

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 участка машины непрерывного
литья заготовок

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОМУ КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ

ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ВКП

Руководитель проекта:

Доцент, к.т.н.

_____/А.Н. Горожанкин/

“ ____ ” _____ 2019 г.

Автор проекта

студент группы _____

_____/К.В. Сивков/

“ ____ ” _____ 2019 г.

Нормоконтролер

Доцент, к.т.н.

_____/А.Е. Бычков/

“ ____ ” _____ 2019 г.

Челябинск
2019 г.

ЮУрГУ
Кафедра АЭП

АННОТАЦИЯ

Сивков К.В. Автоматизированный электропривод участка машины непрерывного литья заготовок. – Челябинск: ЮУрГУ, ПЗ–576; 2019, 73 с., 17 ил., 11 табл, библиографический список – 17 наим., 1 лист чертежей ф. А3

В выпускной квалификационном проекте (ВКП) рассмотрены вопросы автоматизации электропривода участка непрерывного литья заготовок.

Целью выпускного квалификационного проекта – является разработка автоматизированного электропривода участка машины непрерывного литья заготовок.

Произведен расчет силовой части электропривода машины непрерывного литья заготовок – привода транспортного рольганга. Выполнен расчет, предварительный выбор электродвигателя, оценка его работоспособности в составе рассматриваемого механизма по нагреву и производительности, корректировка выбора. Приведена статическая характеристика разработанного электропривода.

Разработана схема автоматизации транспортного рольганга, 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, автоматизация, технологический процесс, непрерывное литье.

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Сивков К.В.</i>			Автоматизированный электропривод участка машины непрерывного литья заготовок	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Горожанкин</i>					4	73
<i>Реценз</i>						ЮУрГУ Кафедра АЭП		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Бычков А.Е.</i>						
<i>Утверд.</i>		<i>Шишков А.Н.</i>						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ОПИСАНИЕ АВТОМАТИЗИРУЕМОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И МЕХАНИЗМОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЕГО ПРОВЕДЕНИЕ	10
1.1 Описание технологического процесса.....	10
1.2 Общие сведения о транспортных рольгангах	12
1.3 Технологическая схема линии рольганга на МНЛЗ-4	14
1.4 Формулировка требований, предъявляемых к электроприводу	15
2 РАСЧЕТ СИЛОВОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	17
2.1 Исходные данные для проектирования	17
2.2 Расчет моментов статических сопротивлений и предварительный расчет мощности электродвигателя	18
2.3 Предварительный выбор электродвигателя.....	27
2.4 Выбор редуктора.....	28
2.5 Приведение статических моментов к валу двигателя.....	29
2.6 Приведение моментов инерции и коэффициентов жесткости к валу двигателя.....	32
2.7 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности	35
2.9 Выбор основных элементов силовой цепи	39
3 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА	41
4 АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ МНЛЗ.....	43
4.1 Описание автоматизируемого технологического процесса	44
4.2 Формулировка требований к системе автоматизации	45
4.3 Составление списка сигналов системы автоматизации.....	46
4.4 Разработка функциональной схемы системы автоматизации.....	54
4.5 Выбор элементной базы системы автоматизации	56
4.5.1 Исполнительные устройства	56
4.5.2 Датчики состояния объекта автоматизации	57
4.5.3 Программируемый контроллер.....	60

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП	5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4.6 Разработка схемы электрической принципиальной системы автоматизации	61
4.7 Разработка алгоритма работы системы автоматизации.....	62
4.7 Разработка управляющей программы контроллера системы автоматизации.....	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	68
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	69
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ А	71
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	72
ПРИЛОЖЕНИЕ В	73

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Идея организации разливки стали в форме непрерывного технологического процесса впервые была сформулирована еще в XIX веке английским инженером Генри Бессемером. Он предложил разливать сталь непрерывным потоком между двумя группами охлаждаемых водой валков. Однако, технологические возможности для реализации такого процесса появились значительно позже, в середине XX века. В СССР первая машина непрерывного литья заготовок была запущена в эксплуатацию в 1955 году на заводе «Красное Сормово» под руководством академика И.П. Бардина и была высоко оценена руководством страны присуждением ему Ленинской премии.

Основой процесса непрерывного получения отливки является кристаллизация слитка при непрерывном перемещении металла из зоны заливки через зону кристаллизации в зону его дальнейшей транспортировки.

В зависимости от вида и подвижности формирующих отливку устройств различают два типа машин непрерывного литья:

- 1) с подвижным кристаллизатором в виде двух синхронно движущихся непрерывных лент;
- 2) с неподвижным или качающимся кристаллизатором скольжения, из которого непрерывно вытягивается кристаллизующийся слиток.

В настоящее время в сталеплавильном производстве наибольшее распространение получили установки второго типа (литье в неподвижный кристаллизатор).

На предприятиях тяжелого машиностроения, занятых проектированием и изготовлением установок для непрерывной разливки, агрегат в целом получил название «машина непрерывного литья заготовок» (МНЛЗ).

Широкое распространение данного метода получения заготовок обусловлено целым рядом его преимуществ:

- 1) вследствие снижения обрезки головной и донной (хвостовой) частей

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

слитка на 10-20% уменьшается расход металла (получают один слиток вместо многих);

2) возможность реализации оптимальных массогабаритных параметров заготовки, обусловленной особенностями работы современных прокатных станов;

3) снижение капитальных затрат на сооружение металлургического завода (из структуры завода исключены парк изложниц, отделение для их подготовки и извлечения из них слитков);

4) уменьшение энергетических затрат (как для нагрева металла под прокатку, так и для работы обжимных станов);

5) увеличение степени однородности металла, улучшение его качества вследствие статически стабилизированных во времени процессах кристаллизации и затвердевания металла;

6) повышение производительности и улучшение условий труда (из технологического процесса исключен ряд тяжелых и трудоемких операций по установке изложниц, уборке и т. п.), создание предпосылок для полной автоматизации и механизации процесса разливки, уменьшения числа обслуживающего персонала.

В ВКР рассматривается актуальная тема разработки системы автоматизации электропривода участка непрерывного литья заготовок.

Цель работы – разработка автоматизированного электропривода участка машины непрерывного литья заготовок.

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 и механизмов, обеспечивающих его проведение;

2) выполнить расчет силовой части электроприводов:

– тянущих валков;

– транспортного рольганга;

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП				

- 3) рассчитать статические характеристики рассматриваемых электроприводов;
- 4) разработать систему автоматизация работы транспортного рольганга:
- функциональную схему системы автоматизации;
 - схему электрическую принципиальную;
 - алгоритм работы системы автоматизации;
 - управляющую программу контроллера.

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП	9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 ОПИСАНИЕ АВТОМАТИЗИРУЕМОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И МЕХАНИЗМОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЕГО ПРОВЕДЕНИЕ

1.1 Описание технологического процесса

МНЛЗ машина непрерывного литья заготовок (рисунок 1.1) (эквивалентное название УНРС установка непрерывной разливки стали). В настоящее время более 60% заготовок, полученных методом литья, производятся с использованием технологии непрерывного литья. Сталь в расплавленном состоянии непрерывным потоком заливается в охлаждаемую водой форму, называемую кристаллизатором. При запуске процесса непрерывной отливки в кристаллизатор вводится отрезок будущей отливки устройство с замковым захватом на конце («затравка»). Затравка выполняет функцию «пробки» или «дна» для первой порции металла. По мере затвердевания расплавленного металла затравка вытягивается из кристаллизатора, увлекая за собой формирующийся слиток. Жидкий металл продолжает поступать из промежуточного ковша, слиток непрерывно удлиняется. Непосредственно в кристаллизаторе затвердевают лишь поверхностные слои металла. При этом образуется твердая оболочка слитка, сохраняющая жидкую фазу внутри, вдоль центральной оси. Поэтому вслед за кристаллизатором слиток проходит зону вторичного охлаждения, называемую иногда зоной вторичной кристаллизации. Перемещаясь в зоне вторичной кристаллизации, охлаждаемый водой слиток затвердевает вдоль всего сечения. Такой процесс образования слитков является способом получения заготовок неограниченной длины. При этом в сравнении с разливкой в изложницы значительно сокращаются потери металла на обрезаемые концы слитков, что составляет 20-25% экономии в весе готовой продукции. Более того, благодаря непрерывности процессов литья и кристаллизации, достигается более полная равномерность кристаллической структуры слитка вдоль всей его длины.

									Лист
									10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП				

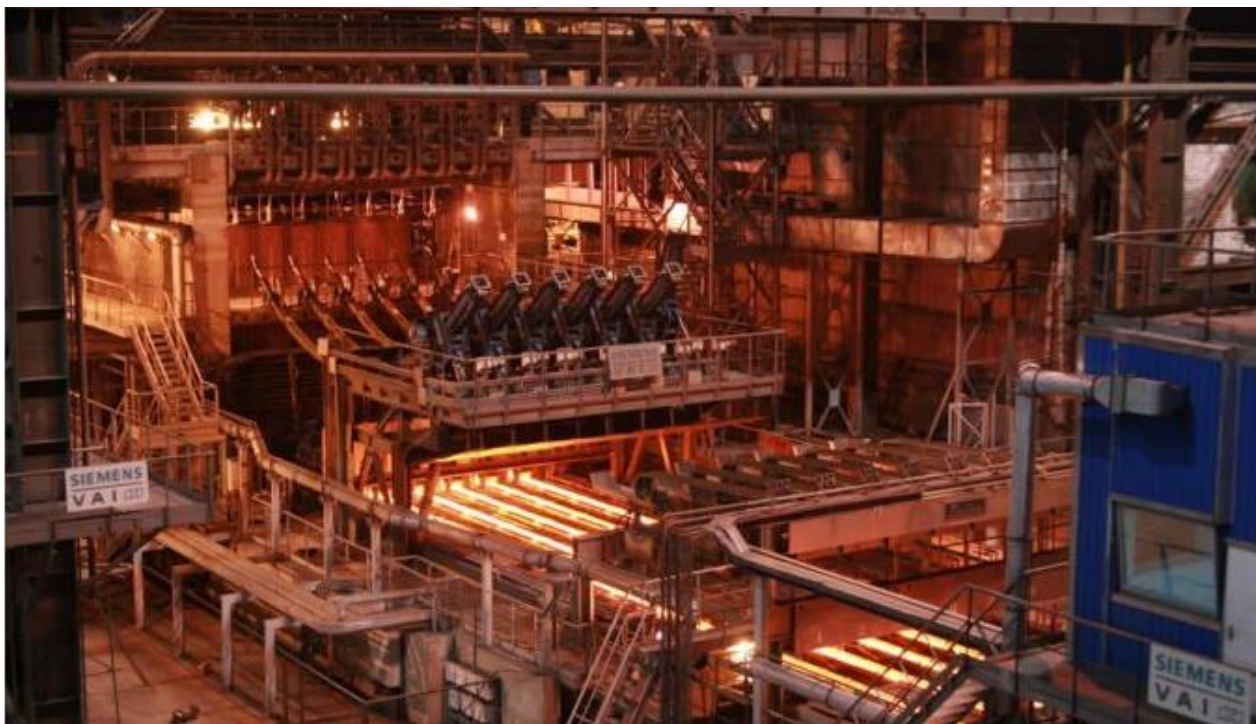


Рисунок 1.1 – Общий вид МНЛЗ

В зависимости от размеров получаемых слитков машины непрерывного литья заготовок делятся на:

- а) слябовые;
- б) блюмовые;
- в) заготовочные.

Устройство машины непрерывного литья заготовок:

- а) блок металлоприемника-кристаллизатора (БМК);
- б) зона вторичного охлаждения (ЗВО);
- в) тянущее правильное агрегат (ТПА);
- г) промежуточный рольганг;
- д) устройство порезки заготовок;
- е) рольганг резки;
- ж) транспортировочный рольганг;
- з) разгрузочный рольганг;
- и) механизм уборки заготовок.

Для разделения непрерывного слитка на заготовки мерной длины в настоящее время применяют газокислородные устройства резки и ножницы.

Газокислородные устройства резки в сравнении с ножницами обладают следующими преимуществами:

- а) относительная простота конструкции;
- б) компактность применяемого оборудования;
- в) неприхотливость в работе и простота в обслуживании.

Наряду с этим существуют и некоторые недостатки:

- а) снижение выхода годного металла;
- б) меньшая скорость реза;
- в) потребность в расходных материалах (ацетилен, кислород);
- г) необходимость в использовании устройств газоочистки.

1.2 Общие сведения о транспортных рольгангах

В настоящее время автоматические транспортные линии – рольганги, являются неотъемлемой частью большинства технологических процессов, так или иначе связанных с перемещением большого количества тяжелых грузов. Рольганг, в переводе с немецкого языка: «роликовый конвейер», является средством транспортировки грузов с помощью последовательности расположенных на небольшом расстоянии друг за другом роликов.

Рольганги обычно применяются в качестве транспортной системы для перемещения досок, ящиков, коробок, грузов на специальных поддонах, листовых материалов, а также насыпных грузов в мешочной таре.

Грузы перемещаются под воздействием вращающихся роликов.

Элементы рольгангов применяются в качестве составных частей перегрузочных и погрузочных транспортных систем и в прочих производственных целях.

Машины непрерывного литья заготовок относятся к сложным

									Лист
									12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП				

технологическим агрегатам непрерывного действия, с большой единичной производительностью, работающим в условиях интенсивных нагрузок в неблагоприятной окружающей среде. Интегральная производительность МНЛЗ во многом зависит от технического состояния всех его технологических агрегатов, в том числе рольгангов.

Современные машины непрерывного литья заготовок характеризуются поточным построением последовательно выполняемых технологических процессов обработки металла, поэтому суммарная длина используемых рольгангов весьма значительна, а их масса составляет до 20% от общей массы всего механического оборудования МНЛЗ.

Для поддержания технологического и транспортного оборудования в работоспособном состоянии на предприятиях металлургии применяют системы предупредительного технического обслуживания и ремонта машин и агрегатов, призванные обеспечить безотказную работу всего оборудования в межремонтный период. Важным компонентом системы поддержания оборудования в работоспособном состоянии являются системы технической диагностики.

Непрерывный во времени контроль текущего состояния технологического и транспортного оборудования, своевременная замена вышедших из строя и выработавших свой ресурс узлов и агрегатов позволяет поддерживать на требуемом уровне качество выпускаемого проката и снизить до статистически ничтожного уровня вероятность возникновения аварий и внеплановых остановок. Кроме этого широкое применение систем технической диагностики оборудования машин непрерывного литья заготовок позволяет заблаговременно подготовиться к выполнению плановых ремонтных работ, уменьшить объем операций визуального и метрологического контроля состояния оборудования и за счет сокращения времени внеплановых простоев увеличить коэффициент использования агрегатов и общую производительность МНЛЗ.

									Лист
									13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП				

1.3 Технологическая схема линии рольганга на МНЛЗ-4

На МНЛЗ-4 ОАО «ЧМК» используется шестиручьевой рольганг. Ролик приводится в движение асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором через редуктор.

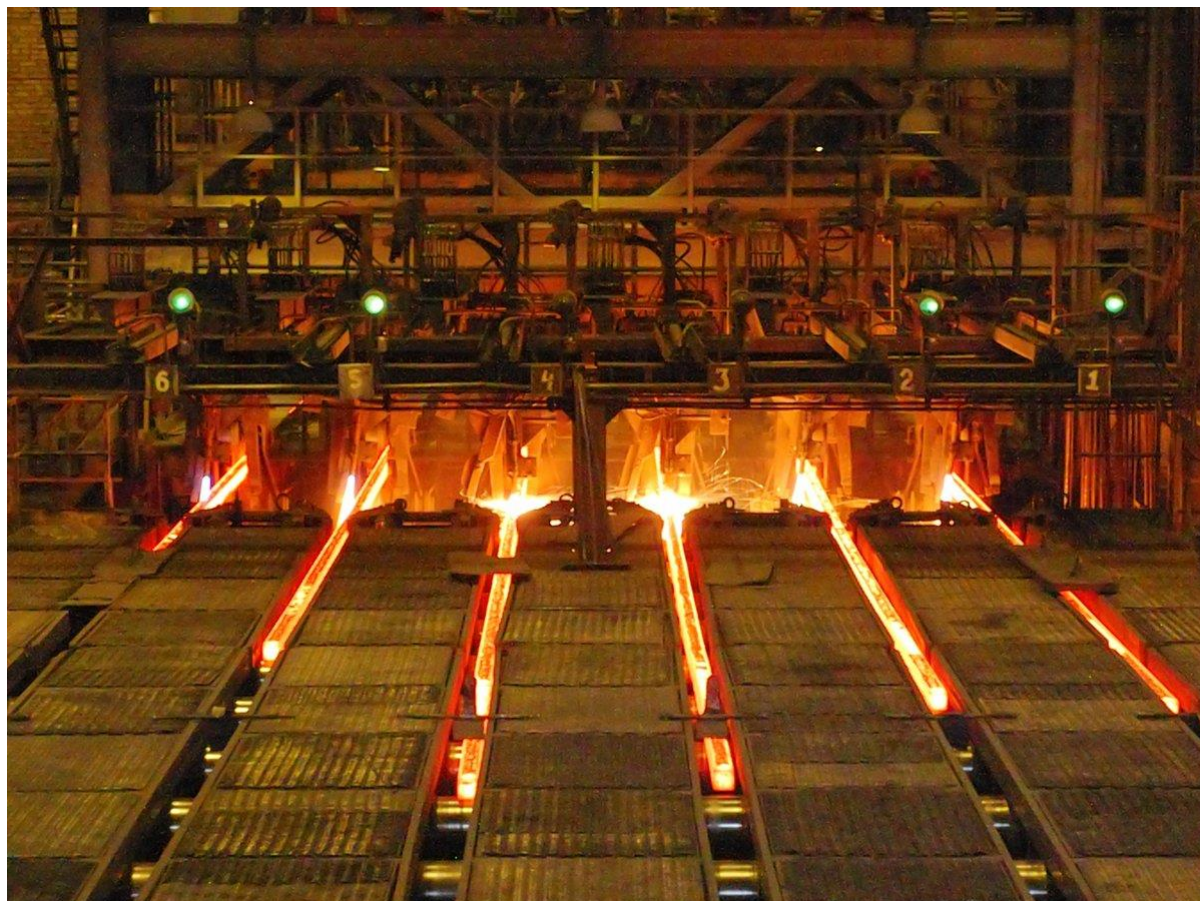


Рисунок 1.2 – Схема рольгангов

Цель модернизации:

- а) максимально автоматизировать процесс управления электроприводами рольганга;
- б) исключить появления брака за счет транспортировки;
- в) обеспечить автоматический и ручной режимы управления рольгангом, совместное и раздельное управление группами и секциями рольганга;
- г) обеспечить автоматический и ручной режим управления рольгангом 1 и рольгангом 2;

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП	14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

д) обеспечить всесторонний автоматический контроль работы всех звеньев АСУ ТП и электропривода с визуализацией происходящих процессов;

е) обеспечить интеграцию системы управления рольгангом в автоматизированную систему управления прокатного стана;

ж) исключить потребление реактивной мощности приводом рольганга.

1.4 Формулировка требований, предъявляемых к электроприводу

Основные требования, которые должен учитывать разработчик электропривода:

1) технологические:

– должна быть обеспечена заданная производительность механизма, практически никогда снижение производительности оборудования не окупается снижением его стоимости;

– перемещение исполнительного органа должно выполняться в пределах отведенного времени;

– ускорение исполнительного органа машины не должно превышать заданного (допустимого) значения;

– отклонение скорости движения (вращения) исполнительного органа в установившемся режиме не должно превышать заданного значения;

– по требованиям обеспечения технологического процесса электропривод должен обеспечивать реверсное движение исполнительного механизма.

2) к требованиям, обеспечивающим надежную и экономичную работу электропривода в течение срока эксплуатации оборудования, относятся:

– величина эквивалентного тока (момента) должна быть в пределах 0,85...1 ее допустимого значения;

– преобразователь и электродвигатель должны выдерживать возможные кратковременные перегрузки без повреждения;

– экономичность системы электропривода должна быть максимальной,

									Лист
									15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП				

обеспечивающей максимальный КПД и минимум долговременных затрат на ремонт и обслуживание.

С учетом тяжелых условий эксплуатации в рольгангах, как правило, используют специальные рольганговые асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, обладающие повышенным скольжением и низким коэффициентом мощности.

Кроме указанных выше особенностей рольганговых асинхронных двигателей следует отметить некоторые специфические свойства рольганга как объекта управления:

- а) большие динамические моменты при разгоне и торможении из-за высоких значений приводного момента инерции;
- б) наличие режимов буксования роликов;
- в) необходимость режимов токоограничения и эффективной защиты от перегрузок;
- г) необходимость эффективных тормозных режимов;
- д) возможность дистанционного управления от контактных, либо бесконтактных командоаппаратов.

С учетом перечисленных особенностей и технологических требований для управления делаем вывод, что электропривод рольганга должен обладать высоким быстродействием, повышенной перегрузочной способностью. На практике реализуют режимы частотного пуска, электродинамического торможения, реверсирования с программно-задаваемым темпом. Рольганг должен быть приспособлен для дистанционного управления дискретными либо аналоговыми сигналами различных командоаппаратов. Должна обеспечиваться надежная защита оборудования в аварийных режимах.

										Лист
										16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП					

2 РАСЧЕТ СИЛОВОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

2.1 Исходные данные для проектирования

Основные технические данные транспортной системы машины непрерывного литья заготовок приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические данные транспортной системы МНЛЗ

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Масса ролика	m_p	т	0,7
Масса заготовки	m_z	т	1,5
Диаметр ролика	D	м	0,45
Диаметр шейки ролика	$d_{ст}$	м	0,12
Коэффициент трения скольжения в подшипниках	$\mu_{п}$	–	0,015
Коэффициент трения скольжения металла по роликам при буксовании	$\mu_б$	–	0,3
Коэффициент трения качения металла по роликам	f	см	0,15
Крутильная жесткость	C_k	МН·м/рад	50
Длина заготовки	L	м	6
Скорость роста отливки	v_p	м/с	0,05
Допустимое ускорение	$a_{доп}$	м/с ²	0,5
Момент инерции ролика	J_p	кгм ²	17,7
Момент инерции тормозного шкива	$J_{ш}$	кгм ²	0,4
Момент инерции продольного вала	$J_в$	кгм ²	5
Число роликов	N	шт.	8
Длина транспортного рольганга	l_1	м	8
Длина затравки	l_2	м	3
Длина отрезанной заготовки	l_3	м	6
Масса затравки	$M_{затр}$	кг	750
Скорость транспортного рольганга	$v_т$	м/с	0,25

2.2 Расчет моментов статических сопротивлений и предварительный расчет мощности электродвигателя

Предварительный расчет мощности двигателя производится приближенно, поскольку на данном этапе проектирования неизвестна полная нагрузка двигателя. Исходными данными могут служить лишь статические нагрузки.

На основе исходных данных построим диаграмму скорости рабочей машины от времени $V(t)$. Для этого определим:

1) время пуска t_n до установившейся скорости с допустимым ускорением и время торможения t_m от установившейся скорости до нуля:

$$t_{\Pi} = t_{\Gamma} = \frac{V}{a_{\max}} = \frac{0,25}{0,5} = 0,5 \text{ с}; \quad (1)$$

2) расстояние, проходимое затравкой при работе транспортного рольганга в реверсном направлении:

$$L_p = l_1 + l_2 = 8 + 3 = 11 \text{ м}; \quad (2)$$

3) время прохождения затравки по транспортному рольгангу в реверсном направлении:

$$t_{\text{рев}} = \frac{L_1}{V} = \frac{11}{0,25} = 44 \text{ с}; \quad (3)$$

4) расстояние, которое проходит заготовка по транспортному рольгангу в прямом направлении:

$$L_{\Pi} = l_1 + l_3 = 8 + 6 = 14; \quad (4)$$

5) время прохождения заготовки по транспортному рольгангу в прямом направлении:

$$t_{\text{пр}} = \frac{l_3}{V} = \frac{14}{0,25} = 56 \text{ с}; \quad (5)$$

6) период времени между поступлением заготовок на транспортный рольганг:

$$t_{\text{ц}} = \frac{l_3}{V_p} = \frac{6}{0,05} = 120 \text{ с}; \quad (6)$$

Скорость перемещения заготовки транспортным рольгангом больше скорости кристаллизации металла и роста длины заготовки в рабочей машине, следовательно, в рабочем цикле рольганга присутствует фаза холостого хода,

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП	18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

когда одна заготовка уже покинула транспортный рольганг, а следующая еще не поступила на него. Длительность фазы холостого хода транспортного рольганга:

$$t_{\text{хх}} = t_{\text{ц}} - t_{\text{пр}} = 120 - 56 = 64 \text{ с.} \quad (7)$$

Определяем момент статического сопротивления, создаваемого рольгангом в различных режимах его работы:

$$M = M_{\text{хх}} + M_{\text{ст.раб}}, \quad (8)$$

где $M_{\text{хх}}$ – момент статического сопротивления холостого хода;

$M_{\text{ст.раб}}$ – момент, создаваемый транспортировкой груза по рольгангу.

Режим холостого хода. Рольганг свободен, статический момент сопротивления определяется потерями в подшипниках:

$$M_{\text{хх}} = \frac{m_1 \cdot n \cdot d_{\text{ш}} \cdot \mu_{\text{с}} \cdot g}{2 \cdot \eta_{\text{р}}}, \quad (9)$$

где m_1 – масса одного ролика рольганга;

n – количество роликов, образующих единую кинематическую цепь и приводимых во вращение одним электродвигателем;

$d_{\text{ш}}$ – диаметр шейки вала ролика рольганга;

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

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

$\eta_{\text{р}} = 0,7$ – коэффициент полезного действия редуктора и передачи.

Подставим числовые значения в выражение (9), выполним расчет:

$$M_{\text{хх}} = \frac{700 \cdot 8 \cdot 0,12 \cdot 0,015 \cdot 9,81}{2 \cdot 0,7} = 70,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент, создаваемый транспортировкой груза по рольгангу:

$$M_{\text{рев}} = \frac{m \cdot g \cdot f}{\eta_{\text{р}}}, \quad (10)$$

где m – масса перемещаемого по рольгангу слитка металла;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

f – коэффициент трения качения слитка по ролям (для горячего металла);

$\eta_{\text{р}}$ – коэффициент полезного действия редуктора и передачи.

Подставим числовые значения в выражение (10), выполним расчет.

						Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Реверсный режим работы рольганга. Затравка движется по рольгангу в реверсном направлении. Момент транспортировки затравки по рольгангу:

$$M_{\text{ст.раб}} = \frac{750 \cdot 9,81 \cdot 0,005}{0,7} = 52,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент статического сопротивления, создаваемого рольгангом при перемещении затравки в реверсном направлении

$$M_{\text{ст.1}} = M_{\text{хх}} + M_{\text{раб}} = 70,6 + 52,6 = 123,2 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (11)$$

Прямой режим работы рольганга. Заготовка движется по рольгангу в прямом направлении. Статический момент в установившемся режиме транспортировки заготовки по рольгангу:

$$M_{\text{ст.раб}} = \frac{1500 \cdot 9,81 \cdot 0,005}{0,7} = 105,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент статического сопротивления, создаваемого рольгангом при перемещении заготовки в прямом направлении:

$$M_{\text{ст.2}} = M_{\text{хх}} + M_{\text{раб}} = 70,6 + 105,2 = 175,8 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (12)$$

Для проверки двигателя по способности выдерживать кратковременные перегрузки, которые возникают в случаях проскальзывания заготовки по роликам рольганга, определяем статический момент в этой ситуации:

$$M_{\text{букс}} = M_{\text{хх}} + \frac{m \cdot \mu_6 \cdot g \cdot D}{2 \cdot \eta_p}, \quad (13)$$

где m_1 – масса перемещаемого груза;

D – диаметр поверхности катания ролика рольганга;

μ_6 – коэффициент трения скольжения в заготовки по поверхности катания роликов при буксовании;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

$\eta_p = 0,7$ – коэффициент полезного действия редуктора и передачи.

Подставим в выражение (13) числовые значения для ситуации пробуксовки слитка заготовки по роликам транспортного рольганга, выполним расчет:

$$M_{\text{букс}} = 70,6 + \frac{1500 \cdot 0,3 \cdot 9,81 \cdot 0,45}{2 \cdot 0,7} = 1490 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определяем динамические моменты, возникающие в транспортном рольганге.

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП	20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рассчитаем момент инерции рабочего органа:

$$J_{\text{ро}} = n \cdot J_{\text{р}} + J_{\text{в}} + m \cdot \frac{D^2}{4}, \quad (14)$$

где $J_{\text{в}}$ – момент инерции одного ролика;

n – количество роликов рольганга в одной кинематической цепи и приводимых во вращение одним электродвигателем;

$J_{\text{в}}$ – момент инерции продольного вала;

m – масса перемещаемого груза;

D – диаметр ролика.

Согласно выражению (14) момент инерции свободного транспортного рольганга (холостой ход):

$$J_{\text{ро.0}} = 8 \cdot 17,7 + 5 = 146,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент инерции транспортного рольганга с погруженной на него затравкой

$$J_{\text{ро.1}} = 8 \cdot 17,7 + 5 + \frac{750 \cdot 0,45^2}{4} = 184,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент инерции транспортного рольганга с погруженной на него заготовкой согласно (14)

$$J_{\text{ро.2}} = 8 \cdot 17,7 + 5 + \frac{1500 \cdot 0,4^2}{4} = 222,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определяем динамические моменты для каждого режима транспортного рольганга при заданной величине допустимого ускорения $a_{\text{доп}}$.

Динамический момент для заданного режима работы с учетом величины допустимого ускорения:

$$M_{\text{ро.дин}} = J_{\text{ро}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}}}{D}. \quad (15)$$

Динамический момент транспортного рольганга с погруженной на него затравкой согласно формуле (15):

$$M_{\text{ро.дин.1}} = 184,6 \cdot \frac{2 \cdot 0,5}{0,45} = 410 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамический момент транспортного рольганга с погруженной на него заготовкой согласно формуле (15):

									Лист
									21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП				

$$M_{\text{ро,дин.2}} = 222,5 \cdot \frac{2 \cdot 0,5}{0,45} = 1099 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Полный момент транспортного роляганга определяется суммой статического и динамического моментов:

$$M_{\text{ро}} = M_{\text{ро.ст}} + M_{\text{ро.дин}} \quad (16)$$

Первый участок. Пуск роляганга при введении затравки. Длительность участка:

$$t^1 = t_{\text{п}} = 0,5 \text{ с}; \quad (17)$$

$$M_{\text{ро}}^1 = -M_{\text{ро.ст1}} - M_{\text{ро.дин1}}; \quad (18)$$

$$M_{\text{ро}}^1 = -123,2 - 410 = -533,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Второй участок. Установившийся режим при введении затравки. Длительность участка:

$$t^2 = t_{\text{рев}} = 44 \text{ с}; \quad (19)$$

$$M_{\text{ро}}^2 = -M_{\text{ро.ст1}}; \quad (20)$$

$$M_{\text{ро}}^2 = -123,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Третий участок. Торможение при вводе затравки. Длительность участка:

$$t^3 = t_{\text{т}} = 0,5 \text{ с}; \quad (21)$$

$$M_{\text{ро}}^3 = -M_{\text{ро.ст1}} + M_{\text{ро.дин1}}; \quad (22)$$

$$M_{\text{ро}}^3 = -123,2 + 410 = 286,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Четвертый участок. Роляганг стоит. Ожидание поступления первого слитка. Длительность участка не имеет строго определенного значения. Определяется продолжительностью процедуры запуска процесса непрерывного литья заготовки.

$$M_{\text{ро}}^4 = 0. \quad (23)$$

Пятый участок. Пуск для перемещения заготовки вперед. Длительность участка:

$$t^5 = t_{\text{п}} = 0,5 \text{ с}; \quad (24)$$

$$M_{\text{ро}}^5 = M_{\text{ро.ст2}} + M_{\text{ро.дин2}}; \quad (25)$$

$$M_{\text{ро}}^5 = 175,8 + 1099 = 1274,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

						Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Шестой участок. Установившийся режим при перемещении заготовки вперед.
Длительность участка:

$$t^6 = t_{\text{пр}} = 56 \text{ с}; \quad (26)$$

$$M_{\text{po}}^6 = M_{\text{po.ст2}}; \quad (27)$$

$$M_{\text{po}}^6 = 175,8.$$

Седьмой участок. Ожидание поступления следующей отливки. Холостой ход свободного рольганга при движении вперед. Длительность участка:

$$t^8 = t_{\text{xx}} = 64 \text{ с}; \quad (28)$$

$$M_{\text{po}}^8 = M_{\text{xx}} = 70,6 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (29)$$

Далее последовательность действий циклично повторяется, начиная с участка б.

На рисунке 2.1 приведены зависимости скорости транспортного рольганга от времени $V(t)$ и нагрузочные диаграммы моментов для каждого режима работы.

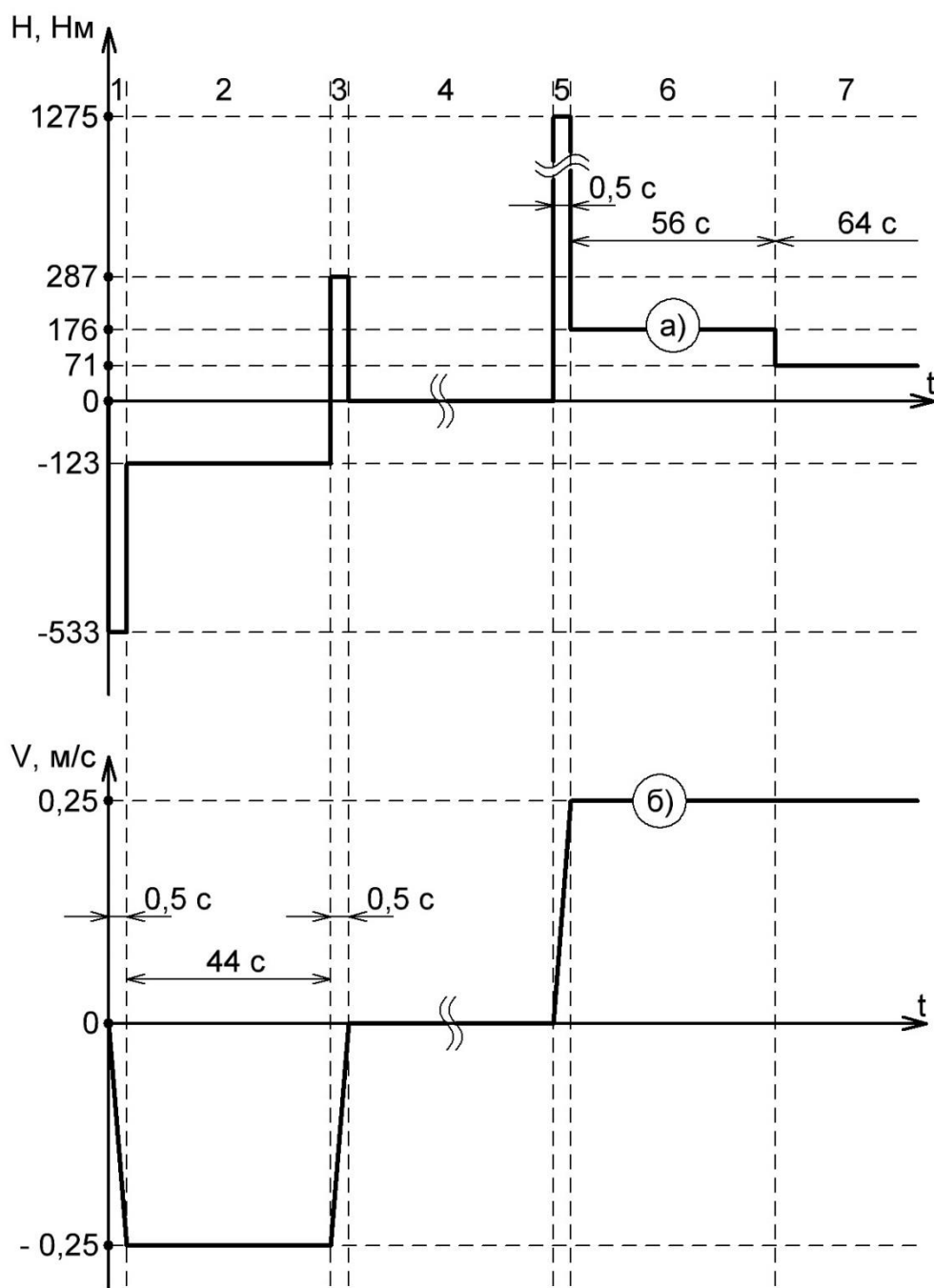


Рисунок 2.1 – Нагрузочные диаграммы: а) моментов транспортного рольганга для всех режимов его работы и б) скоростей

На диаграммах отображен процесс введения затравки (участки 1,2,3), процедура запуска машины непрерывной разливки (участки 4,5). Далее система переходит в режим циклической работы. Заготовка непрерывно растет в кристаллизаторе, вытягиваемая тянущими валками. При достижении заданной

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

длины 6 м, отрезается и поступает на транспортный рольганг для дальнейшего движения по технологическому маршруту. Фактически в длительном режиме рольганга циклически чередуются два участка: 6 – заготовка перемещается рольгангом в прямом направлении и 7 – холостой ход, рольганг вращается в ожидании поступления следующей заготовки.

Нагрузочная диаграмма скорости и моментов для установившегося режима работы машины непрерывной разливки стали представлена на рисунке 2.2.

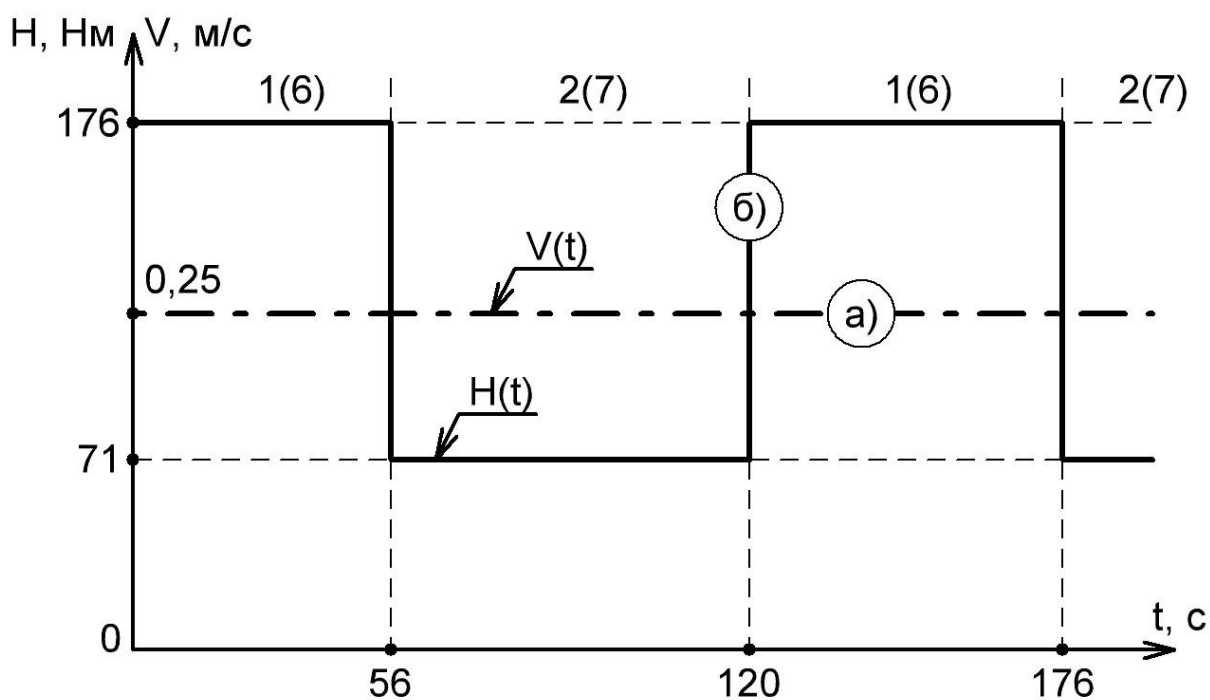


Рисунок 2.2 – Нагрузочные диаграммы а) скоростей и б) моментов для циклического режима работы транспортного рольганга

Анализ нагрузочной диаграммы показывает, что транспортный рольганг работает в перемежающемся режиме работы S6, ГОСТ 18311-80.

Рассчитаем среднеквадратичное значение момента:

$$M_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m M_k^2 \cdot t_k}{\sum_{k=1}^m t_k}}, \quad (30)$$

где M_k – момент на k -м участке;

k – номер участка в цикле;

m – количество участков в цикле;

t_k – длительность k -го участка.

Подставим числовые значения, произведем расчет:

$$M_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{176^2 \cdot 56 + 71^2 \cdot 64}{120}} = 131 \text{ Н} \cdot \text{м} . \quad (31)$$

Для непрерывного режима с кратковременной нагрузкой (S6) ПВ = 100%.

Определяем мощность электродвигателя:

$$P_{\text{дв}} = k_1 \cdot M_{\text{ср.кв}} \cdot \frac{2 \cdot V}{D} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{факт}}}{\text{ПВ}_{\text{кат}}}}, \quad (32)$$

где V – скорость перемещения груза рольгангом;

D – диаметр ролика;

$k_1 = 5$ – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, обусловленные вращающимися элементами электродвигателя (двигатель, редуктор), а также потери мощности в редукторе;

$\text{ПВ}_{\text{факт}}$ – фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого электродвигателя;

$\text{ПВ}_{\text{кат}}$ – ближайшее к $\text{ПВ}_{\text{ф}}$ каталожное значение относительной продолжительности включения для электродвигателя выбранной серии.

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

Для непрерывного режима с кратковременной нагрузкой следует выбирать двигатели специальных серий, предназначенных для этого режима. Выберем электродвигатель с номинальными данными при $\text{ПВ}_{\text{кат}}=100\%$. Тогда мощность двигателя:

Подставим в выражение (32) числовые значения, произведем расчет:

$$P_{\text{дв}} = 131 \cdot \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 5}{0,45} \cdot \sqrt{\frac{100}{100}} = 728 \text{ Вт} .$$

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП	26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.3 Предварительный выбор электродвигателя

Из асинхронных двигателей выберем двигатель АИР90LB8 ГОСТ Р 51689-2000. Выбор произведен по номинальной мощности при продолжительности включения ПВ=100%. Основные параметры электродвигателя представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Номинальные данные асинхронного электродвигателя АИР 90LB8 при ПВ=100%

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Номинальная мощность на валу	P_n	кВт	1,100
Cosφ	Cosφ	–	0,720
КПД	$\eta(\%)$	%	74
Номинальная частота вращения	n_n	об/мин	705
Номинальный ток при U=380В	I_n	А	2,200
Момент инерции ротора двигателя	$J_{дв}$	Кгм ²	0,009
Номинальный крутящий момент	M_n	Нм	14,796
Максимальный крутящий момент	$M_{макс}$	Нм	32,551

Выбранный двигатель имеет следующие достоинства: двигатели с короткозамкнутым ротором – самые распространенные из электрических двигателей, применяемых в промышленности, следовательно, достать такой двигатель, возможно, будет проще. Также электродвигатель с короткозамкнутым ротором не имеет подвижных контактов, как следствие, обладают высокой надежностью, КПД в двигателе с короткозамкнутым ротором выше, поэтому он более энергетически эффективен.

Из недостатков – сложность регулирования скорости вращения, но в приводе рольганга не требуется регулирование скорости вращения, также еще один из плюсов такого двигателя – это компактный размер, простота конструкции и

									Лист
									27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП				

неприхотливость в обслуживании.

2.4 Выбор редуктора

Выполним расчет передаточного числа редуктора привода транспортного рольганга:

$$j_p = \frac{\omega_n \cdot D}{2 \cdot v} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 705 \cdot 0,45}{60 \cdot 2 \cdot 0,25} = 66,4 . \quad (33)$$

При выборе редуктора исходим 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-160-63 с передаточным числом $j_p = 63$ и КПД, равным 96%. Основные характеристики редуктора представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Основные характеристики редуктора 1ЦЗУ-160-63

Тип редуктора	Передаточное число	Габаритные размеры	КПД	Масса, кг	Номинальный крутящий момент, Нм
1ЦЗУ-160-63	63	530×206×345	0,96	110	1250

2.5 Приведение статических моментов к валу двигателя

Выбрав редуктор, выполним расчет статических моментов транспортного рольганга, приведенных к валу двигателя, согласно выражению:

$$M_{pc} = \frac{M_{po.ct}}{j_p}; \quad (34)$$

где $M_{po.ct}$ – статический момент рабочего органа;

j_p – передаточное число редуктора.

По формуле (34) выполним расчет для всех участков циклограммы.

Первый участок. Пуск рольганга при введении затравки.

$$M_{pc1} = \frac{M_{po}^1}{j_p} = \frac{533,2}{63} = 8,46 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Второй участок. Установившийся режим при введении затравки.

$$M_{pc2} = \frac{M_{po}^2}{j_p} = \frac{-123,2}{63} = 1,96 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Третий участок. Торможение при вводе затравки.

$$M_{pc3} = \frac{M_{po}^3}{j_p} = \frac{286,8}{63} = 4,55 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Четвертый участок. Рольганг стоит. Ожидание поступления первого слитка.

$$M_{pc4} = \frac{M_{po}^4}{j_p} = \frac{0}{63} = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пятый участок. Пуск для перемещения заготовки вперед.

$$M_{pc5} = \frac{M_{po}^5}{j_p} = \frac{1274,8}{63} = 20,25 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Шестой участок. Установившийся режим при перемещении заготовки вперед.

$$M_{pc6} = \frac{M_{po}^6}{j_p} = \frac{175,8}{63} = 2,79 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Седьмой участок. Ожидание поступления следующей отливки. Холостой ход свободного рольганга при движении вперед.

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП	29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$M_{pc7} = \frac{M_{po}^8}{j_p} = \frac{70,6}{63} = 1,12 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

С учетом потерь в редукторе статический момент на валу в двигательном режиме рассчитывается согласно выражению:

$$M_{вс} = \frac{M_{pc}}{\eta_p}, \quad (35)$$

где η_p – коэффициент полезного действия редуктора.

По формуле (35) выполним расчет для всех участков циклограммы.

Первый участок. Пуск рольганга при введении затравки.

$$M_{вс1} = \frac{M_{pc1}}{\eta_p} = \frac{8,46}{0,96} = 8,81 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Второй участок. Установившийся режим при введении затравки.

$$M_{вс2} = \frac{M_{pc2}}{\eta_p} = \frac{1,96}{0,96} = 2,04 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Четвертый участок. Рольганг стоит. Ожидание поступления первого слитка.

$$M_{вс4} = \frac{M_{pc4}}{\eta_p} = \frac{0}{0,96} = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пятый участок. Пуск для перемещения заготовки вперед.

$$M_{вс5} = \frac{M_{pc5}}{\eta_p} = \frac{20,25}{0,96} = 21,09 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Шестой участок. Установившийся режим при перемещении заготовки вперед.

$$M_{вс6} = \frac{M_{pc6}}{\eta_p} = \frac{2,79}{0,96} = 2,91 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Седьмой участок. Ожидание поступления следующей отливки. Холостой ход свободного рольганга при движении вперед.

$$M_{вс7} = \frac{M_{pc7}}{\eta_p} = \frac{1,12}{0,96} = 1,17 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При работе электропривода в тормозных режимах моменты на валу двигателя рассчитывают согласно выражению:

$$M_{вст} = M_{pc} \cdot \eta_p$$

Третий участок. Торможение при вводе затравки.

						Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП	

$$M_{\text{вс3}} = \frac{M_{\text{рс3}}}{\eta_{\text{р}}} = 4,55 \cdot 0,96 = 4,37 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приведенные статические моменты системы электропривод – транспортный рольганг рассчитывают для каждого участка с учетом режима работы электропривода согласно выражению:

$$M_{\text{с}} = M_{\text{вс}} + \Delta M_{\text{х}}, \quad (36)$$

где $\Delta M_{\text{х}}$ – момент потерь холостого хода двигателя.

$$\Delta M_{\text{х}} = 0,05 \cdot M_{\text{н}}, \quad (37)$$

где $M_{\text{н}}$ – номинальный момент двигателя рассчитываем по формуле:

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{750 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 705} = 10,2 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (38)$$

По формуле (38)

$$\Delta M_{\text{х}} = 10,2 \cdot 0,05 = 0,51 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По формуле (36) выполним расчет для всех участков циклограммы.

Первый участок. Пуск рольганга при введении затравки.

$$M_{\text{с1}} = M_{\text{вс1}} + \Delta M_{\text{х}} = 8,81 + 0,51 = 9,32 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Второй участок. Установившийся режим при введении затравки.

$$M_{\text{с2}} = M_{\text{вс2}} + \Delta M_{\text{х}} = 2,04 + 0,51 = 2,55 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Третий участок. Торможение при вводе затравки.

$$M_{\text{с3}} = M_{\text{вс3}} + \Delta M_{\text{х}} = 4,37 + 0,51 = 4,88 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Четвертый участок. Рольганг стоит. Ожидание поступления первого слитка.

$$M_{\text{с4}} = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пятый участок. Пуск для перемещения заготовки вперед.

$$M_{\text{с3}} = M_{\text{вс3}} + \Delta M_{\text{х}} = 21,09 + 0,51 = 21,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Шестой участок. Установившийся режим при перемещении заготовки вперед.

$$M_{\text{с6}} = M_{\text{вс6}} + \Delta M_{\text{х}} = 2,91 + 0,51 = 3,42 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Седьмой участок. Ожидание поступления следующей отливки. Холостой ход свободного рольганга при движении вперед.

$$M_{\text{с7}} = M_{\text{вс7}} + \Delta M_{\text{х}} = 1,17 + 0,51 = 1,68 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

						Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП	

2.6 Приведение моментов инерции и коэффициентов жесткости к валу двигателя

Суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции системы описывается выражением

$$J = \delta \cdot J_d + J_{пр}, \quad (39)$$

где J_d – момент инерции ротора двигателя;

$\delta = 1,3 \div 1,5$ – коэффициент, учитывающий момент инерции остальных элементов кинематической схемы: муфт, тормозного шкива, и др.;

$J_{пр}$ – суммарный момент инерции движущихся исполнительных органов транспортного рольганга и связанных с ними движущихся масс, приведенный к валу двигателя

$$J_{пр} = \frac{J_{po}}{j_p^2}, \quad (40)$$

где J_{po} – момент инерции вращающихся частей рольганга;

j_p – передаточное число редуктора.

По формуле (40) выполним расчет приведенного к валу двигателя момента инерции системы.

Первый участок. Пуск рольганга при введении затравки.

$$J_{пр.1} = \frac{J_{po}}{j_p^2} = \frac{184,6}{63^2} = 0,047 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Второй участок. Установившийся режим при введении затравки.

$$J_{пр.2} = \frac{J_{po}}{j_p^2} = \frac{184,6}{63^2} = 0,047 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Третий участок. Торможение при вводе затравки.

$$J_{пр.3} = \frac{J_{po}}{j_p^2} = \frac{184,6}{63^2} = 0,047 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Четвертый участок. Рольганг стоит. Ожидание поступления первого слитка.

$$J_{пр.4} = \frac{J_{po}}{j_p^2} = \frac{146,6}{63^2} = 0,037 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

									Лист
									32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП				

Пятый участок. Пуск для перемещения заготовки вперед.

$$J_{\text{пр.5}} = \frac{J_{\text{по}}}{j_{\text{р}}^2} = \frac{222,5}{63^2} = 0,056 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Шестой участок. Установившийся режим при перемещении заготовки вперед.

$$J_{\text{пр.6}} = \frac{J_{\text{по}}}{j_{\text{р}}^2} = \frac{222,5}{63^2} = 0,056 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Седьмой участок. Ожидание поступления следующей отливки. Холостой ход свободного рольганга при движении вперед.

$$J_{\text{пр.хх}} = \frac{J_{\text{по}}}{j_{\text{р}}^2} = \frac{146,6}{63^2} = 0,037 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции системы для n -го участка

$$J_n = \delta \cdot J_d + J_{\text{пр.}n} . \quad (41)$$

По формуле (41) выполним расчет для всех участков.

Первый участок. Пуск рольганга при введении затравки.

$$J_1 = \delta \cdot J_d + J_{\text{пр.1}} = 1,3 \cdot 0,009 + 0,047 = 0,059 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Второй участок. Установившийся режим при введении затравки.

$$J_2 = \delta \cdot J_d + J_{\text{пр.2}} = 1,3 \cdot 0,009 + 0,047 = 0,059 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Третий участок. Торможение при вводе затравки.

$$J_3 = \delta \cdot J_d + J_{\text{пр.3}} = 1,3 \cdot 0,009 + 0,047 = 0,059 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Четвертый участок. Рольганг стоит. Ожидание поступления первого слитка.

$$J_4 = \delta \cdot J_d + J_{\text{пр.4}} = 1,3 \cdot 0,009 + 0,037 = 0,049 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Пятый участок. Пуск для перемещения заготовки вперед.

$$J_5 = \delta \cdot J_d + J_{\text{пр.5}} = 1,3 \cdot 0,009 + 0,056 = 0,068 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Шестой участок. Установившийся режим при перемещении заготовки вперед.

$$J_6 = \delta \cdot J_d + J_{\text{пр.6}} = 1,3 \cdot 0,009 + 0,056 = 0,068 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Седьмой участок. Ожидание поступления следующей отливки. Холостой ход свободного рольганга при движении вперед.

$$J_7 = \delta \cdot J_d + J_{\text{пр.7}} = 1,3 \cdot 0,009 + 0,037 = 0,049 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Жесткость упругой механической связи $C_{пр}$, приведенную к валу двигателя, определяют через значение крутильной жесткости рабочего вала согласно выражению

$$C_{пр} = \frac{C_x}{j_p^2} = \frac{50 \cdot 10^6}{63^2} = 12600. \quad (42)$$

Скорость вращения двигателя на участках с установившимся режимом работы

$$\omega_c = \frac{2 \cdot V}{D} \cdot j_p = \frac{2 \cdot 0,25}{0,45} \cdot 63 = 70 \text{ рад/с}. \quad (43)$$

Пусковые $M_{ди}$ и тормозные моменты $M_{т}$ двигателя, обеспечивающие разгон и торможение рольганга с заданным ускорением

$$M_{дин} = J \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D}. \quad (44)$$

По формуле (44) рассчитаем для всех участков.

Первый участок. Пуск рольганга при введении затравки.

$$M_{дин1} = J_1 \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 0,059 \cdot \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 63}{0,45} = 8,26 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Второй участок. Установившийся режим при введении затравки.

$$M_{дин2} = 0.$$

Третий участок. Торможение при вводе затравки.

$$M_{дин3} = J_3 \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 0,059 \cdot \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 63}{0,45} = 8,26 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Четвертый участок. Рольганг стоит. Ожидание поступления первого слитка.

$$M_{дин4} = 0.$$

Пятый участок. Пуск для перемещения заготовки вперед.

$$M_{дин5} = J_5 \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 0,068 \cdot \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 63}{0,45} = 9,52 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Шестой участок. Установившийся режим при перемещении заготовки вперед.

$$M_{дин6} = 0.$$

Седьмой участок. Ожидание поступления следующей отливки. Холостой ход свободного рольганга при движении вперед.

$$M_{дин7} = 0.$$

2.7 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности

Выполняем расчет длительности переходных процессов

$$t_i = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{cp} - M_c}, \quad (45)$$

где J – суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции;

ω_c – установившаяся скорость двигателя;

M_{cp} – средний момент двигателя;

M_c – приведенный статический момент.

Первый участок. Пуск рольганга при введении затравки.

$$t_1 = J_1 \cdot \frac{\omega_c}{M_{cp1} - M_c} = 0,059 \cdot \frac{70}{32,551 - 9,32} = 0,18 \text{ с.}$$

Третий участок. Торможение при вводе затравки.

$$t_1 = J_1 \cdot \frac{\omega_c}{M_{cp1} - M_c} = 0,059 \cdot \frac{70}{32,551 - 4,88} = 0,15 \text{ с.}$$

Пятый участок. Пуск для перемещения заготовки вперед.

$$t_1 = J_1 \cdot \frac{\omega_c}{M_{cp1} - M_c} = 0,059 \cdot \frac{70}{32,551 - 21,6} = 0,38 \text{ с.}$$

Угол поворота вала двигателя за время переходного процесса

$$\alpha_i = \frac{\omega_c \cdot t_i}{2}. \quad (46)$$

Рассчитаем для всех участков.

Первый участок. Пуск рольганга при введении затравки.

$$\alpha_1 = \frac{\omega_c \cdot t_1}{2} = \frac{70 \cdot 0,18}{2} = 6,3 \text{ рад.}$$

Третий участок. Торможение при вводе затравки.

$$\alpha_3 = \frac{\omega_c \cdot t_1}{2} = \frac{70 \cdot 0,15}{2} = 5,25 \text{ рад.}$$

Пятый участок. Пуск для перемещения заготовки вперед.

$$\alpha_5 = \frac{\omega_c \cdot t_1}{2} = \frac{70 \cdot 0,38}{2} = 13,3 \text{ рад.}$$

Время работы с установившейся скоростью рассчитаем по формуле

$$t_y = \frac{\alpha - (\alpha_n + \alpha_T)}{\omega_c}, \quad (47)$$

где α_n, α_T – угол поворота вала за время пуска и торможения соответственно;
 α – угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме, определяется выражением

$$\alpha = \frac{2 \cdot L \cdot j_p}{D}. \quad (48)$$

Второй участок. Установившийся режим при введении затравки согласно (48)

$$\alpha_2 = \frac{2 \cdot L_2 \cdot j_p}{D} = \frac{2 \cdot 11 \cdot 63}{0,45} = 3080 \text{ рад.}$$

Согласно выражению (47)

$$t_2 = \frac{\alpha_2 - (\alpha_n + \alpha_T)}{\omega_c} = \frac{3080 - (6,3 + 5,25)}{70} = 43,8 \text{ с.}$$

Шестой участок. Установившийся режим при перемещении заготовки вперед согласно (48)

$$\alpha_6 = \frac{2 \cdot L_6 \cdot j_p}{D} = \frac{2 \cdot 14 \cdot 63}{0,45} = 3920 \text{ рад.}$$

Согласно выражению (47)

$$t_6 = \frac{\alpha_6 - (\alpha_n + \alpha_T)}{\omega_c} = \frac{3920 - 13,3}{70} = 55,8 \text{ с.}$$

Седьмой участок. Ожидание поступления следующей отливки. Холостой ход свободного рольганга при движении вперед.

$$\alpha_7 = t_7 \cdot \omega_c = 64 \cdot 70 = 4480 \text{ рад.} \quad (49)$$

Полученное время меньше заданного времени работы t_p в исходных данных для каждого из участков циклограммы. Проверка двигателя по производительности выполнена и показала положительный результат: производительность выбранного двигателя АИР90LB8 достаточна для работы в приводе рассматриваемого транспортного рольганга.

Проведем проверку температурного режима двигателя при работе в цикловом режиме по величине среднеквадратичного момента:

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

$$M_{\text{срkv}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \leq M_{\text{доп}}, \quad (50)$$

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

$$M_{\text{срkv}} = \sqrt{\frac{2,79^2 \cdot 56 + 1,12^2 \cdot 64}{120}} = 2,07 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{кат}} = \frac{P_{\text{кат}}}{\omega_{\text{кат}}} = \frac{1100}{70} = 15,71; \quad (51)$$

$$M_{\text{доп}} = M_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{кат}}}{ПВ_{\phi}}} = 15,71 \cdot \sqrt{\frac{100\%}{100\%}} = 15,71 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (52)$$

Среднеквадратичный момент меньше допустимого ($2,07\text{Нм} < 15,71\text{Нм}$), следовательно, двигатель проходит по нагреву.

Результаты всех расчетов для наглядности представлены в таблице 2.4.

									Лист
									37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП				

Таблица 2.4 Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

Участок	Пуск с заправкой	Перемещение заправки	Торможение с заправкой	Останов	Пуск с заготовкой	Перемещение заготовки	Холостой ход
	1	2	3	4	5	6	7
t, c	0,5	44	0,5	–	0,5	56	64
$L, м$	0,0625	11	0,0625	–	0,0625	14	16
$V, м/с$	–	0,25	–	0	–	0,25	–
$M_{ро.ст}, НМ$	0	123,2	0	0	0	175,8	0
$J_{ро.ст}, кгм^2$	184,6	184,6	184,6	146,6	222,5	222,5	146,6
$M_{ро.дин}, НМ$	410	410	410	0	1099	1099	146,6
$M_{ро}, НМ$	-533,2	-123,2	286,8	0	-1274,8	-175,8	-70,6
$M_{рс}, НМ$	8,46	1,96	4,55	0	20,25	2,79	1,12
$M_{вс}, НМ$	8,81	2,04	4,37	0	21,09	2,91	1,17
$M_c, НМ$	9,32	2,55	4,88	0	21,6	3,42	1,68
$\omega_c, рад/с$	–	70	–	0	–	70	70
$J_{пр}, кгм^2$	0,047	0,047	0,047	0,037	0,056	0,056	0,037
$J, кгм^2$	0,059	0,059	0,059	0,049	0,068	0,068	0,049
$M_{дин}, НМ$	-8,26	0	8,26	0	9,52	0	0
$M_{доп}, НМ$	15,71						
$M_{ср.кв}, НМ$	2,07						
t, c	0,18	43,8	0,15	–	0,38	55,8	64
$\alpha, рад$	6,3	3080	5,25	–	13,3	3920	4480

2.9 Выбор основных элементов силовой цепи

Выбор преобразователя осуществляется на основе номинальных данных выбранного двигателя:

$$U_{пч} \geq U_{нл}; \quad (53)$$

$$I_{пч} \geq I_{1н}, \quad (54)$$

где $U_{нл}$, $I_{1н}$, соответственно, номинальные линейное напряжение и фазный ток статора двигателя;

$U_{пч}$, $I_{пч}$, соответственно, номинальные линейное напряжение и ток нагрузки преобразователя частоты.

Выбираем частотный преобразователь *SINAMICS G110*.

Данные преобразователя частоты: $P_n=11$ кВт, $I_n=33$ А, $U_n=400$ В (диапазон 380-460 В, пропорционально входному напряжению).

Основные технические характеристики выбранного преобразователя представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Основные характеристики частотного преобразователя *SINAMICS G110*

Модель	I_n , А	P_n , кВт	U_n , В	Входная частота	Выходная частота	Диапазон	Размер В×Ш×Г, мм
<i>SINAMICS G110</i>	7,8	1,5	400	50 Гц	0-300 Гц	380В-415В ± 10 %.	160×140×142

Схема силовой части преобразователя частоты *SINAMICS G110* представлена на рисунке 2.1.

Преобразователь частоты *SINAMICS G110* имеет скалярное управление и регулирует скорость асинхронного двигателя в соответствии с законом $U/f = const$. Скалярное управление или U/f – регулирование асинхронным двигателем это изменение скорости двигателя путем воздействия на частоту напряжения на статоре при одновременном изменении модуля этого напряжения.

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

При U/f – регулировании частота и напряжение регулируются совместно. Для реализации такого закона регулирования необходимо обеспечить постоянство соотношения $U/f = const$, где U – напряжение на статоре, а f – частота напряжения статора.

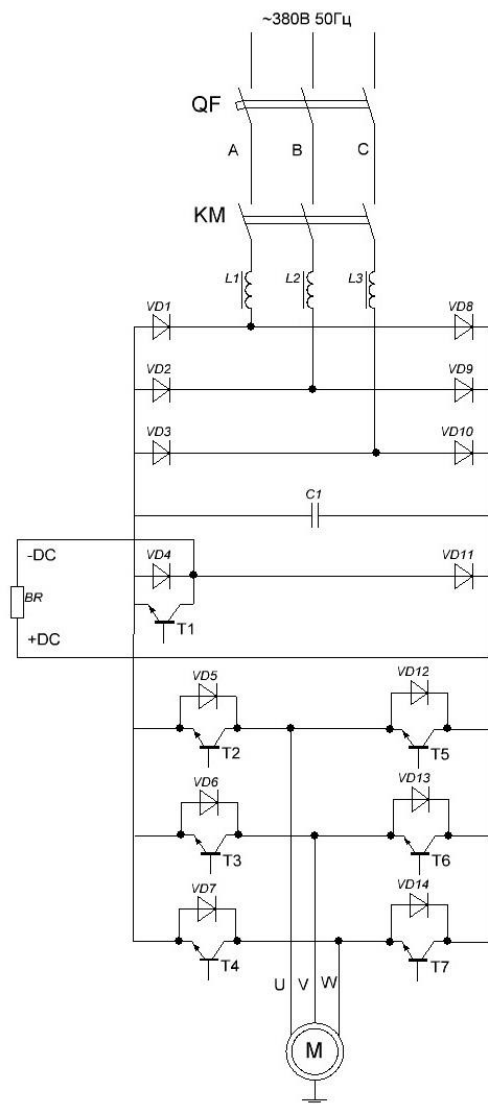


Рисунок 2.1 – Схема силовой части преобразователя частоты
SINAMICS G110

При постоянстве перегрузочной способности номинальные коэффициент мощности и КПД двигателя на всем диапазоне регулирования частоты вращения практически не изменяются.

3 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Целью расчёта является обеспечение технологических задач заложенных в требования к электроприводу:

- рабочие скорости рабочего и обратного хода должны быть обеспечены с заданной степенью точности;
- ускорение электропривода не должно превышать допустимых значений.

Исходными данными для расчёта статических характеристик являются каталожные данные электродвигателя и другого оборудования, установленного в его силовой цепи.

Для построения статических характеристик воспользуемся средой моделирования *MathLab*.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Исходные данные для расчета

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Номинальная мощность на валу	P_H	кВт	1,10
Номинальный момент	M_H	Нм	14,80
Ток намагничивания в номинальной точке	I_μ	А	3,47
Индуктивное сопротивление статора	x_1	Ом	4,48
Приведенное индуктивное сопротивление статора	x_2	Ом	4,48
Активное сопротивление статора	r_1	Ом	2,18
Активное сопротивление ротора	r_2	Ом	2,38

Полученные в результате моделирования статическая характеристика электродвигателя АИР90LB8 представлена на рисунке 3.1.

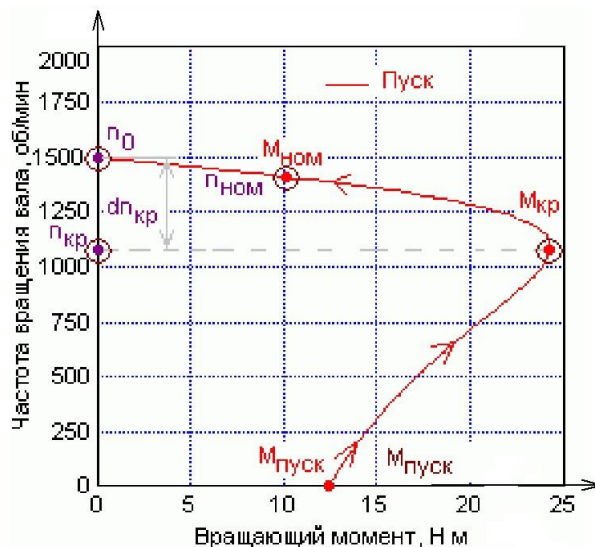


Рисунок 3.1 – Статическая характеристика электродвигателя АИР90LB8

Полученные в результате моделирования переходная характеристика электродвигателя АИР90LB8 с ПИ – регулятором представлена на рисунке 3.2.

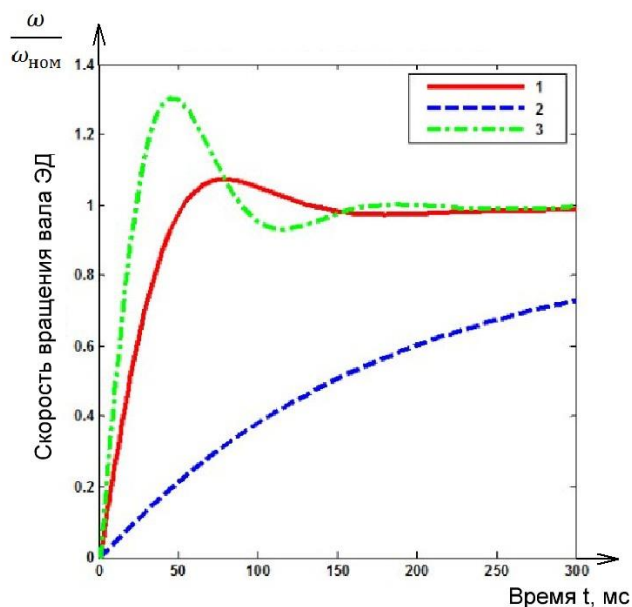


Рисунок 3.2 – Переходная характеристика для двигателя АИР90LB8 с ПИ – регулятором: 1 – $k = 0,7$; 2 – $k = 0,4$; 3 – $k = 1,0$

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

4 АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ МНЛЗ

Автоматизация технологических процессов ведет к повышению точности выполнения операций производственными механизмами, к повышению качества и точности изготавливаемой продукции, выполнять различные виды работ в неблагоприятных для человека условиях, к уменьшению численности рабочего персонала, вследствие всего этого повышается рентабельность предприятия.

Задача данного раздела заключается в разработке системы автоматизации транспортной системы машины непрерывного литья заготовок.

Выбор системы автоматизации базируется в основном на учебных целях, поэтому в данном проекте она будет построена на программируемом логическом контролере *SIMATIC S7-300* фирмы *SIEMENS*, который обладает характеристиками, достаточными для управления объектом.

Функции человеко-машинного интерфейса (*HMI*) при решении задач оперативного управления технологическим процессом разработаем пульт управления, с помощью которого оператор будет иметь возможность выбора необходимого режима работы технологического оборудования, осуществлять запуск механизма и останов, получать визуальную и звуковую информацию об аварийных ситуациях и причинах их возникновения аварии и т.п.

В качестве источников входной информации о состоянии технологического процесса и положении отдельных частей механизмов автоматизируемой системы будем использовать оптические датчики. Исполнительными органами системы разрабатываемой системы автоматизации, приводящими в движение механизмы автоматизируемой системы, будут асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, непосредственное управление которыми будет осуществляться с помощью частотных преобразователей.

Внедрение и использование разрабатываемой системы автоматизации позволит оптимизировать управление технологическим процессом и уменьшить непосредственное участие оператора в тяжелых и опасных операциях процесса

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

управления машиной непрерывного литья заготовок.

4.1 Описание автоматизируемого технологического процесса

Способ получения заготовок в машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) заключается в том, что расплавленный металл в жидком состоянии из разливочного ковша через емкость промежуточного ковша 1 (рисунок 4.1) непрерывно поступает в охлаждаемый водой кристаллизатор 2. При инициации процесса непрерывной разливки в кристаллизатор 3 в реверсном направлении предварительно вводится так называемая «затравка», являющаяся ограничителем, «пробкой» для первой порции металла. После заполнения промежуточного ковша расплавленным металлом, включается вращение тянущих валков 6, и затравка начинает движение в прямом направлении, увлекая за собой формирующийся слиток 5.

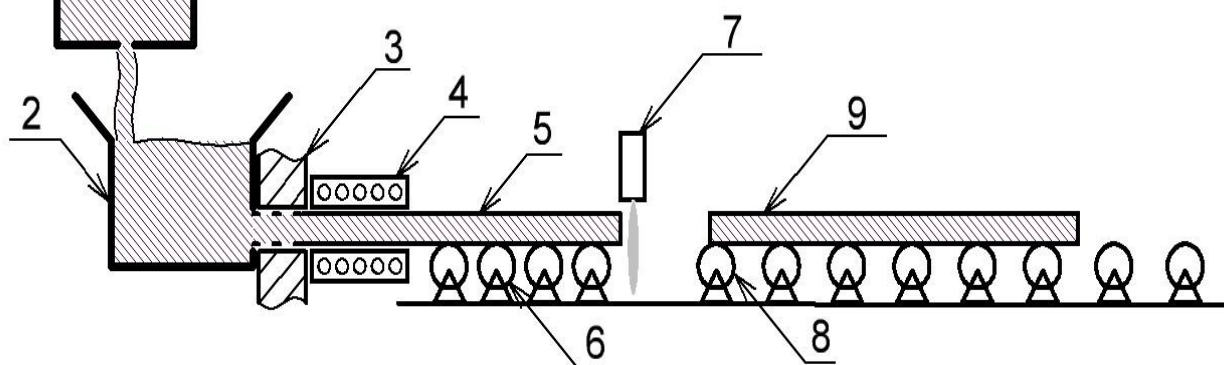


Рисунок 4.1 – Схема технологического процесса и расположение механизмов в машине непрерывного литья заготовок: 1 – разливочный ковш; 2 – промежуточный ковш; 3 – кристаллизатор; 4 – зона вторичного охлаждения; 5 – формирующийся слиток; 6 – тянущие валки; 7 – машина газокислородной резки; 8 – транспортный рольганг; 9 – заготовка мерной длины

В кристаллизаторе происходит процесс затвердевания наружной оболочки слитка, полная же кристаллизация осуществляется после выхода из кристаллизатора, в зоне вторичного охлаждения 4, за счет форсированного охлаждения водой поверхности отливки. При дальнейшем движении окончательно затвердевший слиток разрезается газокислородным резаком 7 на отдельные заготовки 9 с мерной длиной по 6 м.

Транспортная система машины непрерывного литья заготовок состоит из первого звена технологического процесса – тянущих валков 5, осуществляющих извлечение затвердевающего слитка из кристаллизатора и транспортного рольганга 9, передающего отрезанные шестиметровые заготовки далее, для выполнения над ними последующих технологических операций.

4.2 Формулировка требований к системе автоматизации

В автоматическом режиме разрабатываемая система должна обеспечивать автоматическую работу машины непрерывного литья заготовок без непосредственного участия оператора. Функции оператора должны сводиться к включению питания системы, выполнению процедуры загрузки затравки (при необходимости) и включению системы для работы в автоматическом режиме переводом переключателя режимов в положение «Автомат» и нажатием кнопки «Пуск». Далее оператор выполняет наблюдение за работой механизмов машины, принимает на себя управление лишь в случаях возникновения аварийной ситуации либо необходимости плановой остановки выполнения технологического процесса.

Сигналом о возможности работы машины в автоматическом режиме является свечения индикаторной лампочки «Готовность системы». Также на пульт оператора должны выводиться сигналы об аварийном состоянии контролируемых подсистем (привода, автомат резки).

В автоматическом режиме система автоматизации должна обеспечить

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

следующие функции:

- включение/отключение вращения приводов тянущих валков и транспортного рольганга согласно алгоритму;
- автоматическую резку формирующегося слитка на заготовки мерной длины;
- включение/отключение всей системы.

В ручном режиме обеспечивается возможность независимого управления тянущими валками, транспортным рольгангом и автоматом резки.

4.3 Составление списка сигналов системы автоматизации

Из представленного описания технологического процесса и последовательности работы механизмов следует, что система автоматизации должна обеспечить работу в основном режиме: автоматическом. Ручное управление механизмами, при возникновении такой необходимости, выполняется на уровне электрической схемы непосредственным включением контакторов, управляющих электродвигателями приводов исполнительных механизмов.

Для автоматизации работы системы необходимо иметь информацию о ее состоянии в текущий момент времени. Рассмотрим входные и выходные сигналы системы автоматизации в привязке к механизмам системы.

Входные сигналы:

- сигнал оптического датчика *D4* о наличии заготовки в выходном створе транспортного рольганга;
- сигнал оптического датчика *D3* о наличии заготовки на расстоянии длины заготовки (6 м) от входного створа транспортного рольганга;
- сигнал оптического датчика *D2* о наличии заготовки во входном створе транспортного рольганга;
- сигнал оптического датчика *D1* о наличии заготовки на расстоянии длины затравки (3 м) от выходного отверстия промежуточного ковша;
- сигнал «Готовность к автоматической работе».

										Лист
										46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП					

Расположение датчиков $D1 - D4$ на схеме технологического процесса машины непрерывного литья заготовок представлено на рисунке 4.2.

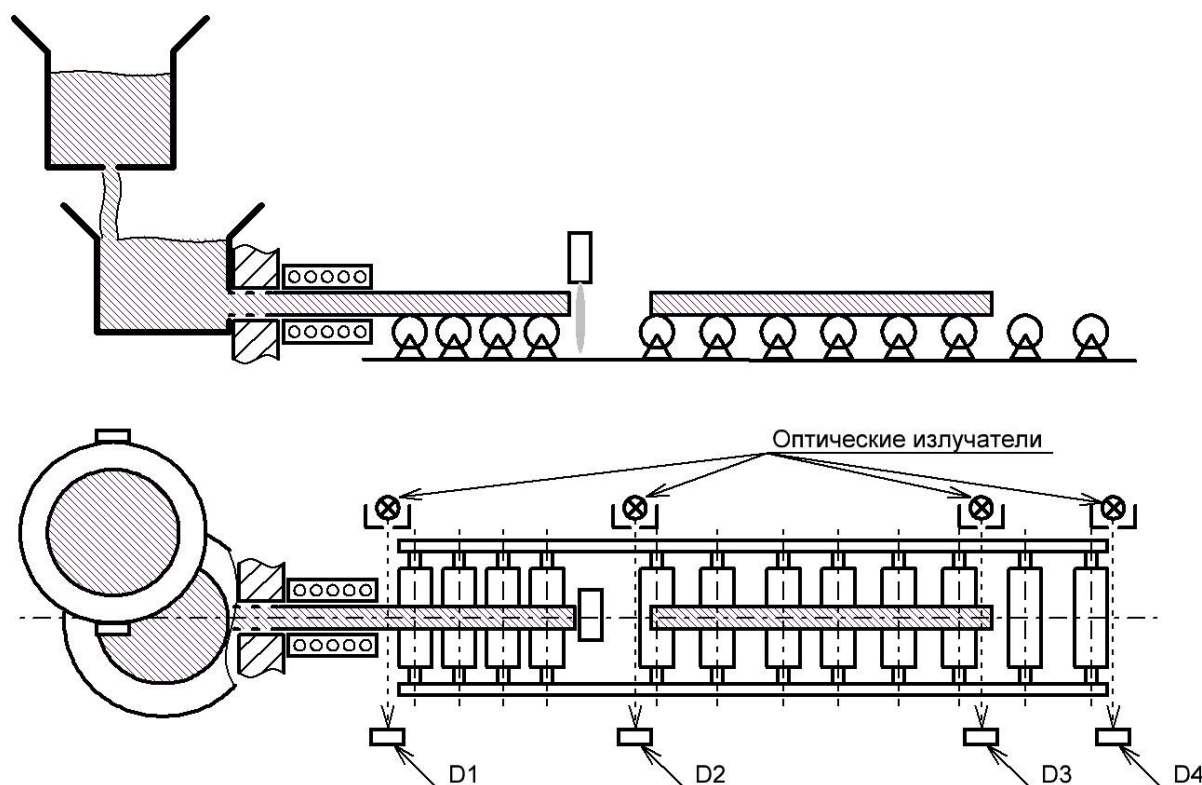


Рисунок 4.2 – Расположение датчиков на схеме технологического процесса машины непрерывного литья заготовок

Выходные сигналы:

- включить тянущие валки в прямом направлении $R1P$;
- включить тянущие валки в реверсном направлении $R1R$;
- включить транспортный рольганг в прямом направлении $R2P$;
- включить транспортный рольганг в реверсном направлении $R2R$;
- отрезать заготовку CT .

Разрабатываемая система автоматизации должна обеспечить автоматическую работу машины в режиме инициализации процесса непрерывной отливки и в режиме непрерывной отливки. Кроме этого, оператор, при необходимости должен в ручном режиме включить в работу любой из механизмов, входящих в состав МНЛЗ.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Автоматический режим, инициализация процесса непрерывной отливки. Переключатель режимов работы в положении «Загрузка». При нажатии кнопки «Пуск» и наличии затравки в выходном створе транспортного рольганга (срабатывание датчика *D4*), включается транспортный рольганг на движение в реверсном направлении. По переднему фронту сигнала с датчика *D2* (край затравки пересек условную линию входного створа транспортного рольганга) выполняется включение тянущих валков в реверсном направлении. По заднему фронту сигнала датчика *D2* (затравка проследовала транспортный рольганг) транспортный рольганг переводится в состояние «останов».

Отрицательный перепад сигнала датчика *D1* (задний край затравки в 3 метрах от разливочного отверстия промежуточного ковша) свидетельствует, что передний край трехметровой затравки достиг разливочного отверстия промежуточного ковша и перекрыл его. Тянущие валки переходят в режим «останов». Процесс введения затравки завершен, можно приступить к заливке промежуточного ковша расплавленным металлом.

Автоматический режим, процесс непрерывной отливки. После завершения процесса введения затравки необходимо запросить подвод разливочного ковша для заливки промежуточного ковша расплавленным металлом. Перевести переключатель режима работы в положение «Автомат». По готовности металла в промежуточном ковше нажать кнопку «Пуск». Тянущие валки и транспортный рольганг включаются в работу в прямом направлении. Процесс непрерывной отливки запущен.

При достижении передним краем заготовки светового барьера *D2* (формирующаяся заготовка достигла мерной длины 6 метров), формируется команда на включение автомата газокислородной отрезки заготовки. Отрезанная шестиметровая заготовка подхватывается транспортным рольгангом и уводится с рабочей площадки непрерывного литья для выполнения следующих технологических операций металлообработки.

Ручной режим. Применяется при выполнении отладочных операций, ремонтных работ на машине непрерывного литья заготовок для устранения

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП</i>	<i>Лист</i>
						48
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

нештатных ситуаций. Включается переводом переключателя в положение «Ручной».

Кнопки «Пуск тянущих валков вперед», «Пуск тянущих валков назад», «Стоп тянущих валков» непосредственно управляют приводом тянущих валков.

Кнопки «Пуск транспортного рольганга вперед», «Пуск транспортного рольганга назад», «Стоп транспортного рольганга» непосредственно управляют приводом транспортного рольганга.

Кнопка «Отрезка» подает команду на выполнение операции отрезки автоматом газокислородной резки.

Аварийные режимы. Появление любого из аварийных сигналов приводит к деактивации сигнала «Готовность» и останову всех механизмов машины, работающей в автоматическом режиме. Повторный запуск машины в работу возможен только после устранения причины появления аварийной ситуации (появления сигнала «Готовность»).

Готовность системы к автоматической работе определяется по наличию сигнала высокого уровня на входе *RD*. В цепь прохождения сигнала готовности *RD* последовательно включены контакты реле аварийных блокировок *SA1* – готовность привода тянущих валков, *SA2* – готовность привода транспортного рольганга, *SA3* – готовность автомата газокислородной резки (рисунок 4.3).

Такое схемотехническое решение позволит сократить количество используемых дискретных входов программируемого логического контроллера, а с применением в качестве ПЛК фирмы *SIEMENS SIMATIC S7-300*, построить схему управления используя только базовый модуль процессора *CPU312C*, без применения модулей расширения ввода-вывода, что, несомненно, положительно скажется на экономических параметрах разрабатываемого проекта.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		49

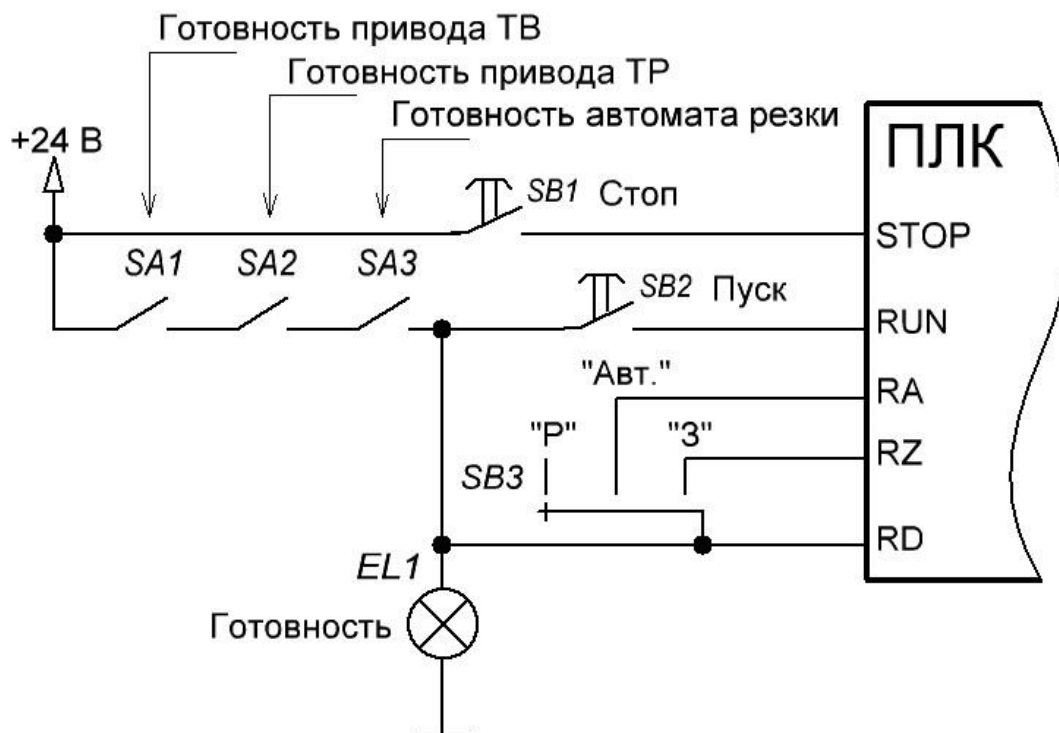


Рисунок 4.3 – Цепи управления программируемого логического контроллера

Индикация и сигнализация работы системы выполняется элементами световой сигнальной арматуры, включенными параллельно дискретным выходам программируемого логического контроллера, формирующим сигналы управления приводами электродвигателями исполнительных механизмов и автомата резки.

В таблице 4.1 приведены все сигналы и команды, используемые в системе автоматизации.

Таблица 4.1 – Сигналы и команды, используемые в системе автоматизации

№ п/п	Сигнал, команда	Обозначения	Принятое значение логической единицы
Входные сигналы			
1	Готовность к автоматической работе	<i>RD</i>	Есть
2	Есть заготовка в 3 м от выходного отверстия промежуточного ковша	<i>D1</i>	Есть
3	Есть заготовка во входном створе транспортного рольганга	<i>D2</i>	Есть
4	Есть заготовка в 6 м от входного створа транспортного рольганга	<i>D3</i>	Есть
5	Есть заготовка в выходном створе транспортного рольганга	<i>D4</i>	Есть
6	Сигнал «Пуск»	<i>RUN</i>	Есть
7	Сигнал «Стоп»	<i>STOP</i>	Есть
8	Сигнал «Автоматическая работа»	<i>RA</i>	Есть
9	Сигнал «Загрузка»	<i>RZ</i>	Есть
Выходные сигналы			
1	Включить тянущие валки в прямом направлении	<i>R1P</i>	Включен
2	Включить тянущие валки в реверсном направлении	<i>R1R</i>	Включен
3	Включить транспортный рольганг в прямом направлении	<i>R2P</i>	Включен
4	Включить транспортный рольганг в реверсном направлении	<i>R2R</i>	Включен
5	Отрезать заготовку	<i>CT</i>	Включен

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

ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП

Лист

51

Расположение органов управления и индикации на пульте управления представлено на рисунке 4.4.

В верхней части пульта управления слева направо расположены:

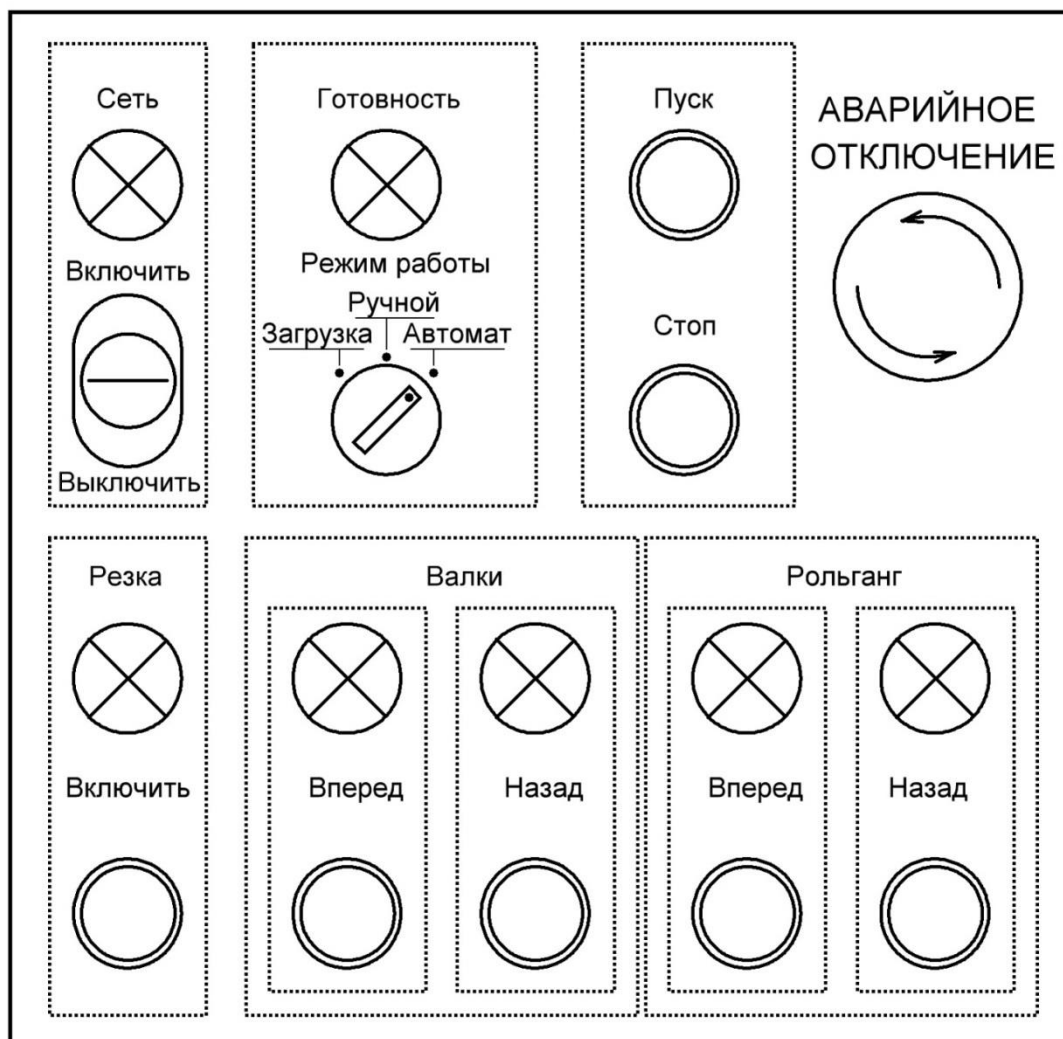


Рисунок 4.4 – Пульт управления

- выключатель сетевого питания системы управления;
- световой индикатор включенного состояния системы управления над сетевым выключателем;
- переключатель режимов *SB3*. Поворотом рукоятки выбирается один из трех режимов работы:
 - влево – «Загрузка»;
 - вертикально посередине – «Ручной режим»;

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

Продолжение таблицы 4.2

1	2
<p>2.3.8. Командные устройства системы управления (далее – органы управления) должны быть:</p> <p>1) легко доступны и свободно различимы, в необходимых случаях обозначены надписями, символами или другими способами;</p> <p>2) сконструированы и размещены так, чтобы исключалось произвольное их перемещение и обеспечивалось надежное, уверенное и однозначное манипулирование, в том числе при использовании работающих средств индивидуальной защиты;</p> <p>3) размещены с учетом последовательности и частоты использования, а также значимости функций.</p>	<p>Все органы управления свободно различимы, легко доступны, а также обозначены необходимыми надписями. Размещение кнопок и ламп индикации выполнено с учетом групп выполняемых функций.</p>
<p>2.3.9. Пуск производственного оборудования в работу, а также повторный пуск после останова независимо от его причины должен быть возможен только путем манипулирования органом управления пуском.</p> <p>Если СУ имеет несколько органов управления, осуществляющих пуск производственного оборудования или его отдельных частей и нарушение последовательности их использования может привести к созданию опасных ситуаций, то СУ должна включать устройства, исключающие создание таких ситуаций.</p>	<p>Пуск выполняется только с помощью предназначенных для этого кнопок. Для исключения нарушения последовательности использования оборудования, в программе ПЛК предусмотрены инструкции, запрещающие непредусмотренные ситуации</p>

4.4 Разработка функциональной схемы системы автоматизации

На основе описания технологического процесса, автоматизируемого объекта, определенных входных и выходных команд и сигналов в соответствии с требованиями ГОСТ 21.408-93 [4] и ГОСТ 21.408-2013 составлена функциональная схема, представленная на рисунке 4.5.

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

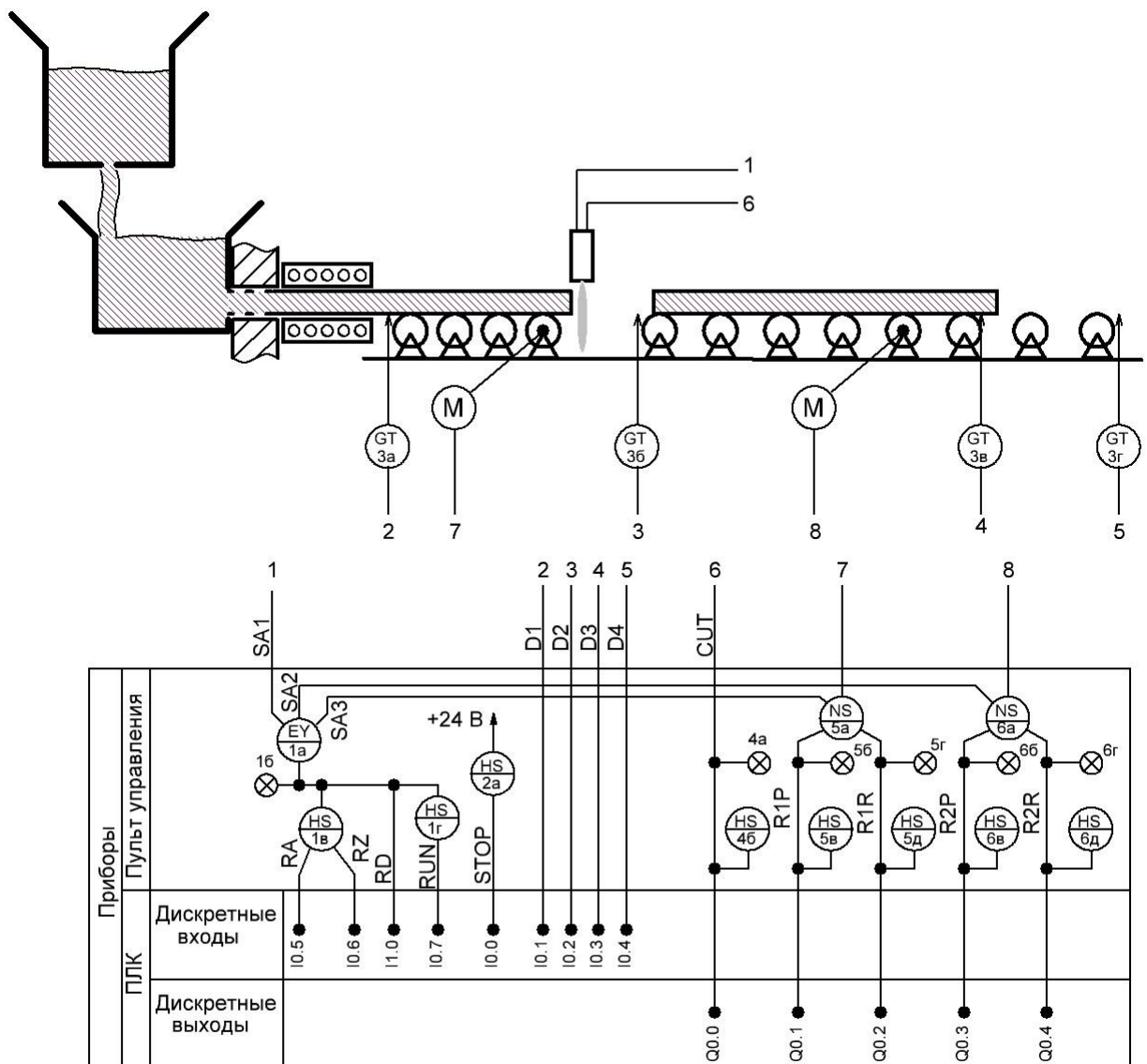


Рисунок 4.5 – Функциональная схема системы автоматизации

В рассматриваемой функциональной схеме системы автоматизации можно выделить следующие функциональные элементы:

1а – монтажное «И» сигналов «Готовность привода валков», «Готовность привода рольганга» и «Готовность автомата газокислородной резки»;

1б – сигнальная лампа «Готовность»;

1в – переключатель режимов работы «Загрузка» – «Ручной» – «Автомат»;

1г – кнопка «Пуск»;

2а – кнопка «Стоп»;

3а – датчик «Есть заготовка в 3 м от выходного отверстия промежуточного

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

ковша»;

3б – датчик «Есть заготовка во входном створе транспортного рольганга»;

3в – датчик «Есть заготовка в 6 м от входного створа транспортного рольганга»;

3г – датчик «Есть заготовка в выходном створе транспортного рольганга»;

4а – сигнальная лампа включения автомата газокислородной резки отливки;

4б – кнопка ручного включения автомата газокислородной резки отливки;

5а – частотный преобразователь привода механизма тянущих валков;

5б – сигнальная лампа прямого включения привода механизма тянущих валков;

5в – кнопка ручного прямого включения привода механизма тянущих валков;

5г – сигнальная лампа реверсного включения привода механизма тянущих валков;

5д – кнопка ручного реверсного включения привода механизма тянущих валков;

6а – частотный преобразователь привода механизма транспортного рольганга;

6б – сигнальная лампа прямого включения привода механизма транспортного рольганга;

6в – кнопка ручного прямого включения привода механизма транспортного рольганга;

6г – сигнальная лампа реверсного включения привода механизма транспортного рольганга;

6д – кнопка ручного реверсного включения привода механизма транспортного рольганга;

4.5 Выбор элементной базы системы автоматизации

4.5.1 Исполнительные устройства

Привода механизмов тянущих роликов и транспортного рольганга приводятся в движение асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором типа

										Лист
										56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП					

АИР90LB8 с регулированием скорости и направления вращения с помощью частотных преобразователей типа *SINAMICS G110*. Более подробно это вопрос был рассмотрен в разделе 2 настоящей записки.

Автомат газокислородной резки слитка показан на рисунке 4.6.

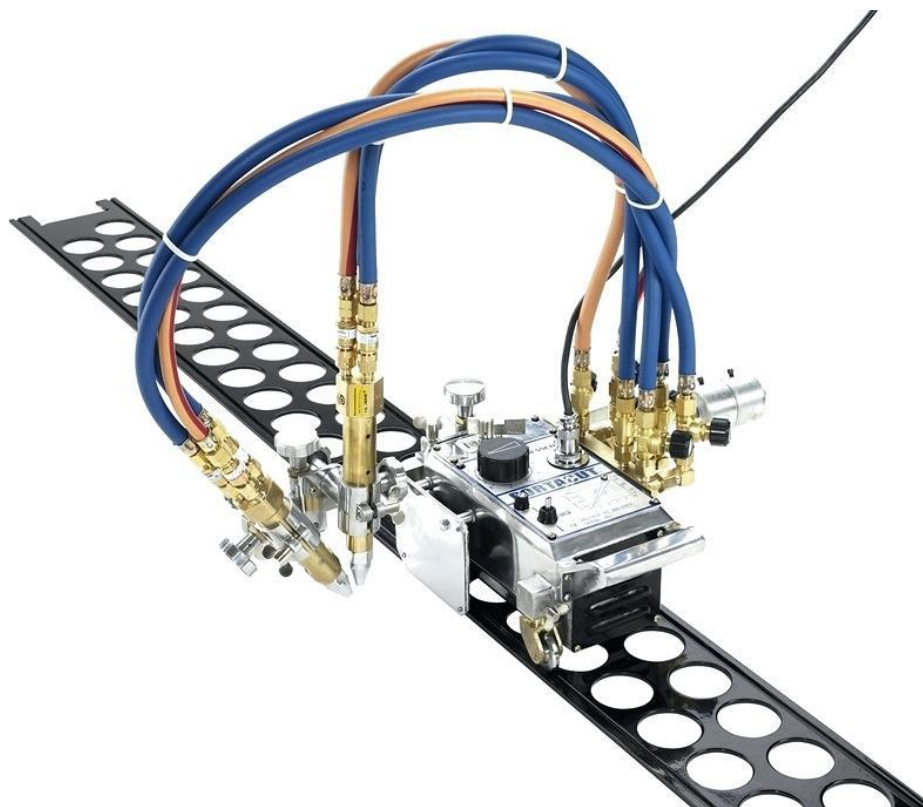


Рисунок 4.6 – Автомат газокислородной резки слитка

В качестве рабочей среды используются кислород и ацетилен в газообразном состоянии. Глубина реза до 250 мм.

4.5.2 Датчики состояния объекта автоматизации

Наличие значительных температур на поверхности отливки затрудняет или делает невозможным применение датчиков, принцип действия которых основан на тактильном контакте с контролируемой поверхностью детали (контактные) или требует непосредственной близости с ней (индуктивные, емкостные). Останавливаем свой выбор на датчиках, принцип действия которых основан на

прерывании модулированного луча когерентного излучения. Для получения информации о наличии заготовки или затравки, выберем лазерные световые барьеры *LEUZE SLSE 318M/P-S12*. Внешний вид прибора представлен на рисунке 4.7, основные технические данные приведены в таблице 4.3.



Рисунок 4.7 – Световой барьер

Таблица 4.3 – Технические данные светового барьера *LEUZE SLSE 318M/P-S12*

Наименование	Значение	Размерность
Напряжение питания	+24	В
Функция выходного сигнала	Релейная, срабатывание на прерывание сигнала	
Категория использования	Приборы постоянного тока DC-13 (управление соленоидами)	
Рабочая дистанция	До 2,5	м
Мощность излучения	Лазер классифицирован в соответствии с EN60825-1:2014-05	
Время задержки после включения питания	Не более 300	мс
Время срабатывания	Не более 8	мс

Схема подключения светового барьера *LEUZE SLSE 318M/P-S12* представлена на рисунке 4.8.

4.5.3 Программируемый контроллер

Управление работой системы автоматизации поручаем модульному программируемому контроллеру *SIMATIC S7-300* (рисунок 4.9). Основное назначение данного контроллера построение систем автоматизации низкой и средней степени сложности.



Рисунок 4.9 – Модуль центрального процессора ПЛК *SIMATIC S7-300*

Основные технические характеристики контроллера *SIMATIC S7-300* приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Основные технические характеристики ПЛК *CPU312C SIMATIC S7-300*

Наименование	Значение	Размерность
Встроенная память <i>RAM</i>	16	Кбайт
Минимальное время выполнения логических операций	0,2	мкс
Напряжение питания	+24	В
Диапазон рабочих температур	-25..+60	°С
Относительная влажность	5..95, временное покрывание росой	%
Количество дискретных входов	10	
Количество дискретных выходов	6	

4.6 Разработка схемы электрической принципиальной системы автоматизации

Электрическая принципиальная схема представлена в Приложении Б настоящей записки. Все компоненты схемы системы управления располагаются в одном электрическом шкафу напольного расположения.

Функционально схема может быть разделена на следующие части:

- силовая часть – частотные преобразователи *FP1, FP2* – расположены в нижнем ярусе электрошкафа, обеспечены принудительной приточной и вытяжной вентиляцией;
- средства коммутации и защиты силовых питающих цепей: автоматические выключатели *Q1 - Q4* на *DIN* рейке, контактор *KM1*;
- программируемый логический контроллер *PLC*, промежуточные реле *K1-K3*, источник питания +24 В в верхнем ярусе электрошкафа;
- элементы управления: выключатель питания *SB1*, поворотный

трехпозиционный переключатель режимов работы *SB2*, кнопки *SB2-SB7*, «грибок автоматического отключения сети *SB1*; сигнальная арматура: лампочки *EL1-EL7* объединены в единое поле – пульт управления. Пульт управления вынесен на переднюю открывающуюся дверь электрошкафа и расположен на удобной для доступа и визуального наблюдения оператором высоте в верхней части двери;

– выключатель – разъединитель *QS1* расположен справа вверху на боковой стенке электрошкафа;

– исполнительные органы: асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором *M1, M2* и автомат газокислородной резки металла – по месту их расположения на технологическом оборудовании МНЛЗ;

– датчики *D1-D4* – в требуемых местах транспортной системы МНЛЗ, таким образом, чтобы излучающая часть датчика (лазер) и фотоприемник были расположены друг напротив друга и не находились в непосредственной близости от перемещающихся заготовок на пути следования конвекционных потоков раскаленного воздуха.

4.7 Разработка алгоритма работы системы автоматизации

Проектом предусмотрена работа системы управления машиной непрерывного литья заготовок в трех режимах:

- автоматический режим, инициализация процесса непрерывной отливки;
- автоматический режим, процесс непрерывной отливки;
- ручной режим управления механизмами при выполнении наладочных операций, ремонтных работ или выхода из нештатных и аварийных ситуаций.

Рассмотрим алгоритм работы системы управления для каждого из указанных режимов.

Режим автоматической загрузки затравки.

										Лист
										62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП					

Автоматический режим, инициализация процесса непрерывной отливки. Переключатель режимов работы в положении «Загрузка».

Автоматический режим работы системы управления включается при наличии сигнала готовности RD . Сигнал готовности формируется монтажным «И» сигналов «Готовность привода тянущих валков» $SA1$, «Готовность привода транспортного рольганга» $SA2$, «Готовность автомата газокислородной резки» $SA3$

$$RD = SA1 \cdot SA2 \cdot SA3. \quad (55)$$

Память команды «Пуск» нужна для того, чтобы включить все механизмы согласно заданию. Память $RRUN$ возникает при пуске в любом из двух автоматических режимов и сохраняется до конца цикла автоматической загрузки, нажатия кнопки «Стоп», снятия сигнала готовности RD или остановки тянущих валков в конце цикла загрузки затравки

$$RRUN = (RUN + RRUN) \cdot (RZ \cdot \overline{R1R} \downarrow + RA) \cdot RD \cdot \overline{STOP} \quad (56)$$

При нажатии кнопки «Пуск» и наличии затравки в выходном створе транспортного рольганга (срабатывание датчика $D4$), включается транспортный рольганг на движение в реверсном направлении. По заднему фронту сигнала датчика $D2$ (затравка проследовала транспортный рольганг) транспортный рольганг переводится в состояние «останов»

$$R2R = RRUN \cdot RZ \cdot (D4 + R2R \cdot \overline{D2} \downarrow) \quad (57)$$

По переднему фронту сигнала с датчика $D2$ (край затравки пересек условную линию входного створа транспортного рольганга) выполняется включение тянущих валков в реверсном направлении.

Отрицательный перепад сигнала датчика $D1$ (задний край затравки в 3 метрах от разливочного отверстия промежуточного ковша) свидетельствует, что передний край трехметровой затравки достиг разливочного отверстия промежуточного ковша и перекрыл его. Тянущие валки переходят в режим «останов»

$$R1R = RRUN \cdot RZ \cdot (D2 \uparrow + R1R \cdot \overline{D1} \downarrow) \quad (58)$$

									Лист
									63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП				

Процесс введения затравки завершен, можно приступать к заливке промежуточного ковша расплавленным металлом. Сброс переменной $RRUN$ производится по отрицательному перепаду сигнала $R1R$ (останов тянущих валков в реверсном направлении).

Автоматический режим, процесс непрерывной отливки. После завершения процесса введения затравки необходимо запросить подвод разливочного ковша для заливки промежуточного ковша расплавленным металлом. Перевести переключатель режима работы в положение «Автомат». По готовности металла в промежуточном ковше нажать кнопку «Пуск». Тянущие валки и транспортный рольганг включаются в работу в прямом направлении. Процесс непрерывной отливки запущен.

$$R1P = RRUN \cdot RA \quad (59)$$

$$R2P = RRUN \cdot RA \quad (60)$$

При достижении передним краем заготовки светового барьера $D2$ (формирующаяся заготовка достигла мерной длины 6 метров), формируется команда на включение автомата газокислородной отрезки заготовки.

$$CT = RRUN \cdot RA \cdot (D3 \uparrow + CT \cdot \overline{D3 \downarrow}) \quad (61)$$

Отрезанная шестиметровая заготовка подхватывается транспортным рольгангом и уводится с рабочей площадки машины непрерывного литья для выполнения следующих технологических операций металлообработки.

Ручной режим. Применяется при выполнении отладочных операций, ремонтных работ на машине непрерывного литья заготовок для устранения нештатных ситуаций. Включается переводом переключателя в положение «Ручной».

Кнопки «Пуск тянущих валков вперед», «Пуск тянущих валков назад», «Стоп тянущих валков» непосредственно управляют приводом тянущих валков.

Кнопки «Пуск транспортного рольганга вперед», «Пуск транспортного рольганга назад», «Стоп транспортного рольганга» непосредственно управляют приводом транспортного рольганга.

										Лист
										64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП					

Продолжение таблицы 4.5

1	2	3	4
8	Сигнал «Автоматическая работа»	<i>RA</i>	<i>I0.5</i>
9	Сигнал «Загрузка»	<i>RZ</i>	<i>I0.6</i>
Выходные сигналы			
1	Включить тянущие валки в прямом направлении	<i>R1P</i>	<i>Q0.1</i>
2	Включить тянущие валки в реверсном направлении	<i>R1R</i>	<i>Q0.2</i>
3	Включить транспортный ролик в прямом направлении	<i>R2P</i>	<i>Q0.3</i>
4	Включить транспортный ролик в реверсном направлении	<i>R2R</i>	<i>Q0.4</i>
5	Отрезать заготовку	<i>CT</i>	<i>Q0.0</i>
Переменные			
1	Память команды «Пуск»	<i>RRUN</i>	<i>M0.0</i>

Представим уравнения, описывающие работу системы в адресах программируемого логического контроллера.

Уравнение в переменных

$$RRUN = (RUN + RRUN) \cdot (RZ \cdot \overline{R1R} \downarrow + RA) \cdot RD \cdot \overline{STOP} \quad (62)$$

Уравнение в адресах ПЛК

$$M0.0 = (I0.7 + M0.0) \cdot (I0.6 \cdot \overline{Q0.2} \downarrow + I0.5) \cdot I1.0 \cdot \overline{I0.0} \quad (63)$$

Уравнение в переменных

$$R2R = RRUN \cdot RZ \cdot (D4 + R2R \cdot \overline{D2} \downarrow) \quad (64)$$

Уравнение в адресах ПЛК

$$Q0.4 = M0.0 \cdot I0.6 \cdot (I0.4 + Q0.4 \cdot \overline{I0.2} \downarrow) \quad (65)$$

Уравнение в переменных

$$R1R = RRUN \cdot RZ \cdot (D2 \uparrow + R1R \cdot \overline{D1} \downarrow) \quad (66)$$

Уравнение в адресах ПЛК

$$Q0.2 = M0.0 \cdot I0.6 \cdot (I0.2 \uparrow + Q0.2 \cdot \overline{I0.1} \downarrow) \quad (67)$$

Уравнение в переменных

$$R1P = RRUN \cdot RA \quad (68)$$

Уравнение в адресах ПЛК

$$Q0.1 = M0.0 \cdot I0.5 \quad (69)$$

Уравнение в переменных

$$R2P = RRUN \cdot RA \quad (70)$$

Уравнение в адресах ПЛК

$$Q0.3 = M0.0 \cdot I0.5 \quad (71)$$

Уравнение в переменных

$$CT = RRUN \cdot RA \cdot (D3 \uparrow + CT \cdot \overline{D3 \downarrow}) \quad (72)$$

Уравнение в адресах ПЛК

$$Q0.0 = M0.0 \cdot I0.5 \cdot (I0.3 \uparrow + Q0.0 \cdot \overline{I0.3 \downarrow}) \quad (73)$$

Управляющая программа программируемого логического контроллера на языке лестничных диаграмм *LD* представлена на рисунке 4.10.

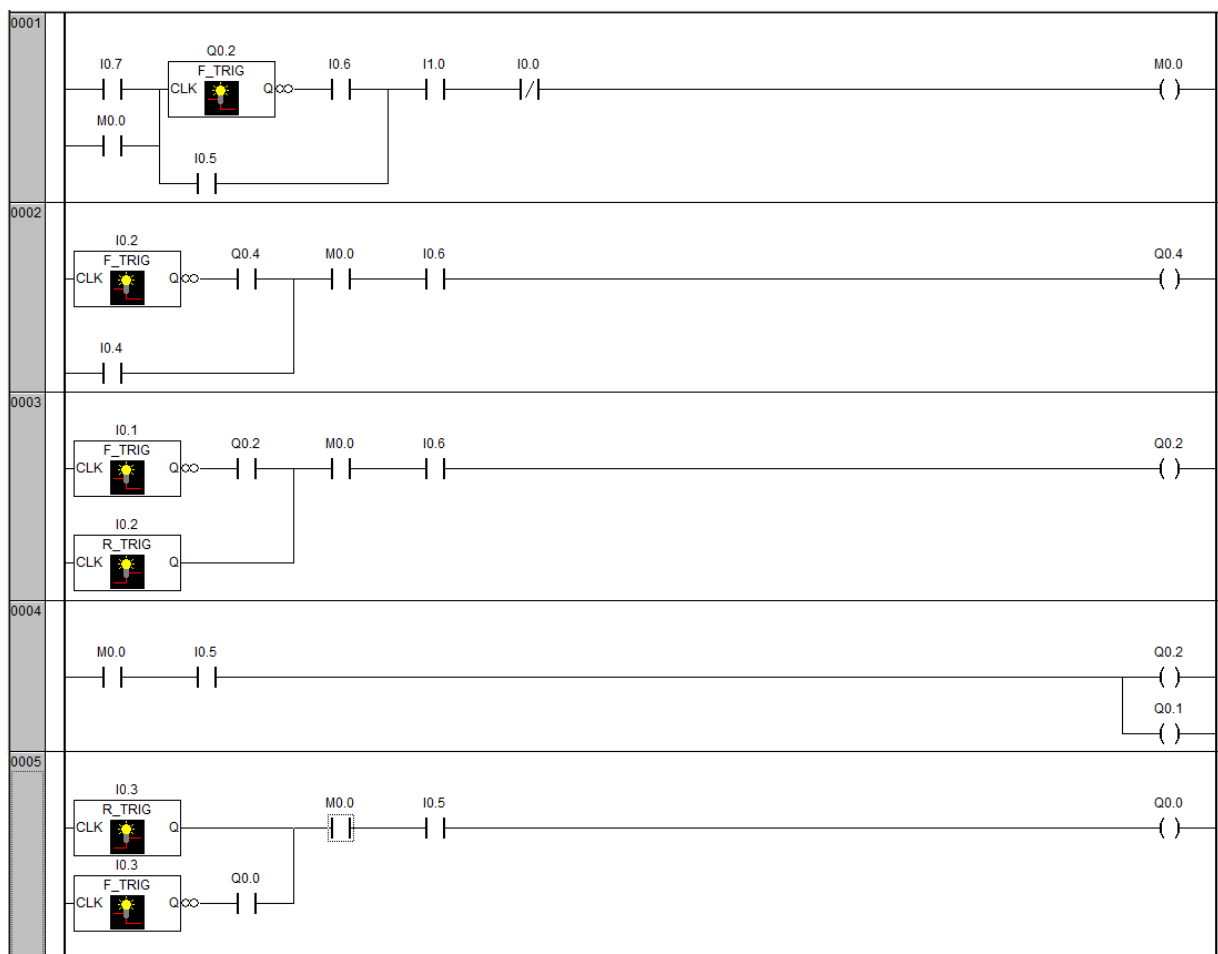


Рисунок 4.10 – Управляющая программа ПЛК на языке *LD*

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель выпускного квалификационного проекта – разработка системы автоматизации электропривода участка машины непрерывного литья заготовок достигнута.

В процессе выполнения проекта были сформулированы, поставлены, рассмотрены и решены следующие задачи:

1) на основе литературных источников изучен и по результату составлено описание автоматизируемого технологического процесса и механизмов, обеспечивающих его проведение;

2) выполнен расчет силовой части электроприводов:

- тянущих валков;
- транспортного рольганга;

3) рассчитаны статические характеристики рассматриваемых электроприводов;

4) разработана система автоматизация работы транспортного рольганга:

- функциональная схема системы автоматизации;
- схема электрическая принципиальная;
- алгоритм работы системы автоматизации;
- управляющая программа контроллера.

										Лист
										68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП					

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– SIEMENS»». – 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 Хусаинов Р.З., Качалов А.В. Микропроцессорные системы управления электроприводов. Учебное пособие к курсовому проектированию. – Челябинск, Издательство ЮУрГУ, 2018

11 Хусаинов Р.З., Качалов А.В. Микропроцессорные системы управления электроприводов. Методические указания к выполнению лабораторных работ. Часть 2. – Челябинск, издательство ЮУрГУ, 2018

12 Каталог электронных компонентов и приборов. – Электронный ресурс –

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

www.chipdip.ru

13 Бычков А.Е., Усынин Ю.С. Системы управления электроприводов, учебное пособие курсовому проектированию. г. Челябинск. Издательство ЮУрГУ – 2015г. 33с.

14 Журнал «Новости Электротехники» № 2 (32) 2006 г.

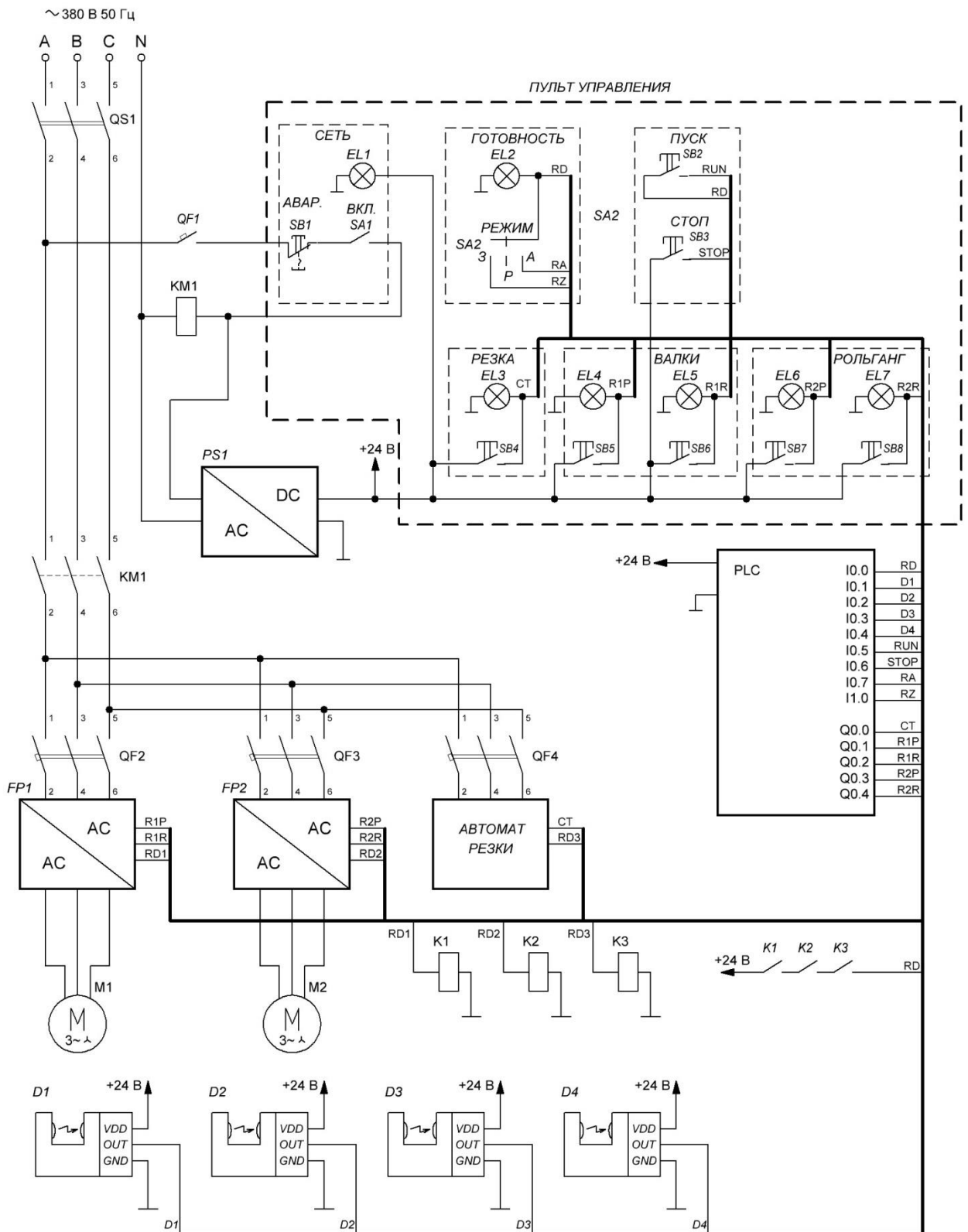
15 Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. 3-е изд., испр. М. : Издательский центр «Академия», 2007. — 576 с.

16 Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. вузов/ В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр "Академия", 2008. – 304с.

17 Алексеев В.В., А471. Электрические машины. Моделирование электрических машин приводов горного оборудования: Учеб. пособие / В.В. Алексеев, А.Е. Козярук, Э.А. Загривный. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2006г. 58 с.

									Лист
									70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ПЗ ВКП				

ПРИЛОЖЕНИЕ А СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПАЛЬНАЯ



ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.01 ЭЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Сивков К.В.		
Провер.		Горожанкин		
Реценз				
Н. Контр.		Бычков А.Е.		
Утверд.		Шишков А.Н.		

Приложение А
Схема электрическая
принципиальная

Лит.	Лист	Листов
	71	73

ЮУрГУ

--	--	--	--	--	--	--	--

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.03 ПЭ ВКП		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
Разраб.		Сивков К.В.			Приложение Б Перечень элементов	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>
Провер.		Горожанкин					72
Реценз							73
Н. Контр.		Бычков А.Е.					
Утверд.		Шишков А.Н.					

ПРИЛОЖЕНИЕ В СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

БМК – блок металлоприемника-кристаллизатора;

ЗВО – зона вторичного охлаждения;

КПД – коэффициент полезного действия;

МНЛЗ – машина непрерывного литья заготовок;

ПВ – относительная продолжительность включения;

ПИ – пропорционально – интегральный (регулятор);

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ТВ – тянущие валки;

ТПА – тянуще правильный агрегат;

ТР – транспортный рольганг;

УНРС – установка непрерывной разливки стали;

НМИ – человеко-машинный интерфейс;

MathLab – среда моделирования.

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.012.04 СП ВКП					
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Приложение В Список обозначений и сокращений					
Разраб.	Сивков К.В.							<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.	Горожанкин								73	73
Реценз										
Н. Контр.	Бычков А.Е.									
Утверд.	Шишков А.Н.									