

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте

Факультет техники и технологии

Кафедра электрооборудования и автоматизации производственных процессов

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____ Ю.С. Сергеев
_____ 2019 г.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДАЧИ
УНИВЕРСАЛЬНОГО КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА
МОДЕЛИ 3В10

ПОЯНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ– 13.03.02.19.276.06.00 ПЗ ВКР

Консультанты

Безопасность жизнедеятельности
доцент
_____ С.Н. Трофимова
_____ 2019 г.

Руководитель работы
Заведующий кафедрой
_____ Ю.С. Сергеев
_____ 2019 г.

Экономическая часть
Заведующий кафедрой
_____ Ю.С. Сергеев
_____ 2019 г.

Автор работы
студент группы ФТТ-533
_____ Р.Н. Ильясов
_____ 2019 г.

Нормоконтролер
ст. преподаватель
_____ О.В. Терентьев
_____ 2019 г.

Златоуст 2019

АННОТАЦИЯ

Ильясов Р.Н. Тема работы Модернизация электропривода подачи универсального круглошлифовального станка модели 3В10 – г. Златоуст: филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте, кафедра ЭАПП; 2019 г., 69 с., 18 ил., библиогр. список – 24 наим., 8 листов чертежей ф. А1.

В данной выпускной квалификационной работе (ВКР) выполнена разработка электропривода подачи стола станка 3В10 на основе вентильного сервопривода, дано описание станка. Был выполнен расчёт электропривода, выбран электродвигатель, произведён обзор и выбор электропривода. Выполнены разработка принципиальной схемы и моделирование режимов работы.

Рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности. Произведена идентификация и анализ опасностей и вредностей при эксплуатации данного станка. Разработаны мероприятия по снижению опасности и вредности на организм человека. Рассмотрены техника безопасности и правила работы с сервоприводом.

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

13.03.02.19.276.06.00 ПЗ										
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.		Ильясов Р.Н.								
Провер.		Сергеев Ю.С.								
Т.Контр.										
Н. Контр.		Терентьев О.В.								
Утверд.		Сергеев Ю.С.								
Модернизация электропривода подачи универсального кругло шлифовального станка модели 3В10 Пояснительная записка										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Лит.</td> <td style="width: 10%;">Лист</td> <td style="width: 10%;">Листов</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Д</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">69</td> </tr> </table>					Лит.	Лист	Листов	Д	4	69
Лит.	Лист	Листов								
Д	4	69								
Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоуст Кафедра ЭАПП										

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ.....	8
1.1 Анализ вариантов исполнения электропривода.....	8
1.2 Сравнение современных отечественных и зарубежных вентильных двигателей	10
Выводы по главе 1	13
2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ УНИВЕРСАЛЬНОГО КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 3В10	14
2.1 Устройство станка, технические данные и характеристики.....	14
2.2 Привод поперечной подачи стола	16
2.3 Анализ действующего электропривода поперечной подачи	18
2.4 Сведения о блокировках, системе сигнализации и защите	20
2.5 Обоснование модернизации электропривода поперечной подачи	20
Выводы по главе 2.....	22
3. РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ.....	23
Выводы по главе 3	24
4. ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ И СЕРВОПРИВОДА	25
4.1 Выбор двигателя.....	25
4.2 Выбор сервопривода	27
Выводы по главе 4.....	30
5. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 3В10	31
Выводы по главе 5.....	32
6. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 3В10	33
6.1 Синтез регуляторов преобразованных токов статора	33
6.2 Синтез регулятора электромагнитного момента	34
6.3 Синтез регулятора угловой скорости	34
6.4 Расчёт параметров структурной схемы привода	36
6.5 Расчёт передаточных звеньев структурной схемы	41
6.6 Моделирование режимов работы	42
Выводы по главе 6.....	45
7. РАСЧЕТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.....	46
7.1 Общие положения	46
7.2 Оценка годовой производительности станка	46
7.3 Определение капитальных затрат.....	46
7.4 Определение эксплуатационных расходов.....	48
7.5 Определение приведенных затрат по вариантам систем электроприводов и экономического эффекта от использования нового оборудования	50

7.6	Определение экономической эффективности использования предварительно выбранной системы электропривода.....	51
	Выводы по главе 7.....	52
8.	БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	53
8.1	Краткое описание производственного участка.....	53
8.2	Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	53
8.3	Выбор нормативных значений факторов рабочей среды и трудо- вого процесса.....	54
8.4	Охрана труда.....	55
8.5	Производственная санитария.....	59
8.6	Противопожарная безопасность.....	61
8.7	Экология.....	63
8.8	Обеспечение безопасности при угрозе чрезвычайных ситуаций..	63
	Выводы по главе 8.....	65
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	68

1 ВВЕДЕНИЕ

Акционерное общество «Златоустовский машиностроительный завод» (АО «Златмаш»), находится в структуре Федерального космического агентства Роскосмос. Наш завод один из ведущих изготовителей ракетных комплексов стратегического назначения Военно-морского флота РФ. Самое крупное в Челябинской области по объемам поставок государственного оборонного заказа. АО «Златмаш» изготавливает комплектующие баллистических ракет «Сармат», «Синева» [15].

Наряду с выполнением государственного оборонного заказа, на предприятии развивается выпуск гражданской продукции: бытовых плит, радиаторов, алюминиевого профиля, гидроманипуляторов.

Предприятие имеет собственную энергетическую базу. Завод снабжает питьевой водой, горячей водой и теплом. Также электроэнергией все корпуса завода и жилой район «Машзавода», в котором проживает большое количество человек [15].

Круглошлифовальный станок 3В10 1974 года выпуска выполняет технологические операции для цеха №10, по шлифовке поверхности круглой детали, для оборонного заказа. Предназначен для наружного и внутреннего шлифования, цилиндрических и конических деталей. На этом станке разрешено шлифовать валы диаметром от 3 до 100 мм; длиной от 10 до 150 мм; и отверстия диаметром от 10 до 50 мм; длиной до 15 мм [2].

Устаревшее оборудование приводит к частым простоям оборудования. Примерное время простоя 32 часа в месяц. Это отрицательно сказывается на выполнении оборонного заказа в целом по заводу. Систематический срыв оборонного заказа влечет за собой многомиллионные убытки для нашего предприятия. По оборудованию станка в частности, выходит из строя электродвигатель постоянного тока электропривода подачи стола из-за высокого износа щеточно-коллекторного узла, обрыва в цепи обмотки возбуждения, загрязнения контактов.

Целью работы является повышение производительности и отказоустойчивости универсального круглошлифовального станка модели 3В10.

В рамках поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- сравнить отечественные и зарубежные технологии и решения;
- проанализировать технические данные и характеристики универсального круглошлифовального станка 3В10;
- провести выбор двигателя и сервопривода;
- провести разработку электрической принципиальной схемы;
- провести моделирование режимов работы и проанализировать переходные процессы;
- провести расчет технико-экономических показателей;
- проанализировать меры по обеспечению безопасности жизнедеятельности.

Объект универсальный круглошлифовальный станок модели 3В10.

Предмет электропривод поперечной подачи стола.

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

1.1 Анализ вариантов исполнения электропривода

На сегодняшний день в мире очень быстро развивается высокотехнологичное производство. Также быстро развивается отрасль электротехнической продукции. Пришло время новых регулируемых электроприводов с использованием вентильных электродвигателей (ВД).

Данные электроприводы начинают собирать большинство ведущих электротехнических компаний. Исходя из этих данных, на прилавках магазинов можно встретить широкий ассортимент моделей. От маломощных, десятки ватт до сотен киловатт. Можно пользоваться в различных отраслях промышленности, также находят свое применение в аэрокосмической отрасли [17].

Перспективность вентильных двигателей обуславливается большим списком конструктивных и технико-эксплуатационных преимуществ. Данные преимущества можно выделить в отдельные пункты:

- на этом ВД отсутствуют, коллекторный узел и щетки, которые всегда просят обслуживания и внимания. Также у них отсутствует скользящие электрические контакты. Это качество гарантировано поднимает ресурс и надежность ВД, если сравнить к примеру с ДПТ и АД.

- Сравнительно большая способность по моменту и перегрузкам (непродолжительно максимальный момент может быть равен 5 и даже более);

- высокие характеристики по скорости срабатывания;

- наивысшая степень энергетического параметра (КПД и $\cos\phi$). Величина реального энергетического показателя ВД больше 90%, и в зависимости от нагрузки на валу двигателя, меняется на не существенный уровень.

АД имеют свой максимальный КПД не больше 86%, этот показатель сильно зависит от нагрузки на валу двигателя;

- на холостом ходу имеет сравнительно малые токи, и хорошие показатели рабочих токов. Благодаря этому есть возможность отрегулировать режим работы;

- поддерживают большой диапазон регулирования скорости (1:10000 и более);

- ВД имеют несложную схему преобразователя если сопоставить с асинхронным частотно регулируемым электроприводом;

- в ВД конструктивно заложен большой запас прочности по стойкости к перегреву. Это обусловлено предустановленными теромодатчиками. Сразу увеличивается срок службы электропривода в целом, также увеличивается ресурс изоляционных материалов. Стойкость ВД к перегреву наглядно показывает нам что двигатель всегда работает как правило при низких температурах, этот критерий добавляет температурной стойкости при кратковременных перегрузках на валу электродвигателя;

- минимальные массогабаритные показатели при одинаковых условиях;

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

- хороший срок службы (работа до поломки составляет 10000 ч и более). Ресурс электродвигателя представляется возможным значительно поднять благодаря возможности в регулировании скорости, режимов работы и нагрузки [10].

ВД практически лишен недостатков, которые бы заставили отказаться от его применения. Основной недостаток это механические вибрации, именно он препятствует широкому распространению вентильных электроприводов. Если оборудование будет подвергаться существенным механическим вибрациям, которые нанесут ущерб всему электроприводу. По этой причине принято решение работать со слаботочными каналами управления. Ко всему прочему нужно работать с подключением тех фаз электродвигателя, которые создают максимальный момент на полюсах ротора, необходимость наличия датчика положения ротора. Сейчас эта проблема успешно побеждена. Есть способы управления ВД без датчика положения ротора. В таблице 1.1 представлено сравнение вариантов, исполнения электропривода поперечной подачи стола.

Таблица 1.1- Технические характеристики сравниваемых электроприводов

Технические характеристики	Тип электрической машины	
	МПТ	ВД
-	коллектор	-
Механические	щетки	-
Контактные элементы	Напряжение якоря	Напряжение статора
Регулируемый параметр	С увеличением скорости уменьшается предельное значение мощности	Верхний предел ограничен механической прочностью двигателя

Из таблицы 1.1 видно, что ВД является одним из наиболее универсальных типов регулируемого привода, технические характеристики которого лучше аналогичных характеристик каждой из существующих систем.

Таким образом, по режимам работы ВД не уступает приводу постоянного тока и частотному, выгодно отличаясь от них практически неограниченным диапазоном мощностей и частот вращения, большей надежностью и простотой.

Применение ВД постоянного тока наиболее рационально при любых мощностях и диапазоне регулирования частоты вращения с нижней границей (0,1-0,2) f_0 ; пуске СМ от сети ограниченной мощности с малым моментом нагрузки.

Кроме того, ВД можно использовать в агрессивных, пожароопасных и взрывоопасных средах.

Таким образом, принимаем для электропривода подачи стола вентильный электродвигатель ввиду его преимуществ перед другими типами приводов.

1.2 Сравнение современных серводвигателей.

Современные вентильные двигатели на сегодняшний день набирают все большую популярность. Ими серьезно заинтересовались некоторые предприятия, такие как Ростех, Роскосмос и т.д. Значительные успехи в проектировании и создании ВД принадлежат европейским предприятиям, которые досконально изучают это направление в науки.

С развалом СССР наша промышленность потерпела значительные убытки в области изучения и производства электродвигателей, и их сопутствующих деталей и комплектующих. Период развала, и сопутствующие годы смуты, наложили свою печать на долю наших заводов и предприятий. Даже спустя десятилетия заметно некоторое отставание, от лидирующих экономик развитых стран.

Благодаря финансовой поддержке и субсидирования государством, также благодаря самоотверженному труду нашего народа. Промышленность сумела не только выстоять но и конкурировать в некоторых областях промышленности. Вернемся в 80-ые годы, в то время уже были разработаны отечественные ВД (2ДВМ) Они имели свои плюсы, и некоторые недостатки.

Современные реалии устройства мировой рыночной экономики, диктуют свои условия. Для того чтобы занять более уверенные позиции на рынке, необходимы возможности изготавливать нашу продукцию, качественно и в короткий срок. С учетом этого у нас есть возможность занять лидерство на мировой арене. Такой серьезный аргумент заставляет некоторые электротехнические предприятия во всем мире, запрашивать дотации и субсидии у своих государств. Для того чтобы конкурентно осваивать и производить на рынок прорывные модели ВД.

Сейчас у нас развивается содружество электротехнических предприятий, в них совместно разрабатываются современные электродвигатели. Чебоксарский электроаппаратный завод (АО "ЧЭАЗ") является на сегодняшний день лидером и по этому избрано быть головным [18].

Благодаря опыту прошлых лет, мы смогли спроектировать и запустить в производство современные, а главное полностью отечественные вентильные двигатели (серии 5ДВМ). Все представленные двигатели обладают корпусным исполнением. Это позволило качественно увеличить их продольную и поперечную жесткость. Также разработаны и применяются новые малогабаритные тормоза. Новые конструктивные решения дали возможность сократить габаритную длину корпуса и вала двигателей. В основных исполнениях до 5% и снизить массу до 20%. Получили значительную экономию электротехнической стали.

Применены более термостойкие и стабильные постоянные магниты отечественного производства из материала "железо-неодим-бор" со специальными легирующими добавками, которые способствуют сохранению работоспособности магнитов при нагреве до +170 °С и пятикратном от номинального кратковременном значении момента и тока якоря. Данный показатель также способствует снижению расхода дорогостоящих магнитных материалов (уменьшение толщины магнитов в 1,5 раза) и улучшению массогабаритных показателей.

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

Все исполнения двигателей (5ДВМ) имеют свой класс изоляции Р. Их снабжают датчиками температурной защиты (терморезисторы в лобовых частях обмотки), имеют встроенные бесконтактные тахогенераторы и фотоэлектрические датчики положения ротора. За исключением двигателя (5ДВМ55). в нем отсутствует исполнение с тормозом также нет тахогенератора, а датчик положения ротора выполнен на магнито-чувствительных микросхемах, расположенных в заднем щите электродвигателя. Нароботка до первой поломки - 10000 часов. Средняя величина шума в режиме холостого хода не превышает 83 дБ для двигателей 5ДВМ115 и 73 дБ для меньших габаритов [17].

В таблицах 1.2 и 1.3 представлены основные технические параметры отечественных вентильных двигателей и образец зарубежного электродвигателя. По представленным научным материалам, напрашивается вывод что, продукция отечественной электротехнической промышленности в этой области по некоторым показателям оказывается вполне конкурентоспособной.

Таблица 1.2 – Основные характеристики вентильных двигателей 5ДВМ

Тип двигателей	Длительный момент в стопорном режиме, Нм	Длина, мм	Максимальная частота вращения, об/мин	Масса, кг	Цена, руб
5ДВМ215	23; 35; 47; 70	637	1000; 2000; 3000; 4000	28	40000
1FT6 215	27; 50; 70	470	до 3000	55,5	245000

Промышленное освоение вентильных электродвигателей дало возможность создавать различные типы двигателей широкого применения. Также разрабатываются новые комплектующие для них, плюс к этому разработаны магнитоэлектрические быстродействующие тормоза. с использованием постоянных магнитов. Эти устройства применяются не только в изделиях электромеханики, но и находят более широкое соупутствие в электронике, электротехнике и во многих других областях прорывной науки. Однако, все перечисленное выше уже разрабатывается. Также в разработке находится новое оборудование для намагничивания и контроля новых высокоэнергетических постоянных магнитов.

Для сравнения различных типов двигателей применяется показатель электромеханической эффективности, представляющий собой отношение номинального момента к массе двигателя [4].

Для вычисления такой формулы используется классическое решение, представление электромагнитного момента (М) через касательную удельную силу, приложенную к единице поверхности ротора. Массу машины приближенно оценивают через ее основные параметры. Полученное в результате математических преобразований соотношение характеризует электромеханическую эффектив-

ность электрической машины, выражается отношением удельной касательной силы к коэффициенту пропорциональности. Такой параметр зависит от типа примененных материалов, конструктивного исполнения машины и ее габаритов [10].

С помощью представленных данных выясняем, что КПД электромашин будет расти с увеличением ее мощности, размера и веса. Для электромашин больших размеров позволительны более высокие удельные нагрузки. Электромашин с таким же конструктивным исполнением, и одинаковыми габаритами, электромеханическая эффективность будет больше у той машины, на которой допускается более высокая линейная нагрузка. Доказано что основные магнитные и электрические потери на роторе ВД с возбуждением от постоянных магнитов отсутствуют. С учетом данного фактора можно определить, что постоянные магниты на основе соединения "железо-неодим-бор" сполна могут предоставить максимальную индукцию в воздушном зазоре. Даже с учетом концентрации потока на уровне асинхронных машин, (порядка 0,6-0,8 Тл). Таким образом, в вентильном двигателе линейную нагрузку можно поднимать на более существенный уровень. Этому способствует тот показатель, что ВД работает, как правило, с коэффициентом мощности близким к единице, с помощью правильной настройкой соответствующего датчика положения ротора. Это как раз таки объясняет более высокую электромеханическую эффективность вентильных двигателей по сравнению с другими типами бесконтактных электродвигателей переменного тока [18].

Вентильные электродвигатели 5ДВМ представляют собой полностью бесконтактные электрические машины с фланцевым исполнением, с возбуждением от редкоземельных постоянных магнитов Nd-Fe-B, расположенных на валу ротора. Двигатели оснащены комплексным бесконтактным датчиком, включающим в себя тахогенератор и фотоэлектрический датчик положения ротора. В переднем щите предусмотрено посадочное место для расположения без инерционного тормоза аварийной остановки двигателя. В передних частях обмоток статора устанавливаются датчики температурной защиты ВД. Двигатели серии 5ДВМ выпускаются в четырех габаритах. По диаметру крепежных отверстий переднего фланца: 55, 85, 115, 215. В каждом габарите имеется несколько исполнений по длине, это дает возможность охватить диапазон номинальных моментов от 0,05 до 70 Н*м. Конструкция двигателей обеспечивает любое рабочее положение в пространстве. Один из существенных плюсов отечественных двигателей, они могут работать от импортных электроприводов аналогичного назначения.

К примеру не только высокоэнергетические постоянные магниты вышли за пределы узконаправленного производства электротехнических изделий. Но и производство магнитоэлектрических тормозов типа МЭТ, вышло на новый уровень, и также применяется в других двигателях и устройствах. Изначально были разработаны для комплектации вентильных электродвигателей 5ДВМ.

В тормозных устройствах этого типа тормозное усилие создается между трущимися поверхностями магнитопровода и дискового якоря за счет усилия, создаваемого полем постоянных магнитов. Растормаживание происходит путем

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

подачи постоянного напряжения на катушку, равным 24 В. МЭТ хорошо работает на максимальной частоте вращения до 10000 об/мин. Выдерживает скорость до 60000 оборотов в минуту, в замкнутом состоянии и сохраняет работоспособность [17].

Прогресс в технологии изготовления постоянных магнитов способствует возрастанию магнитных свойств материалов. Для производства требуется применения современных прорывных методов, отличающихся от намагничивания постоянных магнитов в стационарных полях электромагнитов.

Прорывным направлением в решении такой проблемы, можно считать разработку мощных намагничивающих устройств, также разработку индукторных систем, также устройств синтеза магнитного поля в пространстве, необходимого при намагничивании. Перечисленные способы успешно применяется нашими отечественными учеными.

Главное преимущество намагничивающего оборудования в том, что оно может формировать сильные магнитные поля при сравнительно малой, потребляемой из сети, мощности. Такое оборудование характеризуется в основном малым потреблением энергии и хорошим быстродействием. Такая способность позволяет осуществлять намагничивание современных магнитных систем с различными марками постоянных магнитов. Импульсное технологическое оборудование для намагничивания высокоэнергетических постоянных магнитов изготавливается на отечественных предприятиях, для снабжения производства ВД.

В развитых странах наблюдается обширное внедрение высокотехнологичной электротехнической аппаратуры. Данная продукция применяется в космической отрасли, в медицине и в производстве транспорта.

Учитывая сложившиеся условия нынешней экономики в РФ. Предприятия получают целевую, финансовую поддержку от государства, на развитие определенных направлений в промышленности. Благодаря этой поддержке появилась возможность осваивать современную наукоемкую продукцию. Есть хорошая возможность не только освоить отечественный рынок, но и выйти на мировую рынок, и занять уверенную позицию [14].

Выводы по главе 1.

Таким образом современные ВД отечественного производства, не уступают по своим характеристикам зарубежным аналогам [17]. При этом значительно дешевле. Принимаем для электропривода подачи стола ВД марки 5ДВМ.

Современные ВД отечественного производства не уступают по своим характеристикам зарубежным аналогам и при этом ВД марки 5ДВМ дешевле на 80%, чем 1FT6.

2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ УНИВЕРСАЛЬНОГО КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА 3В10

2.1 Устройство станка, технические данные и характеристики

Универсальный круглошлифовальный станок 3В10 предназначен для шлифования наружных и внутренних цилиндрических и конических поверхностей. На рисунке 2.1 общий вид станка с обозначением органов управления и основных узлов.

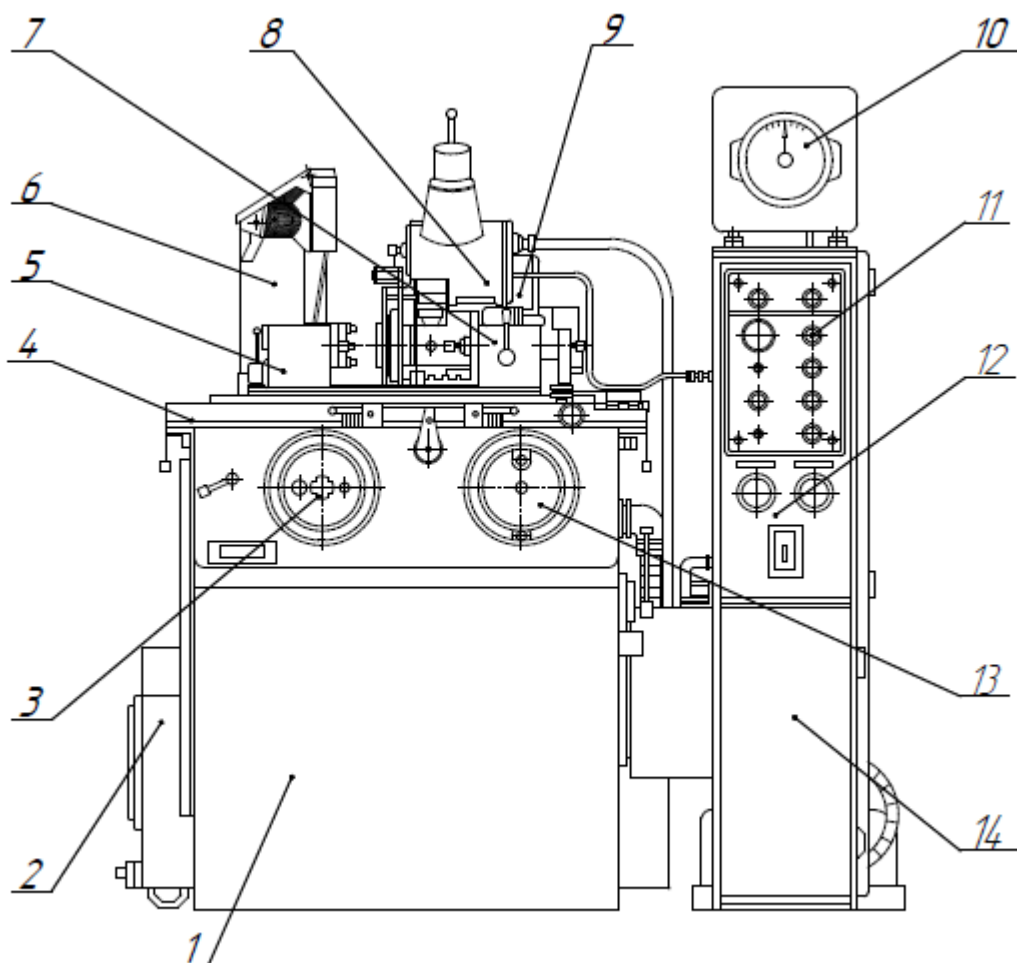


Рисунок 2.1- Общий вид станка 3В10

1- Станина; 2- Установка охлаждения; 3- Механизм перемещения стола; 4- Стол; 5- Бабка изделия; 6- Контрпривод бабки изделия; 7- Бабка задняя; 8- Приспособление для внутреннего шлифования; 9- Бабка шлифовальная; 10- Прибор активного контроля; 11- Пульт управления; 12- Электрощкаф; 13- Механизм подачи; 14- Гидроустановка.

Станок имеет поворотный стол. это дает возможность шлифовать не только ци-

линдрические, но и пологие конические поверхности. Благодаря поворотным передней и шлифовальной бабок можно шлифовать крутые конические наружные и внутренние поверхности.

Шлифовальная бабка состоит из двух частей. Верхняя часть шлифовальной бабки может передвигаться относительно нижней. Это дает возможность шлифовать периферией шлифовального круга торцы детали, закрепленной в патроне.

На этом станке можно шлифовать как в неподвижных центрах, так и в патроне. На станке можно выполнять следующие виды обработки: продольное и врезное шлифования при ручном управлении до упора; продольное шлифование до упора с поперечной автоматической подачей, осуществляющейся при реверсе стола; шлифование торцевых поверхностей периферией круга.

На станке можно обрабатывать валы диаметром от 3 до 100 мм; длиной от 10 до 150 мм; и отверстия диаметром от 10 до 50 мм; длиной до 15 мм.

Таблица 2.1 – Основные данные станка

Наименование	Параметры
Наибольший диаметр устанавливаемого изделия, мм	100
Наибольший диаметр шлифования, мм	100
Наименьший диаметр шлифования, мм	3
Рекомендуемые диаметры шлифования, мм	от 3 до 15
Наименьший диаметр шлифуемого отверстия, мм	10
Наибольший диаметр шлифуемого отверстия, мм	50
Расстояние между центрами, мм	160
Наибольшая длина шлифования, мм	150
Высота центров над столом, мм	30
Высота центров над полом, мм	1050
Вес станка (с электрооборудованием), кг	2400

Таблица 2.2 – Электрооборудование станка

Наименование	Параметры
Электродвигатель шпинделя внутренней шлифовки Ш72/0.6	0.6 кВт, 72000 об/мин, 220 В
Электродвигатель шпинделя наружной шлифовки ДПТ-П-22-2-С1	0.6 кВт, 2800 об/мин, 220/380 В
Электродвигатель привода генератора АО2-31-2	3.0 кВт, 2880 об/мин, 220/380 В
Электродвигатель барабана магнитного Сепаратора АОЛ012-4	0,08 кВт, 1390 об/мин, 220/380 В
Электродвигатель продергивания бумаги АОЛ012-4	0,08 кВт, 1390 об/мин, 220/380 В
Электродвигатель насоса охлаждения ПА-22	0,12 кВт, 2800 об/мин 220/380
Электродвигатель привода насоса Смазки и гидравлики ДПТ 22-4-С2	0,5 кВт, 1400 об/мин, 220/380 В

Окончание таблицы 2.2 – Электрооборудование станка

Наименование	Параметры
Электродвигатель привода бабки изделия ЭП-110/245-С1	0,9 кВт 180-3600 об/мин 110 В
Электродвигатель привода подачи стола ЭП-110/245-С1	0,9 кВт 360-3600 об/мин 110 В
Конечные выключатели 2ВК, 3ВК, 4ВК	-
Реле давления масла РД	-
Выключатель стола ВС	-
Переключатель режимов ПР	-

Напряжение общей питающей сети переменного тока – 380 В.
 В схеме расположены трансформаторы на напряжение 110В; 22В.
 Цепь управления: напряжение 110В; 5В; 24В род тока переменный и постоянный. Местное освещение: напряжение 36В.

2.2 Привод поперечной подачи стола

Станок с поперечной подачей стола работает в двух скоростных режимах: 1 – перемещение стола вручную осуществляется посредством пары винт-гайка, приводимой во вращение от маховика через систему шестерен 7-14; 2 – при работе в режиме планетарной передачи.

Это позволяет столу иметь две скорости: за 1 оборот маховика в режиме простой передачи стол перемещается на 2,5 мм; за 1 оборот маховика в режиме планетарной передачи стол перемещается на 0,174 мм.

Вращение от двигателя через шестерни передается на контр привод 3 (рисунок 2.2) который обеспечивает два диапазона перемещения стола 12; 1- диапазон скоростей стола от 30 до 250 мм/мин; 2- диапазон скоростей стола от 125 до 1000 мм/мин.

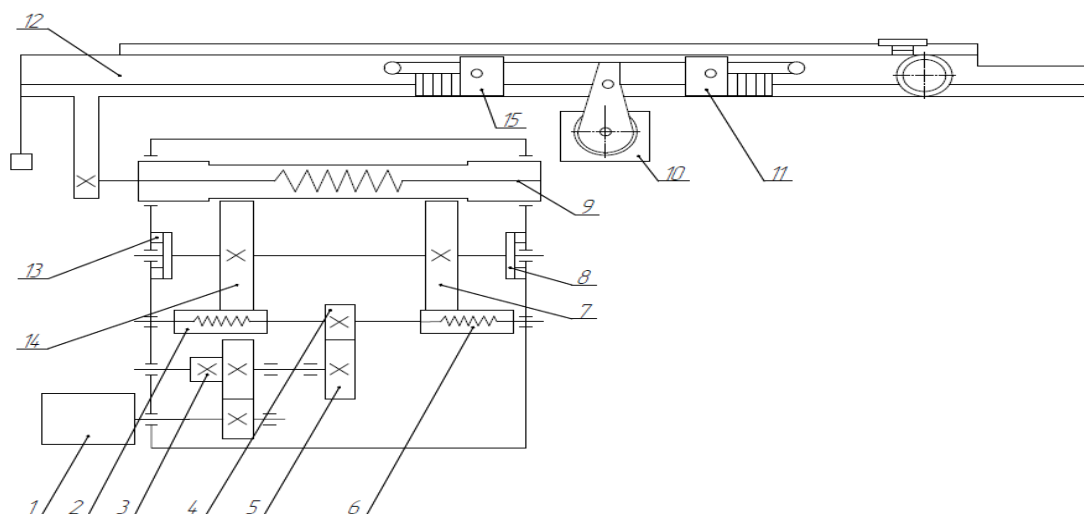


Рисунок 2.2- Механизм поперечной подачи стола

Вращение от контрпривода через 5, 4, передается правому и левому червякам 2 и 6 механизма перемещения стола. Червячные колеса 7 и 14 вращаются в разные стороны. Вращение гайки винта 9 передается от одного из червячных колес через соответствующую электромагнитную муфту 8 и 13.

Поперечное перемещение стола влево и в право осуществляется посредством переключения конечного выключателя, упорами стола 11 и 15.

Ручная настройка станка на определенный диаметр для шлифования производится в следующем порядке:

1. Рукояткой управления 31, ставим рукоятку в положение на "себя", подводится шлифовальная бабка к столу на быстром ходу.
2. Тягу переключения 23, ставят в положение "на себя".
3. Вращая маховик 32 по часовой стрелке, шлифовальную бабку подводят к жесткому упору (зажигается красная лампа на сигнализационной панели).
4. Тягу переключения 23 ставим в крайнее положение от "себя". Вращая маховик 32 против часовой стрелки отводят шлифовальную бабку в положение, чтобы можно было установить заготовку заданного диаметра в центра.
5. Устанавливают и затягивают заготовку в центрах.
6. Поворачивая маховик 32, по часовой стрелке подводим шлифовальную бабку до касания шлифовальным кругом установленной заготовки.
7. Шлифуют заготовку в заданный размер, вращая маховик по часовой стрелке, периодически измеряя шлифуемый диаметр.
8. Рукояткой управления 31, ставя ее в положение "от себя", отводят шлифовальную бабку от заготовки на быстром ходу.
9. Отворачивают стопорный винт 18, вращая винт на 1,5 – 2 оборота против часовой стрелки, придерживая маховик от проворота.
10. Совмещают "0" лимба с отметкой на станине станка и заворачивают стопорный винт 18, вращая его по часовой стрелке "до упора".
11. Разжимают и снимают заготовку с центров.

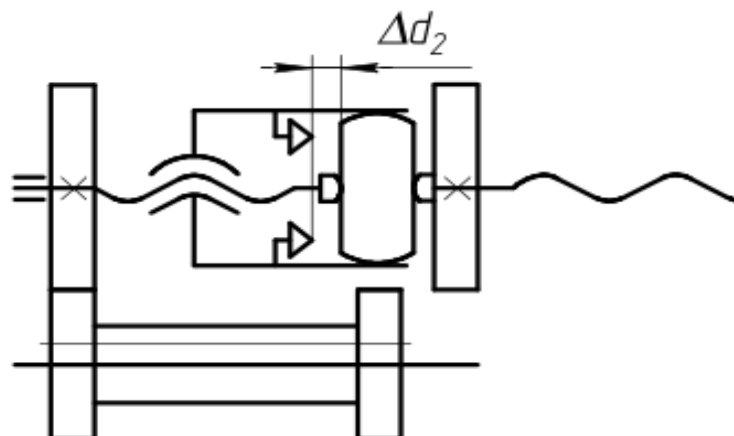


Рисунок 2.3- Схема настройки станка на величину снимаемого припуска.

									Лист
									17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.19.276.06.00 ПЗ				

Настройка станка на снятие заданного припуска с заготовки осуществляется в следующем порядке:

1. Тягу переключения 3 ставят в положение "на себя".
2. Поворачивая маховик 14 против часовой стрелки, отводят упорную шайбу вместе со шлифовальной бабкой от жесткого упора (рисунок 2.3) на величину Δd 2 равно припуск плюс зазор (обычно не превышает 0,5 мм) отсчитывая перемещения по лимбу.
3. Устанавливают и затягивают заготовку в центра.
4. Проводят продольное или врезное шлифование до жесткого упора, загорается красная лампа ("0" лимба совмещается с отметкой на станине).
5. После окончания шлифовки детали в нужный размер шлифовальную бабку отводят маховиком на величину Δd 2, вращая его против часовой стрелки.

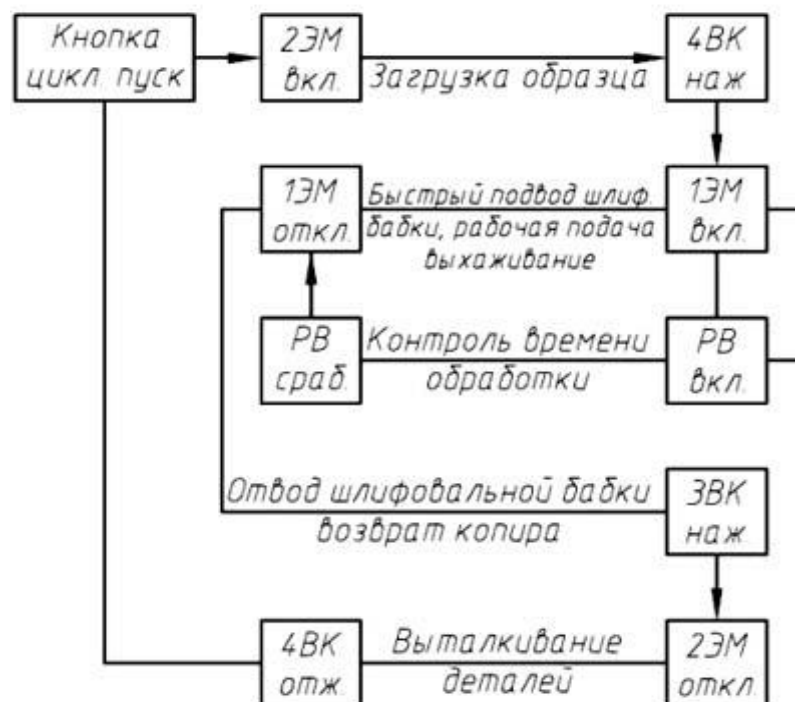


Рисунок 2.4-Циклограмма работы круглошлифовального станка модели 3В10

2.3 Анализ действующего электропривода поперечной подачи

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

Главное движение привода поперечной подачи осуществляется от электродвигателя постоянного тока типа ЭП 110/245-С1. Номинальная мощность составляет 0,900 кВт, скорость вращения вала двигателя 3600 об/мин, напряжение питания 110 В.

Оборудование управления нагревом размещено в шкафу, установленном справа от станка.

На лицевой панели расположены:

1- кнопка "Пуск"; 2- предохранитель цепи управления; 3- кнопка "Стоп"; 4- лампочка сигнальная питания; 5- выключатель пакетный общего питания; 6- приборы для контроля за процессом шлифования;

Для получения стабильных и жёстких механических характеристик главного привода. В систему введены положительная обратная связь по току, и отрицательная обратная связь по напряжению. Привод имеет систему токоограничения, выполненной на базе реле максимального тока. Принцип работы цепи токоограничения определяется в следующем: при пуске ток в силовой цепи резко возрастает это вызывает срабатывание реле максимального тока. Контакты этого реле шунтируют резистор задания скорости, тем самым вызывает снижение напряжения на обмотке двигателя. Двигатель продолжает разгон на пониженном напряжении пока ток не снизится, до цифр отпускания реле максимального тока. После того как отключится реле максимального тока на вход усилителя подаётся требуемый сигнал задания и напряжение на двигателе возрастает, это вызывает увеличение тока, и эти манипуляции повторяются до тех пор, пока двигатель не выйдет за номинальный режим работы.

Тиристорный преобразователь предназначен для питания двигателей постоянного тока станка. ТП постоянного тока это устройство для преобразования тока переменного в ток постоянный с возможностью регулирования выходных параметров тока и напряжения. Тиристорные преобразователи нашли свое применение для питания якорных цепей двигателей и их обмоток возбуждения.

Тиристорный агрегат состоит из следующих основных узлов:

1- трансформатора или токоограничивающего реактора на стороне переменного тока; 2- выпрямительных блоков; 3- сглаживающих реакторов; 4- элементов системы управления, защиты и сигнализации.

Трансформатор осуществляет согласование входных и выходных напряжений ТП. Служит ограничителем тока короткого, замыкания входных цепей. Сглаживающие реакторы созданы для сглаживания пульсаций выпрямленного тока и напряжения. Реакторы не предусматриваются, если индуктивность нагрузки достаточна для ограничения пульсаций в заданных пределах.

Нужно отметить тот факт что использование современного преобразователя на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором IGBT вместо существующего тиристорного преобразователя обосновано технологическим устаревания ТП. Частотные преобразователи на базе транзисторов IGBT выгодно отличаются качествами, важными как для потребителей, так и для изготовителей.

Первая особенность, которая способствовала быстрому внедрению преобразовательной техники на базе транзисторов IGBT, заключается в повышенной надежности и эксплуатационной готовности систем электропривода.

Второе важное качество заключается в том что, эти устройства обладают потенциальными возможностями для снижения затрат, благодаря удешевлению сборки и повышению эффективности систем электропривода. Уже на начальном этапе внедрения преобразователей, выполненных на запираемых тиристорах, было очевидно, что предельно достижимый уровень надежности ограничивается

сложностью таких устройств. Особенно сильное влияние на показатель надежности системы оказывали схемы цепей управления тиристорами. В отличие от запираемых тиристоров, транзисторы IGBT управляются напряжением при довольно малых управляющих токах заряда и разряда входной емкости полупроводникового прибора. Благодаря этому существенному отличию упрощается схема управления затвором. Надежность современных тяговых преобразователей, осуществленных на запираемых тиристорах, достигает требуемого уровня и замена элементной базы на IGBT технологию создает возможность для существенного улучшения этого показателя.

2.4 Сведения о блокировках, системе сигнализации и защите

Двери электрошкафа управления заблокированы с автоматическим выключателем при помощи конечных выключателей, при открывании двери отключается автоматический выключатель, предотвращая несанкционированный доступ. При необходимости производства технического осмотра при открытых дверях в электрошкафу, при включенном вводном автомате необходимо переключить пакетный переключатель ПА, расположенный на станции управления станком. При включении вводного автомата на станции управления, и шкафу загорается сигнальная лампа, сигнализирующая о наличии напряжения на станке. Перед закрытием дверей переключатель ПА необходимо поставить в прежнее положение.

Защита электродвигателей от длительных перегрузок осуществляется тепловыми реле, защита от токов КЗ в силовой цепи осуществляется автоматическими выключателями.

Защита всех цепей управления осуществляется плавкими предохранителями FU. Нулевая защита выполнена контакторной аппаратурой и кнопками управления SB. Ограничение крайних положений перемещения стола и бабки изделия осуществляется при помощи конечных выключателей SQ.

2.5 Обоснование модернизации электропривода поперечной подачи

Во время эксплуатации станка были выявлены следующие недостатки действующего электропривода поперечной подачи стола:

- Сравнительно низкий уровень К.П.Д. тиристорного преобразователя;
- Высокая инерционность преобразователя;
- Устаревшая на сегодняшний день, элементная база;
- Необходимость постоянного технического обслуживания щеточно-коллекторного узла двигателя постоянного тока;
- Низкая надёжность релейной автоматики;
- Необходимость применения цифровой техники для более тонкого и точного контроля процесса производства;
- Плохая общая эргономика рабочего места оператора;

Нужно отметить что в настоящий момент электропривод малоприспособлен для ремонта, т.к. оборудование привода подачи стола сильно, физически морально

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

устарело. Всё вышеперечисленное доказывает о необходимости модернизации электропривода подачи стола.

Проведение модернизации поможет исправить все перечисленные выше недостатки старого электропривода. Применение современного вентильного электропривода способствует устранению целого ряда недостатков электропривода постоянного тока. Вентильный двигатель значительно надежнее и энергоэффективнее старого двигателя постоянного тока. Плюсом также является отсутствие щеточно-коллекторного узла, это сильно снижает расходы на регулярное техническое обслуживание двигателя. Современные преобразователи на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором IGBT имеют более высокий К.П.Д. Они значительно компактнее, легче, быстрее и проще в управлении. Использование современных преобразователей позволяет повысить эргономику рабочего места так как они сравнительно меньше по размеру и позволяют свести систему управления на единую панель контроля.

Вентильный электродвигатель — это синхронный двигатель, основанный на принципе частотного регулирования с самосинхронизацией, суть которого заключается в управлении вектором магнитного поля статора в зависимости от положения ротора.

Вентильные двигатели также принято называть бесколлекторными двигателями постоянного тока. Все потому что контроллер этого двигателя обычно питается от постоянного напряжения.

Такой тип двигателя создан с целью улучшения свойств электродвигателей постоянного тока.

Датчик положения ротора (ДПР) реализует обратную связь по положению ротора относительно оси вращения. Работа этого датчика может быть реализована на разных принципах таких как фотоэлектрический и индуктивный, на эффекте Холла. Наибольшую популярность приобрели датчики Холла и фотоэлектрические датчики, потому что они практически безинерционны и позволяют избавиться от запаздывания в канале обратной связи по положению ротора.

Коммутация в ВД осуществляется и контролируется с помощью электроники.

Достоинства:

- Высокое быстродействие и динамика, точность позиционирования;
- Широкий диапазон изменения частоты вращения ротора;
- Бесконтактность и отсутствие коллекторного узла, требующего техобслуживания;
- Использование ВД во взрывоопасной и агрессивной среде;
- Большая перегрузочная способность по моменту;
- Высокие энергетические показатели (КПД более 90 % и $\cos\phi$ более 0,95%)
- Большой срок службы, повышенный ресурс работы благодаря отсутствию скользящих электрических контактов и высокая надёжность;
- Сравнительно низкий перегрев электродвигателя, при работе в режимах с потенциальными перегрузками;

Недостатки:

- Относительно сложная система управления двигателем, нужны дополни-

тельные знания и подготовка обслуживающего персонала;

- Высокая стоимость двигателя, обусловленная использованием дорогостоящих постоянных магнитов в конструкции ротора.

Выводы по главе 2.

В данной главе были проанализированы устройство универсального круглошлифовального станка модели 3В10, его технические данные и характеристики; привод поперечной подачи; анализ действующего электропривода поперечной подачи стола; сведения о блокировках, системе сигнализации и защите; приводится обоснование модернизации электропривода поперечной подачи стола.

Кроме того, ВД можно использовать в агрессивных, пожаро и взрывоопасных средах.

Использование современного транзисторного преобразователя для питания ВД позволит значительно повысить показатели надежности, энергоэффективности, ремонтпригодности электропривода поперечной подачи стола.

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

3 РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ

Определим динамические параметры привода подачи универсального круглошлифовального станка модели 3В10. Посчитаем скорость вращения двигателя, суммарное активное сопротивление, магнитный поток и время регулирования двигателя.

Номинальная угловая скорость вращения двигателя:

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ном}}}{30}; \frac{\pi \cdot 300}{30} = 31,4 \text{ рад/с} \quad (3.1)$$

Суммарное активное сопротивление якорной цепи электродвигателя определим из условия распределения потерь, считая, что половина потерь в двигателе идет на нагрев обмоток. Тогда:

$$R_{\Sigma} = \frac{P_{\text{н}}(1-\eta_{\text{н}})}{2\eta_{\text{н}}I_{\text{н}}^2}; \frac{1000 \cdot (1-0,8)}{2 \cdot 0,8 \cdot 282^2} = 0,0015 \text{ Ом} \quad (3.2)$$

значение номинального магнитного потока:

$$C\Phi_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}}R_{\Sigma}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{400 - 282 \cdot 0,0015}{31,4} = 12,7 \text{ В} \cdot \text{с} \quad (3.3)$$

Время регулирования, то есть время, за которое завершиться переходный процесс, составит:

$$t_{\text{р}} = \frac{K_{\text{ж}} \cdot J_{\text{дв}} \cdot \omega_{\text{н}}}{C\Phi_{\text{н}} \cdot I_{\text{пус}}}; \frac{2,5 \cdot 9,25 \cdot 31,4}{12,7 \cdot 2 \cdot 282} = 0,1 \text{ с} \quad (3.4)$$

Опираясь на /5/ определим коэффициент усиления тиристорного преобразователя как отношение среднего значения выпрямленного напряжения U_{d0} к максимальному напряжению управления $U_{\text{ym}} = 10 \text{ В}$.

$$K_{\text{ТП}} = \frac{U_{\text{d0}}}{U_{\text{ym}}}; \frac{887,8}{10} = 88,78 \quad (3.5)$$

$$U_{\text{d0}} = \frac{U_{2\phi}}{K_{\text{u}}}; \frac{380}{0,428} = 887,8 \text{ В} \quad (3.6)$$

где $K_{\text{u}} = 0.428$ — коэффициент схемы выпрямления.

Постоянная времени тиристорного преобразователя : $T_{\text{П}} = 2...4\tau$

$$\tau = \frac{1}{f}; \frac{1}{300} = 0,0033 \text{ с} \quad (3.7)$$

Постоянную времени тиристорного преобразователя принимаем равной $T_n = 0.01$ с — время, достаточное для восстановления запирающих свойств тиристоров после прохождения полуволны напряжения через 0.

Определим индуктивность якоря двигателя по эмпирической формуле:

$$L_{\text{яд}} = K \frac{30 \cdot U_n}{\pi \cdot n_n \cdot p \cdot I_n}; 0.5 \cdot \frac{30 \cdot 400}{\pi \cdot 900 \cdot 2 \cdot 282} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \quad (3.8)$$

Определим граничный угол отпирания тиристоров:

$$\alpha_{\text{max}} = \arccos\left(\frac{C_e' \cdot n_{\text{min}} + I_n \cdot R_{\text{яд}}}{U_{d0}}\right) \quad (3.9)$$

где C_e' — коэффициент пропорциональности между скоростью и ЭДС двигателя.

$$C_e' = \frac{U_n - I_n \cdot R_{\text{яд}}}{n}; \frac{400 - 282 \cdot 0,0401}{750} = 0,518 \quad \frac{\text{В} \cdot \text{об}}{\text{мин}} \quad (3.10)$$

Тогда, подставив получим граничный угол отпирания тиристоров равным:

$$\alpha_{\text{max}} = \arccos\left(\frac{0,518 \cdot 350 + 282 \cdot 0,0401}{887,8}\right); \arccos(0,2169) = 77,47^\circ \quad (3.11)$$

Определим постоянные времени полученной системы.

Электромагнитная постоянная якорной цепи двигателя:

$$T_\sigma = \frac{L_\Sigma}{R_\Sigma}; \frac{7,8 \cdot 10^{-3}}{42,76 \cdot 10^{-3}} = 0,1824 \text{ с} \quad (3.12)$$

Электромагнитная постоянная якоря двигателя:

$$T_{\text{я}} = \frac{L_{\text{яд}}}{R_{\text{яд}}}; \frac{7,5 \cdot 10^{-3}}{40,1 \cdot 10^{-3}} = 0,187 \text{ с} \quad (3.13)$$

Электромеханическая постоянная системы:

$$T_m = \frac{J_\Sigma \cdot R_\Sigma}{(C\Phi_n)^2}; \frac{23,125 \cdot 42,76 \cdot 10^{-3}}{(4,124)^2} = 0,0581 \text{ с} \quad (3.14)$$

где $J_\Sigma = K_j \cdot J_{\text{дв}}; 2,5 \cdot 9,25 = 23,125 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

K_j — коэффициент динамичности системы электропривода, показывающий во сколько раз система электропривода инерционней, чем двигатель.

4 ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ И СЕРВОПРИВОДА

4.1 Выбор двигателя

Выбор электродвигателя нужно проводить с учетом соответствия заявленной мощности и соответствия реальным требованиям станка. Установка двигателя слишком малой мощности приведет к нарушению нормального режима работы, и поломки. При малой мощности двигателя произойдет ускоренное старение изоляции, вызванное чрезмерным нагревом и выходом из круглошлифовального станка.

Установка и эксплуатация двигателя завышенной мощности повлечет за собой существенные потери энергии за счет снижения КПД двигателя. Плюс увеличится закупочная стоимость электропривода в целом.

Двигатель проверяется на соответствие условиям пуска и возможных перегрузочных факторов. Такие испытания можно произвести на испытательном стенде.

Выбор серийных электродвигателей производится с учетом необходимых показателей:

1. Соответствие типу конструктивного исполнения. Конструкция электродвигателя должна соответствовать условиям его установки на круглошлифовальный станок модели 3В10. Выпускаемые электродвигатели имеют разное конструктивное исполнение по расположению валов и способам крепления на лапах или фланцевый.

2. Определение скорости вращения обуславливается оптимальным выбором скорости вращения электродвигателя. Такие значения обычно считают по передаточному числу уже использующегося редуктора, и скоростью исполнительного органа круглошлифовального станка модели 3В10. Чтобы начать проектирование электропривода, с помощью определения передаточного числа редуктора, и подсчета номинальной скорости вращения двигателя. Нужно произвести технико-экономическое сравнение представленных вариантов.

Для повышения технико-экономических показателей работы электропривода, Особое внимание уделим выбору электроприводов, работающих с частыми включениями, выключениями и реверсами. Правильный выбор номинальной скорости двигателя и передаточного числа редуктора позволяет повысить этот показатель.

3. Выбор по роду тока и напряжению осуществим, по соответствию сетям переменного или постоянного напряжения и тока на территории нашего завода.

4. По типу защиты IP, от воздействия окружающей среды и вариантам вентиляции. От вида работы в разных условиях окружающей среды, зависят его срок службы и безопасность эксплуатации. Тип защиты электродвигателя от действия окружающей среды различаются открытые, защищенные и герметичные двигатели. В разновидностях окружающей среды влажный климат, химически активные зоны, низкие температурные режимы, взрывоопасная среда и т.д. - производят специальные типы двигателей.

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

При диапазоне смены скорости от минимальной ω_{\min} до максимальной ω_{\max} момент нагрузки постоянен ($M_c = \text{const}$), а мощность нагрузки $P_c = M_c \omega$ увеличивается, во время увеличения скорости по линейному закону. Считаем мощность избираемого электродвигателя, опираясь на необходимые моменты на валу и скорости вращения. Двигатель обязан поддерживать номинальный крутящий момент для поперечной подачи 17 Нм при частоте вращения $n = 750 \text{ min}^{-1}$

Регулирование скорости при постоянном моменте, такой способ осуществляет регулирование скорости вниз от номинальных значений. Вследствие этого номинальная скорость вращения двигателя отвечает параметрам максимальной в заданном диапазоне скоростей, $\omega_{\text{номд}} = \omega_{\text{макс}}$. Номинальный момент электродвигателя обязан быть принят равным по моменту нагрузки, $M_{\text{ном}} = M_c$ и по этому номинальная мощность выбираемого электродвигателя должна быть не менее:

$$P_{\text{ном}} = M_{\text{ном}} \omega_{\text{ном}} = M_c \omega_{\text{ном}} = M_c \omega_{\text{макс}} = P_{\text{макс}} \quad (4.1)$$

$$P_{\text{ном}} = 17 \text{ Нм} \cdot 750 \text{ min}^{-1} / 9,55 = 1,335 \text{ кВт.}$$

Требованию по мощности и моменту удовлетворяет ВД модели 5ДВМ215А15.

Таблица 4.1 – Предоставленные паспортные данные двигателя 5ДВМ215А15

Параметр	Единица измерения	Значение
Напряжение номинальное	В	24
Мощность номинальная	кВт	1,5
Момент номинальный	Н · м	23
Максимальная частота вращения	об/мин	4000
Число полюсов	шт	6
Длительность импульсов управления каналов В1, В2	эл.град.	180
Сдвиг фаз между каждыми соседними двумя каналами В1, В2, В3	эл.град.	120
Выходное напряжение тахогенератора при внешней нагрузке 20 кОм при скорости n_{\max}	В	10
Длина без тормоза (с тормозом)	мм	407(457)
Масса без тормоза (с тормозом)	кг	32(37)
Момент инерции ротора без тормоза (с тормозом)	кг·см ²	100

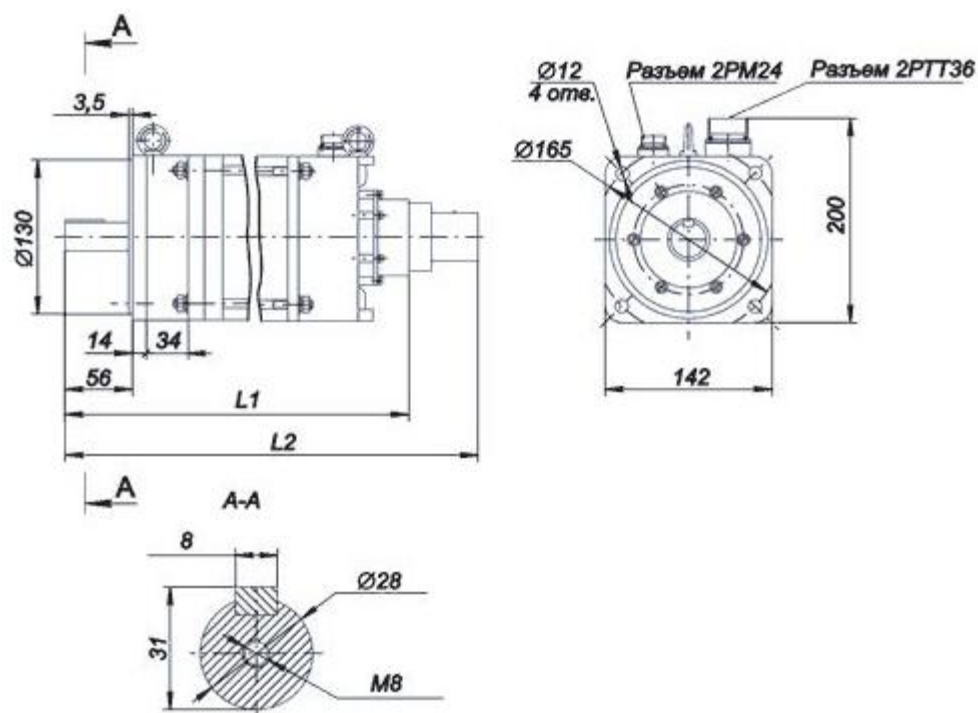


Рисунок 4.1-Чертеж общего вида двигателя 5ДВМ215А15

4.2 Выбор сервопривода

Сервопривод (servodrive: англ) — привод, управление в котором основано на отрицательной обратной связи. Для погашения части входного сигнала, выходной сигнал передается обратно на вход. Отрицательная обратная связь делает систему более устойчивой к случайному изменению параметров. Сервоприводом может называться такой привод, в состав которого входит датчик обратной связи (энкодер), блок управления приводом. Сервопривод является точным исполнительным устройством. Сервоприводом можно назвать любой электрический привод, применяемый в автоматизированных системах и обладающий обратной связью.

Сервопривод СПС производится серийно на Заводе Мехатронных Изделий(ЗМИ). Сервопривод СПС представляет собой комплексное законченное решение по автоматизации или модернизации промышленного оборудования.

Комплектный сервопривод СПС включает в себя синхронный двигатель, датчик позиции (энкодер), частотный преобразователь, встроенный блок питания, замкнутое регулирование позиции, функция плавного разгона и торможения, внутренний программируемый логический контроллер и контроллер движения.

Специально разработанная для сервопривода СПС программа (система управления движением) позволяет использовать сервопривод без применения дорогостоящей системы ЧПУ.

Все, что нужно для полноценного использования этой системы, это спроектировать требуемое изделие (модель) в САД-системе, затем загрузить программу

в САМ-систему и в «Мотомастер» (специальная программа для работы с Сервоприводом).

После загрузки в САМ-систему и «Мотомастер» программа может быть выполнена, обрабатывающими G и M коду, приводами. Опционально, для сервопривода СПС доступен интерпретатор G-кодов.

Сервопривод представляет собой комплект двигателя и сервоусилителя, который выполняет управление серводвигателем. Внешний вид сервопривода СПС показан на рисунке 4.2. Сервоусилитель СПС 25 обеспечивает замкнутое регулирование по току, скорости и позиции. Управление серводвигателем основано на алгоритме векторного управления.

В состав сервоусилителя входит пульт оперативного управления СТ1-112 (см. рис. 4.2).

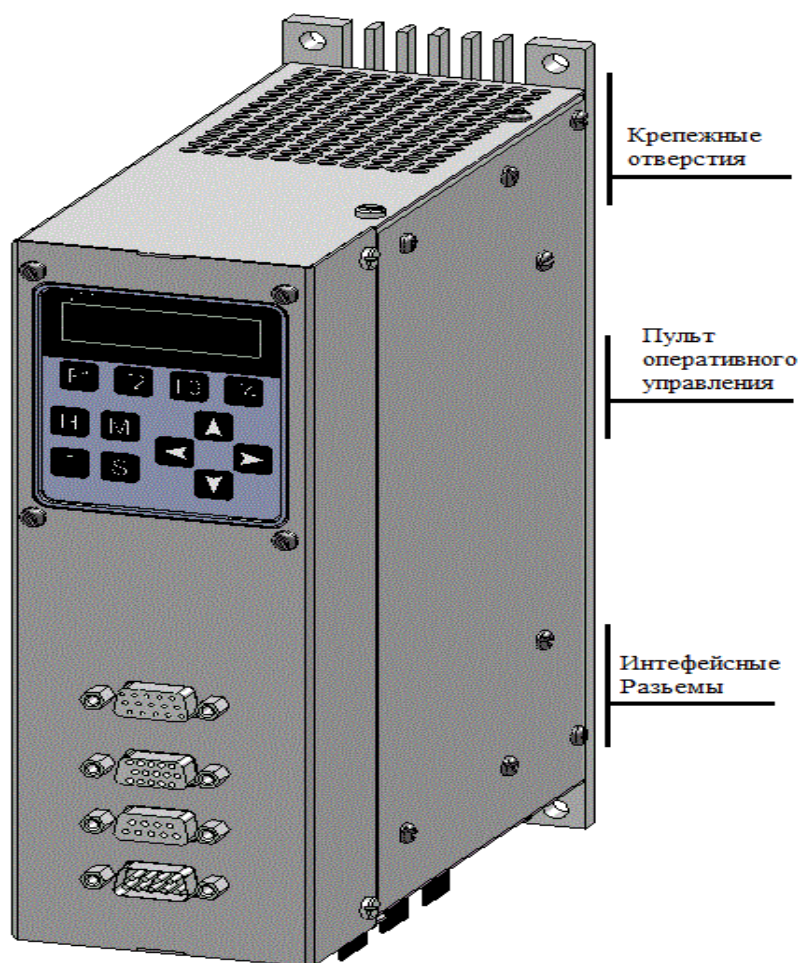


Рисунок 4.2 – Сервоусилитель СПС 25

Преимущества внедрения сервопривода:

- экономичность (ведь не нужно приобретать и настраивать дорогостоящую систему ЧПУ).
- высокая производительность.
- простой монтаж позволит сэкономить время.

- цифровое управление приводами по шине CAN (1 Мбит/с).
- управление рассогласованием между математической моделью изделия и траекторией обрабатывающего инструмента.

Преимущества и особенности сервопривода СПС.

Сервопривод СПС включает в себя:

- преобразователь частоты.
- внутренний блок питания (встроенный).
- функция плавного пуска/торможения.
- встроенный программируемый логический контроллер (отвечает как за реализацию собственной логики работы сервопривода, так и за реализацию логики в рамках распределенной системы без контроллера управления верхнего уровня).
- встроенный пульт оператора, для всех необходимых настроек сервопривода СПС.
- встроенные в сервопривод СПС плоттер и осциллограф, которые позволяют проанализировать работу отдельного привода и получить контурную траекторию движения системы в целом с высоким разрешением.
- низкая, по сравнению с существующими аналогами цена.
- небольшой срок поставки.
- ПО «Мотомастер» и техническая документация к сервоприводу СПС на русском языке.
- качественное и своевременное гарантийное и сервисное обслуживание.
- безопасность (за безопасность сервопривода СПС отвечает система датчиков, которые предохраняют сервопривод от короткого замыкания, перегрева, скачков напряжение и т.п.

Сервоприводы серии СПС25 питаются однофазным переменным напряжением 220В ±10%50Гц. Напряжение питания подключается к разрывной клеммной колодке ХР3 как показано на рисунке 4.3.

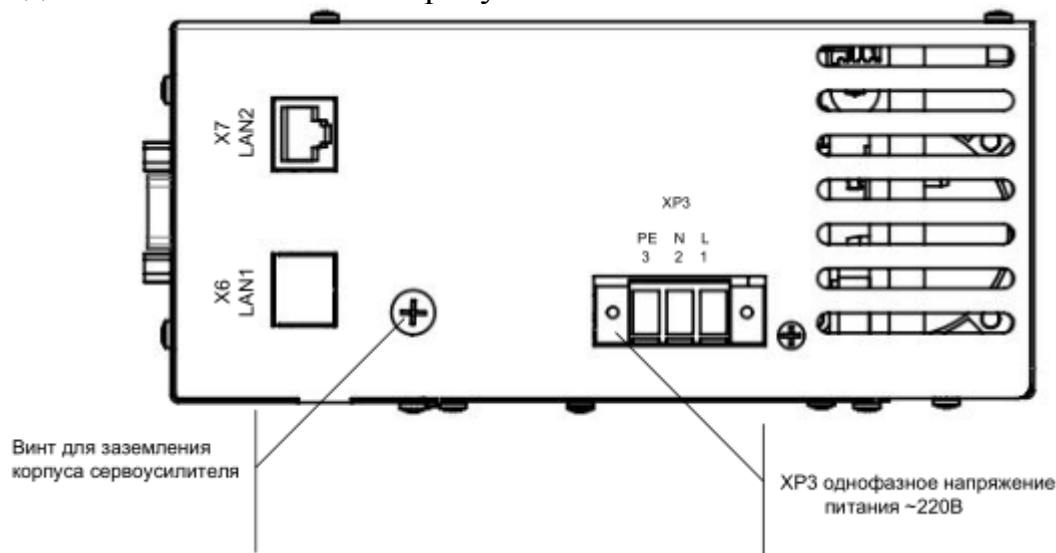


Рисунок 4.3- Подключение однофазного напряжения питания ~220 Вольт к сервоусилителю СПС25

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.19.276.06.00 ПЗ

Лист

29

Серводвигатель и внешний тормозной резистор подключаются к разъему XP2 (рис. 4.4).



Рисунок 4.4- Силовые разъемы сервоусилителя СПС25

Настройка фазы двигателя производится с помощью ПО «МотоМастер». Для этого:

1. Подключитесь к нужному серводвигателю.
2. Выполните пункт меню Инструменты\Фазировка двигателя.
3. Запустите процесс поиска фазы.
4. Закройте диалоговое окно по завершению операции.

Выводы по главе 4.

В данной главе был проведен выбор конкретной модели ВД согласно требуемой мощности, максимальной частоты вращения и номинальному моменту; выбор модели сервопривода.

В результате были выбраны ВД модели 5ДВМ215А15 и сервопривод СПС 25.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

5. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 3В10

Вентильным моментным электродвигателем 5ДВМ215А15 можно возможно выполнять такие типы операций как осевое вращения ротора, поворота и удержания приложенной нагрузки на выходном валу. Работает со следящим датчиком положения угла ротора, собранный из нескольких микросхем TLE4935L. Наружная поверхность ротора имеет вид наподобие стакана, благодаря нее на внутренней стороне которого установлены редкоземельные магниты. В статоре уложена трехфазная обмотка, соединенная по типу в звезду. Вращение ротора осуществляется с помощью подшипников.

Испытания проведенные производителем, гарантируют что двигатель выдерживает двукратное превышение момента в течение 60 секунд. Не теряет работоспособность при температуре окружающей среды ± 40 °С. Тип исполнения и диаметр выходного вала и тип контактного гнезда согласуются с заказчиком. В состав схемы вентильного двигателя (ВД) входят основные узлы:

- электромеханический преобразователь (ЭМП);
- датчик положения ротора (ДПР);
- полупроводниковый коммутатор (ПК).

Структурная схема вентильного электропривода представлена на рисунке 5.1.

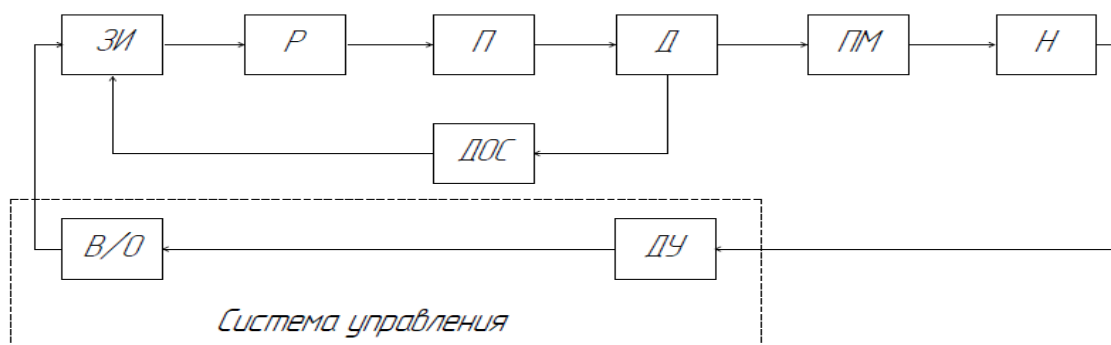


Рисунок 5.1- Структурная схема вентильного электропривода:

ЗИ – задатчик интенсивности; Р – регулятор скорости; П – преобразователь; Д – двигатель; ДПС – датчик обратной связи; ПМ - передаточный механизм; Н – нагрузка; ДУ – датчик угла; В/О – включение (отключение).

Аббревиатура ЭМП олицетворяет в себе синхронную машину исполненным типом возбуждения от постоянных магнитов установленных на роторе. Принцип работы ВД соответствует типу классического ДПТ независимого возбуждения, при повороте ротора на определенный угол, подключаются соответствующие секции обмотки якоря, которыми наиболее целесообразно создавать вращающий момент. Отличие лишь в типе питания секций якоря, в типичном ДПТ роль коммутирующего элемента исполняет щеточно-коллекторный узел, переключение секций ВД обеспечивается ПК в зависимости от положения ротора, определяемого ДПР.

Функциональная схема четырехсекционного ВД с нереверсивным способом

подключения силовых обмоток статора и дискретным ДПР. Совместная работа полей статора и ротора формирует вращающий момент двигателя, ротор вращается на определенный угол, это явление способствует переключению ДПР, и такой цикл повторяется вновь. Существует несколько способов соединения фазных обмоток ВД между собой:

1- звезда; 2- разомкнутая обмотка (РО); 3- кольцо, замкнутая (ЗО). Довольно часто используется разомкнутая обмотка, По причине требующей большого количества силовых ключей, гальванически развязанные фазы применяются не так часто. Замкнутая обмотка в ВД применяется редко из-за повышенного тока через ключи СИ.

Сервоусилитель использует сигнал (ШИМ). Побочным эффектом применения ШИМ импульсов это сильный уровень высокочастотных помех, они распространяются в сеть из сервоусилителя. Такие помехи сразу вызывают различные ошибки в работе различных интерфейсов. Данные помехи могут создавать ложные импульсы на интерфейсах управления Step/Dir или сигналах обратной связи с датчиков позиции. Для снижения степени помех, создаваемых приводом сети питания, рекомендуется применять внешний сетевой фильтр. При выборе сетевого фильтра обязательно знать номинальную мощность сервоусилителя.

Выводы по главе 5.

В данной главе проведена разработка электрической принципиальной схемы электропривода поперечной подачи универсального круглошлифовального станка модели 3В10. Электрическая схема управления совместно с силовой схемой представлена на чертеже формата А1.

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

6. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 3В10

6.1 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 6.1.

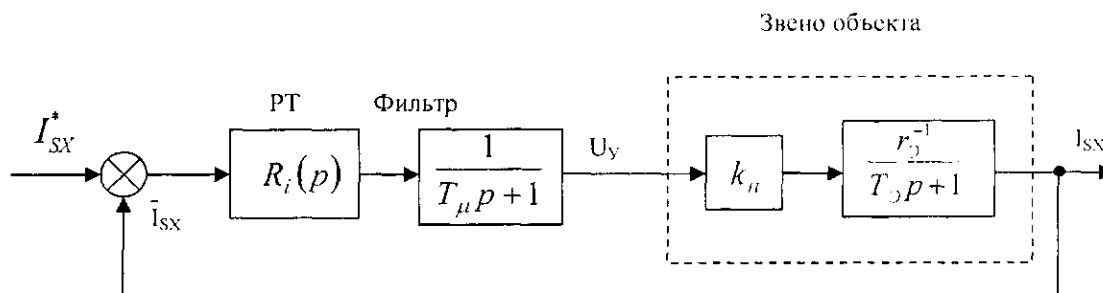


Рисунок 6.1 – Расчётная схема САР тока

Передаточная функция имеет вид:

$$\Phi_0(p) = \frac{1}{T_\mu p + 1}. \quad (6.1)$$

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:

$$R_i(p) = W_i^{-1}(p) \frac{1}{T_i p} = \frac{T_\sigma + 1}{\frac{k_p}{r_\sigma} T_i p} = \frac{T_\sigma + r_\sigma}{k_p T_i} + \frac{1}{\frac{k_p}{r_\sigma} T_i p} \quad \text{- «ПИ» регулятор,} \quad (6.2)$$

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

Замкнутая типовая передаточная функция контура тока имеет вид:

$$G_i(p) = \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}. \quad (6.3)$$

6.2 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 β_{Ψ_r} .

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

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

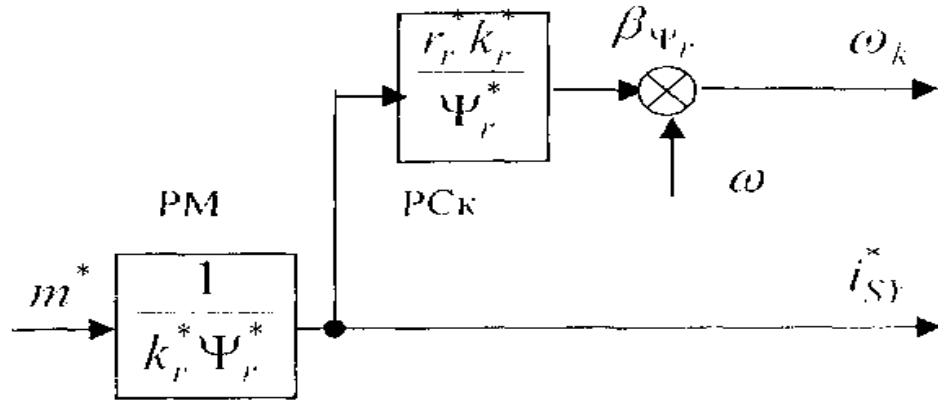


Рисунок 6.2 – Структурная схема регулятора электромагнитного момента

При этом передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$\Phi_m(p) = G_i(p) = \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}. \quad (6.4)$$

Контур момента имеет высокое быстродействие, На динамику оказывает влияние изменение потокосцепления ротора.

6.3 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.

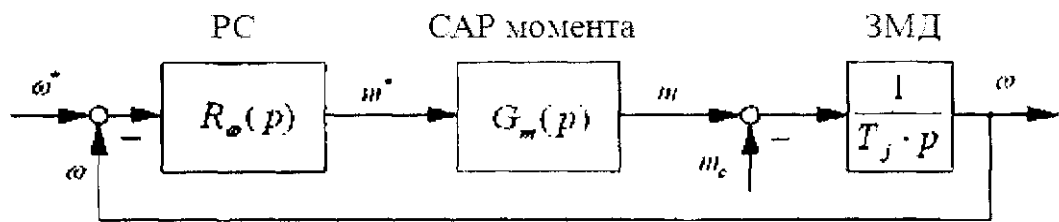


Рисунок 6.3 – Структурная схема для синтеза регулятора скорости

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

$$\Phi(p) = \frac{1}{T'_\omega p + 1}. \quad (6.5)$$

Передаточная функция регулятора скорости имеет вид:

$$R_\omega(p) = \frac{T'_\omega p + 1}{T'_\omega p} \cdot \frac{T_j}{T_\omega}. \quad (6.6)$$

Где постоянные времени определяются как:
для настройки на модульный оптимум.

$$T'_\omega = 2T_\omega = 4T_j = 8T_\mu, \quad (6.7)$$

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

$$\Phi_\omega(p) = \frac{8T_\mu + 1}{8T_\mu} \cdot \frac{1}{4T_\mu p} \cdot \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}. \quad (6.8)$$

Типовая передаточная функция замкнутой системы по управляющему воздействию имеет вид:

$$G_{Mc}^\omega(p) = \frac{32T_\mu^2 p}{T_j} \cdot \frac{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}{64T_\mu^4 p^4 + 64T_\mu^3 p^3 + 32T_\mu^2 p^2 + 8T_\mu p + 1}. \quad (6.9)$$

Типовой переходный процесс по управляющему воздействию имеет следующие показатели качества:

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

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

– 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:

$$G_{Mc}^{\omega}(0) = 0. \quad (6.10)$$

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:

$$k_{п} = \frac{T_j}{T_{\omega}}. \quad (6.11)$$

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

$$T_{и} = \frac{T_{\omega} \cdot T'_{\omega}}{T_j}. \quad (6.12)$$

Эти формулы используются при составлении модели в среде Simulink 4.0 входящего в пакет MATLAB 7.0.

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 6.4.

6.4 Расчёт параметров структурной схемы привода

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

Напряжение на выходе неуправляемого выпрямителя:

$$U_d = U_{ном.дв} = 24 В. \quad (6.13)$$

Активное сопротивление фазы двигателя:

$$R_H = r_1 + \frac{r'_2}{s_H}; 3,77 + \frac{2,43}{0,038} = 67,726 \text{ Ом}. \quad (6.14)$$

Индуктивность фазы двигателя:

$$L_H = \frac{x_1 + x'_2}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}; \frac{2,48 + 4,315}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,022 \text{ Гн.} \quad (6.15)$$

Постоянная времени нагрузки:

$$T_H = \frac{L_H}{R_H}; \frac{0,022}{67,726} = 3,194 \cdot 10^{-4} \text{ с.} \quad (6.16)$$

Входной ток инвертора (выходной ток выпрямителя):

$$I_d = \frac{2 \cdot U_d}{3 \cdot R_H} \cdot \left(1 - 3 \cdot f_1 \cdot T_H \cdot \frac{1 - a^2}{1 - a + a^2} \right); \quad (6.17)$$

$$\frac{2 \cdot 24}{3 \cdot 67,726} \cdot \left(1 - 3 \cdot 50 \cdot 3,932 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1 - 2,932 \cdot 10^{-5}}{1 - 2,932 \cdot 10^{-5} + (2,932 \cdot 10^{-5})^2} \right) = 7,374 \text{ А}$$

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:

$$C_\Phi = \frac{U_d \cdot T_H}{3 \cdot R_H \cdot \Delta U_C} \cdot (2 \cdot \ln(2) - 1); \quad (6.18)$$

$$\frac{24 \cdot 3,194 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 67,726 \cdot 2,4} \cdot (2 \cdot 0,693 - 1) = 6,072 \cdot 10^{-6} \text{ Ф,}$$

где $\Delta U_C = 0,1 \cdot U_d = 0,1 \cdot 24 = 2,4 \text{ В}$ - допустимое увеличение напряжения на входе инвертора.

Фиктивное сопротивление:

$$R_i = \frac{M_H}{k_{СГ1} \cdot k_{СГ2} \cdot M_{ПФН}} \cdot \frac{\nu}{s_H} \cdot \frac{1}{I_{1ФФ}}; \quad (6.19)$$

$$\frac{18}{0,042 \cdot 0,986 \cdot 141,892} \cdot \frac{1}{0,038} \cdot \frac{1}{4,436} = 138,524 \text{ Ом,}$$

где $k_{СГ1} = \frac{\gamma}{U_d}; \frac{1}{24} = 0,042$ - коэффициент согласования относительно значения фазного напряжения статора двигателя с входным напряжением инвертора;

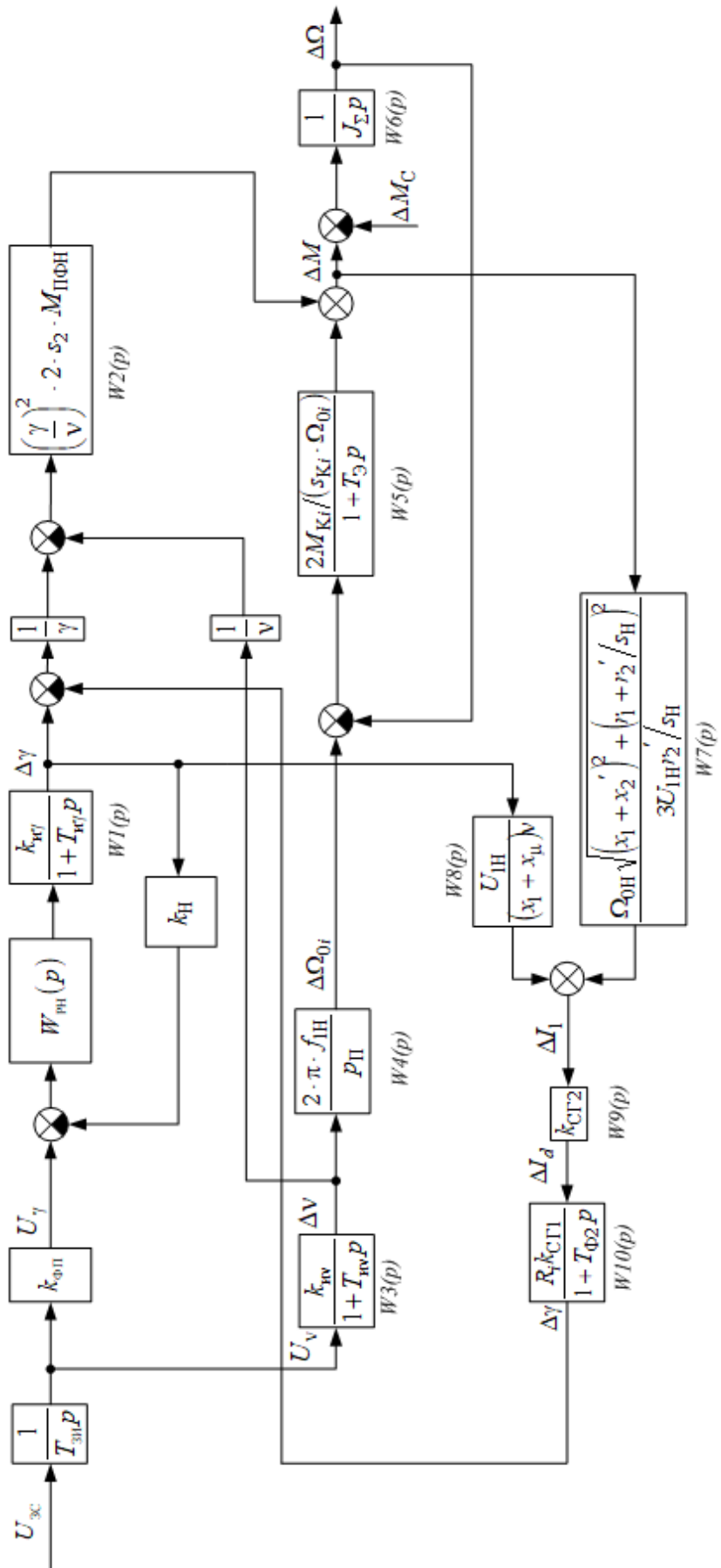


Рисунок 6.4 – Структурная схема привода

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

$$k_{\text{сг2}} = \frac{I_d}{I_{\text{1ФН}}}; \frac{7,374}{7,5} = 0,986 \text{ - коэффициент согласования входного тока инвертора с фазным током статора двигателя;}$$

при номинальных значениях напряжения и частоты, определяемый в результате линеаризации рабочей части механической характеристики двигателя.

$$M_{\text{пФН}} = \frac{2 \cdot M_{\text{к}}}{s_{\text{к}}}; \frac{2 \cdot 23}{0,296} = 141,892 \text{ Н}\cdot\text{м} \text{ - фиктивный пусковой момент двигателя}$$

Постоянная времени сглаживающего фильтра:

$$T_{\text{Ф2}} = C_{\text{Ф}} \cdot R_i; 6,6072 \cdot 138,524 = 8,411 \cdot 10^{-4} \text{ с.} \quad (6.20)$$

Коэффициент передачи инвертора:

$$k_{\text{и}} = \frac{v_{\text{max}}}{U_{\text{vmax}}}; \frac{1}{10} = 0,1 \quad (6.21)$$

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

$U_{\text{vmax}} = 10 \text{ В}$ - максимальное напряжение задания частоты.

Критическое скольжение двигателя:

$$s_{\text{ки}} = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2 \cdot v^2}}; \frac{2,43}{\sqrt{3,77^2 + (2,48 + 4,315)^2 \cdot 1}} = 0,313. \quad (6.22)$$

Критический момент двигателя:

$$M_{\text{ки}} = \frac{3 \cdot U_{\text{1Ф}}^2}{2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p_{\text{п}}} \cdot \left[r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2 \cdot v^2} \right]}; \quad (6.23)$$

$$\frac{3 \cdot 24^2}{2 \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} \cdot \left[3,77 + \sqrt{3,77^2 + (2,48 + 4,315)^2 \cdot 1^2} \right]} = 20,025 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Электромагнитная постоянная времени двигателя:

$$T_{\text{Э}} = \frac{\left[\frac{x_1 + x_2'}{2 \cdot \pi \cdot f_1} \right]}{r_1 + r_2'}; \frac{\left[\frac{2,48 + 4,315}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} \right]}{3,77 + 2,43} = 3,489 \cdot 10^{-3}. \quad (6.24)$$

Приведённый момент инерции на валу двигателя:

$$J_{\Sigma} = 1,1 \cdot J_{\text{д}} + J_{\text{м}}; 1,1 \cdot 0,038 + 0,005 = 0,047 \cdot \text{кг}\cdot\text{м}^2, \quad (6.25)$$

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

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

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

$$W_{PH}(p) = \frac{1}{T_{ИГ} \cdot k_{ИГ} \cdot k_H \cdot p}, \quad (6.26)$$

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

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

k_H - 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:

$$k_{ИГ} = \frac{\gamma_H}{U_{уиГ}} = \frac{1}{U_{уиГ}}, \quad (6.27)$$

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

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

Коэффициент передачи обратной связи по напряжению:

$$k_H = \frac{U_{\gamma\max}}{\gamma_H} = U_{\gamma\max}, \quad (6.28)$$

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

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

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

Следовательно $k_H = 10$.

6.5 Расчёт передаточных звеньев структурной схемы

Для расчёта по структурной схеме, показанной на рисунке 6.4, рассчитаем передаточные функции:

$$W_{PH}(p) = \frac{1}{T_{ny} \cdot k_{ny} \cdot k_H \cdot p}; \frac{1}{0,001p}; \quad (6.29)$$

$$W1(p) = \frac{k_{ny}}{1 + T_{ny}p}; \frac{0,1}{1 + 0,001p}; \quad (6.30)$$

$$W2(p) = \left(\frac{\gamma}{\nu}\right)^2 \cdot 2 \cdot s_2 \cdot M_{\text{ПФН}}; \left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot 2 \cdot 0,038 \cdot 141,892 = 10,784; \quad (6.31)$$

$$W3(p) = \frac{k_{nv}}{1 + T_{nv}p}; \frac{0,1}{1 + 0,005p}; \quad (6.32)$$

$$W4(p) = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}{p_{\Pi}}; \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314,159; \quad (6.33)$$

$$W5(p) = \frac{2 \cdot M_{ki} / (s_{ki} \cdot \Omega_{oi})}{1 + T_{\Sigma}p}; \frac{0,815}{1 + 3,489 \cdot 10^{-3} \cdot p}; \quad (6.34)$$

$$W6(p) = \frac{1}{J_{\Sigma}p}; \frac{1}{0,047p}; \quad (6.35)$$

$$W7(p) = \frac{\Omega_{0H} \sqrt{(x_1 + x_2')^2 + (r_1 + r_2'/s_H)}}{3 \cdot U_{1H} \cdot r_2'/s_H} = 0,253 \quad (6.36)$$

$$W8(p) = \frac{U_{1H}}{(x_1 + x_{\mu})\nu} = 31,989; \quad (6.37)$$

$$W9(p) = k_{CR2} = 0,986; \quad (6.38)$$

$$W10(p) = \frac{R_i \cdot k_{CR1}}{1 + T_{\phi 2}p}; \frac{0,297}{1 + 8,411 \cdot 10^{-4} p}. \quad (6.39)$$

6.6 Моделирование режимов работы

Для расчёта переходных процессов воспользуемся приложением Vissim. Для этого с помощью интерфейса программы создадим модель системы приведённую на рисунке 6.4, числовые значения рассчитаны в п. 6.4 и 6.5. Полученная математическая модель показана на рисунке 6.5. 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 Score и Score1 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 6.6-6.9. Частоту вращения укажем в % от номинальной, заданной сервоусилителем.

Пуск электропривода поперечной подачи при технологическом процессе осуществляется в режиме холостого хода, далее начинается процесс шлифовки, и следует наброс нагрузки. Поэтому целесообразно рассмотреть переходные процессы именно для этих режимов.

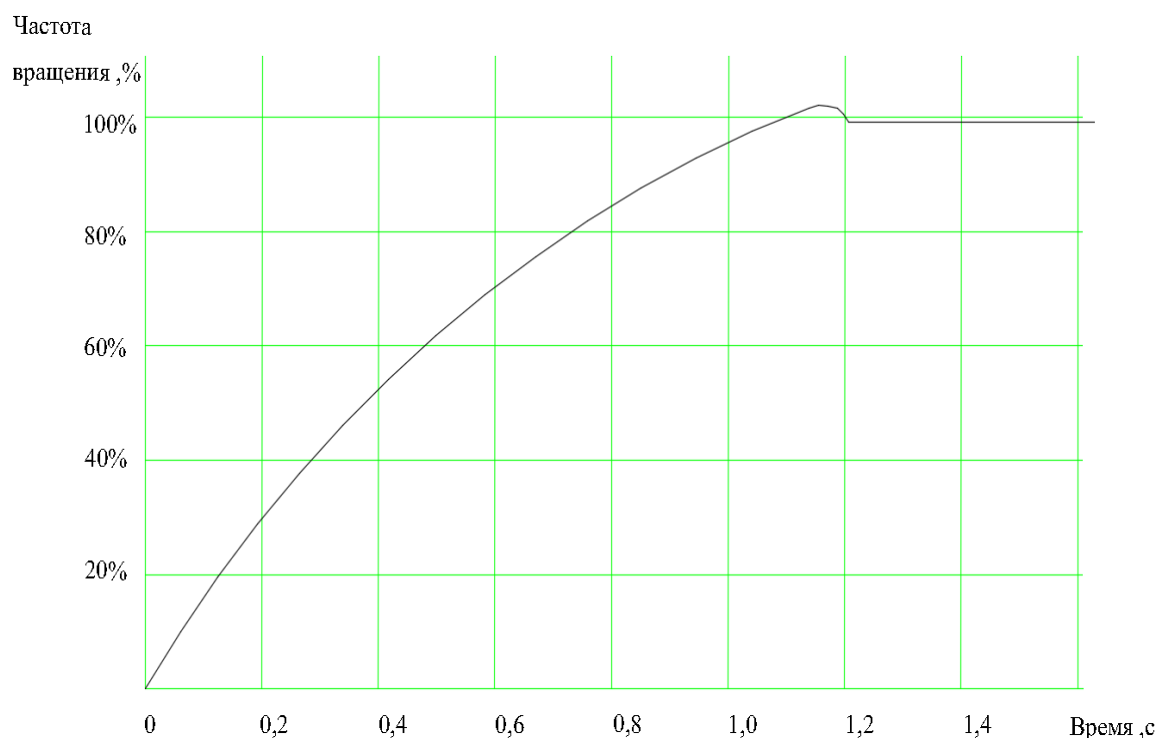


Рисунок 6.6 – Переходный процесс скорости при пуске двигателя

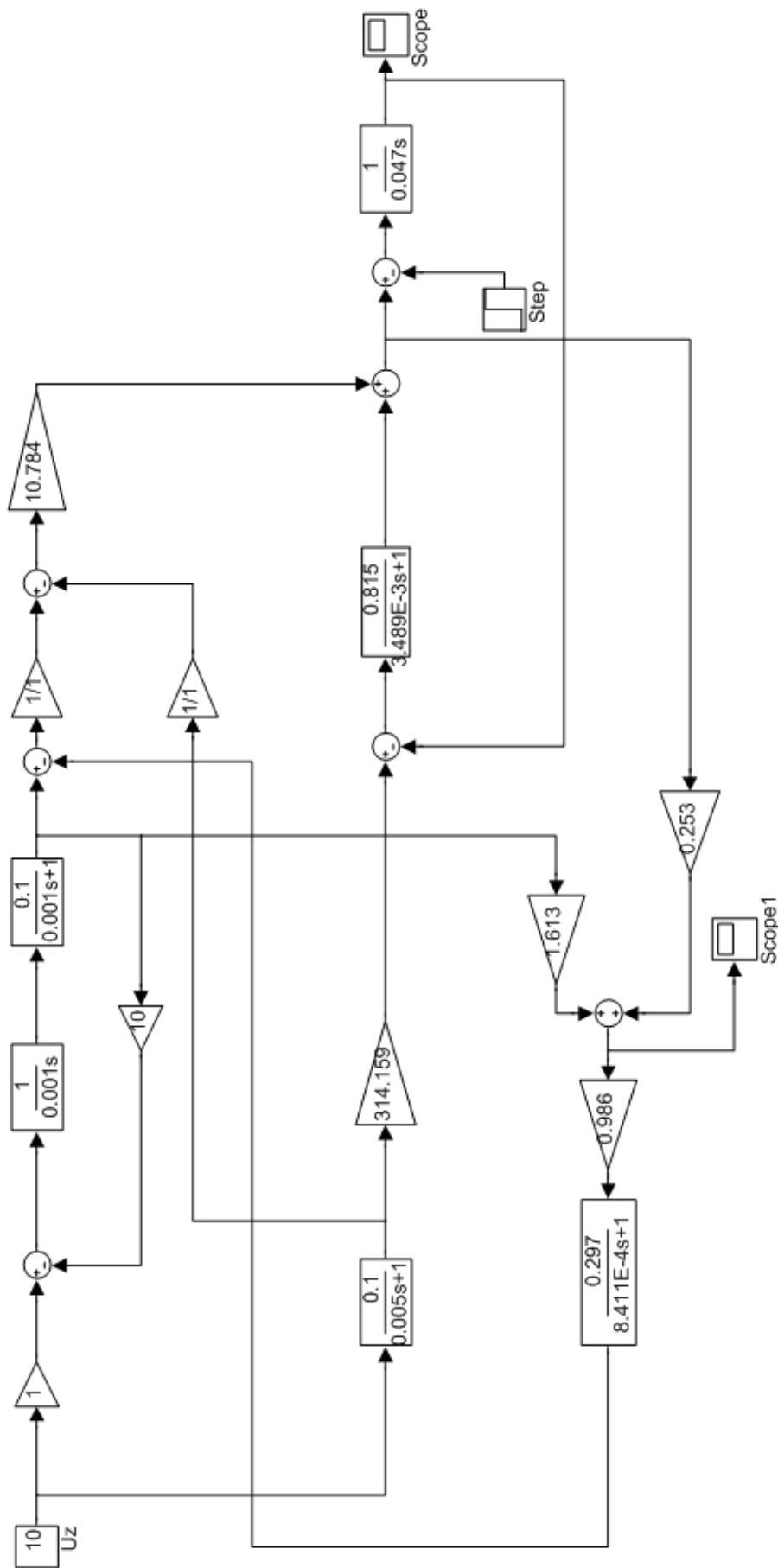


Рисунок 6.5- Математическая модель электропривода

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.19.276.06.00 ПЗ

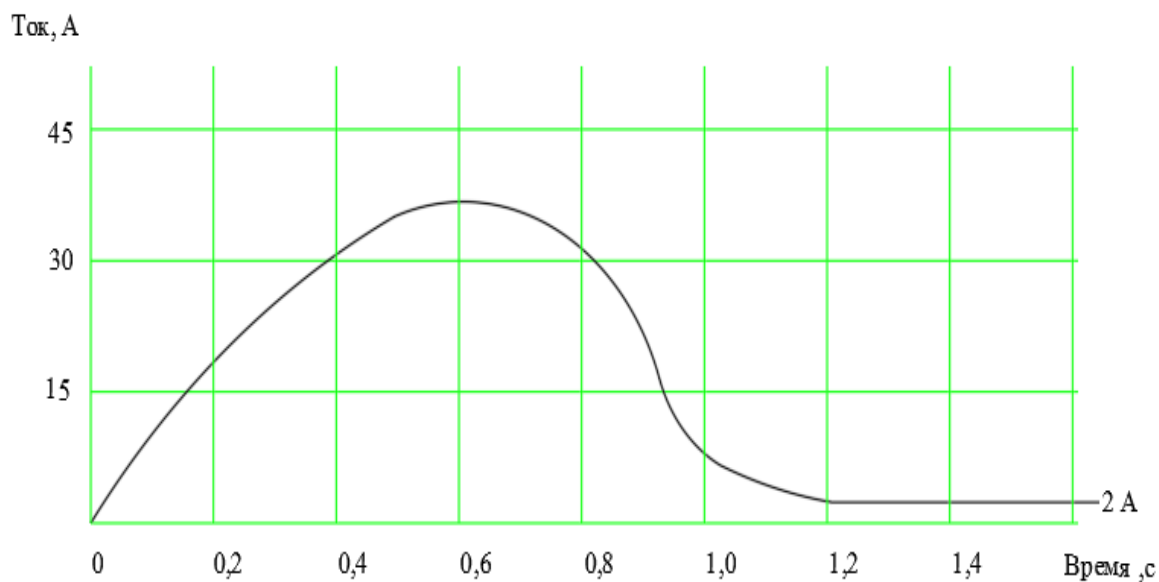


Рисунок 6.7 – Переходный процесс тока при пуске двигателя

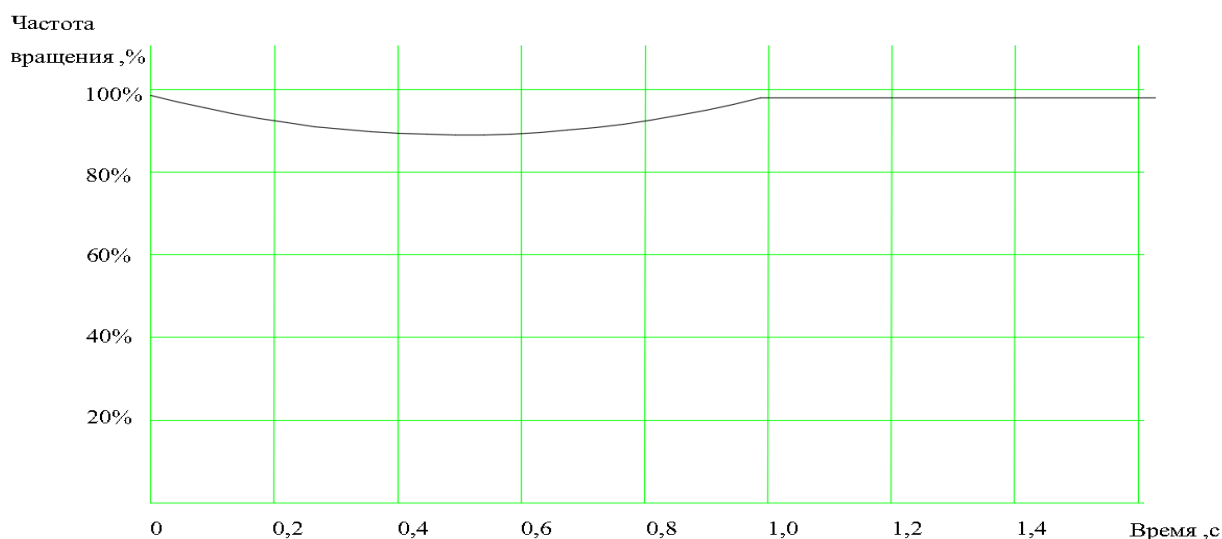


Рисунок 6.8 – Переходный процесс скорости при набросе нагрузки

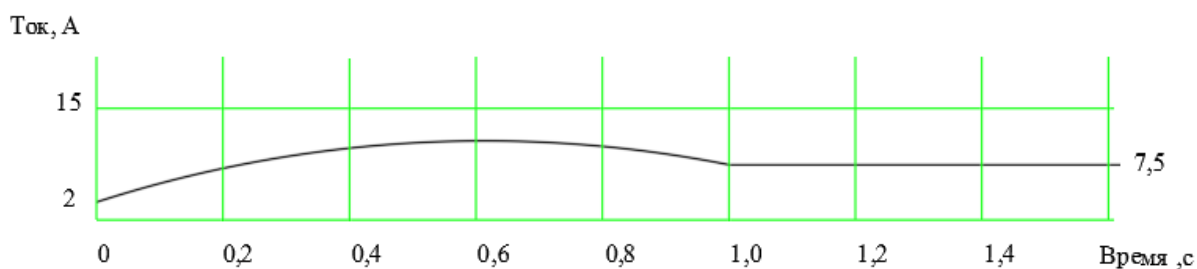


Рисунок 6.9 – Переходный процесс тока при набросе нагрузки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Анализ переходных процессов.

Анализируя вид переходных процессов можно сделать вывод что при пуске скорость вращения вала двигателя составляет около 109% от максимальной для заданной сервоприводом частоты. Длительность превышения составляет 0,08 с, далее сервопривод понижает скорость до 97 % от максимальной длительно допустимой. Первоначальный бросок тока составляет порядка 36,5 А (см. рисунок 6.7) что примерно в 5 раза превышает номинальный, что является допустимым для сервопривода. При набросе нагрузки происходит вначале снижение частоты вращения вала двигателя до 88 % от номинальной, далее сервопривод понижает скорость до 97 % от максимальной длительно допустимой. Длительность превышения составляет 0,98 с. Ток при этом плавно возрастает от значения холостого хода до рабочего.

Выводы по главе 6

В данной главе 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. По результатам рассчитанный электропривод является допустимым к использованию.

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

7.1 Общие положения

В экономической части ВКР проведем исследование экономической целесообразности применения электропривода на основе ВД 5ДВМ215А15 мощностью 1,5 кВт в поставке с сервоприводом СПС25 в системе привода поперечной подачи стола, станка ЗВ10 взамен ранее применяемого тиристорного преобразователя ПТ02 с электродвигателем постоянного тока ЭП-110/245-С1 мощностью 0,245 кВт.

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

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

7.2 Оценка годовой производительности станка

Оценим показатели качества с точки зрения производительности.

Электродвигатель 5ДВМ215А15 с сервоприводом СПС25 имеют лучшие рабочие параметры (мощность, напряжение, частота вращения, момент инерции, диапазон регулирования, влияние на сеть и т. д.) по сравнению с электродвигателем постоянного тока ЭП-110/245-С1 с тиристорным преобразователем ПТ02.

Кроме того, двигатель 5ДВМ215А15 с сервоприводом СПС25 имеют лучшие габаритные показатели, большую надежность и, следовательно, меньшее время простоев и, соответственно большую величину эффективного производственного времени, чем двигатель ЭП-110/245-С1 и преобразователь ПТ02.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что применение двигателя 5ДВМ215А15 с сервоприводом СПС25 в электроприводе червячного пресса должно повысить производительность станка, на котором он будет установлен, за счет экономии времени на технологическое обслуживание, т. е. за счет времени бесперебойной работы машины. Также вырастет качество продукции.

7.3 Определение капитальных затрат

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

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

$$K_i = K_{об.і} + K_{трансі} + K_{смрі} + K_{прочі}, \quad (7.1)$$

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

где K_i – капитальные затраты;
 $K_{об.i}$ – 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 5ДВМ215А15 с сервоприводом СПС25, а «2» – старому электроприводу ЭП-110/245-С1 и преобразователю ПТ02.

Стоимость вентильного электропривода 5ДВМ215А15 с сервоприводом СПС25, согласно прайс-листу приведена в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Стоимость электропривода с ВД 5ДВМ215А15 с сервоприводом СПС25

Оборудование	Стоимость, руб.
Электродвигатель 5ДВМ215А15	40000
Сервопривод СПС25	26500
Итого	66500

Стоимость заменяемого оборудования приведена в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Стоимость заменяемого оборудования

Оборудование	Стоимость, руб.
Электродвигатель ЭП-110/245-С1 (устаревший)	75600
Преобразователь тиристорный ПТ02	18300
Итого	93900

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

$$K_{транс} = 0,05 \cdot K_{об.}; \quad (7.2)$$

$$K_{транс1} = 0,05 \cdot 66500 = 3325 \text{ руб.};$$

$$K_{транс2} = 0,05 \cdot 93900 = 4695 \text{ руб.};$$

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

$$K_{смр} = 0,15 \cdot K_{об.}; \quad (7.3)$$

$$K_{смр1} = 0,15 \cdot 66500 = 9975 \text{ руб.};$$

$$K_{смр2} = 0,15 \cdot 93900 = 14085 \text{ руб.};$$

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

$$K_{\text{проч}} = 0,1 \cdot K_{\text{об.}}; \quad (7.4)$$

$$K_{\text{пр1}} = 0,1 \cdot 66500 = 6650 \text{ руб};$$

$$K_{\text{пр2}} = 0,1 \cdot 93900 = 9390 \text{ руб};$$

В соответствии с формулой (7.1) определим капитальные затраты на покупку и установку системы электропривода

$$K_1 = K_{\text{об.1}} + K_{\text{транс1}} + K_{\text{смп1}} + K_{\text{проч1}}; \quad (7.5)$$

$$66500 + 3325 + 9975 + 6650 = 86450 \text{ руб};$$

$$K_2 = K_{\text{об.2}} + K_{\text{транс2}} + K_{\text{смп2}} + K_{\text{проч2}};$$

$$93900 + 4625 + 14085 + 9390 = 122000 \text{ руб}.$$

Очевидно, что $K_2 > K_1$, т. е. затраты на электродвигатель ЭП-110/245-С1 и преобразователь ПТ02 несколько ниже капитальных затрат на электродвигатель 5ДВМ215А15 с сервоприводом СПС25.

7.4 Определение эксплуатационных расходов

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

$$I_i = I_{\text{эл.эн}} + I_{\text{реми}} + I_{\text{обсл}}, \quad (7.6)$$

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

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

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

Определение стоимости электроэнергии.

Расходы на электроэнергию определяем по формуле:

$$I_{\text{эл.эн}} = W \cdot C_э, \quad (7.7)$$

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

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

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

Количество потребляемой электрической энергии определяется как:

$$W = N \cdot T \cdot K_{\text{исп}} / \eta, \quad (7.8)$$

где N – номинальная мощность электропривода, кВт;

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

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

$K_{исп}$ – коэффициент использования оборудования: для станка $K_{исп} = 0,25$;

η – КПД электропривода.

Для нового электропривода:

$$W_1 = 1,335 \cdot 5000 \cdot 0,25 / 0,9 = 1854,166 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

Для старого электропривода:

$$W_2 = 1,335 \cdot 5000 \cdot 0,25 / 0,75 = 2225 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

Расходы на электроэнергию составят:

$$I_{эл.эн1} = 1854,166 \cdot 3,9 = 7231,2 \text{ руб./год;}$$

$$I_{эл.эн2} = 2225 \cdot 3,9 = 8677,5 \text{ руб./год.}$$

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

$$E_1 = 0,1 \cdot K_1; 0,1 \cdot 86450 = 8645 \text{ руб/год} \quad (7.9)$$

$$E_2 = 0,1 \cdot K_2; 0,1 \cdot 122000 = 12200 \text{ руб/год}$$

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:

$$I_1 = I_{эл.эн1} + E_1; 7231,2 + 8645 = 15876,2 \text{ руб./год;}$$

$$I_2 = I_{эл.эн2} + E_2; 8677,5 + 12200 = 20877,5 \text{ руб./год.}$$

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

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

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

Приведенные затраты определим по формуле

$$Z_i = E_n \cdot K_i + I_i, \quad (7.10)$$

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

В соответствии с формулой (7.5) определим приведенные затраты:

$$Z_1 = (1/3) \cdot 86450 + 15876,2 = 44692,8 \text{ руб/год};$$

$$Z_2 = (1/3) \cdot 122000 + 20877,5 = 61544,2 \text{ руб/год}$$

Результаты расчетов технико-экономических показателей сведем в таблицу 7.3

Таблица 7.3 – Технико-экономические показатели проводимой модернизации

Наименование показателя	Единица измерения	Значение	
		Новый вариант (1)	Старый вариант (2)
1 Капитальные затраты:			
– стоимость оборудования	руб.	66500	93900
– транспортные расходы	руб.	3325	4695
– строительно-монтажные затраты	руб.	9975	14085
– прочие расходы	руб.	6650	9390
Всего	руб.	86450	122070
2 Эксплуатационные расходы:			
– затраты на электроэнергию	руб./год	7231,2	8677,5
– затраты на капитальный и текущий ремонт	руб./год	8645	12200
Всего	руб./год	15876,2	20877,5
3 Приведенные затраты	руб./год	44692,8	61544,2

Экономический эффект от использования нового электропривода рассчитаем по формуле:

$$\mathcal{E} = Z_2 - Z_1; 61544,2 - 44692,8 = 16851,4 \text{ руб./год.} \quad (7.11)$$

Таким образом, замена применяемого электропривода ЭП-110/245-С1 с преобразователем ПТ02 на 5ДВМ215А15 с сервоприводом СПС25 позволит предприятию сэкономить как минимум 16851,4 рублей ежегодно.

7.6 Определение экономической эффективности использования предварительно выбранной системы электропривода

Доход определяется в соответствии со следующей формулой:

$$D = \mathcal{E} \cdot (1 - H_c) + A_{\text{отч.}}, \quad (7.12)$$

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

$$A_{\text{отч.}} = \frac{K_i}{T_{\text{сл.об.}}} \cdot \quad (7.13)$$

С учетом формул (7.6) и (7.3) определим приток наличности на основании формулы (7.8)

$$D = 16851,4 \cdot (1 - 0,2) + 86450/10 = 28980,21 \text{ руб}$$

Расчетный срок окупаемости определим по формуле:

$$T_{\text{ок.}} = \frac{K_1 - K_{\text{ликв.}}}{D}, \quad (7.14)$$

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

Вычислим примерный срок окупаемости внедренного оборудования как

$$T_{\text{ок.}} = (K_1 - K_{\text{ликв.}})/D = (K_1 - 0 \cdot K_{\text{ликв.}})/D; (86450 - 0 \cdot 86450)/28980,21 = 2,98 \text{ г}$$

Так как фактический период окупаемости меньше нормативного (3 года), проект можно считать экономически целесообразным.

Выводы по главе 7.

В данной части был проведен экономический анализ целесообразности закупки и внедрения системы вентильного электропривода поперечной подачи стола, станка ЗВ10, 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 оборудования, на котором он будет установлен, за счет экономии времени на технологическое обслуживание, т. е. за счет времени бесперебойной работы машины.

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

8.1 Краткое описание производственного участка

АО «Златоустовский машиностроительный завод» является градообразующим предприятием представляет собой машиностроительный комплекс с полным производственным циклом. Предприятие расположено в городе Златоуст.

Цех №10 состоит из множества участков среди которых можно выделить пять основных:

- участок зачистки и складирования заготовки;
- участок механической обработки;
- участок бунтовой калибровки;

На участке зачистки и складирования заготовки производится завоз автомобильным транспортом или тележками и укладка заготовки в пирамиды с помощью магнитных кранов. Далее металл проходит проверку на наличие поверхностных дефектов, которые устраняются там же с помощью специальных горелок. После снятия дефектов заготовка в соответствии с программой обработки укладывается на рольганг для транспортировки к станку.

Универсальный круглошлифовальный станок модели 3В10 предназначен для наружного и внутреннего шлифования, цилиндрических и конических деталей. в условиях мелкосерийного и серийного производства. Данный станок установлен и эксплуатируется в оборонном цехе.

8.2 Анализ вредных и опасных производственных факторов

В цехе имеются электрические сети напряжением: 6 кВ и 0,4 кВ, имеются масляные трансформаторы с трансформаторным маслом, представляющие повышенную пожарную опасность.

В цехе имеют место следующие опасные и вредные производственные факторы:

- мостовые и электромагнитные краны;
- повышенное значение напряжения электрической цепи;
- вибрация;
- вращающиеся и движущиеся механизмы;
- повышенное значение шума;
- электромагнитные поля;
- взрывопожароопасность;
- автомобильный и железнодорожный транспорт.

На круглошлифовальном станке модели 3В10 опасность возникновения несчастных случаев возможна:

- движением шлифовальной бабки;
- перемещением стола влево или вправо;
- движением стола под выходным лотком;
- движением и транспортировки металла;

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

- вылетом детали из крепления в патроне;
- прищемлением из-за малого расстояния между обрабатываемой деталью и шлифовальным кругом;

8.3 Выбор нормативных значений факторов рабочей среды и трудового процесса

Во время производственной деятельности внутри зданий, люди подвергаются влиянию микроклимата и определенных метеорологических условий. Микроклиматом производственных помещений, принимают такое явление, как климат внутреннего окружения. Он может характеризоваться влиянием на организм человека температуры, скорости движения воздуха и влажности, также особое влияние может оказать температура окружающих поверхностей в здании. Основными показателями микроклимата рабочей зоны подходящими для подсчета являются: температура окружающей среды; скорость движения воздуха; относительная влажность воздуха; насыщенность теплового излучения некоторых нагретых поверхностей.

Оптимально подобранные условия труда на рабочем месте, гарантируются качество выполняемой работы и хорошую производительность

Утвержденные правила производственного микроклимата едины для всех климатических зон в нашей стране. Они вносятся в единую систему стандартов безопасности труда ГОСТ 12.1.005-88 и САНПиН 2.2.4.548-96. В нормативных документах обозначены все решения оптимальных и допустимых параметров микроклимата.

Для второй категории тяжести (2А) выполняемых работ, величины избытков явного тепла в помещениях и периода года приведены таблице 8.1 и 8.2.

Таблица 8.1 - Фактические значения температуры, относительной влажности воздуха и скорости движения воздуха в летний период

Наименование	ПДК, ПДУ, допустимый уровень.	Фактический уровень.	Класс условий труда, степень вредности и опасности	Продолжительность воздействия за смену, мин
Температура воздуха, °С	От 16 до 27	19,6	2	480
Скорость движения воздуха, м/с	От 0,2 до 0,5	Меньше 0,3	2	480
Влажность воздуха, %	Меньше 75	54	2	480

Таблица 8.2 - Фактические значения температуры, относительной влажности воздуха и скорости движения воздуха в зимний период

Наименование	ПДК, ПДУ, допустимый уровень.	Фактический уровень.	Класс условий труда, степень вредности и опасности	Продолжительность воздействия за смену, мин
Температура воздуха, °С	От 15 до 21	18	2	480
Скорость движения воздуха, м/с	Меньше 0,4	Меньше 0,3	2	480
Влажность воздуха, %	Меньше 75	48	2	480

Чтобы поддерживать оптимальные границы микроклимата на рабочей зоне, приведены в таблицах 8.1 и 8.2 применяются такие мероприятия как: механизация участков, автоматизация технологических процессов, установка систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

При проведении работ на электроустановках цеха №10 возникает необходимость выполнять санитарные нормы допустимых уровней освещенности, шума, тепла и напряженности электромагнитного поля в соответствии с санитарными нормами, утвержденными Минздравом России 12.05.85 №3323. Действующие санитарные нормы в цехе №10 приведены в таблице 8.3.

Таблица 8.3 - Санитарные нормы напряженности электромагнитного поля, шума и освещенности.

Нормы	Освещенность E_H , лк.		Уровень шума, дБ	Напряженность электромагнитного поля E , кВ/м
	производственных помещений	рабочих мест		
	30-100	200		

8.4 Охрана труда

Работе на круглошлифовальном станке получают допуск лица не моложе 18 лет, прошедшие предварительный медицинский осмотр и не имеющие противопоказаний к выполнению такого вида работы.

Рабочий при приеме на работу обязан пройти вводный инструктаж. До допуска к самостоятельной работе рабочий должен пройти:

- первичный инструктаж на рабочем месте;
- проверку знаний по Инструкции охраны труда при работе на шлифовальных станках;
- проверку знаний по оказанию первой помощи пострадавшим в связи с несчастными случаями при обслуживании энергетического оборудования;
- проверку знаний по применению средств защиты, необходимых для безопасного выполнения работ;
- обучение по программе подготовки персонала;

Допуск к самостоятельной работе оформляется соответствующим распоряжением или приказом по предприятию.

Для защиты от воздействия опасных и вредных факторов необходимо применять следующие меры безопасности:

При работе на движущихся и вращающихся машинах и механизмах у оператора не должно быть развевающихся и не застегнутых элементов одежды, волосы должны быть подобраны под головной убор, либо пострижены до короткого размера. Все из перечисленного может быть захвачено или накручено на движущиеся части механизмов.

При выполнении работ на участках с температурой воздуха выше 33°C необходимо организовывать режим работы и перерывов с интервалами времени для отдыха и охлаждения организма (на таких участках цеха устанавливают аэраторы).

При недостаточной освещенности рабочей зоны применяют общее цеховое освещение, также следует применять дополнительное местное освещение.

В рабочей зоне круглошлифовального станка установлен 1 светильник местного освещения.

Для защиты от поражения электрическим током необходимо применить диэлектрические перчатки, ковры, изолирующие коврики.

Возле каждого шкафа управления станка, должны находиться диэлектрические коврики или изолирующие подставки.

Электромонтер должен работать в спецодежде и спецобуви и применять другие средства защиты, выдаваемые в соответствии с действующими отраслевыми нормами. Обязательно пользоваться проверенным инструментом.

Согласно отраслевым нормам, электромонтеру обязаны выдаваться следующие средства индивидуальной защиты:

- костюм хлопчатобумажный (на 12 мес.);
- сапоги кирзовые или ботинки (на 12 мес.);
- рукавицы комбинированные (на 3 мес.);
- куртка ватная (на 24 мес.).

При выдаче двойного сменного комплекта спецодежды срок носки должен удваиваться.

В зависимости от характера производимых работ производства электромонтеру бесплатно временно должна выдаваться дополнительная спецодежда и защитные средства для таких работ.

Требования правил безопасности при ремонтно-наладочных работах:

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Одна из основных задач в обеспечении правильной эксплуатации электрооборудования является обеспечение безопасности при обслуживании и ремонте круглошлифовального станка. Правильность производства работ на действующих электроустановках, и все необходимые организационные и эксплуатационные технические мероприятия для обеспечения безопасности, строго регламентированы «Правилами технической эксплуатации электроустановок».

Электротехнический и обслуживающий персонал, участвующий в модернизации станка должен пройти ознакомительное обучение, правилам охраны труда. Помимо первоначального обучения, нужно проводить проверку знаний по правилам техники безопасности при работе в электроустановках.

Действующими электроустановками нужно считать те установки, которые полностью или частично находятся под напряжением или на которые в любой момент может быть подано напряжение. С помощью вводного автомата или рубильника. В распределительных устройствах электрооборудование, находящихся под напряжением, ограждают или располагают на такой высоте, чтобы случайное прикосновение к ним было невозможно, вывешивают предупредительные плакаты

Пульт управления станком и органы управления механизмами должны находиться в удобных для работы оператора местах. На станке предусмотрена система безопасности, предусмотрены вероятные ошибки оператора при работе станка. Исключением идет режим наладки, это когда заданный оператором механизм двигается при нажатии своей кнопки.

Нужно строго и безоговорочно соблюдать все инструкции по технике безопасности при работе электроустановках напряжением до 380 вольт.

Перед началом работы на круглошлифовальном станке, оператор должен пройти обучение, для получения допуска к работе на станке. Во время стажировки к молодому оператору закрепляют опытного наставника либо мастера. Оператор обязан знать особенности работы на круглошлифовальных станках Оператор обязан хорошо знать технологический процесс и режимы работы станка, для предупреждения возможных аварийных ситуаций. Оператор не прошедший проверку знаний ИОТ, отстраняется от работы на станке.

Перед началом работы оператор проверяет общее состояние станка. Все выявленные неисправности, при визуальном осмотре, или во время работы. Оператор обязан прекратить работу, вызывать обслуживающий персонал. И доложить своему непосредственному начальнику.

Особо опасно пользоваться неисправным инструментом и принадлежностями станка.

Перед началом работы необходимо проверить уровни жидкости в гидросистемах, маслостанции и системе охлаждения станка. Систематически проверяется уровень смазки в редукторах станка. Перед установкой шлифовального круга необходимо произвести очистку рабочей зоны от стружки, оставшейся от предыдущего периода работы. Для очистки пользуются щетками (при этом работа ведется в защитных очках и перчатках). Очистка от стружки осуществляется после отключения станка.

При возникновении во время обработки изделия сильных вибраций, необходимо отрегулировать входные и выходные направляющие механизмы станка.

Для организации защиты оператора от выброса стружки из-под шлифовального круга, во время работы стана, зона шлифования закрывается специальным кожухом, с блокировкой на случайное открытие кожуха при работе шпиндельной бабки.

Оператор задействованный в работе на данном станке, обязан носить спецодежду и спецобувь прописанные нормами охраны труда.

Правила запрещают передавать управление станком, людям не обученным работе на шлифовальных станках. Работы по ремонту и обслуживанию электрооборудования проводить только при отключенном электропитании.

При ремонте электрооборудования использовать только проверенный инструмент. С целью защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током, все не токоведущие части электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением, должны быть “землей” видимым заземлением. Обычно используется стальная шина. Также дублирующее заземление проложено в составе кабеля питания.

На рабочем месте оператора должна быть вывешена ИОТ. Нужно следить за чистотой на станке. Не допускать разлива масла и охлаждающей жидкости на полу, либо должен быть предусмотрен деревянный настил.

В целях обеспечения безопасности обслуживающего персонала системой управления станком предусмотрено наличие следующих блокировок:

- взаимные блокировки обеспеченные электрической схемой;
- элементы ограничения хода (конечные выключатели);
- защитные кожухи (с блокировкой) к находящимся в движении элементам.

Для местного освещения необходимо использовать розетку в 24В переменного тока. Минимальное значение уровня освещенности должно быть не менее 40 люкс.

Обслуживание и ремонт станка должен производиться специально подготовленным квалифицированным персоналом. Ремонт и уход за станками, оборудованием и установками осуществляется только специализированным персоналом. Операторам работающим на круглошлифовальном станке запрещено собственноручно устранять выявленные в процессе работы неисправности, необходимо вызвать обслуживающий персонал.

При большом съеме металла с изделия, ввиду больших усилий резания резко повышается температура в зоне реза, что приводит к испарению эмульсии. Для защиты рабочего от испарений эмульсии, предусмотрено подключение станка к цеховой системе вытяжной вентиляции. При планово-предупредительном ремонте станка, согласно годовому графику, необходимо производить ремонт всех защитных приспособлений на станке.

Уровень шума производимого станком зависит от правильности настройки детали в центрах бабки изделия, а также от правильности подборки зернистости наждачного круга. Выбора оптимальной скорости режима резания. При соблю-

дении данных условий уровень шума не превышает пределов допустимых норм производственной санитарии.

8.4.1 Правила работы с сервоприводом

Чтобы обеспечить безопасность оператора и штатную работу сервопривода, необходимо выполнять несколько неукоснительных требований, описанных ниже.

- Неукоснительно соблюдайте общие требования электробезопасности
- Соблюдайте условия эксплуатации привода круглошлифовального станка, описанные в руководстве пользователя.
- Все манипуляции связанные с кабелем подключения к двигателю и кабелем подключения к датчику обратной связи выполняется в обесточенном состоянии всего станка.
- Не превышайте допустимое аксиальное усилие на вал серводвигателя.
- Не превышайте допустимое радиальное усилие на вал серводвигателя.
- Подключение или отключение сервоусилителя, который находится в активном состоянии, может стать причиной выхода из строя сервоусилителя и может повлечь за собой травму поператора.
- Запрещено включать сервопривод, если двигатель закреплен ненадежно.
- Не пытайтесь держать вал двигателя во включенном состоянии руками, во избежание получения серьезной травмы.
- Запрещено вращать вал двигателя какими либо приспособлениями, со скоростью свыше 300 об/мин. Это заставит привод перейти в генераторный режим. Вырабатываемое им напряжение может повлечь за собой поломку всей системы управления привода.
- Не объединяйте сервоприводы СПС жесткими механическими передачами между собой, чтобы предотвратить поломки.
- Избегайте резких переходных процессов по скорости, причиной которых может служить неправильная настройка коэффициентов контуров.
- Не допускайте биение вала, это приводит к быстрому износу подшипников двигателя и исполнительных механизмов, присоединённых к электроприводу круглошлифовального станка 3В10.

8.5 Производственная санитария

В цехе №10 строго выполняют производственный контроль по соблюдением требований САНПиН 2.2.4.548-96. Отдел выполняет контроль по условиям труда, отдыха и за выполнением мер коллективной и индивидуальной защиты работающих от неблагоприятного воздействия микроклимата. Проводятся профилактические мероприятия, направленные на предупреждение возникновения заболеваний у рабочих.

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

8.5.1 Производственное освещение

Общее цеховое освещение спроектировано для всех основных помещений корпуса. В местах где работа не производится, лестницы, коридоры освещение составляет не более 25 % нормируемой степени освещенности.

Очистку светильников, замену ламп и плавких вставок, ремонт и осмотр осветительной сети производит персонал службы электриков.

Измерение освещенности рабочих мест производится ответственным на то отделом, при вводе в эксплуатацию и в дальнейшем по мере надобности.

Осмотр осветительной сети производится 1 раз в сутки дежурным персоналом.

О неисправностях в освещении могут докладывать и простые работники цеха. Такие замечания вписываются в цеховой оперативный журнал по ремонту оборудования.

Обнаруженные при осмотре неисправности в цеховом освещении устраняются бригадой электромонтеров, в кратчайшие сроки.

Расчет освещения.

Согласно СНиП 23-05-95 спроектировано искусственное освещение на участке расположения круглошлифовально станка модели 3В10 цеха №10. Необходимо определить количество светильников. Чтобы выполнить правила санитарных норм цехе.

По формуле рассчитаем световой поток Φ .

Световой поток Φ , лм

$$\Phi = \frac{E_H \cdot S \cdot z \cdot k}{N \cdot \eta}, \quad (8.1)$$

где E_H - нормируемая минимальная освещенность, лк;
 S - площадь освещаемого помещения, м²;
 z - коэффициент неравномерности освещения, для люминесцентных ламп (ЛБ - лампы с белым спектром свечения), принимаем $z = 1,1$;
 k - коэффициент запаса, принимаем $k = 1,5$;
 N - число светильников в помещении, шт.;
 η - коэффициент использования светового потока ламп.

$$\eta = K_p \cdot i, \quad (8.2)$$

где i - индекс помещения;

K_p - коэффициент учитывающий влияние отражающих свойств потолка, пола, стен принимаем $K_p = 0,8$.

Индекс помещения i

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

$$i = \frac{A \cdot B}{H \cdot (A + B)}, \quad (8.3)$$

где A - длина помещения, м;
 B - ширина помещения, м;
 H - высота светильника над рабочей поверхностью, м.

$$i = \frac{20 \cdot 4}{3 \cdot (20 + 4)} = 1,11,$$

$$\eta = 0,8 \cdot 1,11 = 0,888.$$

Число светильников в помещении N , шт., определяется из формулы

$$N = \frac{E_H \cdot S \cdot z \cdot k}{\Phi \cdot \eta}, \quad (8.4)$$

$$N = \frac{100 \cdot 80 \cdot 1,1 \cdot 1,5}{3000 \cdot 0,888} = 7,95$$

Для соблюдения санитарных норм в помещении установлено 8 светильников ЛСП, а непосредственно у станка, для освещения рабочей зоны установлен 1 светильник.

8.6 Противопожарная безопасность

Руководители цеха несут персональную ответственность за противопожарную безопасность в помещениях и оборудования тепловых энергоустановок. Также за наличие и исправное состояние первичных средств пожаротушения.

Категория противопожарной безопасности для помещения цеха №10 определена как В по ОНТП 24-86. Производство, связанное с применением взрывоопасных материалов. Цех №10 построен строительных материалов, стены сделаны из кирпича, железобетонных блоков и бетона, межэтажные перекрытия сделали из железобетона, заливной пол.

Силовые провода и кабели уложены в тоннелях, разного типа кабель каналах, лотках, гофре, в трубах с соблюдением требований электро и пожарной безопасности.

Основы пожарной безопасности на заводе определены государственными стандартами ССБТ (ГОСТ 12.1.004-85 и ГОСТ 12.1.010-76).

Персонал, обслуживающий электрооборудование цеха, регулярно проходит экзаменовку по противопожарному инструктажу, участвует в противопожарных тренировках.

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

На территории цеха №10 вывешен информационный стенд с номерами телефонов пожарной службы завода, и пожарной службы ЗГО. Весь персонал без исключения проходит ознакомление и инструктажи по действиям в случае пожара. При обнаружении задымления или очага пожара, рабочий обязан включить пожарную сигнализацию, и сразу доложить непосредственному начальнику. Мастер в свою очередь звонит на центральный пульт завода, и докладывает диспетчеру по месте пожара и его характере. Оповещает по громкой связи персонал,

Производит сбор добровольной пожарной дружины, в указанном месте. Тушение очага пожара выполняется и обеспечением мер личной безопасности.

На территории АО “Златмаш” установлен противопожарный режим работы строго выполняются мероприятия по обеспечению пожарной безопасности. Заранее разработан оперативный план действий при пожаре.

Разработана и утверждена инструкция о мерах пожарной безопасности П1 и план эвакуации людей в случае возникновения пожара. Приказом генерального директора назначены лица ответственные за пожарную безопасность зданий, сооружений, помещений, прилегающей территории. За выполнением правил пожарной безопасности следят инспекторы из рядов МЧС.

По каждому происшедшему случаю пожара или загорания комиссия проводит оперативное расследование. Результаты оформляются актом. При расследовании устанавливается причина, виновники возникновения пожара.

По результатам расследования корректируются старые и разрабатываются новые противопожарные мероприятия.

Цех №10 обеспечен сетью противопожарного водоснабжения, установками тушения пожара, протянута сеть сигнализации в соответствии с требованиями нормативных документов.

В цехе №10 предусмотрен набор первичных средств пожаротушения:

- огнетушители ОП-5, 7 штук; ОУ-5, 10 штук;
- противопожарный инвентарь (лопаты, песок, ломы, топоры, багры);
- на каждом этаже и определенном расстоянии установлены пожарные гидранты чтобы можно было подать воду в любую точку цеха.

В каждом настенном шкафу ПГ, уложен поверенный брезентовый рукав длиной не менее 10 м со стволом.

Цвет противопожарного инвентаря, включая трубопроводные коммуникации и ПГ, подобран таким образом чтобы отличаться от других объектов, соответствует требованиям ГОСТ 12.4.026—76 и отраслевых стандартов.

Огнетушители необходимо размещать в заметных и легко доступных местах на высоте от пола не выше 1.5 метра. Нужно строго следить за тем чтобы подходы к ним не загромождались посторонними предметами. Также нужно исключить попадание прямых солнечных лучей и воздействия нагревательных приборов. Нужно строго следить за сохранностью маркировочных надписей на корпусах огнетушителей.

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

8.7 Экология

Руководители цеха №10 обязаны периодически проходить подготовку в сфере экологической безопасности согласно приказу, утвержденному генеральным директором.

В процессе шлифовки изделия на круглошлифовальном станке применяется водная эмульсия (состоит из эмульсина, соды и воды), также используются различные марки масла. По этой причине полностью выработавший свой ресурс эмульсия и масла должны собираться в ёмкости и отправляться на очистку для дальнейшего повторного использования либо утилизации. Масло также сливается в емкости и отправляется на переработку или утилизацию.

Приняты меры для предупреждения вредного воздействия на окружающую среду выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и сбросов в водоемы. Используются воздушные и водяные фильтры. Для уменьшения шума, вибрации и других вредных воздействий, применяются средства по их контролю.

При работе станка на больших скоростях шлифования температура в зоне шлифования резко поднимается и соответственно нагревается эмульсия. Эмульсия испаряется и происходит выделение вредных для здоровья паров. Для исключения отравления оператора парами эмульсии, на круглошлифовальном станке находится местная вытяжная вентиляция, которая объединена с цеховой вытяжной вентиляцией.

8.8 Обеспечение безопасности при угрозе чрезвычайных ситуаций

Система противодействия ЧС в Российской Федерации призвана решать большой спектр задач, и проведение мероприятий:

- по предупреждению аварий, катастроф и стихийных бедствий;
- по обеспечению безаварийной работы объектов первой категории;
- по максимальному снижению людских и материальных потерь в случае возникновения непредвиденных аварийных ситуаций;
- по повышению устойчивости общей обстановки в зоне ЧС.
- предупреждение угроз террористических атак.

Они охватывают инженерную, радиационную, химическую, медицинскую, политическую напряженность в зоне ЧС.

8.8.1 Мероприятиями по повышению устойчивости работы цеха №10

Основными мероприятиями по повышению устойчивости работы цеха №10 являются:

- повышение прочности и устойчивости цеха и совершенствование технологического процесса;
- повышение устойчивости материально-технического снабжения;
- повышение устойчивости управления цеха;

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

- разработка мероприятий по уменьшению вероятности возникновения вторичных факторов ЧС и ущерба от них;

- подготовка к восстановлению производства после аварии в цехе.

Повышение устойчивости цеха №10 достигается благодаря модернизации и реконструкции оборудования, и выявлением слабых звеньев. Также создается запас деталей, электроаппаратуры, материалов и инструментов для оперативного ремонта и плановой модернизации оборудования.

Устойчивость системы энергоснабжения цеха №10 осуществлено подключением его к нескольким источникам питания. Эти подстанции удалены друг от друга на определенное расстояние, Такая мера исключает возможность их одновременного выхода из строя.

Организационные мероприятия, включают в себя подготовку специалистов, мастеров, старших мастеров, и ведущих инженеров к взаимозаменяемости и помощи друг другу при крайней необходимости. Такие мероприятия повышающим устойчивость управления цеха. Замена недостающих специалистов осуществляется путем привлечения квалифицированных рабочих, хорошо знающих свое производство.

8.8.2 Радиационное и химическое обеспечение

Основными задачами радиационной и химической защиты являются:

- выявление и оценка радиационной и химической обстановки методом прогнозирования и замеров;

- организация и проведение дозиметрического и химического контроля;

- слаженные действия работников предприятия в условиях радиационного и химического заражения территории;

- обеспечение рабочих и служащих СИЗ, приборами радиационной и химической разведки и дозиметрического измерения, поддержание их в постоянной готовности, исправном состоянии.

Рабочим выданы средствами радиационной и химической защиты: противогазы ГП-7, респираторы РПГ-7. Начальники смен обеспечены газоанализаторами, дозиметрами и аккумуляторными фонарями.

Ремонт и поверка средств РХЗ должна осуществляться в специализированном предприятии г. Челябинска.

8.8.3 Медицинское обеспечение

Обучение работников завода осуществляется по специальной программе, в обучающих центрах или на территории предприятия. Теоретические знания медицинской подготовки оцениваются при сдаче устного экзамена. Практические знания показываются на манекене.

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

8.8.4 Организация оповещения и связи

В случае возникновения опасности оповещение производится при помощи радио, раций, сирен находящихся в городе.

Вывод по разделу 8

Модернизируемый универсальный круглошлифовальный станок модели 3В10 соответствует принятым требованиям безопасности. Материалы обучения и инструкции охраны труда, выполнены в соответствии с нормами требований безопасности к рабочему месту.

Применение современных эффективных средств защиты обеспечивает полную очистку вредных воздействий на окружающую среду.

Гарантированы оптимальные условия труда и безопасность производства процесса.

Все вредные факторы соответствуют ПДК и ПДН для второго класса условий труда.

Для обеспечения хороших условий труда, микроклимата производственного помещения установлены вентиляционная система и отопление в холодное время года.

Рассмотрены вопросы: охраны труда, электробезопасности, охраны окружающей среды, действий в режиме чрезвычайных ситуаций.

При соблюдении данных рекомендаций, описанных в данной выпускной квалификационной работе, обслуживание и работа за круглошлифовальным станком не повлечет за собой производственных травм, заболеваний и отклонений здоровья.

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения ВКР была изучена и описана конструкция и принцип действия универсального круглошлифовального станка модели 3В10. Были подробно описан узел поперечной подачи стола. Также был проведен анализ недостатков, выявленных во время эксплуатации. Основным узлом, вызывающим сбой в работе и ухудшение качества изделий, является электропривод поперечной подачи стола, который реализован на тиристорном преобразователе и двигателе постоянного тока. Исходя из этого, было принято решение о модернизации электропривода поперечной подачи стола путём замены тиристорного преобразователя и двигателя постоянного тока на вентильный сервопривод.

Далее был проведен расчет динамических параметров системы, определены минимальные значения статического момента и мощности вентильного двигателя. Исходя из требуемой мощности, момента и скорости вращения, был выбран вентильный двигатель серии 5ДВМ215А15.

Опираясь на описание станка и тип выбранного двигателя, были сформулированы требования, предъявляемые к сервоприводу поперечной подачи. После чего был произведен поиск современных приводов с использованием глобальной сети Internet. Исходя из результатов поиска, выбран сервопривод СПС 25 отечественного производства, не уступающий зарубежным аналогам, но выгодно отличающийся по цене. Данный выбор объясняется тем, что сервопривод соответствует нашим требованиям, обладает относительно простой конструкцией, прост в обслуживании и ремонте, очень надёжен в эксплуатации и позволяет решать сложные производственные задачи. Поставщик производит гарантийное бесплатное техническое обслуживание и ремонт, кроме того имеется возможность обучения персонала как на месте установки так и на территории поставщика

Для проверки правильности выбора двигателя и привода были рассчитаны статические и динамические характеристики системы. Анализируя вид статических характеристик видно, что сервопривод способен обеспечивать требуемые статические моменты, а также обладает запасом по перегрузке.. При расчёте переходного процесса по возмущению видно, что провал скорости составил 12%. Это неплохо, т.к. при расчёте переходного процесса статический момент скачком увеличивали от нуля до максимально допустимого для механизма привода подачи, т.е. больший момент приложен к двигателю не будет из-за разрушения механизма редуктора.

Также в ВКР были проанализированы защита от вредных примесей в воздухе; предотвращение выбросов в атмосферу; защита от шума и вибрации; техника безопасности; правила работы с сервоприводом.

Принятые меры и правила позволят снизить до минимума вредные производственные факторы, травматизм, ущерб экологии, износ и поломки оборудования.

В заключение ВКР был произведён экономический расчёт затрат на модернизацию электропривода, включая ожидаемый экономический эффект от модернизации. По результатам этого расчёта был определён срок окупаемости модернизации, который составил максимум 2,98 года.

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

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 оборудования, на котором он будет установлен, за счет экономии времени на технологическое обслуживание, т. е. за счет времени бесперебойной работы машины.

Результаты данного проекта могут быть рекомендованы для модернизации реально действующих электроприводов поперечной подачи станков 3В10.

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Литвинец Ю.И. Технологическое оборудование для шлифования / Ю.И. Литвинец. – Магнитогорск.: Изд-во Магнитогорск. гос.техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. – 85 с.
- 2 Руководство по эксплуатации универсального круглошлифовального станка 3В10. – М.: Энергоатомиздат, 2010.
- 3 Паспорт и руководство по эксплуатации сервопривода СПС 25 – ЗАО «Сервотехника», 2016. – 192 с.
- 4 Справочник по электрическим машинам: Т.1 / под общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 2009. – 456 с.
- 5 Корытин, А.М. Автоматизация типовых технологических процессов и установок: учебник для вузов / А.М. Корытин, Н.К. Петров, С.Н. Радимов. – М.: Энергоатомиздат, 2014. – 432 с.
- 6 Давыдова В.И. Расчеты основного оборудования, перерабатывающего полимеры / В.И. Давыдова, В.А. Лукасик, Ю.В. Соловьева – ВолгГТУ, Волгоград, 2015. – 98 с..
- 7 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, 2016. – 42 с.
- 8 Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учебное пособие / П.А. Долин. – М.: Энергоатомиздат, 2014. – 448с
- 9 Анфилофьев, Б.А. Электробезопасность: методические указания к выполнению практической работы / Б.А. Анфилофьев, Е.А. Скачкова. – Самара: СамГАПС, 2012. – 18 с.
- 10 Онищенко, Г.Б. Электрический привод. Учебник для вузов. –М.: РАСХН, 2013. –320с.
- 11 Зимин, Е.Н. Автоматическое управление электроприводами / Е.Н. Зимин, В.И. Яковлев. – М.: Высш. Шк., 1979. – 318 с.
- 12 Правила устройства электроустановок. / Минэнерго РФ. – М.: Энергоатомиздат, 2018. – 222 с.
- 13 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (утв. приказом Минэнерго РФ от 13 января 2003 г. N 6). Москва - Стройиздат 2017.
- 14 Можаяева С. В. Экономика энергетического производства: Учебное пособие. / С. В. Можаяева– СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 208 с.
- 15 Златоустовский машиностроительный завод. – <http://www.zlatmash.ru/>
- 16 Моделирование систем в программе Vissim. Справочная система на русском языке. - <http://model.exponenta.ru/>
- 17 Вентильные двигатели. Виды и устройство. Работа и применение. – <http://www.electrosam.ru/>
- 18 Группа компаний ЧЭАЗ – <http://www.elpri.ru/>
- 19 Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – М.: НЦ ЭНАС, 2011. – 139 с.

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

20 Вильнюсский завод круглошлифовальных станков JSC Vingriai. – <http://www.vingriai.lt/>

21 САНПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 21с.

22 ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно – гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 5с.

23 СНиП 41.01-2003. Отопление и кондиционирование. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 15с.

24 СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – М.: Изд-во стандартов, 2011. – 9с.

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

					13.03.02.19.276.06.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70