 бр
Коэффициент настройки срока службы для надежности	a_1	1,00 бр
Температурный коэффициент	f_t	1,00 бр
Эквивалентная скорость	n_e	1163 об_мин
Минимальная скорость	$n_{мин}$	1163 об_мин
Максимальная скорость	$n_{макс}$	1163 об_мин
Проверка прочности	**Положительная**	

Рисунок 22 – Результаты проверки подшипников промежуточного вала на долговечность

3) Проверка подшипников тихоходного вала:

Обозначение		Подшипник ГОСТ 27365-87 (7216А)
Внутренний диаметр подшипника	d	80,000 мм
Наружный диаметр подшипника	D	140,000 мм
Ширина подшипника	B	28,250 мм
Номинальный контактный угол подшипника	α	5 град
Основная динамическая грузоподъемность	C	140000 Н
Основная статическая грузоподъемность	C_0	114000 Н
Коэффициент динамической радиальной нагрузки	X	0,60 бр / 0,60 бр
Коэффициент динамической осевой нагрузки	Y	0,50 бр / 0,50 бр
Предельное значение F_a/F_r	e	0,40 бр
Коэффициент статической радиальной нагрузки	X_0	0,60 бр
Коэффициент статической осевой нагрузки	Y_0	0,50 бр
Консистентная смазка для ограничения скорости	n_{Lim1}	0 об_мин
Смазочное масло для ограничения скорости	n_{Lim2}	0 об_мин

Рисунок 23 – Параметры подшипников тихоходного вала

Основной номинальный срок службы	L_{10}	3970718 ч
Настроенный номинальный срок службы	L_{na}	3970718 ч
Расчетный коэффициент статического запаса прочности	s_{0c}	7,34429 бр
Потеря мощности при трении	P_z	2,25577 Вт
Необходимая минимальная нагрузка	$F_{мин}$	0 Н
Статическая эквивалентная нагрузка	P_0	15522 Н
Динамическая эквивалентная нагрузка	P	9684 Н
Коэффициент ускоренного вращения	k_n	0,000 бр
Коэффициент настройки срока службы для надежности	a_1	1,00 бр
Температурный коэффициент	f_t	1,00 бр
Эквивалентная скорость	n_e	31 об_мин
Минимальная скорость	$n_{мин}$	31 об_мин
Максимальная скорость	$n_{макс}$	31 об_мин
Проверка прочности	**Положительная**	

Рисунок 24 – Результаты проверки подшипников тихоходного вала на долговечность

Вывод: исследуемые подшипники прошли проверку на долговечность.

6.4 Проверка шпоночных соединений на прочность

1) Проверка шпоночного соединения быстроходного вала:

Ширина шпонки	b	6,000 мм
Высота шпонки	h	6,000 мм
Длина шпонки	l	28,000 мм
Функциональная длина	l_f	22,000 мм
Фаска шпонки	s	0,400 мм
Радиус шпонки	R	0,160 мм

Рисунок 25 – Параметры шпоночного соединения быстроходного вала

Мин. функциональная длина шпонки	$l_{мин}$	2,483 мм
Мин. диаметр вала	$d_{мин}$	5,760 мм
Проверка прочности	**Положительная**	

Рисунок 26 – Результаты проверки шпоночного соединения быстроходного вала на прочность

2) Проверка шпоночного соединения промежуточного вала:

Ширина шпонки	b	8,000 мм
Высота шпонки	h	7,000 мм
Длина шпонки	l	28,000 мм
Функциональная длина	l_f	20,000 мм
Фаска шпонки	s	0,400 мм
Радиус шпонки	R	0,160 мм

Рисунок 27 – Параметры шпоночного соединения промежуточного вала

Мин. функциональная длина шпонки	$l_{мин}$	3,573 мм
Мин. диаметр вала	$d_{мин}$	7,715 мм
Проверка прочности	**Положительная**	

Рисунок 28 – Результаты проверки шпоночного соединения промежуточного вала на прочность

3) Проверка шпоночных соединений тихоходного вала:

Ширина шпонки	b	25,000 мм
Высота шпонки	h	14,000 мм
Длина шпонки	l	110,000 мм
Функциональная длина	l_f	85,000 мм
Фаска шпонки	s	0,400 мм
Радиус шпонки	R	0,160 мм

Рисунок 30 – Параметры шпоночного соединения тихоходного вала и червячного колеса

Мин. функциональная длина шпонки	$l_{мин}$	15,722 мм
Мин. диаметр вала	$d_{мин}$	24,002 мм
Проверка прочности	**Положительная**	

Рисунок 31 – Результаты проверки шпоночного соединения тихоходного вала и червячного колеса на прочность

Ширина шпонки	b	20,000 мм
Высота шпонки	h	12,000 мм
Длина шпонки	l	110,000 мм
Функциональная длина	l_f	90,000 мм
Фаска шпонки	s	0,400 мм
Радиус шпонки	R	0,160 мм

Рисунок 32 – Параметры шпоночного соединения на концевом участке тихоходного вала

Мин. функциональная длина шпонки	$l_{мин}$	22,236 мм
Мин. диаметр вала	$d_{мин}$	24,002 мм
Проверка прочности	**Положительная**	

Рисунок 33 – Результаты проверки шпоночного соединения на концевом участке тихоходного вала на прочность

Вывод: исследуемые шпоночные соединения прошли проверку на прочность.