

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Филиал ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) в г. Усть-Катаве

Кафедра электромеханики

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, инженер - энергетик

Иванов И.А.

Д.М. Зайцев

14.06. 2016 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой,

к.ф.м.н., доцент

Иванов В.И. В.И. Сафонов

20 июля 2016 г.

Модернизация электропривода подачи  
вертикально-фрезерного станка модели 6550

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ-140400.2016.125.000 ПЗ ВКР

Консультанты

Безопасность жизнедеятельности,

к.т.н., доцент

Иванов В.Г. В.Г. Некрутов

14.06. 2016 г.

Руководитель работы,

инженер

Иванов Ю.В. Ю.В. Константинов

14.06. 2016 г.

Автор работы

студент группы У-К-523

Иванов К.А. К.А. Зыкин

14.06. 2016 г.

Нормоконтролер, доцент

Иванов В.Д. В.Д. Константинов

15.06.16 2016 г.

Усть-Катав 2016



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 6550. 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)

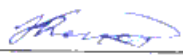
5.1 Станок вертикально-фрезерный модели 6550. Габаритный чертеж	1,0 л
5.2 Станок вертикально-фрезерный модели 6550. Схема кинематическая принципиальная	1,0 л
5.3 Электрооборудование станка до модернизации. Схема электрическая принципиальная	1,0 л
5.4 Электрооборудование станка после модернизации. Схема 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

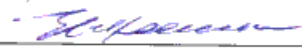
Всего 6 листов

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	 04.05.16.	05.05.16. 

7 Дата выдачи задания 15.03. 2016 г.

Руководитель, инженер  Ю. В. Константинов  
(подпись)

Задание принял к исполнению  К. А. Зыкин  
(подпись студента)

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении руководителя
Сравнение отечественных и передовых зарубежных преобразователей частоты	15.03.16-20.03.16	<i>Монитор</i>
Описание конструкции вертикально-фрезерного станка модели 6550	21.03.16-31.03.16	<i>Монитор</i>
Расчет мощности и выбор двигателя	01.04.16-18.04.16	<i>Монитор</i>
Выбор электропривода	19.04.16-30.04.16	<i>Монитор</i>
Статический и динамический расчет привода	01.05.16-16.05.16	<i>Монитор</i>
Экономическая часть	17.05.16-05.06.16	<i>Монитор</i>
Безопасность жизнедеятельности	06.06.16-16.06.16	<i>Монитор</i>
Выполнение графической части	15.03.16-16.06.16	<i>Монитор</i>
Направление на рецензию	19.06.16	<i>Монитор</i>

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ *Сафонов* /В.И. Сафонов/  
 Руководитель работы \_\_\_\_\_ *Константинов* /Ю.В. Константинов/  
 Студент \_\_\_\_\_ *Зыкин* /К.А. Зыкин/

## АННОТАЦИЯ

Зыкин К.А. Модернизация электропривода подачи вертикально-фрезерного станка модели 6550. – Усть-Катав: ЮУрГУ, филиал ЮУрГУ в г. Усть-Катаве, 2016, 72 с., 15 илл. Библиография литературы – 8 наим. 6 листов чертежей ф. А1.

В данной выпускной квалификационной работе (ВКР) выполнена разработка электропривода подачи вертикально-фрезерного станка модели 6550, 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.

					140400.2016.125.000 ПЗ			
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Модернизация электропривода подачи вертикально-фрезерного станка модели 6550	Лит	Лист	Листов
							4	72
Разраб		Зыкин	<i>Зыкин</i>	14.06.				
Провер		Константинов	<i>Константинов</i>	14.06.				
Реценз		Зайцев	<i>Зайцев</i>	14.06.				
Н. контр		Константинов	<i>Константинов</i>	15.06.				
Утверд		Сафонов	<i>Сафонов</i>	20.06.				
						Филиал ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) в г. Усть-Катаве. Кафедра электромеханики		

## 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 ЕІ-8000.....	16
1.6 Особенности преобразователя частоты MITSUBISHI FR-A 540 S EC .....	16
1.7 Особенности преобразователя частоты LG JS5-RUS.....	17
Выводы по части один.....	18
2 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 6550.....	19
2.1 Назначение и область применения .....	19
2.2 Описание конструкции станка .....	19
2.3 Электрооборудование станка .....	22
2.4 Сведения о блокировках, системе сигнализации и защите .....	24
2.5 Гидравлическая аппаратура .....	25
2.6 Основные технические данные и характеристики.....	25
2.7 Обоснование модернизации привода подачи.....	27
Выводы по части два.....	27
3 РАСЧЁТ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ .....	28
3.1 Расчет нагрузок на валу двигателя .....	28
3.2 Выбор двигателя .....	29
Выводы по части три.....	30
4 ВЫБОР ЭЛЕКТРОПРИВОДА .....	31
4.1 Формулирование требований к электроприводу .....	31
4.2 Выбор преобразователя частоты.....	31
Выводы по части четыре.....	32
5 СТАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ПРИВОДА .....	33
5.1 Статический расчёт привода .....	33
5.2 Расчёт динамических характеристик привода.....	36
Выводы по части пять.....	50
6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	51
6.1 Общие положения .....	51
6.2 Оценка годовой производительности станка .....	51
6.3 Определение капитальных затрат.....	51
6.4 Определение эксплуатационных расходов.....	53
6.5 Определение приведенных затрат по вариантам систем электро-	

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		5

приводов и экономического эффекта от использования нового оборудования.....	55
6.6 Определение экономической эффективности использования предварительно выбранной системы электропривода.....	56
Выводы по части шесть.....	58
7 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	59
7.1 Социальное значение безопасности жизнедеятельности .....	59
7.2 Опасные и вредные производственные факторы при фрезеровании изделий .....	59
7.3 Разработка технических и организационных мер по уменьшению влияния опасностей и вредностей на организм человека .....	63
7.4 Пожарная безопасность.....	66
7.5 Процесс механической обработки металлов как источник загрязнения окружающей среды.....	67
Выводы по части семь.....	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	70
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	72



## 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;

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		7

– 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 м и максимальными скоростями вращения до 3000 - 9000 мин<sup>-1</sup>. 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<sup>2</sup>, полоса пропускания 200 с<sup>-1</sup>); 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. IPT5108 с моментом 54,8 Н-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 Н-м) составляет через 3 ч - 120 °С, через 6 ч - 145 °С, а в вентильном двигателе модели S20 через 3 ч - 80 °С, через 6 ч - 100 °С.

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.

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	140400.2016.125.000 ПЗ				

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 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 6550. 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.

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		9

# 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

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата		10

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);
- Высокий пусковой момент;
- Широкая гамма дополнительного оборудования.

Общие технические характеристики преобразователя J300-055HFE4:

- Напряжение питания 3 фазы 380 - 415В + 10% или 400 - 460В ±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: ± 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;

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		11

- 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);
- Температура окружающей от -10 до +50 °С (от -10 до +40 °С при переменном моменте);

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докц.	Подпись	Дата		12

- Место эксплуатации: Высота не более 1000 м, в помещении, свободном от коррозионных газов и пыли;
- Степень защиты ПЧ типа J300-055 + J300-150 - IP20, остальные IP00;
- Дополнительное оснащение:
  - 1) Различные дополнительные платы (ПИД-контроля, связи, выходы реле, высокого разрешения);
  - 2) Пульт дистанционного управления;
  - 3) Копирующее устройство;
  - 4) Устройства для включения в совместимую интерфейсную шину (Profibus и т.д.);
  - 5) Тормозные устройства;
  - 6) Фильтры.

### 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% ).

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

– 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	3x380 В, +10%, -15%, 50(60) Гц ± 2% (с заземленной либо изолированной нейтралью)
Выходное напряжение	3x(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.

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ док.	Подпись	Дата		14



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-обогатительных 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;

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		15

- 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 схемотехники, 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 тормоз-

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докц.	Подпись	Дата		16

ным сопротивлением; опционное тормозное сопротивление; подключение внешнего тормозного блока; программируемые выходы; устойчив к коротким замыканиям и перегрузкам; контроль холостого хода.

### 1.7 Особенности преобразователя частоты LG JS5-RUS

Модельный ряд LG JS5-RUS разработан для управления трёхфазными общепромышленными асинхронными двигателями мощностью от 0,75 до 75 кВт.

Основные функции:

- Тип инвертора: ШИМ на IGBT-модулях;
- Векторное управление скоростью или моментом;
- Несущая частота: от 1 до 15 кГц;
- Класс защиты: IP20;
- Встроенная поддержка ПИД-регулирования;
- Съёмная панель управления;
- Улучшенный алгоритм непрерывного динамического управления;
- Задание / Блокирование фиксированных частот;
- 3 многофункциональных входа;
- 2 многофункциональных выхода;
- Двух-, трехпроводное управление;
- Торможение постоянным током;
- Встроенный тормозной блок до 7,5 кВт;
- Автоматическое форсирование момента;
- Предотвращение блокировки;
- Интеллектуальное программирование режима управления;
- Программное обеспечение для мониторинга и управления;

Совместно со специалистами НТЦ «Приводная Техника» компания LG подготовила к производству специально адаптированную для России гамму преобразователей. Данная версия полностью русифицирована, включая ЖКИ дисплей на русском языке и дополнительную защиту от короткого замыкания фазы двигателя на «землю».

Опции:

- Коммуникационные платы:
  - 1) RS-485, DeviceNET, ModBus-RTU, F-Net, ProfiBus DP;
  - 2) Платы ввода/вывода:
    - 3+3 многофункциональных изолированных входа/выхода;
    - аналоговый вход;
    - импульсный вход и выход для энкодера;
- Кабель для удаленного управления (до 5м);
- Тормозной блок от 11 до 22 кВт;
- Тормозные резисторы.

Области применения:

										Лист
										17
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата					140400.2016.125.000 ПЗ	

- Многомоторное управление;
- Подъемно-транспортные механизмы, конвейеры и транспортеры;
- Конвертор;
- Устройства позиционирования;
- Вентилятор и насосы;
- Текстильный привод;
- Экструдеры;
- Станочные приводы.

#### 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 6550.

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ док-м	Подпись	Дата		18

## 2 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 6550

### 2.1 Назначение и область применения

Т.к. горизонтально-фрезерный станок мод. 6550 отличается от вертикально-фрезерного станка мод. 6550 только ориентацией шпиндельной бабки при этом привод подач одинаков для обоих станков, поэтому далее будем рассматривать вертикально-фрезерный станок. Фрезерные вертикальные станки 6550 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 1250 кг.

### 2.2 Описание конструкции станка

На рисунке 2.1 показан общий вид с обозначением составных частей станка. На рисунке 2.1 цифрами обозначено: 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 6550 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.

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		19

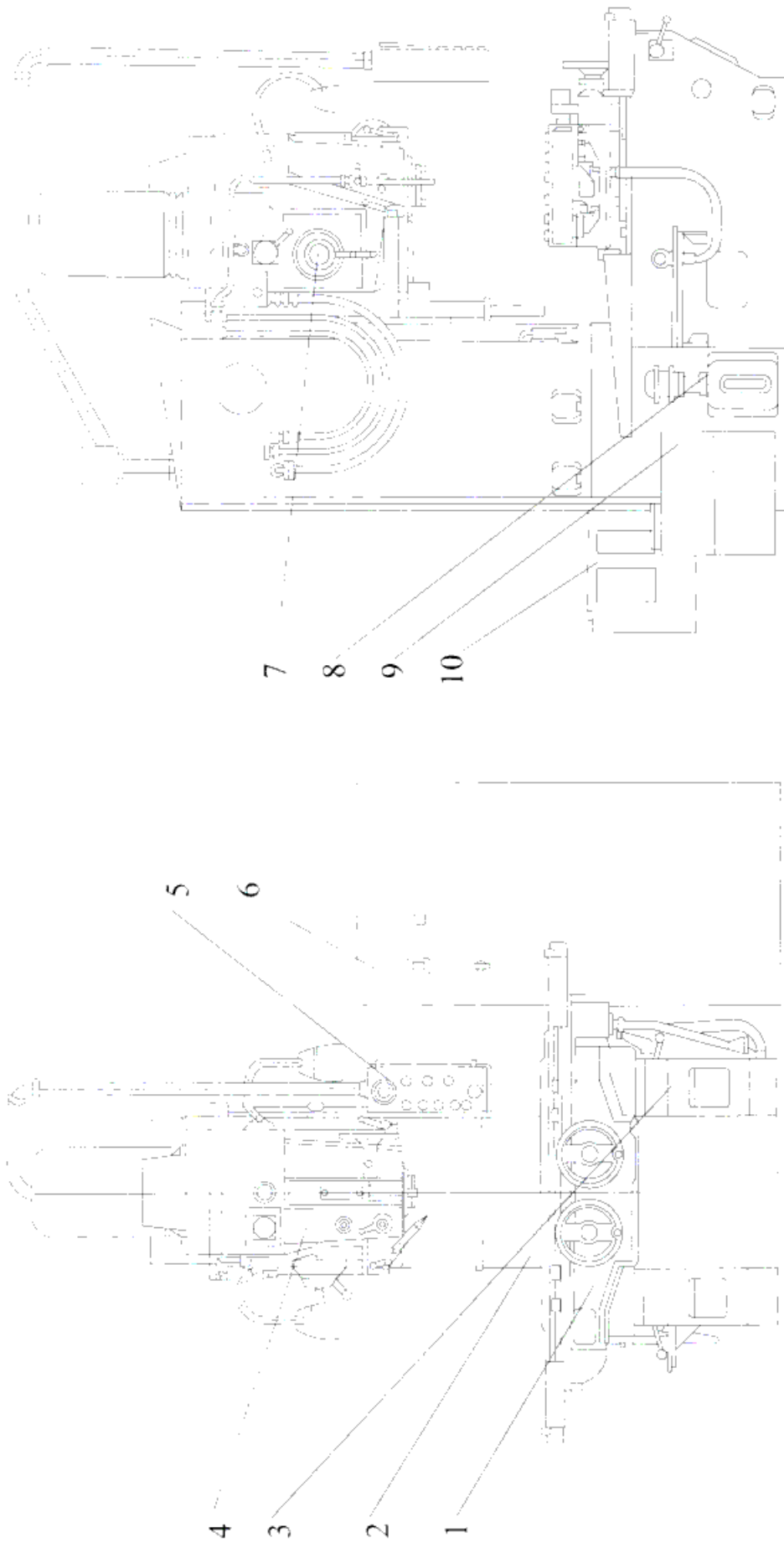


Рисунок 2.1 - Расположение составных частей станка

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

140400.2016.125.000 ПЗ

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 передач 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 передач, 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.

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		21

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 П-32С1,

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докц.	Подпись	Дата		22



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 встроены 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;
- датчика 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.

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		23

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 заблокированы 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.

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докum.	Подпись	Дата		24

## 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 Г12-41Б с приводом от электродвигателя переменного тока АОЛ-22-4-С2 мощностью 0,4 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 мод. 6550

Параметр	Значение
Габарит станка, мм:	
длина	2720
ширина	3205
высота	2930
Размеры рабочей поверхности стола, мм:	
длина	1250
ширина	500
Наибольшее перемещение стола, мм:	
продольное	1000
поперечное	500

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докц.	Подпись	Дата		25

## Окончание таблицы 2.1

Параметр	Значение
Наибольшее перемещение шпиндельной бабки, мм	530
Расстояние от торца шпинделя до стола, мм:	
наибольшее	630
наименьшее	100
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	800
Возможность фрезерования по подаче	Есть
Диаметр шпинделя под передним подшипником, мм	105
Осевое перемещение гильзы шпинделя, мм	120
Тип и размер конца шпинделя	ГОСТ836-72
Максимальный вес обрабатываемой детали, кг	1250
Масса станка (без электрооборудования), кг	7500

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	А02-52-41С1 исполнение М303
мощность, кВт	10
число оборотов в минуту	1460
Электродвигатель привода подач:	
тип	П32-С1
мощность, кВт	2,2
число оборотов в минуту	1500/3000
Электродвигатель гидропривода:	
тип	АОЛ-22-4С1 исполнение М361
мощность, кВт	0,4
число оборотов в минуту	1400
Электродвигатель насоса охлаждения:	
тип	ПА-22
производительность, л/мин	22
мощность электродвигателя, кВт	0,12
число оборотов в минуту	2800
Тип магнитного усилителя	ПМУ7М-3

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докцм	Подпись	Дата		26



## 3 РАСЧЁТ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ

### 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		Наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи, 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 400 мм/мин скорость вращения вала электродвигателя составляет 1500 об/мин. Также следует отметить, 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]:

$$M_{ХВ} = F_{П} \cdot r_{ХВ} = 1,961 \cdot 10^4 \cdot 0,04 = 784,4 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где  $F_{П} = 2000 \text{ кгс} = 1,961 \cdot 10^4 \text{ Н}$  - усилие подачи;

$r_{ХВ} = d_{В}/2 = 0,08/2 = 0,04 \text{ м}$  - радиус ходового винта.

Момент на валу машины определяется выражением:

$$M_{ДВ} = M_{ХВ} \cdot i = 784,4 \cdot 0,011 = 8,323 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где  $i = \frac{\omega_{ХВ}}{\omega_{ДВ}} = \frac{1,667}{157,08} = 0,011$  передаточное число механизма подачи;

$$\omega_{\text{ДВ}} = n_{\text{ДВ}} \cdot \frac{\pi}{30} = 1500 \cdot \frac{\pi}{30} = 157,08 \text{ рад/с} - \text{ скорость вращения вала двигателя;}$$

$$\omega_{\text{ХВ}} = \frac{V}{H_{\text{В}}} = \frac{6,667 \cdot 10^{-3}}{0,004} = 1,667 \text{ рад/с} - \text{ скорость вращения ходового винта;}$$

$$V = 400 \text{ мм/мин} = 6,667 \cdot 10^{-3} \text{ м/с} - \text{ скорость подачи;}$$

$$H_{\text{В}} = 0,004 \text{ м} - \text{ шаг ходового винта.}$$

Мощность на валу электродвигателя определяется формулой:

$$P_{\text{ДВ}} = \frac{M_{\text{ДВ}} \cdot \omega_{\text{ДВ}}}{\eta} = \frac{8,323 \cdot 157,08}{0,65} = 2011,383 \text{ Вт,}$$

где  $\eta = 0,65$  - 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

$F_{\text{П}}, \text{Н}$	$1,961 \cdot 10^4$	$1,961 \cdot 10^4$	$7,845 \cdot 10^3$	$7,845 \cdot 10^3$	$3,922 \cdot 10^3$	$1,569 \cdot 10^3$
$M_{\text{ХВ}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	784,4	784,4	313,8	313,8	156,88	62,76
$\omega_{\text{ДВ}}, \text{рад/с}$	157,08	157,08	157,08	157,08	314,159	314,159
$\omega_{\text{ХВ}}, \text{рад/с}$	1,667	0,417	0,667	0,167	8,25	3,25
$i$	0,011	0,001	0,004	0,001	0,026	0,01
$M_{\text{ДВ}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	8,323	1,041	1,332	0,333	4,12	0,649
$V \cdot 10^{-3}, \text{м/с}$	6,667	1,667	2,667	6,667	33	13
$P_{\text{ДВ}}, \text{Вт}$	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 4А80В2У3 [3], паспортные данные которого приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Паспортные данные двигателя 4А80В2У3

Параметр	Единица измерения	Значение
Номинальная мощность	кВт	2,2
Номинальный К.П.Д.	%	83,5

Окончание таблицы 3.3

Параметр	Единица измерения	Значение
Номинальное скольжение $s_{11}$	%	3,8
Критическое скольжение $s_K$	%	29,6
Номинальный момент	Н·м	7
Момент инерции	кг·м <sup>2</sup>	0,125
$\cos \varphi$	-	0,83
$X_{\mu}$	о.е.	2,7
$R'_1$	о.е.	0,076
$X'_1$	о.е.	0,050
$R''_2$	о.е.	0,049
$X''_2$	о.е.	0,087

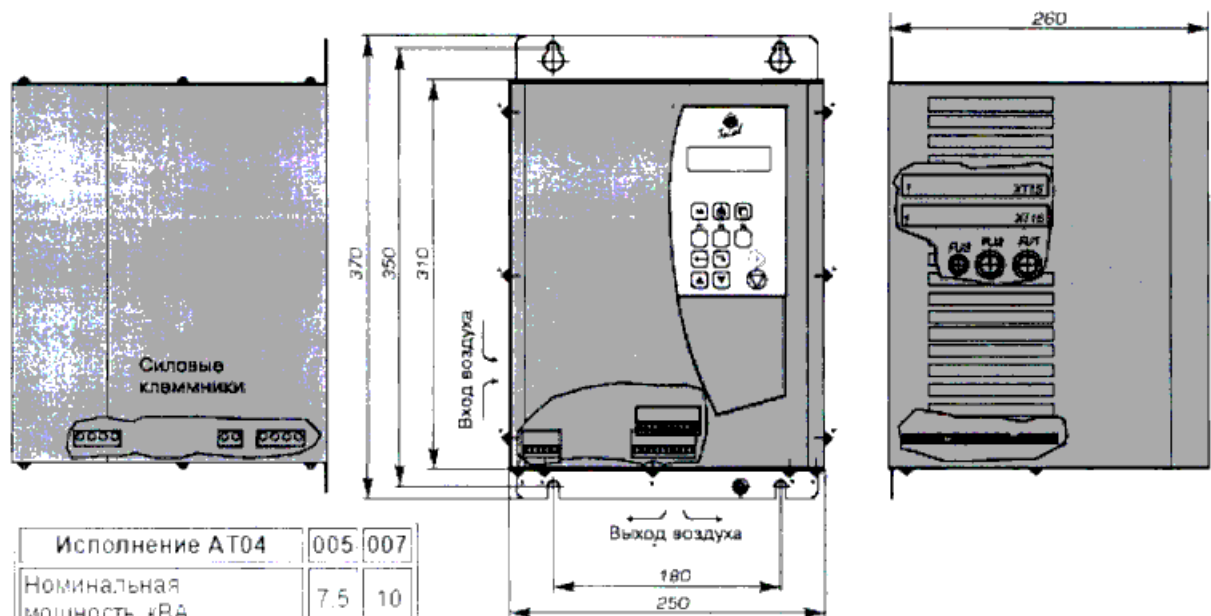
Выводы по части три

В данной части проведен расчет нагрузок на валу двигателя, в соответствии с которым был произведен выбор двигателя.





Габаритные размеры АТ04 005/007 IP21



Исполнение АТ04	005	007
Номинальная мощность, кВА	7.5	10
Номинальная мощность двигателя, кВт	5.5	7.5
Номинальный ток нагрузки I <sub>n</sub> , А	11	15
Масса (исполнение IP21), кг	8	10
Масса (исполнение IP54), кг	20	22

Рисунок 4.1 – ПЧ Триол АТ04 005

Выводы по части четыре

В данной части формулируются требования к электроприводу подачи вертикально-фрезерного станка, а также производится выбор преобразователя частоты, удовлетворяющего всем требованиям для этого привода из выборки, представленной в части I выпускной квалификационной работы.

Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
-----	------	---------	---------	------

## 5 СТАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ПРИВОДА

### 5.1 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]:

$$I_{1\Phi H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1\Phi H} \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H} = \frac{2200}{3 \cdot 220 \cdot 0,835 \cdot 0,9} = 4,436 \text{ А,}$$

где  $U_{1\Phi H} = 220 \text{ В}$  - номинальное фазное напряжение двигателя.

Активное сопротивление статора:

$$r_1 = R_1' \cdot \frac{U_{1\Phi H}}{I_{1\Phi H}} = 0,076 \cdot \frac{220}{4,436} = 3,77 \text{ Ом.}$$

Реактивное сопротивление статора:

$$x_1 = x_1' \cdot \frac{U_{1\Phi H}}{I_{1\Phi H}} = 0,050 \cdot \frac{220}{4,436} = 2,48 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление ротора:

$$r_2' = R_2'' \cdot \frac{U_{1\Phi H}}{I_{1\Phi H}} = 0,049 \cdot \frac{220}{4,436} = 2,43 \text{ Ом.}$$

Реактивное сопротивление ротора:

$$x_2' = x_2'' \cdot \frac{U_{1\Phi H}}{I_{1\Phi H}} = 0,087 \cdot \frac{220}{4,436} = 4,315 \text{ Ом.}$$

Механические характеристики двигателя рассчитываются по формуле:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1\Phi}^2 \cdot \left( \frac{r_2'}{s} \right)}{P_{\Pi} \cdot \left[ \left( r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \cdot \left( \frac{f_1}{f_H} \right)^2 \right]},$$

где  $f_1$  - частота питающего напряжения;

$U_{1\Phi}$  - величина питающего напряжения.

Известно что для поддержания постоянного критического момента при различных частотах питающего напряжения используется закон регулирования:  $U_{1\Phi}/f_1 = const$ . 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  $r_1 = 0$ .

Расчёт статических характеристик выполним с использованием зависимостей:

$$M(s, f_1, U_{1\Phi}) = \frac{3 \cdot U_{1\Phi}^2 \cdot \left(\frac{r_2'}{s}\right)}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot \left[ \left(0 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_H}\right)^2 \right]},$$
$$\Omega(s, f_1) = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p_{\Pi}} \cdot (1 - s).$$

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

$$\frac{U_{1\Phi H}}{f_{1H}} = \frac{U_{1\Phi}}{f_1}.$$

Из данного выражения получим величину питающего напряжения для разных частот:

$$U_{1\Phi} = f_1 \frac{U_{1\Phi H}}{f_{1H}} = 35 \cdot \frac{220}{50} = 154 \text{ В} - \text{ для частоты } 35 \text{ Гц};$$

$$U_{1\Phi} = f_1 \frac{U_{1\Phi H}}{f_{1H}} = 15 \cdot \frac{220}{50} = 66 \text{ В} - \text{ для частоты } 15 \text{ Гц};$$

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

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Таблица 5.1 – Расчёт механических характеристик

$s$	0,0001	0,001	0,005	0,01	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	1
$U_{1\Phi} = 220\text{В}; f_1 = 50\text{Гц.}$										
$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	0,019	0,19	0,951	1,9	9,326	17,64	28,98	33,49	33,80	21,57
$\Omega, \text{рад/с}$	314,1	313,9	312,6	311,0	298,5	282,7	251,3	219,9	188,5	0
$U_{1\Phi} = 154\text{В}; f_1 = 35\text{Гц.}$										
$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	0,013	0,133	0,666	1,33	6,593	12,82	23,09	29,70	33,02	27,56
$\Omega, \text{рад/с}$	219,9	219,7	218,8	217,7	208,9	197,9	175,9	153,9	131,9	0
$U_{1\Phi} = 66\text{В}; f_1 = 15\text{Гц.}$										
$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	0,006	0,057	0,285	0,57	2,848	5,665	11,10	16,10	20,51	33,5
$\Omega, \text{рад/с}$	94,24	94,15	93,78	93,31	89,54	84,82	75,40	65,97	56,55	0

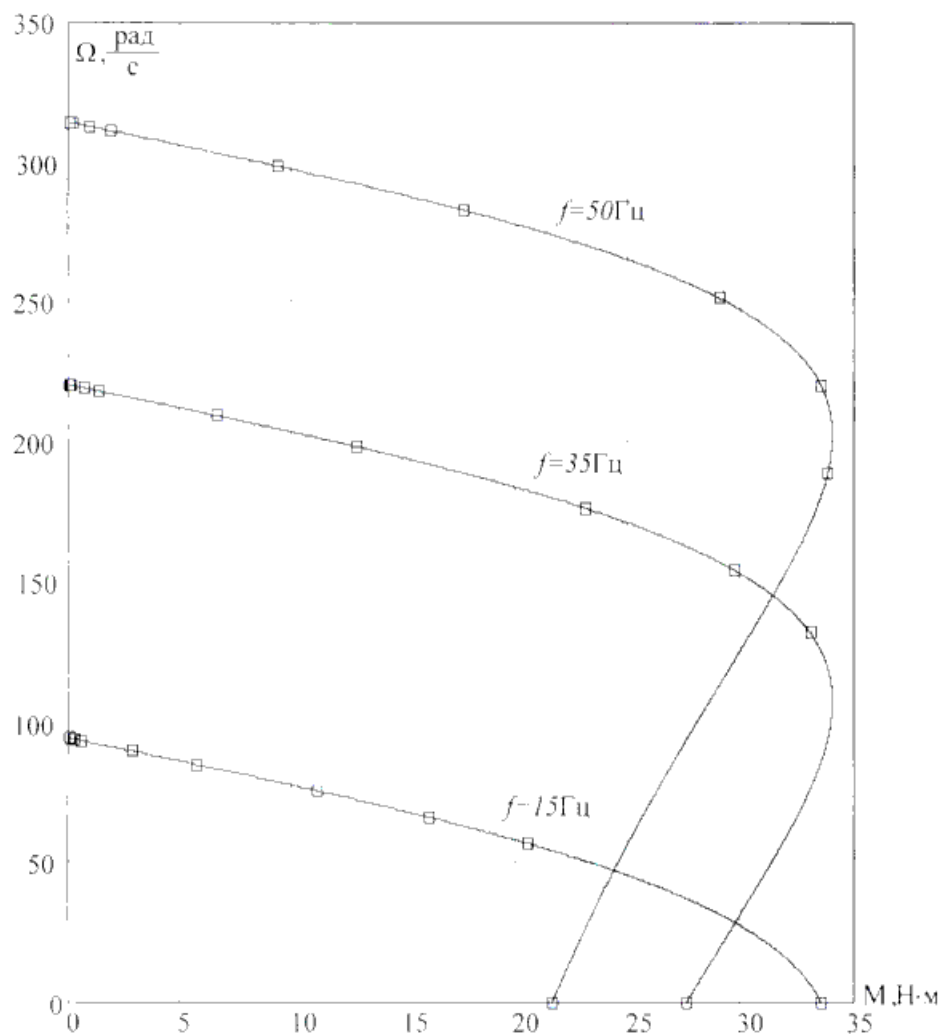


Рисунок 5.1 – Статические характеристики привода

Проанализировав вид статических характеристик (см. рисунок 5.1) можно сделать вывод что использование  $IR$ -компенсации обеспечивает постоянный крити-

ческий момент на валу двигателя. Также не сложно заметить что двигатель способен обеспечить требуемые значения момента на валу двигателя (см. таблицу 3.2).

## 5.2 Расчёт динамических характеристик привода

### 5.2.1 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.

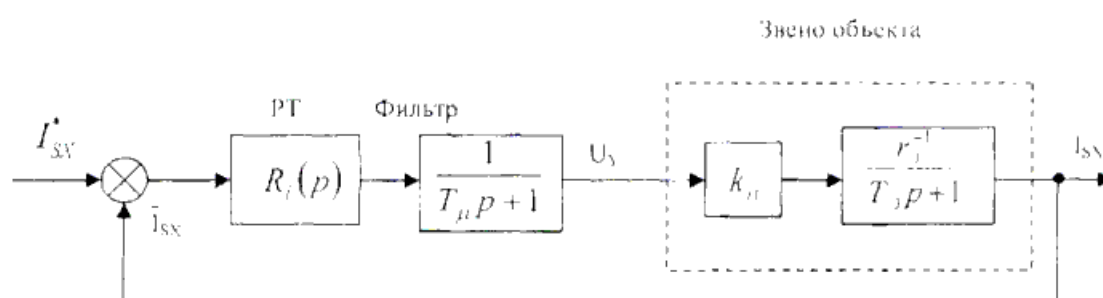


Рисунок 5.2 – Расчётная схема САР тока

Передаточная функция имеет вид:

$$\Phi_0(p) = \frac{1}{T_{\mu}p + 1}.$$

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:

$$R_i(p) = W_i^{-1}(p) \frac{1}{T_i p} = \frac{T_s + 1}{\frac{k_p}{r_s} T_i p} = \frac{T_s + r_s}{k_p T_i} + \frac{1}{\frac{k_p}{r_s} T_i p} \quad - \text{«ПИ» регулятор,}$$

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

									Лист
									36
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата					

Замкнутая типовая передаточная функция контура тока имеет вид:

$$G_i(p) = \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}$$

### 5.2.2 Синтез регулятора электромагнитного момента

Регулятор представлен в виде обратного звена момента

$$m = k_r \Psi_r i_{sy} \quad - \text{звено момента (ЗМ)}$$

$$i_{sy} = (k_r^* \Psi_r^*)^{-1} m^* \quad - \text{регулятор момента (РМ)}$$

Регулятор момента формирует частоту скольжения координат. Нужно ввести в регулятор момента вычислитель абсолютного скольжения  $\beta_{\Psi_r}$ .

$$\beta_{\Psi_r} = r_r^* k_r^* \Psi_r^* i_{sy}^*;$$

$$\omega_{\Psi_r} = \omega + \beta_{\Psi_r}$$

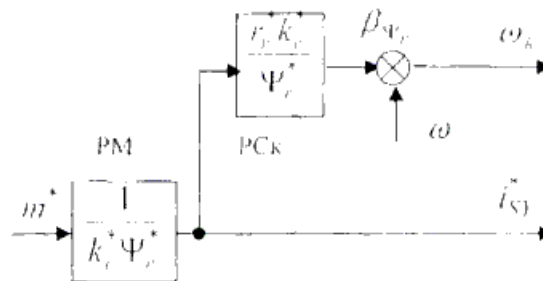


Рисунок 5.3 – Структурная схема регулятора электромагнитного момента

При этом передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$\Phi_m(p) = G_i(p) = \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}$$

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

### 5.2.3 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.

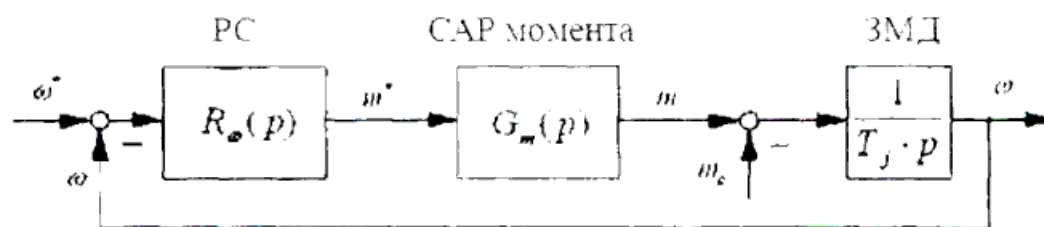


Рисунок 5.4 – Структурная схема для синтеза регулятора скорости

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

$$\Phi(p) = \frac{1}{T'_\mu p + 1}.$$

Передаточная функция регулятора скорости имеет вид:

$$R_\omega(p) = \frac{T'_\omega p + 1}{T'_\omega p} \cdot \frac{T_j}{T_\omega}.$$

Где постоянные времени определяются как:

$$T'_\omega = 2T_\omega = 4T_j = 8T_\mu,$$

для настройки на модульный оптимум.

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

$$\Phi_\omega(p) = \frac{8T_\mu + 1}{8T_\mu} \cdot \frac{1}{4T_\mu p} \cdot \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}.$$

Типовая передаточная функция замкнутой системы по управляющему воздействию имеет вид:

$$G_{Mc}^\omega(p) = \frac{32T_\mu^2 p}{T_j} \cdot \frac{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}{64T_\mu^4 p^4 + 64T_\mu^3 p^3 + 32T_\mu^2 p^2 + 8T_\mu p + 1}.$$



Типовой переходный процесс по управляющему воздействию имеет следующие показатели качества:

- Время достижения максимума  $t_M = 18T_{\omega}$ ;
- Время переходного процесса (время вхождения в 1% зону)  $t_{н.п.} = 22,5T_{\omega}$
- 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:

$$G_{Mc}^{\omega}(0) = 0.$$

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:

$$k_{п} = \frac{T_j}{T_{\omega}}.$$

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

$$T_{и} = \frac{T_{\omega} \cdot T'_{\omega}}{T_j}.$$

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.

#### 5.2.4 Расчёт параметров структурной схемы привода

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

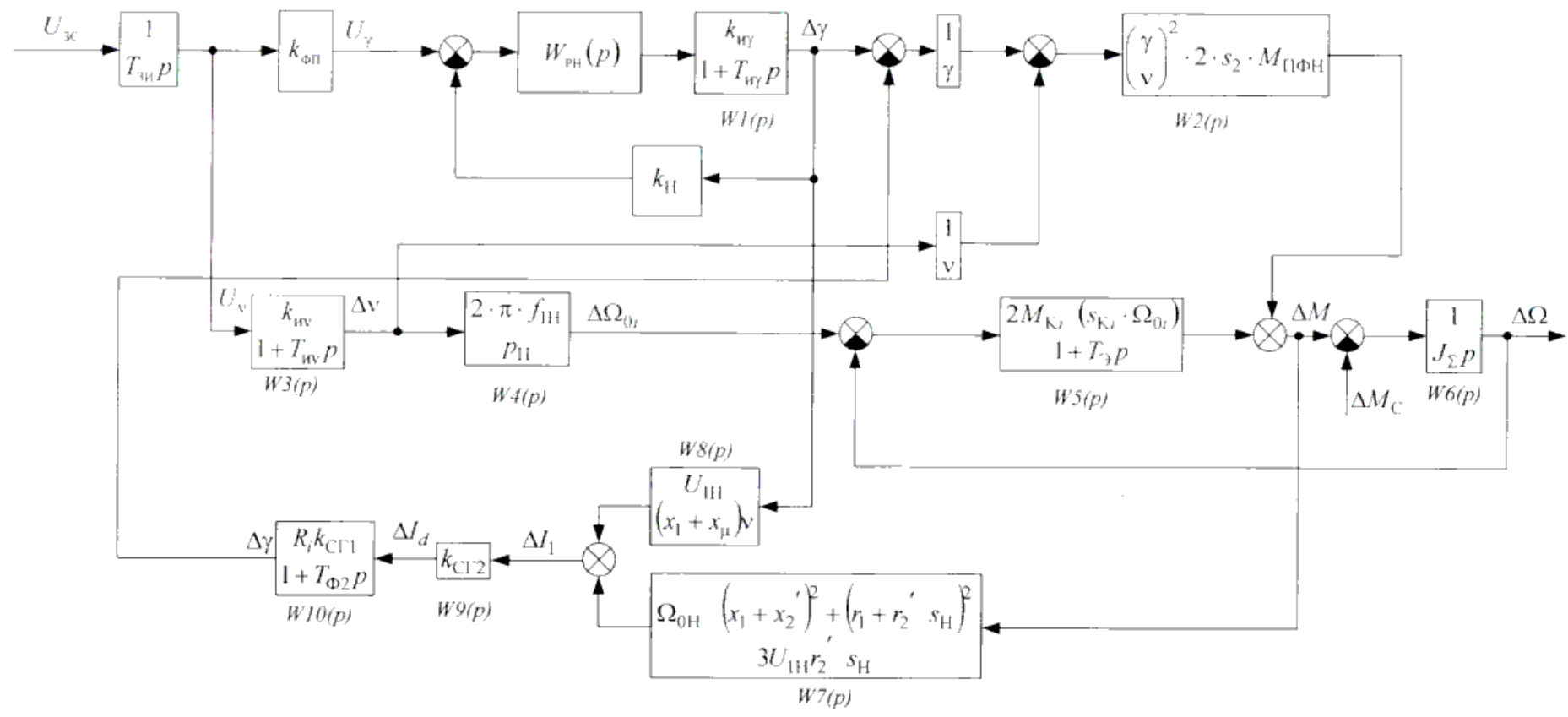


Рисунок 5.5 - Структурная схема привода

Напряжение на выходе неуправляемого выпрямителя:

$$U_d = \frac{3 \cdot U_{1\text{ФН}}}{\sqrt{2}} = \frac{3 \cdot 220}{\sqrt{2}} = 466,69 \text{ В.}$$

Активное сопротивление фазы двигателя:

$$R_H = r_1 + \frac{r_2'}{s_H} = 3,77 + \frac{2,43}{0,038} = 67,726 \text{ Ом.}$$

Индуктивность фазы двигателя:

$$L_H = \frac{x_1 + x_2'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{2,48 + 4,315}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,022 \text{ Гн.}$$

Постоянная времени нагрузки:

$$T_H = \frac{L_H}{R_H} = \frac{0,022}{67,726} = 3,194 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Входной ток инвертора (выходной ток выпрямителя):

$$I_d = \frac{2 \cdot U_d}{3 \cdot R_H} \cdot \left( 1 - 3 \cdot f_1 \cdot T_H \cdot \frac{1 - a^2}{1 - a + a^2} \right) =$$
$$= \frac{2 \cdot 466,69}{3 \cdot 67,726} \cdot \left( 1 - 3 \cdot 50 \cdot 3,932 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1 - 2,932 \cdot 10^{-5}}{1 - 2,932 \cdot 10^{-5} + (2,932 \cdot 10^{-5})^2} \right) = 4,374 \text{ А}$$

где  $a = e^{\frac{-1}{6 \cdot f_1 \cdot T_H}} = e^{-10,437} = 2,932 \cdot 10^{-5}$  - расчётный коэффициент.

Ёмкость сглаживающего фильтра:

$$C_\Phi = \frac{U_d \cdot T_H}{3 \cdot R_H \cdot \Delta U_C} \cdot (2 \cdot \ln(2) - 1) =$$
$$= \frac{466,69 \cdot 3,194 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 67,726 \cdot 46,669} \cdot (2 \cdot 0,693 - 1) = 6,072 \cdot 10^{-6} \text{ Ф,}$$

где  $\Delta U_c = 0,1 \cdot U_d = 0,1 \cdot 466,69 = 46,669$  В - допустимое увеличение напряжения на входе инвертора.

Фиктивное сопротивление:

$$R_i = \frac{M_H}{k_{сг1} \cdot k_{сг2} \cdot M_{пфн}} \cdot \frac{v}{s_H} \cdot \frac{1}{I_{1фФ}} = \\ = \frac{7}{2,143 \cdot 10^{-3} \cdot 0,986 \cdot 141,892} \cdot \frac{1}{0,038} \cdot \frac{1}{4,436} = 138,524 \text{ Ом},$$

где  $k_{сг1} = \frac{\gamma}{U_d} = \frac{1}{466,69} = 2,143 \cdot 10^{-3}$  - коэффициент согласования относительно значения фазного напряжения статора двигателя с входным напряжением инвертора;

$$k_{сг2} = \frac{I_d}{I_{1фн}} = \frac{4,374}{4,436} = 0,986 - \text{коэффициент согласования входного тока инвертора с фазным током статора двигателя};$$

где  $M_{пфн} = \frac{2 \cdot M_K}{s_K} = \frac{2 \cdot 21}{0,296} = 141,892$  Н·м - фиктивный пусковой момент двигателя при номинальных значениях напряжения и частоты, определяемый в результате линеаризации рабочей части механической характеристики двигателя.

$$M_{пфн} = \frac{2 \cdot M_K}{s_K} = \frac{2 \cdot 21}{0,296} = 141,892 \text{ Н} \cdot \text{м} - \text{фиктивный пусковой момент двигателя при номинальных значениях напряжения и частоты, определяемый в результате линеаризации рабочей части механической характеристики двигателя.}$$

Постоянная времени сглаживающего фильтра:

Постоянная времени сглаживающего фильтра:

$$T_{\Phi 2} = C_{\Phi} \cdot R_i = 6,6072 \cdot 138,524 = 8,411 \cdot 10^{-4} \text{ с}.$$

Коэффициент передачи инвертора:

$$k_H = \frac{v_{\max}}{U_{v\max}} = \frac{1}{10} = 0,1,$$

где  $v_{\max} = 1$  - максимальная относительная выходная частота инвертора;

$U_{v\max} = 10$  В - максимальное напряжение задания частоты.

Критическое скольжение двигателя:

$$s_{ki} = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2 v^2}} = \frac{2,43}{\sqrt{3,77^2 + (2,48 + 4,315)^2 \cdot 1}} = 0,313.$$

Критический момент двигателя:

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		42

$$M_{kl} = \frac{3 \cdot U_{1\Phi}^2}{2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p_{II}} \cdot \left[ r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2 \cdot v^2} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} \cdot \left[ 3,77 + \sqrt{3,77^2 + (2,48 + 4,315)^2 \cdot 1^2} \right]} = 20,025 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Электромагнитная постоянная времени двигателя:

$$T_{\Theta} = \frac{\left[ \frac{x_1 + x_2'}{2 \cdot \pi \cdot f_1} \right]}{r_1 + r_2'} = \frac{\left[ \frac{2,48 + 4,315}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} \right]}{3,77 + 2,43} = 3,489 \cdot 10^{-3}.$$

Приведённый момент инерции на валу двигателя:

$$J_{\Sigma} = 1,1 \cdot J_{Д} + J_{М} = 1,1 \cdot 0,038 + 0,005 = 0,047 \cdot \text{кг} \cdot \text{м}^2,$$

где  $J_{Д} = 0,038 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - момент инерции двигателя;

$J_{М} = 0,005 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  - приведённый момент инерции механизма подачи.

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

$$W_{PII}(p) = \frac{1}{T_{ИГ} \cdot k_{ИГ} \cdot k_{II} \cdot p},$$

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

$k_{ИГ}$  - коэффициент передачи инвертора по каналу напряжения;

$k_{II}$  - 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  $T_{ИГ} = 0,001$  с;

Коэффициент передачи инвертора по каналу напряжения определяется выражением:

$$k_{ИГ} = \frac{U_{II}}{U_{ИГ}} = \frac{1}{U_{ИГ}},$$

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докцм	Подпись	Дата		43

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

$$\text{Следовательно } k_{ИУ} = \frac{1}{10} = 0,1.$$

Коэффициент передачи обратной связи по напряжению:

$$k_H = \frac{U_{\gamma\max}}{\gamma_H} = U_{\gamma\max},$$

где  $U_{\gamma\max}$  - максимальное задание напряжения статора, определяемое выражением:  $U_{\gamma\max} = U_{v\max} \cdot k_{\phi И} = 10 \cdot 1 = 10$ ;

$U_{v\max} = 10$  - максимальное задание частоты статора, принимаемое равным 10В;

$k_{\phi И} = 1$  - коэффициент функционального преобразователя, при законе регулирования  $U/f = const$  равен 1.

Следовательно  $k_H = 10$ .

### 5.2.5 Расчёт передаточных звеньев структурной схемы

Для расчёта по структурной схеме, показанной на рисунке 5.5, рассчитаем передаточные функции:

$$W_{PH}(p) = \frac{1}{T_{ИУ} \cdot k_{ИУ} \cdot k_H \cdot p} = \frac{1}{0,001p};$$

$$W1(p) = \frac{k_{ИУ}}{1 + T_{ИУ}p} = \frac{0,1}{1 + 0,001p};$$

$$W2(p) = \left(\frac{\gamma}{v}\right)^2 \cdot 2 \cdot s_2 \cdot M_{ПФН} = \left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot 2 \cdot 0,038 \cdot 141,892 = 10,784;$$

$$W3(p) = \frac{k_{иv}}{1 + T_{иv}p} = \frac{0,1}{1 + 0,005p};$$

$$W4(p) = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}{p_{п}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314,159;$$

$$W5(p) = \frac{2 \cdot M_{ki} / (s_{ki} \cdot \Omega_{oi})}{1 + T_{Э}p} = \frac{0,815}{1 + 3,489 \cdot 10^{-3} \cdot p};$$

$$W6(p) = \frac{1}{J_{\Sigma}p} = \frac{1}{0,047p};$$

$$W7(p) = \frac{\Omega_{0H} \sqrt{(x_1 + x_2')^2 + (r_1 + r_2'/s_H)}}{3 \cdot U_{1H} \cdot r_2'/s_H} = 0,253;$$

$$W8(p) = \frac{U_{1H}}{(x_1 + x_2)N} = 31,989;$$

$$W9(p) = k_{CF2} = 0,986;$$

$$W10(p) = \frac{R_i \cdot k_{CF1}}{1 + T_{\phi 2} p} = \frac{0,297}{1 + 8,411 \cdot 10^{-4} p}.$$

### 5.2.6 Расчёт переходных процессов

Для расчёта переходных процессов воспользуемся приложением Simulink 4.0 входящего в пакет MATLAB 7.0. Для этого с помощью интерфейса программы создадим модель системы приведённую на рисунке 5.5, числовые значения рассчитаны в п. 5.2.5. Полученная математическая модель показана на рисунке 5.6. Управляющее воздействие реализовано с помощью блока Uz и подаёт на вход структурной схемы величину задания 10. С помощью блока Step в структурную модель передаётся информация о величине статического момента на валу двигателя. Блоки Scope и Scope1 необходимы для снятия переходных процессов скорости вращения и тока двигателя соответственно.

Воспользовавшись интерфейсом программы, рассчитаем переходной процесс пуска двигателя на холостом ходу, вид переходных процессов показан на рисунках 5.7 и 5.8.

Анализируя вид переходных процессов можно сделать вывод что при пуске первоначальный бросок тока составляет порядка 19 А (см. рисунок 5.8) что примерно в 4 раза превышает номинальный. Данное явление недопустимо для двигателя. Поэтому для снижения пусковых токов используем задатчик интенсивности с постоянной времени 0,07 с [6]. Вид получившихся переходных процессов пуска с задатчиком интенсивности показаны на рисунках 5.9 и 5.10. На рисунках 5.11 и 5.12 показаны переходные процессы наброса номинальной нагрузки (переходной процесс по возмущающему воздействию).

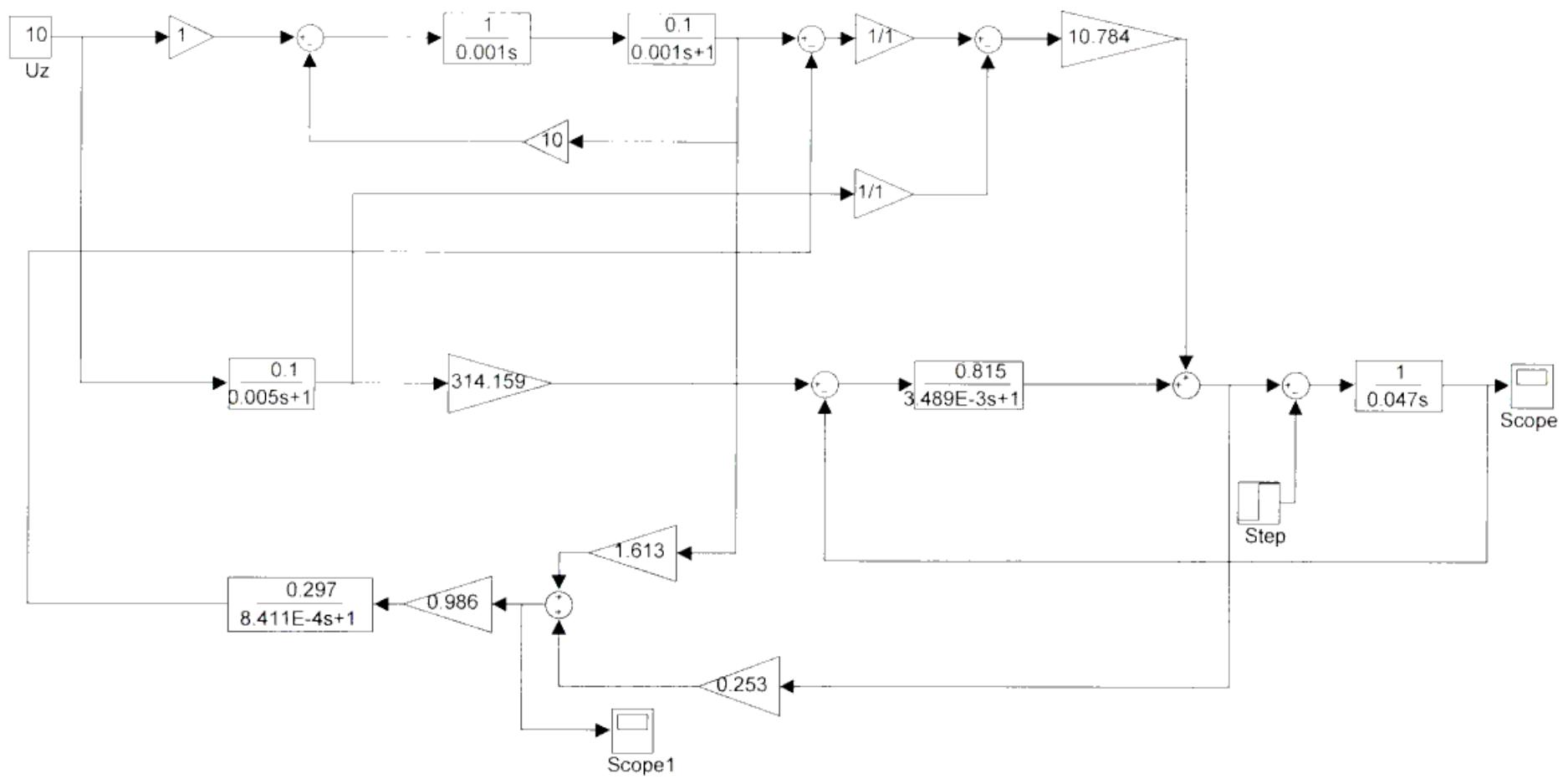


Рисунок 5.6 - Математическая модель разомкнутой системы





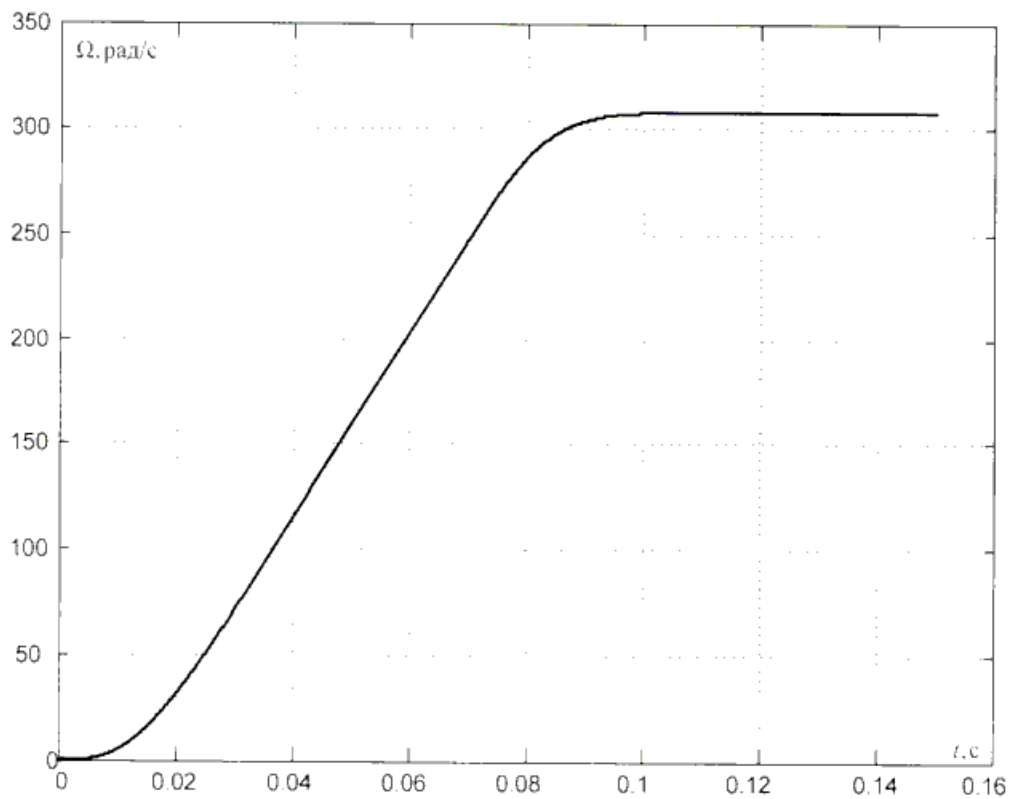


Рисунок 5.9 – Переходной процесс скорости при пуске двигателя на холостом ходу с задатчиком интенсивности

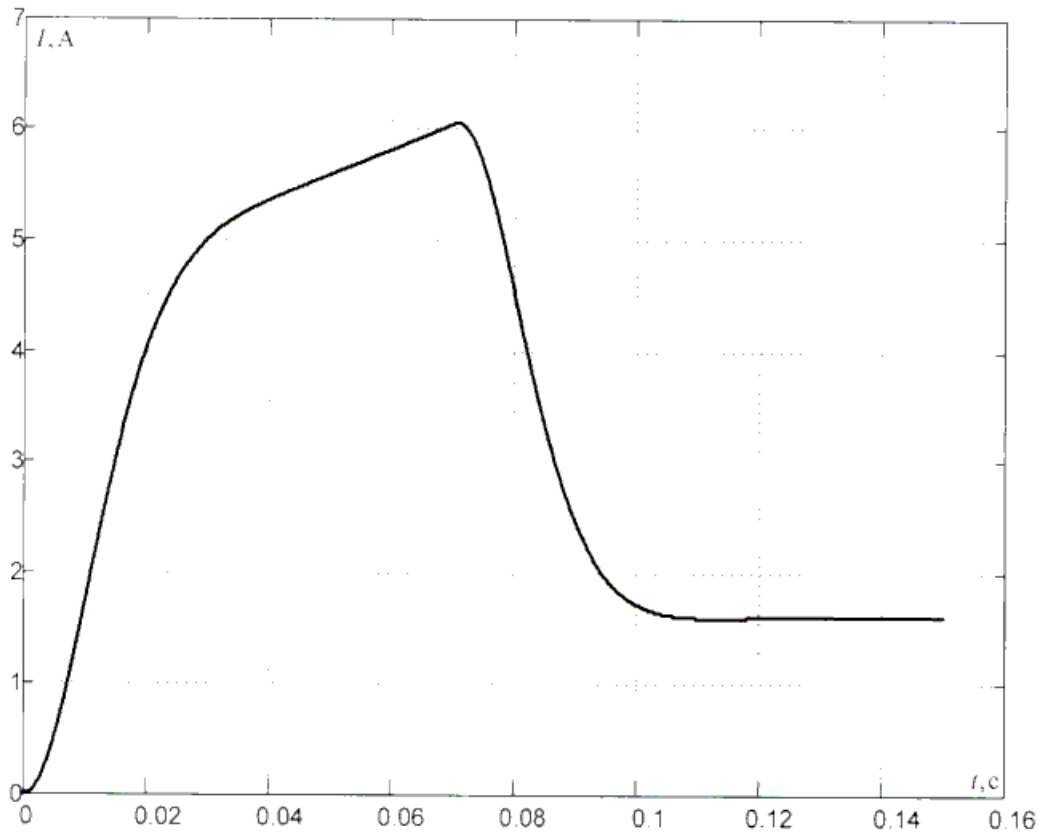


Рисунок 5.10 – Переходной процесс тока при пуске двигателя на холостом ходу с задатчиком интенсивности

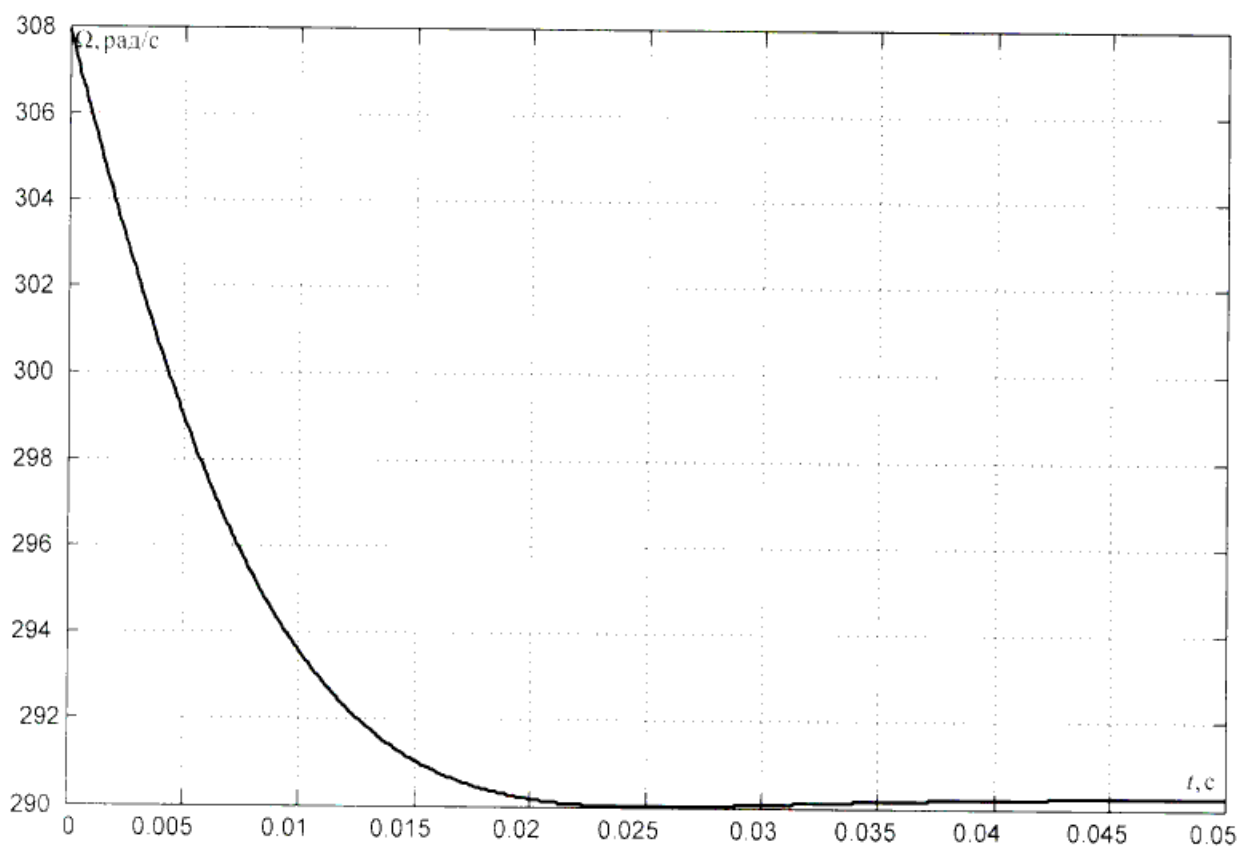


Рисунок 5.11 – Переходной процесс скорости при набросе номинальной нагрузки

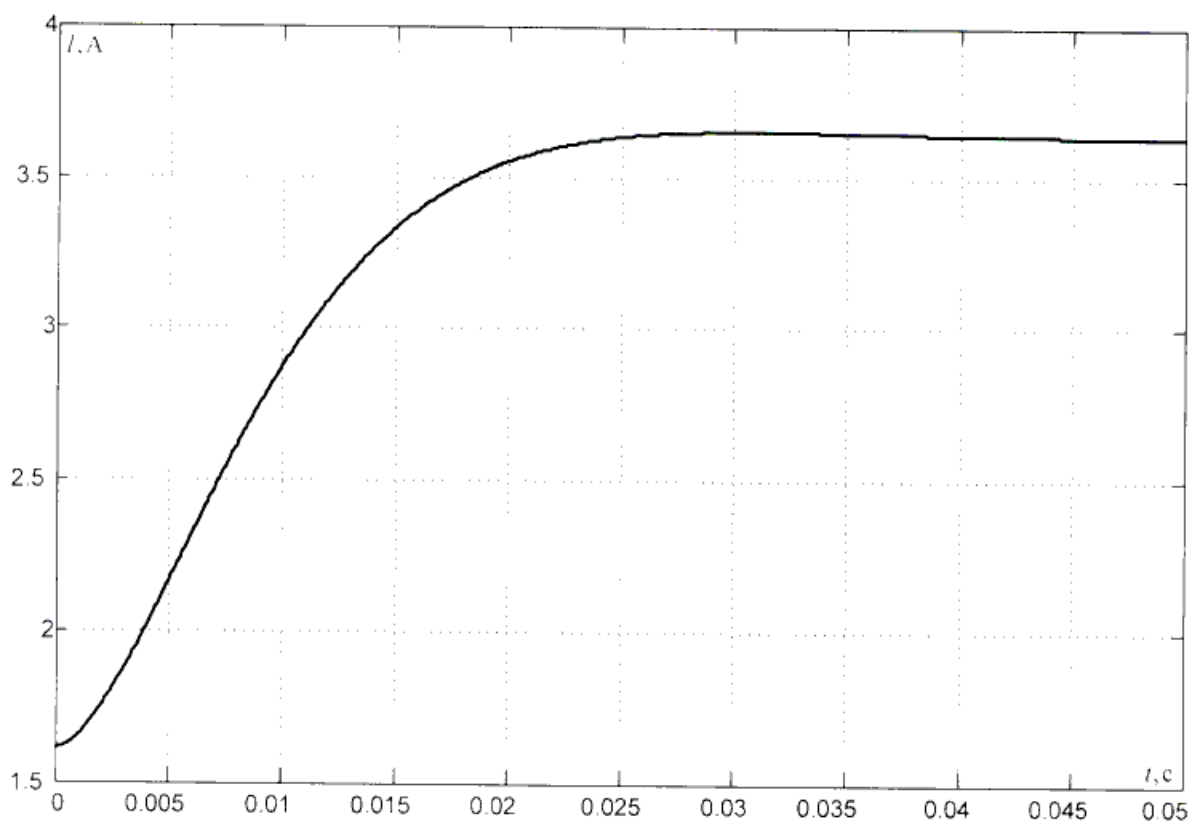


Рисунок 5.12 – Переходной процесс тока при набросе номинальной нагрузки

### 5.2.7 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%. При этом ток двигателя увеличивается до значения 3,6 А. Переходные процессы (тока и скорости) по возмущению имеют незначительное перерегулирование, что обуславливается инерционностью двигателя и привода.

#### Выводы по части пять

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.

						140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ док-м	Подпись	Дата			50



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

где  $K_i$  – капитальные затраты;

$K_{об.і}$  – цена оборудования;

$K_{трансі}$  – транспортные расходы;

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

$K_{прочі}$  – прочие затраты.

В дальнейшем индекс «1» будет соответствовать варианту системы электропривода с АД 4А80В2У3 и ПЧ Триол АТ 04 005, а «2» – старому электроприводу ПМУ7М-3 с ДПТ ПЗ2-С1.

Стоимость асинхронного электропривода с АД 4А80В2У3 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 4А80В2У3	18500
Преобразователь частотный Триол АТ 04 005	27300
Итого ( $K_{об.1}$ )	45800

Стоимость заменяемого оборудования приведена в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Стоимость заменяемого оборудования

Оборудование	Стоимость, руб.
Электродвигатель ПЗ2-С1 (устаревший)	9200
Привод ПМУ7М-3	9000
Итого ( $K_{об.2}$ )	18200

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

$$K_{транс} = 0,05 \cdot K_{об.};$$

$$K_{транс1} = 0,05 \cdot K_{об.1} = 0,05 \cdot 45800 = 2290 \text{ руб.};$$

$$K_{транс2} = 0,05 \cdot K_{об.2} = 0,05 \cdot 18200 = 910 \text{ руб.}$$

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

$$K_{смр} = 0,15 \cdot K_{об.};$$

$$K_{смр1} = 0,15 \cdot K_{об.1} = 0,15 \cdot 45800 = 6870 \text{ руб.};$$

$$K_{\text{смп}2} = 0,15 \cdot K_{\text{об.}2} = 0,15 \cdot 18200 = 2730 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{проч}} = 0,1 \cdot K_{\text{об.}};$$

$$K_{\text{проч}1} = 0,1 \cdot K_{\text{об.}1} = 0,1 \cdot 45800 = 4580 \text{ руб.};$$

$$K_{\text{проч}2} = 0,1 \cdot K_{\text{об.}2} = 0,1 \cdot 18200 = 1820 \text{ руб.}$$

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

$$K_1 = K_{\text{об.}1} + K_{\text{транс}1} + K_{\text{смп}1} + K_{\text{проч}1} = 45800 + 2290 + 6870 + 4580 = 59540 \text{ руб.};$$

$$K_2 = K_{\text{об.}2} + K_{\text{транс}2} + K_{\text{смп}2} + K_{\text{проч}2} = 18200 + 910 + 2730 + 1820 = 23660 \text{ руб.}$$

Очевидно, что  $K_1 > K_2$ , т. е. затраты на электродвигатель ПЗ2-С1 и привод ПМУ7М-3 несколько ниже капитальных затрат на электродвигатель 4А80В2У3 и ПЧ Триол АТ 04 005.

#### 6.4 Определение эксплуатационных расходов

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

$$I_i = I_{\text{эл.эн}} + I_{\text{рем}} + I_{\text{обсл}}, \quad (6.2)$$

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

$I_{\text{рем}}$  – затраты на ремонт, руб./год;

$I_{\text{обсл}}$  – затраты на обслуживание, руб./год.

Определение стоимости электроэнергии.

Расходы на электроэнергию определяем по формуле:

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

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

$C_{\text{э}}$  – цена (тариф) на электроэнергию для потребителей, руб./кВт·ч.

В целях упрощения расчета, проведем вычисления с использованием одноставочного тарифа,  $C_{\text{э}} = 3,9$  руб./кВт·ч.

Количество потребляемой электрической энергии определяется как:

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

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		53

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:

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

Для старого электропривода:

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

Расходы на электроэнергию составят:

$$I_{эл.эл1} = 3125 \cdot 3,9 = 12187,5 \text{ руб./год;}$$

$$I_{эл.эл2} = 3750 \cdot 3,9 = 14625 \text{ руб./год.}$$

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

$$E_1 = 0,1 \cdot K_1 = 0,1 \cdot 59540 = 5954 \text{ руб./год;}$$

$$E_2 = 0,1 \cdot K_2 = 0,1 \cdot 23660 = 2366 \text{ руб./год.}$$

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:

$$I_1 = I_{эл.эл1} + E_1 = 12187,5 + 5954 = 18141,5 \text{ руб./год;}$$

$$I_2 = I_{эл.эл2} + E_2 = 14625 + 2366 = 16991 \text{ руб./год.}$$

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

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		54



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

Приведенные затраты определим по формуле

$$Z_i = E_n \cdot K_i + I_i, \quad (6.5)$$

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

В соответствии с формулой (6.5) определим приведенные затраты:

$$Z_1 = E_n \cdot K_1 + I_1 = \frac{1}{3} \cdot 59540 + 18141,5 = 37988,2 \text{ руб./год};$$

$$Z_2 = E_n \cdot K_2 + I_2 = \frac{1}{3} \cdot 23660 + 16991 = 24877,7 \text{ руб./год}.$$

Результаты расчетов технико-экономических показателей сведем в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Технико-экономические показатели проводимой модернизации

Наименование показателя	Единица измерения	Значение	
		новый вариант (1)	старый вариант (2)
<b>1 Капитальные затраты:</b>			
– 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
<b>2 Эксплуатационные расходы:</b>			
– затраты на электроэнергию	руб./год	12187,5	14625
– затраты на капитальный и текущий ремонты	руб./год	5954	2366
Всего	руб./год	18141,5	16991
<b>3 Приведенные затраты</b>	руб./год	<b>37988,2</b>	<b>24877,7</b>

Экономический эффект от использования нового электропривода рассчитаем по формуле:

$$\mathcal{E} = Z_1 - Z_2 = 37988,2 - 24877,7 = 13110,5 \text{ руб./год}. \quad (6.6)$$

Таким образом, замена применяемого электропривода ПМУ7М-3 с электродвигателем постоянного тока ПЗ2-С1 на асинхронный электропривод с АД 4А80В2У3 и ПЧ Триол АТ 04 005 позволит предприятию сэкономить как минимум 13110,5 руб. ежегодно.

6.6 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

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_{\text{сл.об}}} \frac{D_t}{(1+R)^t} - K_i, \quad (6.7)$$

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

$R$  – ставка дисконтирования (принимается 10%);

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

Доход определяется в соответствии со следующей формулой:

$$D = \mathcal{E} \cdot (1 - H_c) + A_{\text{отч.}}, \quad (6.8)$$

где  $\mathcal{E}$  – экономический эффект от внедрения системы электропривода, руб./год;

$H_c$  – налоговая ставка (20%);

$A_{\text{отч.}}$  – амортизационные отчисления, руб./год.

Амортизационные отчисления определяются как

$$A_{\text{отч.}} = \frac{K_i}{T_{\text{сл.об}}}. \quad (6.9)$$

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

$$D = \mathcal{E} \cdot (1 - H_c) + \frac{K_i}{T_{\text{сл.об}}} = 13110,5 \cdot (1 - 0,2) + \frac{59540}{10} = 16440 \text{ руб.}$$

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

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		56

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_{\text{срок}}} \frac{D_t}{(1+R)^t} - K_i = \sum_{t=1}^{10} \frac{16440}{(1+0,1)^t} - 59540 = 41480 > 0$$

руб.

Т. к.  $NPV \gg 0$ , то проект следует считать экономически целесообразным. Вычислим срок окупаемости инвестиций в целом за 10 лет по формуле:

$$DPBP = \sum_{t=1}^{T_{\text{срок}}} \frac{D_t}{(1+RD)^t}, \quad (6.10)$$

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

$$DPBP1 = \frac{16440}{(1+0,1)^1} = 14950 \text{ руб.};$$

$$DPBP2 = \frac{16440}{(1+0,1)^2} = 13590 \text{ руб.};$$

$$DPBP3 = \frac{16440}{(1+0,1)^3} = 12350 \text{ руб.};$$

$$DPBP4 = \frac{16440}{(1+0,1)^4} = 11230 \text{ руб.};$$

$$DPBP5 = \frac{16440}{(1+0,1)^5} = 10210 \text{ руб.};$$

$$DPBP6 = \frac{16440}{(1+0,1)^6} = 9280 \text{ руб.};$$

$$DPBP7 = \frac{16440}{(1+0,1)^7} = 8436 \text{ руб.};$$

$$DPBP8 = \frac{16440}{(1+0,1)^8} = 7669 \text{ руб.};$$

$$DPBP9 = \frac{16440}{(1+0,1)^9} = 6972 \text{ руб.};$$

$$DPBP10 = \frac{16440}{(1+0,1)^{10}} = 6338 \text{ руб.}$$

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:

$$T_{\text{ок.}} = \frac{K_1 - K_{\text{ликв.}}}{D}, \quad (6.11)$$

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

Вычислим примерный срок окупаемости внедренного оборудования как

$$T_{\text{ок.}} = \frac{K_1 - K_{\text{ликв.}}}{D} = \frac{K_1 - 0 \cdot K_1}{D} = \frac{59540 - 0 \cdot 59540}{16440} = 3,62 \text{ г.}$$

$T_{\text{ок.}} > T_{\text{н}} = 2 \div 3$ , 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 шесть

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.

## 7 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 7.1 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 оснащенности 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 [7].

### 7.2 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%;

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		59

- 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 заживают.

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

										Лист
										61
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата	140400.2016.125.000 ПЗ					

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

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		62



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.

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

#### 7.3.1 Электробезопасность

Произведем расчет зануления станка.

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.им.	Подпись	Дата		63

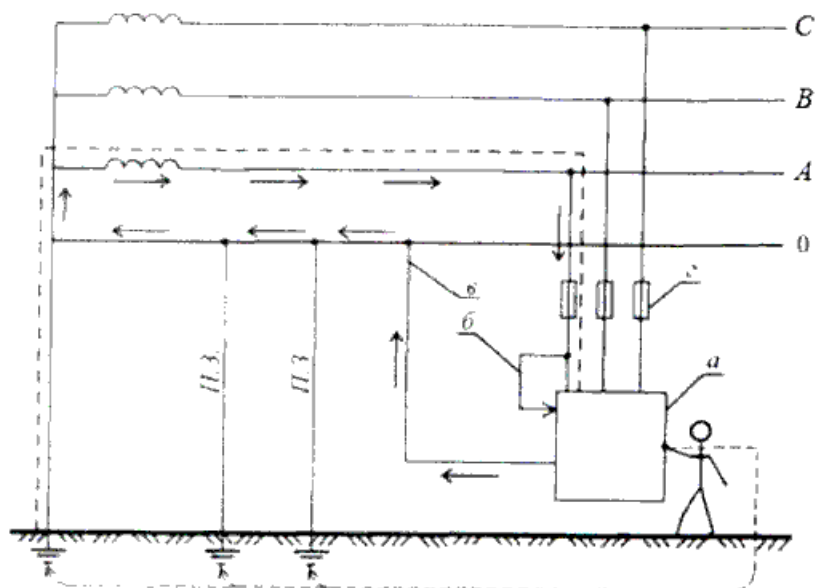


Рисунок 7.1 – Принципиальная электрическая схема зануления:  
 а – электроустановка; б – пробой фазы А на корпус; в – соединительный проводник; г – устройства защиты от токов короткого замыкания; П.З. – повторное заземление нулевого защитного провода сети

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

В качестве фазных проводов используется кабель с медными жилами диаметром  $d = 3,56 \text{ мм}$  и сечением  $10 \text{ мм}^2$ . Нулевой провод выполнен из стальной шины сечением  $S_{\text{ШШ}} = 20 \times 4 \text{ мм}^2$  и проложен на расстоянии  $D = 50 \text{ см}$  от кабеля.

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

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

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)]

$$I_{\text{н.пл.вст}} < I_{\text{НОМ}} = I_{\text{НОМ ТР}} \cdot$$

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

4) Определяем ожидаемый ток короткого замыкания

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

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  $R_{\Phi}$ , 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)]

$$\delta = I_{кз0} / S_{п} = 113,4 / 80 = 1,42 \text{ А/мм}^2.$$

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)]

$$\begin{aligned} k \cdot I_{ном} < I_{кз} &= U_{\Phi} / \left( \frac{Z_T}{3} + \sqrt{(R_{\Phi} + R_{нп})^2 + (X_{\Phi} + X_{нп} + X_{п})^2} \right) = \\ &= 220 / \left( \frac{0,906}{3} + \sqrt{(0,45 + 0,88)^2 + (0 + 0,53 + 0,16)^2} \right) = 120 \text{ А} \end{aligned}$$

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,

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		65

то по [8, таблица 3.2] подбираем предохранитель типа НПН-60М на номинальный ток плавкой вставки  $I_{н.пл.вст} = 35 \text{ А}$ .

### 7.3.2 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.

### 7.3.3 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).

### 7.4 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;

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док-м	Подпись	Дата		66

– 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).

#### 7.5 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

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		67

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 пылевыведением 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 пылевыведения 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.

										140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата							68

## Выводы по части семь

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.

									Лист
									69
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	140400.2016.125.000 ПЗ				

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения ВКР была изучена и описана конструкция и принцип действия вертикально-фрезерного станка мод. 6550. Внешний вид станка показан на чертеже 140400.2016.125.01.00.000 ГЧ. Были подробно описаны узлы и блоки, входящие в состав станка. Также был проведен анализ недостатков, выявленных во время эксплуатации станка. После чего стало легко сделать вывод о необходимости модернизации. Основной причиной является то, что механическая часть станка достаточно хорошо справляется с возложенными на неё задачами, а основным узлом, вызывающим сбой в работе, является привод подачи, который реализован на магнитном усилителе и двигателе постоянного тока (см. схему 140400.2016.125.03.00.000 ЭЗ). Исходя из этого, было принято решение о модернизации привода подач путём замены магнитного усилителя и двигателя постоянного тока на асинхронный двигатель и частотно-регулируемый привод.

В третьей части были определены все статические нагрузки на валу двигателя с использованием паспортных данных станка и кинематической схемы (см. схему 140400.2016.125.02.00.000 КЗ), исходя из которых была подобрана требуемая мощность двигателя. Исходя из требуемой мощности и скорости вращения, был выбран асинхронный двигатель серии 4А.

Опираясь на описание станка и тип выбранного двигателя, были сформулированы требования, предъявляемые к приводу подач станка. После чего был произведен поиск современных приводов с использованием глобальной сети Internet. Исходя из результатов поиска, был проведён сравнительный анализ частотно-регулируемых приводов как отечественного, так и зарубежного производства. Анализируя полученные данные, для модернизации привода подач был выбран частотно-регулируемый привод АТ-04 производства корпорации "ТРИОЛ". Данный выбор объясняется тем, что привод соответствует нашим требованиям, обладает относительно простой конструкцией, прост в обслуживании и ремонте, очень надёжен в эксплуатации и позволяет решать сложные производственные задачи.

Для проверки правильности выбора двигателя и привода были рассчитаны статические и динамические характеристики системы. Анализируя вид статических характеристик видно, что привод подачи способен обеспечивать требуемые статические моменты, а также обладает небольшим запасом по перегрузке. Вид статических характеристик показан на плакате 140400.2016.125.06.00.000. После расчета переходных процессов пуска двигателя стало ясно, что в системе необходимо задействовать задатчик интенсивности, т.к. пусковой ток двигателя превышает номинальный более чем в 4 раза, что для данного типа двигателя не допустимо. Использование задатчика интенсивности с постоянной времени 0,07 позволило снизить пусковые токи до величины 1,3 от номинального. Причём время пуска с задатчиком интенсивности составляет 0,1 с. При расчёте переходного процесса по возмущению видно, что провал скорости составил 6%. Это неплохо, т.к. при расчёте переходного процесса статический момент скачком увеличивали от нуля до максимально допустимого для механизма подач, т.е. больший момент

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докцм	Подпись	Дата		70



приложен к двигателю не будет из-за разрушения механизма подачи. Вид переходных процессов показан на плакате 140400.2016.125.06.00.000.

Также в ВКР были рассмотрены требования охраны труда при работе с вертикально-фрезерным станком и предложены меры по обеспечению электробезопасности при эксплуатации станка. Кроме того, были рассмотрены вопросы защиты окружающей среды при механической обработке металлов.

В заключение ВКР был произведён экономический расчёт затрат на модернизацию станка, включая ожидаемый экономический эффект от модернизации. По результатам этого расчёта был определён срок окупаемости модернизации, который составил 3,62 года.

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		71

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Паспорт и руководство по эксплуатации вертикально-фрезерного станка мод. 6550. – Чаренцаванский завод, 1977. – 97 с.
- 2 Сандлер, А.С. Электропривод и автоматизация металлорежущих станков / А.С. Сандлер. – М.: Высш. шк., 1972. – 440 с.
- 3 Справочник по электрическим машинам: Т.1 / под общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 456 с.
- 4 Корытин, А.М. Автоматизация типовых технологических процессов и установок: учебник для вузов / А.М. Корытин, Н.К. Петров, С.Н. Радимов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 432 с.
- 5 Соколов, Н.Г. Расчеты по автоматизированному электроприводу металлорежущих станков / Н.Г. Соколов, В.А. Елисеев. – М.: Высш. шк., 1969. – 296 с.
- 6 Доманов, В.И. Системы управления электроприводов: методические указания по курсовому проектированию для студентов специальности 14060465 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» / В.И. Доманов, А.В. Доманов. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 42 с.
- 7 Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учебное пособие / П.А. Долин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448с
- 8 Анфилофьев, Б.А. Электробезопасность: методические указания к выполнению практической работы / Б.А. Анфилофьев, Е.А. Скачкова. – Самара: СамГАПС, 2002. – 18 с.

					140400.2016.125.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72