

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Факультет «Механико-технологический»
Кафедра «Машиностроение, автоматика и электроэнергетика»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
к.т.н, доцент
_____ В.Г. Некрутов
_____ 2017 г.

Проектирование станка для нарезания полосовых заготовок

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–15.03.05.2017.160.000 ПЗ ВКР

Консультанты
Безопасность жизнедеятельности,
к.т.н, доцент
_____ В.Г. Некрутов
_____ 2017 г.

Руководитель работы,
преподаватель
_____ С.Н. Юдин
_____ 2017 г.

Автор работы
студент группы ДО-551
_____ В.Д. Жуковский
_____ 2017 г.

Нормоконтролер,
профессор
_____ Б.А. Решетников
_____ 2017 г.

Челябинск 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ	
1.1 Патентный поиск	7
1.2 Обзор существующих отечественных и зарубежных аналогов и выявление их недостатков.....	7
1.3 Задачи проектирования	12
2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
2.1 Анализ технологической операции, для осуществления которой разрабатывается объект.....	13
2.2 Определение основных технологических характеристик выполнения операции.....	13
2.3 Обоснование необходимости данного оборудования	14
3 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ	
3.1 Требования к проектируемому станку.....	15
3.2 Разработка компоновочной схемы станка	15
3.3 Выбор основных характеристик привода	20
3.4 Расчет привода при обработке углеродистой стали	20
3.5 Расчет валов коробки передач	26
3.6 Расчет привода при обработке коррозионно-стойкой стали.....	38
3.7 Проверка тягового усилия на ножах	50
3.8 Компоновка станка для нарезания полосовых заготовок	52
4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
4.1 Организация производственного освещения на производственном участке.....	56
4.2 Расчет защитного заземления ия.....	58
4.3 Выявление и оценка радиационной обстановки при чрезвычайной ситуации	62
5 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
5.1 Определение ориентировочной себестоимости станка.....	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	72
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	73

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

ВВЕДЕНИЕ

В современном, кровельном, вагоностроительном, автомобилестроительном производстве значительный объем деталей представляют собой пластины, выполненные из листового материала толщиной 0,8...3 мм. Metallургические предприятия поставляют стальной прокат по ГОСТ 19903-74 в виде листов мерной ширины и длины, а также рулонную сталь по ГОСТ 19904-90 и ГОСТ 19903-74.

Применение рулонной стали имеет ряд преимуществ, в частности, при изготовлении большого количества штампованных деталей можно использовать полосы большой длины и тем самым мы увеличиваем производительность за счет практически непрерывной работы. Другим существенным преимуществом рулонной стали является компактность рулона по сравнению с листом мерных размеров, возможность использования универсальных грузозахватных крановых приспособлений при разгрузке, лучшая сохранность материала при длительном хранении. Также рулонная сталь по цене значительно ниже чем плиты и полосы нарезанные в нужный производству размер на предприятии которое поставляет заготовки.

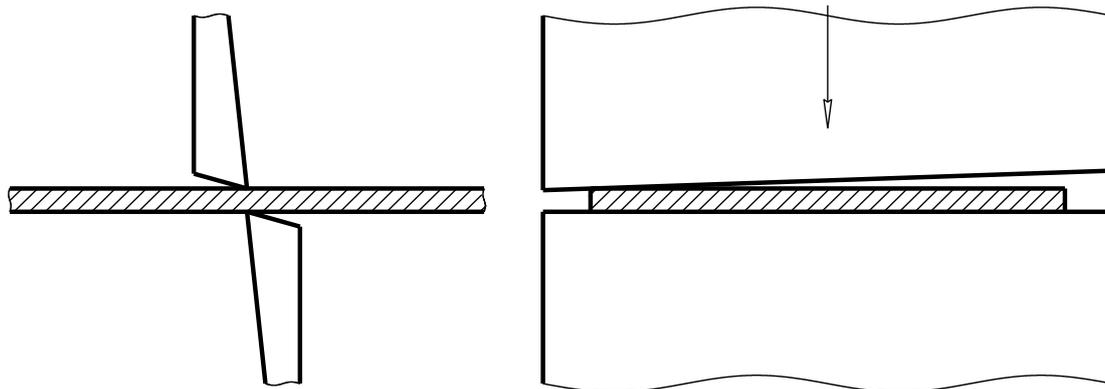
Кроме того, иногда имеется возможность совмещения разделительных и формоизменяющих операций, например, резка полосовой заготовки и одновременное продавливание на ней гофр.

К разделительным операциям относятся операции, в результате которых происходит полное или частичное отделение одной части материала от другой по замкнутому или незамкнутому контуру. Примеры разделительных операций: отрезка, вырезка, врубка, пробивка, надрезка, обрезка, зачистка. Отрезка – отделение одной части материала от другой по незамкнутому контуру производится на ножницах или в штампах. Отрезку в штампах используют, как правило, для малогабаритных деталей высокой точности, а отрезку на ножницах – в качестве начальных разделительных операций, предшествующих гибке, формовке, вытяжке и другим формоизменяющим операциям. Ножницы для отрезки листового материала бывают параллельные, гильотинные, роликовые и вибрационные. В соответствии с рисунком 1 приведены схема работы гильотинных и роликовых ножниц. Гильотинные ножницы получили наибольшее распространение. С помощью гильотинных ножниц можно отрезать заготовки от мерных листов по ширине, длине или под углом, а также производить резку рулонной стали поперек полотна. Это оборудование отличается простотой настройки и высокой надежностью.

К недостаткам гильотинных ножниц относятся значительный шум при их работе, динамические нагрузки от ударов подвижного ножа о разрезаемый лист, а также ограниченность габаритов заготовки длиной ножа. Этих недостатков лишены роликовые ножницы, отличающиеся непрерывной работой без дополнительных динамических нагрузок и шума. Длина отрезаемой заготовки ограничена только емкостью рулона. Серийно выпускаемые модели таких ножниц отличаются высокой стоимостью, а примитивные образцы изготовленные

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Гильотинные ножницы



Роликовые ножницы

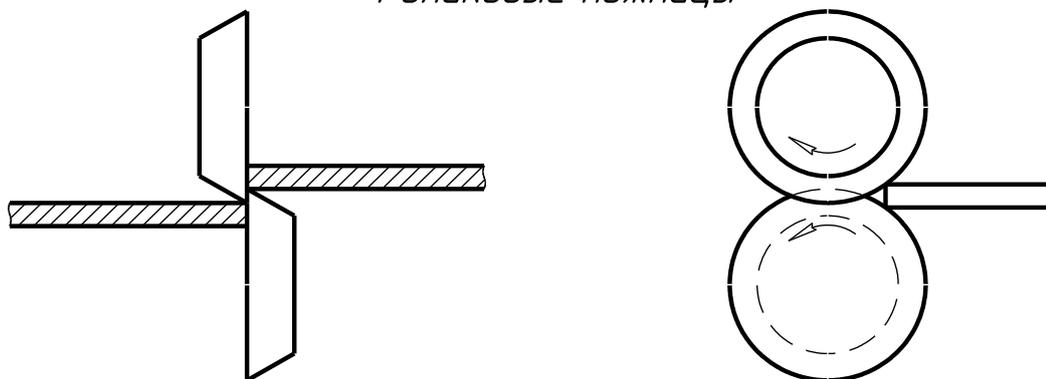


Рисунок 1 - Схема работы ножниц

кустарным способом – низкой надежностью и точностью. Таким образом, существует потребность во внедрении станка для резки полосовых заготовок большой длины, работающего по принципу роликовых ножниц и предназначенного для работы с рулонной сталью. Вместе с тем, такой станок может использоваться также для отрезки полос из мерных листов.

Целью выпускной квалификационной работы является – разработка станка для нарезания полосовых заготовок.

Задачи работы:

- Выбрать электродвигатель и планетарный редуктор;
- спроектировать основные узлы будущего станка, а именно:
двухскоростную коробку передач;
- режущий узел;
- столешницу;
- рольганг;
- нижнюю обвязку;
- регулируемые упоры.

Объект работы – станок для нарезания полосовых заготовок.

Предмет работы – процесс проектирования станка для нарезания полосовых заготовок.

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

1.1 Патентный поиск

Операция, для которой предназначен станок, относится к заготовительной операции, а именно продольная резка листового материала. Отрезка – отделение одной части материала от другой по незамкнутому контуру производится на ножницах или в штампах. Отрезку в штампах используют, как правило, для малогабаритных деталей высокой точности, а отрезку на ножницах – в качестве начальных разделительных операций, предшествующих гибке, формовке, вытяжке и другим формоизменяющим операциям.

Патентный обзор

Номер патента: 2019363
Класс(ы) патента: B23D19/04
Номер заявки: 5025204/27
Дата подачи заявки: 03.02.1992
Дата публикации: 15.09.1994
Заявитель(и): Столбов Юрий Иванович
Автор(ы): Столбов Юрий Иванович
Патентообладатель(и): Столбов Юрий Иванович
Описание изобретения: Изобретение относится к режущим инструментам и может быть использовано при выпуске товаров для бытовых целей.

Известны роликовые пневматические ножницы, содержащие приводной и холостой ролик, причем холостой ролик установлен на S-образной консоли.

Недостатком известных пневматических ножниц является низкая производительность при применении их в бытовых целях, т.к. холостой ролик существенно затрудняет процесс резки из-за необходимости применения дополнительных усилий для подачи листа, что особенно проявляется при резке крупногабаритных листов.

Целью изобретения является расширение технологических возможностей, повышение производительности.

Указанная цель достигается тем, что оба дисковых ножа снабжены приводами, выполненными в виде двух храповых зубчатых механизмов, толкатели которых связаны между собой валом с противоположно расположенными кривошипами, при этом подшипники вала закреплены на тыльной части S-образной консоли.

Недостатком данного метода является то, что лист приходится с усилием подавать в зону резания, так как один из роликов не имеет привода. Мой метод лишен этого недостатка, так как роликовые ножи в моем станке жестко связаны за счет зубчатой передачи. Поэтому подача листа в зону резания происходит самими роликами.

1.2 Обзор существующих отечественных и зарубежных аналогов и выявление их недостатков.

На данный момент на рынке существует не большое количество оборудования данного типа. Некоторые мы рассмотрим подробнее.

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Станок продольной резки металла ДН-3 производства фирмы ЗАО «Кровля». Применяется для нарезания полос из углеродистой стали толщиной не более 0.8 мм. Общий вид данного станка представлен в соответствии с рисунком 2.



Рисунок 2 - Станок продольной резки металла ДН-3 ЗАО «Кровля».

Технические характеристики:

- диаметр валов – 60 мм.
- мощность электродвигателя – 0.75 квт.
- ширина разрезаемой стали – до 1250 мм.
- толщина разрезаемой стали – до 0.8мм
- количество устанавливаемых пар ножей – 3
- марка стали режущих ножей – ХВГ
- вес – 140 кг.

Станок продольной резки металла ДН-5 производства ЗАО «Кровля». Еще одна модель данного завода. Имеет более мощный привод и может работать со сталью толщиной уже до 1.2 мм. Общий вид данного оборудования представлен в соответствии с рисунком 3.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

15.03.05.2017.160.000 ПЗ



Рисунок 3 - Станок продольной резки металла ДН-5 ЗАО «Кровля»

Технические характеристика:

- диаметр валов – 90 мм.
- количество устанавливаемых пар ножей – 5
- толщина разрезаемой стали – до 1.2 мм
- мощность электродвигателя – 1.1 квт.
- ширина разрезаемой стали – до 1250 мм.
- марка стали режущих ножей – ХВГ
- вес – 175 кг.

Следующая модель - станок продольно-поперечной резки СПР-1250/5-А фирмы «Мобипроф». Еще одна модель данного оборудования работает со сталью толщиной до 1мм., также в наличии имеется роликовый нож для поперечного разрезания металла толщиной до 0.8 мм. Общий вид станка представлен в соответствии с рисунком 4.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

15.03.05.2017.160.000 ПЗ



Рисунок 6 - Станок продольной резки серии PPL

Данные модели станков могут разрезать только низколегированную сталь толщиной до 1,5. Проектируемый мной станок может также разрезать коррозионно-стойкую сталь толщиной до 3мм. Также в отличии от представленных моделей мой станок оснащен длинным приемным столом, что позволяет комфортно работать с длинной листовой сталью. Основными узлами в данном оборудовании являются: двигатель который приводит валы с дисковыми ножами в движение; столешница по которой движется подаваемый материал; непосредственно режущий узел состоящий из валов на которых закреплены дисковые ножи. Проектируемый мной станок также имеет двухскоростную коробку скоростей для переключения передач для резки низколегированной и коррозионностойкой стали, что значительно повышает производительность.

1.3 Задачи проектирования

Задачами данной работы являются:

- Выбор электродвигатель
- спроектировать основные узлы будущего станка, а именно:
 1. двухскоростную коробку передач;
 2. режущий узел;
 3. столешницу;
 4. рольганг;
 5. нижнюю обвязку;
 6. регулируемые упоры.
- 7. Вопросы по безопасности
- 8. Определение ориентировочной себестоимости станка

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Анализ технологической операции, для осуществления которой разрабатывается объект

Операция, для которой предназначен мой станок относится к заготовительной операции, а именно продольная резка листового материала. Отрезка – отделение одной части материала от другой по незамкнутому контуру производится на ножницах или в штампах. Отрезку в штампах используют, как правило, для малогабаритных деталей высокой точности, а отрезку на ножницах – в качестве начальных разделительных операций, предшествующих гибке, формовке, вытяжке и другим формоизменяющим операциям. Суть данной операции заключается в том, что из листового металла любой длины или ширины на производстве необходимо отрезать полосу необходимой нам ширины. При этом станок с роликовыми ножами обеспечивает хорошую точность и высокую производительность. На гильотинных ножницах не всегда можно выполнить данную операцию, так как данный вид оборудования имеет ограниченную ширину при рубке листовых заготовок, также данный вид отрезки имеет худшую производительность и края сабельного типа. Суть моего станка заключается в том, что мы можем получить очень длинные полосы и при этом не производя лишнего шума при процессе резания. Принцип работы проектируемого станка заключается в следующем. Лист подается в режущий узел, в нем происходит надрез и далее захват роликами нашего листа. Далее идет непрерывный процесс разрезания листа на заготовки.

2.2 Определение основных технологических характеристик выполнения операции

Вычисляем частоту вращения дисковых ножей. Для разрезания листа скорость на выходном валу двигателя необходимо понизить для обработки углеродистой стали примерно до 10 об/мин., и для обработки коррозионно-стойкой стали примерно до 7 об/мин. Понижение производим за счет двухскоростной коробки передач, а также за счет цепной передачи.

Для обработки коррозионно-стойкой стали

$$n_1 = n \cdot 20/40 \cdot 20/24 = 17,7 \cdot 0,5 \cdot 0,83 = 7,4 \text{ об/мин}$$

Для обработки углеродистой стали

$$n_2 = n \cdot 25/35 \cdot 20/24 = 17,7 \cdot 0,71 \cdot 0,83 = 10,5 \text{ об/мин}$$

Зная количество оборотов найдем линейную скорость резания нашего станка.

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При разрезании углеродистой стали

$$w = 2 \cdot \pi \cdot n$$
$$w = 2 \cdot 3,14 \cdot 7,4 = 3,5 \frac{\text{М}}{\text{МИН}}$$

где w – угловая скорость при равномерном движении
При разрезании коррозионно-стойкой стали

$$w = 2 \cdot \pi \cdot n$$
$$w = 2 \cdot 3,14 \cdot 10,5 = 4,95 \frac{\text{М}}{\text{МИН}}$$

2.3 Обоснование необходимости данного оборудования

В современном производстве есть необходимость в получении длинных листовых полос определенного размера и точности. Мой станок позволяет обеспечить необходимый размер и точность листовых заготовок практически из любого материала толщиной до 3 мм. включительно. Также данное оборудование обладает высокой мобильностью, что позволяет использовать его более эффективнее, чем гильотинные и вибрационные ножницы. Использование роликовых ножей позволяет достичь точности плюс минус 0,1 мм., обеспечивая ровный и чистый рез. Исходя из всего вышеперечисленного я делаю вывод, что мой станок необходим на заготовительном производстве, вследствие большей эффективности как в скорости резания и точности получаемой полосы, так и большей мобильности в сравнении с другим оборудованием.

Выводы по разделу два

В данном разделе произведен анализ технологической операции для которой предназначено данное оборудование. Определены основные технологические характеристики выполнения операции. Обоснована необходимость данного вида оборудования.

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

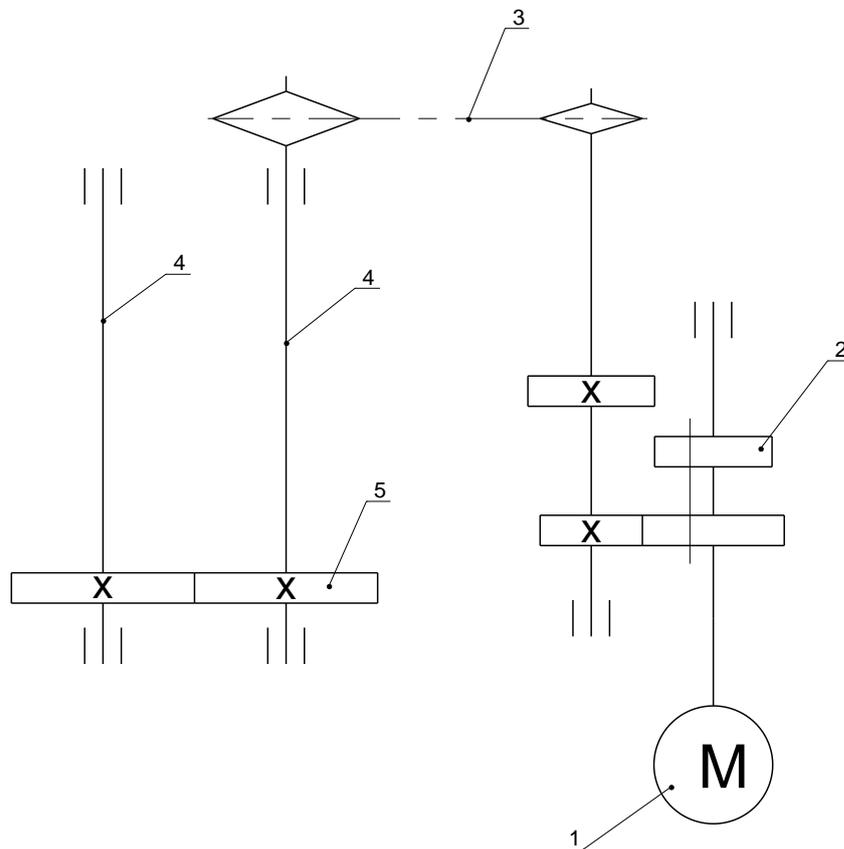


Рисунок 7 - Кинематическая схема станка для нарезания полосовых заготовок: 1 - электродвигатель; 2 – двухскоростная коробка передач; 3 – цепная передача; 4 – валы на которых установлены дисковые ножи; 5 – зубчатая передача

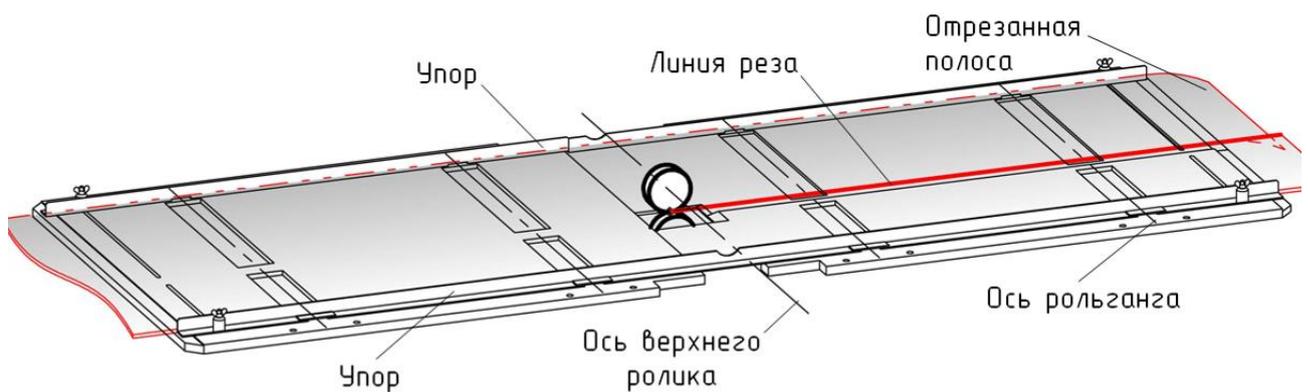


Рисунок 8 – Схема рабочего пространства

Настройка станка на требуемую ширину листа осуществляется перестановкой упоров. Упоры имеют возможность перемещаться вдоль пазов, расположенных вдоль коротких сторон стола, при с помощью левого упора устанавливается требуемая ширина полосы, а правый упор выставляется на ширину рулона. Для исключения трения полосы о

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.05.2017.160.000 ПЗ					

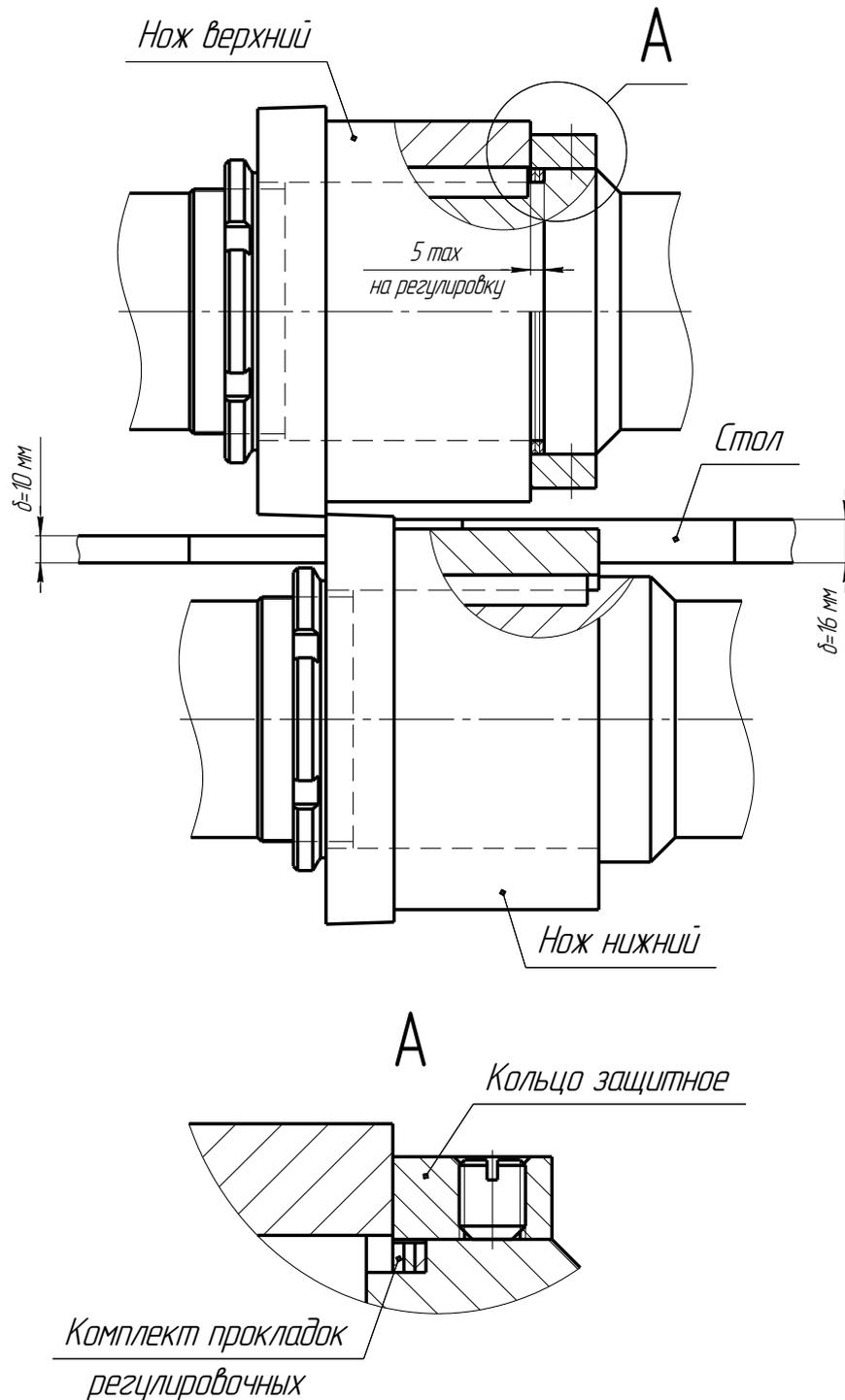


Рисунок 10 – Режущий узел

полосы отсутствуют дефекты (замятия, заусенцы), значит зазор выставлен правильно. После этого необходимо установить кольцо защитное на прежнее место и застопорить его винтом.

Конструкция прокладок приведена в соответствии с рисунком 11. Каждая прокладка представляет собой два полукольца, которые устанавливаются по отдельности. Таким образом, имеется возможность быстрой регулировки

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.05.2017.160.000 ПЗ					

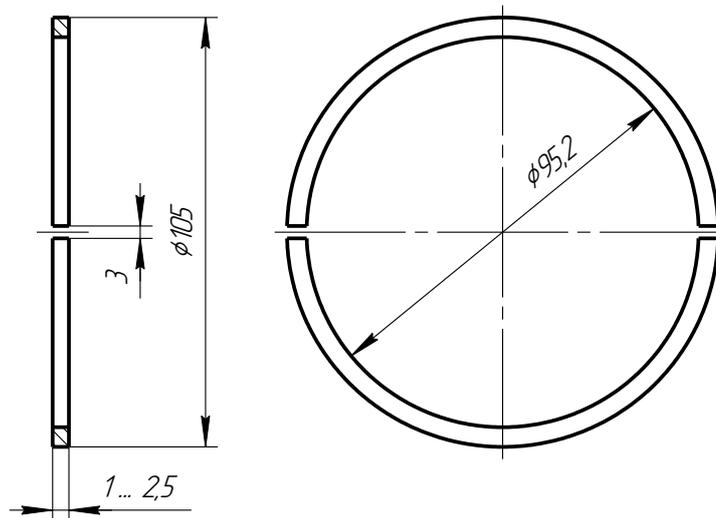


Рисунок 11 – Разрезная регулировочная прокладка

зазора без разборки режущего узла.

Так как техническим заданием предусмотрено использование станка для резки различных материалов, то для получения оптимальных технологических режимов оборудование целесообразно оснастить коробкой передач, регулирующей частоту вращения роликовых ножей. Предварительная компоновка станка представлена в соответствии с рисунком 12.

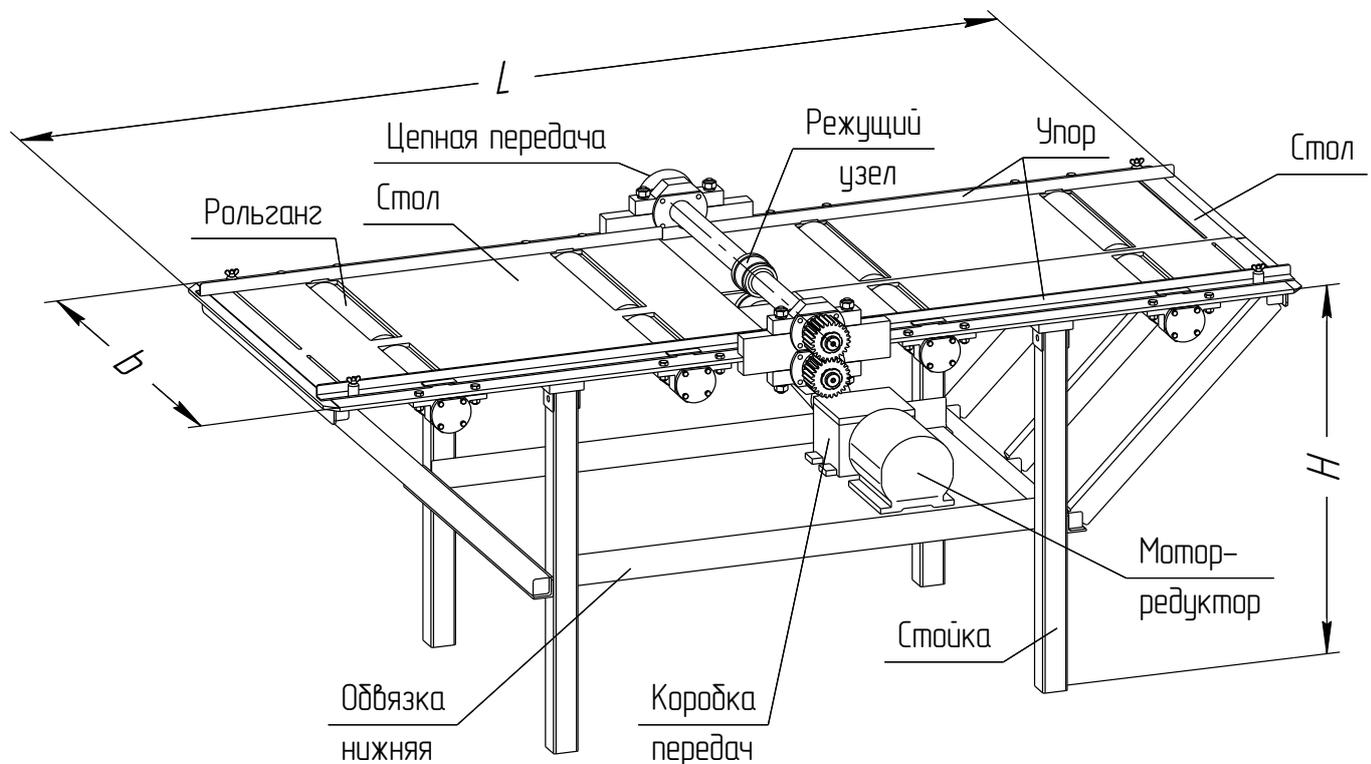


Рисунок 12 – Предлагаемая компоновка станка

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.05.2017.160.000 ПЗ				

3.3 Выбор основных характеристик привода

В качестве источника движения выбираем мотор-редуктор планетарный зубчатый двухступенчатый типа 1МПз2 с радиусом расположения осей сателлитов 80 мм, частотой вращения выходного вала 17,7 об/мин. Конструктивное исполнение по способу монтажа – на лапах, с горизонтальным расположением выходного вала (схема 111 по ГОСТ 30164). Электродвигатель асинхронный 4АХ90LB8 на номинальное напряжение сети переменного тока 380В, номинальной мощностью $N_H = 1,5$ кВт с частотой вращения ротора $n = 700$ об/мин. Обозначение выбранного мотор-редуктора: «Мотор-редуктор МПз2-50-18-111-1-380»

КПД мотор-редуктора η_p с учетом потерь в опорах $\eta_d = 0,96$ и в зацеплениях $\eta_z = 0,7$

$$\eta_p = \eta_d \cdot \eta_z = 0,96 \cdot 0,7 = 0,672$$

Тогда фактическая мощность на выходном валу

$$N = N_H \cdot \eta_p = 1,5 \cdot 0,672 = 1,0 \text{ кВт}$$

Для получения требуемой частоты вращения ножа частоту вращения выходного вала мотор-редуктора необходимо понизить до $n_1 = 7$ об/мин (для резки аустенитной коррозионно-стойкой стали) и $n_2 = 10$ об/мин (для резки углеродистой и низколегированной стали). Понижение осуществляем при помощи двухступенчатой коробки передач с числом зубьев парных колес 20/40 и 25/35 и цепной передачи с числами зубьев 20/24.

Вычислим ряд частот вращения ножа

$$n_1 = n \cdot 20/40 \cdot 20/24 = 17,7 \cdot 0,5 \cdot 0,83 = 7,4 \text{ об/мин}$$

$$n_2 = n \cdot 25/35 \cdot 20/24 = 17,7 \cdot 0,71 \cdot 0,83 = 10,5 \text{ об/мин}$$

Определяем крутящий момент на выходе редуктора

$$M = \frac{N \cdot 30}{\pi \cdot n} = \frac{1 \cdot 10^3 \cdot 30}{3,14 \cdot 17,7} = 539,5 \text{ Н} \cdot \text{м} = 539500 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

3.4 Расчет привода при обработке углеродистой стали

Выполним расчет привода при включении передачи 25/35 ($n_2 = 10,5$ об/мин).

В соответствии с расчётной цепочкой определяем крутящие моменты на валах привода.

На первичном валу коробки передач

$$M_1 = M = 539500 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				15.03.05.2017.160.000 ПЗ	

На выходном валу коробки передач

$$M_{II} = \frac{M_I \cdot \eta_3 \cdot \eta_{II}}{25/35} = \frac{539500 \cdot 0,98 \cdot 0,99}{0,71} = 732792 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

На валу роликового ножа

$$M_{III} = \frac{M_{II} \cdot \eta_3 \cdot \eta_{II}}{20/24} = \frac{732792 \cdot 0,96 \cdot 0,99}{0,83} = 835735 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

где $\eta_3 = 0,98$ [5, с. 24] – коэффициент полезного действия цилиндрической прямозубой передачи;

$\eta_p = 0,96$ [5, с. 24] – коэффициент полезного действия цепной передачи,

$\eta_{II} = 0,99$ [5, с. 25] – коэффициент полезного действия пары подшипников качения.

Выполним проектировочный расчет зубчатой передачи 25/35.

Выбираем материал колёс – сталь 40Х, термообработка – закалка токами высокой частоты (т.в.ч.) до твёрдости на поверхности не менее HRC_э60 [5, с. 82].

Определяем допускаемые контактные напряжения

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{Hlimb} \cdot K_{HL}}{[S_H]} = \frac{1090 \cdot 1}{1,1} = 991 \text{ МПа}$$

где σ_{Hlimb} – предел контактной выносливости для легированных сталей высокой твёрдости

$$\sigma_{Hlimb} = 17\text{HRC} + 70 = 17 \cdot 60 + 70 = 1090 \text{ МПа}$$

$K_{HL} = 1$ [2, с. 33] – коэффициент долговечности;

$[S_H] = 1,1$ [2, стр. 33] – коэффициент безопасности.

Определяем предварительное межосевое расстояние исходя из условия обеспечения достаточной контактной выносливости активных поверхностей зубьев

$$[a_w] = K_a(u_1 + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{II} \cdot K_{H\beta}}{[\sigma_H]^2 \cdot u_1^2 \cdot \psi_{ba}}} = 49,5(1,40 + 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{732792 \cdot 1,35}{991^2 \cdot 1,40^2 \cdot 0,3}} \\ = 142,2 \text{ мм}$$

где $K_a = 49,5$ [2, с. 32] – коэффициент, учитывающий угол наклона зуба для прямозубых колёс;

$K_{H\beta} = 1,35$ [2, с. 32] – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по ширине зуба при несимметричном расположении колёс относительно опор валов;

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$\psi_{ba} = 0,3$ [1, с. 103] – коэффициент ширины венца относительно межосевого расстояния.

По предварительному межосевому расстоянию определяем модуль зацепления

$$[m] = \frac{2[a_w]}{z_1 + z_2} = \frac{2 \cdot 142,2}{25 + 35} = 4,8 \text{ мм}$$

По ГОСТ 9563-60* принимаем модуль зацепления $m = 5$ мм [9, с. 36].

Определяем делительные диаметры колёс z_1 и z_2

$$d_1 = mz_1 = 5 \cdot 25 = 125 \text{ мм}$$

$$d_2 = mz_2 = 5 \cdot 35 = 175 \text{ мм}$$

Уточняем межосевое расстояние

$$a_w = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{125 + 175}{2} = 150 \text{ мм}$$

Определяем требуемую ширину колес

$$[b] = a_w \cdot \psi_{ba} = 150 \cdot 0,3 = 45 \text{ мм}$$

Назначаем седьмую степень точности передачи [9, с. 32].

При модуле $m = 5$ мм и ширине венца $b = 45$ мм определяем контактные напряжения на активных поверхностях зубьев

$$\sigma_H = \frac{310}{a_w} \sqrt{\frac{M_{II} \cdot K_H (u_1 + 1)^3}{b \cdot u_1}} = \frac{310}{150} \sqrt{\frac{732792 \cdot 1,42 \cdot (1,40 + 1)^3}{45 \cdot 1,40^2}} = 834 \text{ МПа}$$

где K_H – уточнённый коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по ширине зуба

$$K_H = K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} = 1,35 \cdot 1,05 = 1,42$$

$K_{H\beta} = 1,08$ [9, с. 32] – при несимметричном расположении колёс относительно опор валов;

$K_{H\alpha} = 1,1$ [9, с. 40] – при окружной скорости передачи $v \leq 5$ м/с и коэффициенте ширины венца $\psi_{ba} = 0,3$.

Из расчёта видно, что контактные напряжения на активных поверхностях зубьев не превышает предельно допустимых для выбранного материала и термообработки

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Следовательно, рассчитанная передача удовлетворяет требованиям изгибной прочности.

Выполним проектировочный расчет цепной передачи. Исходные данные для расчёта цепной передачи:

- вращающий момент на ведущей звёздочке

$$T_1 = M_{II} = 732792 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

- вращающий момент на ведомой звёздочке

$$T_2 = M_{III} = 835735 \text{ Н}\cdot\text{мм};$$

- число зубьев ведущей звёздочки $z_1 = 20$;

- число зубьев ведомой звёздочки $z_2 = 24$.

- передаточное число цепной передачи

$$u = z_2 / z_1 = 24/20 = 1,2;$$

- частота вращения ведущей звездочки

$$n = n_2 \cdot u = 10,5 \cdot 1,2 = 12,6 \text{ об/мин};$$

Определяем коэффициент условий эксплуатации

$$K_{\Sigma} = k_d \cdot k_A \cdot k_H \cdot k_P \cdot k_C \cdot k_{II} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1,5 \cdot 1 = 1,875$$

где $k_d = 1$ – коэффициент динамически при спокойной нагрузке;

$k_A = 1$ – коэффициент при межосевом расстоянии в пределах $A=(20\dots 50)t$;

$k_H = 1$ – коэффициент при наклоне линии центров к горизонту не более 60° ;

$k_P = 1,25$ – коэффициент при периодическом регулировании натяжения цепи;

$k_C = 1,5$ – коэффициент при периодической смазке;

$k_{II} = 1$ – коэффициент при односменной работе.

Определяем предварительное значение допускаемого давления в шарнирах цепи

$$[p] = [p'] \cdot [1 + 0,01(z_1 - 17)] = 42,8 \cdot [1 + 0,01(20 - 17)] = 44 \text{ МПа}$$

где $[p'] = 42,8 \text{ МПа}$ – допускаемое давление при числе зубьев меньшей звездочки $z_1 = 17$

Определяем ориентировочное значение шага однорядной цепи

$$t \geq 2,8 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1 \cdot K_{\Sigma}}{z_1 \cdot [p]}} = 2,8 \sqrt[3]{\frac{732792 \cdot 1,875}{20 \cdot 44}} = 32,5 \text{ мм},$$

Принимаем цепь приводную однорядную роликковую типа ПР по ГОСТ13568-

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

15.03.05.2017.160.000 ПЗ

97 с параметрами [9, с. 147, таблица 7.16]:

- шаг $t = 38,1$ мм;
- разрушающая нагрузка $Q = 12700$ Н;
- масса одного метра цепи $q = 5,5$ кг/м;
- проекция опорной поверхности шарнира

$$A_{\text{оп}} \approx 0,28 \cdot t^2 = 0,28 \cdot 38,1^2 = 406,5 \text{ мм}^2$$

Определяем скорость цепи

$$v = \frac{z_1 \cdot t \cdot n}{60000} = \frac{20 \cdot 38,1 \cdot 12,6}{60000} = 0,16 \text{ м/с}$$

Определяем диаметр делительной окружности ведущей звёздочки

$$d_{\text{д1}} = \frac{t}{\sin \frac{180^\circ}{z_1}} = \frac{38,1}{\sin \frac{180^\circ}{20}} = 243,55 \text{ мм}$$

Определяем диаметр наружной окружности ведущей звёздочки

$$D_{\text{д1}} = t \cdot \left(\text{ctg} \frac{180^\circ}{z_1} + 0,7 \right) - 0,3 \cdot d_1 = 38,1 \left(\text{ctg} \frac{180^\circ}{20} + 0,7 \right) - 0,3 \cdot 22,12 = 260,59 \text{ мм},$$

где $d_1 = 22,12$ мм [9, таблица 7.15, с. 147].

Определяем окружную силу в передаче

$$F_{\text{тц}} = 2T_1 / d_{\text{д1}} = 2 \cdot 732792 / 243,55 = 6018 \text{ Н}$$

Проверяем давление в шарнире цепи

$$p = \frac{F_{\text{тц}} \cdot K_э}{A_{\text{оп}}} = \frac{6018 \cdot 1,875}{406,5} = 28 \text{ МПа}$$

Из расчёта видно, что расчётное давление в шарнире цепи меньше допускаемого: $p < [p] = 44$ МПа, следовательно, выбранная цепь может быть использована.

Определяем ориентировочное межосевое расстояние передачи

$$a_{\text{ц}} \approx 20 \cdot t = 20 \cdot 38,1 \approx 762 \text{ мм} = 0,762 \text{ м}$$

Определяем силы, действующие на цепь:

- окружная $F_{\text{тц}} = 6018$ Н;

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				15.03.05.2017.160.000 ПЗ	

- от центробежных сил $F_g = q \cdot \vartheta^2 = 5,5 \cdot 0,16^2 \approx 0$ Н;
- от провисания цепи $F_f = 9,81 \cdot k_f \cdot q \cdot a_{ц} = 9,81 \cdot 3 \cdot 5,5 \cdot 0,762 = 123$ Н.

где $k_f = 3$ [9, с. 151] – коэффициент при наклоне линии центров передачи 60° .

Определяем расчётную нагрузку на валы

$$F_B = F_{тц} + 2 \cdot F_f = 6018 + 2 \cdot 123 = 6264 \text{ Н.}$$

Определяем коэффициент запаса прочности цепи на растяжение

$$s = \frac{Q}{F_{тц} \cdot k_D + F_g + F_f} = \frac{12700}{6018 \cdot 1 + 0 + 123} = 2 > 1$$

где $Q = 12700$ Н – разрушающая нагрузка [9, с. 147, таблица 7.16];

$k_D = 1$ – коэффициент динамичности нагрузки [9, с. 149].

Расчётный коэффициент запаса прочности цепи на растяжение $s = 2$ больше единицы, следовательно, условие прочности цепи выполнено.

3.5 Расчет валов коробки передач

Исходными данными для расчета являются нагрузки, действующие на валы со стороны механических передач (эти нагрузки были определены при расчете соответствующих передач), а также осевые размеры валов. При расчете валов не учитываем весовые нагрузки в виду их незначительности по сравнению с усилиями в передачах.

Ориентировочные размеры валов получим из предварительной эскизной компоновки редуктора с учетом расположения цилиндрических зубчатых колес. Расчетная схема для силового расчета коробки передач представлена в соответствии с рисунком 13.

Произведем расчет вала I.

По посадочным диаметрам валов под опоры подбираем стандартные подшипники: подшипник 210 ГОСТ 8338-75 (внутренний диаметр 50 мм).

Расчетная схема вала, эпюры моментов представлены в соответствии с рисунком 14.

Для определения реакции опоры R_{Y1} составляем уравнение моментов относительно опоры «2»

$$\Sigma M_2^Y = F_{Y1} \cdot \ell_1 - R_{Y1} \cdot (\ell_1 + \ell_2) = 0$$

тогда

$$R_{Y1} = \frac{F_{Y1} \cdot \ell_1}{\ell_1 + \ell_2} = \frac{8632 \cdot 62,5}{62,5 + 229,5} = 1848 \text{ Н}$$

где $F_{Y1} = 8632$ Н – вертикальная сила в зацеплении колес 25/35, равная окружной;

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

15.03.05.2017.160.000 ПЗ

$\ell_1 = 62,5 \text{ мм}; \ell_2 = 229,5 \text{ мм}$ – осевые размеры вала (рисунок 14).

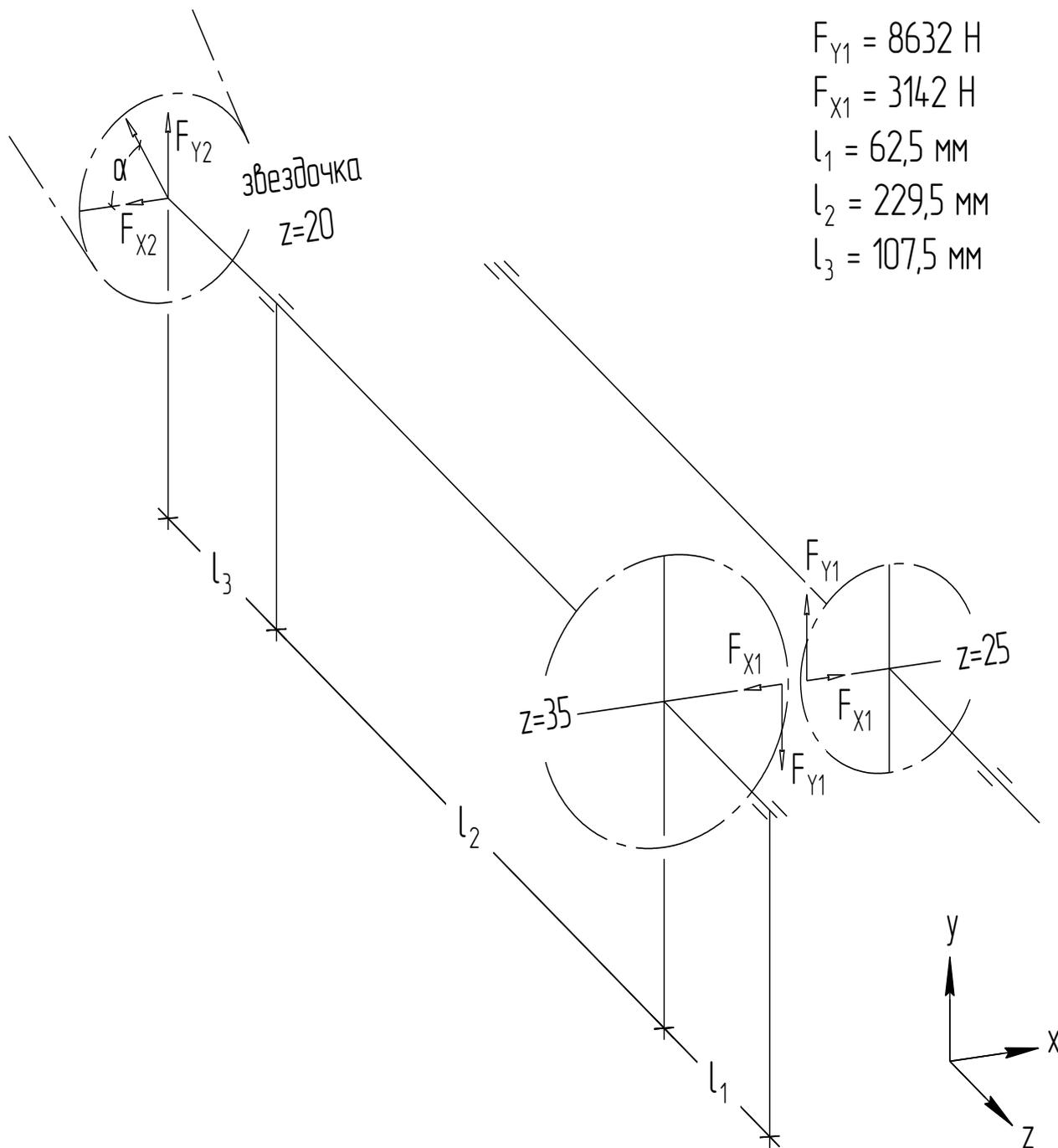


Рисунок 13 – Схема нагружения валов

Для определения реакции опоры R_{Y2} составляем уравнение моментов относительно опоры «1»

$$\Sigma M_1^Y = F_{Y1} \cdot \ell_2 - R_{Y2} \cdot (\ell_1 + \ell_2) = 0$$

тогда

$$R_{Y2} = \frac{F_{Y1} \cdot \ell_2}{\ell_1 + \ell_2} = \frac{8632 \cdot 229,5}{62,5 + 229,5} = 6784 \text{ Н}$$

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.05.2017.160.000 ПЗ				

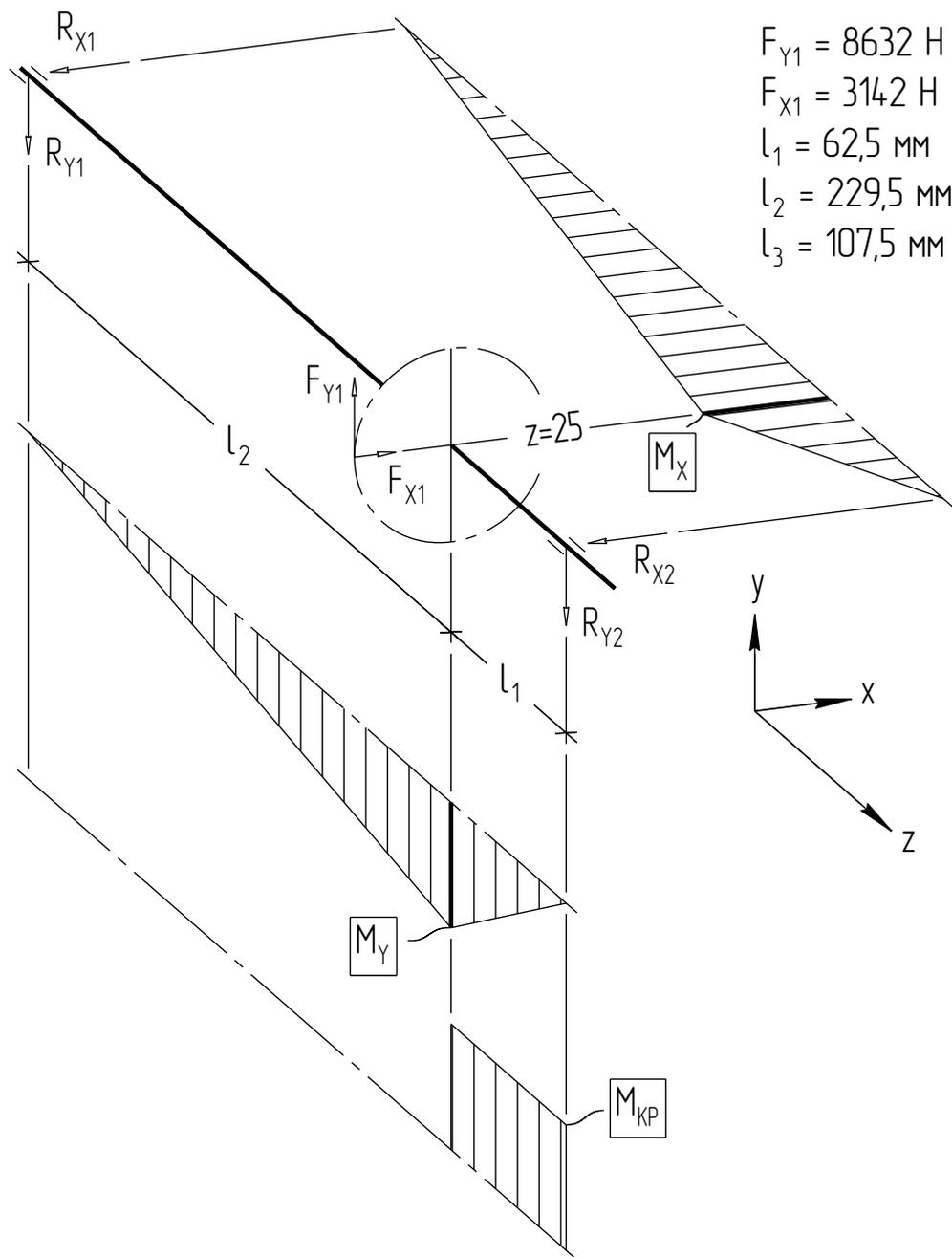


Рисунок 14 – К расчету вала I

Проверяем правильность определения опорных реакций, составив уравнение проекций сил на вертикальную ось

$$\Sigma Y = R_{Y1} - F_{Y1} + R_{Y2} = 1848 - 8632 + 6784 = 0$$

Для определения реакции опоры R_{X1} составляем уравнение моментов относительно опоры «2»

$$\Sigma M_2^X = R_{X1} \cdot (l_1 + l_2) - F_{X1} \cdot l_1 = 0$$

тогда

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

прочности для опасных сечений и сравнения их с допускаемыми значениями $[S] = 2,5$ [7, с. 162].

Определим коэффициенты запаса прочности для опасного сечения ведущего вала, принимая, что нормальные напряжения изменяются по симметричному циклу, а касательные – по отнулевому (пульсирующему).

Назначаем материал вала – сталь 45, имеющую механические свойства:

- временное сопротивление на разрыв $\sigma_b = 598$ МПа;
- предел выносливости по нормальным напряжениям $\sigma_{-1} = 309$ МПа;
- предел выносливости по касательным напряжениям $\tau_{-1} = 179$ МПа.

Определяем результирующие изгибающие моменты в середине посадочного места колеса

$$M_1 = \sqrt{M_Y^2 + M_X^2} = \sqrt{424116^2 + 154453,5^2} = 451365 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

где M_Y – изгибающий момент в опасном сечении в плоскости yOz

$$M_Y = R_{Y1} \cdot \ell_2 = 1848 \cdot 229,5 = 424116 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

M_X – изгибающий момент в опасном сечении в плоскости xOz

$$M_X = R_{X1} \cdot \ell_2 = 673 \cdot 229,5 = 154453,3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

В качестве концентратора напряжений в середине колеса выступают шлицы. Предварительно намечаем шлицы легкой серии (наружный диаметр 58 мм, внутренний диаметр 52 мм, ширина шлица 10 мм, число шлицев 8).

Проверяем вал на усталостную прочность в опасном сечении при одновременном действии изгибающего и крутящего моментов. Для этого определяем коэффициент запаса усталостной прочности

$$S = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{S_\sigma^2} + \frac{1}{S_\tau^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{4,9^2} + \frac{1}{5,2^2}}} = 3,5$$
$$S = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{S_\sigma^2} + \frac{1}{S_\tau^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{4,9^2} + \frac{1}{5,2^2}}} = 3,5$$

где S_σ – коэффициент запаса усталостной прочности при изгибе

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\beta \cdot \epsilon_\sigma} \cdot \sigma_V} = \frac{309}{2,17 \cdot 28,9} = 4,9$$

$\sigma_{-1} = 309$ МПа [7, с. 200] – предел выносливости стали 45 при изгибе;

$k_\sigma / (\epsilon_\sigma \cdot \beta) = 2,17$ [2, с. 554] – эффективный коэффициент концентрации

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

напряжений изгиба;

β – поправочный коэффициент, учитывающий качество обработки и состояние поверхности вала (для термообработанных валов с последующим шлифованием);

ε_σ – масштабный фактор, учитывающий влияние размеров сечения вала на усталостную прочность;

σ_V – амплитуда цикла изгибных напряжений при симметричном цикле

$$\sigma_V = \frac{M_1}{W} = \frac{451365}{15598} = 28,9 \text{ МПа}$$

W – момент сопротивления изгибу шлицевого сечения вала

$$W = \xi \cdot \frac{\pi d^3}{32} = 1,13 \cdot \frac{3,14 \cdot 52^3}{32} = 15598 \text{ мм}^3$$

$d = 52$ мм – диаметр впадин шлицев;

$\xi = 1,13$ – коэффициент, учитывающий усиление вала выступами шлицев

S_τ – коэффициент запаса усталостной прочности при кручении

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\beta \cdot \varepsilon_\tau} \cdot \tau_V + \psi_\tau \cdot \tau_M} = \frac{179}{3,84 \cdot 8,6 + 0,1 \cdot 8,6} = 5,2,$$

где $\tau_{-1} = 179$ МПа [7, с. 200] – предел выносливости при кручении;

$k_\tau / (\varepsilon_\tau \cdot \beta) = 3,84$ [2, с. 554] – эффективный коэффициент концентрации напряжений кручения;

β – поправочный коэффициент, учитывающий качество обработки и состояние поверхности вала (для термообработанных валов с последующим шлифованием);

ε_τ – масштабный фактор, учитывающий влияние размеров сечения вала на усталостную прочность;

τ_V – амплитуда цикла напряжений при кручения

$$\tau_V = \frac{M_{\text{кр}}}{2W_{\text{кр}}} = \frac{539500}{2 \cdot 31196} = 8,6 \text{ МПа}$$

$W_{\text{кр}}$ – момент сопротивления кручению сечения вала

$$W_{\text{кр}} \approx 2W = 2 \cdot 15598 = 31196 \text{ мм}^3$$

$\psi_\tau = 0,1$ – коэффициент чувствительности материала вала к постоянной составляющей отнулевого цикла касательных напряжений;

$\tau_M = \tau_V = 8,6$ МПа – постоянная составляющая отнулевого цикла касательных напряжений

Из расчета видно, что фактический коэффициент запаса усталостной прочности для опасного сечения вала $S = 3,5$ больше предельно допустимого

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

коэффициент запаса $[S] = 2,5$, следовательно, рассчитанный вал обладает достаточной усталостной прочностью.

Проверяем на прочность шпоночное соединение выходного конца быстроходного вала с полумуфтой по допускаемым напряжениям смятия $[\sigma_{\text{СМ}}]=100$ МПа [7, с. 170]

$$\sigma_{\text{СМ}} = \frac{2M_{\text{КР}}}{d \cdot l_{\text{р}} \cdot (h - t_1)} = \frac{2 \cdot 539500}{58 \cdot 84 \cdot (10 - 6)} = 55 \text{ МПа}$$

где $d = 58$ мм – диаметр вала,

$l_{\text{р}}$ – длина рабочей грани шпонки

$$l_{\text{р}} = l - b = 100 - 16 = 84 \text{ мм}$$

$l = 40$ мм – общая длина шпонки,

$h = 5$ мм – высота шпонки,

$t_1 = 3$ мм – глубина шпоночного паза на валу;

$b = 5$ мм – ширина шпонки.

Проверяем на прочность шлицевое соединение блока шестерен с валом по допускаемым напряжениям смятия $[\sigma_{\text{СМ}}] = 100$ МПа [7, с. 175]

$$\sigma_{\text{СМ}} = \frac{M_{\text{КР}}}{0,75 \cdot z \cdot A_{\text{СМ}} \cdot R_{\text{СР}}} = \frac{539500}{0,75 \cdot 8 \cdot 240 \cdot 27,5} = 14 \text{ МПа}$$

где $z = 8$ – число шлицев,

$A_{\text{СМ}}$ – расчетная площадь смятия,

$$A_{\text{СМ}} = \left(\frac{D - d}{2} - 2 \cdot f \right) \cdot l = \left(\frac{58 - 52}{2} - 2 \cdot 0,5 \right) \cdot 120 = 240 \text{ мм}^2$$

$R_{\text{СР}}$ – средний радиус соединения

$$R_{\text{СР}} = 0,25(D+d) = 0,25(58+52) = 27,5 \text{ мм},$$

где $D = 58$ мм – диаметр вершин шлицев,

$d = 52$ мм – диаметр впадин шлицев,

$f = 0,5$ мм – фаска при вершине шлица.

Из расчета видно, что напряжение смятия в шлицевом соединении не превышает предельно допустимого, т.е. $\sigma_{\text{СМ}} = 14$ МПа $<$ $[\sigma_{\text{СМ}}] = 100$ МПа.

Произведем расчет вала II.

Расчетная схема вала, эпюры моментов представлены в соответствии с рисунком 15.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

15.03.05.2017.160.000 ПЗ

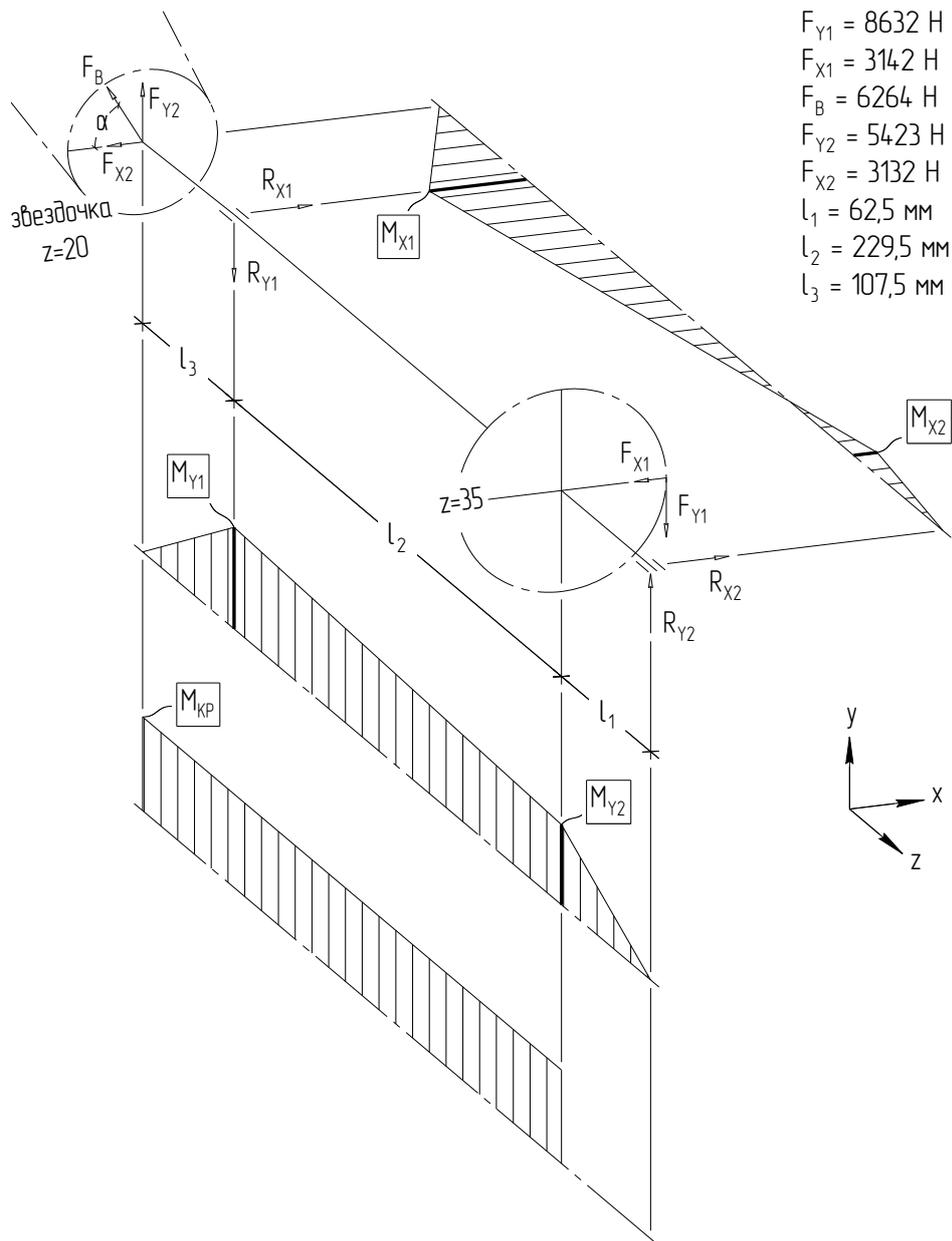


Рисунок 15 – К расчету вала II

Определяем предварительные значения диаметра вала из расчета на чистое кручение по пониженным касательным напряжениям

$$d_{II} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{II}}{\pi \cdot [\tau]_K}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 732792}{3,14 \cdot 16}} = 62 \text{ мм}$$

где $[\tau] = 16 \text{ МПа}$ [7, с. 161] – допускаемое напряжение при кручении.

По посадочным диаметрам валов под опоры подбираем стандартные подшипники: подшипник 113 ГОСТ 8338-75 (внутренний диаметр 65 мм).

Для определения реакции опоры R_{Y1} составляем уравнение моментов относительно опоры «2»

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.05.2017.160.000 ПЗ					

$$\Sigma M_2^Y = R_{Y1} \cdot (\ell_1 + \ell_2) - F_{Y2} \cdot (\ell_1 + \ell_2 + \ell_3) + F_{Y1} \cdot \ell_1 = 0$$

тогда

$$R_{Y1} = \frac{F_{Y2} \cdot (\ell_1 + \ell_2 + \ell_3) - F_{Y1} \cdot \ell_1}{\ell_1 + \ell_2} = \frac{5423 \cdot (62,5 + 229,5 + 107,5) - 8632 \cdot 62,5}{62,5 + 229,5} = 5572 \text{ Н}$$

где $F_{Y1} = 8632 \text{ Н}$ – вертикальная сила в зацеплении колес 25/35, равная окружной;
 F_{Y2} – вертикальная составляющая силы в цепной передаче

$$F_{Y2} = F_B \cdot \cos 60^\circ = 6264 \cdot \cos 60^\circ = 5423 \text{ Н}$$

$\ell_1 = 62,5 \text{ мм}$; $\ell_2 = 229,5 \text{ мм}$; $\ell_3 = 107,5 \text{ мм}$ – расстояние от места приложения нагрузки до середин опор вала.

Для определения реакции опоры R_{Y2} составляем уравнение моментов относительно опоры «1»

$$\Sigma M_1^Y = R_{Y2} \cdot (\ell_1 + \ell_2) - F_{Y2} \cdot \ell_3 - F_{Y1} \cdot \ell_2 = 0$$

тогда

$$R_{Y2} = \frac{F_{Y2} \cdot \ell_3 + F_{Y1} \cdot \ell_2}{\ell_1 + \ell_2} = \frac{5423 \cdot 107,5 + 8632 \cdot 229,5}{62,5 + 229,5} = 8781 \text{ Н}$$

Проверяем правильность определения опорных реакций, составив уравнение проекций сил на вертикальную ось

$$\Sigma Y = F_{Y2} - R_{Y1} - F_{Y1} + R_{Y2} = 5423 - 5572 - 8632 + 8781 = 0$$

Для определения реакции опоры R_{X1} составляем уравнение моментов относительно опоры «2»

$$\Sigma M_2^X = F_{X1} \cdot \ell_1 + F_{X2} \cdot (\ell_1 + \ell_2 + \ell_3) - R_{X1} \cdot (\ell_1 + \ell_2) = 0$$

тогда

$$R_{X1} = \frac{F_{X1} \cdot \ell_1 + F_{X2} \cdot (\ell_1 + \ell_2 + \ell_3)}{\ell_1 + \ell_2} = \frac{3124 \cdot 62,5 + 3132 \cdot (62,5 + 229,5 + 107,5)}{62,5 + 229,5} = 4954 \text{ Н}$$

где $F_{X1} = 3124 \text{ Н}$ – горизонтальная сила в зацеплении колес 25/35, равная радиальной;

F_{X2} – горизонтальная составляющая силы в цепной передаче

$$F_{X2} = F_B \cdot \sin 60^\circ = 6264 \cdot \sin 60^\circ = 3132 \text{ Н}$$

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

15.03.05.2017.160.000 ПЗ

Для определения реакции опоры R_{X2} составляем уравнение моментов относительно опоры «1»

$$\Sigma M_1^X = R_{X2} \cdot (\ell_1 + \ell_2) - F_{X1} \cdot \ell_2 + F_{X2} \cdot \ell_3 = 0$$

тогда

$$R_{X2} = \frac{F_{X1} \cdot \ell_2 - F_{X2} \cdot \ell_3}{(\ell_1 + \ell_2)} = \frac{3124 \cdot 229,5 - 3132 \cdot 107,5}{62,5 + 229,5} = 1302 \text{ Н}$$

Проверяем правильность определения опорных реакций, составив уравнение проекций сил на горизонтальную ось

$$\Sigma X = R_{X1} - F_{X1} - F_{X2} + R_{X2} = 4954 - 3124 - 3132 + 1302 = 0$$

Определяем суммарные радиальные реакции опор

$$R_1 = \sqrt{R_{Y1}^2 + R_{X1}^2} = \sqrt{5572^2 + 4954^2} = 7456 \text{ Н}$$

$$R_2 = \sqrt{R_{Y2}^2 + R_{X2}^2} = \sqrt{8781^2 + 1302^2} = 8877 \text{ Н}$$

Рассмотрим наиболее нагруженный подшипник.
Эквивалентная нагрузка

$$P_{\Sigma 2} = R_2 \cdot V \cdot K_{\delta} \cdot K_T = 8877 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1 = 10652,4 \text{ Н}$$

где $V = 1$ [7, с. 212] – коэффициент от вращения внутреннего кольца;

$K_{\delta} = 1,2$ [7, с. 214, таблица 9.19] – коэффициент от условий работы;

$K_T = 1$ [7, с. 214, таблица 9.19] – коэффициент от температуры.

Для более нагруженного подшипника вычисляем расчетный ресурс

$$L_h = a_1 \cdot a_2 \cdot \left(\frac{C}{P_{\Sigma 2}}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_2} = 1 \cdot 0,7 \cdot \left(\frac{30700}{10652,4}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 12,6} \approx 22160 \text{ ч}$$

где $a_1 = 1$ [7, 132] – коэффициент, учитывающий вероятность отказов подшипника;

$a_2 = 0,7$ [7, 132] – коэффициент, учитывающий условия работы;

$C = 30700$ [7, с. 233, таблица 136] – динамическая грузоподъемность.

Рекомендуемое значение расчетного ресурса для заданных условий работы 10000 ч [1, с. 129, таблица 71]. Так как расчетный ресурс подшипников больше требуемого, то делаем вывод о достаточной надежности подшипников вала II.

Определим коэффициенты запаса прочности для предположительно опасных

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

сечений ведомого вала.

Определяем результирующие изгибающие моменты в середине посадочного места подшипника «1»

$$M_1 = \sqrt{M_{Y1}^2 + M_{X1}^2} = \sqrt{582972,5^2 + 336690^2} = 673214 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

где M_{Y1} – изгибающий момент в опасном сечении в плоскости y_0z

$$M_{Y1} = F_{Y2} \cdot \ell_3 = 5423 \cdot 107,5 = 582972,5 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

M_{X1} – изгибающий момент в опасном сечении в плоскости y_0z

$$M_{X1} = F_X \cdot \ell_1 = 3132 \cdot 107,5 = 336690 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Определяем результирующие изгибающие моменты в середине посадочного места зубчатого колеса

$$M_2 = \sqrt{M_{Y2}^2 + M_{X2}^2} = \sqrt{548812,5^2 + 81375^2} = 554813 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

где M_{Y2} – изгибающий момент в опасном сечении в плоскости y_0z

$$M_{Y2} = R_{Y2} \cdot \ell_1 = 8781 \cdot 62,5 = 548812,5 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

M_{X2} – изгибающий момент в опасном сечении в плоскости y_0z

$$M_{X2} = R_{X2} \cdot \ell_1 = 1302 \cdot 62,5 = 81375 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Из эпюр изгибающих моментов положение опасного сечения очевидно – это сечение в середине посадочного места подшипника «1». В качестве концентратора напряжений выступает переходная посадка с возможным натягом.

Проверяем вал на усталостную прочность в опасном сечении при одновременном действии изгибающего и крутящего моментов. Для этого определяем коэффициент запаса усталостной прочности

$$S = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{S_\sigma^2} + \frac{1}{S_\tau^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{3,5^2} + \frac{1}{6,8^2}}} = 3,1$$

где S_σ – коэффициент запаса усталостной прочности при изгибе

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\beta \cdot \epsilon_\sigma}} = \frac{309}{3,52 \cdot 24,9} = 3,5$$

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$\sigma_{-1} = 309$ МПа [7, с. 200] – предел выносливости стали 45 при изгибе;
 $k_{\sigma} / (\varepsilon_{\sigma} \cdot \beta) = 3,52$ [2, с. 554] – эффективный коэффициент концентрации напряжений изгиба;

β – поправочный коэффициент, учитывающий качество обработки и состояние поверхности вала (для термообработанных валов с последующим шлифованием);

ε_{σ} – масштабный фактор, учитывающий влияние размеров сечения вала на усталостную прочность;

σ_V – амплитуда цикла изгибных напряжений при симметричном цикле

$$\sigma_V = \frac{M_1}{W} = \frac{673214}{26961} = 24,9 \text{ МПа}$$

W – момент сопротивления изгибу круглого сечения вала

$$W = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 65^3}{32} = 26961 \text{ мм}^3$$

$d = 65$ мм – диаметр вала в опасном сечении;

S_{τ} – коэффициент запаса усталостной прочности при кручении

$$S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_{\tau}}{\beta \cdot \varepsilon_{\tau}} \cdot \tau_V + \psi_{\tau} \cdot \tau_M} = \frac{179}{3,79 \cdot 6,7 + 0,1 \cdot 6,7} = 6,8$$

$\tau_{-1} = 179$ МПа [7, с. 200] – предел выносливости при кручении;

$k_{\tau} / (\varepsilon_{\tau} \cdot \beta) = 3,79$ [7, с. 554] – эффективный коэффициент концентрации напряжений кручения;

ε_{τ} – масштабный фактор, учитывающий влияние размеров сечения вала на усталостную прочность;

τ_V – амплитуда цикла напряжений при кручения

$$\tau_V = \frac{M_{\text{кр}}}{2W_{\text{кр}}} = \frac{732792}{2 \cdot 53922} = 6,7 \text{ МПа}$$

$$\tau_V = \frac{M_{\text{кр}}}{2W_{\text{кр}}} = \frac{732792}{2 \cdot 53922} = 6,7 \text{ МПа}$$

$W_{\text{кр}}$ – момент сопротивления кручению сечения вала

$$W_{\text{кр}} = 2W = 2 \cdot 26961 = 53922 \text{ мм}^3$$

$\psi_{\tau} = 0,1$ – коэффициент чувствительности материала вала к постоянной составляющей отнулевого цикла касательных напряжений;

$\tau_M = \tau_V = 6,7$ МПа – постоянная составляющая отнулевого цикла касательных напряжений

Из расчета видно, что фактический коэффициент запаса усталостной

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

15.03.05.2017.160.000 ПЗ

прочности для опасного сечения вала $S = 3,1$ больше предельно допустимого коэффициент запаса $[S] = 2,5$, следовательно, рассчитанный вал обладает достаточной усталостной прочностью.

Проверяем на прочность шпоночное соединение вала с зубчатым колесом $z = 35$ по допускаемым напряжениям смятия $[\sigma_{см}] = 100$ МПа [7, с. 170]

$$\sigma_{см} = \frac{2M_{кр}}{d \cdot l_p \cdot (h - t_1)} = \frac{2 \cdot 732792}{75 \cdot 80 \cdot (12 - 7,5)} = 54 \text{ МПа}$$

где $d = 75$ мм – диаметр вала в шпоночном соединении,
 l_p – длина рабочей грани шпонки

$$l_p = l - b = 100 - 20 = 80 \text{ мм}$$

$l = 100$ мм – общая длина шпонки,
 $h = 12$ мм – высота шпонки,
 $t_1 = 7,5$ мм – глубина шпоночного паза на валу;
 $b = 20$ мм – ширина шпонки.

3.6 Расчет привода при обработке коррозионно-стойкой стали

Выполним расчет привода при включении передачи 20/40 ($n_2 = 7,4$ об/мин).

В соответствии с расчётной цепочкой определяем крутящие моменты на валах привода.

На первичном валу коробки передач

$$M_I = M = 539500 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

На выходном валу коробки передач

$$M_{II} = \frac{M_I \cdot \eta_3 \cdot \eta_{II}}{20/40} = \frac{539500 \cdot 0,98 \cdot 0,99}{0,5} = 1046846 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

На валу роликового ножа

$$M_{III} = \frac{M_{II} \cdot \eta_3 \cdot \eta_{II}}{20/24} = \frac{1046846 \cdot 0,96 \cdot 0,99}{0,83} = 1193907 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

где $\eta_3 = 0,98$ [2, с. 24] – коэффициент полезного действия цилиндрической прямозубой передачи;

$\eta_p = 0,96$ [2, с. 24] – коэффициент полезного действия цепной передачи,

$\eta_{II} = 0,99$ [2, с. 25] – коэффициент полезного действия пары подшипников качения.

Выполним проектировочный расчет зубчатой передачи 20/40.

Материалы передачи и требования к термообработке для передачи 20/40

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

15.03.05.2017.160.000 ПЗ

аналогичны передаче 25/35. Основные расчетные характеристики (согласно 3.4):

- модуль зацепления $m = 5$ мм;
- ширина венца $b = 45$ мм;
- межосевое расстояние $a_w = 150$ мм;
- передаточное число $u = 2$;
- допускаемые контактные напряжения $[\sigma_H] = 991$ МПа;
- уточнённый коэффициент контактных напряжений $K_H = 1,42$;
- допускаемые изгибные напряжения $[\sigma_F] = 463$ МПа;

Определяем контактные напряжения на активных поверхностях зубьев

$$\sigma_H = \frac{310}{a_w} \sqrt{\frac{M_{II} \cdot K_H (u_1 + 1)^3}{b \cdot u_1}} = \frac{310}{150} \sqrt{\frac{1046846 \cdot 1,42 \cdot (2 + 1)^3}{45 \cdot 2^2}} = 976 \text{ МПа}$$

Из расчёта видно, что контактные напряжения на активных поверхностях зубьев не превышает предельно допустимых для выбранного материала и термообработки

$$\sigma_H = 976 \text{ МПа} < [\sigma_H] = 991 \text{ МПа}$$

Следовательно, колёса удовлетворяют требованиям контактной выносливости. Определяем окружную силу, действующую в зацеплении

$$F_t = \frac{2 \cdot M_I}{m \cdot z_1} = \frac{2 \cdot 539500}{5 \cdot 20} = 10790 \text{ Н}$$

Определяем радиальную силу, действующую в зацеплении

$$F_r = F_t \cdot \text{tg} \alpha = 10790 \cdot \text{tg} 20^\circ = 3927 \text{ Н}$$

где $\alpha = 20^\circ$ - угол зацепления.

Определяем действующие изгибные напряжения для колеса z_1 .

$$\sigma_F = \frac{F_t \cdot K_F \cdot Y_F}{b \cdot m} = \frac{10790 \cdot 1,294 \cdot 4,09}{45 \cdot 5} = 254 \text{ МПа},$$

где $K_F = 1,204$ [9, с. 43] – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений по ширине зуба,

$Y_F = 4,09$ [9, стр. 42] – коэффициент формы зуба.

Из расчёта видно, что изгибные напряжения не превышает предельно допустимых для выбранного материала и термообработки

$$\sigma_F = 254 \text{ МПа} < [\sigma_F] = 386 \text{ МПа}$$

Следовательно, рассчитанная передача удовлетворяет требованиям изгибной прочности.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

15.03.05.2017.160.000 ПЗ

Выполним проектировочный расчет цепной передачи 20/24. Исходные данные для расчёта цепной передачи:

- вращающий момент на ведущей звёздочке $T_1 = M_{II} = 1046846 \text{ Н}\cdot\text{мм}$;
- вращающий момент на ведомой звёздочке $T_2 = M_{III} = 1193907 \text{ Н}\cdot\text{мм}$;
- передаточное число цепной передачи $u = 1,2$;
- частота вращения ведущей звездочки

$$n = n_1 \cdot u = 7,4 \cdot 1,2 = 8,9 \text{ об/мин};$$

- коэффициент условий эксплуатации $K_э = 1,875$
- допускаемое давление в шарнирах цепи $[p] = 44 \text{ МПа}$
- шаг цепи $t = 38,1 \text{ мм}$;
- разрушающая нагрузка $Q = 12700 \text{ Н}$;
- масса одного метра цепи $q = 5,5 \text{ кг/м}$;
- проекция опорной поверхности шарнира $A_{ОП} = 406,5 \text{ мм}^2$.
- диаметр делительной окружности ведущей звездочки $d_{Д1} = 243,55 \text{ мм}$;
- диаметр наружной окружности ведущей звёздочки $D_{Д1} = 260,59 \text{ мм}$;
- межосевое расстояние передачи $a_{ц} = 762 \text{ мм} = 0,762 \text{ м}$

Определяем скорость цепи

$$v = \frac{z_1 \cdot t \cdot n}{60000} = \frac{20 \cdot 38,1 \cdot 8,9}{60000} = 0,113 \text{ м/с},$$

Определяем окружную силу в передаче

$$F_{тц} = 2T_1 / d_{Д1} = 2 \cdot 1046846 / 243,55 = 8597 \text{ Н}$$

Проверяем давление в шарнире цепи

$$p = \frac{F_{тц} \cdot K_э}{A_{ОП}} = \frac{8597 \cdot 1,875}{406,5} = 40 \text{ МПа}$$

Из расчёта видно, что расчётное давление в шарнире цепи меньше допускаемого: $p < [p] = 44 \text{ МПа}$, следовательно, выбранная цепь может быть использована.

Определяем силы, действующие на цепь:

- окружная $F_{тц} = 8597 \text{ Н}$;
- от центробежных сил $F_э = 0 \text{ Н}$ (см. 3.4);
- от провисания цепи $F_f = 123 \text{ Н}$ (см. 3.4).

Определяем расчётную нагрузку на валы

$$F_B = F_{тц} + 2 \cdot F_f = 8597 + 2 \cdot 123 = 8843 \text{ Н}.$$

Определяем коэффициент запаса прочности цепи на растяжение

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				15.03.05.2017.160.000 ПЗ	

$$S = \frac{Q}{F_{tц} \cdot k_D + F_{\vartheta} + F_f} = \frac{12700}{8597 \cdot 1 + 0 + 123} = 1,5 > 1$$

Расчётный коэффициент запаса прочности цепи на растяжение $s=1,5$ больше единицы, следовательно, условие прочности цепи выполнено.

Далее произведен расчет валов коробки передач.

Расчетная схема для силового расчета коробки передач в режиме резки коррозионно-стойкой стали представлена в соответствии с рисунком 16.

Произведем расчет вала I.

Расчетная схема вала, эпюры моментов представлены в соответствии с рисунком 17.

Для определения реакции опоры R_{Y1} составляем уравнение моментов относительно опоры «2»

$$\Sigma M_2^Y = F_{Y1} \cdot \ell_1 - R_{Y1} \cdot (\ell_1 + \ell_2) = 0$$

тогда

$$R_{Y1} = \frac{F_{Y1} \cdot \ell_1}{\ell_1 + \ell_2} = \frac{10790 \cdot 229,5}{62,5 + 229,5} = 8480 \text{ Н}$$

где $F_{Y1} = 10790$ Н – вертикальная сила в зацеплении колес 20/40, равная окружной;

$\ell_1 = 229,5$ мм; $\ell_2 = 62,5$ мм – расстояние от места приложения нагрузки до середин опор вала (рисунок 16).

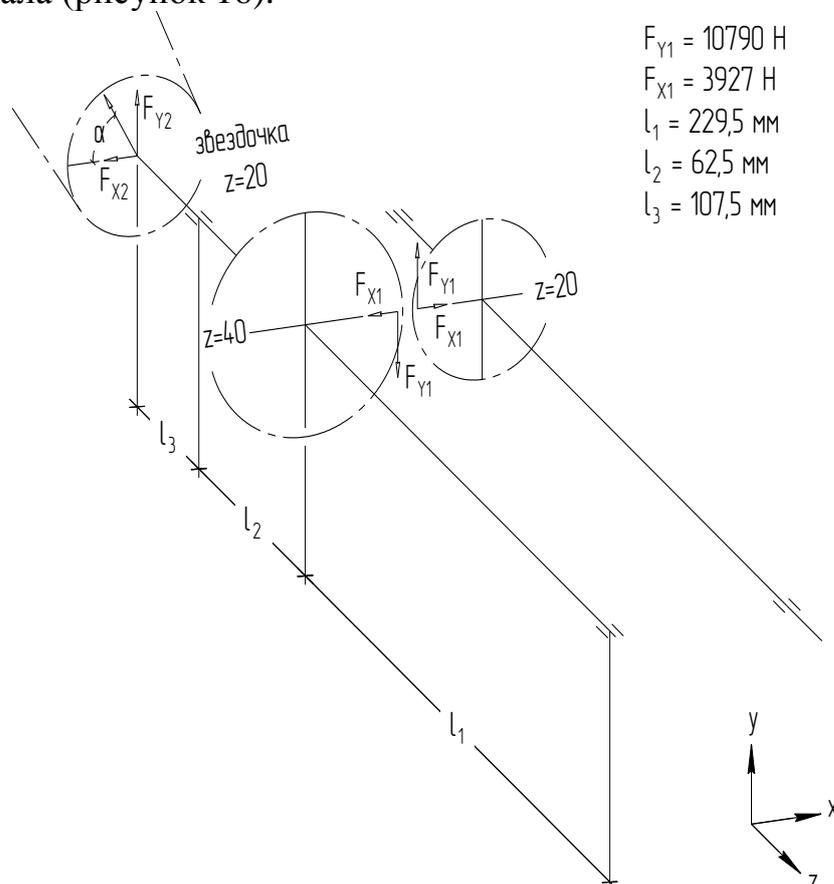


Рисунок 16 – Схема нагружения валов

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

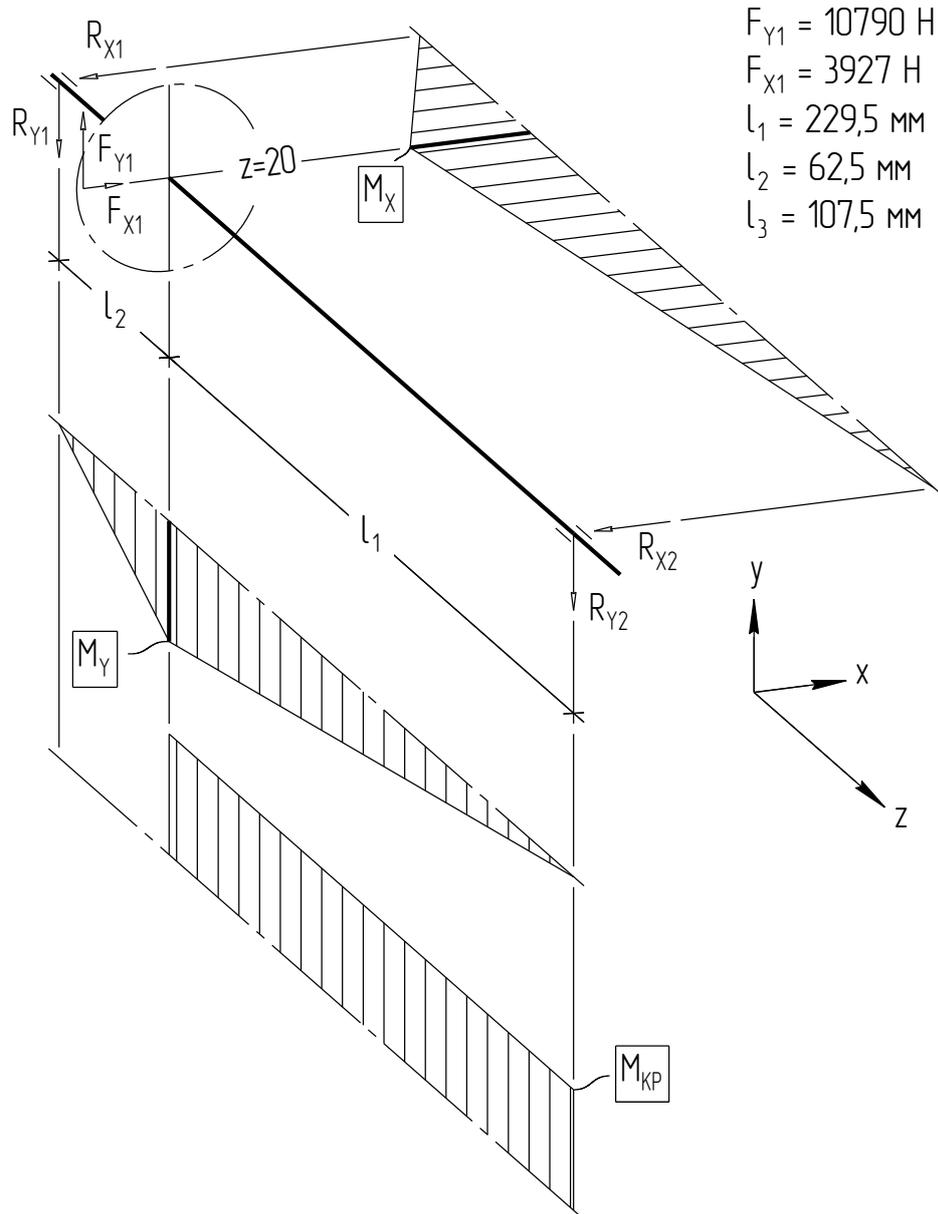


Рисунок 17 – К расчету вала I

Для определения реакции опоры R_{Y2} составляем уравнение моментов относительно опоры «1»

$$\Sigma M_1^Y = F_{Y1} \cdot l_2 - R_{Y2} \cdot (l_1 + l_2) = 0$$

тогда

$$R_{Y2} = \frac{F_{Y1} \cdot l_2}{l_1 + l_2} = \frac{10790 \cdot 62,5}{62,5 + 229,5} = 2310 \text{ H}$$

Проверяем правильность определения опорных реакций, составив уравнение проекций сил на вертикальную ось

$$\Sigma Y = R_{Y1} - F_{Y1} + R_{Y2} = 8480 - 10790 + 2310 = 0$$

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.05.2017.160.000 ПЗ					

Для определения реакции опоры R_{X1} составляем уравнение моментов относительно опоры «2»

$$\Sigma M_2^X = R_{X1} \cdot (\ell_1 + \ell_2) - F_{X1} \cdot \ell_1 = 0$$

тогда

$$R_{X1} = \frac{F_{X1} \cdot \ell_1}{\ell_1 + \ell_2} = \frac{3927 \cdot 229,5}{62,5 + 229,5} = 3086 \text{ Н}$$

Для определения реакции опоры R_{X2} составляем уравнение моментов относительно опоры «1»

$$\Sigma M_1^X = F_{X1} \cdot \ell_2 - R_{X2} \cdot (\ell_1 + \ell_2) = 0$$

тогда

$$R_{X2} = \frac{F_{X1} \cdot \ell_2}{\ell_1 + \ell_2} = \frac{3927 \cdot 62,5}{62,5 + 229,5} = 841 \text{ Н}$$

Проверяем правильность определения опорных реакций, составив уравнение проекций сил на горизонтальную ось

$$\Sigma X = F_{X1} - R_{X1} - R_{X2} = 3927 - 3086 + 841 = 0$$

Определяем суммарные радиальные реакции опор

$$R_1 = \sqrt{R_{Y1}^2 + R_{X1}^2} = \sqrt{8480^2 + 3086^2} = 9024 \text{ Н}$$

$$R_2 = \sqrt{R_{Y2}^2 + R_{X2}^2} = \sqrt{2310^2 + 841^2} = 2458 \text{ Н}$$

Рассмотрим наиболее нагруженный подшипник.

Эквивалентная нагрузка

$$P_{\text{Э1}} = R_1 \cdot V \cdot K_{\text{б}} \cdot K_{\text{Т}} = 9024 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1 = 10828,8 \text{ Н}$$

где $V = 1$ [7, с. 212] – коэффициент от вращения внутреннего кольца;

$K_{\text{б}} = 1,2$ [7, с. 214, таблица 9.19] – коэффициент от условий работы;

$K_{\text{Т}} = 1$ [7, с. 214, таблица 9.19] – коэффициент от температуры.

Для более нагруженного подшипника вычисляем расчетный ресурс

$$L_h = a_1 \cdot a_2 \cdot \left(\frac{C}{P_{\text{Э2}}} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_1} = 1 \cdot 0,7 \cdot \left(\frac{35100}{10652,4} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 17,7} \approx 22450 \text{ ч}$$

где $a_1 = 1$ [7, 132] – коэффициент, учитывающий вероятность отказов подшипника;

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.05.2017.160.000 ПЗ				

$a_2 = 0,7$ [7, 132] – коэффициент, учитывающий условия работы;
 $C = 35100$ [7, с. 233, таблица 136] – динамическая грузоподъемность.

Рекомендуемое значение расчетного ресурса для заданных условий работы 10000 ч [1, с. 129, таблица 71]. Так как расчетный ресурс подшипников больше требуемого, то делаем вывод о достаточной надежности подшипников вала I.

Определим коэффициенты запаса прочности для опасного сечения ведущего вала.

Определяем результирующие изгибающие моменты в середине посадочного места колеса

$$M_1 = \sqrt{M_Y^2 + M_X^2} = \sqrt{530000^2 + 192875^2} = 564004 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

где M_Y – изгибающий момент в опасном сечении в плоскости y_0z

$$M_Y = R_{Y1} \cdot \ell_2 = 8480 \cdot 62,5 = 530000 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

M_X – изгибающий момент в опасном сечении в плоскости y_0z

$$M_X = R_{X1} \cdot \ell_2 = 3086 \cdot 62,5 = 192875 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Проверяем вал на усталостную прочность в опасном сечении (в середине колеса $z = 25$), ослабленного шлицами. Для этого определяем коэффициент запаса усталостной прочности

$$S = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{S_\sigma^2} + \frac{1}{S_\tau^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{3,9^2} + \frac{1}{5,2^2}}} = 3,1$$

где S_σ – коэффициент запаса усталостной прочности при изгибе

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\beta \cdot \epsilon_\sigma} \cdot \sigma_V} = \frac{309}{2,17 \cdot 36,1} = 3,9$$

$\sigma_{-1} = 309$ МПа [7, с. 200] – предел выносливости стали 45 при изгибе;

$k_\sigma / (\epsilon_\sigma \cdot \beta) = 2,17$ [2, с. 554] – эффективный коэффициент концентрации напряжений изгиба;

β – поправочный коэффициент, учитывающий качество обработки и состояние поверхности вала;

ϵ_σ – масштабный фактор, учитывающий влияние размеров сечения вала на усталостную прочность;

σ_V – амплитуда цикла изгибных напряжений при симметричном цикле

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.05.2017.160.000 ПЗ				

$$\sigma_V = \frac{M_1}{W} = \frac{564004}{15598} = 36,1 \text{ МПа}$$

$W = 15598 \text{ мм}^3$ – момент сопротивления изгибу шлицевого сечения вала (см. 3.4);

$S_\tau = 5,3$ – коэффициент запаса усталостной прочности при кручении (см. 3.4).

Из расчета видно, что фактический коэффициент запаса усталостной прочности для опасного сечения вала $S = 3,1$ больше предельно допустимого коэффициент запаса $[S] = 2,5$, следовательно, рассчитанный вал обладает достаточной усталостной прочностью.

Проверяем на смятие соединения быстроходного вала: шпоночное соединение с полумуфтой и шлицевое соединение с блоком шестерен по допускаемым напряжениям $[\sigma_{см}] = 100 \text{ МПа}$.

Так как крутящий момент на входе коробки передач для обоих режимов одинаков, то напряжения смятия на рабочих гранях шпонки и шлицев равны 55 и 14 МПа соответственно (см. 3.4). Следовательно, шлицевое и шпоночное соединения удовлетворяют требованиям прочности при смятии.

Произведем расчет вала II.

Расчетная схема вала, эпюры моментов представлены в соответствии с рисунком 18.

Для определения реакции опоры R_{Y1} составляем уравнение моментов относительно опоры «2»

$$\Sigma M_2^Y = R_{Y1} \cdot (\ell_1 + \ell_2) - F_{Y2} \cdot (\ell_1 + \ell_2 + \ell_3) + F_{Y1} \cdot \ell_1 = 0$$

тогда

$$R_{Y1} = \frac{F_{Y2} \cdot (\ell_1 + \ell_2 + \ell_3) - F_{Y1} \cdot \ell_1}{\ell_1 + \ell_2} = \frac{7658 \cdot (229,5 + 62,5 + 107,5) - 10790 \cdot 229,5}{229,5 + 62,5} = 1997 \text{ Н}$$

где $F_{Y1} = 10790 \text{ Н}$ – вертикальная сила в зацеплении колес 20/40, равная окружной;

$\ell_1 = 229,5 \text{ мм}$; $\ell_2 = 62,5 \text{ мм}$; $\ell_3 = 107,5 \text{ мм}$ – расстояние от места приложения нагрузки до середин опор вала.

Для определения реакции опоры R_{Y2} составляем уравнение моментов относительно опоры «1»

$$\Sigma M_1^Y = R_{Y2} \cdot (\ell_1 + \ell_2) - F_{Y2} \cdot \ell_3 - F_{Y1} \cdot \ell_2 = 0$$

тогда

$$R_{Y2} = \frac{F_{Y2} \cdot \ell_3 + F_{Y1} \cdot \ell_2}{\ell_1 + \ell_2} = \frac{7658 \cdot 107,5 + 10790 \cdot 62,5}{229,5 + 62,5} = 5129 \text{ Н}$$

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

15.03.05.2017.160.000 ПЗ

тогда

$$R_{X1} = \frac{F_{X1} \cdot \ell_1 + F_{X2} \cdot (\ell_1 + \ell_2 + \ell_3)}{\ell_1 + \ell_2} = \frac{3927 \cdot 229,5 + 3829 \cdot (229,5 + 62,5 + 107,5)}{229,5 + 62,5} = 8325 \text{ Н}$$

где $F_{X1} = 3927 \text{ Н}$ – горизонтальная сила в зацеплении колес 20/405, равная радиальной;

F_{X2} – горизонтальная составляющая силы в цепной передаче

$$F_{X2} = F_B \cdot \sin 60^\circ = 8843 \cdot \sin 60^\circ = 3829 \text{ Н}$$

Для определения реакции опоры R_{X2} составляем уравнение моментов относительно опоры «1»

$$\Sigma M_1^X = F_{X2} \cdot \ell_3 - F_{X1} \cdot \ell_2 - R_{X2} \cdot (\ell_1 + \ell_2) = 0$$

тогда

$$R_{X2} = \frac{F_{X2} \cdot \ell_3 - F_{X1} \cdot \ell_2}{\ell_1 + \ell_2} = \frac{3829 \cdot 107,5 - 3927 \cdot 62,5}{229,5 + 62,5} = 569 \text{ Н}$$

Проверяем правильность определения опорных реакций, составив уравнение проекций сил на горизонтальную ось

$$\Sigma X = R_{X1} - F_{X1} - F_{X2} - R_{X2} = 8325 - 3927 - 3829 - 569$$

Определяем суммарные радиальные реакции опор

$$R_1 = \sqrt{R_{Y1}^2 + R_{X1}^2} = \sqrt{1997^2 + 8325^2} = 8561 \text{ Н}$$

$$R_2 = \sqrt{R_{Y2}^2 + R_{X2}^2} = \sqrt{5129^2 + 569^2} = 5160 \text{ Н}$$

Рассмотрим наиболее нагруженный подшипник.

Эквивалентная нагрузка

$$P_{\text{Э1}} = R_1 \cdot V \cdot K_6 \cdot K_T = 8561 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1 = 10273,2 \text{ Н}$$

где $V = 1$ [7, с. 212] – коэффициент от вращения внутреннего кольца;

$K_6 = 1,2$ [7, с. 214, таблица 9.19] – коэффициент от условий работы;

$K_T = 1$ [7, с. 214, таблица 9.19] – коэффициент от температуры.

Для более нагруженного подшипника вычисляем расчетный ресурс

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$L_h = a_1 \cdot a_2 \cdot \left(\frac{C}{P_{Э1}}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_2} = 1 \cdot 0,7 \cdot \left(\frac{30700}{10273,2}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 8,85} \approx 35180 \text{ ч}$$

где $a_1 = 1$ [7, 132] – коэффициент, учитывающий вероятность отказов подшипника;

$a_2 = 0,7$ [7, 132] – коэффициент, учитывающий условия работы;

$C = 30700$ [7, с. 233, таблица 136] – динамическая грузоподъемность.

Рекомендуемое значение расчетного ресурса для заданных условий работы 10000 ч [1, с. 129, таблица 71]. Так как расчетный ресурс подшипников больше требуемого, то делаем вывод о достаточной надежности подшипников вала II.

Определим коэффициенты запаса прочности для предположительно опасных сечений ведомого вала.

Определяем результирующие изгибающие моменты в середине посадочного места подшипника «1»

$$M_1 = \sqrt{M_{Y1}^2 + M_{X1}^2} = \sqrt{823235^2 + 411617,5^2} = 920405 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

где M_{Y1} – изгибающий момент в опасном сечении в плоскости y_0z

$$M_{Y1} = F_{Y2} \cdot \ell_3 = 7658 \cdot 107,5 = 823235 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

M_{X1} – изгибающий момент в опасном сечении в плоскости y_0z

$$M_{X1} = F_X \cdot \ell_1 = 3132 \cdot 107,5 = 336690 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Определяем результирующие изгибающие моменты в середине посадочного места зубчатого колеса

$$M_2 = \sqrt{M_{Y2}^2 + M_{X2}^2} = \sqrt{1177105,5^2 + 130585,5^2} = 1184327 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

где M_{Y2} – изгибающий момент в опасном сечении в плоскости y_0z

$$M_{Y2} = R_{Y2} \cdot \ell_1 = 5129 \cdot 229,5 = 1177105,5 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

M_{X2} – изгибающий момент в опасном сечении в плоскости y_0z

$$M_{X2} = R_{X2} \cdot \ell_1 = 569 \cdot 229,5 = 130585,5 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Из эпюр изгибающих моментов положение опасного сечения очевидно – это сечение в середине посадочного места колеса $z = 40$. В качестве концентратора напряжений выступает шпоночный паз глубиной 7,5 мм и шириной 20 мм.

Проверяем вал на усталостную прочность в опасном сечении при одновременном действии изгибающего и крутящего моментов. Для этого

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

определяем коэффициент запаса усталостной прочности

$$S = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{S_\sigma^2} + \frac{1}{S_\tau^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{4^2} + \frac{1}{10^2}}} = 3,7$$

где S_σ – коэффициент запаса усталостной прочности при изгибе

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\beta \cdot \varepsilon_\sigma} \cdot \sigma_V} = \frac{309}{2,37 \cdot 32,1} = 4$$

$\sigma_{-1} = 309$ МПа [7, с. 200] – предел выносливости стали 45 при изгибе;

$k_\sigma / (\varepsilon_\sigma \cdot \beta) = 2,37$ [2, с. 554] – эффективный коэффициент концентрации напряжений изгиба;

β – поправочный коэффициент, учитывающий качество обработки и состояние поверхности вала;

ε_σ – масштабный фактор, учитывающий влияние размеров сечения вала на усталостную прочность;

σ_V – амплитуда цикла изгибных напряжений при симметричном цикле

$$\sigma_V = \frac{M_2}{W} = \frac{1184327}{36861} = 32,1 \text{ МПа}$$

W – момент сопротивления изгибу круглого сечения вала

$$W = \frac{\pi d^3}{32} - \frac{b \cdot t_1 \cdot (d - t_1)^2}{2d} = \frac{3,14 \cdot 75^3}{32} - \frac{20 \cdot 7,5 \cdot (75 - 7,5)^2}{2 \cdot 75} = 36861 \text{ мм}^3$$

$d = 75$ мм – диаметр вала в месте посадки колеса $z = 40$;

$t_1 = 7,5$ мм – глубина шпоночного паза на валу;

$b = 20$ мм – ширина шпоночного паза;

S_τ – коэффициент запаса усталостной прочности при кручении

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\beta \cdot \varepsilon_\tau} \cdot \tau_V + \psi_\tau \cdot \tau_M} = \frac{179}{2,61 \cdot 6,6 + 0,1 \cdot 6,6} = 10$$

$\tau_{-1} = 179$ МПа [7, с. 200] – предел выносливости при кручении;

$k_\tau / (\varepsilon_\tau \cdot \beta) = 2,61$ [2, с. 554] – эффективный коэффициент концентрации напряжений кручения;

ε_τ – масштабный фактор, учитывающий влияние размеров сечения вала на усталостную прочность;

τ_V – амплитуда цикла напряжений при кручения

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\tau_V = \frac{M_{\text{кр}}}{2W_{\text{кр}}} = \frac{1046846}{2 \cdot 78278} = 6,6 \text{ МПа}$$

$W_{\text{кр}}$ – момент сопротивления кручению сечения вала

$$W_{\text{кр}} = \frac{\pi d^3}{16} - \frac{b \cdot t_1 \cdot (d - t_1)^2}{2d} = \frac{3,14 \cdot 75^3}{16} - \frac{20 \cdot 7,5 \cdot (75 - 7,5)^2}{2 \cdot 75} = 78278 \text{ мм}^3$$

$\psi_\tau = 0,1$ – коэффициент чувствительности материала вала к постоянной составляющей отнулевого цикла касательных напряжений;

$\tau_M = \tau_V = 6,6$ МПа – постоянная составляющая отнулевого цикла касательных напряжений

Из расчета видно, что фактический коэффициент запаса усталостной прочности для опасного сечения вала $S = 3,7$ больше предельно допустимого коэффициент запаса $[S] = 2,5$, следовательно, рассчитанный вал обладает достаточной усталостной прочностью.

Проверяем на прочность шпоночное соединение вала с зубчатым колесом $z = 40$ по допускаемым напряжениям смятия $[\sigma_{\text{см}}] = 100$ МПа [7, с. 170]

$$\tau_{\text{см}} = \frac{2M_{\text{кр}}}{d \cdot l_p \cdot (h - t_1)} = \frac{2 \cdot 1046846}{75 \cdot 80 \cdot (12 - 7,5)} = 78 \text{ МПа}$$

где $d = 75$ мм – диаметр вала в шпоночном соединении,

$l_p = 80$ мм – длина рабочей грани шпонки (см. 3.4);

$h = 12$ мм – высота шпонки,

$t_1 = 7,5$ мм – глубина шпоночного паза на валу;

$b = 20$ мм – ширина шпонки.

3.7 Проверка тягового усилия на ножах

Построим схему относительного расположения ножей и листовой заготовки на момент начала резания в соответствии с рисунком 19.

Определяем радиальную силу на ноже [5, с. 65]

$$P_R = \frac{0,4 \cdot S \cdot \sigma_B}{tg \alpha} = \frac{0,4 \cdot 3 \cdot 445}{tg 25,78^\circ} = 1106 \text{ Н}$$

где $S = 3$ мм – расчетная толщина листа;

$\sigma_B = 445$ МПа – временное сопротивление на разрыв материала листа;

$\alpha = 25,78^\circ$ - угол захвата ножей при расчетной толщине листа;

Определяем суммарную силу на ноже [5, с. 65]

$$P = 1,3 \cdot P_R = 1,3 \cdot 1106 = 1438 \text{ Н}$$

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

15.03.05.2017.160.000 ПЗ

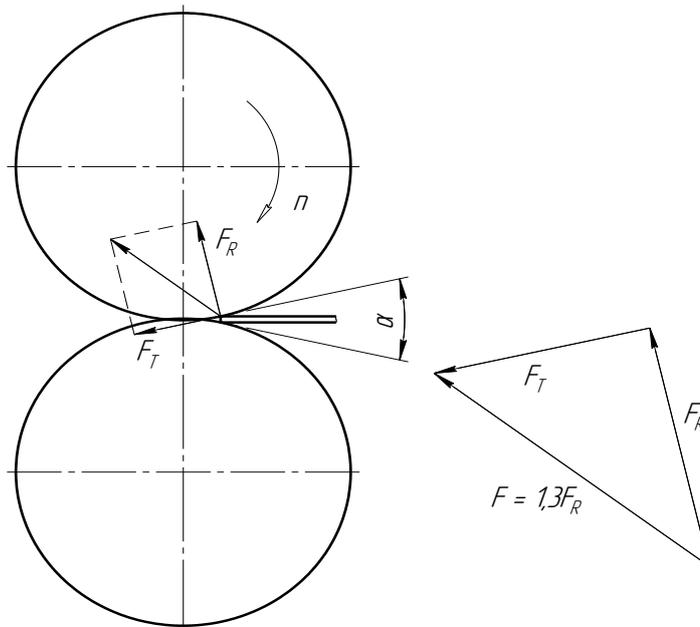


Рисунок 19 – Схема сил на роликах

Окружную силу на ноже определим решив векторное уравнение

$$\bar{P} = \bar{P}_R + \bar{P}_T$$

Для решения этого уравнения построим план сил на момент начала резания в соответствии с рисунком 18. Проводим вектор \bar{P}_R длиной $\ell_R = 60$ мм (длина вектора принимается произвольно). Далее из начала вектора \bar{P}_R проводим дугу окружности радиусом r

$$r = \ell \cdot 1,3 = 60 \cdot 1,3 = 78 \text{ мм}$$

Опустив перпендикуляр из конца вектора \bar{P}_R на дугу $r = 78$ мм, найдем конечную точку векторов \bar{P}_T и \bar{P} .

Фактическое значение окружной силы P_T найдем из соотношения

$$\frac{P_R}{\ell_R} = \frac{P_T}{\ell_T}$$

где $\ell_T \approx 50$ мм – длина вектора \bar{P}_T на плане сил.
тогда

$$P_T = \frac{P_R \cdot \ell_T}{\ell_R} = \frac{1106 \cdot 50}{60} = 0,834 \cdot P_R = 922 \text{ Н}$$

$$P_T = \frac{P_R \cdot \ell_T}{\ell_R} = \frac{1106 \cdot 50}{60} = 0,834 \cdot P_R = 922 \text{ Н}$$

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

15.03.05.2017.160.000 ПЗ

Определяем крутящий момент на ролике

$$M = R \cdot P_T = 75 \cdot 922 = 69150 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

где $R = 75$ мм – радиус режущей кромки ролика.

Проектировочные расчеты привода производились исходя из заданной в техническом задании потребляемой мощности 1,5 кВт. При этом крутящий момент на роликовых ножах $M = 83574$ Н·мм – для углеродистой и низколегированной стали и $M = 1193991$ Н·мм – для коррозионно-стойкой стали. Очевидно, что спроектированный станок обладает достаточной прочностью и пригоден для обработки широкой номенклатуры рулонных материалов.

3.8 Компоновка станка для нарезания полосовых заготовок

Полученный в результате расчетов и проделанной работы станок представлен в соответствии с рисунком 20, 21. Работа данного станка заключается в следующем: лист с рулона подается на приемный стол (1) станка, где за счет настроенных упоров (8,9) мы регулируем ширину листа и ширину требуемой нам полосы, лист по рольгангу (10) подается на режущий узел состоящий из двух валов на которых закреплены дисковые ножи; валы связаны между собой зубчатой передачей, которая имеет передаточное отношение 1; когда мы подаем лист в зону резания происходит надрез листа и далее он непрерывно затягивается между ножами; отрезанная полоса попадает в нишу на столе, которая на 6 мм. занижена относительно всей поверхности стола; вращение на валы передается от двигателя (19) с планетарным редуктором через двухскоростную коробку передач (4), которая установлена на нижней обвязке станка для резки низкоуглеродистой и жаропрочной стали, что обеспечивает высокую производительность; от коробки вращение передается на валы через цепную передачу (15).

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рисунок 20 - Станок для нарезания полосовых

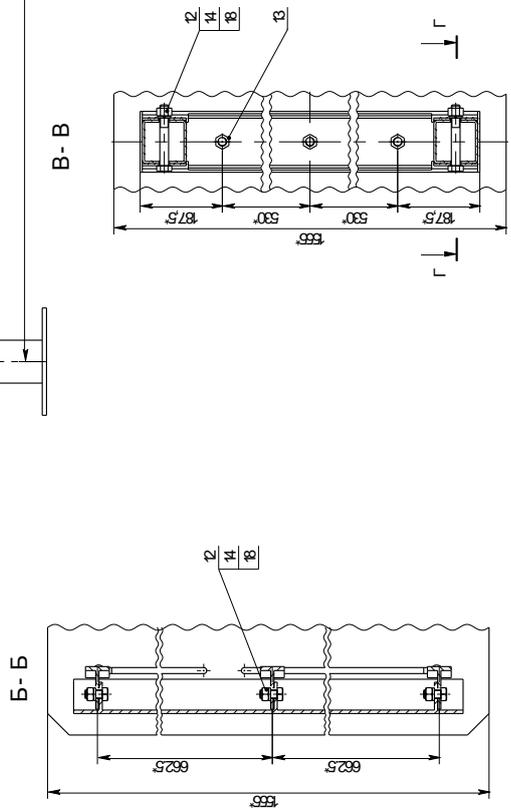
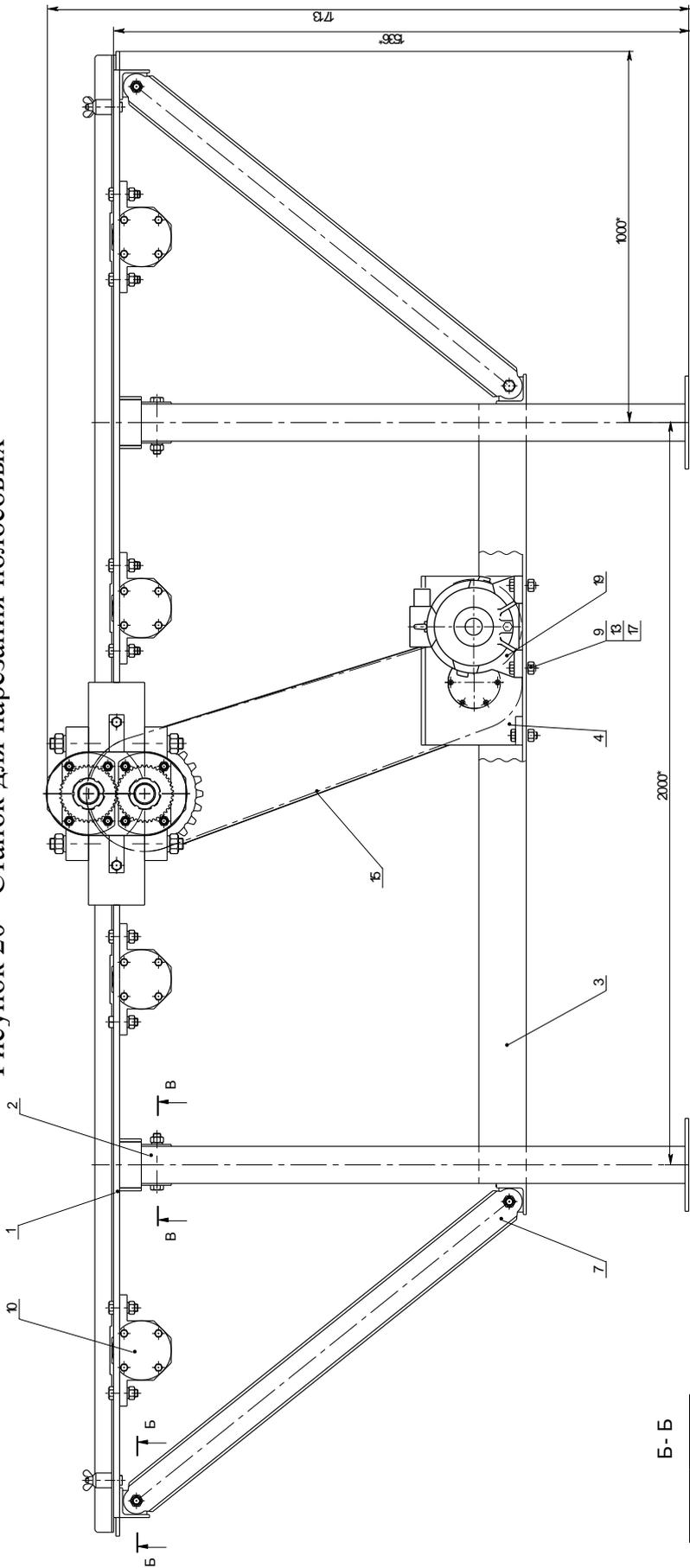


Рисунок 21 - Станок для нарезания полосовых

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.05.2017.160.000 ПЗ

Лист

Выводы по разделу три

В данном разделе был выбран мотор-редуктор для проектируемого станка. Определена компоновка оборудования. Спроектированы и рассчитаны оригинальные узлы станка для нарезания полосовых заготовок. Представлена окончательная компоновка оборудования.

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

4.1 Организация производственного освещения на производственном участке

На данном участке производятся заготовительные операции для основного производства. На участке расположено оборудование такое как: гильотинные ножницы, абразивные отрезные станки, правильные станки, молоты, прессы и шлифовальные станки для правки прутков.

Реализация технологического процесса заготовительных операций сопровождаются выделением пыли, паров и газов.

Участок заготовительной обработки входит в структуру механического цеха с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне менее 1 мг/м^3 пыли, дыма, копоти [8]. Коэффициенты отражения стен и потолка $R_{\text{п}} = 50\%$; $R_{\text{с}} = 30\%$ [8].

Так как работа на участке ведется в две смены, целесообразно использование искусственного освещения. По конструктивному исполнению применяется комбинированное освещение (общее и местное), что связано с выполнением на участке высокоточных работ.

Освещенность рабочей поверхности [10] составляет токарных автоматов и шлифовальных станков – 1500 лк, для правильных – 1000 лк, для выполнения слесарных работ – 2000 лк.

Для местного освещения рабочих поверхностей станков применяются светильники НКП 03-60-003 с лампами накаливания типа МО 24-60.

Минимальная освещенность рабочих поверхностей в аварийном режиме работы 10 лк, что составляет 5% нормируемой освещенности в системе общего освещения. Для аварийного освещения также следует применить лампы накаливания типа МО 24-60.

Расчет искусственного освещения механического участка выполним методом коэффициента использования светового потока.

Определим исходные данные для расчета:

– площадь помещения составляет 720 м^2 , длина участка $a = 40 \text{ м}$, общая ширина $b = 18 \text{ м}$; потолок следует окрасить в белый цвет, стены – в зеленый.

– для механического цеха при искусственном комбинированном освещении $E_{\text{min}} = 750 \text{ лк}$, в том числе от общего освещения 200 лк.

– параметры зрительной работы:

1. наименьший объект различения – 0,30 ... 0,50 мм;
2. разряд зрительной работы – 3;
3. подразряд зрительной работы – в;
4. контраст объекта с фоном – малый;
5. характеристика фона – светлый.

– в данном производственном помещении с небольшой запыленностью и нормальной влажностью целесообразно использовать дуговые ртутные люминесцентные лампы высокого давления – ДРЛ;

– высота подвеса светильников над рабочей поверхностью находится обычно в пределах 2,1 – 3,4 м. Принимаем $H_{\text{р}} = 3,5 \text{ м}$;

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

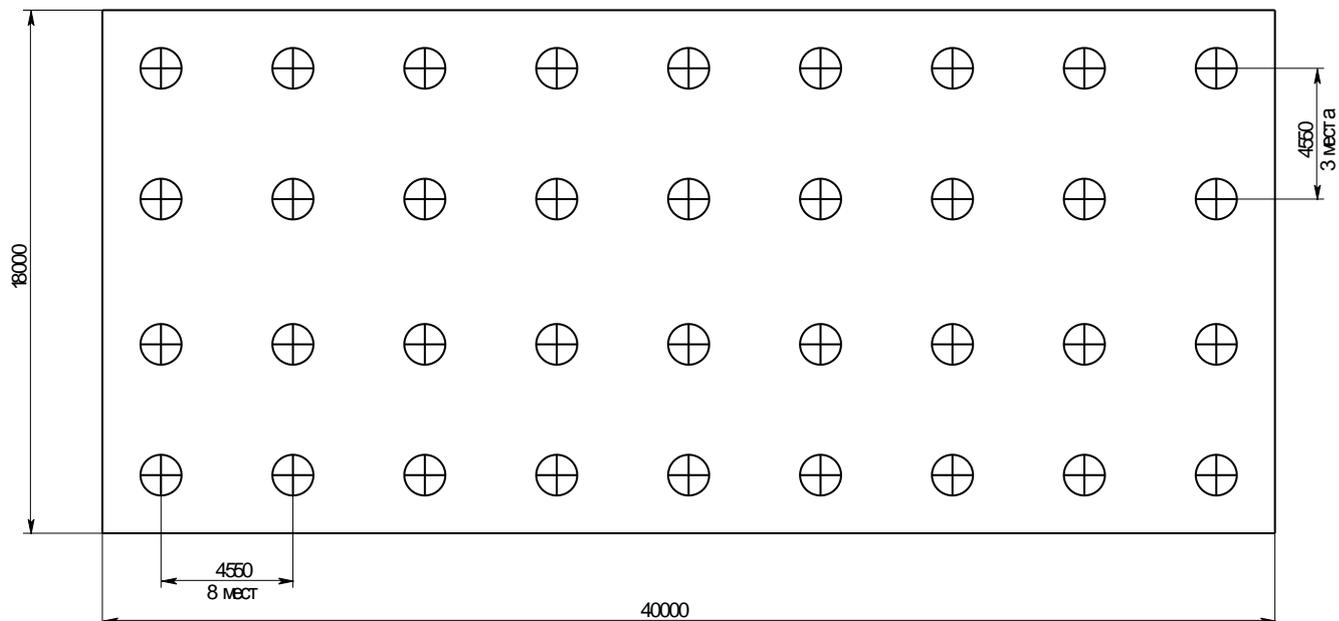


Рисунок 21 – Схема расположения светильников

щения в цехе являются очистка остекленных поверхностей световых проемов (не реже 2 – 4 раз в год). Для поддержания рациональной цветовой гаммы необходимо регулярно проводить окраску стен, потолка и оборудования. Для поддержания оптимального искусственного освещения необходимо предусматривать регулярную очистку от загрязнений светильников, своевременную замену отработавшей свой срок службы лампы, контроль напряжений питания осветительной сети, для ограничения ослепленности соблюдать защитный угол α , создаваемый отражателем (α не более 30°).

4.2 Расчет защитного заземления

Расчет защитного заземления

Защитное заземление - это преднамеренное электрическое соединение с землёй или с её эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Нормируемое сопротивление заземляющего устройства $R_{зд}=10$ Ом для напряжения сети 380В, суммарной мощностью электрооборудования (станок для нарезания полосовых заготовок 1,5 кВт)

Определяем расчётное сопротивление грунта;

$$\rho = \rho_r \cdot \psi$$

где ρ_r - удельное сопротивление грунта, грунт - чернозём – 30 Ом \times м
 ψ - климатический коэффициент – 1,5 для вертикальных заземлителей,

$$\rho = 30 \cdot 1,5 = 45 \text{ Ом.}$$

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.05.2017.160.000 ПЗ					

Выбираем металл, тип, размер и число искусственных и естественных заземлителей.

Применяем выносное заземляющее устройство. В качестве естественного заземлителя используется вертикально расположенная у поверхности земли труба $d=50$ мм, $l=2000$ мм. Искусственный заземлитель – уголок, $b=60$ мм; $l=2600$ мм; $t=500$ мм.

Сопротивление одного естественного заземлителя:

$$R_{\text{ЕЗ}} = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{D},$$

$$R_{\text{ЕЗ}} = \frac{45}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \cdot \ln \frac{4,2}{0,05} = 18,15$$

Сопротивление одного естественного заземлителя:

$$R_{\text{З0}} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{2,1 \cdot l}{B} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4,2 \cdot T + 1}{4,2 \cdot T - 1} \right)$$

где $t = 1800$ мм – глубина до середины уголка

$$R_{\text{З0}} = \frac{45}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,6} \cdot \left(\ln \frac{2,1 \cdot 2,6}{0,06} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4,2 \cdot 1,8 + 2,6}{4,2 \cdot 1,8 - 2,6} \right) = 13,365 \text{ Ом}$$

Сопротивление одной соединительной полосы:

$$R_{\text{ПО}} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L_{\text{П}}} \cdot \ln \frac{2 \cdot L_{\text{П}}^2}{B \cdot T},$$

Соединительная полоса : $b=20$ мм; длина соединительной полосы выбираем равной :

$$l_{\text{П}} = l_{\text{МЗ}} \cdot (n - 1);$$

где $l_{\text{МЗ}} = 3000$ мм- расстояние между заземлителями

$$l_{\text{П}} = 3000 \cdot 1 = 3000 \text{ мм.}$$

$$R_{\text{ПО}} = \frac{45}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \ln \frac{2 \cdot (3)^2}{0,02 \cdot 0,51} = 17,77 \text{ Ом}$$

При наличии естественных заземлителей требуемое сопротивление искусственного заземлителя $R_{\text{из}}$ определяется по формуле:

$$R_{\text{из}} = \frac{R_{\text{ЕЗ}} \cdot R_{\text{Зд}}}{R_{\text{ЕЗ}} - R_{\text{Зд}}}$$

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

15.03.05.2017.160.000 ПЗ

$$R_{из} = \frac{18,15 \cdot 13,365}{18,15 - 13,365} = 50,7 \text{ Ом}$$

Необходимое число вертикальных заземлителей n определяется методом подбора по формуле:

$$n = \frac{R_{зо}}{\eta_{в} \cdot R_{из}}$$

где $\eta_{в}$ = коэффициент использования вертикальных заземлителей, которые зависят от числа заземлителей и от отношения между вертикальными заземлителями к их длине:

$$\frac{l_{мз}}{l} = \frac{3000}{2600} = 1.15$$

Вначале принимаем $\eta_{в} = 1$ и по формуле находим:

$$n_1 = \frac{13,365}{1 \times 50,7} = 0.26$$

Для $n_1 = 0.26$ $\eta_{в}$ будет равно 0,85

Подставим $\eta_{в} = 0,85$ в формулу и найдём n_2 :

$$n_2 = \frac{13,365}{0,85 \times 50,7} = 0.31$$

Проверяем условие: $n_i - n_{i-1} < 1$: $n_2 - n_1 = 0,31 - 0,26 < 1$ - следовательно условие выполняется.

По найденному значению $n_2 = 0,31$ выбираем ближайшее наибольшее число искусственных заземлителей из ряда для выносного заземляющего устройства:

$n = 2; 4; 6; 10; 20$. Принимаем $n = 2$

Общее сопротивление вертикальных электродов:

$$R_{в} = \frac{R_{зо}}{n \cdot \eta_{в}}$$

$$R_{в} = \frac{13,365}{2 \cdot 0,85} = 7.87 \text{ Ом}$$

Определяем сопротивление соединительной полосы с учётом экранирования:

$$R_{п} = \frac{R_{по}}{\eta_{п}}$$

где $\eta_{п} = 0,85$ коэффициент использования соединительной полосы,

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$R_{\Pi} = \frac{17,77}{0,85} = 20,9 \text{ Ом}$$

Расчётное сопротивление искусственного заземления :

$$R_{\text{изр}} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{\Pi}}{R_{\text{в}} + R_{\Pi}}$$

$$R_{\text{изр}} = \frac{7,87 \cdot 20,9}{7,87 + 20,9} = 5,71 \text{ Ом}$$

Результирующее сопротивление заземляющего устройства при использовании искусственных и естественных заземлителей должно соответствовать требованию:

$$R_{\text{з}} = \frac{R_{\text{ЕЗ}} \cdot R_{\text{ИЗР}}}{R_{\text{ЕЗ}} + R_{\text{ИЗР}}} \leq R_{\text{зД}}$$

$$R_{\text{з}} = \frac{18,15 \cdot 5,71}{18,15 + 5,71} = 4,34 \text{ Ом}$$

Требование выполняется, т.к. $R_{\text{з}} < R_{\text{зД}}$

Схема расположения защитного заземления показана в соответствии с рисунком 22.

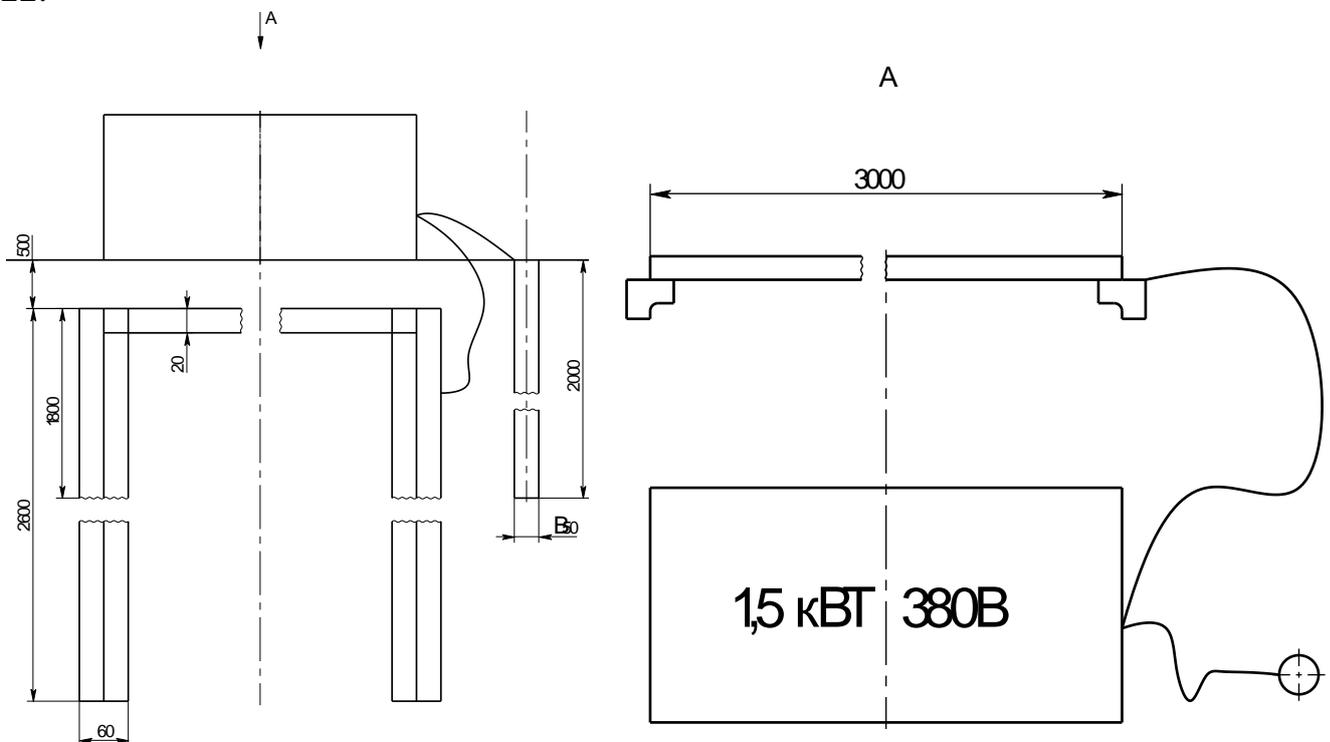


Рисунок 22 – Схема заземления

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.05.2017.160.000 ПЗ				

4.3 Выявление и оценка радиационной обстановки при чрезвычайной ситуации

Зоной ЧС радиационного характера называют территорию, в пределах которой в результате аварии на радиационном объекте происходит радиационное загрязнение, вызывающее облучение людей выше допустимых норм. Различают радиационную и ядерную аварии.

Радиационной аварией называют опасное событие, вызванное частичным или полным вскрытием работающего реактора, в результате которого в воздух выносятся парогазовая и твердая фазы, зараженные радионуклидами.

Ядерной аварией называется неконтролируемое течение цепной реакции в ядерном реакторе, приводящее к повреждениям в активной зоне и выбросу радионуклидов.

Опыт радиационных ЧС показывает, что их причинами являются конструктивные недостатки и ошибки операторов. Главными источниками радиоактивного загрязнения являются АЭС, предприятия ядерного цикла, корабли с ядерной энергетической установкой и космические аппараты, а также ядерное оружие при использовании его противником.

Существует несколько видов классификации радиационного характера. Наиболее распространена классификация по МАГАТЭ (в зависимости от общей активности выбросов).

Возможны аварии на АЭС без разрушения активной зоны. При этом радиоактивное загрязнение происходит за счет выброса парогазовой фазы с коротко живущими радионуклидами. Высота выброса — 100—200 м, время — до 30 мин. Авария с разрушением активной зоны характеризуется мгновенным выбросом в результате теплового взрыва части содержимого реактора на высоту до 1 км. Далее происходит истечение струи газа при горении графита с периодическими взрывами. Высота истечения — до 200 м, время — до момента окончательной герметизации реактора.

Характер радиоактивного загрязнения зависит от типа реактора, продолжительности его работы, объема выброса (т) и метеоусловий. Поэтому зоны радиоактивного загрязнения имеют свои особенности: длительность загрязнения, сложность конфигурации границ, «очаговый» характер зон и высокие уровни радиации.

Например, при аварии на Чернобыльской АЭС уровни радиации на реакторе составляли 20-34 тыс. Р/ч, у реактора — 100-400 Р/ч и т.д.

Расчет уровней радиации и доз внешнего облучения производится на любое время работы в зоне: рабочая смена, сутки, 10 суток, 1 год. Суммарная зона облучения складывается из доз внешнего и внутреннего облучения.

Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 5 декабря 1995 г. установил дозовые нагрузки (пределы облучения) для персонала и населения в условиях радиоактивного загрязнения (введены с 1 января 2000 г.).

Например, для производственного персонала годовая эффективная доза равна 20 мЗв (2 бэра) и за период трудовой деятельности (50 лет) — 1000 мЗв (100 бэр);

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.05.2017.160.000 ПЗ					

для населения годовая доза равна 1 мЗв (0,1 бэра), а пожизненная доза (70 лет) —70 мЗв (7 бэр).

Приведенные значения дозовых пределов не включают дозы ионизирующих излучений, создаваемые естественными и медицинскими источниками. При дозах облучения, превышающих указанные значения, рекомендуется отселение жителей. Через 2—3 года после крупной аварии происходит самораспад большинства радионуклидов, и доза облучения будет определяться долгоживущими нуклидами (цезий, стронций, плутоний). Под оценкой радиационной обстановки понимают комплексные действия по определению складывающейся в определенных условиях ситуации с целью ее последующей нормализации либо полного устранения.

Оценка степени опасности и возможного влияния последствий радиационного заражения осуществляется путем определения реально сложившихся и расчета ожидаемых доз облучения, которые составляют основу для определения наиболее целесообразных способов защиты и действий личного состава формирований гражданской обороны и населения.

Перечень основных задач, решаемых штабом гражданской обороны объекта, может быть определен после тщательного анализа общей радиационной обстановки, которая возникла на территории объекта. После прогнозирования влияния радиоактивного заражения на ведение на объекте спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ определяют целесообразное время ввода формирований гражданской обороны, продолжительность работы смены, а также необходимое их количество в соответствии с объемом предстоящих работ. При высоком уровне радиации определяют также наиболее целесообразное время начала эвакуации населения и материальных ценностей в безопасные районы.

Для объектов, располагающихся в загородной зоне, наиболее характерна такая ситуация, когда объект оказывается вне зон воздействия ударной волны и светового излучения ядерного взрыва, но подвергается опасному радиоактивному заражению. При подобной ситуации штаб гражданской обороны объекта производит прогнозную оценку влияния радиоактивного заражения на производственную деятельность объекта.

Задачи по оценке радиационной обстановки решаются личным составом службы противорадиационной и противохимической защиты с привлечением всех заинтересованных специалистов, а также командиров формирований гражданской обороны.

Для своевременной оценки радиационной обстановки штаб гражданской обороны объекта должен располагать следующими исходными данными:

- время радиационной или ядерной аварии и ядерного взрыва, нанесенного противником;
- уровни радиации на объекте (маршрутах движения, в районах размещения формирований) и время их измерения после ядерной аварии или взрыва;
- значения коэффициента ослабления радиации зданиями, сооружениями, убежищами, противорадиационными укрытиями, транспортными средствами;

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	

- степень вертикальной устойчивости атмосферы, облачности, инверсии и т.д.;
- установленные для выполнения задания допустимые дозы облучения

При радиоактивном заражении местности трудно создать такие условия, при которых бы люди не облучались. Поэтому при действии на местности, зараженной радиоактивными веществами, устанавливаются допустимые дозы облучения, которые не должны вызывать у людей радиационных поражений. При установлении допустимых доз учитывают, что облучение может быть однократным и многократным. Однократным считается облучение, полученное за первые четверо суток. Облучение, полученное за время, превышающее четверо суток, является многократным. При определении суточных допустимых доз необходимо учитывать, что в первые сутки идет более быстрое их накопление (при условии, что в последующие дни не будет повторного заражения). С учетом этого дозу, установленную на первые четверо суток, делят в соответствующей пропорции. Такое распределение установленной однократной нагрузки облучения применяется при разработке режимов поведения населения или при длительных действиях формирования гражданской обороны на зараженной местности.

По сигналу оповещения «Внимание всем! Радиационная опасность!» и речевой информации население и персонал объекта должны:

- использовать средства индивидуальной защиты;
- укрыться в здании, лучше в собственной квартире, загерметизировать окна, двери, укрыть запасы продуктов и питьевой воды;
- провести йодизацию семьи;
- покинуть помещение только по команде властей при эвакуации. Зоной (очагом) ЧС химического характера называют территорию, в пределах которой в результате выброса опасных химических веществ или применения химического оружия происходит массовое поражение людей, животных и растительности.

Сильнодействующие ядовитые вещества (34 наименования) — наиболее опасные для человека и окружающей среды, выбрасываются в атмосферу при авариях на производстве и транспорте. Источниками поражения сильнодействующими ядовитыми веществами являются химическая, нефтегазовая промышленность, а также предприятия по производству пластмасс, удобрений, целлюлозы, водоочистные и холодильные установки. Формирование очага химического поражения зависит от метода хранения, количества и типа сильнодействующих ядовитых веществ, метеоусловий, характера местности, расстояния до жилой зоны. Сильнодействующие ядовитые вещества хранятся в резервуарах при низкой температуре.

При аварийном выбросе вещества образуется первичное или вторичное облако либо сразу то и другое. Первичное облако образуется в результате мгновенного перехода в атмосферу части сильнодействующих ядовитых веществ, вторичное при их испарении после разлива.

Оба облака образуются при вскрытии по разным причинам изотермического резервуара. Появление облака с сильнодействующим ядовитым веществом зависит от его плотности по отношению к воздуху, концентрации и метеорологических условий (так, облако с хлором и сернистым ангидридом, которые тяжелее воздуха, распространяется по ветру, прижимаясь к земле).

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Первичное облако распространяется дальше, чем вторичное, но действует кратковременно в момент прохождения через объект. Некоторые сильнодействующие ядовитые вещества взрывоопасны и пожароопасны, при горении возможно образование более опасных вторичных веществ.

Выводы по разделу четыре

В данном разделе рассмотрены возможные мероприятия: по организации производственного освещения на производственном участке; выявлению и оценке радиационной обстановки при чрезвычайной ситуации; произведен расчет защитного заземления.

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Определение ориентировочной себестоимости будем проводить по следующим статьям:

- Сырьё и основные материалы;
- Покупные изделия и полуфабрикаты;
- Транспортно-заготовительные расходы;
- Возвратные отходы;
- Основная заработная плата производственных рабочих;
- Дополнительная заработная плата производственных рабочих;
- Начисления на заработную плату;
- Цеховые расходы;
- Общезаводские расходы;
- Внепроизводственные расходы.
- Определение стоимости основных материалов

Стоимость основных материалов определяем по общей формуле

$$C_{OM} = C_{OM} \cdot K_{OM};$$

где C_{OM} – цена одного килограмма материала, р.;

K_{OM} – норма расхода материала, кг.

Определяем стоимость проката круглого сечения диаметром 105 мм из Ст 20

$$C_{OM} = C_{OM} \cdot K_{OM} = 28,2 \cdot 86,94 = 2451,71 \text{ р.}$$

Определяем стоимость проката круглого сечения диаметром 95 мм из стали 20

$$C_{OM} = C_{OM} \cdot K_{OM} = 28,2 \cdot 13,23 = 373,09 \text{ р.}$$

Определяем стоимость проката круглого сечения диаметром 70 мм из стали 20

$$C_{OM} = C_{OM} \cdot K_{OM} = 28,2 \cdot 33,08 = 932,86 \text{ р.}$$

Определяем стоимость проката круглого сечения диаметром 50 мм из стали 20

$$C_{OM} = C_{OM} \cdot K_{OM} = 28,2 \cdot 13,23 = 373,09 \text{ р.}$$

Определяем стоимость листа горячекатаного толщиной 16 мм из стали 10ХСНД

$$C_{OM} = C_{OM} \cdot K_{OM} = 30,3 \cdot 97,02 = 2939,71 \text{ р.}$$

Определяем стоимость листа горячекатаного толщиной 12 мм из стали 10ХСНД

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$C_{OM} = C_{OM} \cdot K_{OM} = 30,3 \cdot 1079,27 = 32701,88 \text{ р.}$$

Определяем стоимость листа горячекатаного толщиной 10 мм из стали 10ХСНД

$$C_{OM} = C_{OM} \cdot K_{OM} = 30,3 \cdot 779,98 = 23633,39 \text{ р.}$$

Определяем стоимость листа горячекатаного толщиной 8 мм из стали 10ХСНД

$$C_{OM} = C_{OM} \cdot K_{OM} = 30,3 \cdot 122,47 = 3710,84 \text{ р.}$$

Определяем стоимость листа горячекатаного толщиной 6 мм из стали 10ХСНД

$$C_{OM} = C_{OM} \cdot K_{OM} = 30,3 \cdot 15,44 = 467,83 \text{ р.}$$

Определяем стоимость крепёжных изделий

$$C_{OM} = C_{OM} \cdot K_{OM} = 35 \cdot 19,7 = 689,5 \text{ р.}$$

где $C_{OM} = 35 \text{ р.}$ – цена одного килограмма крепежа;

$K_{OM} = 19,7 \text{ кг.}$ – чистый вес крепежа.

Определяем стоимость прочих материалов $C_{OM} = 835,14 \text{ р.}$

Определяем стоимость сварочных материалов $C_{OM} = 2053,62 \text{ р.}$

Определяем стоимость лакокрасочных материалов $C_{OM} = 1026,81 \text{ р.}$

Определяем стоимость консервации $C_{OM} = 479,18 \text{ р.}$

Определяем общую стоимость основных материалов

$$C_{OM} = 2451,71 + 373,09 + 932,86 + 373,09 + 2939,71 + 32881,86 + \\ + 23633,39 + 3710,84 + 467,83 + 689,5 + 835,14 + 2053,62 + \\ + 1026,81 + 479,18 = 72848,63 \text{ р.}$$

Определение стоимости покупных изделий и полуфабрикатов

Стоимость покупных изделий полуфабрикатов определяем по общей формуле:

$$C_{ПИ} = C_{ПИ} \cdot K_{ПИ};$$

где $C_{ПИ}$ – цена одной покупной единицы, р.;

$K_{ПИ}$ – необходимое количество покупных единиц, шт.

Результаты расчётов стоимости покупных изделий и полуфабрикатов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Стоимость покупных изделий и полуфабрикатов

Наименование	Количество	Цена за штуку, р.	Стоимость, р.
Труба оцинкованная	4	4050	16200
Труба оцинкованная	4	2100	8400
Редуктор планетарный	1	5500	5500
Электродвигатель асинхронный	1	6500	6500

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Определяем транспортно-заготовительные расходы. Принимаем транспортно-заготовительные расходы равными 7% от стоимости сырья, основных материалов, покупных и комплектующих изделий. Тогда

$$C_{OM} = (C_{OM} + C_{ПИ}) \cdot 0,07 = (72848,63 + 49000) \cdot 0,07 = 8529,4 \text{ р.}$$

Определение стоимости возвратных отходов

Стоимость возвратных отходов определим по общей формуле

$$C_{BO} = Ц_{BO} \cdot (K_{OM} - M_{И});$$

где $Ц_{BO}$ – цена одного килограмма отходов, р.;

K_{OM} – норма расхода материала, кг.;

$M_{И}$ – чистый вес изделия, кг.

Определяем стоимость возвратных отходов проката круглого сечения диаметром 105 мм из стали 20

$$C_{BO} = Ц_{BO} \cdot (K_{OM} - M_{И}) = 2,65 \cdot (86,94 - 48,3) = 102,4 \text{ р.}$$

Определяем стоимость возвратных отходов проката круглого сечения диаметром 95 мм из стали 20

$$C_{BO} = Ц_{BO} \cdot (K_{OM} - M_{И}) = 2,65 \cdot (13,23 - 12,6) = 1,67 \text{ р.}$$

Определяем стоимость возвратных отходов проката круглого сечения диаметром 70 мм из стали 20

$$C_{BO} = Ц_{BO} \cdot (K_{OM} - M_{И}) = 2,65 \cdot (33,08 - 31,5) = 4,19 \text{ р.}$$

Определяем стоимость возвратных отходов проката круглого сечения диаметром 50 мм из стали 20

$$C_{BO} = Ц_{BO} \cdot (K_{OM} - M_{И}) = 2,65 \cdot (13,23 - 12,6) = 1,67 \text{ р.}$$

Определяем стоимость возвратных отходов листа горячекатаного толщиной 16 мм из стали 10ХСНД

$$C_{BO} = Ц_{BO} \cdot (K_{OM} - M_{И}) = 2,65 \cdot (97,02 - 92,4) = 12,24 \text{ р.}$$

Определяем стоимость возвратных отходов листа горячекатаного толщиной 12 мм из стали 10ХСНД

$$C_{BO} = Ц_{BO} \cdot (K_{OM} - M_{И}) = 2,65 \cdot (1085,21 - 1004,82) = 213,03 \text{ р.}$$

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Определяем стоимость возвратных отходов листа горячекатаного толщиной 10 мм из стали 10ХСНД

$$C_{\text{ВО}} = C_{\text{ВО}} \cdot (K_{\text{ОМ}} - M_{\text{И}}) = 2,65 \cdot (779,98 - 745,98) = 79,5 \text{ р.}$$

Определяем стоимость возвратных отходов листа горячекатаного толщиной 8 мм из стали 10ХСНД

$$C_{\text{ВО}} = C_{\text{ВО}} \cdot (K_{\text{ОМ}} - M_{\text{И}}) = 2,65 \cdot (122,47 - 113,4) = 24,04 \text{ р.}$$

Определяем стоимость возвратных отходов листа горячекатаного толщиной 6 мм из стали 10ХСНД

$$C_{\text{ВО}} = C_{\text{ВО}} \cdot (K_{\text{ОМ}} - M_{\text{И}}) = 2,65 \cdot (15,44 - 14,7) = 1,96 \text{ р.}$$

Определяем общую стоимость возвратных отходов:

$$C_{\text{ВО}} = 102,4 + 1,67 + 4,19 + 1,67 + 12,24 + 213,03 + 79,5 + 24,04 + 1,96 = 440,7 \text{ р.}$$

Определяем общую стоимость основных материалов и покупных изделий с учётом транспортно-заготовительных расходов за вычетом стоимости возвратных отходов

$$C_{\text{М}} = C_{\text{ОМ}} + C_{\text{ПИ}} + C_{\text{Т-З}} - C_{\text{ВО}} = 72849 + 49000 + 8529 - 441 = 129937 \text{ р.}$$

Расчёт заработной платы производственных рабочих

Основная заработная плата производственных рабочих формируется из тарифной части основной заработной платы и доплат (50% к тарифной заработной плате).

Тарифный фонд основной заработной платы в соответствии с тарифными ставками и нормами времени составляет 21591 р.

Основная заработная плата производственных рабочих (тариф + доплаты) составит:

$$Z_{\text{ОСН}} = 21591 \times 1,5 = 32387 \text{ р.}$$

Принимаем дополнительную заработную плату производственных рабочих равной 30% от основной, тогда:

$$Z_{\text{ДОП}} = Z_{\text{ОСН}} \times 0,3 = 32387 \times 0,3 = 9716 \text{ р.}$$

Принимаем начисления на заработную плату равными 26% от основной и дополнительной заработной платы, тогда:

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$З_{\text{нач}} = (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \times 0,26 = (32387 + 9716) \times 0,26 = 10947 \text{ р.}$$

Расчёт цеховых и общезаводских расходов

Принимаем цеховые расходы равными 320% от основной заработной платы производственных рабочих тогда:

$$P_{\text{ц}} = З_{\text{осн}} \times 3,20 = 32387 \times 3,20 = 103638 \text{ р.}$$

Принимаем общезаводские расходы равными 285% от основной заработной платы производственных рабочих тогда:

$$P_{\text{з}} = З_{\text{осн}} \times 2,85 = 32387 \times 2,85 = 92303 \text{ р.}$$

Определение полной себестоимости

Производственная себестоимость определяется по формуле:

$$C_{\text{пр}} = 72848,63 - 440,7 + 8529,4 + 49000 + 32387 + 9716 + 10947 + 103638 + 92303 = 378928 \text{ р.}$$

Принимаем внепроизводственные расходы равными 1,2% от производственной себестоимости, тогда:

$$P_{\text{н.пр}} = C_{\text{пр}} \times 0,012 = 378928 \times 0,012 = 4547 \text{ р.}$$

Определяем полную себестоимость

$$C_{\text{полн.}} = C_{\text{пр}} + P_{\text{н.пр}} = 378928 + 4547 = 383475 \text{ р.}$$

Определяем структуру себестоимости по статьям затрат в процентах: по общей формуле

$$\frac{C}{C_{\text{полн}}} \cdot 100\%$$

- Сырьё и основные материалы 19%
- Покупные изделия и полуфабрикаты 12,8%
- Транспортно-заготовительные расходы 2,2%
- Возвратные отходы -0,1%
- Итого материала 33,9%
- Основная зарплата производственных рабочих 8,4%
- Дополнительная зарплата рабочих 2,5%
- Начисления на заработную плату 2,9%
- Цеховые расходы 27%
- Общезаводские расходы 24,1%

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

15.03.05.2017.160.000 ПЗ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы был спроектирован станок для нарезания полосовых заготовок.

Проведен анализ исходных данных и сравнение отечественных и зарубежных аналогов. Из всего оборудования, что было рассмотрено в данной работе, только проектируемый станок может справляться с поставленной задачей, а именно эффективно разрезать листовой металл толщиной до 3 мм включительно и обеспечивать необходимую точность.

В технологическом разделе: произведен анализ технологической операции для которой проектировался станок, рассчитаны основные технологические характеристики выполнения операции и приведено обоснования необходимости проектирования данного оборудования.

В конструкторском разделе: были спроектированы и рассчитаны основные узлы данного станка, а именно:

- столешница;
- рольганг;
- режущий узел;
- нижняя обвязка;
- коробка передач;
- упоры.

Также была представлена компоновка будущего станка.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» разработаны мероприятия: по организации производственного освещения на производственном участке; выявлению и оценке радиационной обстановки при чрезвычайной ситуации; произведен расчет защитного заземления.

В экономической части посчитана ориентировочная стоимость станка для нарезания полосовых заготовок.

Таким образом, цель работы достигнута, задачи – решены.

					15.03.05.2017.160.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Анурьев, В. И. Справочник конструктора – машиностроителя в 3-х томах: Т.1. М.: Машиностроение, 1978 – 727 с.
- 2 Анурьев, В. И. Справочник конструктора – машиностроителя в 3-х томах: Т.2. М.: Машиностроение, 1978 – 784 с.
- 3 Анурьев, В. И. Справочник конструктора – машиностроителя в 3-х томах: Т.3. М.: Машиностроение, 1978 – 728 с.
- 4 Дьяков, В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию: Практ. пособие – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 160 с.
- 5 Ицкович, Г. М. Курсовое проектирование деталей машин: учебно-справочное пособие для ВУЗов - 6-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1970. – 558 с., ил.
- 6 Кукин, П.П. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда. / П. П. Кукин, В. Л. Лапин, Н. Л. Пономарев, Н. И. Сердюк. ГУП. “Издательство Высшая школа”, 2001, - 120 с.: ил.
- 7 Технология материалов в приборостроении. / Под ред. А. Н. Малова. - М. Машиностроение, 1969, 442 с
- 8 Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие по дипломному проектированию для студентов технических специальностей / С.П. Максимов, Т.Б. Балакина, под ред. С.Н. Трофимовой. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 55 с.
- 9 Курсовое проектирование деталей машин: учеб. пособие для учащихся машиностроительных специальностей. / С. А. Чернавский, К. Н. Боков, И. М. Чернин [и др.] – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 416 с.: ил.
- 10 СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 122 с.
- 11 Чучкалова, Е. И. Техничко-экономические расчеты в выпускных квалификационных работах: учебное пособие/ Е.И. Чучкалова, Т. А. Козлова, В. П. Суриков. – Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО «Рос. гос. проф-пед. ун-т», 2006.- 66с.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.03.05.2017.160.000 ПЗ					