

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт открытого и дистанционного образования
Кафедра «Техника, технологии и строительство»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, к.т.н.,
доцент
_____ К.М.Виноградов
_____ 03 июля 2020 г.

Модернизация электропривода главного движения
карусельного станка модели 1540

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–13.03.02.2020.082.00.000ПЗ ВКР

Руководитель работы,
Заведующий кафедрой доцент
_____ К.М.Виноградов
_____ 26.06 2020 г.

Автор работы
студент группы ДО-503
_____ С.И.Ахметов
_____ 26.06 2020 г.

Нормоконтролер,
преподаватель
_____ О.С. Микерина
_____ 30.06 2020 г.

АННОТАЦИЯ

Ахметов С.И. Модернизация электропривода главного движения карусельного станка модели 1540. – Челябинск: ЮУрГУ, МТ; 2020, 83 с., 21 ил., библиогр. список – 10 наим., 6 листов чертежей ф. А1.

В данной выпускной квалификационной работе (ВКР) произведена модернизация электропривода главного движения карусельного станка модели 1540. Изложен технологический процесс токарной обработки, дано описание карусельного станка. Произведен расчет тахограммы и нагрузочной диаграммы электропривода главного движения и выбор мощности двигателя.

В соответствии с предъявляемыми требованиями к электроприводу планшайбы, выбран преобразователь. Приведено описание схемы электропривода.

Произведен статический расчет системы, расчет регуляторов тока и скорости. В соответствии со структурной схемой электропривода построены переходные процессы скорости и тока в пакете SIMULINK программы MATLAB.

Рассмотрены вопросы электробезопасности, пожарной безопасности и воздействие на окружающую среду металлообрабатывающих производств. Произведен расчет экономического эффекта от модернизации.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ			
Изм.								
Разраб.	Ахметов				Модернизация электропривода главного движения карусельного станка модели 1540	Лит.		Листов
Провер.	Виноградов							83
Реценз.								
Н. контр.	Микерина							
Утверд.	Виноградов							
						ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» ИОДО Кафедра «ТТС» гр.ДО-503		

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ.....	8
1.1 Тиристорные электроприводы постоянного тока типа ЭУП 1 ОАО “Завод Преобразователь” Украина	8
1.2 Электропривод серии ЭПТ1	8
1.3 Агрегаты тиристорные серий ТЕР, ТПР	8
1.4 Тиристорные преобразователи серии ЭПУ1М	9
1.5 Электроприводы тиристорные комплектные серии КТЭ	11
2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ И СТАНКЕ	12
2.1 Общее описание технологического процесса токарной обработки	12
2.2 Описание карусельного станка 1540.....	12
3 РАСЧЕТ ТАХОГРАММЫ И НАГРУЗОЧНОЙ ДИАГРАММЫ ГЛАВНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА. ВЫБОР МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ.....	23
3.1 Технологическая карта обработки типовой детали.....	23
3.2 Расчет тахограммы и нагрузочной диаграммы главного электропривода.....	24
3.3 Выбор мощности двигателя.....	31
4 ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЭЛЕКТРОПРИВОДУ ПЛАНШАЙБЫ. ВЫБОР ТИПА ПРИВОДА.....	37
4.1 Требования, предъявляемые к электроприводу планшайбы.....	37
4.2 Выбор типа привода.....	37
5 ОПИСАНИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЭПУ1М-2-46 27 Д УХЛ4.....	39
5.1 Структура условного обозначения.....	39
5.2 Состав электропривода.....	39
5.3 Особенности включения и управления электропривода.....	39
5.4 Функциональная схема электропривода.....	39
6 СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	42
6.1 Определение параметров объекта регулирования.....	42
6.2 Регулятор тока.....	43
6.3 Регулятор скорости и фильтр.....	45
6.4 Расчет параметров цепи возбуждения.....	46
7 РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	51

8 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ.....	57
8.1 Выбор базы сравнения.....	57
8.2 Сравнительный анализ технического уровня и качества проектируемых систем карусельного станка.....	57
8.3 Расчёт стоимости оборудования, предлагаемого для модернизации.....	58
8.4 Расчет эксплуатационных издержек.....	62
8.5 Расчет годового экономического эффекта.....	65
8.6 Определение срока окупаемости дополнительных капитальных вложений.....	64
9 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	67
9.1 Социальное значение безопасности жизнедеятельности	67
9.2 Идентификация опасных и вредных производственных факторов	67
9.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов	71
9.4 Пожарная безопасность.....	76
9.5 Экологическая безопасность.....	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	80
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	81

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатация металлорежущих станков, отличающихся большой производительностью, высокой точностью обработки изделий, не обходится без широкого использования разнообразного электрооборудования, электропривода.

Особое значение приобретает модернизация электроприводов, находящихся в эксплуатации, поскольку износ электрооборудования происходит значительно быстрее, чем износ станков. Оно может дать существенный эффект в отношении повышения производительности и облегчения обслуживания станка.

В данной выпускной квалификационной работе предлагается заменить электропривод по системе генератор — двигатель на более современный и доступный отечественный привод постоянного тока с целью повышения эффективности и надежности технологического процесса, а также уменьшения затрат на оплату электроэнергии. Это особенно важно в условиях рыночной экономики, где такие проблемы, как экономия энергоресурсов и снижение затрат на планово-предупредительные работы имеют особое значение.

Современная тенденция замены привода постоянного тока на привод переменного тока не полностью себя может оправдать, поскольку для обслуживания частотно-регулируемых приводов требуются более квалифицированные инженеры-наладчики, а в случае ремонта — большие средства, тогда как привод постоянного тока дешевле, проще в эксплуатации и в ремонтном обслуживании.

Расчеты, приведенные в выпускной квалификационной работе, производились на основе исходных данных, полученных на предприятии ПАО "Газпром ООО «Газпром трансгаз Уфа» "Аркауловское ЛПУМГ

Токарно-карусельный станок 1540 — один из самых распространённых на территории бывшего СССР станок, позволяющий производить токарную обработку деталей средних и больших размеров. Станок экспортировался во многие страны мира. Токарно-карусельный 1540 зарекомендовал себя как надёжный и неприхотливый, не требующий повышенного внимания.

Токарно-карусельный станок 1540 предназначен для черновой и чистовой обработки стальных и чугунных деталей, изделий из цветных металлов и их сплавов, а также из неметаллических материалов.

Цифровой индекс токарно-карусельного станка 1540 обозначает следующее: цифра 1 — токарный станок; цифра 5 — обозначает токарно-карусельный станок; цифра 40 — максимальный диаметр обработки заготовки (4000 мм).

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		7

1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

1.1 Тиристорные электроприводы постоянного тока типа ЭУП 1 ОАО “Завод Преобразователь” Украина

Тиристорные электроприводы постоянного тока типа ЭУП 1 предназначены для управления скоростными режимами секций, поточных линий, агрегатов, отдельных технологических машин, механизмов станков, а также поддержания заданного натяжения при транспортировке и обработке гибкого материала (ткани, ленты и т.д.). Основные технические данные приводов серии ЭУП1 приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные технические данные приводов серии ЭУП1

Диапазон напряжений питающей сети, В	Диапазон номинальных токов, А	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
220 - 415	10 - 500	500 x 260 x 300	15

1.2 Электропривод серии ЭПТ1

Электропривод постоянного тока предназначен для управления электродвигателями механизмов подач и главного движения станков с ЧПУ. Основные технические данные приводов серии ЭПТ1 приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Основные технические данные приводов серии ЭПТ1

Параметр	Значение
Питающая сеть, В	Трехфазная, 380
Максимальное выходное напряжение, В	440
Номинальный ток, А	10, 40, 100
Диапазон регулирования скорости электродвигателей по напряжению якоря	10000:1
Диапазон регулирования скорости электродвигателя по напряжению возбуждения	4:1
Момент электродвигателей приводов подач, Н x м	до 47
Мощность электродвигателя шпинделя, кВт	до 100
Согласующие силовые трансформаторы и реакторы	По заказу

1.3 Агрегаты тиристорные серий ТЕР, ТПР

Агрегаты предназначены для питания якорных цепей электродвигателей постоянного тока в электроприводах станкостроительной и других отраслей промышленности. Обеспечивают построение электроприводов с однозонным регулированием частоты вращения электродвигателя в диапазоне:

1000:1 с обратной связью по скорости;

20:1 с обратной связью по ЭДС двигателя.

Основные технические данные приводов ТЕР, ТПР приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Основные технические данные приводов ТЕР, ТПР

Тип агрегата	Параметры сети силовой части агрегата			Выходные параметры	
	напряжение, В	частота, Гц	ном. выпрямленный ток, А	макс. ток, А	ном. выпрямленное напряжение, В
Реверсивные					
ТЕР4-63/230Н-1-2УХЛ4	220	50	63	141,75	230
ТЕР4-63/460Н-2-2УХЛ4	380	50	63	141,75	460
ТЕР4-100/230Н-1-2УХЛ4	220	50	100	225	230
ТЕР4-100/460Н-2-2УХЛ4	380	50	100	225	460
ТПР4-160/230Н-1-2УХЛ4	220	50	160	360	230
ТПР4-160/460Н-2-2УХЛ4	380	50	160	360	460
ТПР4-200/230Н-1-2УХЛ4	220	50	200	450	230
ТПР4-200/460Н-2-2УХЛ4	380	50	300	700	460

1.4 Тиристорные преобразователи серии ЭПУ1М

Тиристорные преобразователи серии ЭПУ1М (однозонные/двухзонные) предназначены для реверсивного и нереверсивного регулирования частоты вращения приводов подачи и главного движения двигателей постоянного тока мощностью от 1,5 до 250 кВт.

Электроприводы на базе преобразователей ЭПУ1М применяются в механизмах движения станкостроительной, машиностроительной, металлургической, целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей, нефтехимической отраслях промышленности, а также в качестве нагрузочных агрегатов в различном испытательном оборудовании и в других областях, требующих высоких динамических, точностных и энергетических показателей электропривода.

Особенности:

- управление любым типом двигателя постоянного тока с независимым возбуждением;
- двухконтурная система регулирования;
- плавный с регулируемым темпом пуск/реверс/останов;
- ограничение максимального тока в переходных и статических режимах;
- автоматическое устранение асимметрии импульсов управления тиристорами и их частотное заполнение;
- полная защита преобразователя и двигателя;
- регулирование частоты вращения в широком диапазоне;
- бесшумность в работе, простота обслуживания и эксплуатации.

Основные технические данные приводов ЭПУ1М приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Основные технические данные приводов ЭПУ1М

Параметр	Размерность	Исполнение			
		П	Е	М	Д
Выходные параметры					
Функциональное назначение привода		подачи	главного движения		
Номинальный ток на выходе	А	25; 50; 80; 100; 200	25; 50; 80; 100; 200; 400; 630		
Номинальное напряжение двигателя	В	115, 230, 460	230, 460		
Диапазон регулирования частоты вращения (D)		10000:1	20:1	1000:1	1000:1
Суммарная погрешность поддержания скорости: – при максимальной частоте вращения (n_{max}): – при частоте вращения, равной n_{max}/D :	%	0,5 25	10 15	2 25	2 25
Кратность рабочей перегрузки, не более		по моменту 4-6 (0,2 сек)	по току 2 (10 сек)		
Темп пуска / реверса / торможения двигателя		настраивается			
Входные параметры					

Окончание таблицы 1.4

Параметр	Размерность	Исполнение			
		П	Е	М	Д
Напряжение питания, трехфазное	В	220, 380, 400, 415 + 10%-15%			
Частота питающей сети	Гц	50, 60 (2%)			
Аналоговые входы		0...10 В, 4...20 мА			
Рабочий диапазон температур	°С	+5...+45			
КПД преобразователя, не менее: – на 25, 50, 80А – на 100, 200А – на 400, 630А		0,95 0,96 0,97			
Степень защиты*		IP00			
Климатическое исполнение		УХЛ4; О4			

* Защиты: максимально-токовая, от пропадания питания, от неправильного чередования фаз, от перенапряжения на якоре; время-токовая, тепловая преобразователя, двигателя и реактора, от превышения максимальной скорости, от превышения времени перегрузки высокомоментного двигателя

1.5 Электроприводы тиристорные комплектные серии КТЭ

Электроприводы тиристорные комплектные с естественным воздушным охлаждением (КТЭ с ЕВО) применяются для основных и вспомогательных механизмов, требующих автоматического регулирования частоты вращения, положения вала, мощности, выпрямленного напряжения и э.д.с. двигателя, натяжения материала. Максимально допустимый ток перегрузки в течение 15 с. составляет $2 I_{ном}$. Выпускаются в трансформаторном и реакторном вариантах. Способ управления электроприводами - импульсно-фазовый. Диапазон регулирования с обратной связью по э.д.с. 25:1. Диапазон регулирования скорости (с применением прецизионного тахогенератора) 75:1. Время реверса тока в якорной цепи не более 30 мс. Основные технические данные приводов КТЭ приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Основные технические данные приводов КТЭ

Диапазон номинальных напряжений, В	Диапазон номинальных токов, А	Напряжение сети, кВ
220 – 600	25 – 1600	0,19; 0,38; 0,415; 0,44 - 60 Гц

Выводы по разделу один

В данном разделе ВКР были проанализированы возможности, технические характеристики и области применения электроприводов отечественного и иностранного производства. Проведенный анализ вариантов поможет в дальнейшем выбрать подходящий по техническим характеристикам электропривод для токарно-карусельного станка модели 1540.

2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ И СТАНКЕ

2.1 Общее описание технологического процесса токарной обработки

Металлорежущие станки – весьма распространенная и многочисленная группа машин-орудий и предназначены для механической обработки изделий из металла при помощи одного или нескольких инструментов. Обработка заготовки производится снятием стружки, в результате чего заготовка принимает форму, близкую к требуемой (черновая и предварительная обработка) или совпадающую с ней в пределах определенной точности размеров (чистовая обработка) и чистоты поверхности (отделка и доводка).

В соответствии с характером организации производственного процесса (индивидуальное, серийное и массовое производство) различают [2]:

- универсальные станки, предназначенные для выполнения различных операций на изделиях многих наименований;
- станки широкого назначения, на которых выполняются определенные операции на изделиях многих наименований;
- специализированные станки, обрабатывающие детали, сходные по конфигурации, но имеющие различные размеры;
- специальные станки, служащие для обработки изделий одного типоразмера.

Придание обрабатываемой на станке заготовке необходимой формы поверхности и размеров поверхности и размеров осуществляется перемещением определенным образом режущей кромки инструмента относительно заготовки. Требуемое относительное перемещение создается сочетанием движений инструмента и заготовки. Эти движения называют основными, или рабочими, движениями. Их разделяют на главное движение, за счет которого инструмент производит резание металла, и движение подачи.

2.2 Описание карусельного станка 1540

2.2.1 Общие сведения

Токарно-карусельный станок модели 1540 по своему назначению является универсальным и используется для выполнения разнообразных токарно-карусельных работ. Применяется при обработке крупногабаритных деталей диаметром до 4000 мм, высотой до 2000 мм, весом до 50 тонн, точность обработки до 0,05 мм. Может удовлетворить потребности в карусельных станках различных металлообрабатывающих заводов. Обеспечивает высокую производительность при обработке деталей, высокую точность и надёжность.

В конструкции станка учтены современные достижения станкостроительной промышленности и положительный опыт изготовления и эксплуатации подобных станков.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		13

На станке может выполняться как черновая, так и чистовая обработка деталей из чугуна, стали, цветных металлов и сплавов.

Широкие пределы бесступенчатого регулирования скоростей резания и подачи позволяют выбирать наиболее выгодные режимы обработки разнообразных деталей из различных материалов. Специальное приспособление позволяет производить правым суппортом торцевое точение с постоянной скоростью резания. Наличие установочного поворота планшайбы с одновременным отсчётом угла позволяет использовать на станке приспособления для сверления, расточки и фрезеровки обрабатываемой детали по заданным угловым координатам без предварительной разметки.

В нормальном исполнении станок позволяет производить следующие технологические операции:

- а) Наружное обтачивание и внутреннее растачивание цилиндрических поверхностей и конических поверхностей методом поворота суппорта;
- б) Наружное и внутреннее точение тел вращения с криволинейной образующей с помощью копировального приспособления;
- в) Проточку плоскостей (торцов);
- г) Подрезку, прорезку канавок и отрезку.

2.2.2 Основные технические характеристики станка

Основные технические данные и характеристики станка, взятые из [1], приведены в таблице 2.1. Внешний вид станка приведен на чертеже 13.03.02.2020.082.01.00ГЧ и на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Токарно-карусельный станок 1540

						13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	Дата	Л		14

Таблица 2.1 – Основные технические данные и характеристики станка

Наименование величин и единицы измерения		Значения величин
Наибольший диаметр устанавливаемого изделия, мм		4000
Наибольшая высота устанавливаемого изделия, мм		2000
Диаметр планшайбы, мм		4000
Наибольший ход ползунов вертикальных суппортов, мм		1250
Наибольший ход вертикальных суппортов от центра планшайбы, мм		2300
Перебег оси ползуна за центр планшайбы, мм		66
Угол поворота вертикальных суппортов, град	правого	-15 +40
	левого	-15 +40
Наибольший вес обрабатываемого изделия, т	при ограничении скорости планшайбы до n об/мин	50 при n ≤ 18 об/мин
	при любой скорости	25
Наибольшее усилие резания при вылете 1 резца от торца суппорта мм, кг	правый суппорт	6300 при l ≤ 630 4500 при l ≤ 1000 1800 при l ≤ 1500
	левый суппорт	5000 при l ≤ 630 3500 при l ≤ 1000 1900 при l ≤ 1500
Наибольшее суммарное усилие резания, кг		10000
Расчётный диаметр резания, мм		3200
Наибольший момент резания, кгм		16000
Пределы скорости вращения планшайбы, об/мин		0,52-48,7
Пределы вертикальных и горизонтальных подач, мм/мин		0,059-470
Скорость ускоренного перемещения ползунов и суппортов, мм/мин		2540
Скорость перемещения поперечины, мм/мин		430
Цена деления при отсчёте угла поворота планшайбы при установочном движении	цена деления точного лимба, угловые минуты	1
	цена деления грубого лимба, град	1
	скорость установочного движения планшайбы, град/мин	6

Окончание таблицы 2.1

Наименование величин и единицы измерения		Значения величин
Габариты станка, мм	высота над уровнем пола	6030
	полная высота	7150
	ширина	10145
	длина	5920
Вес станка, т		100,6

2.2.3 Управление станком

Перечень органов управления карусельного станка и их расположение приведены ниже.

Панель управления стационарного пульта:

- 1 Прибор визуального контроля температуры.
- 2 Прибор для отсчета угла поворота планшайбы.
- 3 Амперметр главного привода.
- 4 Кнопка включения и отключения сети.
- 5 Кнопка включения и отключения главного привода.
- 6 Переключатель включения зажима правого суппорта.
- 7 Переключатель включения конусного точения правого суппорта.
- 8 Амперметр привода подачи.
- 9 Прибор для пересчета подач.
- 10 Переключатель включения зажима левого суппорта.
- 11 Переключатель включения конусного точения левого суппорта.
- 12 Кнопка перемещения подвешенного пульта «влево» «вправо».
- 13 Кнопка поворота подвешенного пульта «влево» «вправо».
- 14 Кнопка перемещения подвешенного пульта «вверх» «вниз».
- 15 Кнопка перемещения поперечины «вверх» «вниз».
- 16 Аварийный стоп.
- 17 Кнопка включения подачи.
- 18 Кнопка отключения подачи.
- 19 Переключатель включения освещения.
- 20 Переключатель включения освещения лимбов.
- 21 Регулятор скорости электропривода при торцевой обработке.
- 22 Регулятор скорости подачи при торцевой обработке.
- 23 Сигнальные лампы включения заданной скорости.
- 24 Сигнальные лампы включения заданной скорости.
- 25 Указатель скорости подачи при торцевой обработке.
- 26 Кнопки отключения копирования.
- 27 Кнопка включения копирования.
- 28 Переключатель направления копирования.
- 29 Переключатель предварительного включения копирования.
- 30 Переключатель рода работы при копировании (черновая, чистовая).

31 Указатель скоростей главного привода при торцевой обработке.

32 Амперметр привода подачи.

Панель управления подвешенного пульта:

1 Регулятор скорости главного привода.

2 Переключатель включения агрегата ЭМУ левого суппорта.

3 Переключатель перебора левого суппорта.

4 Регулятор подачи левого суппорта.

5 Переключатель ступеней скорости главного привода.

6 Крестовый переключатель направления подачи левого суппорта.

7 Переключатель режима работы левого суппорта.

8 Переключатель смазки.

9 Кнопка отключения подачи левого суппорта.

10 Кнопка включения вращения планшайбы.

11 Кнопка перемещения подвешенного пульта «влево» «вправо».

12 Кнопка поворота подвешенного пульта «влево» «вправо».

13 Кнопка перемещения подвешенного пульта «вверх» «вниз».

14 Аварийный стоп.

15 Кнопка отключения вращения планшайбы.

16 Кнопка включения вращения планшайбы вправо.

17 Кнопка отключения подачи правого суппорта.

18 Переключатель режимов работы главного привода.

19 Переключатель режима работы правого суппорта.

20 Крестовый переключатель направления подачи правого суппорта.

21 Регулятор подачи правого суппорта.

22 Сигнальные лампы включения заданной ступени скорости главного привода.

23 Переключатель перебора правого суппорта.

24 Переключатель включения агрегата ЭМУ правого суппорта.

25 Включение подачи.

Панели управления на суппортах:

1 Кнопка включения перемещения подвешенного пульта «вправо» «влево» с левого суппорта.

2 Кнопка отключения фрезерной головки левого суппорта.

3 Кнопка включения перемещения фрезерной головки «вправо» левого суппорта.

4 Аварийный стоп (левого суппорта).

5 Кнопка включения перемещения фрезерной головки «влево» левого суппорта.

6 Кнопка включения поворота подвешенного пульта «влево» «вправо» с левого суппорта.

7 Кнопка включения перемещения подвешенного пульта «вверх» «вниз» левого суппорта.

8 Кнопка включения перемещения подвешенного пульта «влево» «вправо» с правого суппорта.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		17

- 9 Кнопка отключения фрезерной головки правого суппорта.
- 10 Кнопка включения перемещения фрезерной головки «вправо» правого суппорта.
- 11 Аварийный стоп (правого суппорта).
- 12 Кнопка включения перемещения фрезерной головки «влево» правый суппорт.
- 13 Кнопка включения поворота подвесного пульта «влево» «вправо» с правого суппорта.
- 14 Кнопка включения перемещения подвесного пульта «вверх» «вниз» с правого суппорта.

2.2.4 Описание станка

2.2.4.1 Кинематика станка

Главное движение – вращение планшайбы осуществляется от электродвигателя постоянного тока с регулируемым числом оборотов.

Движение рабочей подачи и установочные движения с малой скоростью суппортов и ползунов.

Каждый суппорт станка имеет независимое движение и отдельную коробку подач. Движение подачи осуществляется от электродвигателя постоянного тока с регулируемым числом оборотов в диапазоне 1:200 (14 – 2800 об/мин) через коробку подач, имеющую две механические ступени, позволяющие получить общий диапазон изменения величины подачи равный 8000.

Ускоренные движения суппорта или ползуна осуществляются от асинхронного электродвигателя трёхфазного переменного тока. Включение и выбор направления ускоренного движения суппорта или ползуна осуществляется дистанционно с пультов управления станка путём включения одной из электромагнитных муфт.

Перемещение поперечины осуществляется от асинхронного электродвигателя трёхфазного переменного тока с двумя свободными концами приводного вала через два редуктора, которые передают вращение на два винта перемещения поперечины. При вращении этих винтов поперечина перемещается вверх или вниз, в зависимости от направления вращения приводного электродвигателя.

Механический зажим поперечины осуществляется двумя отдельными механизмами. Каждый приводится в действие своим асинхронным электродвигателем трёхфазного переменного тока.

Под воздействием эксцентрикового вала зажимные рычаги осуществляют отжим и зажим поперечины. Зажим поперечины контролируется максимальным реле тока двигателя зажима. Контроль отжатия поперечины осуществляется конечными выключателями, ограничивающими поворот эксцентрикового вала.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		18

Для удобства обслуживания станка при работе имеется подвесной пульт, который может механически подниматься и опускаться в вертикальной плоскости, поворачиваться и перемещаться в горизонтальной. Каждое из движений осуществляется от отдельного электродвигателя через отдельный редуктор.

Поворот суппорта может быть осуществлён вручную.

Для наблюдения за величиной перемещения суппорта с салазками при работе каждый суппорт имеет свой механизм отсчёта перемещений расположенный в проставке между поперечиной и коробкой подач. Состоит из передающего механизма лимба точного отсчёта, лимба грубого отсчёта и устройства для работы по упорам.

Механизм отсчёта вертикальных перемещений ползуна располагается на суппорте станка. Лимб точного отсчёта перемещений ползуна кинематически связан с ходовым винтом ползуна и делает один полный оборот за один оборот ходового винта ползуна.

2.2.4.2 Конструкция станка

Станок имеет следующие основные узлы: планшайба, основание, портал, поперечина, редукторы зажима поперечины, редуктор подъёма поперечины, коробка скоростей, коробки подач правая и левая, редуктор поворота суппорта правый и левый, суппорты правый и левый, салазки правые и левые, гидравлическое зажимное устройство, механизм перемещения пульта, помосты, электрооборудование.

Основание станка выполняется в виде жесткой ребристой отливки из серого чугуна. Нижней частью основание устанавливается на фундамент и крепится фундаментными болтами. В центральной части основания закреплен шип, на котором смонтирован радиальный двухрядный роликовый подшипник с конусным отверстием, который осуществляет центрирование планшайбы и воспринимает радиальные нагрузки, возникающие при работе станка.

Портал карусельного станка состоит из правой и левой стойки и перекладины, которая связывает стойки, образуя таким образом жесткую раму. Поперечина представляет собой чугунную балку, на лицевой стороне которой имеются точно обработанные призматические направляющие для установки и перемещения салазок с суппортами. Поперечина подвешивается посредством закрепленных на ней гаек на двух ходовых винтах и двумя механизмами зажима прижимается к стойкам.

Коробка скоростей устанавливается сзади станка на плиту и крепится болтами как к плите, так и к основанию станка и фиксируется контрольными штифтами. Коробка скоростей имеет пять вертикальных осей, на которых располагаются зубчатые передачи, дающие четыре механические ступени с различными передаточными отношениями.

Переключение зубчатых передач с одной механической ступени на другую осуществляется посредством электрогидравлического механизма, управляемого с пульта управления станком. В пределах каждой механической ступени коробки скоростей производится плавное регулирование числа оборотов планшайбы за счет изменения числа оборотов главного двигателя в пределах 330 – 2200 об/мин. Все зубчатые передачи коробки скоростей выполнены косозубыми. Все вращающиеся валы и зубчатые колеса установлены на подшипниках качения.

Коробки подач устанавливаются на торцах поперечины и крепятся болтами и контрольными штифтами к проставкам. Величина подачи в зависимости от условий работы может изменяться в диапазоне 8000. Подача исчисляется в мм/мин. Механизм подвески пульта установлен на перекладине. При помощи этого механизма подвесной пульт перемещается в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

2.2.4.3 Электрооборудование станка

1 Питание электрооборудования станка производится от сети переменного тока напряжением 380 вольт.

2 Для питания цепей возбуждения электродвигателей приводов подач, возбуждения тахогенераторов и питания цепей управления предусмотрен возбуждатель напряжением 220 вольт.

3 Питание цепей управления переменного тока производится напряжением 127 вольт, для чего предусмотрен трансформатор 380/127 вольт.

4 Подвод электроэнергии к электрооборудованию, расположенному на поперечине, осуществляется посредством металлорукавов типа РЗ-Ц-Х.

5 Подвод электроэнергии к электрооборудованию, расположенному на суппортах, осуществляется посредством резиновых рукавов типа Б-15.

6 Аппаратура управления электроприводами станка смонтирована в трех станциях управления (электрошкафах), расположенных рядом со станком.

7 Управление электроприводом станка дистанционное, кнопочное, осуществляется с 2-х мест:

- с главного пульта (подготовка станка к пуску);
- с подвесного пульта (основное управление).

8 Местное освещение осуществляется напряжением 36 вольт.

9 При значительном снижении или исчезновении напряжения в сети электрооборудование станка отключается линейным контактором, не дает возможности электрооборудованию станка самопроизвольно включиться.

Главный электропривод – привод вращения планшайбы осуществляется реверсивным двигателем (М) постоянного тока типа П-102, мощностью 75 кВт, напряжением 220 вольт, 1000/2200 об/мин, с независимым возбуждением 220 вольт.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		20

Регулирование скорости вращения М производится по системе Г-Д в диапазоне от 1000 до 2200 об/мин изменением величины тока возбуждения при постоянной мощности и в диапазоне от 1000 до 330 об/мин изменением напряжения на якоре двигателя при постоянном моменте.

Питание М осуществляется от генератора (G) постоянного тока типа П-111, мощностью 90 кВт, напряжением 230 вольт 985 об/мин, с независимым возбуждением 220 вольт, который приводится во вращение асинхронным электродвигателем (M1) с короткозамкнутым ротором, типа А101-6, мощностью 100 кВт, напряжением 380 вольт, 985 об/мин.

Для ограничения пусковых токов на время пуска в цепь статора М1 включаются пусковые сопротивления R2. Защита М1 от коротких замыканий и перегрузок производится вводным автоматом QF2, имеющим комбинированные расцепители (электромагнитного и теплового действия).

Обмотки возбуждения генератора G и двигателя питаются от усилителей G1 и G2 соответственно, типа ЭМУ-25, 2,5 кВт, 230 вольт 2925 об/мин. Усилители G1 и G2 приводятся во вращение асинхронным электродвигателем M3 типа А51-2, 7 кВт, 380 вольт, 2890 об/мин.

Возбудитель G3 – генератор постоянного тока типа П-21, 1,4 кВт, 230 вольт, 2850 об/мин, приводится во вращение асинхронным электродвигателем M2 типа А32-2, 1,7 кВт, 380 вольт, 2850 об/мин.

Схема управления главным электроприводом предусматривает:

а) включение и отключение питания станка электроэнергией посредством кнопок «Сеть», «Включить» и «Отключить», расположенных на главном пульте.

б) включение и отключение приводного электродвигателя М1 посредством кнопок «Главный агрегат включить» и «Отключить», расположенный на главном пульте.

в) блокировку, исключающую включение приводного электродвигателя М1, если не включен линейный контактор QF3.

г) дистанционный пуск электродвигателя М посредством кнопок «Планшайба вправо» и «Планшайба влево», расположенных на подвесном пульте.

д) толчковое включение электродвигателя М посредством кнопок «Планшайба вправо» и «Планшайба влево», расположенных на подвесном пульте, причем, предварительно необходимо поставить переключатель «Работа-наладка» в положение «Наладка».

е) отключение электродвигателя М посредством кнопок «Планшайба стоп» и «Аварийный стоп».

ж) динамическое торможение электродвигателя М при оперативных и аварийных отключениях.

з) толчковое включение электродвигателя М при переключении ступеней скорости в случае попадания зубчатых муфт зубом на зуб.

и) электрические блокировки, не допускающие включения электродвигателя М главного привода:

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		21

1) при отсутствии масла в магистралях смазки направляющих планшайбы и коробки скоростей.

2) при отключенном линейном контакторе QF3 когда катушка реле аварийного останова QF2 не имеет питания.

3) при неполном зацеплении муфт в коробке скоростей главного привода.

4) при незажатой поперечине.

5) если переключатель «Смазка - Гидропереключение» установлен в положение «Гидропереключение».

6) при отключенном автомате QF1 питания задающей обмотки электромашиного усилителя G2.

7) при отключенном контакторе KM6 электродвигателя M1.

8) при включенном механизме отсчета угла поворота планшайбы.

к) защиту электродвигателя М главного привода:

1) от недопустимого уменьшения или исчезновения тока в обмотке возбуждения двигателя М посредством минимального токового реле КА3.

2) от недопустимо больших величин тока в якорной цепи Г-Д посредством максимального токового реле КА1.

л) контроль величины тока в якоре электродвигателя М главного привода амперметром, установленным на главном пульте.

Техническая характеристика электрооборудования станка приведена в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Техническая характеристика электрооборудования станка

Обозначение	Наименование и техническая характеристика	Тип
М	Электродвигатель постоянного тока. Напряжение возбуждения 220 В, 1000 об/мин 220 В, 63 кВт, 320А	П-102
G	Двухмашинный агрегат, включающий: а) генератор постоянного тока с независимым возбуждением. Напряжение возбуждения 220 В, 90 кВт, 230 В, 391 А, 985 об/мин	П1П
M1	б) асинхронный электродвигатель 100 кВт, 985 об/мин.	A 101-6
G1	Трехмашинный агрегат, включающий: а) электромашиный усилитель, 230 В, 2,5 кВт, 2925 об/мин	ЭМУ-25
G2	б) электромашиный усилитель 230 В, 2,5 кВт, 2925 об/мин	ЭМУ-25
M3	в) асинхронный электродвигатель, 380 В, 7 кВт, 2890 об/мин	A51-2

Окончание таблицы 2.2

Обозначение	Наименование и техническая характеристика	Тип
BR	Электродвигатель постоянного тока, 110 В, 0,12 кВт, 2000 об/мин	МИ-12Ф
M6	Асинхронный электродвигатель, 220/380 В, 1 кВт, 980 об/мин	АО41-6
M7	Асинхронный электродвигатель, 220/380 В, 1,7 кВт, 2850 об/мин	АО32-2
G3	Двухмашинный агрегат включающий: а) генератор постоянного тока с самовозбуждением 230 В, 1,4 кВт, 2850 об/мин б) асинхронный электродвигатель 220/380 В, 1,7 кВт, 2850 об/мин	П21
M2		А32-2
M4	Асинхронный электродвигатель 220/380 В, 10 кВт, 1305 об/мин	АС61-4
M8 M9	Асинхронный электродвигатель 220/380 В, 1 кВт, 1410 об/мин, 2 шт.	АО32-4
M10 M11 M12	Асинхронный электродвигатель 220/380 В, 1 кВт, 1300 об/мин, 3 шт.	АОС32-4
G4, G5	Двухмашинный агрегат включающий: а) электромашинный усилитель с обмотками управления комплект на 230 В, 4,5 кВт, 2935 об/мин, 2 шт.	ЭМУ-50
M13	б) асинхронный электродвигатель 220/380 В, 7 кВт, 2890 об/мин	А51-2
M14 M15	Электродвигатель постоянного тока 220 В, 6,6 кВт, 2200 об/мин, 2 шт.	ПН-45
BR1 BR2	Тахогенератор с независимым возбуждением на 110 В, U _{вых} = 460 В, 4000 об/мин, 2 шт.	ТМГ-30
M16 M17	Асинхронный электродвигатель 220/380 В, 4,5 кВт, 860 об/мин, 2 шт.	АОС52-6

Выводы по разделу два

Во втором разделе описаны технологический процесс токарной обработки и токарно-карусельный станок. Приводится техническая характеристика, возможности, перечень органов управления станка, кинематика, конструкция, а также электрооборудование станка.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		23

3 РАСЧЕТ ТАХОГРАММЫ И НАГРУЗОЧНОЙ ДИАГРАММЫ ГЛАВНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА. ВЫБОР МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

3.1 Технологическая карта обработки типовой детали

Для расчета взята деталь 1А, вид которой представлен на рисунке 3.1.

Описание технологического процесса обработки типовой детали:

1) черновое точение поверхности h глубиной 14 мм проходным резцом с рабочей подачей 1,5 мм/об;

2) черновое точение той же поверхности h глубиной 14 мм проходным резцом с рабочей подачей 1,5 мм/об;

3) чистовое точение поверхности h глубиной 2 мм проходным резцом с рабочей подачей 0,8 мм/об;

4) прорезание паза высотой $3h$ глубиной 30 мм отрезным резцом с рабочей подачей 0,5 мм/об за три прохода.

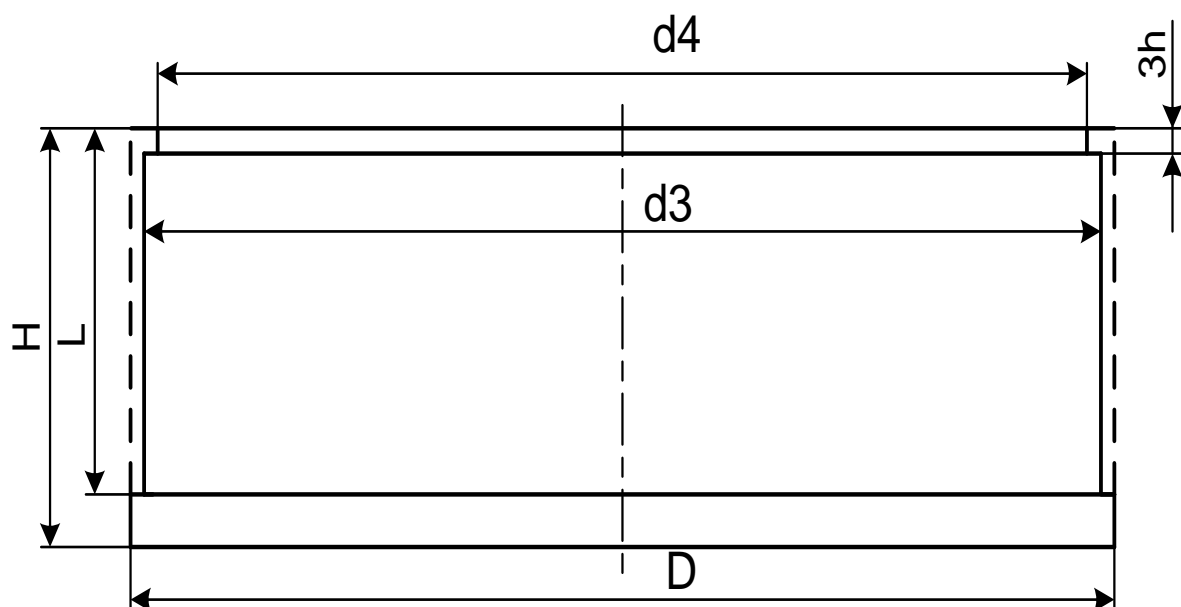


Рисунок 3.1 – Общий вид типовой детали

На рисунке 3.1 пунктиром показаны начальные размеры заготовки. Размеры готовой типовой детали приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Размеры готовой детали (см. рисунок 3.1)

В миллиметрах						
Размер	D	d3	d4	H	L	h
Величина	3100	3040	2980	800	700	16

Изм.	Лист	№	Подпись	Дата/Л
------	------	---	---------	--------

13.03.02.2020.082.00.000ПЗ

Лист4

24

3.2 Расчет тахограммы и нагрузочной диаграммы главного электропривода

Расчет тахограммы и нагрузочной диаграммы главного электропривода производим по [2].

Исходные данные для расчета при обработке типовой детали:

1) глубины резания на каждом участке:

$h_1=14,0$ мм; $h_2=14,0$ мм; $h_3=2,0$ мм; $h_4=16,0$ мм; $h_5=16,0$ мм; $h_6=16,0$ мм;

2) диаметр детали на каждом участке резания:

$d_1=3072$ мм; $d_2=3044$ мм; $d_3=3040$ мм; $d_4=2980$ мм; $d_5=2980$ мм; $d_6=2980$ мм;

3) рабочие подачи на каждом участке резания взяты из справочника [3]

$S_1=1,5$ мм/об; $S_2=1,5$ мм/об; $S_3=0,8$ мм/об; $S_4=0,5$ мм/об; $S_5=0,5$ мм/об; $S_6=0,5$ мм/об;

4) длина обрабатываемой поверхности:

$L_1=700$ мм; $L_2=700$ мм; $L_3=700$ мм; $L_4=30$ мм; $L_5=30$ мм; $L_6=30$ мм;

Из справочника [3] по технологии резания выбираем:

1) коэффициенты, характеризующие обрабатываемый материал, материал резца и вид токарной обработки в формуле для скорости резания:

$C_{V1}=340$; $C_{V2}=340$; $C_{V3}=340$; $C_{V4}=47$; $C_{V5}=47$; $C_{V6}=47$;

2) показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого металла, материала резца и вида токарной обработки в формуле для расчета скорости резания:

$y_{V1}=0,45$; $y_{V2}=0,45$; $y_{V3}=0,45$; $y_{V4}=0,80$; $y_{V5}=0,80$; $y_{V6}=0,80$;

$x_{V1}=0,15$; $m=0,20$;

3) стойкость резца: $T=60$ мин;

4) коэффициенты, характеризующие обрабатываемый материал, материал резца и вид токарной обработки в формуле для расчета усилий резания:

$C_{Fz1}=300$; $C_{Fz2}=300$; $C_{Fz3}=300$; $C_{Fz4}=408$; $C_{Fz5}=408$; $C_{Fz6}=408$;

5) показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого металла, материала резца и вида токарной обработки в формуле для расчета усилий резания:

$Y_{Fz1}=0,75$; $Y_{Fz2}=0,75$; $Y_{Fz3}=0,75$; $Y_{Fz4}=0,80$; $Y_{Fz5}=0,80$; $Y_{Fz6}=0,80$;

$X_{Fz1}=1,0$; $X_{Fz2}=1,0$; $X_{Fz3}=1,0$; $X_{Fz4}=0,72$; $X_{Fz5}=0,72$; $X_{Fz6}=0,72$;

$P_{z1}=-0,15$; $P_{z2}=-0,15$; $P_{z3}=-0,15$; $P_{z4}=0$; $P_{z5}=0$; $P_{z6}=0$;

Скорость резания при точении детали рассчитывается по формуле:

$$\left(V_{\text{рез}} = \frac{C_v}{T^m \cdot h^{x_v} \cdot S^{y_v}} \right);$$
$$V_{\text{рез1}} = \frac{C_{v1}}{T^m \cdot h_1^{x_v} \cdot S_1^{y_{v1}}} = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 14,0^{0,15} \cdot 1,5^{0,45}} = 84,079 \text{ м/мин};$$

по аналогии находим скорости резания на остальных участках:

$$V_{\text{рез2}} = \frac{340}{60^{0.2} \cdot 14,0^{0.15} \cdot 1,5^{0.45}} = 84,079 \text{ м/мин};$$

$$V_{\text{рез3}} = \frac{340}{60^{0.2} \cdot 2,0^{0.15} \cdot 0,8^{0.45}} = 149,38 \text{ м/мин.}$$

Скорость резания при прорезании паза рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{рез4}} = \frac{C_{v4}}{T^m \cdot S_4^{Y_{v4}}} = \frac{47}{60^{0.2} \cdot 0,5^{0.8}} = 36,082 \text{ м/мин},$$

по аналогии находим скорости резания на остальных участках:

$$V_{\text{рез5}} = \frac{47}{60^{0.2} \cdot 0,5^{0.8}} = 36,082 \text{ м/мин};$$

$$V_{\text{рез6}} = \frac{47}{60^{0.2} \cdot 0,5^{0.8}} = 36,082 \text{ м/мин.}$$

Расчет частоты вращения планшайбы на каждом этапе резания произведем по формуле:

$$\left(n = \frac{1000 \cdot V_{\text{рез}}}{\pi \cdot d} \right);$$

$$n_1 = \frac{1000 \cdot V_{\text{рез1}}}{\pi \cdot d_1} = \frac{1000 \cdot 84,079}{3,14 \cdot 3072} = 8,712 \text{ об/мин};$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 84,079}{3,14 \cdot 3044} = 8,792 \text{ об/мин};$$

$$n_3 = \frac{1000 \cdot 149,384}{3,14 \cdot 3040} = 15,642 \text{ об/мин};$$

$$n_4 = \frac{1000 \cdot 36,082}{3,14 \cdot 2980} = 3,854 \text{ об/мин};$$

$$n_5 = \frac{1000 \cdot 36,082}{3,14 \cdot 2980} = 3,854 \text{ об/мин};$$

$$n_6 = \frac{1000 \cdot 36,082}{3,14 \cdot 2980} = 3,854 \text{ об/мин.}$$

Расчет машинного времени на каждом участке резания

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		26

$$\left(t_m = \frac{L \cdot 60}{S \cdot n} \right);$$

$$t_{m1} = \frac{L_1 \cdot 60}{S_1 \cdot n_1} = \frac{700 \cdot 60}{1,5 \cdot 8,712} = 3214 \text{ с},$$

по аналогии находим машинное время на остальных участках:

$$t_{m2} = \frac{700 \cdot 60}{1,5 \cdot 8,792} = 3185 \text{ с};$$

$$t_{m3} = \frac{700 \cdot 60}{0,8 \cdot 15,642} = 3356 \text{ с};$$

$$t_{m4} = \frac{30 \cdot 60}{0,5 \cdot 3,854} = 934 \text{ с};$$

$$t_{m5} = \frac{30 \cdot 60}{0,5 \cdot 3,854} = 934 \text{ с};$$

$$t_{m6} = \frac{30 \cdot 60}{0,5 \cdot 3,854} = 934 \text{ с}.$$

Суммарное машинное время

$$\left(t_{\text{м.сум}} = t_{m1} + t_{m2} + t_{m3} + t_{m4} + t_{m5} + t_{m6} \right),$$

$$t_{\text{м.сум}} = 3214 + 3185 + 3356 + 934 + 934 + 934 = 12557 \text{ с}.$$

Для определения усилий резания на каждом участке воспользуемся следующей формулой:

$$F_z = 9,81 \cdot C_{Fz} \cdot h^{X_{Fz}} \cdot S^{Y_{Fz}} \cdot V_{\text{рез}}^{P_z};$$

$$F_{z1} = 9,81 \cdot C_{Fz1} \cdot h_1^{X_{Fz1}} \cdot S_1^{Y_{Fz1}} \cdot V_{\text{рез1}}^{P_{z1}};$$

$$F_{z1} = 9,81 \cdot 300 \cdot 14^1 \cdot 1,5^{0,75} \cdot 84,079^{-0,15} = 28727 \text{ Н};$$

$$F_{z2} = 9,81 \cdot 300 \cdot 14^1 \cdot 1,5^{0,75} \cdot 84,079^{-0,15} = 28727 \text{ Н};$$

$$F_{z3} = 9,81 \cdot 300 \cdot 2,0^1 \cdot 0,8^{0,75} \cdot 149,384^{-0,15} = 2350 \text{ Н};$$

$$F_{z4} = 9,81 \cdot 408 \cdot 16^{0,72} \cdot 0,5^{0,8} \cdot 36,082^0 = 16923 \text{ Н};$$

$$F_{z5} = 9,81 \cdot 408 \cdot 16^{0,72} \cdot 0,5^{0,8} \cdot 36,082^0 = 16923 \text{ Н};$$

$$F_{z6} = 9,81 \cdot 408 \cdot 16^{0,72} \cdot 0,5^{0,8} \cdot 36,082^0 = 16923 \text{ Н}.$$

Расчет мощностей резания на каждом проходе произведем по нижеследующим формулам:

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		27

$$P_{рез} = \frac{F_z \cdot V_{рез}}{60 \cdot 1000};$$

$$P_{рез1} = \frac{F_{z1} \cdot V_{рез1}}{60 \cdot 1000} = \frac{28727 \cdot 84,079}{60 \cdot 1000} = 40,255 \text{ кВт},$$

по аналогии находим мощности резания на остальных участках:

$$P_{рез2} = \frac{28727 \cdot 84,079}{60 \cdot 1000} = 40,255 \text{ кВт};$$

$$P_{рез3} = \frac{2350 \cdot 149,384}{60 \cdot 1000} = 5,85 \text{ кВт};$$

$$P_{рез4} = \frac{16923 \cdot 36,082}{60 \cdot 1000} = 10,177 \text{ кВт};$$

$$P_{рез5} = \frac{16923 \cdot 36,082}{60 \cdot 1000} = 10,177 \text{ кВт};$$

$$P_{рез6} = \frac{16923 \cdot 36,082}{60 \cdot 1000} = 10,177 \text{ кВт}.$$

Допускаем, что наибольшей мощности соответствует номинальный к.п.д. [2]. По расчетам $P_{рез1}$ – наибольшая мощность резания. Примем ее как $P_{z_ном}$, тогда

$$P_{нз} = P_{рез1} = 40,255 \text{ кВт}.$$

Номинальный к.п.д. станка взят из [1]: $\eta_{н.ст} = 0,7$.

Тогда мощность на валу главного электропривода при установившемся режиме и номинальной мощности резания

$$P_{ном} = \frac{P_{нз}}{\eta_{н.ст}} = \frac{40,255}{0,7} = 57,507 \text{ кВт},$$

где $\eta_{н.ст}$, $P_{нз}$ – соответственно номинальный к.п.д. станка и номинальная мощность резания.

Определение коэффициентов загрузки станка на каждом участке.

Так как нагрузка станка переменная, то возникает необходимость в определении к.п.д. для различных нагрузок. Для этого целесообразно определить коэффициенты загрузки станка на всех этапах резания.

$$k_3 = \frac{P_{\text{рез}}}{P_{\text{HZ}}};$$

$$k_{31} = \frac{P_{\text{рез1}}}{P_{\text{HZ}}} = \frac{40,255}{40,255} = 1;$$

$$k_{32} = \frac{40,255}{40,255} = 1;$$

$$k_{33} = \frac{5,85}{40,255} = 0,145;$$

$$k_{34} = \frac{10,177}{40,255} = 0,253;$$

$$k_{35} = \frac{10,177}{40,255} = 0,253;$$

$$k_{36} = \frac{10,177}{40,255} = 0,253.$$

К.п.д. станка при разных нагрузках

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{a}{k_3} + b},$$

где k_3 – коэффициент загрузки станка на участке резания;
 a – коэффициент постоянных потерь;
 b – коэффициент переменных потерь.

$$a + b = \frac{1 - \eta_{\text{н.ст}}}{\eta_{\text{н.ст}}} = \frac{1 - 0,7}{0,7} = 0,429.$$

Ориентировочно для практических расчетов принимаем:

$$a = 0,6 \cdot (a + b) = 0,6 \cdot 0,429 = 0,257;$$

$$b = 0,4 \cdot (a + b) = 0,4 \cdot 0,429 = 0,171;$$

$$\eta_1 = \frac{1}{1 + \frac{a}{k_{31}} + b} = \frac{1}{1 + \frac{0,257}{1} + 0,171} = 0,7;$$

$$\eta_2 = \frac{1}{1 + \frac{0,257}{1} + 0,171} = 0,7;$$

$$\eta_3 = \frac{1}{1 + \frac{0,257}{0,145} + 0,171} = 0,34;$$

$$\eta_4 = \frac{1}{1 + \frac{0,257}{0,253} + 0,171} = 0,457;$$

$$\eta_5 = \frac{1}{1 + \frac{0,257}{0,253} + 0,171} = 0,457;$$

$$\eta_6 = \frac{1}{1 + \frac{0,257}{0,253} + 0,171} = 0,457;$$

Расчет мощности на валу электродвигателя планшайбы на каждом участке резания:

$$\left(P = \frac{P_{\text{рез}}}{\eta} \right);$$

$$P_1 = \frac{P_{\text{рез1}}}{\eta_1} = \frac{40,255}{0,7} = 57,507 \text{ кВт};$$

$$P_2 = \frac{40,255}{0,7} = 57,507 \text{ кВт};$$

$$P_3 = \frac{5,85}{0,34} = 17,204 \text{ кВт};$$

$$P_4 = \frac{10,177}{0,457} = 22,273 \text{ кВт};$$

$$P_5 = \frac{10,177}{0,457} = 22,273 \text{ кВт};$$

$$P_6 = \frac{10,177}{0,457} = 22,273 \text{ кВт}.$$

где $P_{\text{рез}}$ – мощность резания на каждом этапе;

η – к.п.д. станка при разных нагрузках.

Рассчитаем скорости двигателя на всех участках резания:

$$\left(\Omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot i}{60} \right),$$

где $i = 110$ – передаточное число коробки передач.

$$\Omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_1}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 8,712 \cdot 110}{60} = 100,355 \text{ рад/с};$$

$$\Omega_2 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 8,792 \cdot 110}{60} = 101,278 \text{ рад/с};$$

$$\Omega_3 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 15,642 \cdot 110}{60} = 180,178 \text{ рад/с};$$

$$\Omega_4 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3,854 \cdot 110}{60} = 44,396 \text{ рад/с};$$

$$\Omega_5 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3,854 \cdot 110}{60} = 44,396 \text{ рад/с};$$

$$\Omega_6 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3,854 \cdot 110}{60} = 44,396 \text{ рад/с}.$$

Тогда момент на каждом участке при рассчитанных выше скоростях:

$$\left(M = \frac{P \cdot 1000}{\Omega} \right);$$

$$M_1 = \frac{P_1 \cdot 1000}{\Omega_1} = \frac{57507}{100,355} = 573,039 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = \frac{57507}{101,278} = 567,816 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = \frac{17204}{180,178} = 95,483 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_4 = \frac{22273}{44,396} = 501,68 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_5 = \frac{22273}{44,396} = 501,68 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_6 = \frac{22273}{44,396} = 501,68 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для построения нагрузочной диаграммы электропривода необходимо учесть периоды пауз. Нагрузка двигателя в трех паузах из шести обусловлена потерями холостого хода станка, в других трех – двигатель стоит. Поэтому необходимо учесть ухудшение охлаждения двигателя. Мощность на валу двигателя при этом

$$P_0 = a \cdot P_{\text{нз}} = 0,257 \cdot 40,255 = 10,351 \text{ кВт},$$

$$\beta = 0,5,$$

где $P_{\text{нз}}$ – номинальная мощность резания;

а – коэффициент постоянных потерь;
 β – коэффициент учитывающий ухудшение охлаждения двигателя во время стоянки.

Паузы в работе станка определяются по нормативам вспомогательного и подготовительно-заключительного времени, в соответствии с которым необходимо учесть:

- а) время на установку детали;
- б) время на промер при продольной и поперечной обточках;
- в) вспомогательное время на управление станком;
- г) время, требуемое на отвод суппорта и замену инструмента.

Принимаем вспомогательное время

$$t_{всп} = 5000 \text{ с,}$$

распределяем его равномерно между рабочими переходами [2].

Для предварительного выбора двигателя рассчитаем среднюю мощность:

$$\left(P_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^6 (P_i \cdot t_{mi}) + 0,5 \cdot P_0 \cdot t_{всп}}{t_{м.сум} + 0,5 \cdot t_{всп} + 0,5 \cdot t_{всп}} \right);$$

$$P_{ср} = \frac{P_1 \cdot t_{m1} + P_2 \cdot t_{m2} + P_3 \cdot t_{m3} + P_4 \cdot t_{m4} + P_5 \cdot t_{m5} + P_6 \cdot t_{m6} + 0,5 \cdot P_0 \cdot t_{всп}}{t_{м.сум} + 0,5 \cdot t_{всп} + 0,5 \cdot \beta \cdot t_{всп}};$$

$$P_{ср} = \frac{57,507 \cdot 3214 + 57,507 \cdot 3185 + 17,204 \cdot 3356 + 22,273 \cdot 934 + \rightarrow}{12557 + 0,5 \cdot 5000 +}$$

$$\rightarrow \frac{+ 22,273 \cdot 934 + 22,273 \cdot 934 + 0,5 \cdot 10,351 \cdot 5000}{+ 0,5 \cdot 0,5 \cdot 5000} = 26,432 \text{ кВт.}$$

При выборе двигателя следует учитывать следующее соотношение:

$$P_n \geq (1,2 \div 1,3) \cdot P_{ср}; P_n \geq 34 \text{ кВт.}$$

3.3 Выбор мощности двигателя

На основании расчетных данных выбираем по справочнику [4] двигатель постоянного тока со следующими паспортными данными:

- 1) номинальная мощность $P_{дв.н} = 75 \text{ кВт}$;
- 2) номинальные обороты $n_{дв.н} = 1000 \text{ об/мин}$;
- 3) номинальный к.п.д. $\eta_{дв.н} = 0,895$;
- 4) номинальное напряжение $U_{дв.н} = 220 \text{ В}$;

- 5) сопротивление двигателя при температуре 20°C $r_{дв} = 0,0199$ Ом;
 7) число пар полюсов $p = 2$;
 8) момент инерции $J_{дв} = 12$ кг·м²;
 9) индуктивность якорной цепи двигателя $L_a = 0,55$ мГн;
 10) масса планшайбы $m_{пш} = 17000$ кг;
 11) масса детали $m_{дет} = 47098$ кг;

Рассчитаем номинальный ток двигателя:

$$I_{дв.н} = \frac{P_{дв.н} \cdot 1000}{U_{дв.н} \cdot \eta_{дв.н}} = \frac{75 \cdot 1000}{220 \cdot 0,895} = 380,904 \text{ А.}$$

Номинальная скорость двигателя:

$$\Omega_{дв.н} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{дв.н}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1000}{60} = 104,72 \text{ рад/с.}$$

Постоянная двигателя

$$C\Phi = \frac{U_{дв.н} - I_{дв.н} \cdot r_{дв}}{\Omega_{дв.н}} = \frac{220 - 380,904 \cdot 0,0199}{104,72} = 2,028 \text{ В} \cdot \text{с.}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{дв.н} = \frac{P_{дв.н} \cdot 1000}{\Omega_{дв.н}} = \frac{75000}{104,72} = 716,197 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Рассчитаем скорость и момент холостого хода двигателя:

$$\Omega_0 = \frac{U_{дв.н}}{C\Phi} = \frac{220}{2,028} = 108,457 \text{ рад/с};$$

$$M_0 = \frac{P_0 \cdot 1000}{\Omega_0} = \frac{10351}{108,457} = 95,442 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Суммарный момент инерции приведенный к валу двигателя:

$$J_{\Sigma} = 1,2 \cdot J_{\text{дв}} + J_{\text{пш}} \cdot \frac{1}{i^2} + J_{\text{дет}} \cdot \frac{1}{i^2};$$

$$J_{\text{пш}} = m_{\text{пш}} \frac{d_1^2}{8} = 17000 \cdot \frac{4^2}{8} = 34000 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_{\text{дет}} = m_{\text{дет}} \frac{d_2^2}{8} = 47098 \cdot \frac{3,1^2}{8} = 56576,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где $m_{\text{пш}} = 17000$ кг – масса планшайбы;

$m_{\text{дет}} = 47098$ кг – масса детали;

$d_1 = 4$ м – диаметр планшайбы;

$d_2 = 3,1$ м – диаметр детали.

$$J_{\Sigma} = 1,2 \cdot 12 + \frac{34000}{110^2} + \frac{56576,5}{110^2} = 21,885 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Из уравнения движения электропривода $M_{\text{дв}} - M_{\text{с}} = J_{\text{дв}} \cdot \frac{\Delta\Omega}{\Delta t}$ найдем времена разгона и торможения на всех участках. Для дальнейших расчетов принимаем $M_{\text{max}} = 2M_{\text{дв,н}} = 1432 \text{ Н} \cdot \text{м}$:

1) время разгона до скорости Ω_1

$$t_1 = J_{\Sigma} \cdot \frac{\Omega_1}{M_{\text{max}} - M_0} = 21,885 \cdot \frac{100,355}{1432 - 95,442} = 1,643 \text{ с};$$

2) время работы двигателя на холостом ходу со скоростью Ω_1

$$t_2 = \frac{t_{\text{всп}}}{6} = \frac{5000}{6} = 833,333 \text{ с};$$

3) время работы двигателя при резании со скоростью Ω_1

$$t_3 = t_{\text{мл}} = 3214 \text{ с};$$

4) время торможения двигателя до полного останова

$$t_4 = J_{\Sigma} \cdot \frac{-\Omega_1}{-M_0} = 21,885 \cdot \frac{-100,355}{-95,442} = 23 \text{ с};$$

5) время стоянки двигателя

$$t_5 = \frac{t_{\text{всп}}}{6} = \frac{5000}{6} = 833,333 \text{ с};$$

6) время разгона до скорости Ω_2

$$t_6 = J_{\Sigma} \cdot \frac{\Omega_2}{M_{\text{max}} - M_0} = 21,885 \cdot \frac{101,278}{1432 - 95,442} = 1,66 \text{ с};$$

7) время работы двигателя при резании со скоростью Ω_1

$$t_7 = t_{m2} = 3185 \text{ с};$$

8) время торможения двигателя до полного останова

$$t_8 = J_{\Sigma} \cdot \frac{-\Omega_2}{-M_0} = 21,885 \cdot \frac{-101,278}{-95,442} = 23,2 \text{ с};$$

9) время стоянки двигателя

$$t_9 = \frac{t_{\text{всп}}}{6} = \frac{5000}{6} = 833,333 \text{ с};$$

10) время разгона до скорости Ω_3

$$t_{10} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\Omega_3}{M_{\text{max}} - M_0} = 21,885 \cdot \frac{180,178}{1432 - 95,442} = 2,95 \text{ с};$$

11) время работы двигателя при резании со скоростью Ω_3

$$t_{11} = t_{m3} = 3356 \text{ с};$$

12) время торможения двигателя до полного останова

$$t_{12} = J_{\Sigma} \cdot \frac{-\Omega_3}{-M_0} = 21,885 \cdot \frac{-180,178}{-95,442} = 41,32 \text{ с};$$

13) время стоянки двигателя

$$t_{13} = \frac{t_{\text{всп}}}{6} = \frac{5000}{6} = 833,333 \text{ с};$$

14) время разгона до скорости Ω_4

$$t_{14} = J_{\Sigma} \cdot \frac{\Omega_4}{M_{\max} - M_0} = 21,885 \cdot \frac{44,396}{1432 - 95,442} = 0,73 \text{ с};$$

15) время работы двигателя при резании со скоростью Ω_4

$$t_{15} = t_{m4} = 934,065 \text{ с};$$

16) время работы двигателя на холостом ходу со скоростью Ω_4

$$t_{16} = \frac{t_{\text{всп}}}{6} = \frac{5000}{6} = 833,333 \text{ с};$$

17) время работы двигателя при резании со скоростью Ω_5

$$t_{17} = t_{m5} = 934,065 \text{ с};$$

18) время работы двигателя на холостом ходу со скоростью Ω_5

$$t_{18} = \frac{t_{\text{всп}}}{6} = \frac{5000}{6} = 833,333 \text{ с};$$

19) время работы двигателя при резании со скоростью Ω_6

$$t_{19} = t_{m6} = 934,065 \text{ с};$$

20) время торможения двигателя до полного останова

$$t_{20} = J_{\Sigma} \cdot \frac{-\Omega_6}{-M_0} = 21,885 \cdot \frac{-44,396}{-95,442} = 10,2 \text{ с}.$$

Общий вид нагрузочной диаграммы и тахограммы приведен на плакате 13.03.02.2020.082.02.00

Выполним проверку двигателя по нагреву методом эквивалентного момента с учетом холостого хода и пуско-тормозных режимов.

Проверка двигателя осуществляется согласно условию:

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		36

$$M_{\text{ЭКВ}} \leq M_{\text{ДВ.Н}};$$

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_{M1} + M_2^2 \cdot t_{M2} + M_3^2 \cdot t_{M3} + M_4^2 \cdot t_{M4} + M_5^2 \cdot t_{M5} +}{t_{\text{М.СУМ}} + 0,5 \cdot t_{\text{ВСП}} +} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{+ M_6^2 \cdot t_{M6} + 0,5 \cdot M_0^2 \cdot t_{\text{ВСП}}}{+ 0,5 \cdot \beta \cdot t_{\text{ВСП}}};$$

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{573,039^2 \cdot 3214 + 567,816^2 \cdot 3185 + 95,483^2 \cdot 3356 + 501,68^2 \cdot 934 +}{12560 + 0,5 \cdot 5000 +} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{+ 501,68^2 \cdot 934 + 501,68^2 \cdot 934 + 0,5 \cdot 95,442^2 \cdot 5000}{+ 0,5 \cdot 0,5 \cdot 5000} = 481,771 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{ДВ.Н}} = 716,197 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Из результатов видно, что выбранный двигатель удовлетворяет условию нагрева $M_{\text{ЭКВ}} \leq M_{\text{ДВ.Н}}$.

Проверка двигателя по перегрузочной способности осуществляется из условия:

$$\left(\frac{M_{\text{max}_i}}{M_{\text{ДВ.Н}}} \leq 2 \right),$$

где M_{max_i} — максимальный момент двигателя на участке резания

$$M_{\text{max}_i} = M_1 = 573,039 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$\frac{M_{\text{max}_i}}{M_{\text{ДВ.Н}}} = 0,8, \text{ что полностью удовлетворяет условию проверки.}$$

Выводы по разделу три

В третьем разделе составлена технологическая карта обработки типовой детали, произведен расчет и построение тахограммы и нагрузочной диаграммы главного электропривода на основе определения режима резания. Кроме этого, был проведен выбор мощности двигателя для привода главного движения станка.

										Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ						37

13.03.02.2020.082.00.000ПЗ

4 ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЭЛЕКТРОПРИВОДУ ПЛАНШАЙБЫ. ВЫБОР ТИПА ПРИВОДА

4.1 Требования, предъявляемые к электроприводу планшайбы

Из условий технологического процесса токарной обработки на карусельном станке 1540, вытекают следующие требования к электроприводу планшайбы:

- 1) Поддержание скорости двигателя в течение процесса токарной обработки на заданном уровне с точностью 3%.
- 2) Скорость вращения планшайбы необходимо регулировать плавно в диапазоне 10:1.
- 3) Электрический привод должен быть реверсивным.
- 4) Электрический привод должен быть двухзонным.
- 5) Управление электроприводом станка сосредотачивается в местах, удобных для обслуживающего персонала.

4.2 Выбор типа привода

Проанализировав данные электроприводов, рассмотренных в разделе 1 ПЗ, делаем вывод, что электропривод серии ЭУП1 ввиду недостатка информации рассматривать не следует. Среди оставшихся могут быть выбраны электроприводы серии ЭПТ1, ТЕР, ТПР, ЭПУ1М и КТЭ. Но электроприводы ЭПУ1М и КТЭ имеют самое близкое значение выпрямленного тока, что уменьшает энергетические и массогабаритные показатели. Приводы серии ЭПУ1М и КТЭ в равной мере удовлетворяют предъявленным требованиям, но, учитывая, что электропривод серии КТЭ стоит значительно дороже, то выбираем электропривод ЭПУ1М производства ООО «ЭЛПРИ» г. Чебоксары (рисунок 4.1).

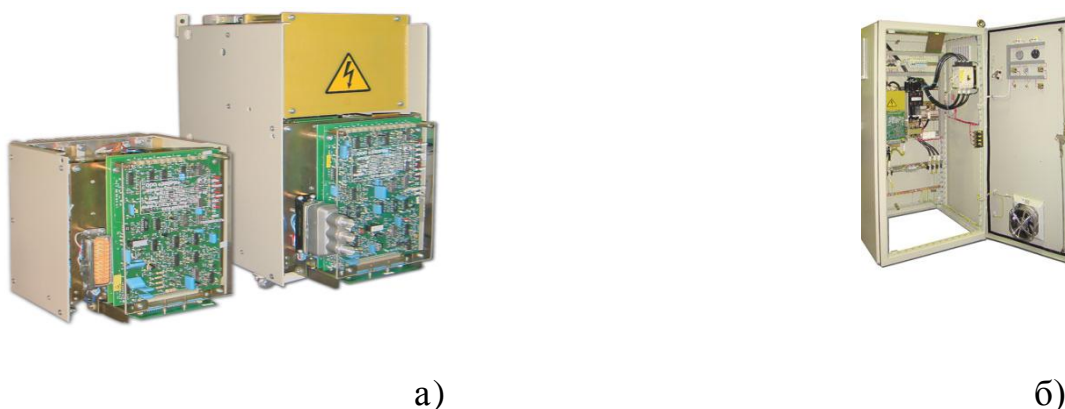


Рисунок 4.1 – Аналоговый трехфазный электропривод ЭПУ1М:
а) общий вид; б) шкаф управления ЭПУ1М

Выводы по разделу четыре

В четвертом разделе были проанализированы требования к электроприводу главного движения станка, на основании которых, а также данных из раздела 1, посвященного сравнительной оценке приводов, выбран подходящий по всем критериям тип электропривода.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		39

5 ОПИСАНИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЭПУ1М-2-46 27 Д УХЛ4

5.1 Структура условного обозначения

Электропривод постоянного тока модернизированный, реверсивный с обратной связью по скорости. Номинальные параметры на выходе при напряжении питающей сети $U_{сети}=380$ В и частоте $f=50$ Гц: номинальное напряжение $U_n=220$ В, номинальный ток $I_n=25$ А. УХЛ4 – климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69.

5.2 Состав электропривода

В состав электропривода входят:

- 1) блок управления;
- 2) электродвигатель;
- 3) трансформатор;
- 4) аппаратура защиты от коротких замыканий (блок предохранителей или автомат);
- 5) блок ввода;
- 6) ЗИП (запасные изделия прилагаемые) в соответствии с ведомостями ЗИП на соответствующее исполнение.

Основу силовой схемы якорного тиристорного преобразователя ТПЯ составляет 3-фазная мостовая схема.

5.3 Особенности включения и управления электропривода

Цепи управления, силовая часть и источник питания обмотки возбуждения подключаются к сети либо индивидуальными коммутационными аппаратами, либо общим. Подключение указанных цепей может производиться в любой последовательности. Кнопкой сброса S1 пользуются для повторного включения электропривода после срабатывания какой-либо защиты.

Для управления электроприводом от ручного задатчика используются контакты аппарата выбора направления движения «В1» – вперед и «Н1» – назад. Контакт «Р» – «Работа» осуществляет разблокировку регулятора скорости. Нажатием на кнопку S2 осуществляется аварийная (экстренная) остановка привода.

5.4 Функциональная схема электропривода

Функциональная схема реверсивного двухзонного электропривода приведена на листе 13.03.02.2020.082.04.000Э2.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		40

Электропривод ЭПУ 1М – 2... Д включает блок управления, электродвигатель М1, тахогенератор ВР1, блок предохранителей U1, трансформатор Т1, блок ввода U3.

Управление тиристорами ТПЯ производится от трехканальной СИФУ, содержащей формирователи импульсов ФИ1 – ФИ3. Ввод управляющего сигнала в СИФУ, регулирование углов и их ограничение осуществляется с помощью переменных резисторов в управляющем органе (УО) СИФУ. Переключение импульсов управления в преобразователе ТПЯ производится блоком логического устройства ЛУ, которое работает в функции сигнала заданного направления тока и выходного сигнала датчика проводимости вентилей ДП. Сигнал заданного направления тока на вход ЛУ поступает с выхода нелинейного звена НЗ. При этом коэффициент передачи НЗ обратно пропорционален коэффициенту передачи ТПЯ. Положительная связь по ЭДС на вход НЗ с выхода ДЕ компенсирует внутреннюю отрицательную связь по ЭДС двигателя. С помощью устройства линеаризации осуществляется поддержание примерно одинакового коэффициента усиления линеаризованного таким образом преобразователя. Для согласования реверсивного сигнала НЗ с нереверсивной регулировочной характеристикой УО служит переключатель характеристик ПХ1, управляемый ЛУ. Аналогичный переключатель ПХ2 установлен в цепи датчика тока (ТТЯ, ВЯ).

На входе РС суммируются сигналы задания и обратной связи с тахогенератора ВР1. Контакт К1.1 служит для снятия задающего напряжения со входа РС при размыкании контакта «Р» — «Работа», при этом за счет обратной связи по скорости происходит торможение двигателя М1.

Токоограничение в данной системе регулирования обеспечивается за счет ограничения выходного напряжения регулятора РС.

Задающий сигнал поступает на вход регулятора скорости РС через задатчик интенсивности ЗИ разгона электропривода, который может регулировать длительность разгона до 10с.

Канал регулирования потока и ЭДС двигателя содержит задатчик тока возбуждения ЗТВ, ПИ-регулятор тока возбуждения РТВ, ПИ-регулятор ЭДС РЕ с задатчиком ЭДС (ЗЭ). На входе РЕ сравниваются сигнал задания ЭДС $E_{зад}$ и обратной связи по напряжению двигателя. Последний образуется выпрямлением при помощи выпрямителя В2 выходного сигнала ДН. Электропривод выполнен по зависимому от напряжения на якоре принципу регулирования скорости. Предусмотрена возможность введения связи с ДЕ (вместо ДН) на входе РЕ.

Данный привод обеспечивает работу двигателя в первой зоне при постоянном магнитном потоке и во второй зоне регулирования при постоянной мощности двигателя. Точка перехода во вторую зону соответствует напряжению на якоре $(0,9 \div 0,95)U_H$ двигателя.

										Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	41

Узел зависимого токоограничения УЗТ действует в функции напряжения тахогенератора поступающего на вход узла через делитель напряжения и уменьшает уставку токоограничения для улучшения коммутации двигателя в режиме ослабления поля.

Выводы по разделу пять

В пятом разделе приводится описание электропривода ЭПУ 1М, его состав, особенности включения и работы, а также рассматривается его функциональная схема, приведенная в графической части выпускной квалификационной работы.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		42

6 СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

6.1 Определение параметров объекта регулирования

Внутреннее сопротивление якорной цепи двигателя, приведенное к нагретому состоянию рассчитывается по формуле:

$$R_a = 1,15 \cdot r_{дв} = 0,0199 \cdot 1,15 = 0,023 \text{ Ом},$$

где $r_{дв}$ – сопротивление обмотки якоря двигателя и дополнительных полюсов.

Фазное напряжение вторичной обмотки трансформатора, питающего тиристорный преобразователь

$$\left(U_{2\phi} = k_u \cdot k_\alpha \cdot k_R \cdot k_{cx} \cdot U_{дн} \right).$$

где $k_u = 1,1$ – коэффициент запаса по напряжению, учитывающий возможное снижение напряжения сети;

$k_\alpha = 1,2$ – коэффициент запаса, учитывающий неполное открывание вентилей при максимальном управляющем сигнале;

$k_R = 1,05$ – коэффициент запаса, учитывающий падение напряжения в обмотках трансформатора;

$k_{cx} = 0,428$ – коэффициент для трехфазной мостовой схемы;

$U_{дн} = U_{дв_н} = 220 \text{ В}$ – номинальное выпрямленное напряжение преобразователя.

$$U_{2\phi} = 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,05 \cdot 0,428 \cdot 220 = 130,506 \text{ В}.$$

Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора:

$$I_2 = k_i \cdot k_{T2} \cdot I_{дн},$$

где $k_i = 1,05$ – коэффициент, учитывающий отклонение формы тока от прямоугольной;

$k_{T2} = 0,815$ – коэффициент трехфазной мостовой схемы;

$I_{дн} = I_{дв_н} = 380,904 \text{ А}$ – номинальный ток преобразователя.

$$I_2 = 1,05 \cdot 0,815 \cdot 380,904 = 325,959 \text{ А}.$$

Активное и индуктивное сопротивления фазы обмотки трансформатора, приведенные к цепи выпрямленного тока:

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		43

$$R_T = \frac{u_a \cdot U_{2\phi}}{I} = \frac{0,025 \cdot 130,506}{325,959} = 0,01 \text{ Ом};$$

$$X_T = \frac{u_p \cdot U_{2\phi}}{I_2} = \frac{0,075 \cdot 130,506}{325,959} = 0,03 \text{ Ом},$$

где $u_a = 0,025$ – активная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора в относительных единицах;

$u_p = 0,075$ – реактивная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора в относительных единицах.

Сопротивление, вносимое за счет перекрытия анодных токов

$$R_{\Pi} = \frac{m \cdot X_T}{2\pi} = \frac{6 \cdot 0,03}{2 \cdot 3,14} = 0,029 \text{ Ом},$$

где $m = 6$ – число пульсаций выпрямленного напряжения за период для трехфазной мостовой схемы.

Сопротивление щеточного контакта

$$R_{щ} = \frac{2}{I_{дв.н}} = \frac{2}{380,904} = 0,0053 \text{ Ом}.$$

Эквивалентное сопротивление якорной цепи двигателя

$$R_{\Sigma} = R_a + k \cdot R_T + R_{\Pi} + R_{щ} = 0,023 + 2 \cdot 0,01 + 0,029 + 0,0053 = 0,077 \text{ Ом},$$

где $k = 2$ – для трехфазной мостовой схемы.

Внутренняя индуктивность якорной цепи двигателя $L_a = 0,00055$ Гн из паспортных данных [4].

Индуктивность фазы обмотки трансформатора, приведенная к цепи выпрямленного тока

$$L_T = \frac{X_T}{2\pi f_1} = \frac{0,03}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 9,6 \cdot 10^{-5} \text{ Гн},$$

где $f_1 = 50$ Гц – частота питающего напряжения.

Эквивалентная индуктивность якорной цепи двигателя

$$L_{\Sigma} = L_a + k \cdot L_T = 0,00055 + 2 \cdot 9,6 \cdot 10^{-5} = 7,412 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}.$$

Электромагнитная постоянная времени якоря двигателя

$$T_a = \frac{L_a}{R_a} = \frac{0,00055}{0,023} = 0,024 \text{ с.}$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи двигателя

$$T_s = \frac{L_s}{R_s} = \frac{0,00074}{0,077} = 0,01 \text{ с.}$$

Электромеханическая постоянная времени привода

$$T_{эм} = \frac{J_{\Sigma} \cdot R_s}{(C\Phi)^2} = \frac{21,885 \cdot 0,077}{2,028^2} = 0,41 \text{ с,}$$

где J_{Σ} – приведенный к валу двигателя момент инерции привода.

Расчет параметров регуляторов тока и скорости проводим в соответствии с [5].

6.2 Регулятор тока

При оптимизации контура тока по модульному оптимуму передаточная функция регулятора тока будет иметь вид (ПИ-регулятор):

$$\left(W_{рт}(p) = \frac{1 + T_s p}{a_T \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot k_{ТП} \cdot k_T \cdot (1/R_s)} \right),$$

где $a_T = 2$ – коэффициент степени демпфирования контура тока;

$T_{\mu} = 0,005$ – некомпенсированная постоянная времени контура тока для трехфазной мостовой схемы;

$k_{ТП}$ – коэффициент усиления тиристорного преобразователя,

$$k_{ТП} = \frac{1,5 \cdot U_{d0}}{U_{ум}} = \frac{1,5 \cdot 305,383}{8} = 57,259,$$

где $U_{d0} = 2,34U_{2\phi} = 305,383 \text{ В}$ – напряжение идеального холостого хода выпрямителя (при полностью открытых вентилях, $\alpha = 0$);

$U_{ум} = 8 \text{ В}$ – максимальное напряжение управления тиристорного преобразователя;

k_T – коэффициент передачи цепи обратной связи по току,

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		45

$$k_T = \frac{U_{зг\max}}{I_{\max}} = \frac{4,5}{761,808} = 0,00591,$$

где $U_{зг\max} = 10$ В – максимальное напряжение задания тока;

$I_{\max} = 2I_{дв.н} = 761,808$ А – максимальное значение тока двигателя.

Параметры регулятора тока с учетом его передаточной функции определяются из соотношений:

$$(R_{ост} \cdot C_{ост} = T_э);$$

задаемся $C_{ост} = 1 \cdot 10^{-6}$ Ф, тогда

$$R_{ост} = \frac{T_э}{C_{ост}} = \frac{0,01}{1 \cdot 10^{-6}} = 10040 \text{ Ом};$$

$$R_{зг} \cdot C_{ост} = 2T_\mu \cdot k_{ТП} \cdot k_T \cdot (1/R_э);$$

$$R_{зг} = \frac{2 \cdot T_\mu \cdot k_{ТП} \cdot k_T \cdot (1/R_э)}{C_{ост}} = \frac{2 \cdot 0,005 \cdot 57,259 \cdot 0,00591 \cdot (1/0,077)}{1 \cdot 10^{-6}} = 43948 \text{ Ом},$$

принимаем по стандартному ряду сопротивлений:

$$R_{ост} = 1 \cdot 10^4 \text{ Ом};$$

$$R_{зг} = 4,7 \cdot 10^4 \text{ Ом}.$$

Коэффициент передачи шунта

$$k_{ш} = \frac{U_{шн}}{I_{шн}} = \frac{0,075}{761,808} = 9,845 \cdot 10^{-5},$$

где $U_{шн}, I_{шн}$ – номинальное напряжение и ток шунта, $U_{шн} = 0,075$ В,

$I_{шн} = 2 \cdot I_{дв.н} = 2 \cdot 380,904 = 761,808$ А [5].

При этих значениях коэффициент усиления датчика тока будет равен

$$k_{дг} = \frac{U_{дг\max}}{U_{шн}} = \frac{10}{0,075} = 133,333,$$

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		46

где $U_{\text{дт max}}$ – выходное напряжение датчика тока [5].

Сопротивление в цепи регулятора тока

$$R_T = \frac{2T_\mu \cdot k_{\text{ТП}} \cdot k_{\text{ш}} \cdot k_{\text{дт}}}{R_\gamma \cdot C_{\text{ост}}} = \frac{2 \cdot 0,005 \cdot 57,259 \cdot 9,845 \cdot 10^{-5} \cdot 133,33}{0,074 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 1,018 \cdot 10^5 \text{ Ом},$$

принимаем по стандартному ряду сопротивлений: $R_T = 1,1 \cdot 10^5 \text{ Ом}$.

6.3 Регулятор скорости и фильтр

При оптимизации контура скорости по симметричному оптимуму передаточная функция регулятора скорости будет иметь вид (ПИ-регулятор):

$$\left(W_{\text{pc}}(p) = k_{\text{pc}} \cdot \frac{1+8T_\mu p}{8T_\mu \cdot p} = \frac{T_{\text{эм}} \cdot k_T \cdot C\Phi}{4T_\mu \cdot k_c \cdot R_\gamma} \cdot \frac{1+8T_\mu p}{8T_\mu \cdot p} \right),$$

где k_{pc} – коэффициент усиления регулятора скорости;

k_c – коэффициент передачи цепи обратной связи по скорости.

Передаточная функция фильтра имеет вид

$$\left(W_\phi(p) = \frac{1}{1+8T_\mu p} \right).$$

Определение параметров регулятора скорости производится из соотношений:

$$\left(\frac{R_{\text{осс}}}{R_{\text{зс}}} = k_{\text{pc}} = \frac{T_{\text{эм}} \cdot k_T \cdot C\Phi}{4T_\mu \cdot k_c \cdot R_\gamma} \right);$$
$$\left(k_c = k_{\text{тг}} \frac{R_{\text{зс}}}{R_c} \right),$$

где $k_{\text{тг}}$ – коэффициент передачи тахогенератора.

Для дальнейших расчетов необходимо задаться параметром $R_{\text{зс}}$, принимаем $R_{\text{зс}} = 50 \cdot 10^3 \text{ Ом}$.

Ниже приведены параметры тахогенератора:

1) $n_{\text{тг.н}} = 4000$ об/мин – номинальная частота вращения тахогенератора;

2) $U_{\text{тг.н}} = 460$ В – номинальное напряжение тахогенератора.

Переведем частоту вращения из об/мин в рад/с

$$\Omega_{\text{тг.н}} = n_{\text{тг}} \cdot \frac{\pi}{30} = 4000 \cdot \frac{3,14}{30} = 418,879 \text{ рад/с};$$

$$k_{\text{тг}} = \frac{U_{\text{тг.н}}}{\Omega_{\text{тг.н}}} = \frac{460}{418,879} = 1,098.$$

Сопротивление в цепи регулятора скорости находим как

$$R_c = \frac{k_{\text{тг}} \cdot R_{\text{зс}} \cdot \Omega_{\text{max}}}{U_{\text{зсmax}}} = \frac{1,098 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 230,267}{10} = 1,264 \cdot 10^6 \text{ Ом},$$

где $\Omega_{\text{max}} = n_{\text{дв.мах}} \cdot \frac{\pi}{30} = 230,267$ рад/с – максимальная угловая скорость двигателя при номинальной нагрузке;

$U_{\text{зсmax}} = 10$ В – напряжение задания скорости, соответствует Ω_{max} .

Коэффициент обратной связи по скорости находим как

$$k_c = k_{\text{тг}} \cdot \frac{R_{\text{зс}}}{R_c} = 1,098 \cdot \frac{50 \cdot 10^3}{1,264 \cdot 10^6} = 0,043.$$

Находим элементы цепи регулятора скорости:

$$R_{\text{осс}} = \frac{T_{\text{эм}} \cdot k_{\text{т}} \cdot C\Phi \cdot R_{\text{зс}}}{4 \cdot T_{\mu} \cdot k_c \cdot R_{\text{э}}} = \frac{0,41 \cdot 0,00591 \cdot 2,028 \cdot 50000}{4 \cdot 0,005 \cdot 0,043 \cdot 0,077} = 3,71 \cdot 10^6 \text{ Ом};$$

$$C_{\text{осс}} = \frac{32 \cdot T_{\mu}}{R_{\text{зс}}} = \frac{32 \cdot 0,005}{50000} = 8,124 \cdot 10^{-9} \text{ Ф};$$

$$C_{\text{зс}} = \frac{32 \cdot T_{\mu}}{R_{\text{зс}}} = \frac{32 \cdot 0,005}{50000} = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}.$$

Принимаем значения параметров по стандартному ряду:

$$R_c = 1,3 \cdot 10^6 \text{ Ом}; R_{\text{occ}} = 3,9 \cdot 10^6 \text{ Ом};$$

$$C_{\text{occ}} = 8,7 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}; C_{\text{zc}} = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}.$$

Поскольку двухкратноинтегрирующая система является астатической по возмущению, то механические характеристики привода в рабочем диапазоне нагрузок являются абсолютно жесткими и расчету не подлежат.

6.4 Расчет параметров цепи возбуждения

Активное сопротивление обмотки возбуждения, приведенное к нагретому состоянию рассчитывается по формуле:

$$R_b = 1,15 \cdot r_{\text{об}} = 1,15 \cdot 32,5 = 37,4 \text{ Ом},$$

где $r_{\text{об}}$ – активное сопротивление обмотки возбуждения двигателя, $r_{\text{об}} = 32,5$.
Индуктивность обмотки возбуждения:

$$L_b = 2 \cdot p_n \cdot w_b \cdot k_\phi = 2 \cdot 2 \cdot 840 \cdot 0,007 = 23,187 \text{ Гн},$$

где $w_b = 840$ – число витков обмотки возбуждения на полюс;

$$k_\phi = \frac{\Delta\Phi}{\Delta I_b} = \frac{0,0334}{4,84} = 0,007 \text{ – коэффициент наклона кривой}$$

намагничивания.

Электромагнитная постоянная времени цепи возбуждения

$$T_b = \frac{L_b}{R_b} = \frac{23,187}{37,4} = 0,62 \text{ с};$$

$$T_{\text{вг}} = 0,1 \cdot T_b = 0,1 \cdot 0,62 = 0,062 \text{ с}.$$

$k_{\text{тпв}}$ – коэффициент усиления тиристорного преобразователя возбуждения

$$k_{\text{тпв}} = \frac{1,5 \cdot U_{\text{d0в}}}{U_{\text{ymb}}} = \frac{1,5 \cdot 305,383}{8} = 57,259,$$

где $U_{\text{d0в}} = 2,34 \cdot U_{2\phi} = 130,506 \cdot 2,34 = 305,383$ – напряжение идеального холостого хода выпрямителя;

$U_{\text{ymb}} = 8$ – максимальное напряжение управления тиристорного преобразователя.

Коэффициент усиления датчика тока будет равен:

									Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ	13.03.02.2020.082.00.000ПЗ				49

$$k_{дтв} = \frac{U_{дт.мв}}{U_{шнв}} = \frac{10}{0,075} = 133,333,$$

где $U_{дт.мв} = 10$ В – выходное напряжение датчика тока;

$U_{шнв} = 0,075$ В – номинальное напряжение шунта.

$$k_{шв} = \frac{U_{шнв}}{I_{шнв}} = \frac{0,075}{4,84} = 0,015 \text{ В/А},$$

где $I_{шнв} = I_{нв} = 4,84$ А – выходной ток датчика тока.

Коэффициент передачи цепи возбуждения двигателя:

$$k_{в} = k_{\phi} \cdot C \cdot \Omega_{\max} = 0,007 \cdot 59,2 \cdot 230,267 = 94,071.$$

Коэффициент передачи цепи обратной связи по току возбуждения:

$$k_{тв} = \frac{U_{зтвм}}{I_{нв}} = \frac{10}{4,84} = 2,066 \text{ В/А},$$

где $U_{зтвм} = 10$ – максимальное напряжение задания тока возбуждения двигателя.

Коэффициент передачи цепи обратной связи по току возбуждения:

$$k_{н} = \frac{U_{эзн}}{E_{н}} = \frac{4,5}{212,42} = 0,021,$$

где $U_{эзн} = 4,5$ – напряжение задания, соответствующее номинальной ЭДС двигателя $E_{н}$,

$$E_{н} = C \cdot \Phi \cdot \Omega_{н} = 2,028 \cdot 104,72 = 212,42 \text{ В}.$$

Для дальнейших расчетов необходимо задаться параметрами $C_{оств}$, $R_{зз}$, принимаем $C_{оств} = 1 \cdot 10^{-6}$ Ф, $R_{зз} = 50 \cdot 10^3$ Ом

$$R_{тв} = 2 \cdot T_{\mu} \cdot \frac{k_{тпв} \cdot k_{шв} \cdot k_{дтв}}{R_{в} \cdot C_{оств}} = 2 \cdot 0,005 \cdot \frac{57,259 \cdot 0,015 \cdot 133,33}{37,4 \cdot 10^{-6}} = 3,062 \cdot 10^4 \text{ Ом};$$

$$R_{зтв} = \frac{U_{зтвм} \cdot R_{тв}}{k_{шв} \cdot k_{дтв} \cdot I_{нв}} = \frac{10 \cdot 2,936 \cdot 10^4}{0,015 \cdot 133,33 \cdot 4,84} = 3 \cdot 10^4 \text{ Ом}.$$

Коэффициент делителя напряжения:

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		50

$$K_{\text{дел}} = \frac{10}{U_{\text{н}}} = \frac{10}{220} = 0,045;$$

$$R_{\text{н}} = \frac{k_{\text{дел}} \cdot E_{\text{н}} \cdot R_{\text{зэ}}}{U_{\text{эзн}}} = \frac{0,045 \cdot 212,42 \cdot 50 \cdot 10^3}{4,5} = 1,073 \cdot 10^5 \text{ Ом};$$

$$C_{\text{осэ}} = 2 \cdot (2 \cdot T_{\mu} + T_{\text{а}}) \cdot \frac{k_{\text{в}} \cdot k_{\text{дел}}}{k_{\text{тв}} \cdot R_{\text{н}}} = 2 \cdot (2 \cdot 0,005 + 0,024) \cdot \frac{94,071 \cdot 0,045}{2,066 \cdot 1,073 \cdot 10^5} = 1,45 \cdot 10^{-6} \text{ Ф};$$

$$R_{\text{тк}} = R_{\text{н}} \cdot \frac{k_{\text{ш}} \cdot k_{\text{дт}}}{k_{\text{дел}} \cdot R_{\text{а}}} = 1,073 \cdot 10^5 \cdot \frac{9,845 \cdot 10^{-5} \cdot 133,33}{0,045 \cdot 0,023} = 1,557 \cdot 10^6 \text{ Ом}.$$

Выводы по разделу шесть

В шестом разделе выполняется статический расчет системы электропривода, включающий определение параметров объекта регулирования, расчет параметров регулятора тока, регулятора скорости и фильтров, а также расчет параметров цепи возбуждения двигателя.

7 РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

В данном разделе приводится расчет переходных процессов по управляющему и возмущающему воздействиям с целью оценки качества регулирования скорости.

Ниже определены передаточные функции, входящие в структурную схему электропривода, представленную на листе 13.03.02.2020.082.05.00 Э1.

1) передаточная функция двигателя

$$\left(W_{\text{дв}}(p) = \frac{R_{\text{э}}/C\Phi}{T_{\text{эм}}p} \right);$$

2) передаточная функция якорной цепи двигателя

$$\left(W_{\text{яц}}(p) = \frac{1}{(1+T_{\text{э}}p)R_{\text{э}}} \right);$$

3) передаточная функция тиристорного преобразователя

$$\left(W_{\text{ТП}}(p) = \frac{k_{\text{ТП}}}{1+T_{\mu}p} \right);$$

4) передаточная функция регулятора тока

$$\left(W_{\text{рт}}(p) = \frac{1+T_{\text{э}}p}{a_{\text{Т}} \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot k_{\text{ТП}} \cdot k_{\text{Т}} \cdot (1/R_{\text{э}})} \right);$$

5) передаточная функция регулятора скорости

$$\left(W_{\text{рс}}(p) = \frac{T_{\text{эм}} \cdot k_{\text{Т}} \cdot C\Phi}{4T_{\mu} \cdot k_{\text{с}} \cdot R_{\text{э}}} \cdot \frac{1+8T_{\mu}p}{8T_{\mu} \cdot p} \right);$$

6) передаточная функция фильтра

$$\left(W_{\text{ф}}(p) = \frac{1}{1+8T_{\mu}p} \right);$$

7) передаточная функция регулятора тока возбуждения

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		52

$$\left(W_{\text{РТВ}}(p) = \frac{1 + (T_{\text{В}} + T_{\text{ВТ}}) \cdot p}{2 \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot k_{\text{ТПВ}} \cdot k_{\text{ТВ}} \cdot (1/R_{\text{В}})} \right);$$

8) передаточная функция регулятора ЭДС возбуждения

$$\left(W_{\text{рЭ}}(p) = \frac{k_{\text{ТВ}}}{2 \cdot (2 \cdot T_{\mu\text{В}} + T_{\text{а}}) \cdot p \cdot k_{\phi} \cdot k_{\text{Н}} \cdot C \cdot \Omega} \right);$$

9) передаточная функция тиристорного преобразователя

$$\left(W_{\text{ТПВ}}(p) = \frac{k_{\text{ТПВ}}}{1 + T_{\mu\text{В}}} \right);$$

10) передаточная функция цепи возбуждения двигателя

$$\left(W_{\text{ИВ}}(p) = \frac{1 + T_{\text{ВТ}} \cdot p}{R_{\text{В}} \cdot [1 + (T_{\text{В}} + T_{\text{ВТ}})] \cdot p} \right);$$

11) передаточная функция фильтра

$$\left(W_{\phi}(p) = \frac{k_{\phi}}{1 + T_{\text{ВТ}} \cdot p} \right).$$

Расчет переходных процессов скорости и тока произведем в пакете SIMULINK программы MATLAB непосредственно по структурной схеме, представленной на рисунке 7.1. Графики переходных процессов показаны на рисунках 7.2–7.9 пояснительной записки и на плакате 13.03.02.2020.082.06.00

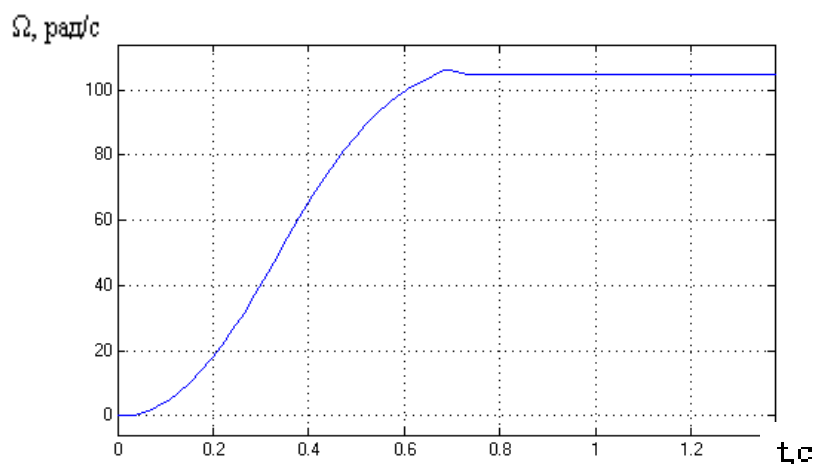


Рисунок 7.2 – Переходный процесс скорости при пуске без нагрузки при напряжении задания 4,5 В

Перерегулирование по скорости составляет 1,5%, время переходного процесса 0,6с. Таким образом система удовлетворяет требованиям, по точности поддержания скорости.

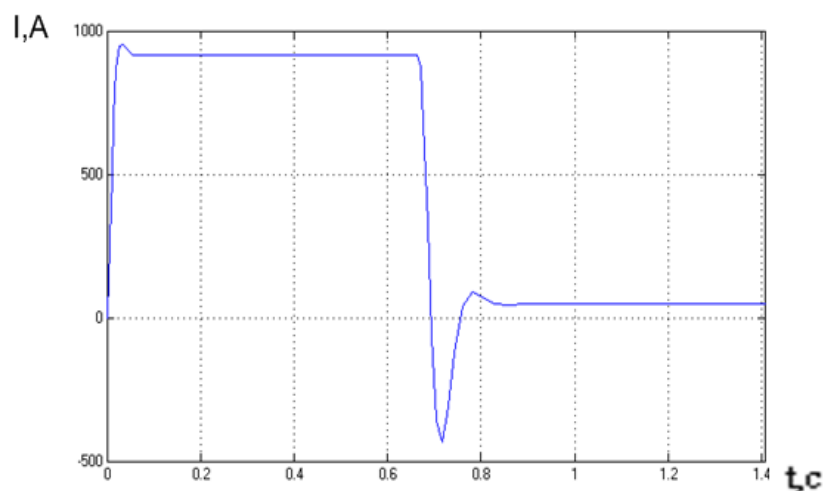


Рисунок 7.3 – Переходный процесс тока при пуске без нагрузки при напряжении задания 4,5 В

Пусковой ток превышает номинальный в 2,5 раза, поэтому видим срабатывание блока ограничения на уровне 917 А.

Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ

13.03.02.2020.082.00.000ПЗ

Лист4

55

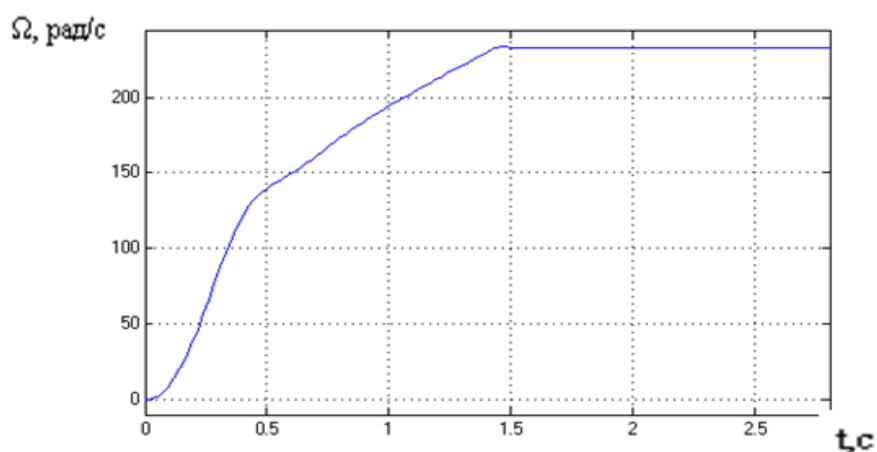


Рисунок 7.4 – Переходный процесс скорости при пуске без нагрузки при напряжении задания 10 В

Перерегулирование по скорости составляет 1,5%, время переходного процесса 1,45с. Таким образом, система удовлетворяет требованиям по точности поддержания скорости.

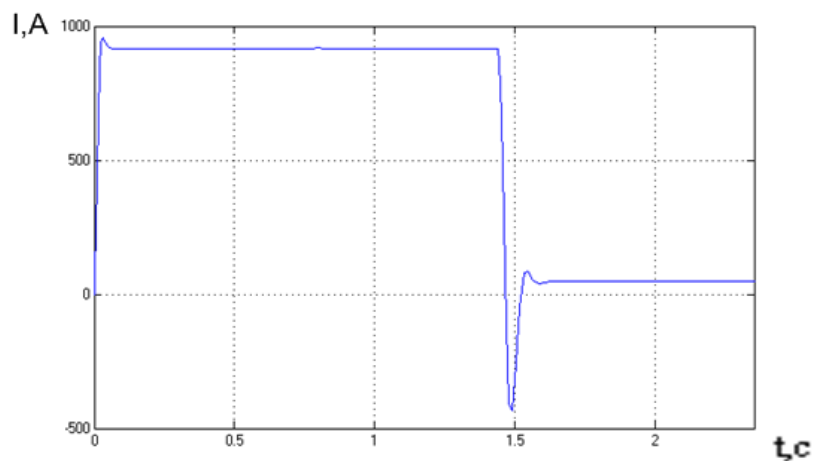


Рисунок 7.5 – Переходный процесс тока при пуске без нагрузки при напряжении задания 10 В

Пусковой ток превышает номинальный в 2,5 раза, поэтому видим срабатывание блока ограничения на уровне 917 А.

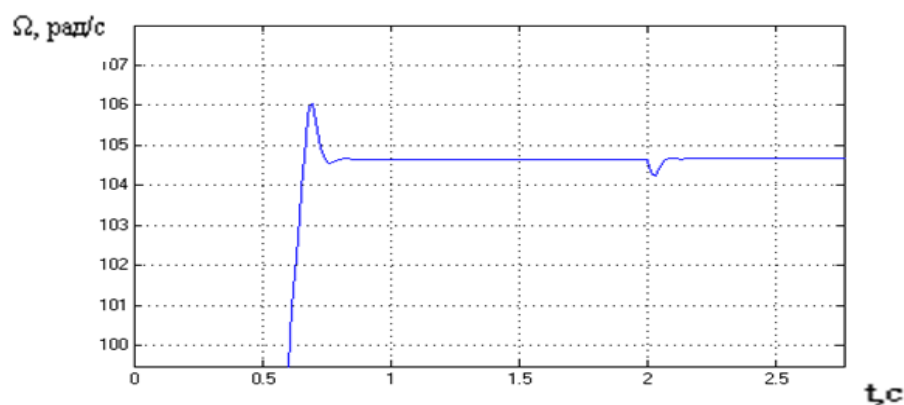


Рисунок 7.6 – Переходный процесс скорости по возмущающему воздействию при набросе нагрузки, напряжение задания 4,5 В

Провал скорости равен 0,5рад/с, что составляет 0,5% от номинальной скорости двигателя, время восстановления заданной скорости 0,13с.

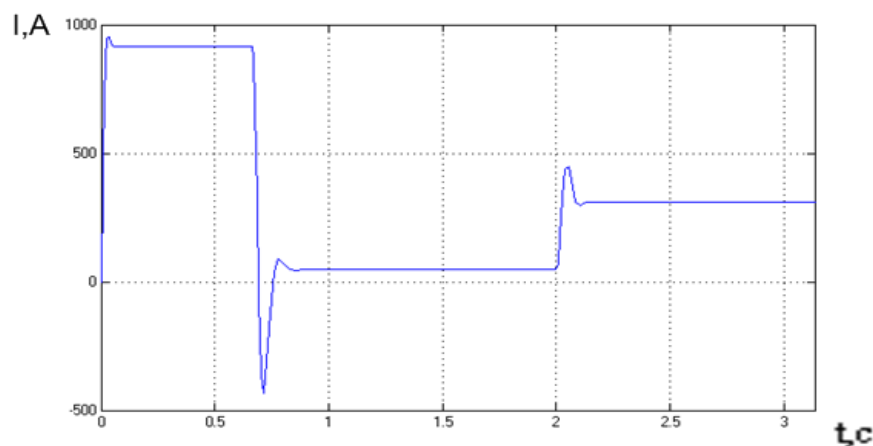


Рисунок 7.7 – Переходный процесс тока по возмущающему воздействию при набросе нагрузки, напряжение задания 4,5 В

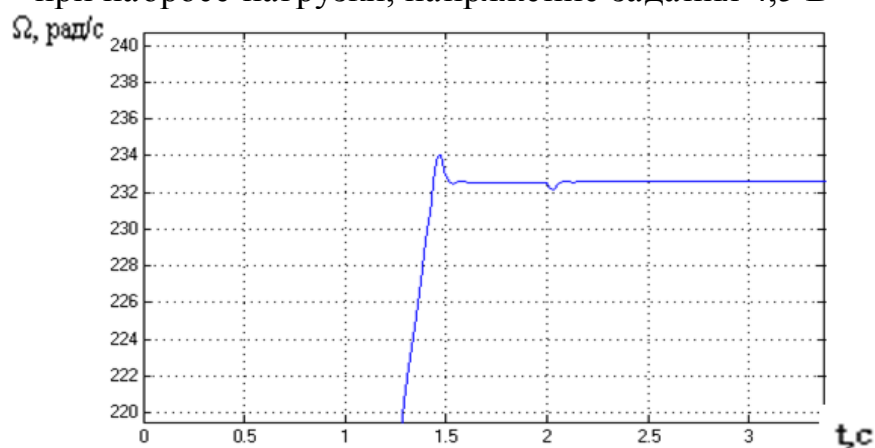


Рисунок 7.8 – Переходный процесс скорости по возмущающему воздействию при набросе нагрузки, напряжение задания 10 В

Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ
------	------	---	---------	-------

13.03.02.2020.082.00.000ПЗ

Лист4

57

Провал скорости равен 0,5рад/с, что составляет 0,22% от номинальной скорости двигателя, время восстановления заданной скорости 0,17с.

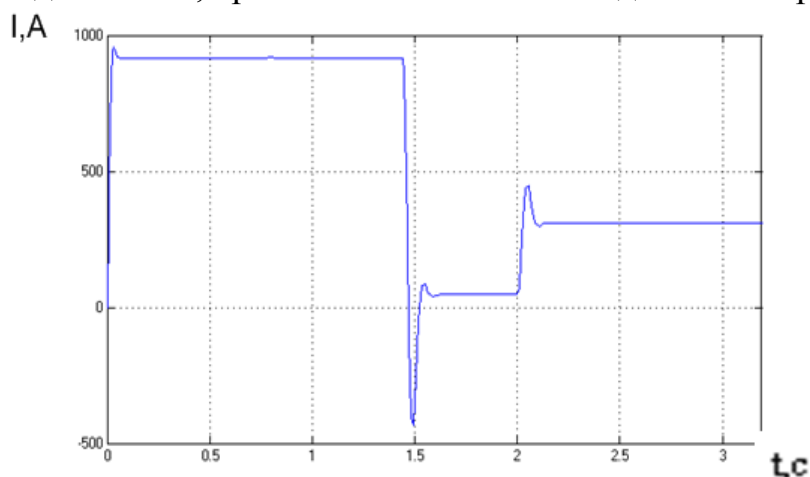


Рисунок 7.9 – Переходный процесс тока по возмущающему воздействию при набросе нагрузки, напряжение задания 10 В

Выводы по разделу семь

В седьмом разделе рассчитываются переходные процессы по управляющему и возмущающему воздействиям с целью оценки качества регулирования скорости. Приведены получившиеся в программе MATLAB графики переходных процессов.

8 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ

8.1 Выбор базы сравнения

При расчетах экономического эффекта от модернизации применяемых на предприятии средств труда, за базу сравнения принимают заменяемую технику [6]. Выбор аналога производится путем тщательного ознакомления со следующими источниками:

- 1) картами технического уровня и качества выпускаемых изделий по профилю проектируемого изделия;
- 2) патентной информацией;
- 3) справочниками;
- 4) бюллетенями научно-технической информации и т.д.

За базу сравнения был принят электропривод системы генератор-двигатель (Г-Д) отечественного производства.

Достоинства привода ЭПУ1М отечественного производства:

- высокая надежность;
- меньшие энергозатраты по сравнению с приводом Г-Д;
- относительно невысокая стоимость;
- наличие схем и документации для осуществления ремонта;
- простота в эксплуатации.

8.2 Сравнительный анализ технического уровня и качества проектируемых систем карусельного станка

Экономическая эффективность новых разработок определяется в первую очередь их техническим уровнем.

Экономический эффект, получаемый потребителем, тем больше, чем выше технико-экономические показатели новых изделий.

Технический уровень системы электропривода – это относительная характеристика качества, основанная на сопоставлении значений показателей, характеризующих техническое совершенство вариантов проектируемой системы.

Показатели технического уровня и качества сведены в таблицу 8.3.

Таблица 8.2 – Показатели технического уровня и качества проектируемой системы

Код показателя	Наименования показателя	Единица измерения	Значения показателей	
			вариант 1	вариант 2
1	Преобразователь	Тип	Г-Д	ЭПУ1М

Окончание таблицы 8.2

Код показателя	Наименования показателя	Единица измерения	Значения показателей	
			вариант 1	вариант 2
2	Система электропривода	Тип	Г-Д	ТП-Д
3	Двигатель	Тип	П-102	П-102
4	Номинальная мощность привода	кВт	100	75
5	Номинальная частота вращения электродвигателя	Об/мин	1000	1000
6	Тахогенератор	Тип	отдельный	отдельный
7	Исполнение привода	Тип	реверсивный	реверсивный
8	Наличие привода на российском рынке	-	нет	да

Вывод: в ходе проведения сравнительного анализа технического уровня выбран второй вариант из-за наличия его на российском рынке, а также, из-за меньших затрат на электроэнергию.

8.3 Расчёт стоимости оборудования, предлагаемого для модернизации

Здесь используется метод расчета себестоимости путем составления калькуляции себестоимости изготовления изделия.

Расчет стоимости предлагаемого для модернизации оборудования приведен в таблице 8.3.

Таблица 8.3 – Расчет стоимости покупных комплектующих изделий в рублях

Наименование изделия	Цена за ед. изделия без НДС
Комплектный электропривод	152429
Транспортно -монтажные расходы, 25%	38107
Всего с транспортными расходами	190536

Расходы по транспортировке опытного образца определяются по формуле:

$$P_{\text{ТР}} = \frac{Ц \cdot П_{\text{ТР}}}{100},$$

где Ц – цена проектируемого изделия (без НДС), руб.;

П_{ТР} – процент транспортных расходов (10%).

Затраты на монтажные и наладочные работы рассчитываются по формуле:

$$P_{\text{МОН}} = \frac{Ц \cdot П_{\text{МОН}}}{100},$$

где $P_{\text{МОН}}$ – процент затрат на монтажные и наладочные работы (15%).

Расчет основной заработной платы основных производственных рабочих.

Затраты складываются из заработной платы руководителей, специалистов, служащих и вспомогательных рабочих механического цеха.

Численность персонала в соответствии со штатным расписанием:

- начальники цехов, мастера, экономисты, нормировщики, диспетчеры, табельщики, учетчики: 32 чел.;
- инженеры (цеховые): 12 чел.;
- вспомогательные рабочие цехов: 64 чел.;
- всего: 108 чел.

Среднемесячная зарплата одного работника АЛПУ составила 7824,62 рублей в месяц.

Принимаем размер оплаты труда $L_0 = 7824,62$ руб.

Определим дополнительную заработную плату основных производственных рабочих.

В статью дополнительной заработной платы включаются выплаты, предусмотренные российским законодательством за неотработанное (неявочное) время: оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплаты вознаграждений за выслугу лет и др. Размер дополнительной заработной платы работников, непосредственно выполняющих данную НИОКР, обычно определяется в процентах от их основной заработной платы. Размер дополнительной заработной платы работников, непосредственно выполняющих данную НИОКР, обычно определяется в процентах от их основной заработной платы.

Размер дополнительной заработной платы составляет 10% от основной заработной платы:

$$L_d = 0,1 \cdot L_0,$$
$$L_d = 0,1 \cdot 7824,62 = 782,462 \text{ руб.}$$

Отчисления от основной и дополнительной заработной платы основных производственных рабочих во внебюджетные фонды ($O_{\text{овф}}$): страховые взносы в Пенсионный фонд Российской Федерации (22%); фонд социального страхования Российской Федерации (2,9%); фонд обязательного медицинского страхования (5,1%). Итого: 30%.

$$7824,62 \cdot 0,30 = 2347,38 \text{ руб.}$$

Определим расходы на содержание и эксплуатацию оборудования цеха изготовителя проектируемого изделия.

Сумма материальных затрат принимается в пределах фактически израсходованных средств в 2020 году с учетом планируемой инфляции в размере 16 % в год:

$$7824,62 \cdot 1,16 = 9076,56 \text{ руб.}$$

Отчисления в фонд обязательного социального страхования от несчастных случаев 1,5%

$$O_{\text{occ}}=0,015(L_o+ L_d)=0,015(7824,62+782,462)=129,1 \text{ руб.}$$

Определим полную себестоимость НИОКР проектируемого изделия (таблица 8.4)

Расходы по статье "Научные и производственные командировки" включают в себя суточные, квартирные, транспортные и другие виды расходов по всем видам служебных командировок работников, выполняющих задания по данной НИОКР. При выполнении данной НИОКР служебные командировки отсутствовали.

На статью "Прочие прямые расходы" относятся расходы на приобретение и подготовку материалов, специальной научно-технической информации, по оплате консультаций, анализов, экспертиз и другие расходы, необходимые при проведении данной НИОКР, которые могут быть отнесены на неё по прямому признаку, но не входят ни в одну из вышеперечисленных статей. Величина расходов по данной статье устанавливается специальными расчетами и составляет 5% от основной заработной платы, т.е.

$$P_{\text{пр}}=0,05 \cdot L_o,$$

$$P_{\text{пр}}=0,05 \cdot 7824,62=391,23 \text{ руб.}$$

В статью "Накладные расходы" включаются расходы на управление и хозяйственное обслуживание и другие расходы, общие для всей тематики и всего предприятия или организации. Так, по этой статье учитываются заработная плата аппарата управления и общехозяйственных служб, затраты на содержание и текущий ремонт зданий, сооружений, оборудования и др., амортизационные отчисления на их полное восстановление, расходы по охране труда, изобретательству и рационализаторству и так далее. Величина накладных расходов на данную НИОКР определяется в процентах от основной заработной платы

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		62

работников предприятия, непосредственно участвующих в ее выполнении, и составляет 160%:

$$P_n = 1,6 \cdot (L_o + L_d),$$

$$P_n = 1,6 \cdot (7824,62 + 782,462) = 1377,33 \text{ руб.}$$

Затраты на материалы и покупные изделия берем из расчета стоимости привода, и др. материалов: $M = 152429$ руб.

Капиталовложения данной НИОКР рассчитывается по формуле:

$$(C = M + L_o + L_d + O_{\text{овф}} + P_{\text{пр}} + P_n)$$

$$C = 152429 + 7824,62 + 782,462 + 2347,38 + 391,23 + 1377,33 = 165152,02 \text{ руб.}$$

Плановая прибыль равна 27% от себестоимости НИОКР, то есть

$$P = 0,27 \cdot C,$$

$$P = 0,27 \cdot 165152,02 = 44591,04 \text{ руб.}$$

Затем определяем налог на добавленную стоимость (НДС) по установленной Правительством РФ ставке. Окончательно плановая цена НИОКР рассчитывается по формуле:

$$(C_{\text{НИОКР}} = C_{\text{НИОКР}} + \text{НДС}).$$

Результаты расчета приведены в таблице 8.5.

Таблица 8.4 - Калькуляция себестоимости и цены НИОКР по модернизации карусельного станка

Наименование статей затрат	Условное обозначение	Затраты		Обоснование
		сумма, руб.	в % к итогу	
1 Материалы и покупные изделия	M	152429	89,2	По данным предприятия
2 Основная заработная плата	L _о	7824,62	3,41	По данным предприятия
3 Дополнительная заработная плата	L _д	782,462	0,34	10% от L _о
4 Отчисления во внебюджетные фонды	O _{овф}	2347,38	0,89	30% от (L _о +L _д)
5 Прочие прямые расходы	P _{пр}	391,23	0,16	5% от L _о
6 Накладные расходы	P _н	1377,33	6	160% от (L _о +L _д)

Окончание таблицы 8.4

Наименование статей затрат	Условное обозначение	Затраты		Обоснование
		сумма, руб.	в % к итогу	
7 Итого себестоимость НИОКР	$C_{\text{НИОКР}}$	170893	100	сумма пунктов 1...7
8 Прибыль плановая	П	44591,04		27% от $C_{\text{НИОКР}}$
9 Цена НИОКР (без налогов)	$C_{\text{НИОКР}}$	215484,04		$C_{\text{НИОКР}} + П$
10 Налог на добавленную стоимость	НДС	43407		20% от $C_{\text{НИОКР}}$
11 Цена НИОКР (включая НДС)	$C_{\text{НИОКР}} + П$	258891,04		$C_{\text{НИОКР}} + НДС$

Расчет затрат на разработку предполагает предварительное планирование конструкторских работ и определение трудозатрат на весь комплекс работ, начиная с разработки технического задания и заканчивая испытаниями и передачей готовой системы и рабочей документации по её эксплуатации заказчику.

Для расчета цены научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) требуется определить плановую себестоимость проведения НИОКР. Целью планирования себестоимости проведения НИОКР является экономически обоснованное определение величины затрат на её выполнение. В плановую себестоимость НИОКР включаются все затраты, связанные с её выполнением, независимо от источника финансирования.

Определение затрат на НИОКР производится путем составления калькуляции плановой себестоимости. Она является основным документом, на основании которого осуществляется планирование и учет затрат на выполнение НИОКР. Калькуляция себестоимости проведения НИОКР осуществляется по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- спецоборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата научно-производственного персонала АЛПУ»;
- дополнительная заработная плата;
- отчисления на социальные нужды (на социальное страхование, в пенсионный фонд РФ, на обязательное медицинское страхование);
- расходы на научные и производственные командировки;
- затраты по работам, выполняемым сторонними организациями и предприятиями;
- прочие прямые расходы;
- накладные расходы.

В статью "Материалы и покупные изделия" включаются затраты на сырьё, основные материалы, вспомогательные материалы, покупные полуфабрикаты, комплектующие изделия, необходимые для выполнения НИОКР по данному дипломному проекту. Затраты по этой статье определяются по действующим на 2020 г. ценам.

8.4 Расчет эксплуатационных издержек

Эксплуатационные расходы, неизбежно возникающие при использовании карусельного станка, включают заработную плату обслуживающего персонала с начислениями, расходы на материалы, на ремонт и эксплуатацию, затраты на энергоносители, затраты на ремонт и техническое обслуживание, амортизационные отчисления, расходы на инструмент, на ущерб от простоев станда в ремонтах, затраты на содержание помещения и другие необходимые затраты.

Расчет годовых эксплуатационных издержек потребителя при использовании базового и нового изделия определяются по следующим формулам соответственно:

$$И_1 = A_1 + P_{T1} + O_{MP1} + Э_{П1};$$

$$И_2 = A_2 + P_{T2} + O_{MP2} + Э_{П2},$$

где $A_{1,2}$ – ежегодные амортизационные отчисления от цены базового и нового изделия соответственно, руб.;

$P_{T1,2}$ - расходы на текущие ремонты изделия, руб.;

$Э_{П1,2}$ - расходы на электроэнергию, руб.;

$O_{MP1,2}$ - расходы на межремонтное обслуживание, руб.

$$A_{T1} = C_1 \cdot N_A \cdot \frac{1}{100},$$

где C_1 – цена базового изделия, руб.;

N_A – годовая норма амортизационных отчислений, $N_A = 5\%$.

Ежегодные амортизационные отчисления от цены базового изделия:

$$A_{T1} = 173256 \cdot 5 \cdot \frac{1}{100} = 8663 \text{ руб.}$$

Ежегодные амортизационные отчисления от цены нового изделия:

$$A_{T2} = C_2 \cdot N_A \cdot \frac{1}{100},$$

где C_2 – цена нового изделия, руб.

$$A_{T2} = 152429 \cdot 5 \cdot \frac{1}{100} = 7621 \text{ руб.}$$

Расходы на текущие ремонты базового изделия:

$$P_{T1} = C_1 \cdot P_{P1} \cdot \frac{1}{100},$$

где P_{P1} – процент учитывающий затраты на текущие ремонты базового привода, $P_{P1} = 12\%$; $P_{P2} < P_{P1}$, т.к. во втором случае установка используется более рационально.

$$P_{T1} = 173256 \cdot 12 \cdot \frac{1}{100} = 20791 \text{ руб.}$$

Расходы на текущие ремонты нового изделия:

$$P_{T2} = C_2 \cdot P_{P2} \cdot \frac{1}{100},$$

$$P_{T2} = 152429 \cdot 10 \cdot \frac{1}{100} = 15243 \text{ руб.}$$

Затраты на межремонтное обслуживание базового изделия определим по формуле:

$$O_{MP1} = C_1 \cdot P_{MP1} \cdot \frac{1}{100},$$

где P_{MP1} – процент учитывающий межремонтное обслуживание базового изделия, $P_{MP1} = 15\%$.

$$O_{MP1} = 173256 \cdot 15 \cdot \frac{1}{100} = 25988 \text{ руб.}$$

Затраты на межремонтное обслуживание нового изделия определим по формуле:

$$O_{MP2} = C_2 \cdot P_{MP2} \cdot \frac{1}{100},$$

где Π_{MP2} – процент учитывающий межремонтное обслуживание нового изделия, $\Pi_{MP2}=13\%$.

$$O_{MP2} = 152429 \cdot 13 \cdot \frac{1}{100} = 19816 \text{ руб.}$$

Расходы на электроэнергию:

$$\mathcal{E}_{\Pi} = D_p \cdot t_{CM} \cdot S \cdot P_{\text{ИЗД}} \cdot \Pi_{\text{кВт}},$$

где D_p - количество рабочих дней в году, $D_p = 348$;

t_{CM} - продолжительность рабочей смены, $t_{CM} = 8$ часов;

S - количество рабочих смен, $S = 1$ смена;

$P_{\text{ИЗД}}$ - мощность потребляемой электроэнергии, кВт;

$\Pi_{\text{кВт}}$ - цена 1 кВт · ч электроэнергии, $\Pi_{\text{кВт}} = 4,90$ руб/кВт · ч.

Средняя мощность потребляемая из сети:

$$P_{\text{ИЗД}} = P_{\text{дв}} / \eta = 55 / 0,564 = 97,52 \text{ кВт},$$

где η - КПД системы Г-Д.

$$\mathcal{E}_{\Pi} = 348 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 97,52 \cdot 4,90 = 1330328 \text{ руб.}$$

Расходы на электроэнергию при использовании нового оборудования:

$$\mathcal{E}_{\Pi} = D_p \cdot t_{CM} \cdot S \cdot P_{2\text{ИЗД}} \cdot \Pi_{\text{кВт}}.$$

Средняя мощность потребляемая из сети:

$$P_{\text{ИЗД}} = P_{\text{дв}} / \eta = 55 / 0,97 = 63,35 \text{ кВт.}$$

$$\mathcal{E}_{\Pi 2} = 348 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 63,35 \cdot 4,90 = 864195 \text{ руб.}$$

Годовые эксплуатационные издержки:

$$I_1 = 8663 + 20791 + 25988 + 1330328 = 1385770 \text{ руб.}$$

$$I_2 = 7621 + 15243 + 19816 + 864195 = 906875 \text{ руб.}$$

8.5 Расчет годового экономического эффекта

Годовой экономический эффект рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E} = (I_1 - I_2) - \mathcal{E}_{\Pi} \cdot K,$$

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		67

где \mathcal{E} – годовой экономический эффект, руб.;

ЕП – нормативный коэффициент экономической эффективности,
ЕП=0,15;

К – капиталовложения, руб.

$$\mathcal{E} = (1388770 - 906875) - 0,15 \cdot 173829 = 479295 \text{ руб.}$$

8.6 Определение срока окупаемости дополнительных капитальных вложений

Кроме экономического эффекта необходимо определить срок окупаемости дополнительных капитальных вложений $T_{\text{ок}}$, который рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{I_1 - I_2},$$

где $K = 62650$ руб. – капитальные вложения на модернизацию.

$$T_{\text{ок}} = 173829 / (1388770 - 906875) = 0,36 \text{ г.}$$

В результате замены системы Г-Д на ЭПУ-1М срок окупаемости дополнительных капиталовложений составил 0,36 г. В результате проведения данного технико-экономического анализа, при использовании карусельного станка, было выяснено, что внедрение электропривода ЭПУ-1М позволит снизить энергозатраты, что, несомненно, является важным критерием модернизации.

Выводы по разделу восемь

В данном разделе проведено технико-экономическое обоснование модернизации электропривода главного движения токарно-карусельного станка. Был разработан и оптимизирован сетевой график НИОКР электропривода, проведен сравнительный анализ технического уровня и качества проектируемых систем карусельного станка, калькуляция себестоимости и цены НИОКР, расчет капитальных вложений в модернизацию и экономического эффекта.

\

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		68

9 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

9.1 Социальное значение безопасности жизнедеятельности

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

Создание здоровых и безопасных условий труда является важнейшей задачей специалистов ответственных за разработку, изготовление и эксплуатацию конкретного изделия. В данном разделе дипломного проекта рассматриваются вопросы охраны труда при эксплуатации электропривода токарно-карусельного станка модели 1540.

9.2 Идентификация опасных и вредных производственных факторов

Станок токарно-карусельный модели 1540 предназначен для токарной обработки разнообразных изделий из черных и цветных металлов в ручном и автоматическом режимах.

При эксплуатации станка по воздействию на человека, согласно ССБТ, факторы делятся на физические и механические.

К физическим факторам относятся:

- опасность поражения электрическим током;
- опасность возникновения пожара;
- наличие шумов, вибраций, металлической пыли, СОЖ.

К механическим факторам относятся: движущиеся и вращающиеся части станка, отлетающая стружка.

9.2.1 Опасность поражения электрическим током

В условиях повсеместного использования электроэнергии особое значение приобретают автоматические меры защиты, которые предотвращают поражение человека электрическим током и аварийные режимы работы электроустановок, либо обеспечивают безопасность при возникновении аварий.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		69

Наибольшее число электротравм от 60 до 70% происходит на электроустановках до 1000 В. Это объясняется широким распространением таких установок с одной стороны и низким уровнем подготовки персонала, эксплуатирующего эти установки.

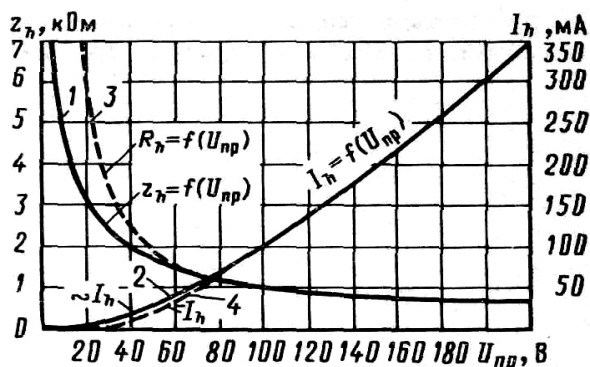


Рисунок 9.1 – Зависимость сопротивления тела человека и тока, протекающего через него, от приложенного напряжения:
1 и 2 – переменный ток 50 Гц; 3 и 4 – постоянный ток.

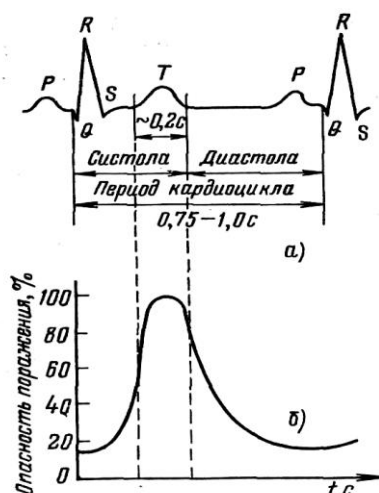


Рисунок 9.2 – Опасность совпадения времени протекания тока через сердце с фазой Т кардиоцикла:

а – электрокардиограмма здорового человека (в схематизированном виде);

б – кривая, выражающая общий характер зависимости опасности током (т.е. вероятности возникновения фибрилляции сердца) от момента протекания тока через сердце.

Допустимым значением электрического тока через тело человека при переменном токе является пороговый отпускающий ток 10 мА [7]. При протекании тока данной величины через тело человека – человек способен самостоятельно оторваться от токоведущей части, находящейся под напряжением.

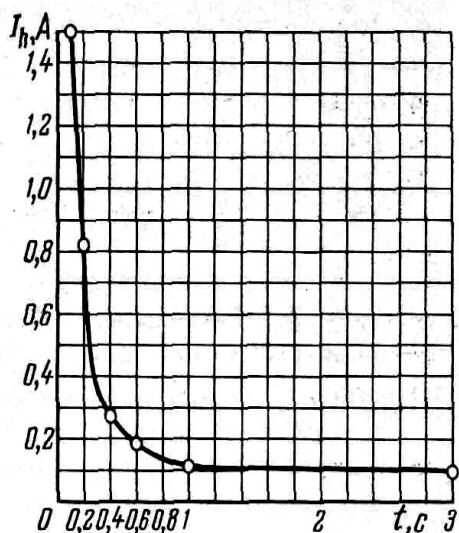


Рисунок 9.3 – Зависимость порогового фибрилляционного тока 50 Гц от длительности его прохождения через человека

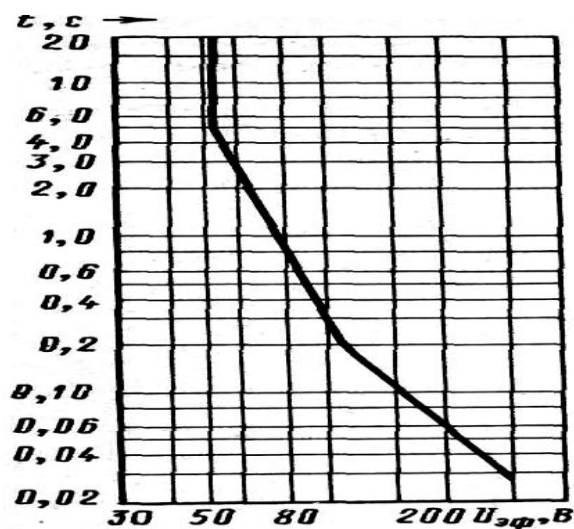


Рисунок 9.4 – График предельно допустимых напряжений прикосновения

Электрический ток, протекая через тело человека оказывает на него ряд воздействий:

- механическое – приводящее к разрыву тканей;
- световое – приводящее к поражению органов зрения;
- биологическое – заключающееся в нарушении биологических процессов, протекающих в организме человека, сопровождающееся возбуждением и разрушением тканей и судорожным сокращением мышц;
- электролитическое – заключающееся в электролитическом разложении жидкостей, в том числе крови;
- термическое – характеризующееся нагревом кожи и тканей, вплоть до ожогов.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока зависит от ряда факторов:

- 1) Рода и величины тока и напряжения (постоянная и переменная составляющие тока оказывают совместное воздействие на организм человека);
- 2) Частоты электрического тока;
- 3) Пути тока через тело человека;
- 4) Продолжительности воздействия электрического тока на организм человека;

Изм.	Лист	№	Подпись	Дата/Л
------	------	---	---------	--------

5) Массы человека.

Причины поражения электрическим током:

- случайное прикосновение к токоведущим частям;
- напряжение шага;
- появление напряжения на корпусе оборудования;
- появление напряжения на отключенных токоведущих частях.

9.2.2 Опасность попадания человека под движущиеся части станка

Движущиеся и вращающиеся части токарно-карусельного станка могут травмировать человека. Опасность представляют такие факторы как: вращение шпинделя, перемещение суппорта и поперечины. Попадание человека или его одежды на движущиеся и вращающиеся части механизмов могут привести к серьезным травмам и даже гибели человека.

9.2.3 Наличие шума и вибрации

Шумом принято называть всякий нежелательный звук. Шум как физический фактор – это движение звуковой волны, сопровождающиеся периодическим повышением и понижением давления. Именно на изменение давления в воздухе реагирует орган слуха. Человек воспринимает звуки в диапазоне 20 – 2000 Гц.

Источниками шума при работе станка являются электродвигатели, редукторы и подшипники.

В соответствии с ГОСТ 12.1.003-88 «Шум. Общие требования безопасности» предельно допустимое значение шума на рабочем месте производственного предприятия ($L = 75$ дБА). В соответствии с ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрационная безопасность» предельно допустимое значение вибрации на рабочем месте производственного предприятия ($L = 95$ дБА).

9.2.4 Освещение

Безопасность и производительность труда в значительной степени зависит от уровня освещенности помещения и, в особенности, непосредственно рабочего места. С увеличением освещенности до $E = 250$ лк производительность труда увеличивается на 10 – 15%, уменьшается утомляемость и снижается травматизм.

В крупногабаритных производственных помещениях при одностороннем боковом освещении минимальное значение КЕО нормируется в точке удаленной от световых проемов на 1,5 высоты помещения.

Искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное. Аварийное освещение разделяется на освещение безопасности и эвакуационное.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		72

Искусственное освещение может быть двух систем: общее освещение и комбинированное освещение.

По СНиП 23-05-95 помещение имеет IV разряд зрительной работы, подразряд «в». При выполнении в помещениях работы IV в разряда следует применять систему комбинированного освещения, освещенность при этом составляет 400 лк всего, в том числе от общего 200 лк.

Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10% нормируемой для комбинированного освещения. При этом освещенность должна быть не менее 200 лк при разрядных лампах, не менее 75 лк при лампах накаливания.

Для местного освещения рабочих мест следует использовать светильники с непросвечивающими отражателями. Яркость рабочей поверхности не должна превышать значений, указанных в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Допустимые значения яркости

Площадь рабочей поверхности, м ²	Наибольшая допустимая яркость, кд/м ²
Менее $1 \cdot 10^{-4}$	2000
От $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-3}$	1500
« $1 \cdot 10^{-3}$ « $1 \cdot 10^{-2}$	1000
« $1 \cdot 10^{-2}$ « $1 \cdot 10^{-1}$	750
Более $1 \cdot 10^{-1}$	500

Искусственное освещение в цеху осуществляется электрическими источниками света – люминесцентными лампами. Они наиболее благоприятны с гигиенической и экономической точки зрения. Спектр их близко подходит к спектру естественного света, а световая отдача в 2 – 3 раза больше, чем ламп накаливания. Для местного освещения кроме разрядных источников света следует использовать лампы накаливания, в том числе галогенные.

Для уменьшения влияния плохого освещения в соответствии со СНиП 23-05-95 в механическом цехе с 3 эксплуатационной группой светильников необходимо 4 раза в год проводить чистку ламп и светильников.

9.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов

9.3.1 Опасность поражения электрическим током

Определение опасности поражения электрическим током сводится к определению тока через тело человека и сравнение его с допустимым током [7]. Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и профессиональных заболеваний.

Электропривод карусельного станка получает питание от трехфазной четырехпроводной сети напряжением 380 В, частотой 50 Гц с глухозаземленной нейтралью.

Для оценки поражения электрическим током при эксплуатации испытательной установки рассмотрим следующие ситуации:

1 Прикосновение человека к фазному проводу, при нормальном режиме работы сети.

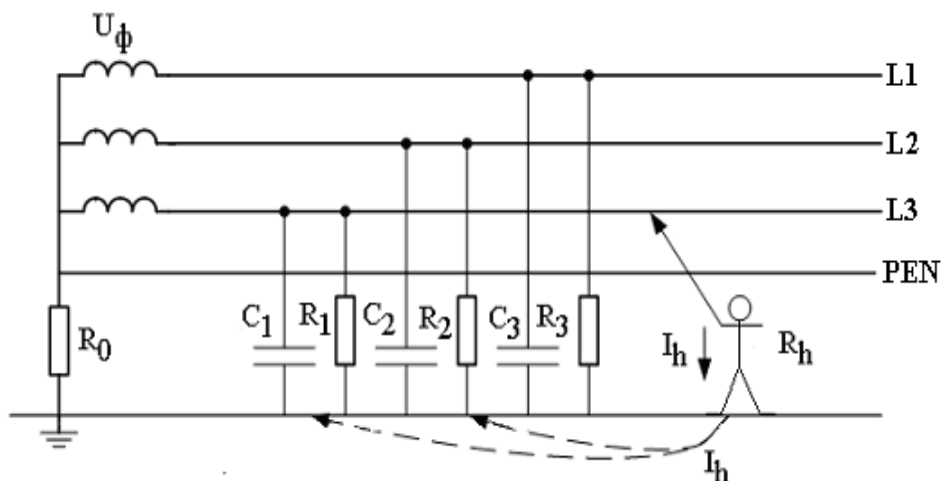


Рисунок 9.5 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью системы TN-C при нормальном режиме работы

Ток через тело человека определяется по формуле:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_0 + R_h},$$

где I_h – ток через тело человека, А;

R_h – сопротивление тела человека, $R_h = 1000$ Ом;

R_0 – сопротивление заземления, $R_0 = 4$ Ом [9].

$$I_h = \frac{220}{4 + 1000} = 0,219 \text{ А.}$$

Под воздействием тока такой величины происходит остановка дыхания и сердца [9, таблица 9.1].

2 Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью при аварийном режиме работы сети.

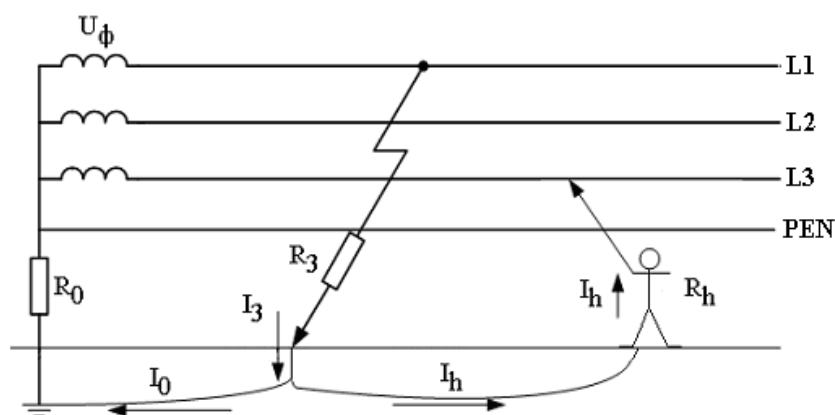


Рисунок 9.6 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью системы TN-C при аварийном режиме работы

В этом случае ток через тело человека определяется по формуле

$$I_h = U_{\phi} \cdot \frac{R_3 + R_0 \cdot \sqrt{3}}{R_3 \cdot R_0 + R_h \cdot (R_3 + R_0)} = 220 \cdot \frac{100 + 4 \cdot \sqrt{3}}{100 \cdot 4 + 1000 \cdot (100 + 4)} = 0,225 \text{ А,}$$

где R_3 – сопротивление замыкания на землю, $R_3 = 100 \text{ Ом}$.

Если сопротивление замыкания провода на землю $R_3=100 \text{ Ом}$, то

$$U_n = U_{\phi} \cdot R_h \cdot \frac{R_3 + R_0 \cdot \sqrt{3}}{R_3 \cdot R_0 + R_h \cdot (R_3 + R_0)} = 220 \cdot 1000 \cdot \frac{100 + 4 \cdot \sqrt{3}}{100 \cdot 4 + 1000 \cdot (100 + 4)} = 225,3 \text{ А,}$$

где U_n – напряжение прикосновения, В.

Следовательно, в данном случае человек окажется под действием близким к линейному напряжению.

Как видно из расчета, в аварийном режиме работы сети будет выполняться неравенство:

$$U_{\phi} < U_n < U_{\phi} \cdot \sqrt{3}, \text{ т.к. } 220 < 225,3 < 220 \cdot \sqrt{3}.$$

Прикосновение человека к исправному фазному проводу в сети с глухозаземленной нейтралью в аварийном режиме работы сети более опасно, чем в нормальном режиме.

Так как рассчитанные выше значения токов через тело в различных режимах работы сети превышают значение порогового фибрилляционного тока более чем в два раза, то можно сделать вывод, что прикосновение человека к одному из фазных проводов сети в режимах описанных выше в большинстве случаев может привести к гибели человека.

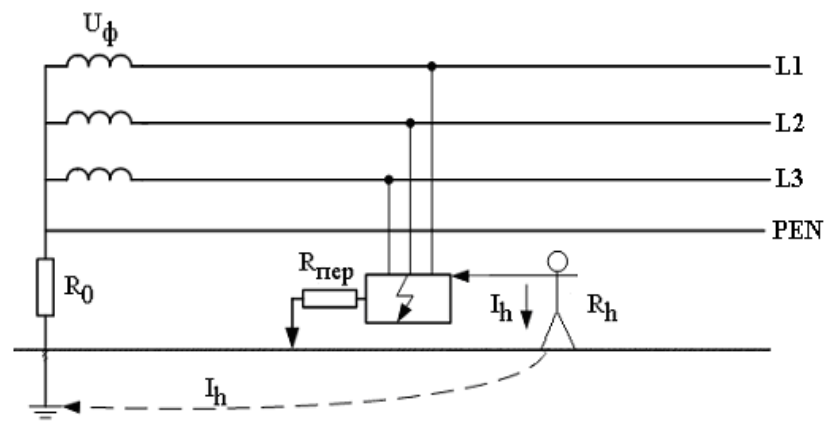


Рисунок 9.7 – Схема косвенного включения человека в сеть системы TN-C

Рассчитаем ток замыкания на землю по формуле:

$$I_3 = \frac{U_\phi}{R_0 + \left(\frac{R_n \cdot R_h}{R_n + R_h} \right)},$$

где I_3 – ток замыкания на землю, А;

R_n – переходное сопротивление, $R_n = 100$ Ом;

$$I_3 = \frac{220}{4 + \left(\frac{100 \cdot 1000}{100 + 1000} \right)} = 2,32 \text{ А.}$$

Ток через тело человека рассчитывается по формуле:

$$\left(I_h = \frac{U_n}{R_h} \right).$$

Можно записать:

$$\left(I_h = \frac{I_3 \cdot \left(\frac{R_n \cdot R_h}{R_n + R_h} \right)}{R_h} \right),$$

$$I_h = \frac{2,32 \cdot \left(\frac{100 \cdot 1000}{100 + 1000} \right)}{1000} = 0,211 \text{ А.}$$

В этом случае ток через тело человека превышает пороговое значение фибрилляционного тока более чем в два раза, следовательно, прикосновение человека к металлическим нетоковедущим частям электрооборудования токарного станка, представляет серьезную опасность для жизни.

9.3.2 Опасность попадания человека под движущиеся части станка

Общие требования к средствам защиты от механических опасностей изложены в ГОСТ 12.4.011-87.

Наибольшую опасность представляют такие факторы как: вращение планшайбы, перемещение суппортов и поперечины. Попадание человека или его одежды на движущиеся и вращающиеся части механизмов могут привести к серьёзным травмам и даже гибели человека.

9.3.3 Анализ опасности СОЖ

По степени воздействия на организм человека масло индустриальное марки 30, используемое для смазки узлов станка, относится по ГОСТ 12.1.007 к 3-му классу опасности с предельно допустимой концентрацией масляного тумана 5 мг/м^3 .

Масла представляют собой горючие продукты с температурой вспышки не ниже $140 \text{ }^\circ\text{C}$.

9.3.4 Наличие шума и вибрации

В механическом цехе измеренный уровень шума на рабочем месте составил 90 дБ.

Для данного карусельного станка допустимый уровень и эквивалентные уровни шума не должны превышать $L = 75 \text{ дБ}$, это позволяет сделать вывод о превышении допустимых норм и необходимости разработки защитных мер.

Измерение вибраций производится в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.012-75. Для данного карусельного станка допустимый уровень и эквивалентные уровни шума не должны превышать $L = 75 \text{ дБ}$. Уровень вибрации не должен превышать $L = 95 \text{ дБ}$. При измерении уровень вибрации составил 93 дБ, что соответствует норме.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		77

9.4 Пожарная безопасность

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства. Причины пожаров в электроустановках могут быть как электрического, так и неэлектрического характера. К причинам электрического характера относятся:

- 1 Пробой электроизоляции;
- 2 Токи короткого замыкания и перегрузок;
- 3 Плохие контакты в местах соединения проводов;
- 4 Электрическая дуга, возникающая между контактами коммутационных аппаратов.

Причинами не электрического характера являются:

- 1 Неосторожное обращение с огнем;
- 2 Курение в местах не предназначенных для этого.

Для защиты проводников от перегрузок и токов короткого замыкания применяются плавкие вставки, автоматы отключения, контакторы. Также, для снижения вероятности возникновения пожара должна проводиться постоянная работа с персоналом, направленная на обучение правилам пожарной безопасности, изучение инструкций по эксплуатации электроустановок.

9.5 Экологическая безопасность

9.5.1 Воздействие производств на природную среду

Металлообрабатывающие предприятия связаны с производством металлических изделий и часто включены в состав машиностроительных комплексов. Изделия из металлов широко применяются в различных отраслях народного хозяйства. Обработка металлических заготовок, процессы резки и сварки металлов используются практически во всех отраслевых комплексах, включая строительство, энергетику и различные виды транспорта (наземного, подземного, водного, воздушного). Однако имеется определенная специфика воздействия металлообработки на природную окружающую среду, связанная с взаимодействием различных обрабатываемых материалов на металлические поверхности, с вибрациями и шумами металлообрабатывающего оборудования, излучениями (как используемыми при металлообработке, так и выделяемыми при работе оборудования) и т. д.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		78

Материальные загрязнители, образующиеся в металлообработке, многообразны и значительны. В результате эксплуатации металлообрабатывающих производств получаются вещества, загрязняющие и атмосферу, и гидросферу, и литосферу. Ниже приводится краткая характеристика этих процессов.

Специфическая особенность загрязнений, поступающих в атмосферу, заключается в том, что они являются твердыми аэрозолями, образованными пылеватыми частицами металлов и абразивных материалов, состоящих из оксида кремния (IV), силикатов железа, алюминия, оксидов железа, алюминия, магния, марганца (II). Аэрозоли могут содержать и жидкие компоненты, состоящие из масел, компонентов смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), растворителей, кислот, воды; эти аэрозоли являются туманами. Особую группу образуют сварочные аэрозоли, содержащие твердые частицы размером до 1 мкм.

Сильно загрязнены травильные сточные воды, которые кроме крупных механических примесей содержат растворенные соли тяжелых металлов, отравляющих природную среду: это соли хрома, меди, никеля и других тяжелых металлов. В сточных водах могут содержаться кислоты и щелочи, а также цианиды.

Для металлообработки характерны и твердые промышленные отходы, которые, как правило, постоянны по составу и имеют небольшой перечень по наименованию, однако они являются крупнотоннажными. К ним относят стружки и опилки металлов, отслужившее свой срок металлическое оборудование (источник металлолома), сконденсированная пыль, древесные и пластмассовые стружки. Установлено, что на 1 тонна обработанного металла приходится до 0,5 тонн твердых промышленных отходов.

В состав твердых отходов включаются и шламы термических, литейных, механических цехов, которые содержат ядовитые соединения цинка, меди, хрома, свинца, а также хлорофос, цианиды и другие токсичные вещества.

Охарактеризованные выше загрязнения окружающей среды отрицательно воздействуют не только на животный и растительный мир, но и на человека

Краткий обзор влияния металлообрабатывающей промышленности на природную окружающую среду показывает, что необходима разработка и реализация мер по защите окружающей среды от негативного воздействия производственной деятельности в данной отрасли промышленности.

9.5.2 Обзор природоохранной деятельности на предприятиях, связанных с обработкой и эксплуатацией металлических изделий

Природоохранная деятельность на металлообрабатывающих предприятиях включает активные и пассивные методы.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		79

Пассивные методы охраны среды состоят в рациональном размещении источников загрязнений, локализации загрязнений (изоляция и герметизация источников выбросов, экранирование шумовых и электромагнитных загрязнений) и очистку выбросов в окружающую среду различными методами.

Активные методы защиты среды обитания состоят в совершенствовании существующих и разработке новых технологических процессов, препятствующих попаданию загрязнений в окружающую среду, среди которых наилучшим является разработка безотходных металлообрабатывающих производств. Но на данном этапе развития металлообработки более применимыми являются пассивные методы, а также реализация экологического просвещения, формирование правильного экологического сознания каждого работника данной отрасли.

Большое значение в природоохранных мероприятиях отрасли имеет утилизация различных отходов. Главным отходом металлообработки является металлолом и металлическая стружка, в которых 96% от общего количества составляют черные металлы, а остальное — цветные. Установлено также, что только 70% от общего количества металла, подвергнувшегося обработке, входит в состав готовой продукции.

Металлические отходы утилизируют либо без переплава, либо с переплавом.

Сложной проблемой является отделение металлических стружек от СОЖ, содержание последних в стружках доходит до 20%. Для отделения металла от СОЖ применяют нагревание, центрифугирование и другие методы.

Важной задачей является и утилизация твердых органических отходов, хотя они и не составляют большую по массе часть твердых промышленных отходов. Так, разнообразные отходы древесины можно применять для получения технологической щепы и древесных плит. Обтирочную ветошь после стирки можно использовать вторично. До 85% пластмасс (термопластичных) можно подвергнуть разделению и рекуперации под действием повышенных температур и давления.

Актуальна проблема утилизации отработанных масел, большие количества которых входят в состав СОЖ. Регенерация СОЖ начинается с отделения от отработанных жидкостей металлической пыли, стружек и пыли от абразивного материала. Далее выделяются растворенные примеси, для чего используются методы адсорбции на глинах и ультрафильтрации через мембраны. Следует отметить, что эта проблема еще ждет своего решения.

Составной частью природоохранных мероприятий на металлообрабатывающих предприятиях является регенерация

Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ
------	------	---	---------	-------

13.03.02.2020.082.00.000ПЗ

Лист4

80

отработанных травильных растворов, для которой используют химические, физико-химические и электрохимические методы. При утилизации травильных растворов получают сульфат аммония (его можно применять как удобрение), гидроксид цинка, сурик (красящий пигмент) и другие вещества.

Следует отметить, что имеется еще много нерешенных проблем в охране природы в металлообрабатывающем производственном комплексе, которые еще ждут своего решения.

Выводы по разделу девять

В девятом разделе проводится идентификация и анализ опасных и вредных производственных факторов, связанных с работой на токарно-карусельном станке, разработка технических и организационных мер по уменьшению влияния опасностей и вредностей на организм человека, мероприятия по обеспечению пожарной безопасности, а также меры по защите окружающей среды, проводимые предприятиями машиностроительной отрасли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ВКР решены задачи модернизации электропривода главного движения карусельного станка модели 1540. По расчетным данным проверен и оставлен электродвигатель П-102, проверка производилась по нагреву и перегрузочной способности. Для электродвигателя построены тахограмма и нагрузочная диаграмма, которые отражают режимы его работы.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		81

Исходя из требований, предъявляемых к электроприводу, произведен аналитический обзор современных электроприводов в сети «Интернет». В результате поиска выяснилось, что приводы серии ЭПУ1М и КТЭ в равной степени удовлетворяют предъявленным требованиям, но, учитывая, что электропривод серии КТЭ стоит значительно дороже, выбор остановлен на электроприводе ЭПУ1М.

Изучены технические характеристики и схемные решения, приведенные в графической части проекта.

В результате статического расчета определены параметры регуляторов тока и скорости, передаточные функции звеньев электропривода. На основе этого составлена структурная схема электропривода планшайбы.

Анализ динамических характеристик электропривода показал, что система является астатической по возмущению и удовлетворяет предъявляемым требованиям к САУ электропривода.

Рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности для обслуживающего персонала станка, в частности – элементы защиты от поражения электрическим током. Проведен анализ опасностей и вредностей и методы их устранения, вопросы пожарной безопасности.

Экономически обосновано использование электропривода ЭПУ1М с двигателем мощностью 75 кВт при этом годовой экономический эффект составляет 479295 руб. при сроке окупаемости 0,36 лет (4,3 месяца).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Руководство по эксплуатации карусельного станка 1540. Коломенский завод тяжелого станкостроения, 1965. – 663 с.

2 Сандлер, А.С. Электропривод и автоматизация металлорежущих станков: учебное пособие / А.С. Сандлер. – М.: Высшая школа, 1972. – 440 с.

3 Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова, - 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – Т.2. – 496 с.

4 Справочник по электрическим машинам: в 2 т. / под общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – Т.1. – 456 с.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		82

5 Гребенников, В.И. Системы управления электроприводов: учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию / В.И. Гребенников. – Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ (НПИ), 2004. – 50 с.

6 Шепеленко, Г.И. Экономика, организация и планирование производства на предприятии: учебное пособие / Г.И. Шепеленко. – Ростов н/Д.: Феникс, 2010. – 600 с.

7 Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учебное пособие / П.А. Долин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.

8 ГОСТ 12.1.003 – 88. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 12 с.

9 Охрана труда в электроустановках / под ред. Б.А. Князевского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 335 с.

10 Правила устройства электроустановок. – Изд. 7-е перераб. и доп. – М.: Главгосэнергонадзор России, 2003. – 607 с.

					13.03.02.2020.082.00.000ПЗ	Лист4
Изм.	Лист	№	Подпись	ДатаЛ		83