

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Механико-технологический факультет
Кафедра машиностроения, автоматизации и электроэнергетики

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
к.т.н., доцент
_____ К.М. Виноградов
_____ 201_ г.

Модернизация электропривода подачи
вертикально-фрезерного станка модели VM127

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–13.03.02.2018.040.00.00 ПЗ ВКР

Консультанты
Безопасность жизнедеятельности,
к.т.н., доцент
_____ В.Г. Некрутов
_____ 201_ г.

Руководитель работы, доцент
_____ В.Д. Константинов
_____ 201_ г.

Автор работы
студент группы ИОДО-508
_____ А.А. Гильметдинов
_____ 201_ г.

Нормоконтролер, доцент
_____ В.Д. Константинов
_____ 201_ г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Факультет «Механико-технологический»
Кафедра «Машиностроение, автоматика и электроэнергетика»
Направление «13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника»
е

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ К.М.Виноградо
В
_____ 201__ г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу студента
Гильметдинова Артема Адиковича
Группа ИОДО-508

1 Тема работы

Модернизация электропривода подачи вертикально-фрезерного станка модели
BM127

утверждена приказом по университету от 04.04.2018 г. № 580

2 Срок сдачи студентом законченной работы 10 июня 2018 г.

3 Исходные данные к работе

3.1 Материалы производственной практики

3.2 Справочно-техническая литература

3.3 Инструкции к оборудованию

4 Содержание расчетно-пояснительной записки(перечень подлежащих разработке вопросов)

Аннотация

Оглавление

Введение

1 Сравнение отечественных и передовых зарубежных преобразователей частоты. Выводы.

2 Описание конструкции вертикально-фрезерного станка модели ВМ127. Назначение и область применения. Описание конструкции станка. Электрооборудование станка. Сведения о блокировках, системе сигнализации и защите. Гидравлическая аппаратура. Основные технические данные и характеристики. Обоснование модернизации привода подачи. Выводы.

3 Расчет мощности и выбор двигателя. Расчет нагрузок на валу двигателя. Выбор двигателя. Выводы.

4 Выбор электропривода. Формулирование требований к электроприводу. Выбор преобразователя частоты. Выводы.

5 Статический и динамический расчет привода. Статический расчёт привода. Расчёт динамических характеристик привода. Выводы.

6 Экономическая часть. Общие положения. Оценка годовой производительности станка. Определение капитальных затрат. Определение эксплуатационных расходов. Определение приведенных затрат по вариантам систем электроприводов и экономического эффекта от использования нового оборудования. Определение экономической эффективности использования предварительно выбранной системы электропривода. Выводы.

7 Безопасность жизнедеятельности. Социальное значение безопасности жизнедеятельности. Опасные и вредные производственные факторы при фрезеровании изделий. Разработка технических и организационных мер по уменьшению влияния опасностей и вредностей на организм человека. Пожарная безопасность. Процесс механической обработки металлов как источник загрязнения окружающей среды. Выводы.

Заключение

Библиографический список

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в листах формата А1)

5.1 Станок вертикально-фрезерный модели ВМ127. Габаритный чертеж 1,0 л.

5.2 Станок вертикально-фрезерный модели ВМ127. Схема кинематическая принципиальная 1,0 л.

5.3 Электрооборудование станка до модернизации. Схема электрическая принципиальная 1,0 л.

5.4 Электрооборудование станка после модернизации. Схема электрическая принципиальная 1,0 л.

5.5 Преобразователь частотный. Габаритный чертеж 1,0 л.

5.6 Статические и динамические показатели модернизированного электропривода. Плакат 1,0 л.

Всего 6 листов

6 Консультанты по работе, с указанием относящихся к ним разделов работы

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал (консультант)	Задание принял (студент)
Безопасность жизнедеятельности	В.Г. Некрутов		

7 Дата выдачи задания 22.02 2018 г.

Руководитель, доцент В. Д. Константинов

(подпись)

Задание принял к исполнению А. А. Гильметдинов

(подпись студента)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении руководителя
Сравнение отечественных и передовых		
зарубежных преобразователей частоты	20.02.18-22.02.18	
Описание конструкции вертикально-		
фрезерного станка модели VM127	21.02.18-1.03.18	
Расчет мощности и выбор двигателя	01.03.18-18.03.18	
Выбор электропривода	19.03.18-31.03.18	
Статический и динамический		
расчет привода	01.05.18-16.05.18	
Экономическая часть	17.05.18-05.06.18	
Безопасность жизнедеятельности	05.06.18-10.06.18	
Выполнение графической части	15.03.18-10.06.18	
Направление на рецензию	10.06.18	

Заведующий кафедрой / К.М.Виноградов /

Руководитель работы /В.Д. Константинов/

Студент /А. А. Гильметдинов/

АННОТАЦИЯ

Гильметдинов А. А. Модернизация электропривода подачи вертикально-фрезерного станка модели VM127. – Челябинск: ЮУрГУ, МТ; 2018, 68 с., 15 ил., библиогр. список – 8 наим., 6 листов чертежей ф. А1.

В данной выпускной квалификационной работе (ВКР) выполнена разработка электропривода подачи вертикально-фрезерного станка модели VM127, дано описание этого станка. Был выполнен расчёт электропривода, выбран электродвигатель, произведён обзор и выбор электропривода. Выполнен статический и динамический расчёт электропривода.

Рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности. Произведена идентификация и анализ опасностей и вредностей при эксплуатации данного станка. Разработаны мероприятия по снижению опасностей и вредностей на организм человека, проведена оценка пожаробезопасности. Оценено воздействие процессов механической обработки металлов на окружающую среду и способы ее защиты.

Выполнено экономическое обоснование модернизации, в ходе которого была рассчитана экономия на годовых эксплуатационных издержках при внедрении модернизированного оборудования, срок окупаемости и рентабельность капитальных вложений.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ.....	10
1.1 Общее сопоставление возможностей преобразователей частоты	10
1.2 Особенности преобразователя частоты HITACHI j150-055HFE4.....	11
1.3 Особенности преобразователя частоты Сапфир АП-140.....	13
1.4 Особенности преобразователя частоты Триол АТ04.....	14
1.5 Особенности преобразователя частоты ВЕСПЕР EI-8000.....	15
1.6 Особенности преобразователя частоты LG JS5-RUS.....	16
Выводы по части один.....	16
2 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА МОДЕЛИ VM127.....	16
2.1 Назначение и область применения	16
2.2 Описание конструкции станка	16
2.3 Электрооборудование станка	19
2.4 Сведения о блокировках, системе сигнализации и защите	21
2.5 Гидравлическая аппаратура	22
2.6 Основные технические данные и характеристики.....	22
2.7 Обоснование модернизации привода подачи.....	24
Выводы по части два.....	24
3 РАСЧЁТ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ	25
3.1 Расчет нагрузок на валу двигателя	25
3.2 Выбор двигателя	26
3.3 Формулирование требований к электроприводу	27
3.4 Выбор преобразователя частоты.....	27
Выводы по части три.....	29
4 СТАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ПРИВОДА	30
4.1 Статический расчёт привода	30
4.2 Расчёт динамических характеристик привода.....	33
Выводы по части четыре.....	46
5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	47
5.1 Общие положения	47
5.2 Оценка годовой производительности станка	47
5.3 Определение капитальных затрат.....	47
5.4 Определение эксплуатационных расходов.....	49
5.5 Определение приведенных затрат по вариантам систем электроприводов и экономического эффекта от использования нового оборудования.....	51
.....	
5.6 Определение экономической эффективности использования предварительно выбранной системы электропривода.....	51
Выводы по части пять.....	54
6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	55
6.1 Социальное значение безопасности жизнедеятельности	55

6.2 Опасные и вредные производственные факторы при фрезеровании изделий	55
6.3 Разработка технических и организационных мер по уменьшению влияния опасностей и вредностей на организм человека	59
6.4 Пожарная безопасность.....	62
6.5 Процесс механической обработки металлов как источник загрязнения окружающей среды.....	63
Выводы по части шесть.....	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	68

ВВЕДЕНИЕ

Технический уровень машиностроительного оборудования определяется следующими основными показателями: гибкостью, производительностью, точностью, надежностью, удельной металлоемкостью и удельным энергопотреблением.

Развитие в машиностроении прогрессивных технических средств, обеспечивающих значительное сокращение вмешательства обслуживающего

персонала в процесс функционирования оборудования, требует создания и внедрения принципиально новых систем автоматизированного электропривода.

Современные электроприводы базируются на широком применении специализированных электрических машин, силовой полупроводниковой техники, средств микроэлектроники.

За последние годы произошли качественные изменения в номенклатуре и техническом уровне электроприводов, применяемых в станкостроении. Создаются и внедряются в машиностроительном оборудовании качественно новые электроприводы, построенные на базе двигателей постоянного и переменного тока. Принципиально новые решения в области автоматизированного электропривода позволяют существенно повысить эксплуатационные характеристики станков и машин. Разрабатываются и внедряются в ГПМ бесколлекторные электроприводы переменного тока с асинхронными двигателями для механизмов главного движения и вентильными (синхронными) двигателями для механизмов подачи станков и промышленных роботов с цифровыми и цифроаналоговыми регуляторами, с микропроцессорным управлением и развитой диагностикой, с энергонезависимой памятью. Это позволяет увеличить скорость резания в 2 - 3 раза; уменьшить время вспомогательных перемещений в 1,5 - 2 раза; сократить время поиска и устранения неисправностей в электроприводах в 3 - 5 раз; уменьшить время технического обслуживания приводов в 2 - 4 раза; повысить точность обработки в 1,5 - 2 раза; уменьшить массогабаритные показатели приводов в 1,5 - 2 раза.

Новым подходом в области станочного электропривода является создание локально - распределительных электромеханических систем, представляющих собой унифицированные узлы ГПМ (поворотные и координатные столы, инструментальные головки, шпиндели и т.д.) со встроенными элементами двигателя и системы управления.

Основные тенденции в развитии электромашиностроения:

- переход от двигателей постоянного тока в регулируемых электроприводах к бесколлекторным специальным двигателям переменного тока асинхронным и синхронным (вентильным) двигателям;
- понижение удельных массогабаритных показателей двигателей путем применения новых электротехнических и магнитных материалов и специальной системы охлаждения;
- увеличение максимальной скорости двигателя, в том числе создание высокоскоростных электромеханизмов;
- оснащение двигателя особо точными датчиками положения и другими компонентами, обеспечивающими работу механизмов станков с ЧПУ и ГПМ;
- повышение эксплуатационных свойств двигателя в части снижения уровня вибрации, снижения уровня шума, повышения степени защиты двигателя от условий окружающей среды.

В механизмах подачи станков и роботов наряду с традиционными высокомоментными двигателями постоянного тока разработаны и внедряются бесколлекторные вентильные (синхронные) двигатели. На базе вентильных электродвигателей разработаны электроприводы с моментами 0,035 – 100 Н х м и максимальными скоростями вращения до 3000 – 9000 мин⁻¹. Вентильные двигатели имеют наиболее технологичную конструкцию без стальных полюсных наконечников в роторе. Возбуждение машин осуществляется от ферритовых или редкоземельных (самарий, кобальт) магнитов. Вентильные электроприводы

характеризуются: отсутствием ограничений по коммутации и перегрузочной способности двигателя; постоянным моментом ускорения, определяемым в основном, механической прочностью; малым моментом инерции и высоким быстродействием (ускорение до 36000 рад/с^2 , полоса пропускания 200 с^{-1}); отсутствием потерь в роторе, широким диапазоном регулирования (до $1 / 30000$) и равномерностью вращения. Вентильные двигатели практически не требуют обслуживания, в виду отсутствия щеточно-коллекторного узла. Степень защиты двигателей от внешней среды - IP65 (пылевлагозакрытое). Наиболее отличительной особенностью вентильных двигателей являются малые габариты и масса. Так, например, двигатель, в котором используются самарий – кобальтовые магниты, фирмы SIEMENS (Германия) мод. 1PT5108 с моментом $54,8 \text{ Н} \times \text{м}$ имеет массу 51 кг . Вентильные двигатели характеризуются меньшим моментом инерции ротора, который составляет по отношению к коллекторным электродвигателям постоянного тока величину $0,2 - 0,5$.

В вентильных двигателях обеспечиваются лучшие условия охлаждения обмоток. Так в двигателе постоянного тока фирмы FANUC (Япония) температура перегрева обмоток модели 20M ($22,5 \text{ Н} \times \text{м}$) составляет через 3 ч - $120 \text{ }^\circ\text{C}$, через 6 ч - $145 \text{ }^\circ\text{C}$, а в вентильном двигателе модели S20 через 3 ч - $80 \text{ }^\circ\text{C}$, через 6 ч - $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Особенностью преобразователей практически всех электроприводов является применение силовых блоков (тиристорных или транзисторных), смонтированных в теплопроводящем изолирующем (не токопроводящем) корпусе, что позволяет монтировать их на едином охладителе (радиаторе). В системах управления широко применяются микросхемы средней и высокой степени интеграции, а также термостабильные элементы. С целью экономии производственных площадей, занимаемых электрооборудованием, наметились тенденции выполнения конструктивов преобразователей, вертикального исполнения с уменьшенной шириной преобразователя.

Конструкция большинства преобразователей унифицирована по конструктивному исполнению.

Преобразователи выпускаются открытого исполнения (степень защиты IP00) и предназначены для встройки в электрошкаф. В ряде электроприводов предусмотрены встраиваемые устройства диагностики.

Современной тенденцией является применение микропроцессорной системы управления. В электроприводе подачи фирмы FANUC вся информация по положению, скорости и току обрабатывается в быстродействующем процессоре, что обеспечивает высокую точность обработки на станке (до $0,1 \text{ мкм}$), и минимальную шероховатость обработанной поверхности. В электроприводе главного движения той же фирмы микропроцессорный регулятор реализует нелинейное управление, обеспечивая оптимальные характеристики разгона и торможения. В конструкции преобразователей фирмы FANUC используются силовые транзисторные модули и транзисторные сборки. На базе указанных модулей возможно создание инверторов с переключающей частотой до 20 КГц . Фирма использует транзисторный модуль с номинальным током 300 А и обратным напряжением 1200 В и транзисторную сборку (6 ключей) 75 А , 600 В .

Большинство преобразователей имеют развитую систему диагностики, возможность подключения к дисплейным устройствам с цифровым отображением информации по скорости, току, текущей координате положения механизма и другим параметрам. Преобразователи имеют интерфейсные устройства, обеспечивающие

возможность стыковки с цифровыми управляющими машинами, персональными компьютерами.

В настоящее время ведётся модернизация машиностроительного завода г. Трехгорный, т.к. новое время и новые машины предъявляют всё более высокие требования к металлообработке изделий.

На заводе в настоящее время используются различные типы и модели станков, в частности используются вертикально-фрезерные станки типа VM127. Данный станок используется в технологическом процессе изготовления различных изделий.

Данный тип станков морально очень устарел, т.к. электрооборудование было выпущено примерно в 1980 г. Поэтому на сегодняшний день актуальным вопросом является модернизация привода станка. От данной модернизации ожидают повышения качества металлообработки, увеличение производительности, снижение энергопотребления, снижения затрат на техническое обслуживание и ремонт.

1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

1.1 Общее сопоставление возможностей преобразователей частоты

В данной части выполнен анализ особенностей построения и реализации различных преобразователей частоты (ПЧ), российских производителей и зарубежных фирм.

Рассмотрим функциональные и технические возможности ПЧ фирм «Сапфир», «Триол», «Веспер», «LG», «Mitsubishi» и «Hitachi» мощностью 5.5 кВт, при их использовании для модернизации привода подачи. Преобразователи целесообразно сравнить по следующим показателям:

- тип преобразователя;
- напряжение питания;
- диапазон изменения выходной частоты;
- количество аналоговых/дискретных входов;
- наличие дополнительных опций.

Предварительный анализ технических возможностей ПЧ различных фирм показал, что диапазон мощностей (кВт) характеризует мощность двигателей, подключаемых к данному преобразователю. В общем случае, достаточно широкий диапазон мощностей для ряда моделей одной фирмы свидетельствует о серьезных и прочных позициях производителя в производстве преобразователей для разных применений.

Напряжение питания характеризует удобства конечного пользователя, не имеющего промышленной трехфазной сети, производителем предусмотрено ряд моделей рассчитанных на однофазное (двухпроводное) питание 200-240 В переменного тока. Как правило, это маломощные модели до 1,5 кВт. Более мощные модели изготавливаются из расчета трехфазного питания 380-480 В переменного тока. Разброс $-15\% \div +10\%$ от номинального напряжения питания, является стандартом, предъявляемым к электрическим аппаратам, что необходимо для устойчивой работы в российских сетях. Все ПЧ представленные в данном списке соответствуют этому требованию.

Количество параметров настройки характеризует возможность более гибко настроить преобразователь под свои задачи. Однако необходимо отметить, что качественный состав и продуманность параметров ни менее важны, чем их количество. Для упрощенных исполнений специализированных преобразователей достаточно малого количества необходимых для технологического процесса параметров. Для того чтобы правильно оценить качественный и количественный состав, его достаточность и необходимость для решения конкретных задач, необходимо изучить полное описание на данную модель преобразователя.

Наличие дополнительных опций характеризует приспособляемость ПЧ для гибкой настройки его под нужды производственного процесса, почти все солидные производители реализуют возможность установки в преобразователь частоты дополнительных модулей (опций), расширяющих его возможности. Безусловно, при выборе преобразователя следует учитывать, что у одного производителя введено в состав опции, у другого может входить в состав базового модуля.

Количество аналоговых/дискретных входов, характеризует сопряжения преобразователя частоты с системой локального управления технологическим процессом. Чем больше сигнальных входов, тем проще сопрягать преобразователь с внешней системой управления.

1.2 Особенности преобразователя частоты HITACHI j150-055HFE4

Данный привод имеет следующие особенности:

- Компактен;
- Бессенсорный векторный контроль, что позволяет эффективно использовать мощность двигателя;
- Возможность работы в энергосберегающем режиме;
- Простота программирования;
- Автонастройка ("Интеллектуальный" инвертор автоматически рассчитывает характеристики двигателя);

Общие технические характеристики преобразователя J300-055HFE4:

- Напряжение питания 3 фазы 380 - 415В + 10% или 400 - 460В $\pm 10\%$, 50, 60Гц + 5%;
- Выходное напряжение: 3 фазы от 0 В до номинального напряжения питания;
- Выходная частота: 0,1 + 400 Гц (до 800 Гц - спец. исполнение);
- Точность задания частоты:
 - 1) При цифровой установке: $\pm 0,01\%$ от максимального значения;
 - 2) При аналоговой установке: + 0,1 % от максимального значения;
- Шаг изменения частоты:
 - 1) При цифровой установке: 0,01 Гц;

- 2) При аналоговой установке: Максимальная частота/1000;
- Характеристика:
 - 1) Постоянный момент;
 - 2) Сниженный момент;
 - 3) Высокий пусковой момент;
 - 4) Бессенсорный векторный контроль;
 - 5) Векторный контроль с применением датчика обратной связи;
- Перегрузка по току 150 % от номинального в течение 60 сек.
- Время ускорения/замедления:
 - 1) 0,1 - 999 сек, устанавливается индивидуально для каждого процесса, может задаваться в форме прямой, кривой, возможна двухступенчатая установка ускорения/замедления;
 - 2) 0,1 + 3000 сек при использовании пульта дистанционного управления;
 - 3) Пусковой момент более 150 % от номинального на частоте 1Гц;
- Торможение:
 - 1) Динамическое;
 - 2) Рекуперативное;
 - 3) Параметры режима программируются, имеется возможность подключения устройств торможения и тормозных резисторов;
- Рабочие функции:
 - 1) Цифровая установка:
Цифровым оператором;
Пультom дистанционного управления;
 - 2) Аналоговая установка с клемм входного терминала:
Переменным резистором 0,5 + 2кОм;
Напряжением 0 + 5 В, 0 -10 В (входное сопротивление 30 кОм);
Токовым сигналом 4 - 20 мА (входное сопротивление 250 Ом);
- Другие рабочие функции:
 - 1) Работа в многоскоростном режиме (8 фиксированных частот);
 - 2) Пропуск резонансных частот;
 - 3) Регулировка электронного термоуровня;
 - 4) Энергосберегающий режим;
 - 5) Перезапуск двигателя;
 - 6) Встроенный ПИД регулятор;
- Функции защиты:
 - 1) Защита от перегрузки по току;
 - 2) От повышенного и пониженного напряжения;
 - 3) От работы двигателя на 2-х фазах;
 - 4) Электронная термозащита двигателя;
 - 5) Защита от ошибки заземления;
 - 6) Защита от короткого замыкания на выходе;
- Входной терминал:
 - 1) 2 аналоговых входа управления частотой;
 - 2) Цифровой вход пуска (FW);
 - 3) 8 цифровых программируемых многофункциональных входов;
- Выходной терминал:
 - 1) Аналоговый выход просмотра частоты или момента;

- 2) 2 программируемых бесконтактных цифровых выхода (открытый коллектор: сигнал о превышении заданной частоты, момента, работа в заданном интервале частот);
- 3) 2 релейных выхода (сигнал о работе преобразователя или об аварийном отключении);

1.3 Особенности преобразователя частоты Сапфир АП-140

Регулируемый асинхронный электропривод позволяет с высокой надежностью и эффективностью решать различные задачи автоматизации производства и экономии электроэнергии. АП-140 характеризуется надежностью функционирования, простотой настройки и управления, наличием большого числа управляющих функций. Встроенный пульт управления дает пользователю прямой доступ ко всем программируемым параметрам преобразователя.

Области применения АП-140: деревообрабатывающие, металлообрабатывающие, сверлильные станки; мельницы, дробилки; сепараторы, центрифуги; экструдеры; конвейеры; лифты и подъемники; упаковочные и дозирующие машины; системы водоподготовки и водоснабжения; вентиляция, кондиционирование; управление горением в газовых котлах.

Дополнительные возможности:

- линейные и S-образные характеристики разгона/торможения;
- 7 программируемых уставок скорости (тип А);
- функция цифрового потенциометра;
- автоматический рестарт с подхватом двигателя;
- надежное токоограничение;
- программируемые функции ходов/выходов;
- режим программного (таймерного) управления (тип А).

Техническая характеристика:

- Диапазон мощностей: 5,5; 7,5; 11; 15; 18,5; 22; 30; 37; 48 кВт.
- Перегрузочная способность: 150% - в течение 1 минуты, 180% - 0,2 с.
- Защита от перегрузки с помощью контроля тока.
- Выходное напряжение трёхфазное, от 0 В до входного напряжения.
- Способ управления – частотное управления, ПИД – регулятор.
- Способ модуляции: пространственно – векторная ШИМ.
- Частота модуляции 2-16 кГц.
- Входное напряжение 380 В (-15% / 1-10%).
- Частота 50 Гц.

1.4 Особенности преобразователя частоты Триол АТ04

Этот ПЧ применяется для управления широким спектром производственных машин и механизмов, которые оснащены приводными низковольтными (класса напряжения 0,4 кВ) трехфазными асинхронными электродвигателями (АД) мощностью от 5,5 до 315 кВт, для управления сложными технологическими процессами и производственными комплексами, для работы в локальных

информационно-управляющих сетях, включающих в себя подобные электроприводы АТ.

Ряд Триол АТ04 содержит 15 моделей электроприводов 005; 007; 011; 015; 022; 037; 055; 075; 090; 110; 132; 160; 200; 250; 315. Основные технические характеристики привода приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные технические характеристики привода Триол АТ04

Параметр	Значение
Питающая сеть	3х380 В, +10%, –15%, 50(60) Гц ± 2% (с заземленной либо изолированной нейтралью)
Выходное напряжение	3х(0...380 В) ± 2% (значение максимального выходного напряжения программируется)
Выходная частота	0...400 Гц ± 0,05% (значения максимальной и минимальной частоты программируются)
Ток перегрузки	150% от номинального значения в течение 60 с
Коэффициент полезного действия	не менее 0,95 (без двигателя)
Коэффициент мощности (сети)	не менее 0,95
Кратковременное допустимое отклонение напряжения питающей сети, при котором электропривод сохраняет работоспособное состояние	-40%
Сопротивление изоляции гальванически не связанных цепей и относительно корпуса	10 МОм
Электрическая прочность изоляции	2500 В, 50 Гц, в течение 1 мин.
Условия окружающей среды	рабочая температура +1...+40°C, влажность (без конденсации) до 90%.

Электропривод Триол АТ04 обладает следующими основными функциональными возможностями.

Управление асинхронным двигателем во всех режимах: пуск по заданному алгоритму, длительная работа в заданном диапазоне частот вращения и нагрузок, реверсирование движения, торможение и останов по заданным алгоритмам.

Регулирование технологического параметра за счет встроенного ПИД регулятора. Защита ПЧ, АД и механизмов в аварийных и нештатных ситуациях и режимах. Кроме этого рассматриваемый привод обладает следующими дополнительными функциями:

- Дистанционный приём и обработку сигналов управления, задания параметров и режимов, в том числе по каналу последовательной связи от управляющих машин и систем высшего уровня;
- Сигнализация, отображение и дистанционная передача информации о параметрах и режимах работы;
- Учет отработанного времени;

- Регистрация отказов, нештатных и аварийных режимов.

В электроприводах Триол АТ04 реализованы:

- оптимизированные алгоритмы высокочастотного ШИМ-управления;
- законы частотного регулирования АД;
- скалярное управление;
- векторное управление.

Электропривод содержит (для приема управляющих и задающих сигналов):

- 6 дискретных входов;
- до 6 аналоговых входов;
- 2 канала интерфейса RS485.

Обмен данными происходит через интерфейс RS485 в соответствии с протоколом «Modbus», «Profibus», CAN.

Для управления внешними устройствами предусмотрено:

- до 6 релейных выходов;
- 2 аналоговых выхода.

Шкафы электропривода Триол АТ04 выпускаются со степенями защиты IP21 и IP54.

Привода Триол АТ04 применяются:

- на горнодобывающих и горно-обогачительных предприятиях;
- в нефтедобыче и нефтепереработке;
- в транспортировании нефтепродуктов и газа;
- в металлургическом и прокатном производствах;
- в машиностроении;
- в химическом производстве;
- в целлюлозно-бумажном производстве;
- в тепло- и электроэнергетике;
- в пищевой промышленности.

Эффективность применения электропривода Триол АТ04 обусловлена:

- высоким качеством статических и динамических характеристик;
- высокими энергетическими показателями;
- гибкой настройкой рабочих параметров и режимов;
- развитым интерфейсом и адаптивностью к различным внешним системам управления и автоматизации, в том числе высокого уровня;
- высокой пуско-наладочной готовностью;
- простотой и удобством управления и обслуживания в эксплуатации.

Высокая эксплуатационная надежность электроприводов Триол АТ04 обусловлена качеством разработки конструкции и схмотехники, использованием современной элементной базы, прогрессивными технологиями сборки, монтажа и испытаний.

1.5 Особенности преобразователя частоты ВЕСПЕР EI-8000

Малогобаритные преобразователи EI-8000 совмещают в себе свойства преобразователей EI-7000 и EI-9000 с упрощенным набором функций, имеют компактное исполнение, реализуют возможность плавного изменения частоты с помощью встроенного потенциометра:

- Диапазон мощностей 0,75 кВт - 15 кВт;
- Полная защита двигателя;

- Векторное управление без обратной связи;
- Встроенный ПИД-регулятор;
- Аналоговые и цифровые входы/выходы для регулирования и дистанционного управления;
- Согласование с RS-232/RS-485;
- Питание 220/380 В, 50/60 Гц.

1.6 Особенности преобразователя частоты MITSUBISHI FR-A 540 S EC

Преобразователи частоты MITSUBISHI предназначены для преобразования одно- или трехфазного напряжения с постоянной частотой 50 Гц в трехфазное напряжение переменной частотой в диапазоне от 0,2 до 400 Гц. Это свойство преобразователей частоты делает возможным их широкое применение для бесступенчатого регулирования любых асинхронных электродвигателей, в том числе электроприводов, насосов, вентиляторов, компрессоров и других механизмов, где требуется регулирование частоты вращения. Многообразие функций и высокая надежность, заложенные в преобразователях частоты MITSUBISHI делают возможным и выгодным их практическое применение для управления электроприводами различных установок и технологических комплексов.

Области применения: подъемно–транспортные механизмы, текстильные машины, насосы, мешалки и т.п.

Программный контроль выходного тока; самонастраивающееся векторное регулирование с функцией компенсации скольжения.

Коммуникации через последовательный порт RS422/RS485; удобство обслуживания; компактное исполнение; встроенный транзистор, управляющий тормозным сопротивлением; опционное тормозное сопротивление; подключение внешнего тормозного блока; программируемые выходы; устойчив к коротким замыканиям и перегрузкам; контроль холостого хода.

Выводы по части один

В данной части ВКР были проанализированы возможности, технические характеристики и области применения преобразователей частоты для электроприводов отечественного и иностранного производства. Проведенный анализ вариантов поможет в дальнейшем выбрать подходящий преобразователь частоты для электропривода подачи вертикально-фрезерного станка модели VM127.

2 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА МОДЕЛИ VM127

2.1 Назначение и область применения

Т.к. горизонтально-фрезерный станок VM127 отличается от вертикально-фрезерного станка VM127 только ориентацией шпиндельной бабки при этом привод подач одинаков для обоих станков, поэтому далее будем рассматривать вертикально-фрезерный станок. Фрезерные вертикальные станки VM127 предназначены для фрезерования всевозможных деталей торцевыми, цилиндрическими, дисковыми, угловыми и фасонными фрезами. На станке можно обрабатывать вертикальные и горизонтальные плоскости, пазы, углы, рамки и т.п., а также выполнять сверлильные и расточные работы. Техническая характеристика и высокая жесткость станка позволяют полностью использовать возможности быстрорежущего и твердосплавного инструмента при обработке стальных и чугуновых деталей. Станок допускает обработку изделий весом до 800 кг.

2.2 Описание конструкции станка

На рисунке 2.1 показан общий вид с обозначением составных частей станка. На рисунке цифрами обозначены: 1 – стол и салазки; 2 – стойка; 3 – станина; 4 – шпиндельная бабка; 5 – пульт подвесной; 6 – электрооборудование; 7 – механизм переключения скоростей; 8 – система охлаждения; 9 – гидростанция; 10 – коробка подач.

Вертикально-фрезерный станок VM127 имеет следующие движения:

- Вращения шпинделя;
- Продольную подачу стола (механическую и ручную);
- Поперечную подачу стола (механическую и ручную);
- Вертикальную подачу шпиндельной бабки;
- Быстрый продольный ход стола;
- Быстрый поперечный ход стола;
- Быстрое перемещение шпиндельной бабки;
- Осевое ручное перемещение гильзы шпинделя.

Привод стола в продольном и поперечном направлениях и вертикальное перемещение шпиндельной бабки осуществляется от коробки подач, смонтированной на задней стенке станины. Вращение шпинделя осуществляется от электродвигателя переменного тока через коробку скоростей. Управление станком кнопочное и осуществляется централизованно с подвесного пульта.

Предусмотренная в станке система блокировок устраняет возможность одновременного включения исключаящих друг друга движений и, наряду с другими предохранительными устройствами, защищает механизмы станка от поломок.

Стол представляет собой жесткую отливку, имеющую две плоские направляющие с наклеенными планками из сплава ЦАМ. На рабочей поверхности стола имеются три Т-образных паза для крепления изделия и окаймляющие канавки для сбора охлаждающей жидкости с последующим отводом её в станину. Продольное перемещение стола происходит по направляющим салазок, которые

представляют собой жесткую чугунную отливку, имеющую снизу две плоские направляющие с наклеенными планками из сплава ЦАМ. Салазки обеспечивают поперечное перемещение находящегося на них стола. На салазках смонтированы механизмы подачи стола и салазок, рукоятки переключения с ручной на механическую подачу, маховички ручных перемещений и блокирующие устройства. Маховичками ручных перемещений осуществляется продольная и поперечная подачи стола с соблюдением мнемоники. В ручном приводе особое внимание обращено на легкость перемещений. Система блокировки при механической подаче исключает работу в ручную. Зажим стола и салазок производится вручную рукоятками: стол - рукоятками на лицевой стороне салазок, салазки – рукоятками на станине через систему рычагов.

Стойка крепится на станине. На стойке имеются плоские направляющие для вертикального перемещения шпиндельной бабки. В нижней части стойки, на задней её стенке расположены предохранительная муфта и накидной фланец с цилиндрическими шестернями, снимающими вращение с выходного вала коробки подач на промежуточный валик конического редуктора, смонтированного на передней стенке стойки и передающего движение на ходовой винт перемещения бабки.

Станина представляет собой жесткое основание, на котором крепятся стойка, коробка подач, гидростанция и насос охлаждения. Станина имеет плоские крестообразные направляющие, по которым в поперечном направлении перемещаются салазки со столом. От опрокидывания в крайних положениях стола салазки удерживаются планками, в которых установлены механизмы ручных зажимов салазок. В станине также смонтированы вал продольной подачи и винт поперечной подачи стола. Направляющие защищены от попадания стружки кожухами. Для отвода стружки в станине предусмотрены боковые каналы. Внутри станины имеются специальные отсеки для размещения охлаждающей жидкости и масла. На боковой стенке станины, справа укреплены кронштейны для крепления линейки отсчета поперечного перемещения, здесь же внизу предусмотрен слив охлаждающей жидкости.

Шпиндельная бабка представляет собой жесткую корпусную деталь, которая имеет возможность перемещаться по направляющим стойки и крепится планками, удерживающими её от опрокидывания. В вертикальном направлении бабка перемещается при помощи винта вертикальной подачи. Внутри бабки смонтирована коробка скоростей, имеющая 18 ступеней чисел оборотов и передающая вращение от электродвигателя переменного тока, шпинделю. Торможение шпинделя производится электромагнитной тормозной муфтой, расположенной как и лопастный насос смазки коробки скоростей, внутри корпуса бабки, в нижней его части.

На передней, лицевой стороне бабки расположены амперметр, показывающий нагрузку электродвигателя; индикаторное устройство для точной установки фрезы на размер по высоте; рукоятка зажима гильзы шпинделя, маслоуказатель работы насоса смазки. Слева на бабке расположены механизмы переключения скоростей, рукоятка переключения скоростей, колодки со шлангами подвода гидравлики, электрооборудования и охлаждающей жидкости, кран пуска охлаждения, лампа освещения, рукоятка для зажима бабки на направляющих, кнопка толчкового поворота шпинделя. Справа на бабке расположены: маховичок для перемещения гильзы шпинделя в осевом направлении через коническую пару, кнопка для

периодической смазки направляющих и винта подачи, маслоуказатели уровня масла, лампа освещения, рукоятка для зажима бабки на направляющие стойки. Сверху на бабке смонтированы электродвигатель привода шпинделя и механизмы зажима инструмента, закрепленного на шпинделе. Снизу на бабке крепится масляный фильтр и кожухи защиты направляющих стойки.

Коробка подач представляет собой отливку коробчатого сечения и крепится на задней стенке станины. На коробке подач установлен электродвигатель постоянного тока с бесступенчатым регулированием в диапазоне 1:10, что соответствует оборотам электродвигателя в пределах от 150 до 1500 об/мин, быстрые перемещения осуществляются при 3000 об/мин. В коробке смонтировано 12 электромагнитных муфт. Шесть муфт осуществляют изменение направления движения стола, салазок и бабки, т.е. на каждое движение приходится две муфты. Электромагнитные муфты обеспечивают независимое включение продольного, поперечного и вертикального перемещений, а также всех трех движений в ту или другую сторону.

Электродвигатель постоянного тока в сочетании с электромагнитными муфтами позволяет осуществлять дистанционное управление с возможностью изменения величин подач в процессе резания, а также направление движения.

Наличие трех тормозных муфт обеспечивает минимальный перебег движущихся частей: стола, салазок и бабки, - как при отключении движения, так и при изменении его направления.

Наличие регулирования электродвигателем постоянного тока в пределах 1:10 и двух переборов с передаточным отношением 1:10 обеспечивает диапазон подач стола, салазок и бабки 1:200; в пределах 10-2000 мм/мин – для стола и салазок, и в пределах 4-800 мм/мин для шпиндельной бабки. Включение и отключение переборов осуществляется тремя электромагнитными муфтами, управление которыми производится переключателем с подвесного пульта.

2.3 Электрооборудование станка

Электрооборудование станка выполнено для питания от сети трёхфазного переменного тока напряжением 380 В, частотой 50 Гц.

Главное движение (вращение шпинделя) осуществляется от электродвигателя переменного тока типа А02-52-4С1. Привод подачи, быстрые и установочные движения подачи осуществляются от электродвигателя постоянного тока А02-31-4-С2, который питается регулируемым приводом ПМУ7М-3. Привод гидронасоса и насоса охлаждения осуществляется двигателями переменного тока.

Электрическая аппаратура управления станком размещена в шкафу, устанавливаемом справа от станка. В электрошкаф встроен также блок управления приводом подач – привод ПМУ7М-3. Управление электроприводом станка осуществляется с подвесного пульта. На подвесном пульте расположены:

- кнопки управления электродвигателем шпинделя;
- кнопка включения быстрого хода;
- регулятор подач;
- переключатели направления перемещения стола, салазок и шпиндельной бабки;
- переключатель кинематической цепи ПП;
- выключатель "Отжим-зажим" инструмента ВОФ;

- выключатель охлаждения ВО;
- кнопка "Все стоп".

Кроме того на подвесном пульте размещены сигнальные лампы, которые загораются только тогда, когда рукоятки переключения (или одна из них) с механической подачи на ручную установлены в положение "Работа маховичками". Кнопка "Толчок шпинделя" находится на разветвительной коробке, на левой стороне шпиндельной бабки.

Указатель нагрузки шпинделя установлен на лицевой стороне бабки. Рукоятки автоматического выключателя и переключатель направления вращения шпинделя выведены на правый борт электрошкафа.

Питание цепей управления постоянного тока и электромагнитных муфт осуществляется от понижающего трансформатора ТУ2 380/29 через селеновый выпрямитель.

Продольное, поперечное и вертикальное перемещения осуществляются от комплектного электропривода ПМУ7М-3. Привод ПМУ7М-3 состоит из следующих основных частей:

- блока питания;
- электродвигателя постоянного тока;
- задатчика скорости.

Блок питания, в свою очередь состоит из силовой части, цепи управления и вспомогательных цепей.

Силовая часть блока питания представляет собой управляемый статический преобразователь переменного тока в постоянный. Для изменения выпрямленного напряжения служат магнитные усилители, рабочие обмотки которых включены в плечи селенового выпрямителя, собранного по трёхфазной мостовой схеме. Нагрузкой силовой части является якорь электродвигателя.

Для получения устойчивых и жёстких механических характеристик привода, в систему введены отрицательная обратная связь по напряжению и положительная обратная связь по току.

Привод имеет узел токоограничения, выполненный на базе реле максимального тока. Работа цепи токоограничения заключается в следующем: при пуске ток в силовой цепи резко возрастает что вызывает срабатывание реле максимального тока. Контакты этого реле шунтируют резистор задания скорости что вызывает снижение напряжения на двигателе. Двигатель продолжает разгон на пониженном напряжении пока ток не снизится до тока отпускания реле максимального тока. После отключения реле максимального тока на вход усилителя подаётся требуемый сигнал задания и напряжение на двигателе возрастает, что вызывает увеличение тока, и все повторяется до тех пор, пока не закончится разгон двигателя.

2.4 Сведения о блокировках, системе сигнализации и защите

Двери электрошкафа сблокированы с автоматическим выключателем при помощи конечных выключателей так, что при их открывании отключается автоматический выключатель. При необходимости включения автоматического выключателя при открытых дверях электрошкафа необходимо переключить переключатель ПА, расположенный на станции управления. При включении автоматического выключателя в этом случае на станции управления загорается сигнальная лампа, сигнализирующая о наличии на станции и станке напряжения.

Перед закрытием дверок переключатель ПА необходимо поставить в прежнее положение.

Защита электродвигателя шпинделя от длительных перегрузок обеспечивается тепловым реле, от токов короткого замыкания в цепи - автоматическим выключателем.

Защита привода подач и электродвигателя гидравлики от длительных перегрузок и коротких замыканий в цепи обеспечивается автоматом АВ-П.

Защита электродвигателя насоса охлаждения от длительных перегрузок осуществляется тепловым реле, от токов короткого замыкания в цепи предохранителем.

Защита всех цепей управления осуществляется предохранителями.

Рабочая подача возможна только при включённом шпинделе. При отжатом инструменте невозможно включить шпиндель и при вращающемся шпинделе невозможно отжать инструмент.

Невозможно при включенных подачах переключение муфт на уменьшение редукции кинематической цепи. Такие переключения возможны лишь при отключенных подачах. Исключается возможность включения механических подач в положении рукоятки "Ручные перемещения".

Нулевая защита осуществляется применением контакторной аппаратуры. Ограничение крайних положений осуществляется при помощи конечных выключателей.

2.5 Гидравлическая аппаратура

Система гидропривода и смазки, включающая в себя гидростанцию, насос смазки шпиндельной бабки и разводку труб гидравлики и смазки, предназначена для осуществления:

- гидравлического отжима инструмента;
- смазки всех ответственных узлов станка.

Гидростанция выполнена отдельным узлом и расположена с левой стороны станка. В состав гидростанции входят:

- насос лопастный СОЖ Х14-22М с приводом от электродвигателя переменного тока АОЛ-22-4-С2 мощностью 0,12 кВт, 1400 об/мин;
- фильтр пластинчатый 0,12Г41-21;
- клапан предохранительный ПГ52-12;
- манометр общего назначения МТ-1;
- золотник с электрическим управлением 54БПГ73-11.

Пуск привода насоса гидростанции электрически связан с пуском электродвигателя коробки подач.

Во время работы станка масло от гидростанции через золотник 54БПГ73-11 поступает на смазку следующих механизмов станка:

- направляющих стола и салазок;
- привода стола и салазок;
- коробки подач.

Отжим инструмента осуществляется гидроцилиндром при переключении золотника 54БПГ73-11. При этом прекращается подача масла на смазку. Управление золотником осуществляется переключателем, установленном на пульте.

2.6 Основные технические данные и характеристики

Техническая характеристика (основные параметры и размеры согласно ГОСТ 9191-67) сведена в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Техническая характеристика станка VM127

Параметр	Значение
Габарит станка, мм:	
длина	2560
ширина	2260
высота	2430
Размеры рабочей поверхности стола, мм:	
длина	1600
ширина	400
Наибольшее перемещение стола, мм:	
продольное	1000
поперечное	300

Окончание таблицы 2.1

Параметр	Значение
Наибольшее перемещение шпиндельной бабки, мм	500
Расстояние от торца шпинделя до стола, мм:	
наибольшее	500
наименьшее	30
Расстояние от оси шпинделя до направляющих стойки, мм	530
Наибольшее расстояние от середины стола до направляющих стойки, мм	780
Скорость быстрого перемещения стола (продольного и поперечного), мм/мин:	3000
Скорость быстрого вертикального перемещения шпиндельной головки, мм/мин	100
Возможность фрезерования по подаче	Есть
Диаметр шпинделя под передним подшипником, мм	100
Осевое перемещение гильзы шпинделя, мм	120
Тип и размер конца шпинделя	ГОСТ836-72
Максимальный вес обрабатываемой детали, кг	800
Масса станка (без электрооборудования), кг	4250

Техническая характеристика электрооборудования представлена в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Техническая характеристика электрооборудования

Параметр	Значение
Количество электродвигателей на станке	4
Электродвигатель главного движения:	

тип мощность, кВт число оборотов в минуту	4A1324У3 11 1450
Электродвигатель привода подачи: тип мощность, кВт число оборотов в минуту	4A1004У3 3 1425
Электродвигатель гидропривода: тип мощность, кВт число оборотов в минуту	АОЛ-22-4С1 0,12 1400
Электродвигатель насоса охлаждения: тип производительность, л/мин мощность электродвигателя, кВт число оборотов в минуту	X14-22М 22 0,12 2800
Тип магнитного усилителя	ПМУ7М-3
Окончание таблицы 2.2	
Параметр	Значение
Тип электромагнитных муфт	ЭТМ102, ЭТМ106, ЭТМ086

2.7 Обоснование модернизации привода подачи

Во время эксплуатации станка были выявлены следующие недостатки привода подачи:

- Низкий К.П.Д. преобразователя;
- Высокая инерционность преобразователя;
- Устаревшая элементная база;
- Необходимость постоянного технического обслуживания коллекторно-щеточного узла двигателя подачи;
- Низкая надёжность автоматики, реализованной с помощью реле.

Кроме того, следует отметить, что в настоящий момент привод подачи практически не пригоден для ремонта, т.к. оборудование привода подачи сильно морально и физически устарело. Всё вышесказанное свидетельствует о необходимости модернизации привода подачи.

Проведение модернизации может исправить все перечисленные выше недостатки. Использование современного частотно регулируемого асинхронного электропривода позволит устранить ряд недостатков привода подачи постоянного тока. Асинхронный двигатель значительно надежнее двигателя постоянного тока, а отсутствие щеточно-коллекторного аппарата снижает расходы на регулярное техническое обслуживание двигателя. Современные преобразователи имеют высокий К.П.Д. и значительное быстродействие.

Выводы по части два

В данной части ВКР рассматривается конструкция, назначение и техническая характеристика вертикально-фрезерного станка ВМ127, а также приводится обоснование модернизации привода подачи.

3 РАСЧЁТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Расчет нагрузок на валу двигателя

На данном станке производится несколько технологических операций: фрезерование, расточка, сверление. Причём материал обрабатываемых изделий различный. Поэтому взять какую-то конкретную деталь и рассчитать под неё привод будет нецелесообразно. Кроме того прогресс движется, что может вызвать изменение номенклатуры изделий обрабатываемых на этом станке. Поэтому для расчёта мощности электродвигателя подачи воспользуемся паспортными данными станка приведенными в таблице 2.1. В частности нас интересуют максимальные перемещения стола, салазок и шпиндельной бабки. Данные характеризующие механику подач не вошедшие в таблицу 2.1 приведены в таблице 3.1 [1].

Таблица 3.1 – Механика подач

Направление подачи	Величина подачи в мм/мин		допускаемое механизмом подач, кгс
	с перебором	без перебора	
Продольное	10-100; 40-400	200-2000	2000
Поперечное	10-100; 40-400	200-2000	2000
Вертикальное	4-40; 16-160	80-800	800

Следует учесть, что при максимальной подаче шпиндельной бабки 160 мм/мин скорость вращения вала двигателя составляет также 1500 об/мин. Без перебора скорость вращения вала двигателя при подаче 2000 мм/мин составляет 3000 об/мин. При расчёте нагрузок на валу следует учесть, что усилие передаётся через червячный вал, средний диаметр которого составляет 40 мм, шаг резьбы винта составляет 4 мм.

Момент на валу ходового винта определяется выражением [2]:

,

где F - усилие подачи;
 r - радиус ходового винта.

Момент на валу машины определяется выражением:

,

где i - передаточное число механизма подачи;
 ω_1 - скорость вращения вала двигателя;
 ω_2 - скорость вращения ходового винта;
 v - скорость подачи;
 s - шаг ходового винта.

Мощность на валу электродвигателя определяется формулой:

Вт,

где - КПД механической передачи.

Расчет для остальных режимов работы аналогичен описанному, поэтому приводить его не будем, результаты расчётов сведены в таблицу 3.2. Следует отметить что при работе без перебора (т.е. во время установочных перемещений) скорость вращения вала двигателя составляет 3000 об/мин, а нагрузка составляет не более 20% от максимальной.

Таблица 3.2 – Расчёт мощности электродвигателя

	784,4	784,4	313,8	313,8	156,88	62,76
	157,08	157,08	157,08	157,08	314,159	314,159
	1,667	0,417	0,667	0,167	8,25	3,25
<i>i</i>	0,011	0,001	0,004	0,001	0,026	0,01
	8,323	1,041	1,332	0,333	4,12	0,649
	6,667	1,667	2,667	6,667	33	13
	2011,38	251,461	321,886	80,466	1991,17	313,8

3.2 Выбор двигателя

Анализируя таблицу 3.2 выбираем электродвигатель на мощность не менее 2 кВт и синхронной частотой вращения 3000 об/мин. По каталожным данным находим двигатель марки 4А1004УЗ [3], паспортные данные которого приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Паспортные данные двигателя 4А1004УЗ

Параметр	Единица измерения	Значение
Номинальная мощность	кВт	3
Номинальный К.П.Д.	%	83,5

Окончание таблицы 3.3

Параметр	Единица измерения	Значение
Номинальное скольжение	%	3,8
Критическое скольжение	%	29,6
Номинальный момент		7
Момент инерции		0,125
	-	0,83
	о.е.	2,7
	о.е.	0,076
	о.е.	0,050
	о.е.	0,049
	о.е.	0,087

3.3 Формулирование требований к электроприводу

Для выбора привода подачи необходимо сформулировать следующие требования, предъявляемые к приводу [4]:

- Напряжение питающей сети;

- Напряжение на выходе преобразователя;
- Мощность преобразователя;
- Диапазон регулирования скорости;
- Возможность заведения обратных связей;
- Наличие встроенной логики или использование дополнительных устройств автоматики.

Известно, что станок получает питание от промышленной трёхфазной сети напряжением 380 В. Номинальное напряжение двигателя 380 В, следовательно преобразователь должен обеспечивать выходное номинальное напряжение 380 В. При выбранном двигателе мощностью 3 кВт, частотный преобразователь должен иметь номинальную мощность не менее 3 кВт. Диапазон регулирования скорости должен быть не менее 1:50. Привод должен иметь обратную связь по технологическому параметру. Желательно что бы привод мог обеспечивать реализацию автоматики или иметь возможность соединения с микропроцессорными устройствами.

3.4 Выбор преобразователя частоты

Анализируя требования, предъявляемые к приводу и описания различных приводов (часть 1 ВКР) останавливаем свой выбор на преобразователе Триол АТ. Данный привод обеспечивает все необходимые режимы работы двигателя, диапазон регулирования. Кроме того, данный привод производится в России, и производитель производит гарантийное бесплатное техническое обслуживание и ремонт, кроме того имеется возможность обучения персонала обслуживающего станок на фирме производителе. Исходя из этого выбираем привод марки Триол АТ 04 на номинальную мощность 5,5 кВт (рисунок 4.1).

В качестве опции к данному приводу может поставляться микропроцессорный комплекс "УМКА" который может выполнять следующие функции:

- Контроль состояния привода, ведение журнала аварийных ситуаций;
- Реализация обратных связей;
- Соединение с информационными сетями посредством последовательных интерфейсов;
- Реализация программной логики управления.

Рисунок 4.1 – ПЧ Триол АТ04 005

Выводы по части три

В данной части проведен расчет нагрузок на валу двигателя, в соответствии с которым был произведен выбор двигателя. Так же формулируются требования к электроприводу подачи вертикально-фрезерного станка, производится выбор

преобразователя частоты, удовлетворяющего всем требованиям для этого привода из выборки, представленной в части 1 выпускной квалификационной работы.

4 СТАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ПРИВОДА

4.1 Статический расчёт привода

Исходными данными для расчёта статических характеристик являются паспортные данные двигателя, приведённые в таблице 3.3. Для выполнения расчёта нам необходимо привести данные обмоток из относительных величин (значения, приведённые в таблице 3.3) к абсолютным. Для этого рассчитаем номинальный фазный ток двигателя [5]:

$$A,$$

где V - номинальное фазное напряжение двигателя.

Активное сопротивление статора:

$$\text{Ом.}$$

Реактивное сопротивление статора:

$$\text{Ом.}$$

Активное сопротивление ротора:

$$\text{Ом.}$$

Реактивное сопротивление ротора:

$$\text{Ом.}$$

Механические характеристики двигателя рассчитываются по формуле:

$$,$$

где ω - частота питающего напряжения;

V - величина питающего напряжения.

Известно что для поддержания постоянного критического момента при различных частотах питающего напряжения используется закон регулирования: . Однако активное сопротивление статора приводит к тому, что с уменьшением частоты критический момент двигателя снижается. Для компенсации влияния активного сопротивления статора используется так называемая I_r -компенсация. В выбранном нами приводе система управления автоматически выполняет I_r -компенсацию, поэтому при расчёте статических характеристик примем .

Расчёт статических характеристик выполним с использованием зависимостей:

$$,$$

$$.$$

Используя эти соотношения рассчитаем механические характеристики привода для частот 50, 35, 15 Гц. Для определения величины напряжения подводимого к статору воспользуемся соотношением:

Из данного выражения получим величину питающего напряжения для разных частот:

V - для частоты 35 Гц;

V - для частоты 15 Гц;

Расчёт этих зависимостей для частот 50, 35, 15 Гц приведён в таблице 5.1. Вид характеристик показан на рисунке 5.1.

Таблица 5.1 – Расчёт механических характеристик

	0,0001	0,001	0,005	0,01	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	1
	0,019	0,19	0,951	1,9	9,326	17,64	28,98	33,49	33,80	21,57
	314,1	313,9	312,6	311,0	298,5	282,7	251,3	219,9	188,5	0
	0,013	0,133	0,666	1,33	6,593	12,82	23,09	29,70	33,02	27,56
	219,9	219,7	218,8	217,7	208,9	197,9	175,9	153,9	131,9	0
	0,006	0,057	0,285	0,57	2,848	5,665	11,10	16,10	20,51	33,5
	94,24	94,15	93,78	93,31	89,54	84,82	75,40	65,97	56,55	0

Рисунок 5.1 – Статические характеристики привода

Проанализировав вид статических характеристик (см. рисунок 5.1) можно сделать вывод что использование *IR*-компенсации обеспечивает постоянный критический момент на валу двигателя. Также не сложно заметить что двигатель способен обеспечить требуемые значения момента на валу двигателя (см. таблицу 3.2).

4.2 Расчёт динамических характеристик привода

4.2.1 Синтез регуляторов преобразованных токов статора

Поскольку для обеих проекций тока статора звено объекта попавшего в контур одинокого то рассмотрим синтез регулятора для одной из проекций.

Расчетная схема для синтеза двухмерного регулятора тока статора приведена на рисунке 5.2.

Рисунок 5.2 – Расчётная схема САР тока

Передаточная функция имеет вид:

Некомпенсированную постоянную времени принимаем равной $T_{\mu} = 0.005$ с, поскольку при использовании частотно-регулируемого электропривода эта величина может быть выбрана намного меньше, чем в аналогичном приводе постоянного тока. Ввиду того, что в электроприводе переменного тока практически не существует ограничения на частоту входных воздействий из-за высокой частоты коммутации.

Передаточная функция регулятора имеет следующий вид:

- «ПИ» регулятор,

где $T_i = 2T_{\mu}$ - постоянная времени регулятора тока статора исходя из настройки на модульный оптимум.

Замкнутая типовая передаточная функция контура тока имеет вид:

4.2.2 Синтез регулятора электромагнитного момента

Регулятор представлен в виде обратного звена момента

- звено момента (ЗМ)

- регулятор момента (РМ).

Регулятор момента формирует частоту скольжения координат. Нужно ввести в регулятор момента вычислитель абсолютного скольжения.

Рисунок 5.3 – Структурная схема регулятора электромагнитного момента
При этом передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

Т.е. контур момента имеет высокое быстродействие, но на динамику оказывает влияние изменение потокосцепления ротора.

4.2.3 Синтез регулятора угловой скорости

С точки зрения требований к электроприводу допускается относительное падение скорости 5% следовательно, возможно использование П-регулятора скорости. При синтезе пренебрегаем статическим моментом нагрузки.

Рисунок 5.4 – Структурная схема для синтеза регулятора скорости

Однако в преобразователе частоты используется ПИ-регулятор скорости, а установка интегрального коэффициента регулятора скорости невозможна. Ввиду этого будем синтезировать ПИ-регулятор скорости, при синтезе которого на входе системы появляется входной фильтр со следующей передаточной функцией

Передаточная функция регулятора скорости имеет вид:

Где постоянные времени определяются как:

для настройки на модульный оптимум.

Типовая передаточная функция разомкнутой системы регулирования скорости настроена на симметричный оптимум и имеет вид:

Типовая передаточная функция замкнутой системы по управляющему воздействию имеет вид:

Типовой переходный процесс по управляющему воздействию имеет следующие показатели качества:

- Время достижения максимума $t_M = 18T_\mu$;
- Время переходного процесса (время вхождения в 1% зону) $t_{п.п.} = 22,5T_\mu$
- Перерегулирование по скорости $\sigma = 6,2\%$;

Типовой переходный процесс по возмущающему воздействию имеет следующие показатели качества:

- Время восстановления $t_{вос} = 3,86T_\omega$;
- Перерегулирование по моменту $\sigma = 54\%$;

Механические характеристики системы являются абсолютно жесткими ввиду того, что значение передаточной функции по возмущающему воздействию в установившемся режиме:

Т.е. система не будет иметь ошибки по возмущающему воздействию. Найдем значение пропорционального и интегрального коэффициентов регулятора скорости для установки соответствующих параметров в преобразователе частоты.

Пропорциональный коэффициент регулятора скорости:

Интегральный коэффициент регулятора скорости в параметре под интегральным коэффициентом понимается постоянная времени:

Далее эти значения могут быть установлены в параметры преобразователя.

Для расчёта динамических характеристик привода необходимо составить структурную схему привода. После составления структурной схемы необходимо рассчитать параметры структурной схемы. Для выполнения данного расчёта воспользуемся методикой приведённой в [6]. Структурная схема привода показана на рисунке 5.5.

4.2.4 Расчёт параметров структурной схемы привода

Расчёт параметров структурной схемы выполним в соответствии с [6].

Напряжение на выходе неуправляемого выпрямителя:

V .

Активное сопротивление фазы двигателя:

Ом .

Индуктивность фазы двигателя:

Гн .

Постоянная времени нагрузки:

с .

Входной ток инвертора (выходной ток выпрямителя):

,

где α - расчётный коэффициент.

Ёмкость сглаживающего фильтра:

где V - допустимое увеличение напряжения на входе инвертора.

Фиктивное сопротивление:

где k_1 - коэффициент согласования относительно значения фазного напряжения статора двигателя с входным напряжением инвертора;

k_2 - коэффициент согласования входного тока инвертора с фазным током статора двигателя;

$T_{\text{н}}$ - фиктивный пусковой момент двигателя при номинальных значениях напряжения и частоты, определяемый в результате линеаризации рабочей части механической характеристики двигателя.

Постоянная времени сглаживающего фильтра:

с .

Коэффициент передачи инвертора:

,

где ω_{max} - максимальная относительная выходная частота инвертора;

V_{max} - максимальное напряжение задания частоты.

Критическое скольжение двигателя:

.

Критический момент двигателя:

Электромагнитная постоянная времени двигателя:

.

Приведённый момент инерции на валу двигателя:

,

где $J_{дв}$ - момент инерции двигателя;

$J_{мх}$ - приведённый момент инерции механизма подачи.

Передаточная функция регулятора напряжения для автономных инверторов представляет собой И-регулятор, и описывается выражением:

,

где $T_{дв}$ - постоянная времени запаздывания инвертора по напряжению;

$K_{дв}$ - коэффициент передачи инвертора по каналу напряжения;

$K_{об}$ - коэффициент передачи обратной связи по напряжению.

Постоянная времени запаздывания инвертора по напряжению для инверторов на тиристорах принимается равной 0,005 с, для инверторов на транзисторах 0,001 с. Т.к. выбранный привод имеет инвертор на IGBT транзисторах следовательно принимаем с;

Коэффициент передачи инвертора по каналу напряжения определяется выражением:

,

где $V_{уп}$ - напряжение управления инвертора по каналу напряжения, принимаемое равным 10 В.

Следовательно .

Коэффициент передачи обратной связи по напряжению:

,

где $V_{ст}$ - максимальное задание напряжения статора, определяемое выражением: ;

Рисунок 5.8 – Переходной процесс тока при пуске двигателя на холостом ходу

Рисунок 5.9 – Переходной процесс скорости при пуске двигателя на холостом ходу с задатчиком интенсивности

Рисунок 5.10 – Переходной процесс тока при пуске двигателя на холостом ходу с задатчиком интенсивности

4.2.7 Анализ переходных процессов

При выполнении расчёта переходных процессов был сделан вывод о необходимости использования задатчика интенсивности, т.к. при пуске двигателя пусковой ток значительно превышает допустимые нормы. Использование задатчика интенсивности позволило значительно снизить величину пускового тока. Однако время пуска увеличилось с 0,05с до 0,1с.

Из переходного процесса по возмущению (см. рисунки 5.11, 5.12) видно, что провал скорости составляет 18 рад/с, что составляет 6%. Переходные процессы (тока и скорости) по возмущению имеют незначительное перерегулирование, что обуславливается инерционностью двигателя и привода.

Выводы по части четыре

В данной части был проведен статический и динамический расчеты электропривода, а именно, синтез регуляторов преобразованных токов статора, синтез регулятора электромагнитного момента, синтез регулятора угловой скорости, расчёт параметров структурной схемы привода, расчёт передаточных звеньев структурной схемы, расчёт переходных процессов.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

5.1 Общие положения

В экономической части ВКР проведем исследование экономической целесообразности применения электропривода на основе ПЧ Триол АТ 04 005 и асинхронного электродвигателя 4А100В2У3 мощностью 3 кВт в системе привода подачи вертикально-фрезерного станка модели ВМ127 взамен ранее применяемого привода ПМУ7М-3 с электродвигателем постоянного тока ПЗ2-С1 (такой же мощности).

Определим экономическую эффективность модернизации. Для сопоставления вариантов применяемого электропривода и определения экономической эффективности модернизации, предварительно определим три технико-экономических показателя:

- производительность оборудования;
- капитальные затраты;
- эксплуатационные расходы.

5.2 Оценка годовой производительности станка

Оценим показатели качества с точки зрения производительности.

Электродвигатель 4А100В2У3 и ПЧ Триол АТ 04 005 имеют лучшие рабочие параметры (мощность, напряжение, частота вращения, момент инерции, диапазон регулирования, влияние на сеть и т. д.) по сравнению с электродвигателем постоянного тока ПЗ2-С1 и приводом ПМУ7М-3, которые удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к данной категории двигателей и электроприводов.

Кроме того, двигатель 4А80В2У3 и ПЧ Триол АТ 04 005 имеют лучшие габаритные показатели, большую надежность и, следовательно, меньшее время простоев и, соответственно большую величину эффективного производственного времени, чем двигатель ПЗ2-С1 и привод ПМУ7М-3.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что применение двигателя 4А100В2У3 и ПЧ Триол АТ 04 005 в системе привода подачи должен повысить производительность станка, на котором он будет установлен, за счет экономии времени на технологическое обслуживание, т. е. за счет времени бесперебойной работы машины.

5.3 Определение капитальных затрат

Капитальные затраты включают в себя стоимость привода, затраты на монтаж, накладные расходы и прочие расходы (заготовительно-складские, транспортные и др.).

Капитальные затраты на покупку и установку системы электропривода определим по следующей формуле:

$$K_i = K_{об.i} + K_{трансі} + K_{смрі} + K_{прочі}, \quad (6.1)$$

где K_i – капитальные затраты;

$K_{об.i}$ – цена оборудования;

$K_{\text{трансі}}$ – транспортные расходы;

$K_{\text{смрі}}$ – строительно-монтажные затраты;

$K_{\text{прочі}}$ – прочие затраты.

В дальнейшем индекс «1» будет соответствовать варианту системы электропривода с АД 4А100В2У3 и ПЧ Триол АТ 04 005, а «2» – старому электроприводу ПМУ7М-3 с ДПТ П32-С1.

Стоимость асинхронного электропривода с АД 4А100В2У3 и ПЧ Триол АТ 04 005 механизма подачи металлорежущего станка, согласно прайс-листов приведена в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Стоимость электропривода с АД 4А80В2У3 и ПЧ Триол АТ 04 005

Оборудование	Стоимость, руб.
Электродвигатель 4А100В2У3	18500
Преобразователь частотный Триол АТ 04 005	27300
Итого ($K_{\text{об.1}}$)	45800

Стоимость заменяемого оборудования приведена в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Стоимость заменяемого оборудования

Оборудование	Стоимость, руб.
Электродвигатель П32-С1 (устаревший)	9200
Привод ПМУ7М-3	9000
Итого ($K_{\text{об.2}}$)	18200

Стоимость транспортных расходов рассчитаем с учетом того, что они составляют (5 – 10) % от капитальных затрат:

;
руб.;

Стоимость строительно-монтажных работ рассчитаем с учетом того, что они составляют (15 – 25) % от капитальных затрат:

;
руб.;

Стоимость прочих расходов рассчитаем с учетом того, что они составляют (5 – 10) % от капитальных затрат:

;
руб.;

В соответствии с формулой (6.1) определим капитальные затраты на покупку и установку системы электропривода

$$K_1 = K_{об.1} + K_{транс1} + K_{смп1} + K_{проч1} = 45800 + 2290 + 6870 + 4580 = 59540 \text{ руб.};$$

$$K_2 = K_{об.2} + K_{транс2} + K_{смп2} + K_{проч2} = 18200 + 910 + 2730 + 1820 = 23660 \text{ руб.}$$

Очевидно, что $K_1 > K_2$, т. е. затраты на электродвигатель П32-С1 и привод ПМУ7М-3 несколько ниже капитальных затрат на электродвигатель 4А80В2У3 и ПЧ Триол АТ 04 005.

5.4 Определение эксплуатационных расходов

В эксплуатационные расходы входит стоимость потребляемой электроэнергии, затраты на ремонт, зарплата обслуживающего персонала, отчисления в различные фонды и прочие расходы:

$$I_i = I_{эл.энi} + I_{ремi} + I_{обслi}, \quad (6.2)$$

где $I_{эл.энi}$ – стоимость потребляемой электроэнергии, руб./год;

$I_{ремi}$ – затраты на ремонт, руб./год;

$I_{обслi}$ – затраты на обслуживание, руб./год.

Определение стоимости электроэнергии.

Расходы на электроэнергию определяем по формуле:

$$I_{эл.эн} = W \cdot Ц_э, \quad (6.3)$$

где W – количество потребляемой электрической энергии, кВт·ч/год;

$Ц_э$ – цена (тариф) на электроэнергию для потребителей, руб./кВт·ч.

В целях упрощения расчета, проведем вычисления с использованием одноставочного тарифа, $Ц_э = 3,9$ руб./кВт·ч.

Количество потребляемой электрической энергии определяется как:

$$W = N \cdot T \cdot K_{исп}, \quad (6.4)$$

где N – номинальная мощность электропривода, кВт;

T – время работы оборудования в году, принимаем $T = 5000$ ч (работа в 2 смены);

$K_{исп}$ – коэффициент использования оборудования: для машиностроительного предприятия $K_{исп} = 0,25$.

Для нового электропривода:

$$W_1 = 2,5 \cdot 5000 \cdot 0,25 = 3125 \text{ кВт·ч/год.}$$

Для старого электропривода:

$$W_2 = 3 \cdot 5000 \cdot 0,25 = 3750 \text{ кВт·ч/год.}$$

Расходы на электроэнергию составят:

$$I_{эл.эн1} = 3125 \cdot 3,9 = 12187,5 \text{ руб./год;}$$

$$I_{эл.эн2} = 3750 \cdot 3,9 = 14625 \text{ руб./год.}$$

Затраты на капитальный и текущий ремонты будем производить с учетом того, что они составляют до 10% от капитальных затрат. И того что, асинхронный электропривод является высоконадежным, в связи с отсутствием коллектора и коммутационных ограничений по скорости и нагрузке, а, следовательно, не нуждается в частых капиталовложениях на ремонт и обслуживание

руб./год;
руб./год.

Расчет расходов на обслуживание.

Они включают в себя основную и дополнительную затрату обслуживающего персонала. Эту составляющую определять не целесообразно, т. к. количество обслуживающего персонала и его профессиональный уровень не изменяется. Соответственно, нет необходимости определять и взносы в пенсионный фонд, и отчисления в фонд социального страхования, и в фонд обязательного медицинского страхования.

Тогда общие эксплуатационные расходы по вариантам будут равны:

$$I_1 = I_{\text{эл.эн1}} + E_1 = 12187,5 + 5954 = 18141,5 \text{ руб./год};$$

$$I_2 = I_{\text{эл.эн2}} + E_2 = 14625 + 2366 = 16991 \text{ руб./год}.$$

Проведем предварительную оценку сравнительной экономической эффективности вариантов методами периода окупаемости и приведенных затрат.

5.5 Определение приведенных затрат по вариантам систем электроприводов и экономического эффекта от использования нового оборудования

Приведенные затраты определим по формуле

$$, \tag{6.5}$$

где E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности, который обратно пропорционален нормативному (рекомендуемому) сроку окупаемости $T_{\text{ок.норм.}} = 3$ года.

В соответствии с формулой (6.5) определим приведенные затраты:

руб./год;
руб./год.

Результаты расчетов технико-экономических показателей сведем в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Техничко-экономические показатели проводимой модернизации

Наименование показателя	Единица измерения	Значение	
		новый вариант (1)	старый вариант (2)
1 Капитальные затраты:			
– стоимость оборудования	руб.	45800	18200
– транспортные расходы	руб.	2290	910

– строительно-монтажные затраты	руб.	6870	2730
– прочие расходы	руб.	4580	1820
Всего	руб.	59540	23660
2 Эксплуатационные расходы:			
– затраты на электроэнергию	руб./год	12187,5	14625
– затраты на капитальный и текущий ремонт	руб./год	5954	2366
Всего	руб./год	18141,5	16991
3 Приведенные затраты	руб./год	37988,2	24877,7

5.6 Определение экономической эффективности использования предварительно выбранной системы электропривода

Эффективность модернизации оценивается по следующим показателям:

- чистый дисконтированный (приведенный) доход, NPV;
- расчетный срок окупаемости капитальных затрат.

Чистый дисконтированный (приведенный) доход NPV определяется по следующей формуле

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_{сл.об.}} \frac{D_t - R}{(1+R)^t} - \frac{I_0}{(1+R)^0} \quad (6.6)$$

где $T_{сл.об.}$ – срок службы оборудования, г.;

R – ставка дисконтирования (принимается 10%);

D_t – доход, приток наличности, руб./год.

Доход определяется в соответствии со следующей формулой:

$$D_t = \Delta E_t - H_c \cdot C_{отч.} \quad (6.7)$$

где ΔE_t – экономический эффект от внедрения системы электропривода, руб./год;

H_c – налоговая ставка (20%);

$C_{отч.}$ – амортизационные отчисления, руб./год.

Амортизационные отчисления определяются как

$$C_{отч.} = \frac{I_0}{T_{сл.об.}} \quad (6.8)$$

С учетом формул (6.6) и (6.3) определим приток наличности на основании формулы (6.8)

руб.

Приняв $D_1 = D_2 = \dots = D_t$ вычислим по формуле (6.2) чистый дисконтированный (приведенный) доход:

руб.

Т. к. $NPV \gg 0$, то проект следует считать экономически целесообразным.

Вычислим срок окупаемости инвестиций в целом за 10 лет по формуле:

$$, \quad (6.9)$$

где RD – ставка дисконтирования (процентная ставка в банке), $RD=10\%$.

Пересчитаем денежные потоки:

руб.;
руб.;
руб.;
руб.;
руб.;
руб.;
руб.;
руб.;
руб.;
руб.

Определим период, по истечению которого затраты окупаются.

Сумма дисконтированных доходов за 10 лет:

$$14950 + 13590 + 12350 + 11230 + 10210 + 9280 + 8436 + 7669 + 6972 + 6338 = 101025 \text{ руб.},$$

что больше размера затрат и это значит, что возмещение первоначальных затрат произойдет раньше 10 лет.

Расчетный срок окупаемости определим по формуле:

$$, \quad (6.10)$$

где $K_{\text{ликв.}}$ – ликвидационная стоимость (принимается в размере 0% от капитальных вложений), руб.

Вычислим примерный срок окупаемости внедренного оборудования как

г.

$T_{\text{ок.}} > T_{\text{н}} = 2 \div 3$, но учитывая, что $T_{\text{ок.}} < T_{\text{сл.об.}} = 10$ лет и новое оборудование обладает более лучшими характеристиками и более надежным заменяемого, проект можно считать экономически целесообразным.

Выводы по части пять

В данной части был проведен экономический анализ целесообразности закупки и внедрения системы электропривода подачи фрезерного станка, а именно, произведена оценка годовой производительности станка, рассчитаны капитальные затраты на оборудование, определена экономическая эффективность использования

выбранной системы электропривода и срок окупаемости оборудования. Проведенные расчеты доказывают целесообразность внедрения новой системы электропривода, в частности, малый срок окупаемости капиталовложений, а также новый электропривод, обладающий лучшими характеристиками и высокой надежностью должен повысить производительность станка, на котором он будет установлен, за счет экономии времени на технологическое обслуживание, т. е. за счет времени бесперебойной работы машины.

6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

6.1 Социальное значение безопасности жизнедеятельности

На современном уровне развития научно-технического прогресса человеку часто приходится сталкиваться с различными машинами, механизмами, оборудованием, как на рабочем месте, так и в быту. С одной стороны научно-технические достижения облегчают физическую и умственную работу человека, что создает благоприятные условия для существования и развития человека. Но с другой стороны, жизнь и здоровье человека при этом подвергаются различным опасностям. Повышение технической оснащённости предприятий приводит к увеличению несчастных случаев и профессиональных заболеваний на производстве, если не выполнять требования и нормы по охране труда.

Создание здоровых и безопасных условий труда является важнейшей задачей специалистов, ответственных за разработку, изготовление и эксплуатацию конкретного изделия. В данной части ВКР рассматриваются вопросы охраны труда при эксплуатации вертикально-фрезерного станка [6].

6.2 Опасные и вредные производственные факторы при фрезеровании изделий

Фрезерование металлов с отступлением от норм охраны труда приводит к воздействию на работающих опасных и вредных производственных факторов. Воздействие опасных факторов может привести к травме, вредных — к профессиональным заболеваниям. При фрезеровании, как правило, имеет место совместное воздействие опасных и вредных факторов.

Обеспечение безопасности труда есть не что иное, как исключение возможности воздействия опасных и вредных факторов. Непосредственную опасность травмирования при фрезеровании и проведении контрольных измерений детали представляют опасные факторы: подвижные неогражденные элементы (шпиндель, элементы привода станка и др.); обрабатываемые детали и приспособления для их крепления; вращающийся инструмент; элементная стружка, образующаяся при фрезеровании; используемые грузоподъемные устройства; повышенное напряжение электрического тока; высокая температура обрабатываемых поверхностей и режущего инструмента.

При установке и закреплении фрез и заготовок возможно травмирование при их падении. Стружка может стать причиной травмы и при уборке станка. Особенно тяжелыми бывают травмы при вылете обрабатываемых заготовок, фрез или их вставных ножей (твердосплавных пластин) из крепежных устройств, а также травмы при разрушении режущего инструмента.

Случаи механического травмирования при работе на фрезерных станках обычно распределяются следующим образом:

- травмирование пальцев или кисти рук вследствие их захвата вращающимся инструментом – 70%;
- травмирование глаз отлетающей стружкой – 15%;
- травмирование рук или ног при наладке станка, установке и снятии обрабатываемой детали, креплении и снятии инструмента – 8%;
- травмирование тела работающего деталью, вырвавшейся из крепления при обработке – 3%;

- травмирование пальцев рук при уборке стружки – 3%;
- прочие случаи травмирования – 1%.

Захват кисти рук вращающимся инструментом происходит:

- при раскреплении или закреплении детали в приспособлении вследствие того, что рабочий, не дожидаясь остановки шпинделя, начинает снимать или устанавливать заготовку;
- при исправлении положения детали в приспособлении при работающем станке;
- при контроле размеров детали до полной остановки шпинделя;
- при регулировании подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) в процессе фрезерования.

Травмирование глаз отлетающей при работе стружкой или осколком сломавшегося инструмента происходит, в основном, вследствие нарушения рабочим инструкций по технике безопасности (работа без защитных очков и при отсутствии на станках защитных устройств, ограждающих зону обработки).

Травмирование при установке и демонтаже обрабатываемых деталей, креплении или снятии инструмента чаще всего связано с нарушением правил эксплуатации грузоподъемных устройств, неправильной организацией рабочего места, применением запрещенных приемов работы (например, зажим и отжим фрезы ключом на оправке с включением электродвигателя). Наиболее опасны для фрезеровщика не огражденные дисковые и торцовые фрезы со вставными ножами, используемые при фрезеровании на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках.

Вылет детали при фрезеровании всегда связан с неправильным ее креплением, либо с дефектом или износом соответствующих приспособлений.

Травмирование пальцев рук стружкой обусловлено использованием запрещенных приемов ее уборки (удалением стружки вручную, либо устройствами и предметами, которые для этого не предназначены).

Из прочих случаев механического травмирования следует особо отметить тяжелые случаи травмирования тела и головы фрезеровщиков при попадании концов их одежды или волос на вращающуюся фрезу, что приводит к затягиванию части тела станочника на инструмент вследствие мгновенной накрутки на него одежды или волос. Такие травмы происходят в результате нарушений требований инструкций по технике безопасности к спецодежде.

Ожоги рук фрезеровщиками могут быть получены вследствие контакта с поверхностью обрабатываемых деталей или режущими элементами фрез, имеющими после проведения процесса резания весьма высокую температуру. При скоростном фрезеровании в результате нагрева до весьма высокой температуры причиной ожогов может быть элементная стружка.

На металлорежущих станках обычно используют напряжение до 380 В. При пробое изоляции напряжение может появиться на нетоковедущих частях и, в частности, на станине станка и привести к поражению станочника электрическим током. Следствием такого поражения являются местные (ожоги, электрические знаки) и общие электротравмы (электрический удар). Рассмотрим их.

Электрический ожог — следствие нагрева участков тела человека при прохождении через них электрического тока. У станочников образуется покраснение кожи или, в крайнем случае, пузырь, которые достаточно быстро заживляются.

Электрические знаки — безболезненные пятна серого или желтого цвета небольшого размера, возникающие в местах контакта с элементами конструкции станка, находившимися под напряжением.

Электрический удар — возбуждение тканей организма при прохождении через них тока, сопровождающееся судорожными сокращениями мышц, часто с потерей сознания, а иногда с нарушением дыхания и сердечной деятельности.

Степень воздействия тока на организм человека зависит от силы, рода и частоты тока, длительности и пути его протекания, а также от индивидуальных свойств человека. Чем больше сила тока, тем сильнее поражение. При 10—15 мА переменного тока вследствие сильных судорог мышц рук пострадавший не может самостоятельно отключиться от электрической цепи. Чем длительнее прохождение тока через тело человека, тем тяжелее исход поражения. Сила тока, проходящего через человека, определяется его электрическим сопротивлением, последнее зависит от состояния человека. При опьянении и возбуждении сопротивление падает, исход поражения током становится более тяжелым. К этому же ведут повышенная температура и относительная влажность воздуха в помещении, наличие в помещении токопроводящих полов, нарушение норм технологического проектирования на расстановку оборудования.

При выполнении фрезерных работ безопасность труда определяется также условиями труда, которые характеризуются микроклиматом в рабочем помещении, состоянием производственного освещения, уровнем шума и вибрации на рабочем месте, наличием в воздухе рабочей зоны пыли и токсичных примесей.

Кроме перечисленных санитарно-гигиенических факторов, условия работы во многом определяются организацией рабочего места, рабочей позой, физическими и нервно-психическими перегрузками (монотонность труда, умственное и эмоциональное перенапряжение и т.п.), психологическим климатом в коллективе, степенью эстетичности производства. Все перечисленные факторы обуславливают степень утомляемости работающих, а следовательно, предрасположенность к заболеваниям и травматизму вследствие снижения концентрации внимания, замедления реакций и т.п. Чем хуже условия труда, тем быстрее наступает утомляемость и выше ее степень. Отсюда снижение концентрации внимания, замедленная реакция на внешние раздражители, увеличение числа ошибочных решений и связанный с этим рост потенциальной опасности аварийных ситуаций. Все это вместе взятое приводит к возрастанию травматизма.

Микроклимат характеризуется температурой в градусах Цельсия, относительной влажностью в процентах и подвижностью воздуха в метрах в секунду. При нарушении микроклимата в теплый период года в плохо вентилируемых помещениях возможно обезвоживание организма и даже тепловые удары. В холодный период года в помещениях с плохим отоплением возможно как следствие, простудные.

При фрезеровании воздух рабочей зоны может загрязняться пылью обрабатываемого материала, а также парами СОЖ. В результате возможно раздражение дыхательных путей, а при обработке таких материалов, как бериллий и свинец — общее отравление организма. При попадании СОЖ на кожу возможны гнойничковые заболевания.

Условия труда во многом определяются характеристиками производственного освещения. Если они не соответствуют нормам, может наступить понижение остроты зрения. В первую очередь это относится к производствам, где выполняются

точные работы, т.е. работы с мелкими объектами. Именно это имеет место при фрезеровании, где в ходе выполнения технологического процесса приходится иметь дело с контрольно-измерительным инструментом, риски которого по толщине составляют доли миллиметра, производить визуальный контроль поверхностного слоя режущих граней фрез, точно устанавливать шаблоны, глубиномеры и др. Плохое освещение приводит у станочников к росту числа ошибок при наладке и настройке станка, к снижению качества обработки.

В механических цехах машиностроительного производства применяют системы естественного, искусственного и совмещенного освещения. Основную роль играет искусственное освещение. Его нормативной характеристикой является освещенность, создаваемая на рабочих местах. Она измеряется в люксах. К повышенной утомляемости приводит как недостаточное, так и чрезмерное освещение рабочих мест. Поэтому нормы устанавливают оптимальное (именуемое в нормах допустимым) значение освещенности. Освещение должно быть не только достаточным, но и равномерным. Оказывается, если в поле нашего зрения имеются два объекта, яркость которых различается более чем в 6—9 раз, менее яркий объект органами зрения не воспринимается. Следовательно, если система местного освещения фрезерного станка неисправна (или неправильно спроектирована), станочник может быть ослеплен источником света и не видеть какое-то время ни вращающейся фрезы, ни детали. Это обуславливает резкое возрастание опасности травматизма.

Факт, характеризующий такого рода ослепления, именуется прямой блескостью. При отраженной блескости рабочий ослепляется мощным отраженным световым потоком. Источником его являются поверхности в рабочей зоне с большим коэффициентом отражения.

В системе искусственного освещения используют лампы накаливания (местное освещение) и газоразрядные лампы (общее освещение). Световой поток газоразрядных ламп пульсирует с частотой, равной частоте тока, используемого в осветительной сети. При токах промышленной частоты (50 Гц) пульсации светового потока воспринимаются органами зрения. Если пульсации происходят с частотой, кратной числу оборотов режущего инструмента, то возникает так называемый стробоскопический эффект. При стробоскопическом эффекте вращающиеся элементы воспринимаются органами зрения как неподвижные или вращающиеся в сторону, обратную истинному направлению. Это сопряжено с опасностью и требует введения соответствующих ограничений путем нормирования качественных характеристик освещения.

Шум всегда сопровождает работу фрезерных станков и, как правило, превышает допустимые значения на 3 – 5 дБ (А). Наиболее сильное воздействие на человека оказывают высокочастотные шумы, которые воспринимаются как шипящие, свистящие, звенящие. Именно такие шумы имеют место при фрезеровании легированных и жаропрочных сталей.

Следствием длительного воздействия шума такого уровня является снижение остроты слуха (тугоухость). Наблюдается также изменение артериального давления в том числе гипертонические явления, изменение кислотности, понижение остроты зрения, расстройства нервной системы. Весь этот комплекс аномалий характеризует так называемую шумовую болезнь.

С точки зрения постоянства во времени наиболее вредны непостоянные шумы, т.е. шумы, уровень которых изменяется во времени более чем на 5 дБ. Это также

характерно для фрезерования, где уровень шума резания значительно отличается от уровня шума холостого хода станка и уровня "шумовых пауз" при его отключении.

Вибрация на рабочих местах при фрезеровании не представляет опасности для здоровья работающих, так как она оказывает лишь раздражающее воздействие. Однако вибрация отрицательно влияет на стойкость фрез и качество обработки.

Пожарная опасность возникает при использовании огнеопасных веществ или смесей. На фрезерных участках опасность возникает при промывке бензином инструмента перед его травлением, при контроле дефектов поверхностного слоя режущих граней, а также при обезжиривании деталей, использовании ветоши для уборки масел и СОЖ. Необходимо помнить, что промасленные органические материалы склонны к самовоспламенению вследствие окисления кислородом воздуха.

Источниками загорания могут стать электродвигатели и проводка, в частности при пробое изоляции и коротком замыкании, особенно при искрении. Причиной пожара может стать грубое нарушение внутреннего распорядка на предприятии – курение в цехе и, в частности, на рабочих местах.

6.3 Разработка технических и организационных мер по уменьшению влияния опасностей и вредностей на организм человека

6.3.1 Электробезопасность

Произведем расчет зануления станка.

Рисунок 7.1 – Принципиальная электрическая схема зануления:

а – электроустановка; б – пробой фазы А на корпус; в – соединительный проводник; г – устройства защиты от токов короткого замыкания; П.З. – повторное заземление нулевого защитного провода сети

Необходимо проверить отключающую способность зануления электропитающей установки механического цеха, которая получает электроэнергию от трансформатора Д/Ун (Δ/λ) напряжением 10/0,4 кВ, мощностью $P = 25$ кВ·А. Расстояние от трансформатора до места расположения потребителей энергии $L = 250$ м (0,25 км). Потребитель энергии защищён плавкими вставками.

В качестве фазных проводов используется кабель с медными жилами диаметром $d = 3,56$ мм и сечением 10 мм². Нулевой провод выполнен из стальной шины сечением $S_{н.п.} = 20 \times 4$ мм² и проложен на расстоянии $D = 50$ см от кабеля.

1) Вычисляем номинальный ток $I_{НОМ}$ по [8, формула (3.4)]

$$I_{НОМ\ TP} = P_{НОМ} / (3U_{\Phi}) = 25000 / 660 = 37,8 \text{ А.}$$

2) Определяем коэффициент кратности тока K по [8, таблица 3.1]: $K=3$.

3) Выбираем номинальный ток плавкой вставки по [8, таблица №2] с учётом [8, выражения (3.3) и (3.4)]

$$I_{н.пл.вст} < I_{НОМ} = I_{НОМ. TP} .$$

В нашем случае подходит номинальный ток плавкой вставки $I_{н.пл.вст} = 35 \text{ А}$.

4) Определяем ожидаемый ток короткого замыкания

$$I_{кз} = k \cdot I_{ном} = 3 \cdot 37,8 = 113,4 \text{ А}.$$

5) Определяем полное сопротивление трансформатора Z_T по [8, таблица 2.3]: $Z_T = 0,906 \text{ Ом}$.

6) Определяем проводник (магистраль), зануление и его длину. В нашем случае это стальная шина сечением $S_{ст} = 20 \times 4 \text{ мм}^2$ и длиной $L_{п} = 250 \text{ м}$ (0,25 км).

7) Вычисляем значение активного сопротивления фазных проводников R_{ϕ} , по [8, формула (3.8)]

$$R_{\phi} = (\rho \cdot L) / S = (0,018 \cdot 250) / 10 = 0,45 \text{ Ом}.$$

8) Вычисляем значение активного сопротивления нулевого проводника $R_{нп}$. Для этого предварительно определяем плотность тока короткого замыкания S по [8, формула (3.9)]

$$\delta = I_{кзо} / S_{п} = 113,4 / 80 = 1,42 \text{ А/мм}^2.$$

По плотности тока по [8, таблица 2.5] находим $r_{\omega} = 3,53 \text{ Ом/км}$.

По [8, формула (3.10)] вычисляем значение

$$R_{нп} = r_{\omega} \cdot L_{п} = 3,48 \cdot 0,25 = 0,88 \text{ Ом}.$$

9) Вычисляем значение индуктивного сопротивления фазного проводника, так как фазные проводники сделаны из меди, то их индуктивное сопротивление мало и им можно пренебречь: $X_{\phi} = 0$.

10) Вычисляем значение индуктивного сопротивления нулевого проводника $X_{нп}$ аналогично вычислению $R_{нп}$.

$$x_{\omega} = 2,09 \text{ Ом/км}; X_{нп} = x_{\omega} \cdot L_{п} = 2,09 \cdot 0,25 = 0,53 \text{ Ом}.$$

11) Вычисляем значение индуктивного сопротивления “петли фаза-нуль” $X_{п}$ по [8, формула (3.12)]

$$X_{п/л} = 0,1256 \ln ((2 \cdot 50 \cdot 100) / 3,56) = 0,66 \text{ Ом/км}; \\ X_{п} = L_{п} \cdot X_{п/л} = 0,66 \cdot 0,25 = 0,16 \text{ Ом}.$$

12) Проверяем, выполняется ли [8, неравенство (3.2) или (3.3)]

Действительный ток короткого замыкания больше ожидаемого тока короткого замыкания, т.е. $I_{кз} > 3I_{ном}$ ($120 \text{ А} > 113 \text{ А}$). Если неизвестен тип предохранителя, то по [8, таблица 3.2] подбираем предохранитель типа НПН-60М на номинальный ток плавкой вставки $I_{н.пл.вст} = 35 \text{ А}$.

6.3.2 Меры по уменьшению опасности травмирования от движущихся частей станка

В процессе работы фрезерного станка возможно заматывание волос, частей одежды вращающимися частями. Также существует возможность механического травмирования от движения шпиндельной бабки и стола. В этом случае есть вероятность получения серьезной травмы, вплоть до смертельного исхода. Во избежание подобных ситуаций необходимо укрывать движущиеся части станка в металлические кожухи и подобные приспособления, оставляя лишь тот визуальный обзор, который необходим в процессе работы.

6.3.3 Меры защиты от шумов и вибрации

Для снижения уровня шума предусматриваются следующие меры:

- применение малошумных подшипников;
- на электроприводах установить звукопоглощающий кожух, внешняя оболочка изготавливается из металла и покрывается слоем резины, внутренняя поверхность облицована звукопоглощающим материалом;
- защита временем – сокращение рабочего дня или предоставление периодического отдыха.

Защита от вибраций не требуется (см. п. 7.2).

6.4 Пожарная безопасность

Причинами возникновения пожаров при использовании электроэнергии нередко связаны с нарушениями требований пожарной безопасности при монтаже и эксплуатации электроустановок, т.е. неграмотность обслуживающего персонала. Причины пожаров в электроустановках могут быть как электрического, так и неэлектрического характера. К причинам электрического характера относятся:

- пробой электроизоляции;
- токи короткого замыкания и перегрузок;
- плохие контакты в местах соединения проводов;
- электрическая дуга, возникающая между контактами коммутационных аппаратов.

Причинами неэлектрического характера являются (см. п. 7.2):

- промывка бензином инструмента перед его травлением;
- обезжиривание деталей;
- использовании ветоши для уборки масел и СОЖ;
- неосторожное обращение с огнем;
- курение в местах, не предназначенных для этого.

Для защиты проводников от перегрузок и токов короткого замыкания применяются плавкие вставки, автоматы отключения, контакторы. Для уменьшения вероятности возгорания электроизоляции следует применять электроизоляционные материалы с более высоким классом нагревостойкости. Также, для снижения вероятности возникновения пожара должна проводиться постоянная работа с персоналом, направленная на обучение правилам пожарной безопасности, изучение инструкций по эксплуатации электроустановок.

Цех механической обработки, в котором установлен фрезерный станок, по категории взрывоопасной и пожарной опасности относится к группе Д (негорючие вещества и материалы в холодном состоянии (Нормы пожарной безопасности НПБ 105-03)).

В цехе, в легко доступном месте, укреплен пожарный щит, на котором расположены углекислотный и пенный огнетушители, инструмент для борьбы с пожаром. Рядом с пожарным щитом находится ящик с песком. На случай пожара или иных чрезвычайных ситуаций предусмотрен план эвакуации рабочих, схема которого закреплена на доступном для обзора месте.

Основным распространенным средством тушения пожара, особенно при загорании оборудования, являются огнетушители: углекислотные (ОУ-2А, ОУ-5, ОУ-8); углекислотнобромэтиловые (ОУБ-3, ОУБ-7); аэрозольные хладоновые (ОАХ, ОА, ОХ); порошковые (ОПС-6, ОПС-10).

6.5 Процесс механической обработки металлов как источник загрязнения окружающей среды

Современное машиностроение развивается на базе крупных производственных объединений, включающих заготовительные цехи, цехи термической обработки металлов, цехи покрытий и крупное литейное производство. В процессе производства машин и оборудования широко используют механическую обработку металлов. Большинство деталей машин изготавливается путем обработки резанием. Заготовками таких деталей служат прокат, отливки, поковки, штамповки и др. Процесс обработки деталей резанием основан на образовании новых поверхностей путем деформирования и последующего отделения поверхностных слоев материала с образованием стружки. В зависимости от характера выполняемых работ и вида режущего инструмента различают следующие методы обработки металлов резанием: точение, фрезерование, сверление, зенкерование, протягивание и др.

Точение – операция обработки тел вращения, винтовых и спиральных поверхностей резанием при помощи резцов на станках токарной группы. При точении заготовке сообщается вращательное движение, а режущему инструменту – медленное поступательное перемещение в продольном или поперечном направлении. Фрезерование – высокопроизводительный и распространенный процесс обработки материалов резанием, выполняемый на фрезерных станках. Главное (вращательное) движение получает фреза, а движение подачи в продольном направлении – заготовка. Сверление – операция обработки материала резанием для получения отверстия. Режущим инструментом служит сверло, совершающее вращательное движение резания и осевое перемещение подачи. При обработке стали на сверлильном станке образуется стружка, выделений пыли нет, при обработке чугуна выделяющаяся пыль кодируется как оксид железа. Шлифование – процесс чистовой и отделочной обработки деталей машин и инструментов посредством снятия с их поверхности тонкого слоя металла шлифовальными кругами, на поверхности которого расположены абразивные зерна. Характерной особенностью процессов механической обработки является образование отходов в виде твердых частиц (промышленной пыли), а в случае применения смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) - аэрозолей масла и эмульсола. Источниками образования и выделения загрязняющих атмосферу веществ являются различные

металлорежущие и абразивные станки. Интенсивность образования загрязнителей зависит, в частности, от следующих факторов:

- вида обрабатываемого материала;
- режима обработки;
- производительности и мощности оборудования;
- геометрических параметров инструмента и обрабатываемых изделий;
- от расхода СОЖ.

При обработке металлов без охлаждения наибольшим пылевыделением сопровождаются процессы абразивной обработки металлов: зачистка, полирование, шлифование и др. Образующаяся при этом пыль на 30–40% по массе представляет материал абразивного круга и на 60–70% - материал обрабатываемого изделия. Интенсивность пылевыделения при этих видах обработки связана, в первую очередь, с величиной абразивного инструмента и некоторых технологических параметров резания. При обработке войлочными и матерчатыми кругами образуется войлочная (шерстяная) или текстильная (хлопковая) пыль с примесью полирующих материалов. В ряде процессов механической обработки металлов и их сплавов применяют СОЖ, которые в зависимости от физико-химических свойств основной фазы подразделяются на водные, масляные и специальные. Применение СОЖ сопровождается образованием тонкодисперсного масляного аэрозоля и продуктов его термического разложения.

Таким образом, при механической обработке металлов выделяется не малое количество вредных веществ, которые в свою очередь влияют на здоровье человека. Для их сокращения необходимо провести ряд мероприятий, так например, установка пылеулавливающего оборудования, улучшение системы вентиляции и т.п.

Выводы по части шесть

В данной части проанализированы опасные и вредные производственные факторы при фрезеровании изделий, выбраны средства и мероприятия для их уменьшения или устранения, произведен расчет зануления электрооборудования станка, а также вопросы защиты окружающей среды при механической обработке изделий из металла.