

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**
Институт «Политехнический», факультет «Энергетический»
Кафедра «Автоматизированный электропривод»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

_____/А.Н. Шишков/

“ ____ ” _____ 2019 г.

Автоматизированный электропривод подачи заготовок в методическую печь

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОМУ КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ

ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ВКП

Руководитель проекта:
Доцент, к.т.н

_____/А.Н. Горожанкин/

“ ____ ” _____ 2019 г.

Автор проекта
студент группы _____

_____/П.М. Бабич/

“ ____ ” _____ 2019 г.

Нормоконтролер
Доцент, к.т.н.

_____/А.Е. Бычков/

“ ____ ” _____ 2019 г.

Челябинск
2019 г.

АННОТАЦИЯ

Бабич П.М. Автоматизированный электропривод подачи заготовок в методическую печь. – Челябинск: ЮУрГУ, 2019, 95 с., 34 ил., 14 табл., библиогр. список – 14 наим., 4 прил., 2 листов чертежей ф. А4.

В выпускном квалификационном проекте (ВКП) рассмотрены вопросы проектирования автоматизированного электропривода участка подачи заготовок в методическую печь.

Цель выпускного квалификационного проекта – разработка системы автоматизированного электропривода участка подачи заготовок в методическую печь.

Произведен расчет силовой части электропривода механизма толкателя участка подачи заготовок в методическую печь. Выполнен расчет, предварительный выбор электродвигателя, оценка его работоспособности в составе рассматриваемого механизма по нагреву и производительности, осуществлена корректировка выбора. Приведена статическая характеристика разработанного электропривода.

Разработана схема автоматизации механизма подачи заготовок в методическую печь, составлена функциональная схема автоматизации, подобрана элементная база для ее выполнения. Разработаны алгоритм работы, управляющая программа промышленного контроллера, принципиальная электрическая схема блока управления системы автоматизации.

Ключевые слова: электропривод, технологический процесс, автоматизация, заготовка, методическая печь.

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Автоматизированный электропривод подачи заготовок в методическую печь	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Разраб.		Бабич П.М.					3	95
Провер.		Горожанкин А.Н.						
Реценз								
Н. Контр.		Бычков А.Е.						
Утверд.		Шишков А.Н.				ЮУрГУ Кафедра «АЭП»		

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	8
1.1 Назначение и описание работы методической печи, роль механизма толкателя в ее работе	8
1.2 Определение и описание работы выбранного механизма технологическом процессе.....	11
1.3 Технические характеристики выбранного механизма	14
1.4 Требования, предъявляемые к системе, в соответствии с требованиями технического задания	15
2 КАЧЕСТВЕННЫЙ ВЫБОР СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	18
2.1 Обзор электроприводов выбранного механизма	18
2.2 Описание режима работы выбранного механизма, циклограмма работы	20
3 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РОДА ТОКА И ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА....	22
3.1 Синхронный привод переменного тока.....	22
3.2 Асинхронный привод переменного тока.....	24
3.3 Электропривод постоянного тока	25
4 РАСЧЕТ МОМЕНТОВ СТАТИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ И РАСЧЕТ ДВИГАТЕЛЯ	28
4.1 Расчет моментов статических сопротивлений и предварительный расчет мощности двигателя	28
4.2 Предварительный выбор электродвигателя.....	33
4.3 Определение передаточного числа и предварительный выбор редуктора	35
4.4 Приведение статических моментов к валу двигателя	37
4.5 Приведение моментов инерции к валу двигателя	39
4.6 Предварительная проверка двигателя.....	41
5 ВЫБОР И ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОМ.....	46
5.1 Выбор преобразователя	46
5.2 Выбор и расчет параметров силового оборудования.....	46
5.3 Выбор датчика скорости	52
5.4 Синтез принципиальной электрической схемы.....	52

						Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5.5	Схема соединения силовых цепей и цепей управления выбранного преобразователя частоты.....	53
5.6	Предусмотренные защиты в преобразователе	55
6	СИНТЕЗ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРОВ.....	56
6.1.	Контур регулирования тока якоря.....	58
6.2.	Контур регулирования скорости	59
6.3	Построение статических характеристик замкнутой системы электропривода.....	60
6.3.1	Построение электромеханической и механической характеристик ..	61
6.3.2	Построение внешней характеристики.....	63
6.3.3	Построение регуляторных характеристик	64
6.4	Исследование качества переходных процессов в системе электропривода.....	66
6.4.1	Вид переходных характеристик при изменении параметра M_c	69
6.4.2	Влияние изменения M_c на переходные характеристики:	71
7	РАЗРАБОТКА СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	72
7.1	Описание технологического процесса и выбор элементной базы автоматизации и преобразователей технологической информации.....	72
7.2	Составление списка сигналов системы автоматизации	73
7.3	Разработка пульта системы управления	77
7.4	Разработка алгоритма автоматизации управления механизмами объекта	79
8	РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ.....	85
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	87
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	88
	ПРИЛОЖЕНИЕ А УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА КОНТРОЛЛЕРА.....	90
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ.....	92
	ПРИЛОЖЕНИЕ В СПЕЦИФИКАЦИЯ.....	93
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ.....	94

ВВЕДЕНИЕ

Огромную роль в реализации планов электрификации страны играет электрический привод, который в настоящее время является основным видом привода разнообразных производственных и транспортных механизмов, различных бытовых приборов, устройств водоснабжения, средств космической техники, медицинской аппаратуры и т.д. Более 60% вырабатываемой в стране электроэнергии потребляется электрическим приводом.

В главных отраслях промышленности – металлургической, машиностроительной, химической, добывающей и ряде других коэффициент электрификации, представляющий собой отношение установленной мощности электродвигателей к общей установленной мощности двигателей всех видов, приближается в настоящее время к 100%. Тогда чем же определяется главное место электропривода среди других видов привода – теплового, гидравлического и пневматического приводов? Преимуществами электроэнергии являются простота ее выработки и распределения, легкость преобразования ее в другие виды энергии. Вместе с тем электрический привод обладает и рядом собственных достоинств и отличительных черт:

1) возможностью производства электродвигателей на самые разные мощности и скорости движения. Диапазон мощностей электропривода колеблется от сотых долей ватта до тысяч киловатт.

2) возможностью создания электроприводов для работы в различных условиях: в среде агрессивных веществ, в условиях космического пространства, при низких и высоких температурах и т. д.

3) возможностью с помощью простых средств реализовать разнообразные и сложные виды движения исполнительных органов рабочих машин и изменять направление движения и его параметры, т.е. скорость и ускорение;

4) простотой автоматизации технологических процессов, простотой включения электропривода в общую автоматизированную систему управления

									Лист
									6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

производством;

5) отсутствием загрязнения окружающей среды.

В ВКП рассматривается актуальная тема разработки автоматизированного электропривода участка подачи заготовок в методическую печь.

Цель работы – проектирование автоматизированного электропривода участка подачи заготовок в методическую печь.

Для достижения поставленной цели в рамках выполнения выпускного квалификационного проекта необходимо рассмотреть и выполнить следующие задачи:

- 1) изучить на основе литературных источников и составить описание автоматизируемого технологического процесса;
- 2) разработать функциональную схему автоматизации тех. процесса;
- 3) произвести качественный выбор системы электропривода;
- 4) обосновать выбор рода тока и типа электродвигателя;
- 5) на основе расчета статических сопротивлений выполнить расчет электродвигателя;
- 6) выбрать и описать систему управления проектируемым механизмом;
- 7) исследовать характеристики системы «Преобразователь – Двигатель»;
- 8) выбрать программируемый контроллер, как основу автоматизации проектируемого механизма;
- 9) разработать электрическую принципиальную схему разрабатываемой системы автоматизации.

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1.1 Назначение и описание работы методической печи, роль механизма толкателя в ее работе

Методическая печь – проходная печь для нагрева металлических заготовок перед прокаткой, ковкой или штамповкой. В методической печи (рисунок 1.1) механизм толкателя 6 последовательно проталкивает заготовки 2 навстречу движению продуктов сгорания топлива. При таком противоточном движении достигается высокая степень использования теплоты, подаваемой в печь. Заготовки проходят последовательно 3 теплотехнические зоны :

I – методическую – зону предварительного подогрева;

II – сварочную – зону нагрева;

III – томильную – зону выравнивания температур в заготовке.

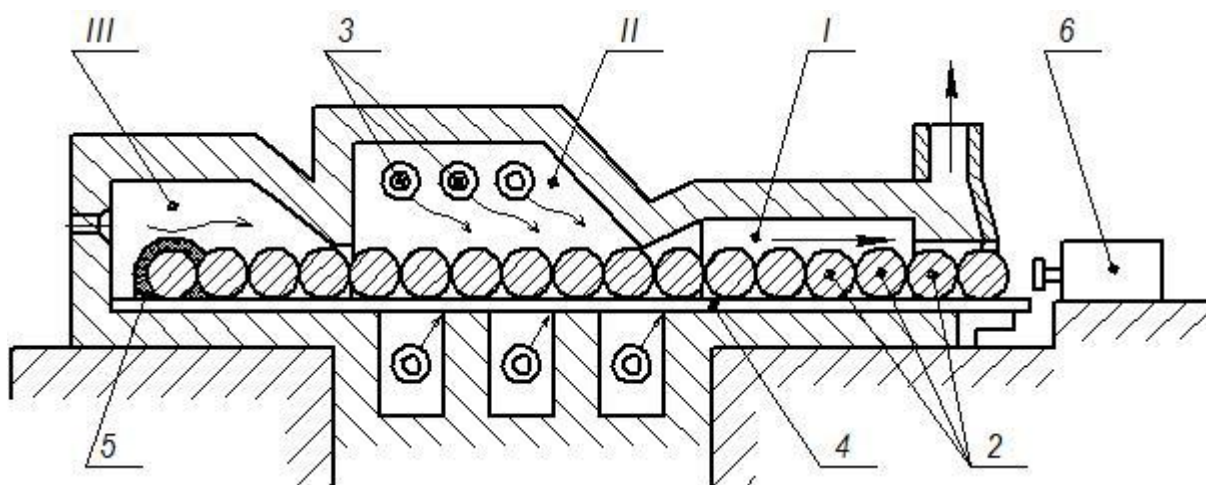


Рисунок 1.1 – Схема методической печи:

1 – окно загрузки; 2 – заготовки; 3 – газовые форсунки; 4 – под печи; 5 – окно выгрузки; 5 – окно выгрузки; 6 - механизм толкателя; I, II, III – зоны нагрева

Толкатель печи 6 относится к вспомогательному оборудованию и предназначен для сталкивания заготовок с подающего рольганга в печь с одновременным продвижением пакета заготовок, уже находящихся в печи.

По способу приведения в движение башмака толкателя, который непосредственно давит на деталь механизмы толкателя можно разделить на

						Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	

следующие группы:

- 1) с гидравлическим приводом;
- 2) с пневматическим приводом;
- 3) с приводом от электродвигателя.

Гидравлический привод, как правило, обладает большей мощностью на единицу объема в сравнении с электрическим или пневматическим приводом. При работе не создает вибрации и отличается меньшим уровнем шума в сравнении с электрическим приводом. К недостаткам гидравлического привода связаны с необходимостью использования гидростанции для создания необходимого расхода жидкости при требуемом давлении. Гидростанция должна быть размещена в непосредственной близости от исполнительного механизма толкателя, так как передача энергии в форме течения жидкости связана с большими потерями в трубопроводах. Вторая группа недостатков связаны со свойствами жидкости, применяемой для данного типа привода: зависимостью ее вязкости от температуры (необходимость ее охлаждения), загрязнение и гидрофобность, необходимость периодического обслуживания и постоянного контроля специалистами соответствующей квалификации.

К достоинствам пневмопривода следует отнести относительную простоту конструкции и низкую трудоемкость обслуживания, способен работать в широком диапазоне температур, а также в условиях повышенной влажности и запыленности. Межремонтный период может составлять 10000-20000 часов.

К недостаткам пневмопривода следует отнести сложность обеспечения плавности и точности хода, равномерной и стабильной скорости перемещения исполнительного органа, что при применении в механизме толкателя печи является недопустимым. КПД у пневмопривода, как правило, ниже, чем у гидравлического.

Привод с использованием электродвигателя обладает меньшей мощностью и быстродействием в сравнении с гидроприводом с теми же массогабаритными параметрами (без учета гидростанции), но является более неприхотливым в

									Лист
									9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ				

обслуживании и менее уязвим для воздействия факторов внешней среды. В сравнении с пневмоприводом – способен поддерживать постоянство скорости и точность хода.

Кинематическая схема механизма толкателя методической печи представлена на рисунке 1.2.

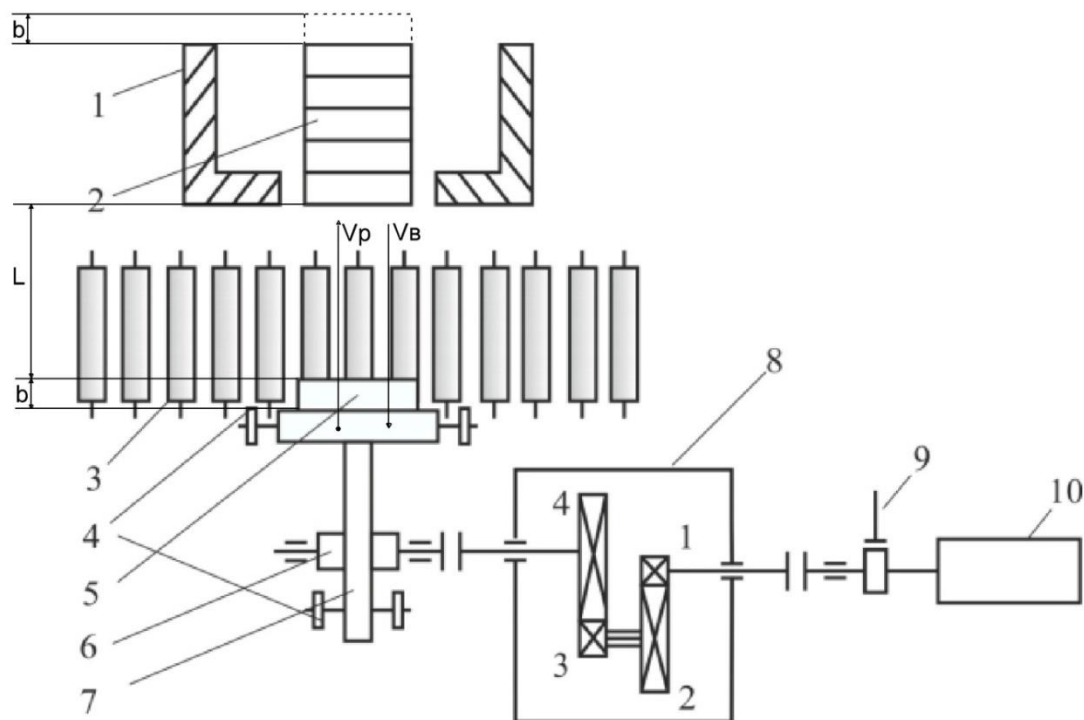


Рисунок 1.2 – Кинематическая схема механизма толкателя методической печи:

1 – методическая печь; 2 – заготовки в печи; 3 – подающий рольганг; 4 – опорные ролики; 5 – заготовка на подающем рольганге; 6 – шестерня реечной передачи; 7 – толкатель; 8 – редуктор; 9 – тормозной механизм; 10 – электродвигатель

Подающий рольганг 3 доставляет заготовку 5 к толкателю 7, для транспортировки её в печь 1. Толкатель приводится в движение электродвигателем 10, через редуктор 8. После подачи рольгангом 3 заготовки 5 толкатель 7 находится на расстоянии b от заготовки. Включается двигатель 10, толкатель 7 подходит к заготовке 5 и под нагрузкой на рабочей скорости V_p перемещает заготовку 5 на расстояние L до соприкосновения ее с заготовками 2, лежащими в печи, а затем перемещает все заготовки вместе на ширину b

одной заготовки. Последняя заготовка выталкивается из печи. После этого толкатель реверсируется и на скорости $V_B > V_P$ возвращается в исходное положение.

1.2 Определение и описание работы выбранного механизма в технологическом процессе

Последовательность операций, выполняемых механизмом толкателя методической печи, в формате блок-схемы алгоритма представлена на рисунке 1.3.

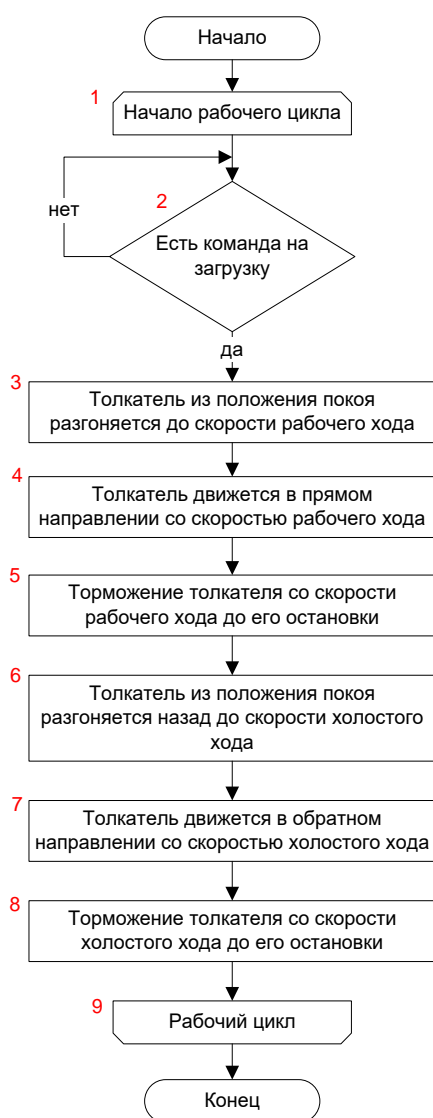


Рисунок 1.3 – Алгоритм работы механизма толкателя

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

Блок 1. Исходное положение механизма, начало бесконечного рабочего цикла. Будучи запущенной в работу механизм толкателя циклически выполняет последовательность операций по загрузке заготовки в методическую печь, по окончании которой возвращается в исходное положение, к выполнению блока 1 алгоритма.

Блок 2. Ожидание команды на загрузку заготовки в методическую печь. Для инициирования процесса загрузки заготовки в методическую печь должны быть истинны несколько условий: наличие заготовки на подающем рольганге в створе загрузочного окна методической печи, открытое положение двери загрузочного окна и т.д. Более подробно этот вопрос будет рассмотрен в разделе 7.6 настоящего квалификационного проекта. При поступлении команды на загрузку система переходит к выполнению блока 3 настоящего Алгоритма.

Блок 3. Толкатель из положения покоя начинает движение в прямом направлении и разгоняется до скорости рабочего хода.

Блок 4. Толкатель печи равномерно движется в прямом направлении со скоростью рабочего хода на расстояние $L+b$ (рисунок 1.2) за вычетом необходимого запаса пути на разгон (блок 3) и торможение (блок 5).

Блок 5. Выполняется торможение толкателя со скорости рабочего хода до полной остановки механизма.

Блок 6. Толкатель из положения покоя начинает движение в реверсном направлении и разгоняется до скорости холостого хода.

Блок 7. Толкатель печи равномерно движется в обратном направлении со скоростью холостого хода на расстояние $L+b$ (рисунок 1.2) за вычетом необходимого запаса пути на разгон (блок 6) и торможение (блок 8).

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Блок 8. Выполняется торможение толкателя со скорости холостого хода до полной остановки механизма.

Блок 9. Конец рабочего цикла. Толкатель, выполнив последовательность операций по загрузке заготовки в методическую печь, возвратился в исходное положение. Дальнейшее продолжение выполнения работы производится в соответствии с блоком 1 настоящего Алгоритма.

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.3 Технические характеристики выбранного механизма

В таблице 1.1 представлены основные технические данные механизма привода толкателя методической печи.

Таблица 1.1 – Основные технические данные механизма привода толкателя методической печи

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Масса штанги с рейкой	$m_{ш}$	т	5,5
Диаметр реечной шестерни	D	м	0,3
Момент инерции вала со звездочками	J_p	кг·м ²	100
Масса одной заготовки	m_z	т	2
Ширина одной заготовки	b	мм	300
Длина перемещения	L	м	8
Скорость рабочего хода	V_p	м/с	0,3
Время работы	tp	с	19
Число циклов	z	1/ч	50
Допустимое ускорение	$a_{дон}$	м/с ²	1
Диаметр шейки ролика	$d_{см}$	м	0,25· D
Коэффициент трения качения	μ_n	-	0,015
Коэффициент трения скольжения в подшипниках	f	-	0,002
Коэффициент трения скольжения заготовок	μ_c	-	0,2
Момент инерции тормозного шкива	$J_{ш}$	кгм ²	0,4
Скорость возвратного движения	V_b	м/с	1,5· V_p
Крутильная жесткость	C_k	МН·м/рад	50
Количество заготовок	N	Шт.	5

1.4 Требования, предъявляемые к системе, в соответствии с требованиями технического задания.

Электроприводом называется электромеханическая система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением. С помощью этих функций электропривод вырабатывает механическую энергию за счет электрической энергии, получаемой им от источника электрической энергии (сети электроснабжения). Произведенная электроприводом механическая энергия передается различным исполнительным органам производственным механизмов, при необходимости регулируется в соответствии с технологическими требованиями к режимам работы исполнительного органа.

За счет этой энергии исполнительный орган совершает механическое движение, совершая тем самым выполнение множество производственных операций: транспортировку грузов, обработку различных деталей, перемещение разных тел, а также жидкости или газа.

На этом функции электропривода не ограничиваются преобразованием электроэнергии. Каждая технологическая машина нуждается в управлении: необходимо включать/выключать электродвигатели, приводящие в движение рабочие органы машины, а также менять скорость на рабочих органах в соответствии с техническим регламентом производства.

Другую функцию электропривода можно отнести как управление движением исполнительных органов технологической машины, причём это управление может производиться вручную с элементами автоматики, так и автоматически.

Современный электрический привод представляет собой техническую систему, предназначенную для приведения в движение рабочего органа машины и управления его техническим процессом.

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Составим требования к электроприводу как к системе, ответственной за управляемое преобразование энергии, т. е. выделим главные показатели, которые характеризуют электропривод.

1. Надежность. Как и любой технический объект, электропривод должен выполнять заданные функции в данных условиях в течение определенного времени. Если данное условие не обеспечивается, все остальные качества окажутся бесполезными, поэтому требование надежности является основным показателем.

2. Точность. Этот показатель так же относится к главной функции электропривода – осуществлять управляемое движение. Правильнее сформулировать – обеспечении приводом необходимой точности, т.е. об отличии какого-либо показателя движения от заданного, не превышающего допустимого значения. Электропривод должен поддерживать на заданном уровне скорость; при этом всегда существуют допустимые отклонения от заданных значений, выходить за которые уже нельзя.

3. Быстродействие – способность системы достаточно быстро реагировать на различные воздействия. Быстродействие, очевидно, связано с какими-то изменениями во времени, с динамическими процессами в системе.

4. Качество динамических процессов, т.е. обеспечение определенных закономерностей их протекания во времени.

5. Энергетическая эффективность. Данный показатель стал очень весомым в последнее время. Поскольку любой процесс передачи и преобразования энергии сопровождается ее потерями, важно, какова удельная доля этих потерь.

6. Ресурсоемкость, т. е. материалоемкость и энергоемкость, заложенные в конструкцию и технологию производства, трудоемкость при изготовлении, монтаже, эксплуатации, наладке и ремонте.

К особым требованиям, относящимся непосредственно к электроприводу механизма толкателя методической печи, следует отнести:

									Лист
									16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

- 1) электропривод должен иметь возможность работы в реверсивном режиме;
- 2) электропривод должен обеспечивать работу в повторно-кратковременном режиме работы;
- 3) обеспечение постоянства ускорения, замедления, как в прямом, так и в реверсном перемещении исполнительного органа механизма;
- 4) скорость прямого и обратного хода выставляется однократно при выполнении пусконаладочных работ, регулирование скоростей в процессе работы не требуется;
- 5) конструкция механизма толкателя печи должна выдерживать большие ударные нагрузки, необходимы повышенные требования к стабильности и точности положения валов.

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

2 КАЧЕСТВЕННЫЙ ВЫБОР СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

2.1 Обзор электроприводов выбранного механизма

Регулировать скорость движения рабочего органа производственного механизма можно двумя способами:

1. Изменением угловой скорости двигателя.
2. Изменением передаточного отношения механических передач, между двигателем и рабочим органом.

Второй способ требует установки коробки передач и механических вариаторов. При этом, как правило, не удаётся получить плавного регулирования скорости. По данной причине стремятся осуществить регулирование скорости основного источника энергии – электродвигателя.

Регулированием скорости называют изменение скорости электропривода, путём искусственного воздействия на его электромеханические параметры.

Регулирование скорости, не надо путать с изменением скорости, которое вызывается ростом или снижением нагрузки и происходит в соответствии со свойствами механической характеристики двигателя.

Способы регулирования и управления электроприводом подразделяются на параметрический и автоматический.

Под параметрическим способом понимается изменение напряжения, тока, частоты или другого параметра, от которого зависит вид механической характеристики двигателя.

При автоматическом способе изменение параметра осуществляется в зависимости от регулируемой величины (скорости, напряжения, тока.) с помощью предусмотренной для этой цели обратной связи.

Питание машин постоянного тока осуществляется от полупроводниковых преобразователей – диодных, тиристорных, транзисторных.

- 1) Питание от источника энергии переменной частоты, т.е преобразователь

									Лист
									18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ				

частоты;

2) Каскадные установки, обеспечивающие введение добавочных ЭДС во вторичную цепь электрической машины. При выборе типа системы электропривода, прежде всего, необходимо обращать внимание на условия работы производственного механизма. Высокая производительность оборудования и качество производимой продукции могут быть обеспечены лишь при тщательном расчете и учёте статических и динамических характеристик электропривода и рабочей машины в целом. Кинематика и компоновка механизма в значительной степени определяются типом применяемой системы электропривода, и, наоборот, в зависимости от конструктивных особенностей производственного механизма его привод претерпевает существенные изменения.

При выборе типа системы электропривода должны быть учтены: величина статического момента, необходимые пределы регулирования величины и направления скорости, требования к плавности регулирования и хода, условий пуска и торможения, числа включений и выключений в единицу времени, параметров качества окружающей среды и т.п.

На первом этапе решается вопрос о необходимости выбора регулируемого электропривода или достаточности в использовании нерегулируемого типа электропривода. Во втором случае задача в значительной мере упрощается.

В случае с необходимостью регулирования скорости, возникает вопрос о выборе рода тока и типа выбираемого электропривода. Это второй этап выбора типа системы электропривода. Здесь на выбор типа привода и электродвигателя влияют остальные выше перечисленные факторы: величина статического момента, необходимые пределы регулирования величины и направления скорости, требования к плавности регулирования и хода, условий пуска и торможения, числа включений и выключений в единицу времени, параметров качества окружающей среды и т.п.

						Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Основные типы приводов и электродвигателей с отображением логических взаимосвязей между ними представлены на рисунке 2.1.

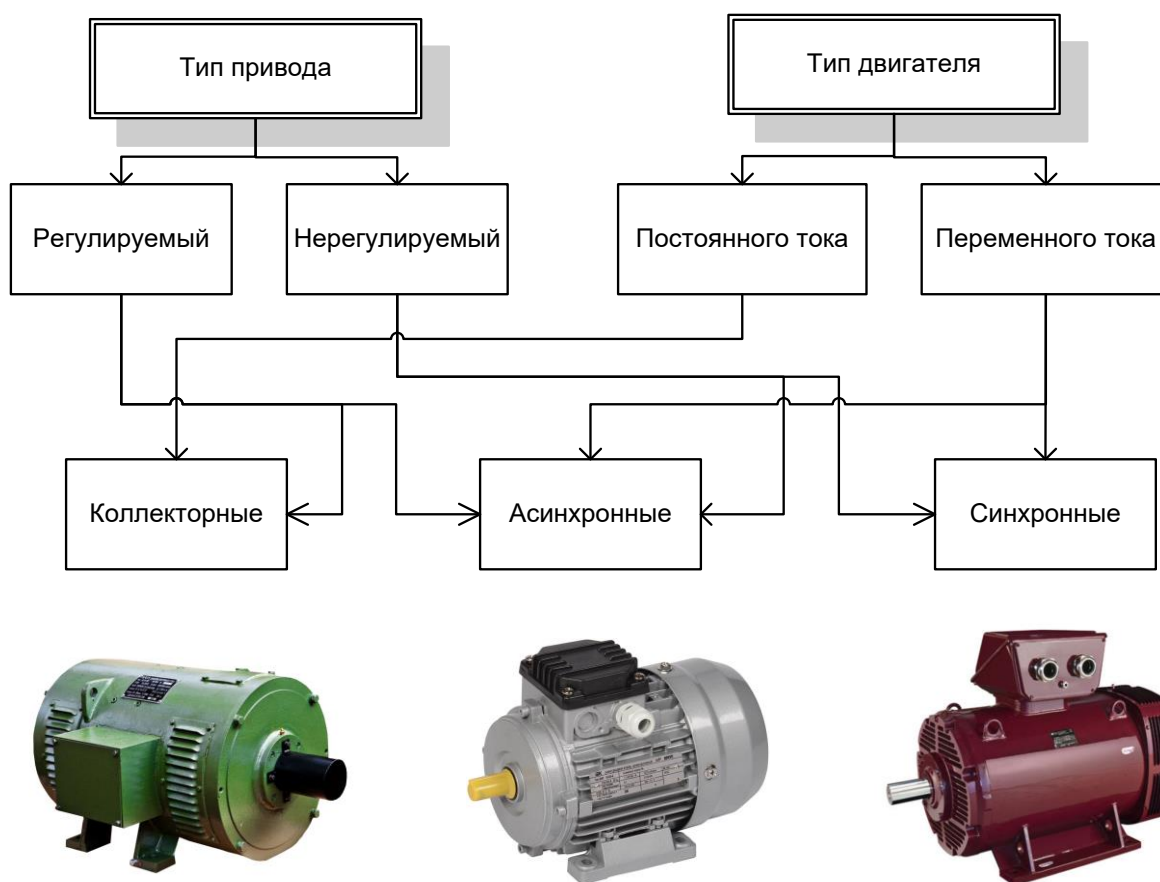


Рисунок 2.1 – Основные типы приводов и электродвигателей

Обоснование выбора рода тока и типа привода проведем в разделе 3 выпускной квалификационной работы.

2.2 Описание режима работы выбранного механизма, циклограмма работы

Циклограмма работы механизма толкателя приведена на рисунке 2.2.

Участок 1: толкатель из положения покоя разгоняется до скорости рабочего хода V_p .

Участок 2 толкатель печи движется со скоростью рабочего хода V_p .

На участке 3 выполняется торможение толкателя со скорости рабочего хода V_p до остановки механизма.

На участке 4 начинается движение толкателя в реверсном направлении, толкатель набирает скорость до $V_b=1,5 \cdot V_p$.

Участок 5: реверсное движение толкателя с постоянной скоростью $V_b=1,5 \cdot V_p$.

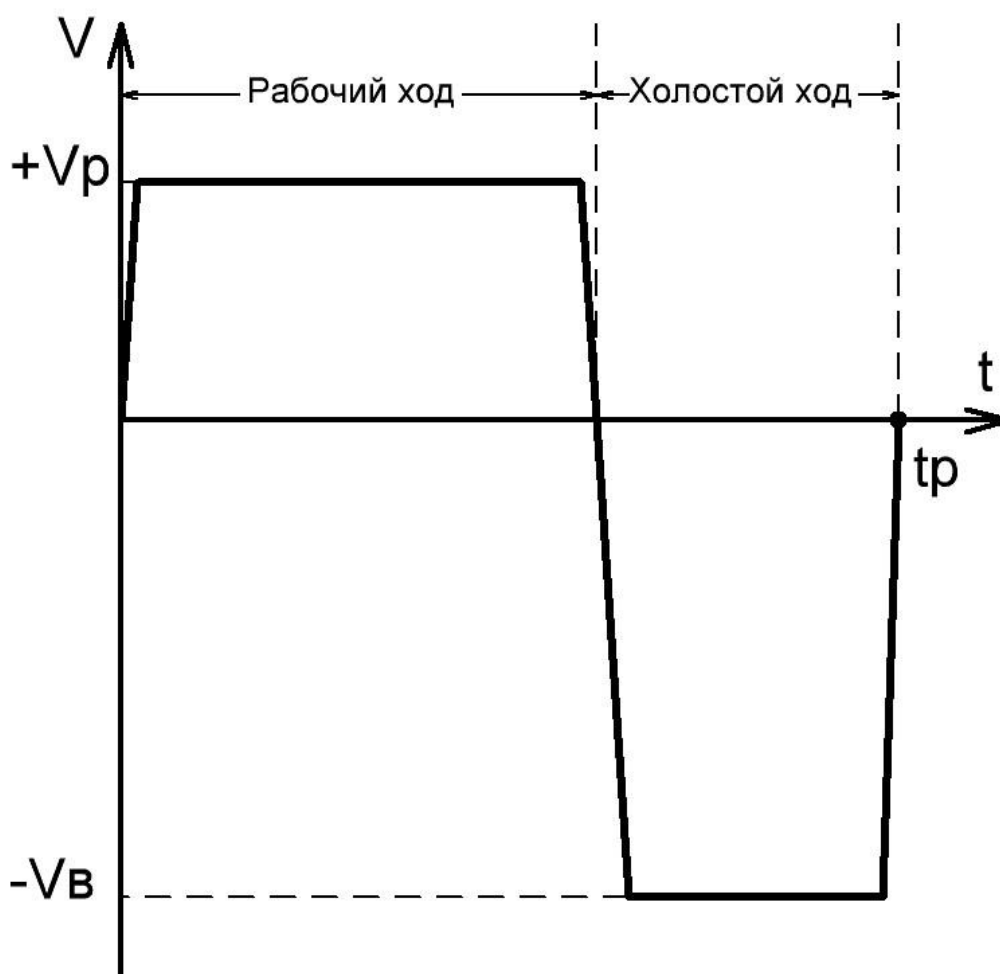


Рисунок 2.2 – Циклограмма работы механизма толкателя

Участок 6: – торможение толкателя при реверсном движении. Толкатель замедляется и останавливается в исходном положении механизма.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

3 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РОДА ТОКА И ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Синхронный привод переменного тока

Синхронный электродвигатель переменного тока (рисунок 3.1) обладает рядом положительных качеств, выделяющих его среди линейки двигателей, работающих на иных принципах.



Рисунок 3.1 – Синхронный электродвигатель переменного тока

Достоинства синхронных электродвигателей переменного тока:

1) К наиболее значимому достоинству синхронного двигателя следует отнести возможность работы с $\cos(\varphi)=1$, синхронный двигатель может потреблять только активную энергию, не потребляя и не отдавая в питающую сеть реактивную мощность. Возможность работы при $\cos(\varphi)=1$ позволяет уменьшить массогабаритные параметры двигателя и улучшить общий $\cos(\varphi)$ питающей сети.

2) Обладает жесткой механической характеристикой, что обеспечивает постоянство скорости вращения вала при любой нагрузке в пределах диапазона

его перегрузочной способности.

3) Низкая чувствительность к просадкам напряжения питающей сети. Это объясняется тем, что их максимальный крутящий момент пропорционален напряжению сети в первой степени, в отличие от асинхронных двигателей, у которых критический момент пропорционален квадрату напряжения.

4) Высокая перегрузочная способность. При скачкообразном повышении момента нагрузки на валу, перегрузочная способность синхронного двигателя может быть увеличена повышением тока возбуждения двигателя в автоматическом режиме.

Недостатки:

1) Основной недостаток – запуск синхронного двигателя производится выполнением достаточно сложной процедуры, выводящей его через ряд итераций на режим синхронизма. Соответственно, и выпадение его из режима синхронизма, например в результате кратковременной перегрузки, как правило, приводит к необходимости его повторного запуска.

2) Сложность конструкции. От асинхронного двигателя его отличает необходимость использования в конструкции коллекторного узла либо коллекции достаточно дорогостоящих постоянных магнитов.

3) Сложности с регулированием частоты вращения, которое может производиться только изменением частоты питающего напряжения.

Комплекс достоинств и недостатков синхронного двигателя делает его применение весьма привлекательным при значительных мощностях и продолжительных режимах работы. На невысоких мощностях синхронный двигатель уступает асинхронным конструкциям электродвигателей. Наличие частых повторно – кратковременных режимов работы склоняет чашу весов привлекательности выбора применению приводов постоянного тока.

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3.2 Асинхронный привод переменного тока

В настоящее время получили широкое распространение два типа асинхронных электродвигателей: с короткозамкнутым ротором («беличье» колесо) (рисунок 3.2) и с фазным ротором. Простота конструкции, удобство в эксплуатации, низкая стоимость и высокой надежность двигателей с короткозамкнутым ротором приводит к тому, что девять из десяти применяемых асинхронных электродвигателей малой и средней мощности имеют именно такую конструкцию. С увеличением мощности электродвигателя предпочтение все более и более отдается конструкции с фазным ротором, что объясняется лучшими возможностями по ограничению потребляемого тока в процессе их запуска.

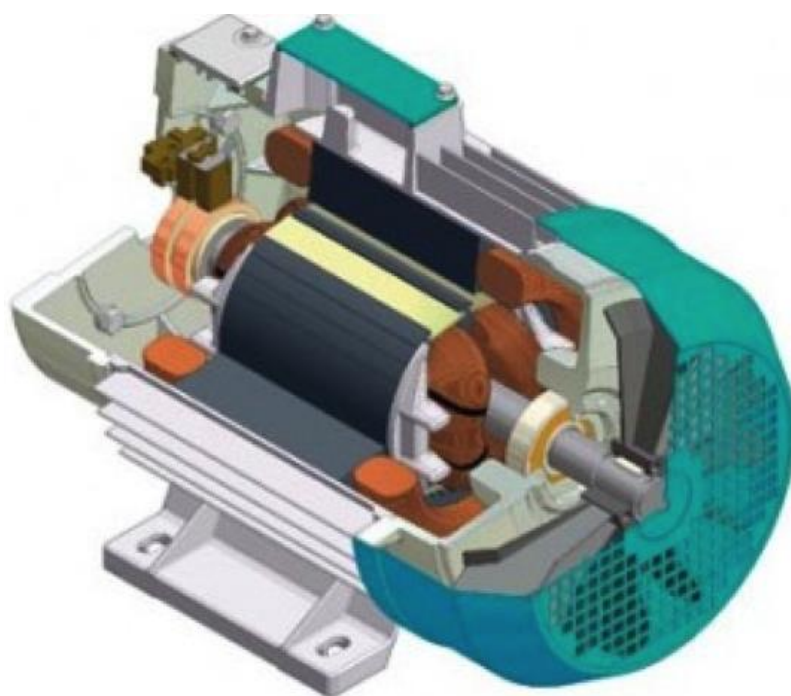


Рисунок 3.2 – Асинхронный двигатель переменного тока с короткозамкнутым ротором

К достоинствам асинхронных двигателей можно отнести:

- 1) Относительно небольшое изменение скорости при разных нагрузках.
- 2) Допускают кратковременные механические перегрузки (в отличие от

синхронных электродвигателей).

3) Относительно высокий КПД и $\cos(\varphi)$ (больше, чем у двигателей постоянного тока, но меньше, чем у синхронных приводов).

Недостатки асинхронных двигателей:

1) Сложности в регулировании скорости вращения. Для регулирования используются достаточно дорогостоящие частотные преобразователи.

2) Значительные пусковые токи, особенно у двигателей с короткозамкнутым ротором.

3) Низкий $\cos(\varphi)$ при работе с недогрузом.

3.3 Электропривод постоянного тока

Электродвигатели постоянного (рисунок 3.3) тока имеют, пожалуй, наиболее продолжительную историю применения в промышленности и обладают как рядом достоинств, так и недостатков.

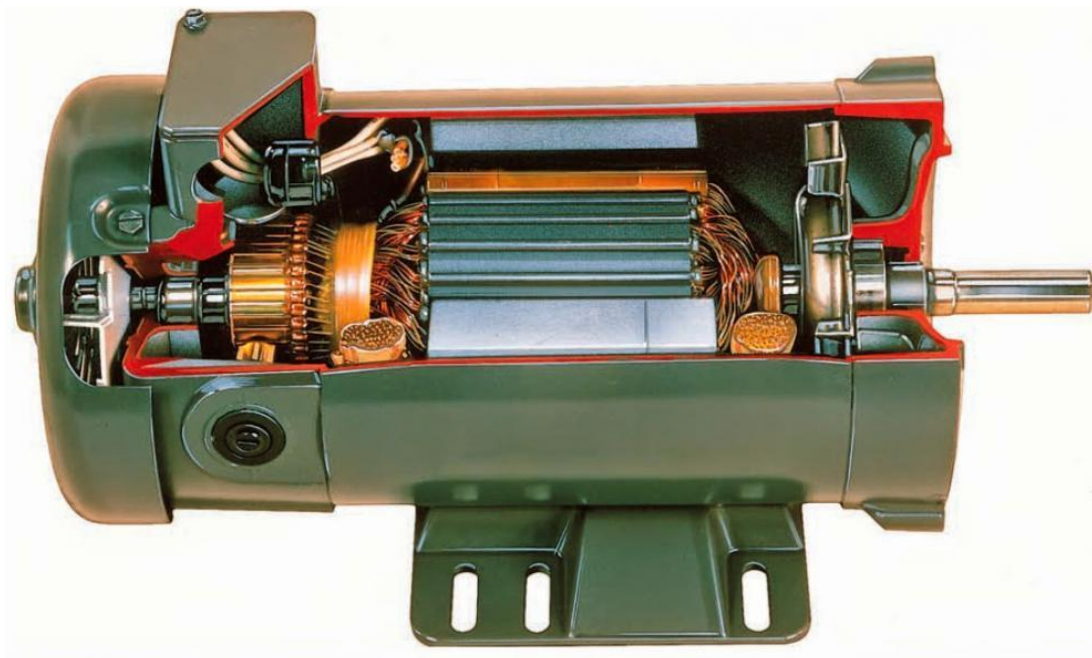


Рисунок 3.3 – Электродвигатель постоянного тока

Достоинства электродвигателей постоянного тока:

1) Широкий диапазон регулирования скорости, практически от нулевой скорости с достаточным крутящим моментом на валу.

2) Возможность работы во всех четырех квадрантах механической характеристики, как в двигательном, так и в генераторном режимах.

2) Линейные механическая и регулировочная характеристики.

3) Легкость регулирования частоты вращения вала.

3) Простота конструкции устройства управления. На сегодняшний день электронная часть электропривода постоянного тока является наиболее дешевым решением в сравнении со всеми остальными типами приводов.

Недостатки электродвигателя постоянного тока связаны, в основном, с необходимостью использования в его конструкции коллекторно-щеточного узла. Это:

1) Дороговизна изделия, связанная с необходимостью использования в конструкции значительного количества меди и сложностью изготовления коллекторно-щеточного узла.

2) Необходимость контроля состояния и периодического обслуживания коллекторно-щеточных узлов.

3) Ограниченный срок службы из-за износа коллектора.

Однако, при всех выше перечисленных недостатках, применение привода постоянного тока может быть оправдано, более того, является предпочтительным в случаях, когда привод должен обеспечивать повышенные требования к плавности регулирования скорости. Приводы постоянного тока незаменимы в механизмах, работающих в повторно-кратковременном режиме: подъёмные механизмы, краны, вспомогательные механизмы металлургической промышленности (рольганги, шлепперы, толкатели, нажимные устройства).

									Лист
									26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ				

Выполнив анализ различных электроприводов, использующих разные типы электродвигателей по конструкции и роду используемого тока, учитывая жесткий повторно-кратковременный режим работы привода толкателя методической печи, а также повышенные требования к плавности хода и регулирования скорости исполнительного органа механизма останавливаем свой выбор на регулируемом электроприводе с двигателем постоянного тока с независимым возбуждением.

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

4 РАСЧЕТ МОМЕНТОВ СТАТИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ И РАСЧЕТ ДВИГАТЕЛЯ

4.1 Расчет моментов статических сопротивлений и предварительный расчет мощности двигателя

Основные технические данные транспортной системы толкателя заготовок методической печи приведены в таблице 1.1.

На базе исходных данных рассчитаем и построим зависимость скорости рабочей машины от времени $v(t)$. Участки различаются значениями статических нагрузок и моментов инерции. На основе заданных путей перемещения L , установившейся скорости v_y и допустимого ускорения a рассчитаем:

– время пуска t_{Π} до установившейся скорости с допустимым ускорением, торможения t_{Γ} от установившейся скорости до остановки:

$$t_{\Pi} = t_{\Gamma} = \frac{v_y}{a_{\text{доп}}}; \quad (4.1)$$

– путь, проходимый за время пуска (торможения) рабочей машиной:

$$L_{\Pi} = L_{\Gamma} = \frac{v_y^2}{2 \cdot a_{\text{доп}}}; \quad (4.2)$$

– время установившегося режима движения со скоростью v_y :

$$t_y = \frac{L - (L_{\Pi} + L_{\Gamma})}{v_y}. \quad (4.3)$$

Подставив числовые значения, получим:

При движении вперед (с грузом):

$$t_{\Pi}^p = t_{\Gamma}^p = \frac{0,3}{1} = 0,3 \text{ с};$$

$$L_{\Pi}^p = L_{\Gamma}^p = \frac{0,3^2}{2 \cdot 1} = 0,045 \text{ м};$$

$$t_y^p = \frac{(8 + 0,3 \cdot 2) - (0,045 + 0,045)}{0,3} = 28,3667 \text{ с}.$$

При движении назад (без груза):

$$t_{\Pi}^B = t_{\Gamma}^B = \frac{0,45}{1} = 0,45 \text{ с};$$

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$L_{\Pi}^B = L_T^B = \frac{0,45^2}{2 \cdot 1} = 0,10125 \text{ м};$$

$$t_{y^B} = \frac{(8 + 0,3 \cdot 2) - (0,10125 + 0,10125)}{0,45} = 18,66111 \text{ с.}$$

Общее время работы:

$$t_p = t_{\Pi}^P + t_{y^P} + t_T^P + t_{\Pi}^B + t_{y^B} + t_T^B; \quad (4.4)$$

$$t_p = 0,3 + 28,3667 + 0,3 + 0,45 + 18,66111 + 0,45 = 48,52781 \text{ с.}$$

Статические сопротивления движению создаются силами трения скольжения заготовок, трения качения.

Момент сил трения качения:

$$M_{\text{ТК}} = m \cdot f \cdot g; \quad (4.5)$$

где m – масса движущегося тела, масса деталей, опирающихся на узел качения, масса поднимаемого или опускаемого груза, кг;

f – коэффициент трения качения;

$g = 9,81$ – ускорение силы тяжести.

Выполним расчет момента сил трения качения

$$M_{\text{ТК}}^B = m \cdot f \cdot g = 5500 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 = 107,91 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент сил трения в подшипниках:

$$M_{\text{ТП}} = \frac{m_1 \cdot d_{\text{ш}} \cdot \mu_{\text{п}} \cdot g}{2}; \quad (4.6)$$

где m_1 – масса деталей и узлов, опирающихся на ролики, кг;

$d_{\text{ш}}$ – диаметр шейки ролика, м;

$\mu_{\text{п}}$ – коэффициент трения скольжения в подшипниках;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение силы тяжести.

В соответствии с формулой (4.6):

$$M_{\text{ТП}}^B = \frac{m \cdot d_{\text{ш}} \cdot \mu_{\text{п}} \cdot g}{2} = \frac{5500 \cdot 0,017 \cdot 9,81 \cdot 0,075}{2} = 34,3963 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент сил трения скольжения тела по горизонтальной плоскости:

$$M_{\text{ТС}} = \frac{m \cdot \mu_{\text{с}} \cdot g \cdot D}{2}; \quad (4.7)$$

где μ_c – коэффициент трения скольжения заготовок;

D – диаметр реечной шестерни.

В соответствии с формулой (4.7) :

При движении с одной заготовкой:

$$M_{TC}^P = \frac{(2000 + 5500) \cdot 0,17 \cdot 9,81 \cdot 0,3}{2} = 1876,1625 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

При движении с заготовками внутри печи:

$$M_{TC}^B = \frac{(2000 \cdot 6 + 5500) \cdot 0,17 \cdot 9,81 \cdot 0,3}{2} = 4377,7125 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Суммарный статический момент при движении толкателя к заготовке (при реверсировании толкателя):

$$M_{рост1} = M_{TK} + M_{TP} = 107,91 + 34,3963 = 142,3063 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Суммарный статический момент при движении с одной заготовкой:

$$M_{рост2} = M_{TK} + M_{TP} + M_{TC}^P = 142,3063 + 1876,1625 = 2018,4688 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Суммарный статический момент при движении с заготовками в печи:

$$M_{рост3} = M_{TK} + M_{TP} + M_{TC}^B = 142,3063 + 4377,7125 = 4520,0188 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для определения динамических моментов рабочей машины рассчитываются моменты инерции рабочей машины (рабочего органа):

$$J_{po} = J + (m) \cdot \frac{D^2}{4}; \quad (4.8)$$

где J – моменты инерции вращающихся элементов рабочей машины;

m – Масса поступательно движущихся частей;

D – Диаметр реечной шестерни.

При движении с одной заготовкой:

$$\begin{aligned} J_{po}^P &= J + (m) \cdot \frac{D^2}{4} = (J_p + J_{ш}) + (m + m_3) \cdot \frac{D^2}{4} = \\ &= (100 + 0,4) + (5500 + 2000) \cdot \frac{0,3^2}{4} = 269,15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \end{aligned}$$

При движении без заготовки:

$$J_{po}^B = (J_p + J_{ш}) + m \cdot \frac{D^2}{4} = m \cdot \frac{D^2}{4} = 100,4 + 5500 \cdot \frac{0,3^2}{4} = 224,15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При движении с заготовками внутри печи:

$$J_{po}^B = (J_p + J_{ш}) + m \cdot \frac{D^2}{4} = 100,4 + (5500 + 6 \cdot 2000) \cdot \frac{0,3^2}{4} = 494,15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При заданной величине допустимого ускорения $a_{доп}$ для каждого режима рабочей машины определяются динамические моменты:

$$M_{родин} = J_{po} \cdot \frac{2 \cdot a_{доп}}{D}; \quad (4.9)$$

При движении с одной заготовкой:

$$M_{родин}^P = J_{po}^P \cdot \frac{2 \cdot a_{доп}}{D} = 269,15 \cdot \frac{2 \cdot 1}{0,3} = 1794,333 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

При разгоне и торможении без груза:

$$M_{родин}^B = J_{po}^B \cdot \frac{2 \cdot a_{доп}}{D} = 224,15 \cdot \frac{2 \cdot 1}{0,3} = 1494,333 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

При торможении с заготовками внутри печи:

$$M_{родин}^B = J_{po}^B \cdot \frac{2 \cdot a_{доп}}{D} = 494,15 \cdot \frac{2 \cdot 1}{0,3} = 3294,333 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Полный момент рабочей машины находится по формуле:

$$M_{po} = M_{рост} + M_{родин}; \quad (4.10)$$

Первый участок – старт толкателя:

$$M_{po}^1 = M_{рост1} + M_{родин}^B = 142,3063 + 1494,333 = 1636,6393 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Второй участок: толкатель подходит к заготовке:

$$M_{po}^2 = M_{рост1} = 142,3063 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Третий участок – равномерное движение толкателя с одной заготовкой:

$$M_{po}^3 = M_{рост2} = 2018,4688 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Четвертый участок – движение толкателя с заготовками в печи:

$$M_{po}^4 = M_{рост3} = 4520,0188 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Пятый участок- торможение с заготовками в печи:

$$M_{po}^5 = M_{рост3} - M_{родин}^P = 4520,0188 - 3294,333 = 1225,6858 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Шестой участок – начало обратного движения:

$$M_{po}^6 = -M_{рост1} - M_{родин}^B = -142,3063 - 1494,333 = -1636,6393 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

									Лист
									31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ				

Седьмой участок – равномерное обратное движение:

$$M_{po}^7 = -M_{рост1} = -142,3063 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Восьмой участок – торможение толкателя:

$$M_{po}^8 = -M_{рост1} + M_{родин}^B = -142,3063 + 1494,333 = 1352,0267 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Рассчитаем среднеквадратическое значение момента :

$$M_{сркв} = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^m M_K^2 \cdot t_K}{\sum_{K=1}^m t_K}}; \quad (4.10)$$

где M_K – момент двигателя на k-м участке, Н•м;

t_K – длительность k-го участка ,с .

Подставив числовые значения, получим:

$$M_{сркв} = \sqrt{\frac{1637^2 \cdot 0,3 + 142^2 \cdot 0,85 + 2018^2 \cdot 26,7 + 4520^2 \cdot 0,85 + 1226^2 \cdot 0,3 + (-1637)^2 \cdot 0,45 + (-142)^2 \cdot 18,7 + 1352^2 \cdot 0,45}{48,53}} = 1635 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Мощность двигателя может быть определена по формуле:

$$P_{дв} = k_1 \cdot M_{сркв} \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{факт}}{ПВ_{кат}}}; \quad (4.11)$$

где $k_1 = 1,4$ – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, обусловленные вращающимися элементами электродвигателя (двигатель, редуктор), а также потери мощности в редукторе;

v_0 – Основная скорость движения РО, м/с;

D – Диаметр шестерни выходного вала редуктора, м;

$ПВ_{факт}$ – фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого электродвигателя;

$ПВ_{кат}$ – ближайшее к $ПВ_{ф}$ каталожное значение относительной продолжительности включения для электродвигателя выбранной серии.

Фактическое значение относительной продолжительности включения $ПВ_{факт}$ рассчитываем, зная длительность работы t_k на всех участках движения и заданное время цикла:

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{z}; \quad (4.12)$$

где z – число циклов работы машины в час.

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{z} = \frac{3600}{50} = 72 \text{ с};$$

$$\text{ПВ}_{\text{факт}} = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \cdot \sum_{k=1}^m t_k = \frac{1}{72} \cdot (48,52781) = 67,4\%.$$

Для повторно-кратковременного режима работы следует выбирать двигатели специальных серий, предназначенных для этого режима. Выберем электродвигатель с номинальными данными при $\text{ПВ}_{\text{кат}}=60\%$. Тогда мощность двигателя:

$$P_{\text{ДВ}} = 1,4 \cdot 1634,8 \cdot \frac{2 \cdot 0,3}{0,3} \cdot \sqrt{\frac{0,674}{0,6}} = 4,85 \text{ кВт}.$$

4.2 Предварительный выбор электродвигателя

Для рассчитанного значения мощности выбираем двигатель постоянного тока независимого возбуждения типа *ЛАК 2112 МА 241-АВ*.

Основные технические характеристики приведены в таблице 4.1.

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Таблица 4.1 – Основные технические характеристики двигателя типа
LAK 2112 MA 241-AB

Наименование	Обозначение	Единицы измерения	Величина
Мощность	P_H	кВт	6
Частота вращения	n	об/мин	990
Ток якоря	$I_Я$	А	27,2
Напряжение	$U_Я$	В	220
Сопротивление обмотки якоря	$R_Я$	Ом	7,78
Индуктивность обмотки якоря	$L_Я$	мГн	88
Момент инерции якоря	$J_Д$	кгм ²	0,03
КПД	η	%	50,3
Ток возбуждения	I_B	А	1,2

Частота вращения двигателя:

$$\omega_H = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_H}{60}; \quad (4.13)$$

$$\omega_H = \frac{2 \cdot \pi \cdot 645}{60} = 67,51 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right).$$

Величина произведения номинального потока возбуждения на конструктивный коэффициент:

$$k\Phi_H = \frac{U_H - I_H \cdot r_Я}{\omega_H}; \quad (4.14)$$

$$k\Phi_H = \frac{220 - 13,5 \cdot 7,78}{67,51} = 1,7 \text{ (В} \cdot \text{с)}.$$

Номинальный момент на валу электродвигателя:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}; \quad (4.15)$$

$$M_H = \frac{2000}{67,51} = 29,62 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

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

Скорость идеального холостого хода электродвигателя:

$$\omega_{0н} = \frac{U_H}{k\Phi_H} ;$$
$$\omega_{0н} = \frac{220}{1,7} = 129,4 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right). \quad (4.16)$$

4.3 Определение передаточного числа и предварительный выбор редуктора

Передаточное число редуктора определяется по номинальной скорости вращения выбранного двигателя и основной скорости движения исполнительного органа по формуле :

$$i_p = \frac{\omega_H \cdot D}{2 \cdot v_O} ; \quad (4.17)$$

где D – диаметр колеса, находящегося на выходном валу редуктора и преобразующего вращение вала в поступательное движение исполнительного органа рабочей машины, м;

v_O – основная скорость движения исполнительного органа.

В соответствии с формулой (4.17):

$$i_p = \frac{2 \cdot \pi \cdot 990 \cdot 0,3}{60 \cdot 2 \cdot 0,3} = 51,836.$$

Выберем редуктор, исходя из того, что передаточное число должно быть равным или несколько меньшим рассчитанного, при этом должны быть учтены условия работы механизма, номинальная мощность и скорость двигателя.

Выберем редуктор 1ЦЗУ-200 с характеристиками, представленными в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Характеристики редуктора 1ЦЗУ-200. Редуктор выбираем по передаточному числу

Тип редуктора	Передаточное число	Габаритные размеры	КПД	Масса, кг	Номинальный крутящий момент, Нм
1ЦЗУ-200	50	557·206·345	0,96	190	2500

4.4 Приведение статических моментов к валу двигателя

После выбора двигателя и редуктора рассчитаем статические моменты рабочей машины, приведенные к валу двигателя, по формуле:

$$M_{pc} = \frac{M_{рост}}{j_p} ; \quad (4.18)$$

где $M_{рост}$ – статический момент рабочего органа;

j_p – передаточное число редуктора.

При движении толкателя к заготовке (при реверсировании толкателя):

$$M_{pc}^p = \frac{M_{рост}^p}{j_p} = \frac{142,3063}{50} = 2,8461 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

При движении с одной заготовкой:

$$M_{pc}^B = \frac{M_{рост}^B}{j_p} = \frac{2018,4688}{50} = 40,3694 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

При движении с заготовками в печи:

$$M_{pc}^p = \frac{M_{рост}^p}{j_p} = \frac{4520,0188}{50} = 90,4 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

С учетом потерь в редукторе статический момент на валу в двигательном режиме рассчитывается по формуле:

$$M_{вс} = \frac{M_{pc}}{\eta_p} ; \quad (4.19)$$

При движении толкателя к заготовке в двигательном режиме:

$$M_{всд}^p = \frac{M_{pc}^p}{\eta_p} = \frac{2,8461}{0,96} = 2,9647 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

При движении с одной заготовкой в двигательном режиме:

$$M_{всд}^B = \frac{M_{pc}^B}{\eta_p} = \frac{40,3694}{0,96} = 42,051 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

При движении с заготовками в печи в двигательном режиме:

$$M_{всд}^B = \frac{M_{pc}^B}{\eta_p} = \frac{90,4}{0,96} = 94,167 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

При работе электропривода в тормозных режимах моменты на валу двигателя определяют по формуле:

$$M_{\text{вст}} = M_{\text{рс}} \cdot \eta_p ; \quad (4.20)$$

При движении с заготовками в печи в тормозном режиме:

$$M_{\text{вст}}^p = M_{\text{рс}}^p \cdot \eta_p = 90,4 \cdot 0,96 = 86,784 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

При реверсировании толкателя в тормозном режиме:

$$M_{\text{вст}}^B = M_{\text{рс}}^B \cdot \eta_p = 2,8461 \cdot 0,96 = 2,7323 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Приведенные статические моменты системы электропривод – рабочая машина рассчитывают для каждого участка с учетом режима работы электропривода по формуле:

$$M_c = M_{\text{вс}} + \Delta M_X ; \quad (4.21)$$

где ΔM_X – момент потерь холостого хода двигателя.

$$M_X = 0,05 \cdot M_H ; \quad (4.22)$$

где M_H – номинальный момент двигателя рассчитываем по формуле:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{6000}{103,672} = 57,875 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$M_X = 57,875 \cdot 0,05 = 2,894 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

При движении толкателя к заготовке в двигательном режиме:

$$M_{\text{сд}}^p = M_{\text{всд}}^p + \Delta M_X = 2,9647 + 2,894 = 5,8587 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

При движении с одной заготовкой в двигательном режиме:

$$M_{\text{сд}}^B = M_{\text{всд}}^B + \Delta M_X = 42,051 + 2,894 = 42,945 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

При движении с заготовками в печи в двигательном режиме:

$$M_{\text{сд}}^p = M_{\text{всд}}^B + \Delta M_X = 94,167 + 2,894 = 97,061 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

При движении с заготовками в печи в тормозном режиме:

$$M_{\text{ст}}^p = M_{\text{вст}}^p - \Delta M_X = 86,784 - 2,894 = 83,89 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

При реверсировании толкателя в тормозном режиме:

$$M_{\text{ст}}^B = M_{\text{вст}}^B - \Delta M_X = 2,7323 - 2,894 = -0,1617 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

4.5 Приведение моментов инерции к валу двигателя

Необходимо привести моменты инерции всей системы к валу двигателя для того чтобы заменить систему на эквивалентную.

Суммарный приведенный момент инерции:

$$J = \delta \cdot J_d + J_{пр}; \quad (4.23)$$

где $J_{пр}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции поступательно и вращательно движущихся частей системы, кг·м²;

J_d – момент инерции ротора выбранного двигателя, кг·м²;

$\delta = 1,3 \div 1,5$ – коэффициент, учитывающий момент инерции остальных моментов электропривода: тормозного шкива, муфт, редуктора, и т.д.

Приведенный момент инерции рабочей машины к валу двигателя:

$$J_{пр} = \frac{J_{р0}}{j_p^2}; \quad (4.24)$$

Установившуюся скорость двигателя находим по формуле:

$$\omega_c = \frac{2 \cdot V}{D} \cdot j_p; \quad (4.25)$$

При движении с грузом:

$$\omega_c^p = \frac{2 \cdot 0,3}{0,3} \cdot 50 = 100 \text{ с}^{-1};$$

При движении без груза:

$$\omega_c^e = \frac{2 \cdot 0,45}{0,3} \cdot 50 = 150 \text{ с}^{-1};$$

Приведенный момент инерции при подходе к заготовке:

$$J_{пр} = \frac{224,15}{50^2} = 0,08966 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

Приведенный момент инерции при движении с одной заготовкой:

$$J_{пр} = \frac{269,15}{50^2} = 0,10766 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

Приведенный момент инерции при движении в печи:

$$J_{\text{пр}} = \frac{494,15}{50^2} = 0,19766 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 ;$$

Момент инерции при подходе к заготовке :

$$J^{\text{п}} = 1,4 \cdot 0,076 + 0,08966 = 0,196 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 ;$$

Момент инерции при движении с одной заготовкой:

$$J^{\text{п}} = 1,4 \cdot 0,076 + 0,10766 = 0,214 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 ;$$

Момент инерции при движении в печи:

$$J^{\text{в}} = 1,4 \cdot 0,076 + 0,19766 = 0,304 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Для каждого участка проведены расчеты, и все значения занесены в таблицу 4.3.

Рассчитаем пусковые и тормозные моменты двигателя, которые требуются для разгона и торможения привода.

Пусковой момент:

$$M_{\text{п}} = M_{\text{с}} + M_{\text{дин}} ; \quad (4.26)$$

где $M_{\text{с}}$ – статический момент сопротивления движению, Н·м;

$M_{\text{дин}}$ – динамический момент, Н·м.

Динамический момент рассчитываем по формуле

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_{\text{п}}}{D} ; \quad (4.27)$$

где a – допустимое ускорение при пуске и торможении, $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;

D – диаметр шестерни, преобразующей вращение в поступательное движение, м;

J – Приведенный момент инерции привода, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Динамический момент

При подходе к заготовке:

$$M_{\text{дин}}^{\text{п}} = J^{\text{п}} \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_{\text{п}}}{D} = 0,196 \cdot \frac{2 \cdot 1 \cdot 50}{0,3} = 65,3333 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

При движении с одной заготовкой:

$$M_{\text{дин}}^{\text{В}} = J^{\text{P}} \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_{\text{p}}}{D} 0,214 \cdot \frac{2 \cdot 1 \cdot 50}{0,3} = 71,3333 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

При движении в печи:

$$M_{\text{дин}}^{\text{В}} = J^{\text{В}} \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_{\text{p}}}{D} = 0,304 \cdot \frac{2 \cdot 1 \cdot 50}{0,3} = 101,3333 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Пусковой момент:

При начале движения вперед:

$$M_n^{\text{P}} = M_{\text{сд}}^{\text{P}} + M_{\text{дин}}^{\text{P}} = 5,8587 + 65,3333 = 71,192 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

При начале движения назад:

$$M_n^{\text{P}} = -M_{\text{сд}}^{\text{P}} - M_{\text{дин}}^{\text{P}} = -5,8587 - 65,3333 = -71,192 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тормозной момент:

$$|M_{\text{T}}| = |M_{\text{дин}}| - M_{\text{с}};$$

Торможение с грузом в печи:

$$|M_{\text{T}}^{\text{P}}| = |M_{\text{дин}}^{\text{P}}| - M_{\text{ст}}^{\text{P}} = 101,3333 - 83,89 = 17,4433 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Торможение без груза при реверсе:

$$|M_{\text{T}}^{\text{В}}| = |M_{\text{дин}}^{\text{В}}| - M_{\text{ст}}^{\text{В}} = 65,3333 + 0,1617 = 65,495 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Приведем крутильную жесткость рабочего вала к валу двигателя:

$$C_{\text{пр}} = \frac{C_{\text{к}}}{j_{\text{p}}^2} = \frac{50000000}{50^2} = 20000 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}.$$

4.6 Предварительная проверка двигателя

Целями предварительной проверки является уточнение нагрузочных диаграмм момента и скорости двигателя с учетом момента инерции предварительно выбранного двигателя.

Рассчитаем время переходных процессов по формуле:

$$t_i = J^{\text{P}} \cdot \frac{\omega_{\text{с}}}{M_{\text{ср}} - M_{\text{с}}}; \quad (4.28)$$

где J – суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ω_c – установившаяся скорость двигателя, c^{-1} ;

M_{cp} – средний момент двигателя, Нм;

M_c – приведенный статический момент, Нм.

Первый участок – разгон толкателя и подход к заготовке:

$$t_1 = J^p \cdot \frac{\omega_c^p}{M_{cp}^p - M_{cd}^p} = 0,196 \cdot \frac{100}{71,192 - 5,8587} = 0,3 \text{ с};$$

Третий участок – торможение в печи:

$$t_3 = J^p \cdot \frac{\omega_c^p}{M_{cрт}^p - M_{ст}^p} = 0,304 \cdot \frac{100}{17,4433 + 83,89} = 0,3 \text{ с};$$

Пятый участок – разгон в обратном направлении:

$$t_5 = J^B \cdot \frac{\omega_c^B}{M_{cp}^B - M_{cd}^B} = 0,196 \cdot \frac{150}{71,192 - 5,8587} = 0,45 \text{ с};$$

Седьмой участок – торможение:

$$t_7 = J^B \cdot \frac{\omega_c^B}{M_{cрт}^B - M_{ст}^B} = 0,196 \cdot \frac{150}{65,495 - 0,1617} = 0,45 \text{ с}.$$

Рассчитаем угол поворота вала двигателя за время переходного процесса:

$$\alpha_i = \frac{\omega_c \cdot t_i}{2}; \quad (4.29)$$

Первый участок:

$$\alpha_1 = \frac{\omega_c^p \cdot t_1}{2} = \frac{100 \cdot 0,3}{2} = 15 \text{ рад};$$

Третий участок:

$$\alpha_3 = \frac{\omega_c^p \cdot t_3}{2} = \frac{100 \cdot 0,3}{2} = 15 \text{ рад};$$

Пятый участок:

$$\alpha_5 = \frac{\omega_c^B \cdot t_5}{2} = \frac{150 \cdot 0,45}{2} = 33,75 \text{ рад};$$

Седьмой участок:

$$\alpha_7 = \frac{\omega_c^B \cdot t_7}{2} = \frac{150 \cdot 0,45}{2} = 33,75 \text{ рад}.$$

Время работы с установившейся скоростью рассчитаем по формуле:

$$t_y = \frac{\alpha - (\alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{т}})}{\omega_c} ; \quad (4.30)$$

где α – угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме, рад;

$\alpha_{\text{п}}, \alpha_{\text{т}}$ – угол поворота вала за время пуска и торможения соответственно, рад.

Рассчитаем угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме:

$$\alpha = \frac{2 \cdot L \cdot j_p}{D} = \frac{2 \cdot (8 + 0,3 + 0,3) \cdot 50}{0,3} = 2866,6667 \text{ рад} ;$$

Тогда время работы с установившейся скоростью при движении с грузом:

$$t_2 = \frac{\alpha - (\alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{т}})}{\omega_c^p} = \frac{2866,6667 - (15 + 15)}{100} = 28,3667 \text{ с} ;$$

при движении без груза:

$$t_6 = \frac{\alpha - (\alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{т}})}{\omega_c^b} = \frac{2866,6667 - (33,75 + 33,75)}{150} = 18,66111 \text{ с} .$$

Рассчитаем общее время работы:

$$t_{\phi} = t_1 + t_2 + t_3 + t_5 + t_6 + t_7 ;$$

$$t_{\phi} = 0,3 + 28,3667 + 0,3 + 0,45 + 18,66111 + 0,45 = 48,52781 \text{ с} .$$

Полученное время меньше заданного времени работы t_p в исходных данных, проверка двигателя по производительности выполнена.

Проведем предварительную проверку двигателя по нагреву по величине среднеквадратичного момента:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \leq M_{\text{доп}} ; \quad (4.31)$$

где $M_{\text{доп}} = M_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{кат}}}{ПВ_{\phi}}}$.

$$M_{\text{ср кв}} = \sqrt{\frac{71,192^2 \cdot 0,3 + 5,8587^2 \cdot 0,85 + 42,945^2 \cdot 26,667 + 97,061^2 \cdot 0,85 + 17,4433^2 \cdot 0,3 + 71,192^2 \cdot 0,45 + 5,8587^2 \cdot 18,661 + 65,495^2 \cdot 0,45}{48,52781}} = 36,2 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Фактическое значение ПВ:

$$\text{ПВ}_\phi = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\%; \quad (4.32)$$

$$\text{ПВ}_\phi = \frac{48,52781}{72} \cdot 100\% = 67,4\% .$$

Определим момент двигателя при $\text{ПВ}_{\text{кат}}$, ближайшем к ПВ_ϕ :

$$M_{\text{кат}} = \frac{P_{\text{кат}}}{\omega_{\text{кат}}}; \quad (4.33)$$

$$M_{\text{кат}} = \frac{6000}{\frac{2 \cdot \pi \cdot 990}{60}} = 57,874 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Допустимый момент:

$$M_{\text{доп}} = 57,874 \cdot \sqrt{\frac{60}{67,3997}} = 54,6 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$36,2252 < 54,6 .$$

Выбранный двигатель проходит по нагреву.

Таблица 4.4 – Результаты предварительного расчета нагрузочных диаграмм

Участок	С грузом					Без груза		
	Пуск	Уст. 1	Уст.2	Уст. 3	Торм.	Пуск	Уст.	Торм.
t, c	0,3	0,85	26,67	0,85	0,3	0,45	18,66	0,45
$L, м$	0,045	0,255	8	0,255	0,045	0,10	8,4	0,10
$V, м/с$	-	0,3	0,3	0,3	-	-	0,45	-
$M_{рост}, Н·м$	142,31	142,31	2018,5	4520,0	4520,02	-142,31		
$J_{рост}, кг·м^2$	224,15	224,15	269,15	494,15	494,15	224,15		
$M_{родин}, Н·м$	1494,3	-	-	-	3294,33	1494,3	-	1494,3
$M_{ро}, Н·м$	1636,6	142,3	2018,5	4520,0	1225,69	1636,6	-142	1352
$M_{рс}, Н·м$	2,85	2,85	40,37	90,4	90,4	2,85		
$M_{вс}, Н·м$	2,9647	2,9647	42,051	94,167	86,784	2,96	2,96	2,73
$M_c, Н·м$	5,86	5,86	42,95	97,06	83,89	5,86	5,86	-0,16
$\omega_c, рад/с$	100					150		
$J_{пр}, кг·м^2$	0,09	0,09	0,11	0,2	0,2	0,09		
$J, кг·м^2$	0,196	0,196	0,214	0,304	0,304	0,196		
$M_{доп.уск}, Н·м$	71,192	5,86	42,95	97,06	17,44	71,192	5,8587	65,5
t, c	0,3	28,37			0,3	0,45	18,66	0,45
$\alpha, рад$	15	2866,67			15	40,5	2815,6	40,5

5 ВЫБОР И ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОМ

5.1 Выбор преобразователя

Вентильный (тиристорный) преобразователь в комплектном электроприводе выбирается с учетом номинальных тока и напряжения электродвигателя:

$$I_{\text{ТПН}} > I_{\text{ДН}};$$

$$U_{\text{ТПН}} > U_{\text{ДН}}.$$

Номинальное напряжение двигателя должно быть меньше номинального напряжения комплектного привода на 5 - 10 %, что обеспечивает запас на регулирование скорости и на безопасное инвертирование при снижении напряжения питающей сети. Выбор комплектного тиристорного электропривода производим по току, напряжению.

Также необходимо удостовериться, что максимальный ток упора электродвигателя, указанный в таблице вариантов не превышает ток тиристорного преобразователя.

По справочнику выбираем преобразователь *Mentor* типа *MP45A5*, технические характеристики которого приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Технические характеристики тиристорного преобразователя *Mentor*

Модель	$U_d, \text{В}$	$I_d, \text{А}$	$U_{\text{вх}}, \text{В}$	Масса	$I_b, \text{А}$
<i>MP45A5</i>	240	45	230	16	8

5.2 Выбор и расчет параметров силового оборудования

Выбору и проверке подлежат следующие элементы силового оборудования: трансформатор питания тиристорного преобразователя, сглаживающий дроссель в цепи якоря, автоматический выключатель на входе системы (перед

первичной обмоткой трансформатора) и контактор для оперативных переключений перед вторичной обмоткой трансформатора.

Выбор и расчет параметров силового оборудования осуществляется на основании уже выбранных электродвигателя и тиристорного преобразователя.

Первым элементом, подлежащим выбору, является силовой трансформатор. Силовой трансформатор предназначен для осуществления гальванической развязки электропривода от сети, а также для согласования напряжения питания преобразователя с сетью. Существует специализированная линейка трансформаторов, предназначенная для питания полупроводниковых преобразователей – ТСП.

$$U_{2min} = U_{ян} \cdot \frac{k_R}{k_U \cdot (1 - \Delta U_c)}; \quad (5.1)$$

где k_R – коэффициент, учитывающий падение напряжения за счет коммутации тиристоров, на активных сопротивлениях трансформатора, вентилей, сглаживающего реактора (предварительно $k_R = 1,05$);

k_U – коэффициент схемы выпрямления (для трехфазной мостовой схемы $k_U = 2,34$);

Отсюда, линейное напряжение вентильной (вторичной) обмотки трансформатора:

$$U_{2min} = 220 \cdot \frac{1,05}{2,34 \cdot (1 - 0,05)} = 104,05 \text{ В.}$$

Пользуясь полученными расчетными данными по справочникам или каталогам выбирают силовой трансформатор при $S_{тр} > P_{ТП}$, $U_2 > U_{2min}$.

По справочнику выбираем силовой трансформатор типа ТСП – 16/0,7 – В мощностью 18 кВА, технические характеристики которого приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Технические характеристики трансформатора

Тип трансформатора	U_1 , В	P , кВА	U_2 , В	I_2 , А	ΔP_{XX} , Вт	ΔP_{K3} , Вт	U_K , %	I_X , %
ТСП – 16/0,7 – В	380	18	202	47	125	550	4,5	5,2

Для учета влияния параметров обмоток трансформатора на основные элементы силовой цепи производится расчет активного, полного и индуктивного сопротивления трансформатора.

Сопротивления обмоток трансформатора:

Активное:

$$r_{TP} = \frac{P_{K3}}{3 \cdot I_{2H}^2} ; \quad (5.2)$$

$$r_{TP} = \frac{2400}{3 \cdot 408^2} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ (Ом)}.$$

Полное:

$$z_{TP} = \frac{U_K \cdot U_{2H}}{I_{2H} \cdot 100} ; \quad (5.3)$$

$$z_{TP} = \frac{4.5 \cdot 202}{408 \cdot 100} = 0.022 \text{ (Ом)}.$$

Индуктивное:

$$x_{TP} = \sqrt{z_{TP}^2 - r_{TP}^2} ; \quad (5.4)$$

$$x_{TP} = \sqrt{(0.022)^2 - (4 \cdot 10^{-3})^2} = 0.021 \text{ Ом}.$$

Индуктивность трансформатора:

$$L_{TP} = \frac{x_{TP}}{2 \cdot \pi \cdot f} ; \quad (5.5)$$

$$L_{TP} = \frac{0.021}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 6,68 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}.$$

Полная индуктивность якорной цепи:

$$L_{ЯЦ} = L_{ЯД} + 2L_{TP} ; \quad (5.6)$$

$$88 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 6,68 \cdot 10^{-5} = 88,13 \text{ (мГн)}.$$

Полное сопротивление якорной цепи:

$$R_{ЯЦ} = R_{Я} + 2r_{ТР} + R_{Э}; \quad (5.7)$$

где $R_{Э}$ – фиктивное значение сопротивления, учитывающее снижение выпрямленной ЭДС за счет коммутационных провалов, Ом.

$$R_{Э} = \frac{m \cdot x_{ТР}}{2\pi} = \frac{6 \cdot 0.021}{2\pi} = 0.02 \text{ (Ом)}.$$

где m – пульсность схемы (в трёхфазной мостовой схеме $m = 6$).

Тогда получим:

$$R_{ЯЦ} = R_{Я} + 2r_{ТР} + R_{Э} = 7,78 + 2 \cdot 4 \cdot 10^{-3} + 0.02 = 7,808 \text{ Ом}.$$

Условие обеспечения заданного напряжения:

$$E_{d0} > E_{Д} + \Delta U_1 + I_{МАХ} \cdot R_{ЯЦ};$$

где E_{d0} – ЭДС идеально холостого хода преобразователя, В;

$E_{Д}$ – ЭДС двигателя при максимальной скорости, В;

ΔU_1 – снижение напряжения преобразователя, вызванное колебаниями напряжения сети;

$I_{МАХ}$ – максимальный рабочий ток нагрузки, А.

$$\Delta U_1 = E_{d0} \cdot \frac{\Delta U_c}{U_c}; \quad (5.8)$$

$$\Delta U_1 = 492,73 \cdot 0,05 = 24,63 \text{ (В)}.$$

ЭДС двигателя при максимальной скорости:

$$E_{Д} = k\Phi_{Н} \cdot \omega_{ОН}; \quad (5.9)$$

$$E_{Д} = 1,7 \cdot 129,4 = 220 \text{ (В)}.$$

Максимальный рабочий ток нагрузки:

$$I_{max} = \frac{M_C}{M_H} \cdot I_{ЯН}; \quad (5.10)$$

$$I_{max} = 1,5 \cdot 13,5 = 20,25 \text{ (А)}.$$

ЭДС идеально холостого хода преобразователя:

$$E_{d0} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} * U_{2Л} \cdot \sin(\frac{\pi}{6})}{\frac{\pi}{6}}; \quad (5.11)$$

$$E_{до} = \frac{1,41 * 1,73 * 202 * 0,5}{0,5} = 492,73 \text{ (В)}.$$

Тогда получим

$$492,73 > (220 + 24,63 + 20,25 \cdot 7,8) \text{ В};$$

$$492,73 \text{ В} > 402,58 \text{ В}.$$

Требуемая индуктивность якорной цепи определяется из соотношения:

$$L_{тр} > \frac{k \cdot U_H}{I_H} = \frac{1,5 \cdot 220}{13,5} = 24,4 \text{ (мГн)}.$$

где k – эмпирический коэффициент, при токах от 10 до 2500 А равный 1,5.

$$L_{яц} = L_{яд} + 2L_{тр} = 88 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 6,68 \cdot 10^{-5} = 88,13 \text{ (мГн)}.$$

При расчетах выше $L_{яц} > 24,4$ (мГн) ($88,13 > 24,4$), следовательно, сглаживающий дроссель выбирать нет необходимости.

Автоматический выключатель устанавливается на входе системы между первичными обмотками трансформатора и сетью. Выбор автоматического выключателя производится по нескольким критериям. Напряжение автоматического выключателя должно быть равным или большим номинальному напряжению сети.

Второй параметр, определяющий тип автоматического выключателя – это максимальный рабочий ток. Выбор автоматических выключателей по максимальному рабочему току заключается в том, чтобы номинальный ток автомата (номинальный ток расцепителя) был больше или равен максимальному рабочему току, который может длительно проходить по защищаемому участку цепи с учетом возможных перегрузок. Принимая во внимание, что трансформатор является наивысшим по мощности прибором, выбор автоматического выключателя можно осуществить по следующему критерию:

$$I_{ав} > I_{1тр}$$

Выбрали по приведенным условиям автоматический выключатель фирмы *Schneider Electric*. Каталожные данные занесены в таблицу 5.3.

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 5.3 – Данные автоматического выключателя.

Модель	$U, В$	$I_H, А$
<i>Easy 9 - EZ9F14332</i>	400	32

Контактор на вторичной обмотке трансформатора предназначен для оперативного включения выключения установки в работу и защиты от пропадания напряжения. Контактор выбирается из условий, что его напряжения должно быть больше или равно напряжению вторичной обмотки трансформатора, а его ток должен быть немного больше, чем номинальный ток вторичной обмотки.

Из приведенных условий выбираем контактор фирмы *Schneider Electric*. Каталожные данные занесены в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 – Данные контактора.

Модель	$U, В$	$I_H, А$
<i>TeSys F – LC1F4002M7</i>	220	500

После выбора основных элементов силовой схемы необходимо произвести расчет некоторых постоянных времени и коэффициентов для дальнейшего построения структурной схемы электропривода.

Посчитаем механическую постоянную времени T_d двигателя:

$$T_d = (J_d + J_M) \cdot \frac{\omega_H}{M_H} = (0,03 + 0,2 \cdot 0,03) \cdot \frac{67,51}{29,1} = 0,083 \text{ (с)}.$$

Электромагнитная постоянная времени силовой цепи:

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}}; \quad (5.12)$$

$$T_{яц} = \frac{88,13 \cdot 10^{-3}}{7,808} = 0,011 \text{ (с)}.$$

Кратность тока короткого замыкания:

$$K_{яц} = \frac{U_H}{I_H \cdot R_{яц}}; \quad (5.13)$$

$$K_{яц} = \frac{220}{13,5 * 7,808} = 2,087.$$

5.3 Выбор датчика скорости

В двухконтурной системе подчиненного регулирования наиболее широко представлены обратные связи по току якоря и скорости. Данная конфигурация обратных связей рассматривается и в данном квалификационном проекте.

В рассматриваемых тиристорных преобразователях датчики тока якоря установлены непосредственно в преобразователе и конфигурирование обратной связи по току не представляет сложности. Датчик скорости не входит в состав тиристорного преобразователя и приобретается отдельно.

Тахогенератор представляет собой малогабаритный электродвигатель постоянного тока, имеющий линейную зависимость $E_d = f(\omega)$.

Номинальная скорость вращения тахогенератора должна выбираться больше или равной номинальной скорости вращения электропривода. Но избыточный запас по скорости приводит к уменьшению диапазона регулирования.

По справочнику выбираем тахогенератор ТП 212 – 0,2 – 0,5, данные приведены в таблице 5.5

Таблица 5.5– Данные тахогенератора ТП 212 – 0,133 – 0,5

Тип	$U_n, В$	$n, об/мин$	$B / об/мин$	Возбуждение
ТП212 – 0,2 – 0,5	200	1000	0,2	Постоянные магниты

5.4 Синтез принципиальной электрической схемы

Синтез принципиальной электрической схемы включает в себя два этапа. На первом из них, на основании полученного задания и рекомендованных схем подключения из документации на преобразователи составляется

функциональная электрическая схема и принципиальная электрическая схема проектируемой системы электропривода.

Функциональная схема электропривода приведена на рисунке 5.1.

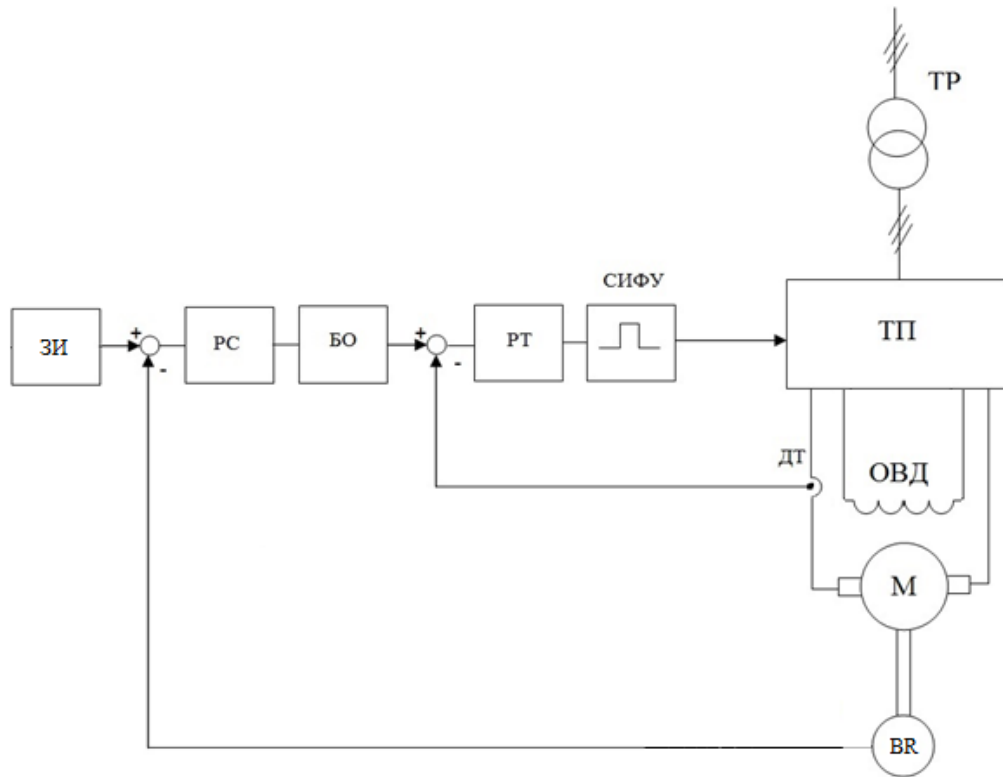


Рисунок 5.1 – Функциональная схема электропривода

5.5 Схема соединения силовых цепей и цепей управления выбранного преобразователя частоты

На рисунке 5.2 представлена электрическая принципиальная схема тиристорного электропривода постоянного тока на базе преобразователя *Mentor MP45A5*.

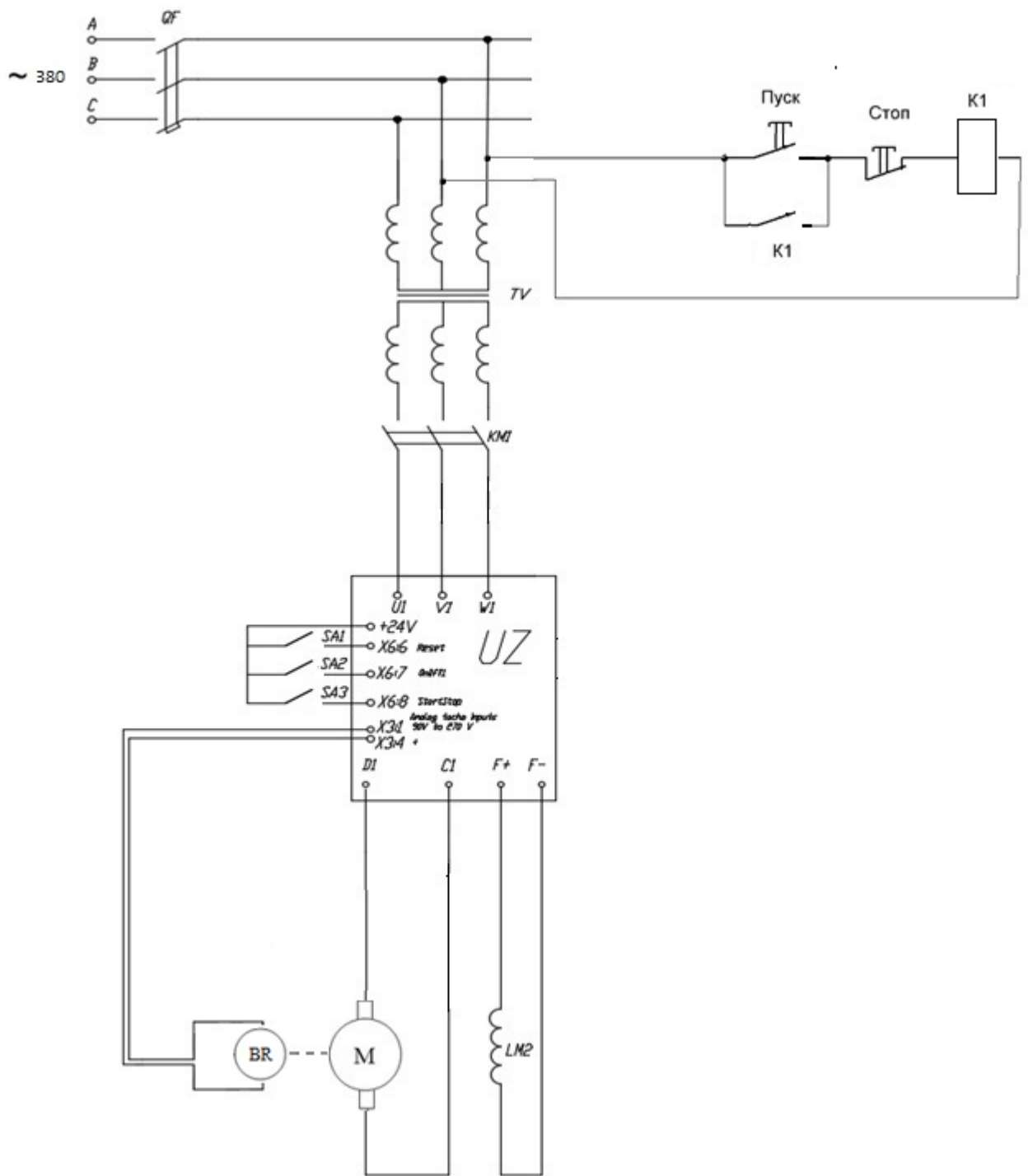


Рисунок 5.2 – Электрическая принципиальная схема электропривода
постоянного тока

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ

Лист

54

5.6 Предусмотренные защиты в преобразователе

На втором этапе, на основании рассчитанных данных силового оборудования и данных технического задания производится расчет основных защит электропривода. Так как в современных тиристорных преобразователях большинство защит выполняется непосредственно внутри преобразователя и регулируется соответствующими параметрами преобразователя, то задача сводится к обзору защит, обрабатываемых преобразователем, определению параметров преобразователя, управляющих защитами и записи в параметры преобразователя значений, соответствующих проектируемой системе электропривода.

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

6 СИНТЕЗ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРОВ

Прежде чем приступать к синтезу регуляторов, необходимо произвести выбор их типа. Традиционным методом определения параметров регуляторов являлись логарифмические амплитудно-частотные характеристики. Однако в настоящее время данный метод является не столь ценным ввиду наличия в системах управления тиристорными преобразователями нелинейных и импульсных систем, составляющих систему управления. Это приводит к сложности учета всех элементов канала регулирования и увеличивает погрешность получаемых результатов.

При настройке контура регулирования тока якоря стремятся к увеличению максимального быстродействия контура для того, чтобы контур обеспечивал защиту от бросков тока при быстром приложении статической нагрузки к валу электродвигателя. Также высокая полоса пропускания контура тока обеспечивает большой диапазон настроек контура регулирования скорости. Все это может обеспечить пропорциональный (П) регулятор тока, однако при этом пропорциональный регулятор может оставлять значительную ошибку регулирования. Наличие подобной ошибки приводит к тому, что на разных скоростях контур тока будет вести себя по-разному и не всегда обеспечит требования технологического процесса в режиме работы на упор. Следовательно, всем требованиям технологии соответствует только пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор тока.

Настройка контура регулирования скорости ограничена по быстродействию несколькими факторами. Во-первых, избыточное быстродействие ведет к увеличению перерегулирования системы, что может привести к нарушению технологического процесса. Во-вторых, сочленение датчика скорости с электродвигателем далеко не идеально и избыточное быстродействие может привести к увеличению влияния оборотных пульсаций на работу системы электропривода.

									Лист
									56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ				

Структурные схемы составлены на основании уравнений звеньев, записанных в относительных единицах, что позволяет значительно упростить запись самих уравнений и последующие расчеты. Структурная схема системы приведена на рисунке 6.1.

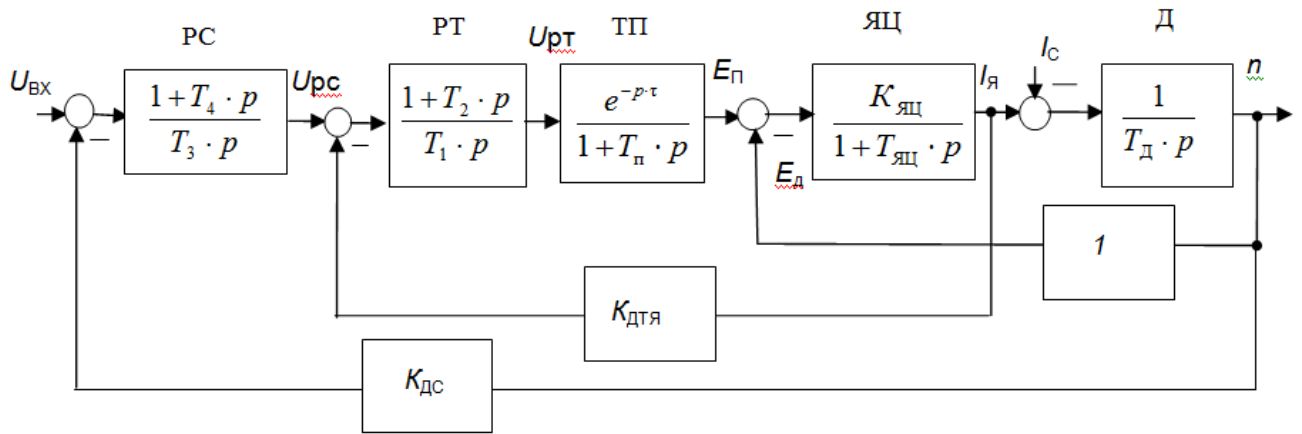


Рисунок 6.1– Структурная схема электропривода

Свойства тиристорного выпрямителя задаются звеном:

$$W(p) = \frac{e^{-p\tau}}{1+T_{\Pi}p} \quad (6.1)$$

где $T_{\Pi} = 0,002$ с – постоянная времени фильтра;

τ – время чистого запаздывания, с.

Время τ определяется по формуле:

$$\tau = \frac{1}{f \cdot m} ; \quad (6.2)$$

$$\tau = \frac{1}{50 \cdot 6} = 0,003 \text{ с.}$$

При частотах $\omega < 1/\tau$ звено чистого запаздывания можно заменить апериодическим звеном:

$$e^{-p\tau} = \frac{1}{1 + \tau p} \quad (6.3)$$

Для упрощения расчетов можно пренебречь перекрестной обратной связью по ЭДС. На практике частота среза ω_T лежит в диапазоне (80...150) рад/с, а ω_{Σ} в диапазоне (20...40) рад/с.

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

Тогда получится структурная схема, представленная на рисунке 6.2.

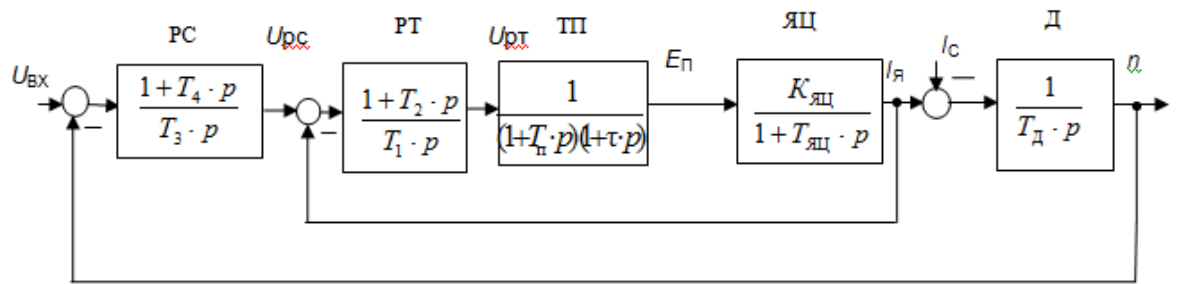


Рисунок 6.2 – Преобразованная структурная схема электропривода

6.1. Контур регулирования тока якоря

Контур тока должен исключить возможность появления статической ошибки в контуре регулирования тока. Поэтому выбираем пропорционально-интегральный тип ПИ регулятора тока якоря электродвигателя.

Передаточная функция регулятора тока имеет следующий вид:

$$W(p) = \frac{1 + T_2 p}{T_1 p}. \quad (6.4)$$

Структурная схема КРТЯ представлена на рисунке 6.3.

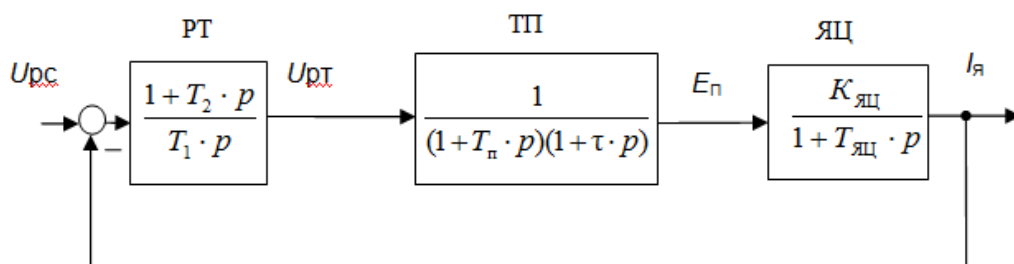


Рисунок 6.3 – Структурная схема КРТЯ

Определим параметры регулятора тока по правилу технического оптимума.

Так как, $T_{яц} > T_{п} > \tau$, то выберем постоянную времени T_2

$$T_2 = T_{МАХ} = T_{яц} = 0,011 \text{ с.}$$

Введем расчетную постоянную времени $T_{РТ}$:

$$T_{PT} = \frac{T_1}{K_{ЯЦ}}; \quad (6.5)$$

Величина расчетной постоянной времени:

$$T_{PT} = (2 \dots 4) \cdot (T_{П} + \tau); \quad (6.6)$$

$$T_{PT} = 3 \cdot (0,002 + 0,003) = 0,015 \text{ с.}$$

Тогда постоянная времени :

$$T_1 = T_{PT} \cdot K_{ЯЦ}; \quad (6.7)$$

$$T_1 = 0,015 \cdot 2,087 = 0,031 \text{ с.}$$

Тогда передаточная функция примет вид:

$$W(p) = \frac{1 + 0,015p}{0,031p} = 0,128 + \frac{1}{0,031p}.$$

Получили:

$$K = 0,128; \text{ Данный параметр задается в } Pr \text{ 4,13.}$$

$$T = 0,031; \text{ Данный параметр задается в } Pr \text{ 4,14.}$$

6.2. Контур регулирования скорости

В ходе настройки контура регулирования скорости необходимо помнить, что нужно обеспечить поддержание заданного значения скорости в независимости от возмущений и поддержание качественных процессов пуска и торможения. Исходя из данных соображений, выберем ПИ регулятор скорости.

Передаточная функция регулятора скорости:

$$W(p) = \frac{1 + T_4 p}{T_3 p} = \frac{1}{T_3 p} + K_{РС}. \quad (6.8)$$

Структурная схема КРС изображена на рисунке 6.4.

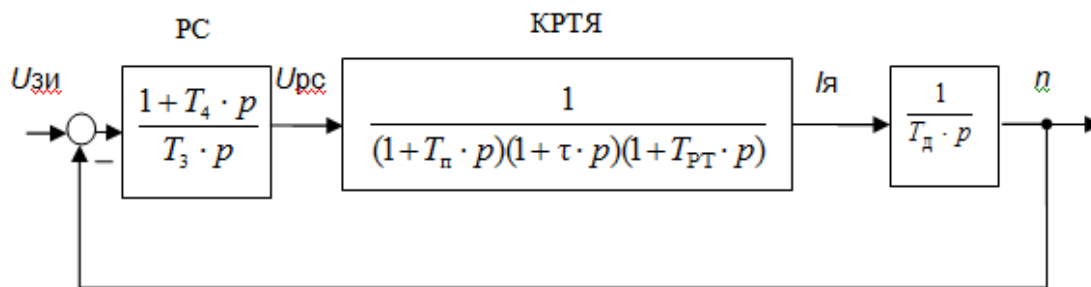


Рисунок 6.4 – Структурная схема КРС

Выбор параметров регулятора скорости производится в 2 этапа. На первом этапе регулятор скорости рассматривается как П – регулятор и определяется величина К, на втором вводим И – канал и делаем проверку на условие устойчивости.

$$T_4 = T_{MAX} = T_d = 0.2 \text{ с;}$$

Постоянную времени T_3 можно получить из соотношения

$$T_3 = \frac{2 \dots 4}{\omega_c}; \quad (6.9)$$

$$T_3 = 0,08 \dots 0,25;$$

$$T_3 = 0,08.$$

Тогда передаточная функция примет вид:

$$W(p) = \frac{1 + 0.2p}{0.08p} = 3,79 + \frac{1}{0.08p};$$

Получили:

$$K = 3,79; \quad T = 0,08.$$

Данные параметры задаются автоматически в Pr 3.16, либо вручную с контролем результата с помощью осциллографа Pr 3.17

6.3 Построение статических характеристик замкнутой системы электропривода

В проекте необходимо построить следующие статические характеристики электропривода:

- электромеханическую $n = f(I_{\text{я}})$;
- внешнюю $U_{\text{я}} = f(I_{\text{я}})$;
- регуляторные $U_{\text{РТ}} = f(M)$, $U_{\text{РС}} = f(M)$;
- механическую $n = f(M)$.

Построение естественной характеристики двигателя будем вести по двум точкам – при работе двигателя на холостом ходу и в номинальном режиме. При работе двигателя на холостом ходу отсутствует воздействие по каналу возмущения, поэтому расчет ведем только по каналу задания. В статическом режиме оператор $p = 0$. Тогда структурная схема имеет вид, представленный на рисунке 6.5.

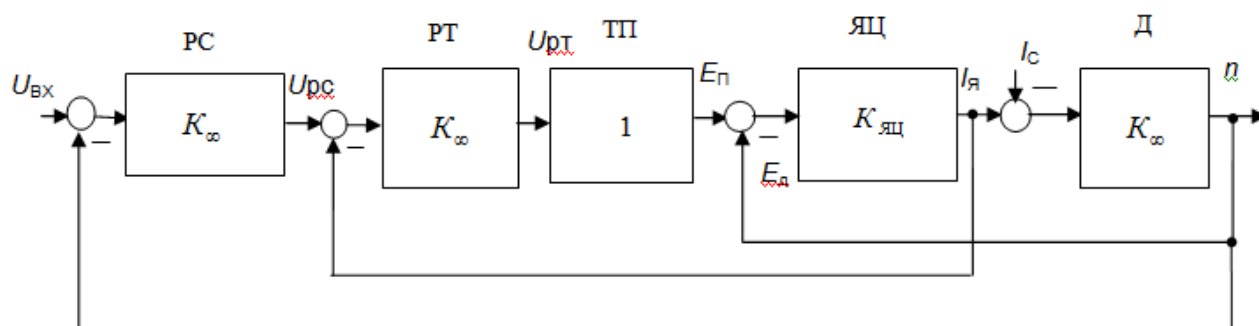


Рисунок 6.5 – Структурная схема электропривода для определения статических режимов

6.3.1 Построение электромеханической и механической характеристик

В данном проекте обеспечен необходимый запас по напряжению. Как только ток якоря возрастёт до значения $I_{\text{я}} = I_{\text{МАХ}}$, регулятор скорости насытится, контур регулирования скорости разомкнётся, и дальнейшее увеличение нагрузки уже не будет вызывать увеличение $U_{\text{РС}}$. Это приведёт к резкому снижению $E_{\text{П}}$ и скорости n . В схеме пропорционально-интегральным регулятором тока, который обеспечивает точное выполнение равенства $I_{\text{я}} =$

U_{PC} , электромеханическая характеристика привода при достижении током якоря значения I_{MAX} идёт вертикально вниз.

Рассчитаем точки полученной статической характеристики:

$$\omega_0 = \frac{U_H}{k\Phi_H}; \quad (6.10)$$

$$\omega_0 = 129,4 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$I_{MAX} = I_H \cdot 2.1; \quad (6.11)$$

$$I_{MAX} = 13.5 \cdot 2.1 = 28.35 \text{ A};$$

$$M_{MAX} = I_M \cdot k\Phi_H; \quad (6.12)$$

$$M_{MAX} = 28,35 \cdot 1,7 = 48,195 \text{ Нм.}$$

Электромеханическая характеристика электропривода представлена на рисунке 6.5.

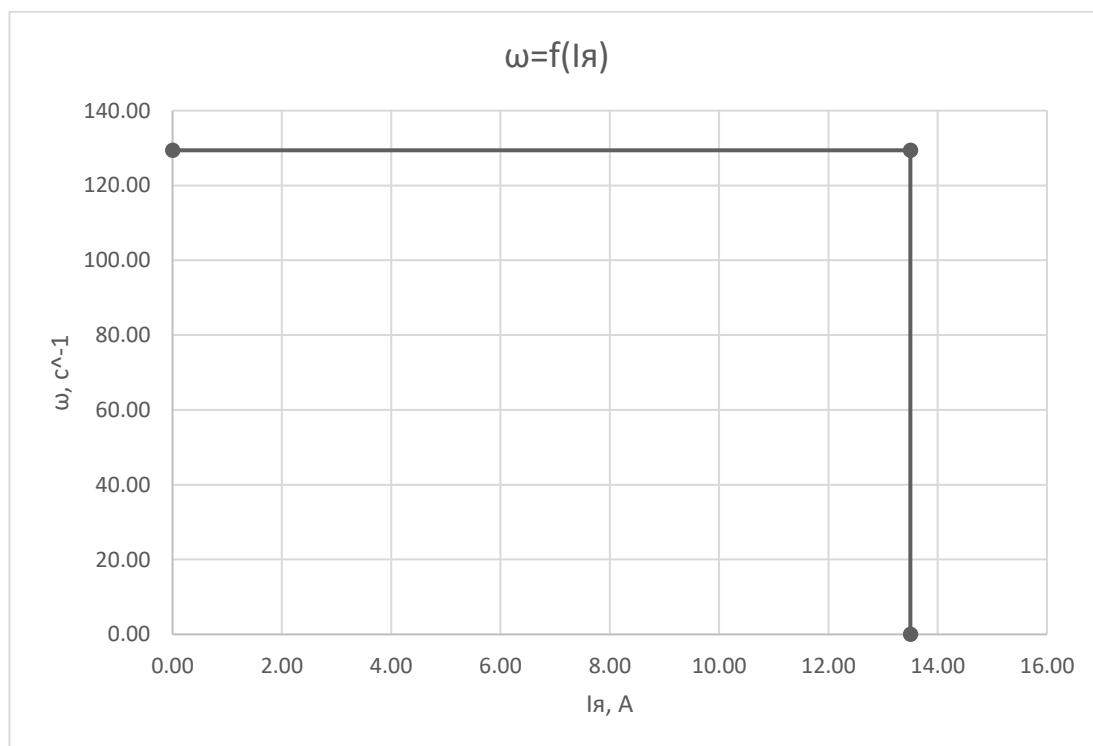


Рисунок 6.5 – Электромеханическая характеристика $\omega = f(I_{я})$

Механическая характеристика электропривода представлена на рисунке 6.6.

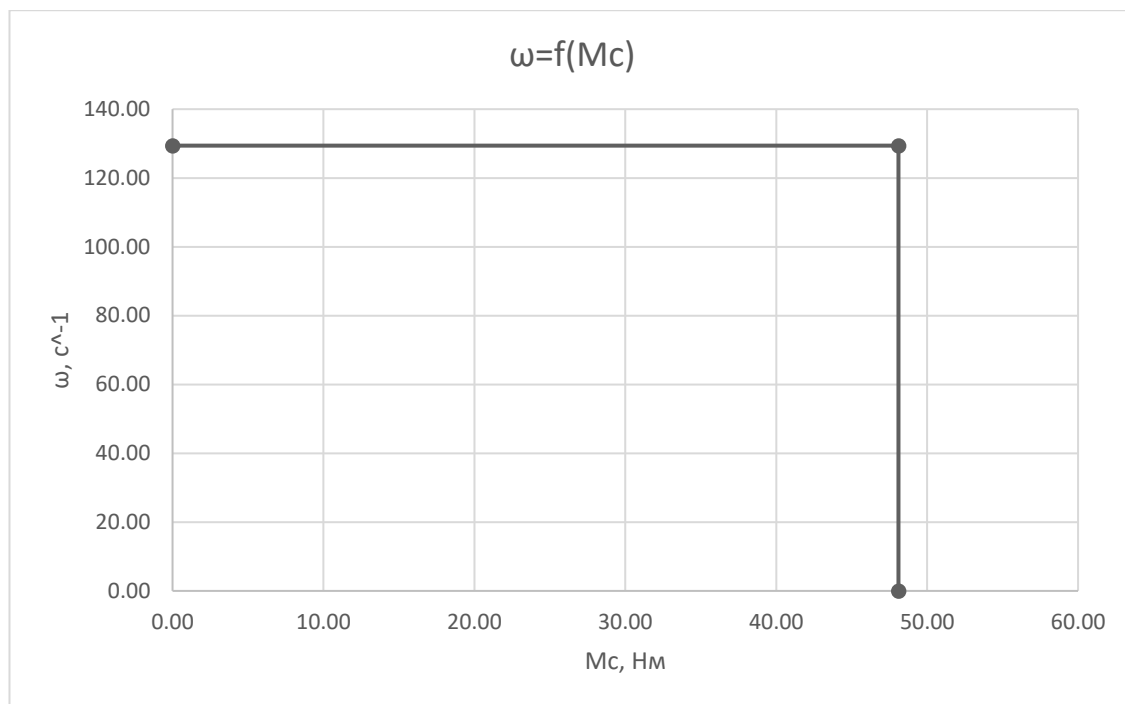


Рисунок 6.6 – Механическая характеристика $\omega = f(M)$

6.3.2 Построение внешней характеристики

Внешнюю характеристику электропривода $U_{\text{я}} = f(I_{\text{я}})$ строим по известной электромеханической характеристике:

$$U_{\text{я}} = E_{\text{д}} + I_{\text{я}} \cdot r_{\text{яд}}; \quad (6.13)$$

В точке идеального холостого хода:

$$U_{\text{я}} = E_{\text{д}} = 220 \text{ В.}$$

В режиме упора:

$$U_{\text{я}} = E_{\text{д}} + I_{\text{макс}} \cdot r_{\text{яд}}; \quad (6.14)$$

$$U_{\text{я}} = 220 + 28,35 \cdot 7,78 = 440,563 \text{ В.}$$

В режиме поддержания тока:

$$U_{\text{я}} = I_{\text{макс}} \cdot r_{\text{я}}; \quad (6.15)$$

$$28,35 \cdot 7,78 = 220,56 \text{ В.}$$

Внешняя характеристика электропривода представлена на рисунке 6.7.

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

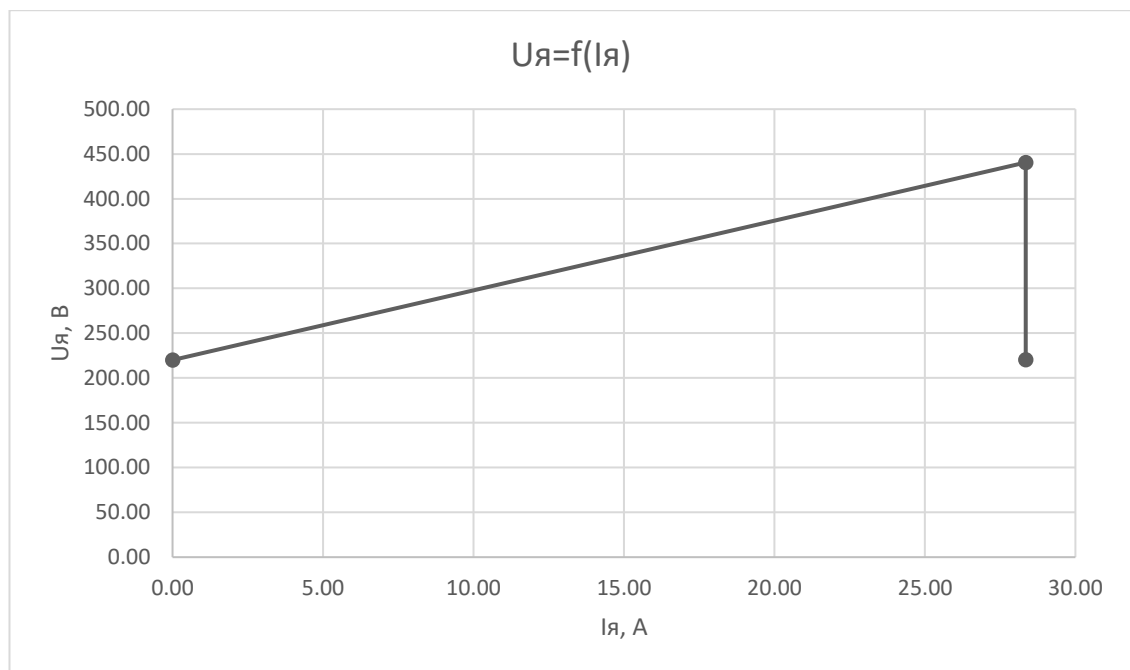


Рисунок 6.7 – Внешняя характеристика $U_{я} = f(I_{я})$

6.3.3 Построение регуляторных характеристик

Для построения зависимости $U_{РТ} = f(M)$ необходимо построить зависимость ЭДС преобразователя $E_{ТП}$ от тока якоря:

$$E_{ТП} = E_{д} + I_{я} \cdot r_{яц}; \quad (6.16)$$

где $r_{яц}$ – суммарное сопротивление силовой цепи преобразователя, Ом.

А затем воспользоваться универсальной регулировочной характеристикой преобразователя, где $U_y = U_{РТ}$.

В точке идеального холостого хода:

$$E_{ТП} = E_{д} = 220В.$$

В режиме упора:

$$E_{ТП} = E_{д} + I_{МАКС} \cdot r_{яц} = 220 + 28,35 \cdot 7,808 = 441,35В.$$

В режиме поддержания тока:

$$E_{П} = I_{МАКС} \cdot r_{яц} = 28,35 \cdot 7,808 = 221,35В.$$

Характеристики представлены на рисунках 6.8, 6.9.

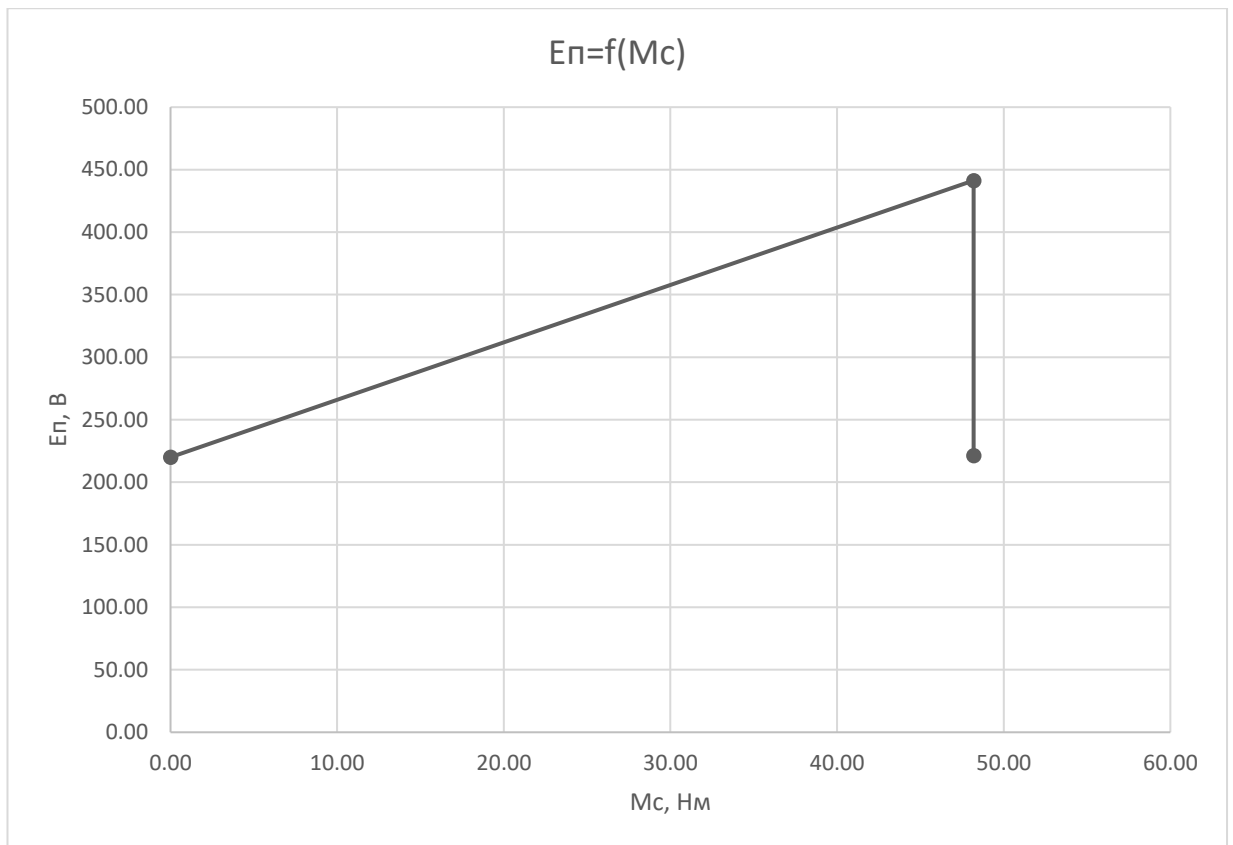


Рисунок 6.8 – Статическая характеристика $E_{\pi} = f(M)$

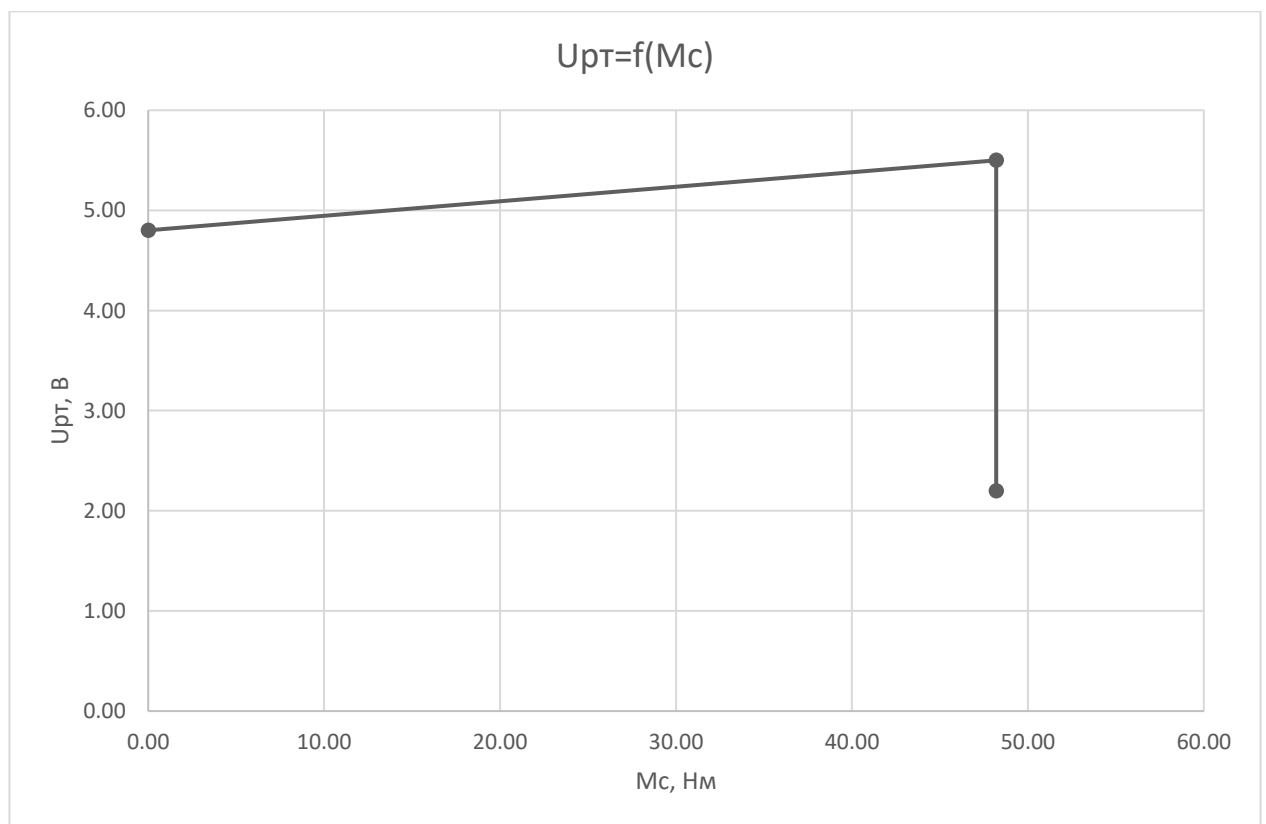


Рисунок 6.9 – Регуляторная характеристика $U_{pГ} = f(M)$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

При построении регуляторной характеристики $U_{PC} = f(I_A)$ в схеме с ПИ – регулятором тока нужно учитывать:

В точке идеального холостого хода:

$$U_{PC} = 0.$$

В режиме упора:

$$U_{PC} = \frac{I_{\text{макс}}}{I_{\text{ТПмакс}}} \cdot 10; \quad (6.17)$$

$$U_{PC} = \frac{28,35}{25} \cdot 10 = 11,34 \text{ В.}$$

Характеристика представлена на рисунке 6.10.

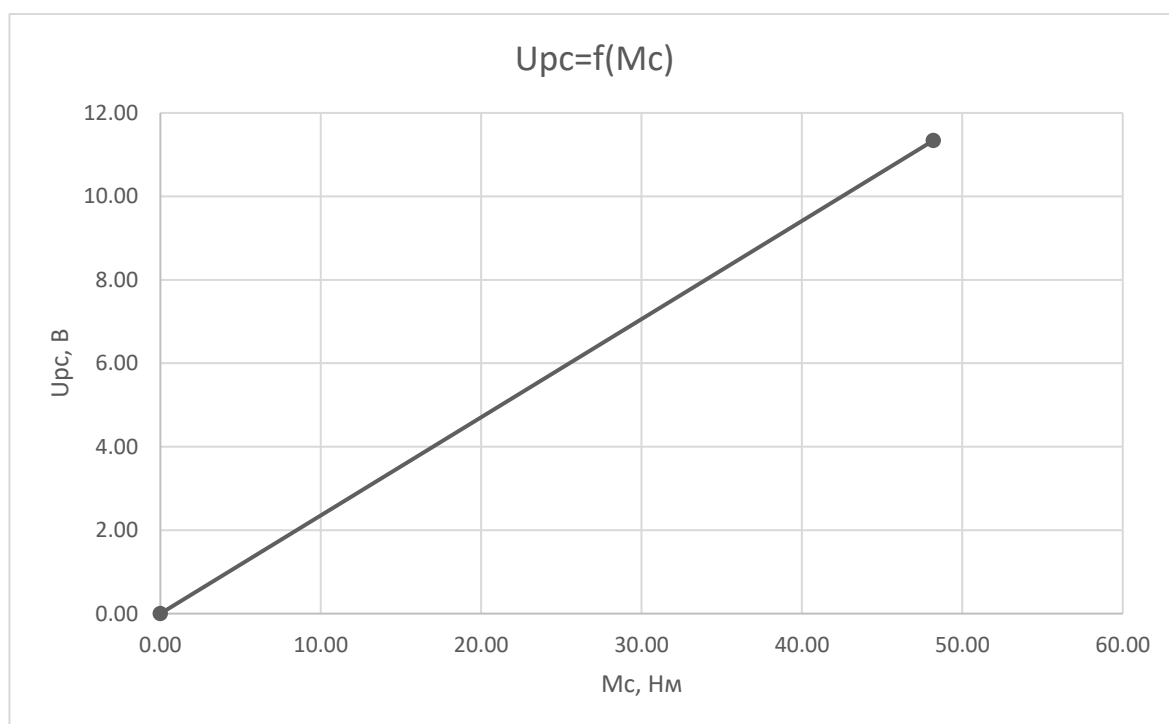


Рисунок 6.10 – Регуляторная характеристика $U_{PC} = f(M)$

6.4 Исследование качества переходных процессов в системе электропривода

Целью динамических расчетов, выполняемых в квалификационном проекте, является проверка настроек регуляторов тока (или скорости) применением прямых оценок качества. В программе *Matlab* создаем схему (модель) электропривода (рисунок 6.11) и строим переходные характеристики системы

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

(рисунок 6.12) с выбранными ранее параметрами контура регулирования скорости и контура регулирования тока.

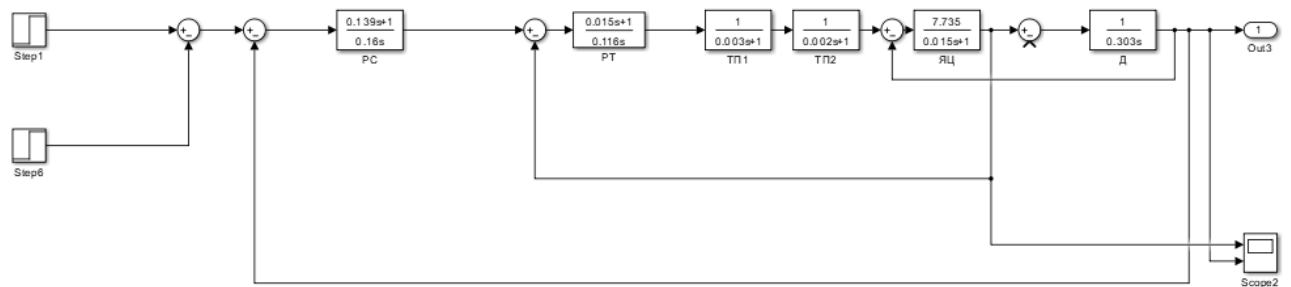


Рисунок 6.11 – Схема электропривода в программе *Matlab* для снятия переходных процессов

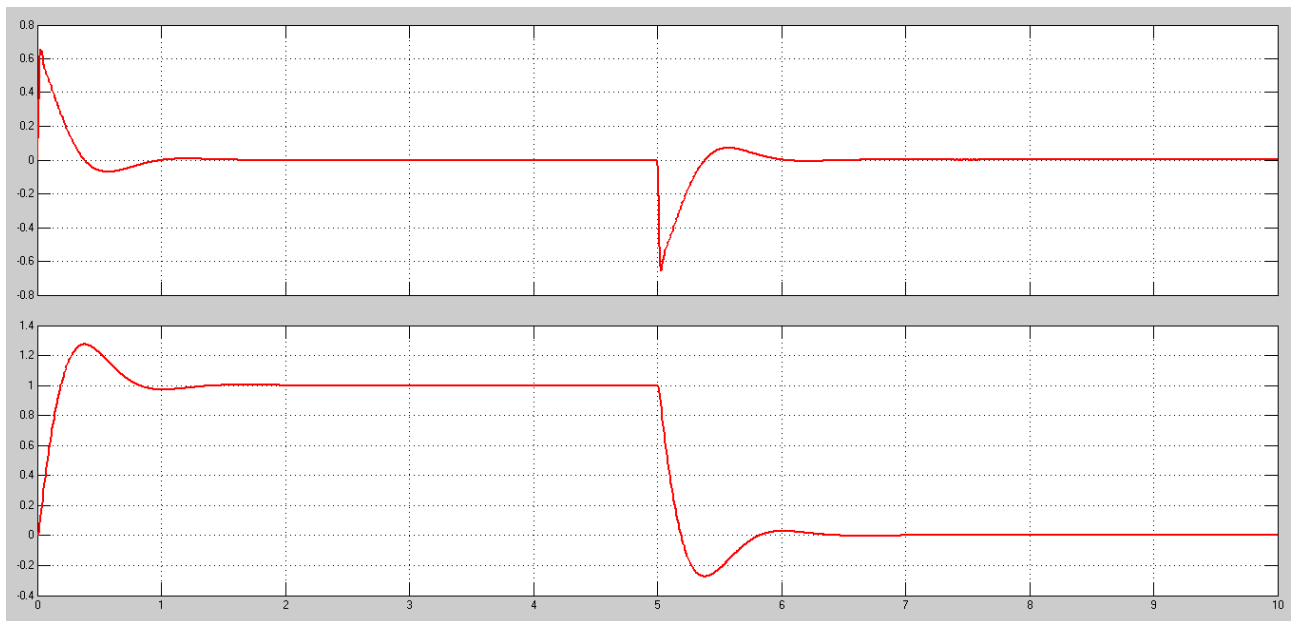


Рисунок 6.12– Пуск и торможение без ЗИ и БО (1-Я, 2-н)

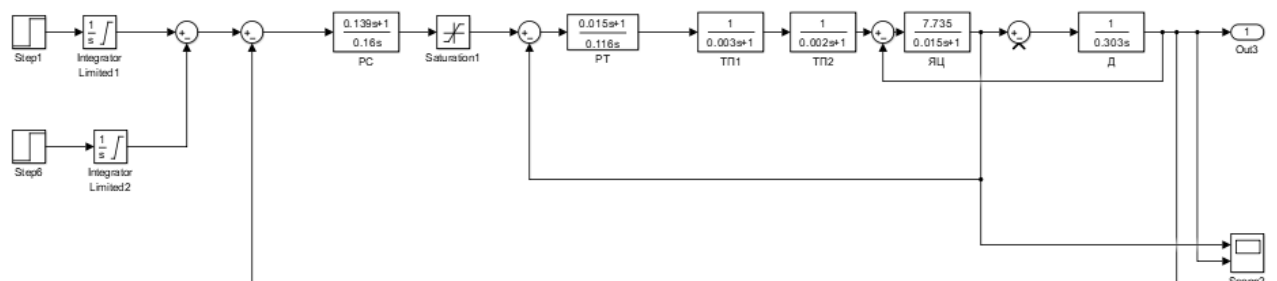


Рисунок 6.13 – Схема с ЗИ и БО

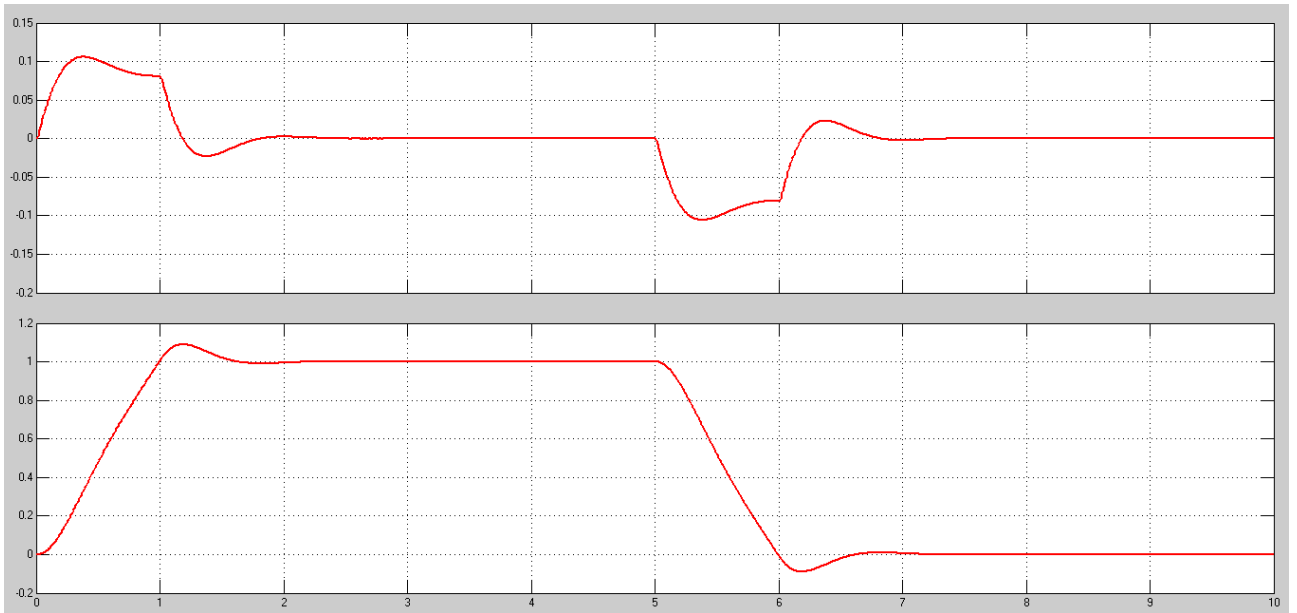


Рисунок 6.14 – Пуск и торможение с ЗИ и БО (1-Я, 2-п)

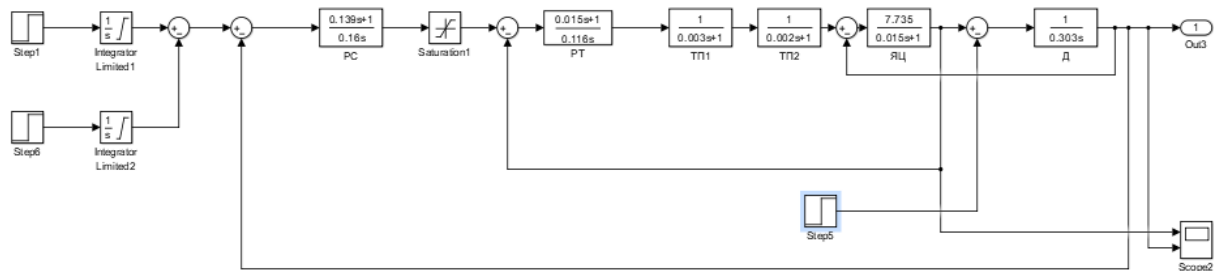


Рисунок 6.15 – Схема с ЗИ и БО, и с нагрузкой

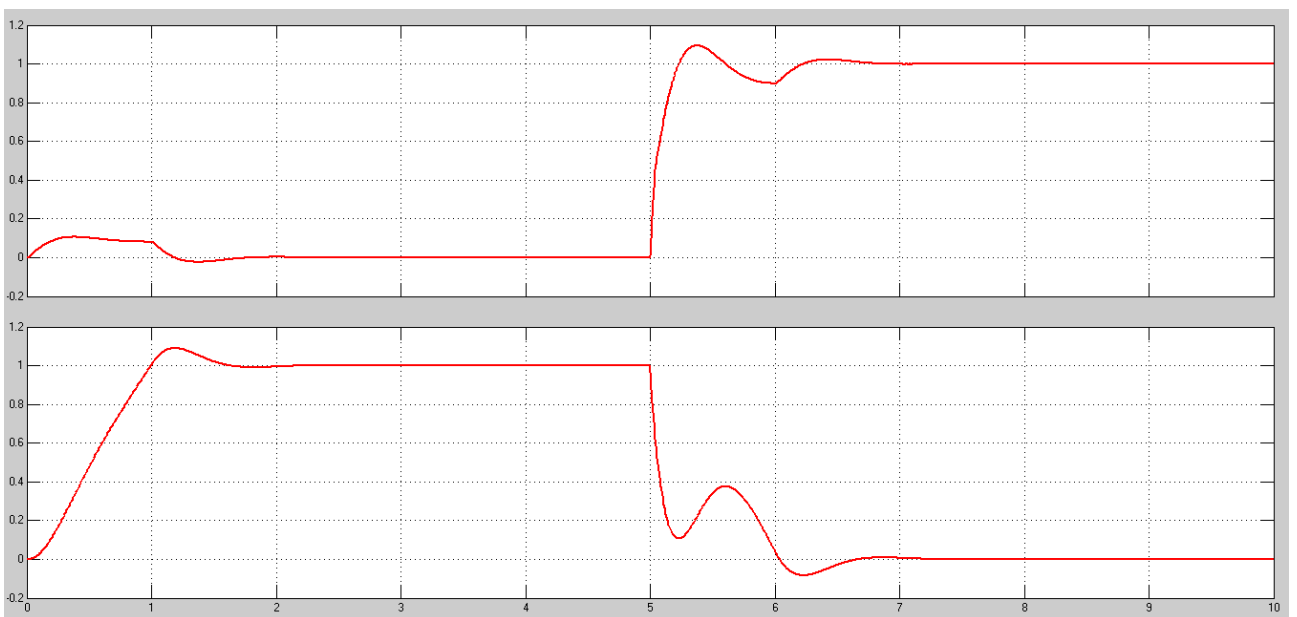


Рисунок 6.16 – Наброс нагрузки

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

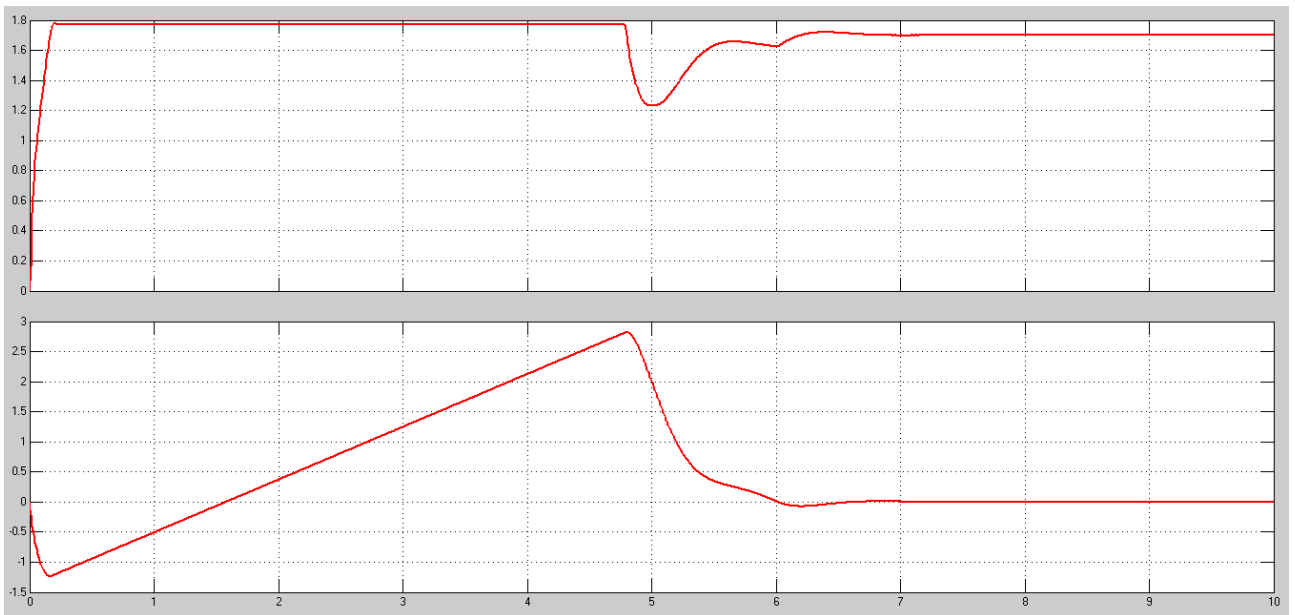


Рисунок 6.17 – Пуск и торможение с максимальным статическим моментом

6.4.1 Вид переходных характеристик при изменении параметра M_c

Зафиксированы изменения в переходных характеристиках только для наброса нагрузки и пуска, и торможения с нагрузкой, т.к. M_c не влияет на переходные характеристики без нагрузки



Рисунок 6.18 – Переходные процессы при набросе нагрузки $M_c=1,5$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

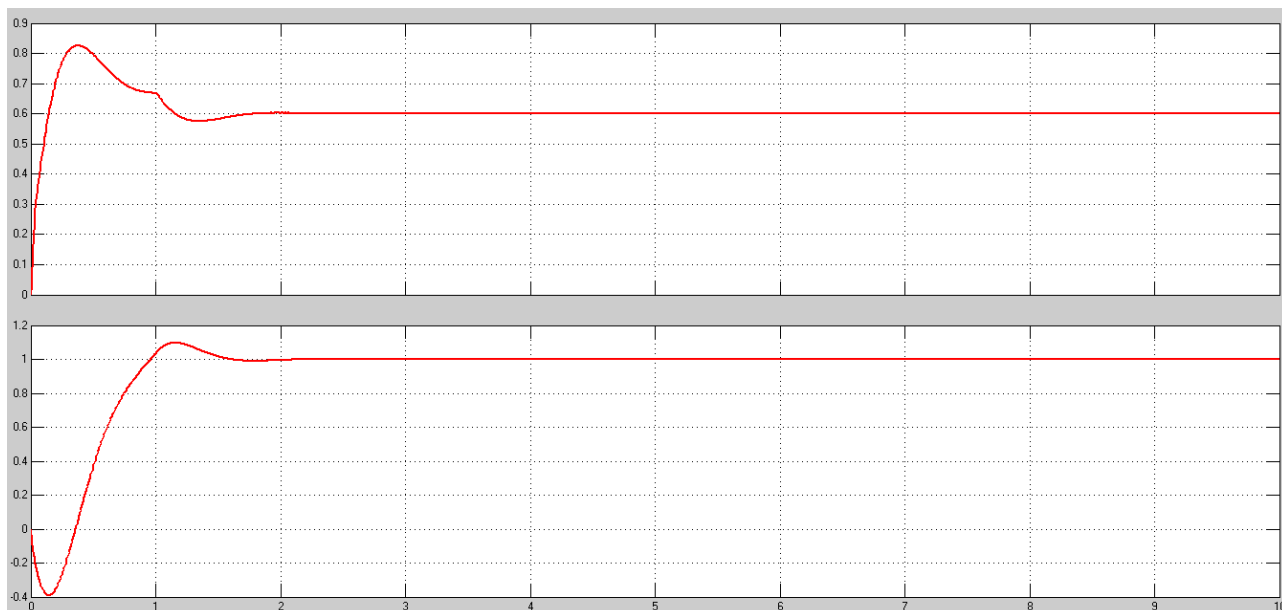


Рисунок 6.19 – Переходные процессы при набросе нагрузки $M_c=0,6$

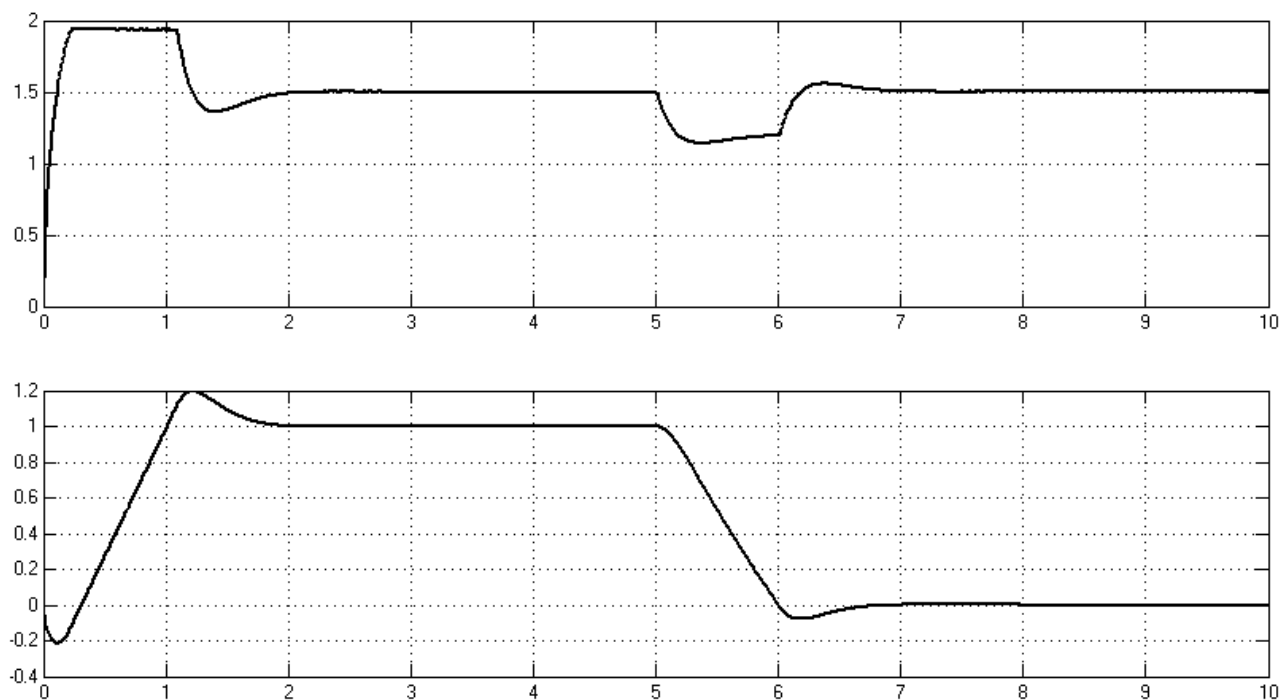


Рисунок 6.20 – Пуск и торможение с $M_c=1,5$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

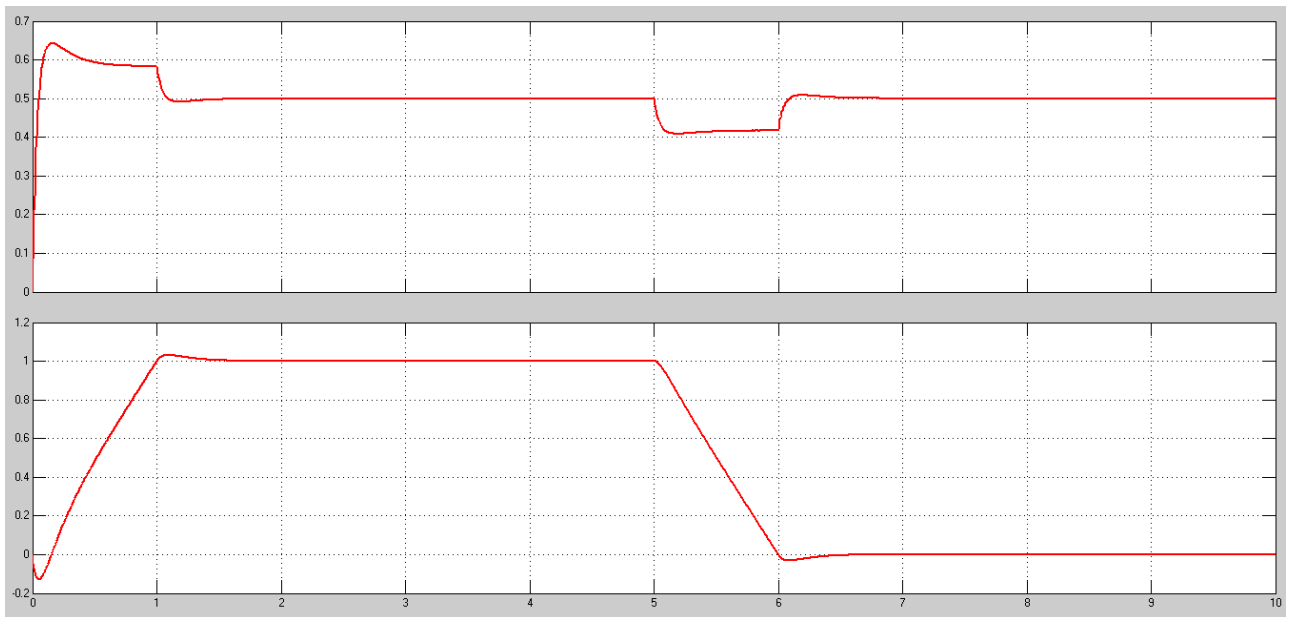


Рисунок 6.21 – Пуск и торможение с $M_c=0,5$

6.4.2 Влияние изменения M_c на переходные характеристики

Наброс нагрузки $M_c=1,6$ приводит к срабатыванию БО, который ограничивает ток. Наброс нагрузки $M_c=0,5$ приводит к уменьшению тока в момент наброса и уменьшению просадки скорости в этот момент.

7 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

7.1 Описание технологического процесса и выбор элементной базы автоматизации и преобразователей технологической информации

Схема расположения механизмов методической печи представлена на рисунке 7.1.

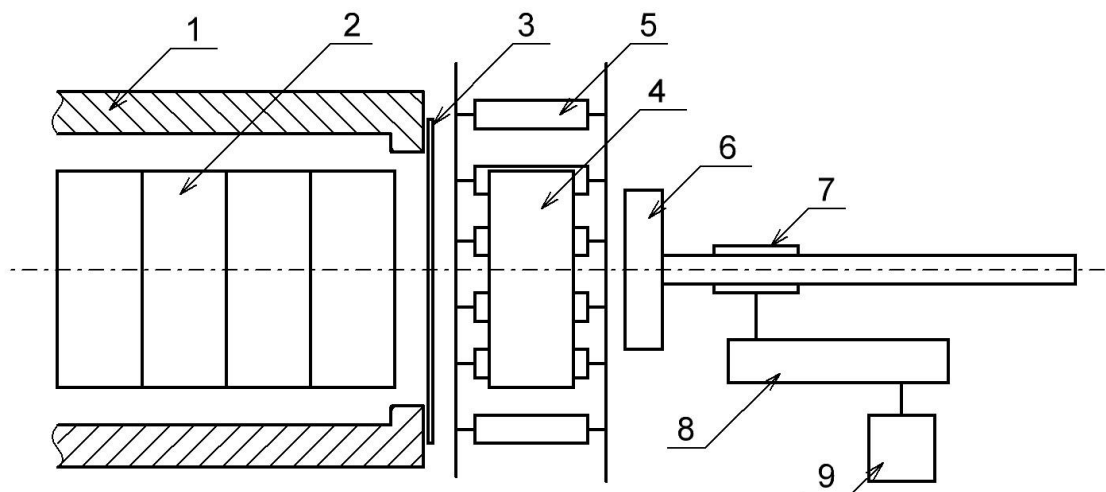


Рисунок 7.1 – Схема расположения механизмов методической печи.

В методической печи 1 осуществляется нагрев заготовок 2 постоянных геометрических размеров до температуры прокатки.

В исходном состоянии толкатель 6 находится в крайнем правом положении, заслонка 3 переднего окна закрыта, отсутствует заготовка перед печью.

Подающий рольганг 5 включается при появлении на нем заготовки, транспортирует ее до приемного окна и останавливается.

При поступлении сигнала на выдачу заготовки из печи открывается заслонка переднего окна, включается в работу толкатель 6, который сталкивает заготовку с рольганга и подает ее в печь, передвигая при этом все нагреваемые заготовки 2. В режиме работы с полной загрузкой толкатель должен преодолеть путь, достаточный для помещения очередной заготовки в

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

рабочей зоне печи. При этом крайняя заготовка выталкивается из нее, открывая заслонку заднего окна своим весом.

Нагретая заготовка скатывается на отводящий рольганг, заслонка закрывается, а толкатель отходит в исходное положение. После выхода толкателя из печи закрывается заслонка переднего окна.

Толкатель приводится в движение электродвигателем 9 мощностью 6 кВт через редуктор 8 и реечную шестерню 7.

Для привода механизмов рольганга и заслонки требуются электродвигатели мощностью 1,5 и 1,0 кВт. Темп работы – одна заготовка в минуту.

Следует отметить, что передняя заслонка печи приводится в движение автоматикой, а задняя заслонка не автоматизирована и открывается под действием веса заготовок.

7.2 Составление списка сигналов системы автоматизации

Из технического задания на автоматизацию процесса нагрева заготовок следует, что система управления должна обеспечивать как автоматический режим по заданной программе, так и ручной режим с управлением от пульта управления.

Система автоматизации должна выполнять следующие выходные команды:

- движение рольганга (ДР);
- открытие заслонки (ОЗ);
- закрытие заслонки (ЗЗ);
- движение толкателя вперед (ТВ);
- движение толкателя назад (ТН).

									Лист
									73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ				

Для наглядности оставим схему расположения датчиков на автоматизируемой установке (рисунок 7.2), так как датчики будут входными сигналами системы.

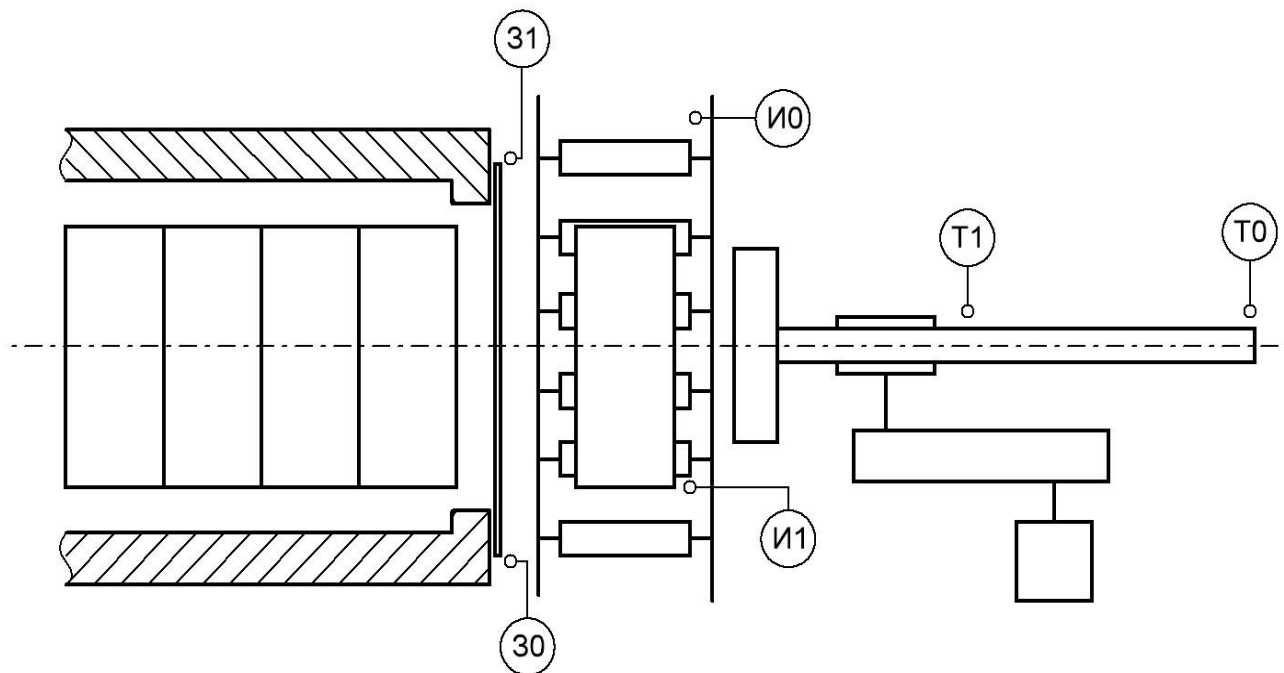


Рисунок 7.2 – Расположение датчиков

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ

Лист

74

Таблица 1 – Сигналы и команды, используемые в системе автоматизации

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Входные сигналы на контроллер с датчиков	И0	датчик наличия изделия	Есть
	И1	датчик изделия перед заслонкой	Есть
	З0	датчик закрытой заслонки	Есть
	З1	датчик открытой заслонки	Есть
	Т0	датчик толкателя исходное положение	Есть
	Т1	датчик толкателя в печи	Есть
Входные сигналы управления на контроллер с пульта	Пуск	Сигнал пуска автоматического режима с пульта	Есть
	Стоп	Сигнал пуска автоматического режима с пульта	Есть
	Цикл	Сигнал разрешающий работу в цикле	Есть
	ДРР	движение рольганга ручное кнопка	Есть
	ОЗР	открытие задвижки ручное кнопка	Есть
	ТВР	толкатель вперед ручное кнопка	Есть
	ТНР	толкатель назад ручное кнопка	Есть
Сигналы индикации на пульт управления с датчиков и приводов	И0	индикатор наличия изделия	Есть
	И1	индикатор изделия перед заслонкой	Есть
	ДР	движение рольганга	Есть
	ОЗ	индикатор открытие заслонки	Есть
	ЗЗ	индикатор закрытие заслонки	Есть
	ОЗ	индикатор движение открытие заслонки	Есть
	ЗЗ	индикатор движение закрытие заслонки	Есть
	Т0	индикатор толкателя в исходном состоянии	Есть

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

Продолжение таблицы 7.1

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Сигналы индикации на пульт управления с датчиков и приводов	T1	индикатор толкателя в печи	Есть
	TВ	индикатор движения толкателя в печь	Есть
	TН	индикатор движения толкателя из печи	Есть
	Автомат	индикатор работы в автоматическом режиме с ПЛК	Есть
Выходные сигналы с контролера к приводам	ДР	движение рольганга	Есть
	ОЗ	открытие заслонки	Есть
	ЗЗ	закрытие заслонки	Есть
	TВ	толкатель вперед	Есть
	TН	толкатель назад	Есть

Функциональная схема автоматизации представлена на рисунке 7.3.

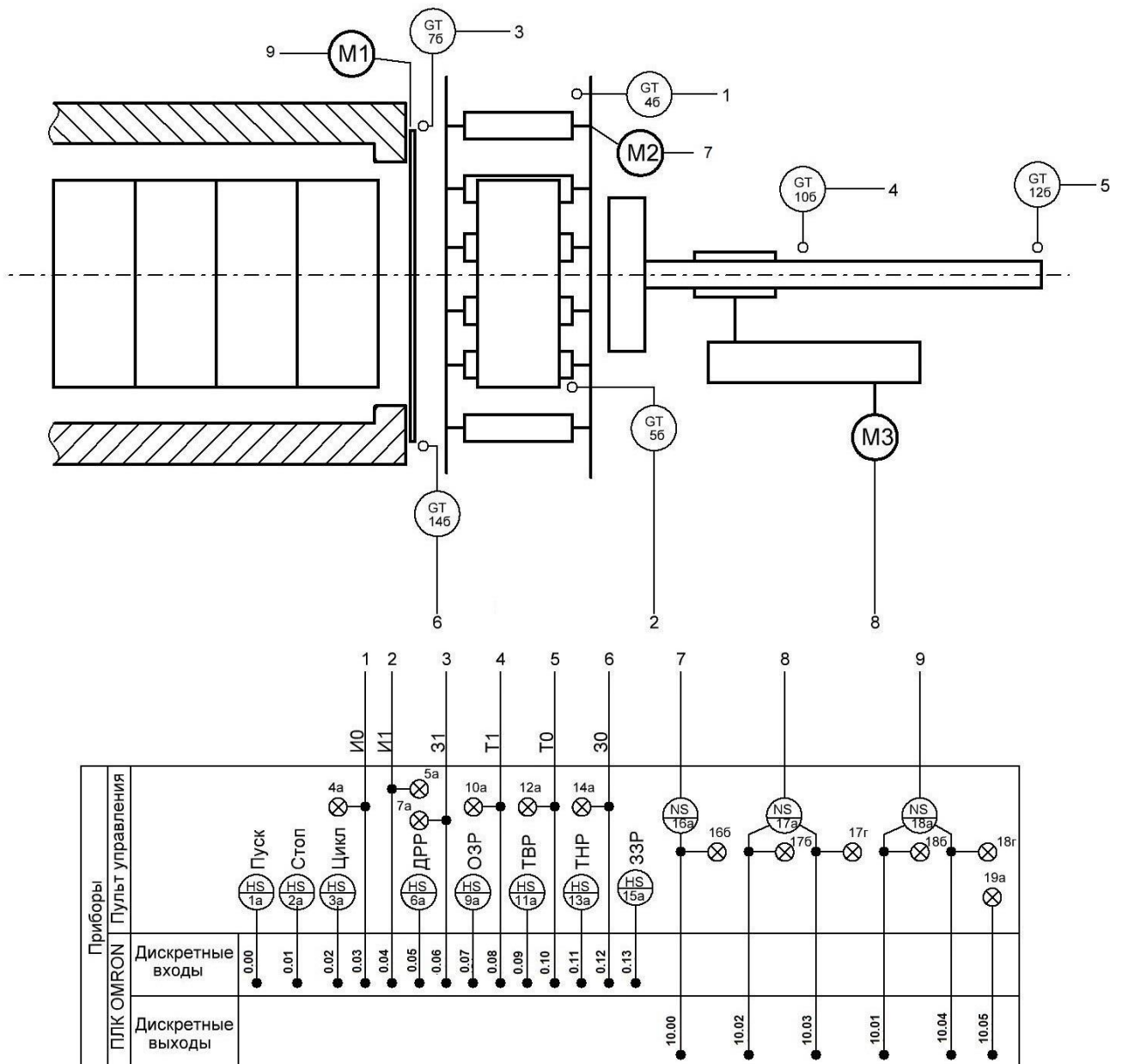


Рисунок 7.3 – Функциональная схема автоматизации (масштаб 1:2)

7.3 Разработка пульта системы управления

На основании проделанной работы разработаем пульт управления системы управления нагревом заготовок в методической печи.

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

Пульт управления движением изделий в методической печи

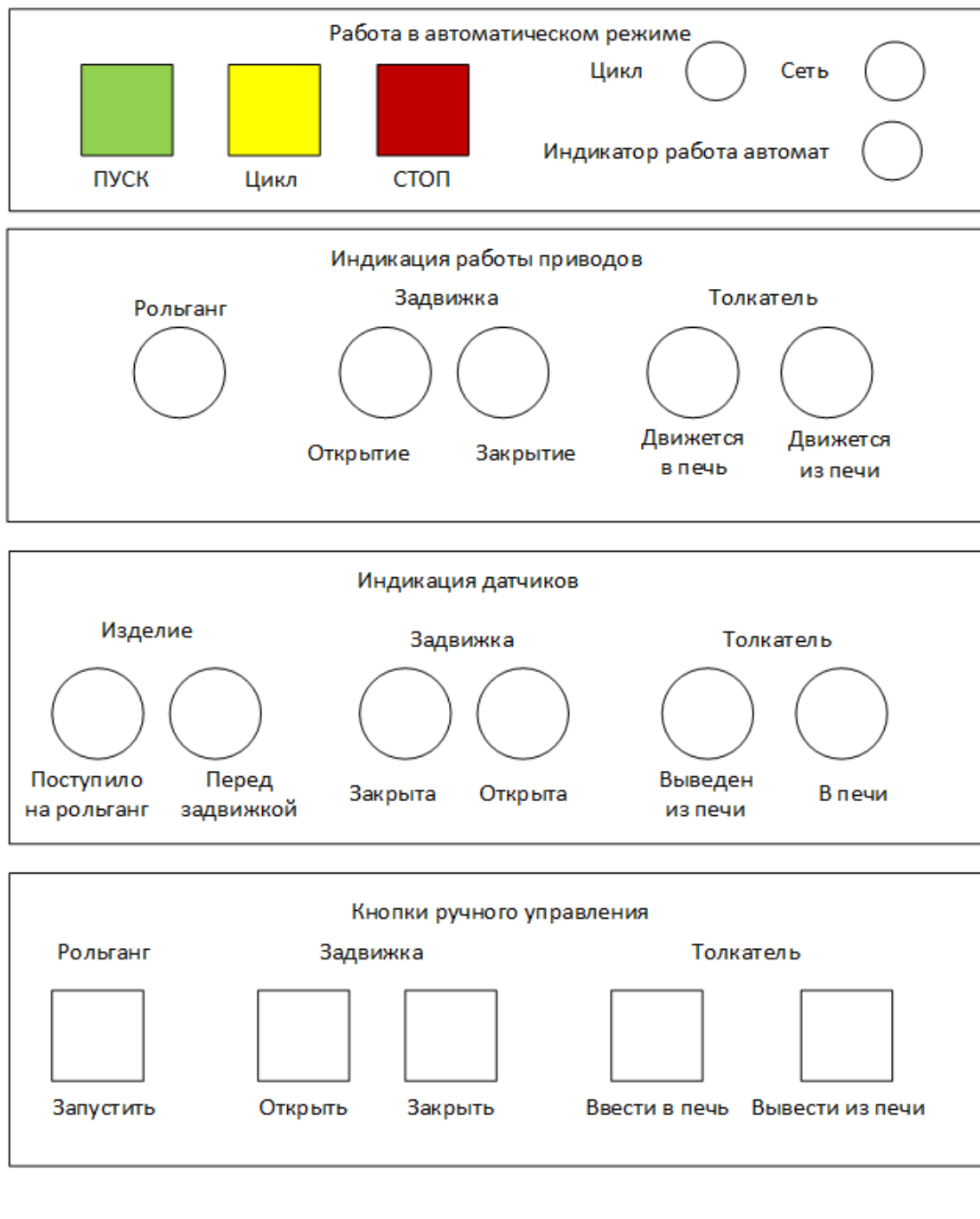


Рисунок 7.3 – Пульт управления

Пульт управления состоит из четырех секций, которые разделены логически и по смыслу.

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

Первая секция отвечает за запуск системы в автоматическом режиме, как основной режим работы.

Две следующих секции осуществляют только роль отображения процессов, происходящих в установке. Секция индикации работы приводов позволяет видеть какой электропривод и в каком направлении вращается в данный момент. Секция индикации датчиков позволяет отслеживать состояния датчиков в текущий момент времени и видеть где находится тот или иной механизм.

Последняя секция является секцией кнопок ручного режима. Кнопки «Пуск», «Стоп», примененные в пульте управления являются кнопками без фиксации, так как логика работы организована в контроллере.

Кнопка «Цикл» разрешающая работу в циклическом режиме будет кнопкой с фиксацией.

Кнопки управления подобраны квадратной формы, при чем кнопки «Пуск» и «Стоп» имеют цвета по госту. А индикаторные лампы взяты круглой формы.

7.4 Разработка алгоритма автоматизации управления механизмами объекта

В техническом задании на курсовое проектирование установлены требования, предъявляемые к системе автоматизации процесса управления движением заготовок в методической печи. В качестве основных требований можно выделить следующие:

- система управления должна обеспечивать автоматический режим работы согласно заданному алгоритму работы установки;
- система должна обеспечивать ручной режим работы, в котором можно управлять механизмами с кнопок;
- система должна обеспечивать экстренную остановку системы кнопкой «Стоп»;

– система должна обеспечивать возврат механизмов в исходное состояние при подаче питания на систему управления, в частности извлекать толкатель из печи и закрывать заслонку;

– система должна быть обеспечена блокировками и защитами, которые не позволят одновременно сработать механизмам, которые при неправильном взаимодействии могут вывести друг друга из строя.

Разработку программы для контроллера будем вести в среде разработки программируемых логических контроллеров *Omron CX Programmer*. В качестве языка программирования взят язык линейных диаграмм *LD*. Данный язык позволяет строить программу при помощи построения схем, подобных релейным схемам.

Для разработки программы нам потребуется составлять логические уравнения по переменным, как в значениях, так и в адресах контроллера, так как в программе должны задаваться адреса переменных, а имена переменных будут заданы в виде комментариев (табл. 7.2, 7.3).

Таблица 7.2 – Выходные переменные контроллера

Имя переменной	Адрес в ПЛК	Назначение переменной
ДР	10.00	Включение двигателя рольганга (только в одну сторону)
ОЗ	10.01	Открытие задвижки
ТВ	10.02	Движение толкателя в печь
ТН	10.03	Движение толкателя из печи – реверс
ЗЗ	10.04	Закрытие задвижки – реверс
Автомат	10.05	Индикация автоматического режима

Таблица 7.3 – Входные переменные контроллера

Имя переменной	Адрес в ПЛК	Назначение переменной
ПУСК	0.00	Кнопка «Пуск» с пульта
СТОП	0.01	Кнопка «СТОП» с пульта
Цикл	0.02	Кнопка «Цикл» с пульта
И0	0.03	Датчик исходного состояния заготовки
И1	0.04	Датчик заготовки перед печью
ДРР	0.05	Кнопка движения рольганга ручное
З1	0.06	Датчик открытой задвижки
ОЗР	0.07	Кнопка открытие задвижки ручное
Т1	0.08	Датчик толкателя в положении в печи
ТВР	0.09	Кнопка толкатель вперед ручное
Т0	0.10	Датчик выведенного положения толкателя
ТНР	0.11	Кнопка толкатель назад ручное
З0	0.12	Датчик закрытой задвижки
ЗЗР	0.13	Кнопка закрытие задвижки ручное

Кроме внешних переменных в программе будут использованы внутренние переменные контроллера, которые не выведены на входы и выходы, но все равно участвуют в работе программы.

Таблица 7.4 – Внутренние переменные контроллера

Имя переменной	Адрес в ПЛК	Назначение переменной
<i>P_first_cycle</i>	235.15	Флаг первого цикла при включении контроллера.
<i>М0</i>	200.01	Флаг открытия заслонки
<i>С</i>	200.02	Флаг сброса

Внутренние переменные будут использованы для того чтобы при включении питания приводить систему в исходное состояние. Переменная *p_first_cycle* представляет собой единичный импульс при подаче питания на контроллер. При помощи этого флага можно организовать возврат в исходное состояние элементов системы. Эта переменная будет использоваться совместно с переменной *С*, флаг сброса, который она устанавливает во включенное

состояние, в этом состоянии флаг будет находиться пока система не вернется в исходное состояние.

Внутренняя переменная $M0$ будет использована в качестве флага события, что произошло открытие заслонки печи. Данный флаг необходим для организации автоматической работы алгоритма.

Первым логическим уравнением (цепь программы №0) будет уравнение цепи, отвечающей за возврат в исходное состояние толкателя и заслонки, если вдруг при включении толкатель оказался в печи, а заслонка открыта.

Уравнение в переменных:

$$C = (p_first_cycle + C) \cdot \overline{30}; \quad (7.1)$$

Уравнение в адресах ПЛК:

$$200.02 = (253.15 + 200.02) \cdot \overline{0.12}.$$

Вторым логическим уравнением (цепь программы №1) будет уравнение цепи, отвечающей за хранение информации от том что толкатель совершил движение в печь, чтобы не позволить толкателю работать в цикле.

Уравнение в переменных:

$$M0 = (T1 + M0) \cdot \overline{И1} \cdot \overline{СТОП}; \quad (7.2)$$

Уравнение в адресах ПЛК:

$$M0 = (0.08 + 200.01) \cdot \overline{0.04} \cdot \overline{0.01}. \quad (7.3)$$

Третьим логическим уравнением (цепь программы №2) будет уравнение цепи, отвечающей за пуск и останов работы установки в автоматическом режиме.

Уравнение в переменных:

$$\text{Автомат} = (\text{ПУСК} + \text{Автомат}) \cdot \overline{СТОП} \cdot \overline{C}; \quad (7.4)$$

Уравнение в адресах ПЛК:

$$1.05 = (0.08 + 1.05) \cdot \overline{0.01} \cdot \overline{200.02}.$$

Четвертым логическим уравнением (цепь программы №3) будет уравнение цепи, отвечающей за движение рольганга при появлении детали, до момента подхода детали к заслонке.

Уравнение в переменных:

$$\begin{aligned} \text{ДР} = & ((\text{И}0 \cdot (\text{T}000 + \text{ПУСК}) \cdot \text{Цикл} \cdot \text{Автомат}) + \text{ДР} + \\ & + (\text{ДРР} \cdot \overline{\text{Автомат}})) \cdot \overline{\text{И}1}; \end{aligned} \quad (7.5)$$

Уравнение в адресах ПЛК:

$$1.00 = \left((0.03 \cdot (\text{T}000 + 0.00) \cdot 0.02 \cdot 1.05) + 1.00 + (0.05 \cdot \overline{1.05}) \right) \cdot \overline{0.04}.$$

Пятым логическим уравнением (цепь программы №4) будет уравнение цепи, отвечающей за открытие задвижки печи.

Уравнение в переменных:

$$\text{ОЗ} = ((\text{И}1 \cdot \text{Автомат}) + \text{ОЗ} + (\text{ОЗР} \cdot \overline{\text{Автомат}})) \cdot \overline{\text{З}1}; \quad (7.6)$$

Уравнение в адресах ПЛК:

$$1.01 = \left((0.04 \cdot 1.05) + 1.01 + (0.07 \cdot \overline{1.05}) \right) \cdot \overline{0.06}.$$

Шестым логическим уравнением (цепь программы №5) будет уравнение цепи, отвечающей за движение толкателя в печь. Следует обратить внимание что в этой цепи используется блокировка по M0, для предотвращения повторного движения толкателя.

Уравнение в переменных:

$$\text{ТВ} = ((\text{З}1 \cdot \text{Автомат}) + \text{ТВ} + (\text{ТВР} \cdot \overline{\text{Автомат}})) \cdot \overline{\text{T}1} \cdot \text{З}1 \cdot \overline{\text{TН}} \cdot \overline{\text{M}0}; \quad (7.7)$$

Уравнение в адресах ПЛК:

$$1.02 = \left((0.06 \cdot 1.05) + 1.02 + (0.09 \cdot \overline{1.05}) \right) \cdot \overline{0.08} \cdot 0.06 \cdot \overline{1.03} \cdot \overline{200.01}.$$

Седьмым логическим уравнением (цепь программы №6) будет уравнение цепи, отвечающей за движение толкателя из печи.

Уравнение в переменных:

$$\text{ТН} = ((\text{T}1 \cdot \text{Автомат}) + \text{ТН} + (\text{ТНР} \cdot \overline{\text{Автомат}}) + \text{С}) \cdot \overline{\text{T}0} \cdot \overline{\text{TВ}}; \quad (7.8)$$

Уравнение в адресах ПЛК:

$$1.03 = \left((0.08 \cdot 1.05) + 1.03 + (0.11 \cdot \overline{1.05}) + 200.02 \right) \cdot \overline{0.10} \cdot \overline{1.02}.$$

Восьмым логическим уравнением (цепь программы №7) будет уравнение цепи, отвечающей за закрытие задвижки.

Уравнение в переменных:

$$TIM000 = ((M0 \cdot \text{Автомат}) + 33 + (33P \cdot \overline{\text{Автомат}}) + \\ + C \cdot \overline{\text{Автомат}}) \cdot \overline{30} \cdot \overline{T0}; \quad (7.9)$$

Уравнение в адресах ПЛК:

$$1.04 = ((200.01 \cdot 1.05) + 1.04 + (0.13 \cdot \overline{1.05}) + 200.02 \cdot \overline{1.05}) \cdot \overline{0.12} \cdot \overline{0.10}.$$

Последним девятым логическим уравнением (цепь программы №8) будет уравнение цепи, отвечающей за запуск таймера.

Уравнение в переменных:

$$TIM000 = 30 \cdot M0 \cdot \overline{\text{СТОП}}; \quad (7.10)$$

Уравнение в адресах ПЛК:

$$TIM000 = 0.12 \cdot 200.01 \cdot \overline{0.12}.$$

Как видно из логических уравнений, в процессе работы предусмотрена циклическая работа установки. За разрешение работы в цикле отвечает переменная «Цикл» во включенном состоянии. Каждый новый цикл запускается при поступлении изделия на рольганг.

Программой предусмотрен ручной режим управления системы. Чтобы исключить человеческий фактор в программе предусмотрены блокировки. Например, вводить толкатель в печь возможно только при открытой заслонке печи. Переменная 31 в цепи №5, также как закрытие задвижки возможно только при положении толкателя в исходном положении T0.

8 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Выбор программируемого логического контроллера определяется, как правило, целым рядом факторов:

- способность контроллера обеспечить решение поставленной задачи автоматизации с минимумом избыточности ресурсов;
- стоимость и доступность изделия;
- стоимость и наличие программного обеспечения, позволяющего разрабатывать и отлаживать программы управления и программировать контроллер;
- наличие технической документации на доступных к прочтению языках;
- наличие опыта использования данного типа контроллеров у разработчиков программного обеспечения и технического персонала.

Анализ существующего рынка контроллеров с учетом всех выше перечисленных факторов приводит нас к выбору программируемого логического контроллера фирмы-производителя *OMRON*, модель *CPM2A-30CDR* (рисунок 8.1).



Рисунок 8.1 – Программируемый логический контроллер *CPM2A-30CDR*

Этот программируемый логический контроллер обладает следующими техническими характеристиками:

Напряжение питания 24В;

Количество входов 18;

Количество выходов 12.

Из переменных понятно, что входов и выходов контроллера хватает для реализации системы управления без дополнительных модулей расширения.

Так как контроллер рассчитан на напряжение питания 24В постоянного тока, то система должна содержать блок питания.

Сигналы для определения положения частей системы будут поступать с датчиков, расположенных в соответствующих местах установки согласно рисунку 2. Индуктивные датчики которые должны быть подобраны по конструктивным особенностям механических частей системы.

Кроме контроллера и блока питания в системе будет использован пульт управления. Сигналы, поступающие на сигнальные лампы пульта управления, будут подключены параллельно датчикам и выходам контроллера.

В системе для привода в движение исполнительных механизмов работают два электропривода на базе асинхронных электродвигателей переменного тока:

– привод заслонки 1 кВт;

– привод рольганга 1,5 кВт;

и один привод постоянного тока:

– привод толкателя 6 кВт.

Привод заслонки и привод толкателя являются реверсивными, так как должны совершать возвратно-поступательные движения в обе стороны. Сигналы с контроллера будут поступать на реверсивные пары магнитных пускателей.

Привод рольганга является неререверсивным и движение будет происходить только в одну сторону. Поэтому будет применен неререверсивный магнитный пускатель.

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	86
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель работы – проектирование автоматизированного электропривода участка подачи заготовок в методическую печь достигнута.

В процессе достижения поставленной цели в рамках выполнения выпускного квалификационного проекта рассмотрены и решены следующие задачи:

- 1) на основе литературных источников изучен автоматизируемый технологический процесса, составлено его описание;
- 2) разработана функциональная схема автоматизации тех. процесса;
- 3) произведен качественный выбор системы электропривода;
- 4) обоснован выбор рода тока и типа электродвигателя;
- 5) на основе расчета моментов статических сопротивлений выполнен расчет электродвигателя;
- 6) выбрана и описана система управления проектируемым механизмом;
- 7) исследованы характеристики системы «Преобразователь – Двигатель»;
- 8) выбран программируемый контроллер, как основа автоматизации проектируемого механизма;
- 9) разработана электрическая принципиальная схема разрабатываемой системы автоматизации.

									Лист
									87
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ				

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Борисов, А.М. Автоматизация технологических процессов (технические средства, проектирование, лабораторный практикум): Учебное пособие ./ Н.Е. Лях. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ. 2001. – Ч.1. – 404 с.
2. Митин, Г.П. Условные обозначения в отечественных и зарубежных электрических схемах. – М.: Изумруд, 2003. –224 с.
3. Нестеров, А.С. Методические указания к проведению лабораторных работ на лабораторном комплексе «Средства автоматизации и управления SIEMENS «САУ-МАКС». – Челябинск: «Учтех-Профи», 2013. – 100 с.
4. Ключев, В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
5. Драчев, Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие к курсовому проектированию. - Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1998. – 160 с.
6. Яуре, А.Г., Певзнер Н.М. Крановый электропривод: справочник. М.: Энергоатомиздат, 1988. –344 с.
7. Анфимов, М.И. Редукторы: конструкция и расчёт: Альбом. – М.: Машиностроение, 1993. – 432 с.
8. Драчев, Г.И. Теория электропривода: учебное пособие в 2 ч. / Г.И. Драчев. - Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005. – Ч.1. –207 с; Ч.2. – 203 с.
9. Ключев, В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов / В.И. Ключев. М.: Энергоатомиздат, 2001. –704 с.
10. Программируемые устройства автоматизации : Учеб.пособие / А. М. Борисов, Н. Е. Лях, А.С Нестеров. Челябинск. Изд-во ЮУрГУ. 2010г.
11. Средства автоматизации и управления : Учеб.пособие / А. М. Борисов, А. С. Нестеров. Челябинск. Изд-во ЮУрГУ. 2007г. – 207с.
12. Автоматизация технологических процессов : Учеб.пособие / А. М. Борисов, Н. Е. Лях. Изд-во Челяб. гос. техн. ун-та, 1997. – 180 с.

									Лист
									88
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

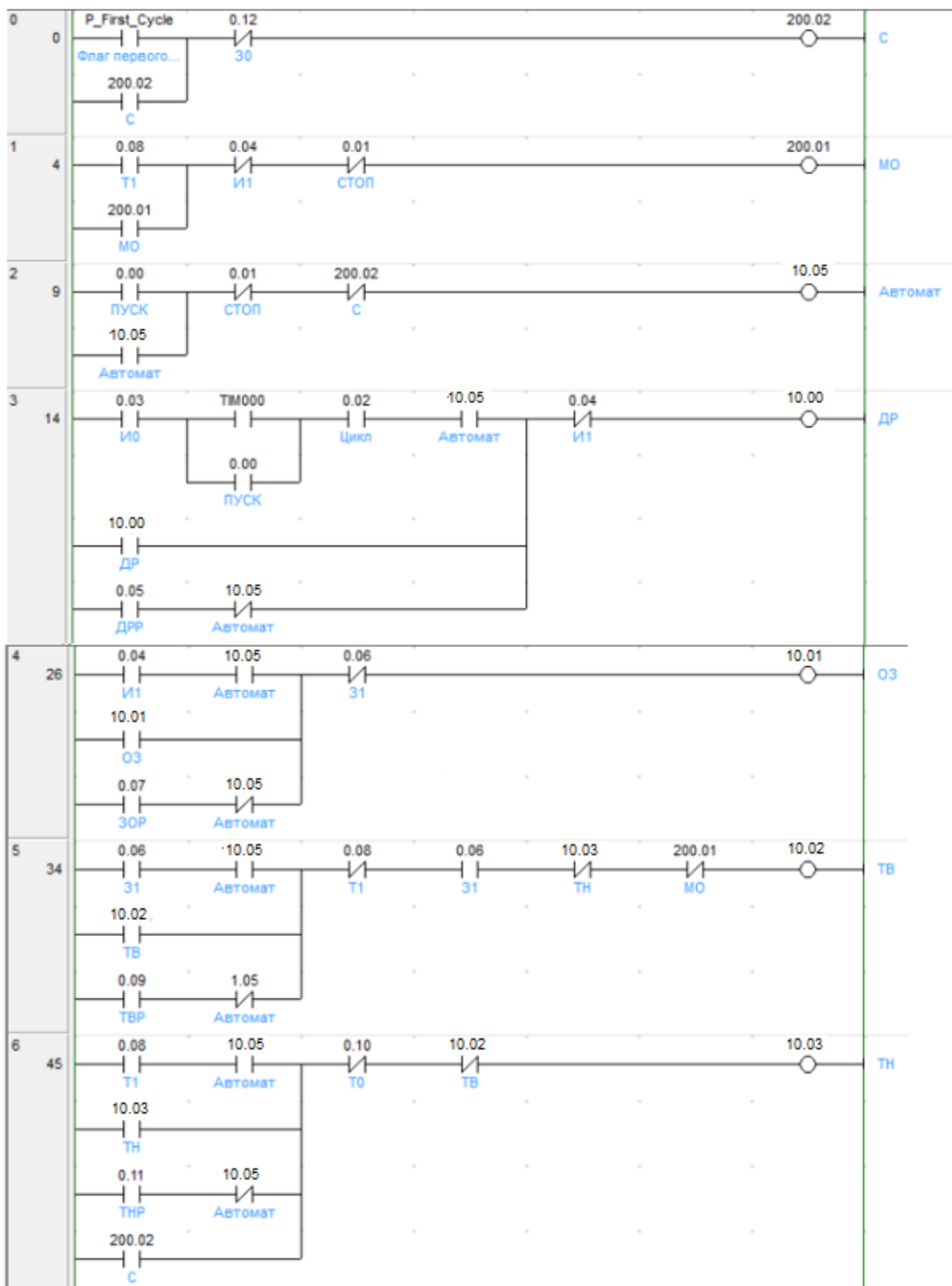
ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ

13. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие/А.С.Клюев, Б.В.Глазов, А.Х.Дубровекий, А.А.Клюев; Под ред. А.С.Клюева, 2-е изд., перераб. и доп.-М: Энергоатомиздат, 1990. 464 с.

14. Справочник проектировщика АСУТП /Г.Л. Смиляпский, Л.З. Амлинский, В.Я. Баранов и др.; Машиностроение.1983. 527 с.

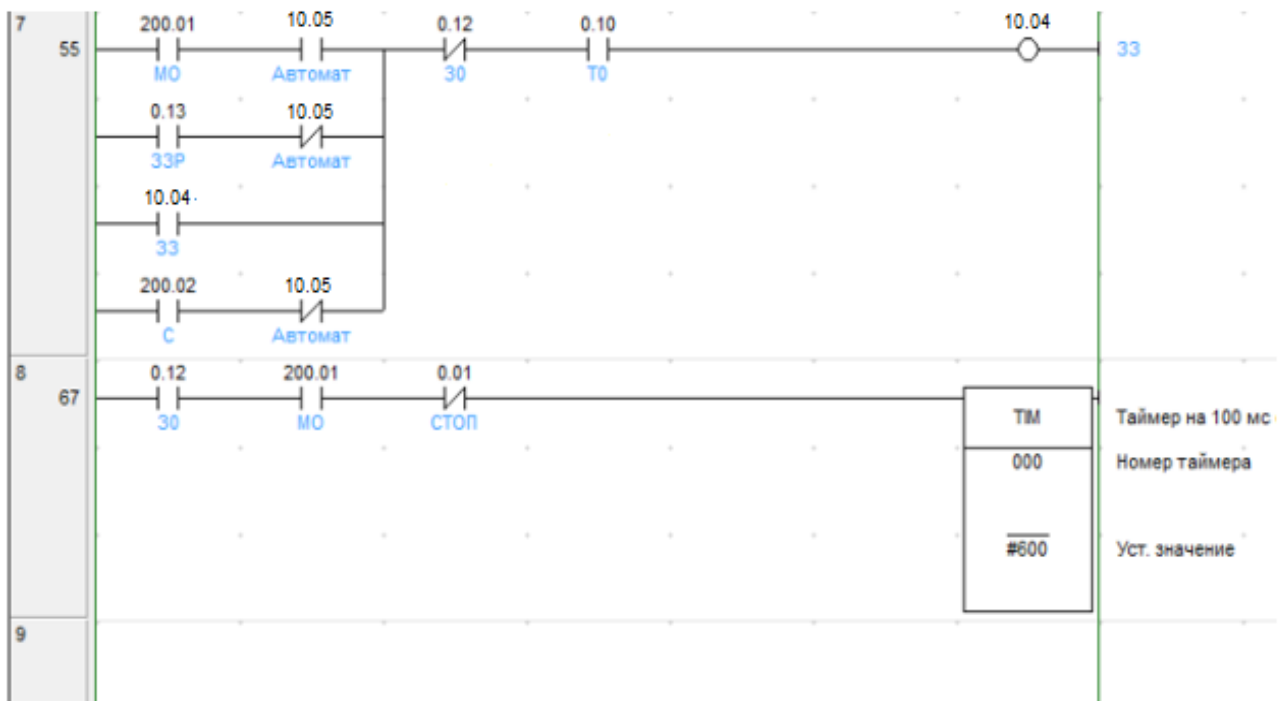
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

ПРИЛОЖЕНИЕ А УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА КОНТРОЛЛЕРА

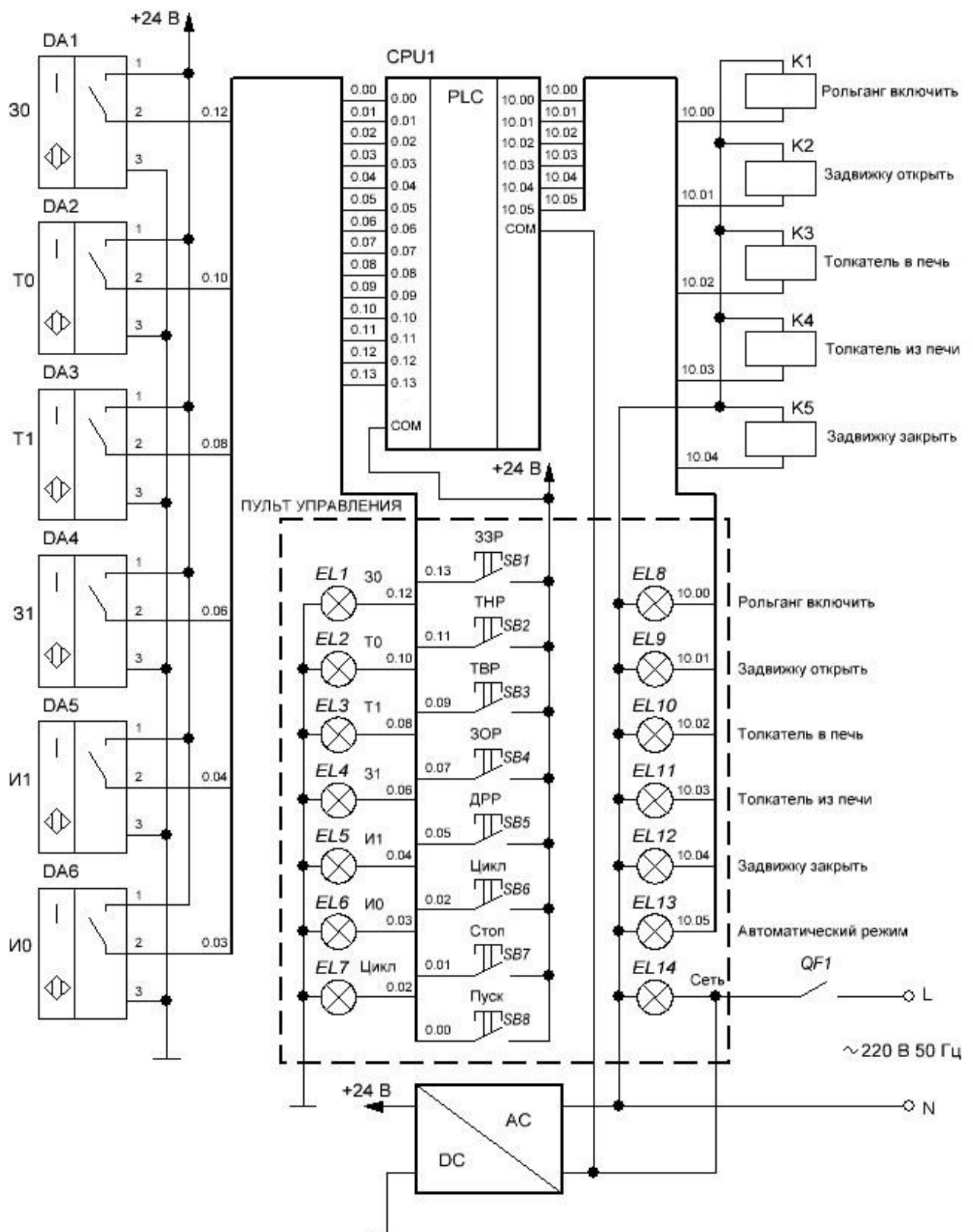


Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА КОНТРОЛЛЕРА



ПРИЛОЖЕНИЕ В. СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПАЛЬНАЯ



ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.02ЭЗ ВКП

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Бабич П.М.		
Провер.		Горожанкин А.Н.		
Реценз				
Н. Контр.		Бычков А.Е.		
Утверд.		Шишков А.Н.		

Приложение Б
Схема электрическая
принципиальная

Лит. Лист Листов

3 5

ЮУрГУ
Кафедра «АЭП»

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

БО – блок ограничения;

ВКП – выпускной квалификационный проект;

ДР – движение рольганга;

ЗЗ – закрытие заслонки;

КПД – коэффициент полезного действия;

КРС – контур регулирования скорости;

КРТЯ – контур регулирования тока якоря;

ОЗ – открытие заслонки;

П – пропорциональный (регулятор);

ПВ – относительная продолжительность включения;

ПИ – пропорционально-интегральный (регулятор);

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ТВ – движение толкателя вперед;

ТН – движение толкателя назад;

ТСП – трансформатор силовой для полупроводниковых преобразователей;

ЭДС – электродвижущая сила;

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.540.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94