

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 установки рулона на моталку

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

ЮУрГУ-13.03.02.2019.135 ВКР

Руководитель проекта:

Доцент, к.т.н, доцент

_____/А.Н. Горожанкин/

“ ____ ” _____ 2019 г.

Автор проекта

студент группы П-476

_____/И.В. Репин/

“ ____ ” _____ 2019 г.

Нормоконтролер

Доцент, к.т.н.

_____/А.Е. Бычков/

“ ____ ” _____ 2019 г.

Челябинск
2019 г.

АННОТАЦИЯ

Репин И.В. Автоматизированный электропривод установки рулона на моталку. – Челябинск: ЮУрГУ, Э; 2019, 70 с., 21 ил., 21 табл., библиографический список – 16 наим., 1 лист чертежей ф. А3

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была произведена автоматизация установки рулона на моталку. Для системы управления электроприводом было выбрано различное электрооборудование такое, как программируемый логический контроллер, преобразователь частоты, асинхронный двигатель, силовое и вспомогательное оборудование, датчики технологической информации.

Была разработана принципиальная электрическая схема, построены статические механические и электромеханические характеристики данной системы электропривода, рассчитаны переходные процессы работы электропривода.

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
Разраб.	Репин И.В.				Автоматизированный электропривод установки рулона на моталку	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.	Горожанкин А.Н.						4	
Реценз						ЮУрГУ Кафедра «АЭП»		
Н. Контр.	Бычков А.Е.							
Утверд.	Шишков А.Н.							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 НАЗНАЧЕНИЕ И ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА 9	
1.1 Описание технологического процесса.....	9
1.2 Требования к системе автоматизации	11
1.3 Исходные данные для проектирования	12
2 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ	14
2.1 Нагрузочные диаграммы скорости РО	14
2.2 Нагрузочные диаграммы моментов	15
3 ВЫБОР ТИПА ДВИГАТЕЛЯ	21
4 ВЫБОР РЕДУКТОРА.....	22
5 ПРИВЕДЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ МОМЕНТОВ И МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ К ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ.....	23
6 ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЯ ПО НАГРЕВУ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ.....	27
6.1 Проверка двигателя по производительности	27
6.2 Проверка двигателя по нагреву	29
7 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	31
8 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	32
9 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ ПУСКА И ТОРМОЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПЧ-АД И ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	36
9.1 Расчет схем пуска и торможения	36
9.2 Расчет переходных процессов	36
10 ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	38
10.1 Проверка на заданную производительность	38
10.2 Проверка по нагреву двигателя.....	38
10.3 Проверка по нагреву преобразователя	39
10.4 Энергетические показатели	40

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

11 СОСТАВЛЕНИЕ СПИСКА СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ	41
12 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМАМИ ОБЪЕКТА.....	45
13 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ	49
14 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗАЦИИ	51
14.1 Выбор электродвигателей	51
14.2 Выбор преобразователей частоты.....	52
14.3 Выбор датчиков.....	53
14.3.1 Выбор индуктивных датчиков.....	53
14.3.2 Выбор оптических датчиков.....	54
14.4 Выбор программируемого логического контроллера.....	56
14.5 Выбор блока питания	58
15 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ .	59
16 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	63
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	64
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	66

ВВЕДЕНИЕ

Современная тенденция в развитии автоматизированных систем движется в направлении создания систем автоматизации, которые могут выполнять определенные функции или процедуры без вмешательства человека. Задача оператора состоит в подготовке исходных технических данных, выборе метода решения поставленной задачи и анализе результатов. Причем эти тенденции наблюдаются, как и в автоматизации технологических промышленных систем, так и в других областях человеческой деятельности.

Целью данного выпускного квалификационного проекта является разработка системы для автоматической установки рулона на моталку. Это механизм прерывистого действия, предназначенный для подачи рулона стали на моталку. Моталка – устройство для наматывания/разматывания рулонов прокатываемого металла в металлургии. В данном случае для последующей подачи в стан холодной прокатки. Если стан холодной прокатки нереверсивный, то лист стали проходит через него только один раз. В случае, если стан реверсивный, то разматыватель и наматыватель поочередно меняются ролями, поэтому электроприводы намоточных устройств бывают реверсивные и нереверсивные.

Система автоматизации будет построена на программируемом логическом контроллере *SIEMENS SIMATIC S7-300*, который обладает достаточными характеристиками для управления системой.

Для разработки человеко-машинного интерфейса (*HMI*) и решения задач оперативного управления используется панель управления, где оператор может выбрать нужный режим работы, запустить механизм и другое.

Для приведения механизмов в движение будут использоваться электрические двигатели. Контроль над состоянием системы будет осуществляться с помощью оптических и индуктивных датчиков.

Электропривод является электромеханическим устройством, необходимым для приведения в движение рабочего органа машины и управления ее технологическим процессом.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

Электропривод состоит из: электродвигателя, который выполняет электромеханическое преобразование энергии, механического компонента, который передает механическую энергию рабочему органу машины, и системы управления, которая обеспечивает достаточное управление процессом для технического задания.

Характеристики электродвигателя и возможности системы управления определяют работоспособность механизма, точность выполнения технологических работ, динамическую нагрузку электрической машины и другие факторы. Однако, нагрузка на механическую часть системы, условия движения, точность передач влияют на работоспособность двигателя и системы управления, так что электрические и механические компоненты электропривода образуют электромеханическую систему с тесно взаимодействующими элементами.

Внедрение автоматизированных систем позволяет оптимизировать управление технологическим процессом и снизить роль операторов в процессе управления.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

1 НАЗНАЧЕНИЕ И ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Установка рулона на моталку осуществляет перемещение листов в рулонах с помощью передвижного подъемного стола к моталке. Конструкция установщика рулона на моталку включает в себя: грузовую тележку, механизм подъема груза.

Грузовая тележка является сварной конструкцией, на которой установлены механизмы подъема стола и перемещения тележки. Рама тележки состоит из двух продольных элементов, которые опираются на ходовые колеса, соединенных балками и покрытых сверху листом настила. Двигатель тележки выбран асинхронным с короткозамкнутым ротором. В качестве системы управления используется преобразователь частоты.

Механизм подъема груза представляет собой систему, состоящую из столешницы, червячно-винтовой передачи, редуктора, приводящего двигателя и системы управления, в качестве которой используется преобразователь частоты.

Рабочий цикл установщика рулона на моталку состоит из двух этапов: рабочий ход (перемещение рулона, установка рулона на моталку), холостой ход (возврат механизма в исходное положение).

1.1 Описание технологического процесса

Система электропривода предназначена для автоматизации механизма установки рулона: подъем рулона стали, перемещение тележки и защитой двигателя от перегрузки и коротких замыканий.

Цикл работы системы включает в себя перемещение рулона по заданному пути и возврат в исходное положение, для начала нового цикла. Когда рулон стали 2 при помощи сталкивателя 3 оказывается на решетчатом столе 4, запускается двигатель подъемного механизма 6 и происходит поднятие рулона стали на подъемном столе 5 до крайне высокого положения КВ в положении П0.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9

Затем с помощью электропривода грузовой тележки 7 поднятый рулон перемещается из положения над решетчатым столом в положение для центрирования рулона и оси моталки П2. Перед остановкой под устройством центровки, тележки переходят на пониженную скорость в положении П1 для точности остановки. После этого стальной рулон опускается в крайнее нижнее положение КН. Затем рулон движется вверх, пока не происходит центровка осей с помощью устройства центровки 9. Далее тележка перемещается к моталке, снижает скорость до пониженной в положении П3 и помещает рулон на моталку 8 в положении П4. Подъемный механизм опускается в крайнее нижнее положение, и тележка возвращается в исходное положение П0.

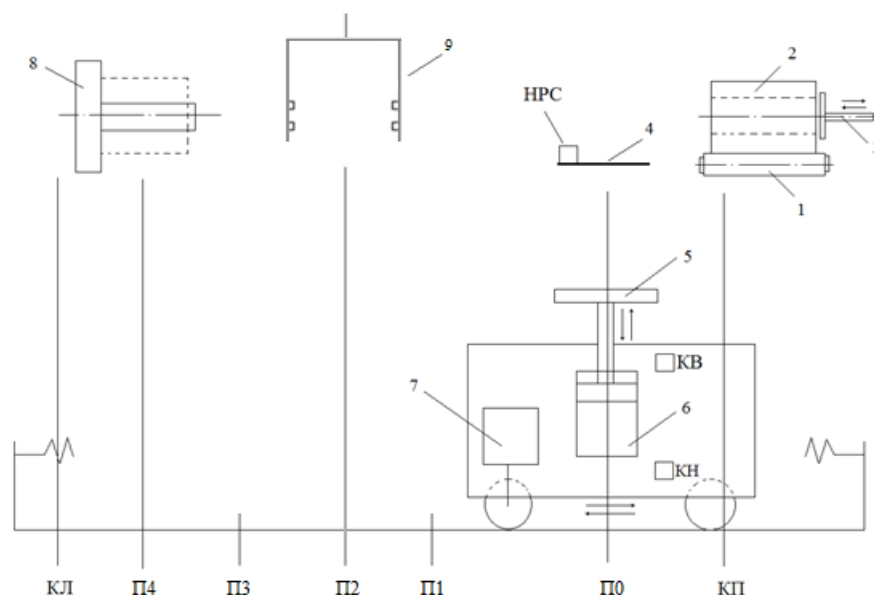


Рисунок 1.1 – Схема расположения оборудования системы:

1 – ленточный транспортер; 2 – рулон стали; 3 - сталкиватель; 4 – решетчатый сто; 5 – подъемный стол; 6 – привод подъема стола; 7 – привод перемещения тележки; 8 – моталка; 9 – устройство центровки

Процесс центровки происходит в пять этапов:

- 1) Подъемный стол еще не достиг оптических датчиков устройства центровки, сигнал от излучателя к приемнику поступает и у нижнего, и у верхнего датчика;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- 2) Подъемный стол достиг устройства центровки, связь излучателя и приемника нижнего датчика перекрывается верхней частью рулона;
- 3) Связь излучателя и приемника нижнего и верхнего датчиков перекрывается верхней частью рулона;
- 4) Связь излучателя и приемника перекрывается только у верхнего датчика;
- 5) Связь излучателя и приемника присутствует у верхнего и нижнего оптических датчиков. Внутренняя ось рулона отцентрована с осью моталки.

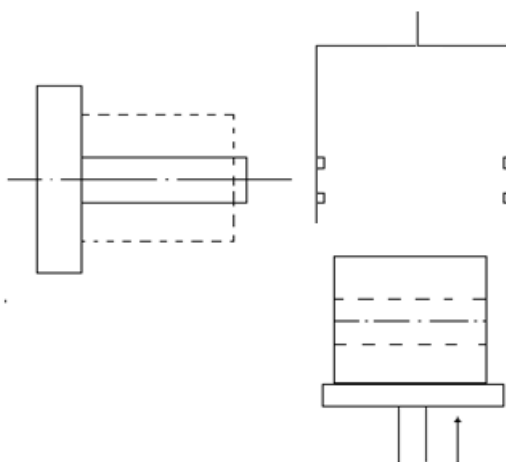


Рисунок 1.2 – Процесс центровки осей рулона и моталки

1.2 Требования к системе автоматизации

Требования к системе автоматизации:

- обеспечить автоматическую работу системы;
- обеспечить ручной режим работы, оператор управляет процессом через панель управления;
- Система должна обеспечивать идентификацию и индикацию аварийного режима работы сигнализацией.

Функции оператора должны быть сокращены до включения системы и в автоматический режим работы.

Далее оператор оценивает ситуацию и может запускать систему при наличии сигнала о готовности.

Если ситуация не позволяет начать работу в автоматическом режиме, следует перевести устройство в ручной режим, чтобы привести систему в состояние, подходящее для автоматического режима работы.

При ручном режиме работы системы оператор может управлять перемещением тележки, подъемный столом. При автоматическом режиме работы система работает согласно вышеописанной последовательности.

1.3 Исходные данные для проектирования

Схем грузовой тележки приведена на рисунке 1.3.

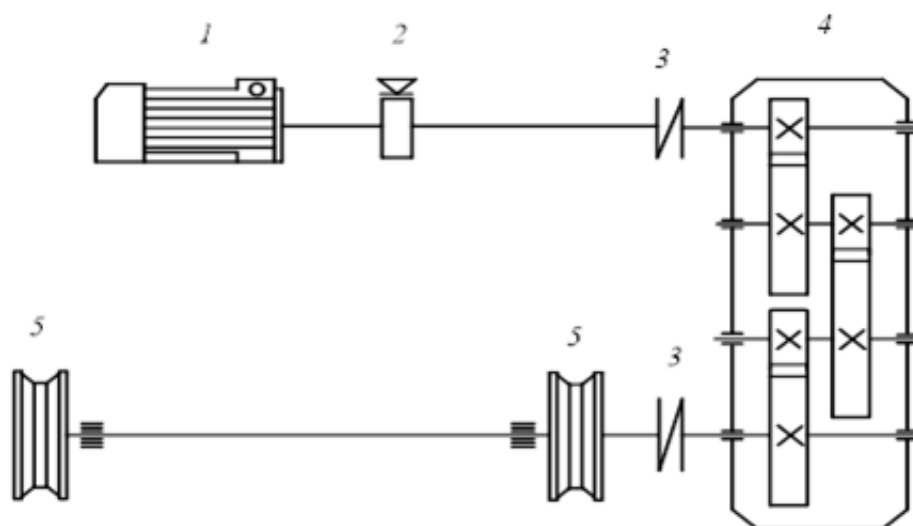


Рисунок 1.3 – Кинематическая схема механизма передвижения тележки:

1 – электродвигатель; 2 – тормозной шкив; 3 – муфта; 4 – редуктор;
5 – ходовые колёса

В Таблице 1.1 представлены технические данные механизма передвижения тележки, необходимые для расчетов.

Таблица 1.1 – Технические данные механизма передвижения тележки

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Масса тележки	m	т	4
Масса грузоподъемного устройства	m_r	т	2
Масса рулона	m_p	т	6
Диаметр колеса	D_K	м	0,4
Длина перемещения	L	м	16

Продолжение таблицы 1.1

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Рабочая скорость	V_p	м/с	0,5
Среднее ускорение	$a_{доп}$	м/с ²	0,4
Пониженная скорость	$V_{п}$	м/с	0,1
Число циклов	z	-	15
Диаметр ступицы колеса	$d_{ст}$	м	0,1
Коэффициент трения скольжения	μ	-	0,02
Момент инерции тормозного шкива	$J_{ш}$	кгм ²	0,4
Коэффициент трения качения	f	мм	0,5

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР

Лист

13

2 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

2.1 Нагрузочные диаграммы скорости РО

Исходя из технических данных механизма рассчитаем и построим зависимость скорости рабочей машины от времени $v(t)$.

Рассчитаем время пуска с допустимым ускорением, торможение до остановки:

$$t_{\Pi} = t_{\Gamma} = \frac{v_y}{a_{\text{доп}}}. \quad (2.1)$$

Путь, проходимый тележкой за время пуска и торможения:

$$L_{\Pi} = L_{\Gamma} = \frac{v_y^2}{2 \cdot a_{\text{доп}}}. \quad (2.2)$$

Время движения с установившейся скоростью:

$$t_y = \frac{L - (L_{\Pi} + L_{\Gamma})}{v_y}. \quad (2.3)$$

При подставлении числовых значений, получаем:

– при движении вперед (с грузом)

$$t_{\Pi}^p = \frac{0,5}{0,4} = 1,25 \text{ с};$$

$$t_{\Gamma_1}^p = \frac{0,5 - 0,1}{0,4} = 1 \text{ с};$$

$$t_{\Gamma_2}^p = \frac{0,1}{0,4} = 0,25 \text{ с};$$

$$L_{\Pi}^p = \frac{0,5^2}{2 \cdot 0,4} = 0,313 \text{ м};$$

$$L_{\Gamma_1}^p = \frac{0,5^2 - 0,1^2}{2 \cdot 0,4} = 0,3 \text{ м};$$

$$L_{\Gamma_2}^p = \frac{0,1^2}{2 \cdot 0,4} = 0,013 \text{ м};$$

$$t_{y_1}^p = \frac{7 - (0,313 + 0,3)}{0,55} = 12,775 \text{ с};$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

$$t_{y2}^p = \frac{1 - 0,013}{0,1} = 9,875 \text{ с.}$$

– при движении назад (без груза):

$$t_{\Pi}^B = t_{\Gamma}^B = \frac{0,5}{0,4} = 1,25 \text{ с;}$$

$$L_{\Pi}^B = L_{\Gamma}^B = \frac{0,5^2}{2 \cdot 0,4} = 0,313 \text{ м;}$$

$$t_{y}^B = \frac{16 - (0,313 + 0,313)}{0,5} = 30,75 \text{ с.}$$

2.2 Нагрузочные диаграммы моментов

Статические моменты создаются сопротивлением сил трения скольжения в подшипниках, в винтовой передаче, трения качения колес.

Найдем момент сил трения в подшипниках:

$$M_{\text{ТП}} = \frac{m_1 \cdot d_c \cdot \mu_{\text{п}} \cdot g}{2}, \quad (2.4)$$

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

d_c – диаметр шейки вала или оси, м;

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

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

При движении тележки с грузом:

$$M_{\text{ТП}}^p = \frac{(m + m_{\Gamma} + m_o) \cdot d_c \cdot \mu_{\text{п}} \cdot g}{2} = \frac{(4000 + 2000 + 6000) \cdot 0,1 \cdot 0,02 \cdot 9,81}{2} = 117,72 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

При движении тележки без груза:

$$M_{\text{ТП}}^B = \frac{(m + m_o) \cdot d_c \cdot \mu_{\text{п}} \cdot g}{2} = \frac{(4000 + 2000) \cdot 0,1 \cdot 0,02 \cdot 9,81}{2} = 58,86 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Момент сил трения качения:

$$M_{\text{ТК}} = m \cdot f \cdot g, \quad (2.5)$$

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

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		15

f – коэффициент трения качения.

При движении тележки с грузом:

$$M_{\text{тк}}^{\text{P}} = (m + m_{\text{г}} + m_{\text{о}}) \cdot f \cdot g = (4000 + 6000 + 2000) \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 = 58,86 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении тележки без груза:

$$M_{\text{тк}}^{\text{B}} = (m + m_{\text{о}}) \cdot f \cdot g = (4000 + 2000) \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 = 29,43 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент сил трения, учитывающий трение реборд колес о рельсы:

$$M_{\text{трк}} = k_{\text{р}} \cdot (M_{\text{тп}} + M_{\text{тк}}), \quad (2.6)$$

где $k_{\text{р}}$ – коэффициент, учитывающий трение реборд колес о рельсы.

При движении тележки с грузом:

$$M_{\text{трк}}^{\text{P}} = k_{\text{р}} \cdot (M_{\text{тп}}^{\text{P}} + M_{\text{тк}}^{\text{P}}) = 1,3 \cdot (117,72 + 58,86) = 229,554 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении тележки без груза:

$$M_{\text{трк}}^{\text{B}} = k_{\text{р}} \cdot (M_{\text{тп}}^{\text{B}} + M_{\text{тк}}^{\text{B}}) = 1,3 \cdot (58,86 + 58,86) = 114,777 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Просуммируем статические моменты и найдем статический момент рабочего органа:

– при движении тележки с грузом

$$M_{\text{рост}}^{\text{P}} = M_{\text{тп}}^{\text{P}} + M_{\text{тк}}^{\text{P}} + M_{\text{трк}}^{\text{P}} = 117,72 + 58,86 + 229,554 = 406,134 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– при движении тележки без груза

$$M_{\text{рост}}^{\text{B}} = M_{\text{тп}}^{\text{B}} + M_{\text{тк}}^{\text{B}} + M_{\text{трк}}^{\text{B}} = 58,86 + 58,86 + 114,777 = 203,067 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Для того, чтобы определить динамические моменты рабочей машины нужно найти моменты инерции рабочей машины:

$$J_{\text{ро}} = m \cdot \frac{D_{\text{к}}^2}{4}, \quad (2.7)$$

где m – масса поступательно движущихся частей;

$D_{\text{к}}$ – диаметр колеса.

При движении с грузом:

$$J_{\text{ро}}^{\text{P}} = m \cdot \frac{D_{\text{к}}^2}{4} = (m + m_{\text{г}} + m_{\text{о}}) \cdot \frac{D_{\text{к}}^2}{4} = (4000 + 6000 + 2000) \cdot \frac{0,4^2}{4} = 480 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При движении без груза:

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16

$$J_{\text{ро}^{\text{в}}} = m \cdot \frac{D_K^2}{4} = (m + m_o) \cdot \frac{D_K^2}{4} = (4000 + 2000) \cdot \frac{0,4^2}{4} = 240 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Если допустимое ускорение $a_{\text{доп}}$ одинаково для каждого режима рабочей машины, то динамические моменты можно рассчитать так:

$$M_{\text{родин}} = J_{\text{ро}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}}}{D_K}. \quad (2.8)$$

При разгоне и торможении тележки с грузом:

$$M_{\text{родин}}^{\text{р}} = J_{\text{ро}^{\text{р}}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}}}{D_K} = 480 \cdot \frac{2 \cdot 0,4}{0,4} = 960 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

При разгоне и торможении тележки без груза:

$$M_{\text{родин}}^{\text{в}} = J_{\text{ро}^{\text{в}}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}}}{D_K} = 240 \cdot \frac{2 \cdot 0,4}{0,4} = 480 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Полный момент рабочей машины:

$$M_{\text{ро}} = M_{\text{рост}} + M_{\text{родин}}. \quad (2.9)$$

Первый участок – разгон тележки с рулоном:

$$M_{\text{ро}}^1 = M_{\text{рост}}^{\text{р}} + M_{\text{родин}}^{\text{р}} = 406,134 + 960 = 1366,134 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Второй участок – равномерное движение тележки с рулоном:

$$M_{\text{ро}}^2 = M_{\text{рост}}^{\text{р}} = 406,134 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Третий участок – торможение тележки с рулоном до пониженной скорости:

$$M_{\text{ро}}^3 = M_{\text{рост}}^{\text{р}} - M_{\text{родин}}^{\text{р}} = 406,134 - 960 = -553,866 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Четвертый участок – равномерное движение тележки с рулоном при пониженной скорости:

$$M_{\text{ро}}^4 = M_{\text{рост}}^{\text{р}} = 406,134 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пятый участок – торможение тележки с рулоном до остановки:

$$M_{\text{ро}}^5 = M_{\text{рост}}^{\text{р}} - M_{\text{родин}}^{\text{р}} = 406,134 - 960 = -553,866 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Шестой участок – время паузы:

$$M_{\text{ро}}^6 = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Седьмой участок – разгон тележки без груза:

$$M_{\text{ро}}^7 = M_{\text{рост}}^{\text{в}} + M_{\text{родин}}^{\text{в}} = 203,067 + 480 = 683,067 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

Восьмой участок – равномерное движение тележки без рулона:

$$M_{po}^8 = M_{рост}^B = 203,067 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Девятый участок – торможение тележки без рулона до остановки:

$$M_{po}^9 = M_{рост}^B - M_{родин}^B = 203,067 - 480 = -276,933 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Для участка движения после центровки моменты рассчитываются аналогично.

Таблица 2.1 – Данные рабочего органа по участкам движения

Участок движения		Прямой ход					Обратный ход		
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Уст. режим	Торможение до пониж.	Уст. Режим	Торможение до 0	Пуск	Уст. режим	Торможение
Скорость, м/с	V_{po}	-	0,5	-	0,1	-	-	0,5	-
Время работы, с	t_{po}	1,25	12,775	1	9,875	0,25	1,25	30,75	1,25
Путь, м	L_{po}	0,313	6,388	0,3	0,988	0,013	0,313	15,375	0,313
Моменты РО, Нм:									
Трение в подшипниках	$M_{тп}$	117,72					-58,86		
Трение качения	$M_{тк}$	58,86					-29,43		
Трение реборд колес	$M_{трк}$	229,554					-114,777		
Статический момент, Н·м	$M_{рост}$	403,134					-203,067		
Момент инерции, кг·м ²	$J_{рост}$	480					240		
Динамический момент, Н·м	$M_{родин}$	960	0	-960	0	-960	-480	0	480
Суммарный момент, Н·м	M_{po}	1336,134	406,134	-553,866	406,134	-553,866	-683,067	203,067	273,933

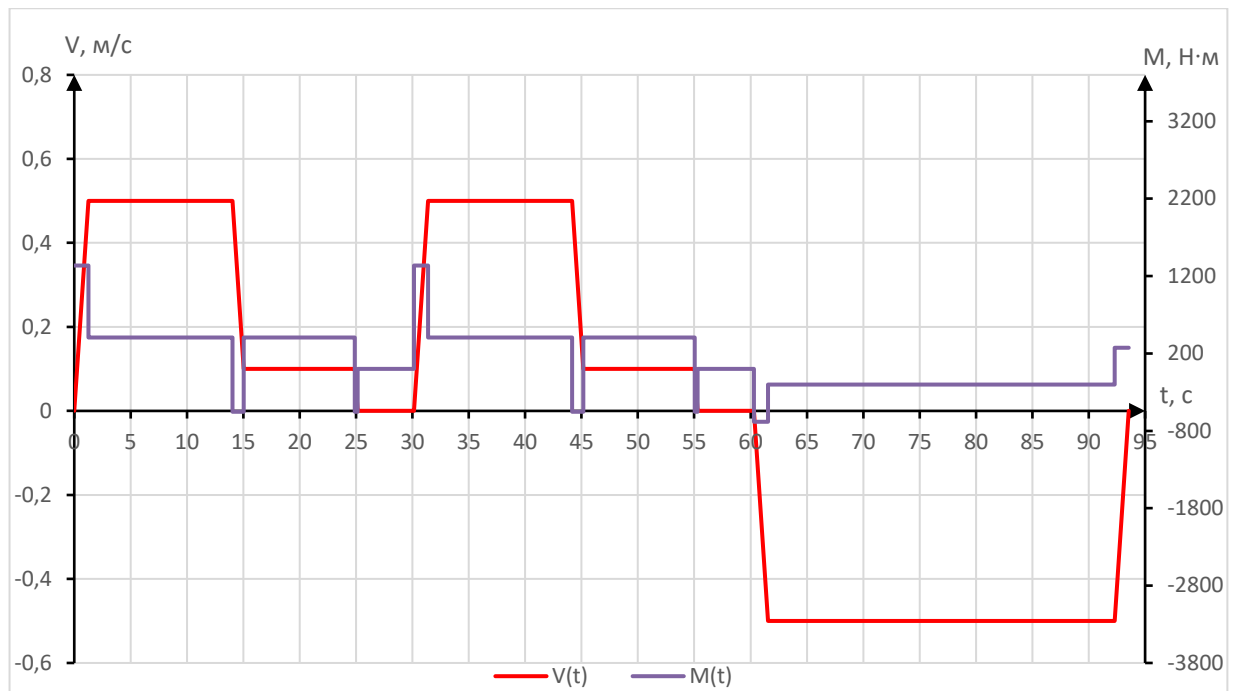


Рисунок 2.1 – Нагрузочные диаграммы РО

На нагрузочных диаграммах видны два одинаковых цикла разгона и торможения тележки с рулоном, так как сначала тележка на установившейся подъезжает к устройству центровки, переходит на пониженную скорость для точности остановки и останавливается, а затем данный цикл повторяется, когда тележки подъезжает к моталке.

Рассчитаем среднеквадратическое значение момента:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^m M_K^2 \cdot t_K}{\sum_{K=1}^m t_K}}, \quad (2.10)$$

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

t_K – длительность k -го участка, с.

Подставив числовые значения, получим:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{сркв}} &= \\
 &= \sqrt{\frac{(1366,134^2 \cdot 1,25 + 406,134^2 \cdot 12,775 + 553,866^2 \cdot 1 + 406,134^2 \cdot 9,875 + \\
 &\quad (1,25 + 12,775 + 1 + 9,875 + \\
 &\quad + 553,866^2 \cdot 0,25) \cdot 2 + 683,067^2 \cdot 1,25 + 203,067^2 \cdot 30,75 + 276,933^2 \cdot 1,25 \\
 &\quad + 0,25) \cdot 2 + 1,25 + 30,75 + 1,25}{(1,25 + 12,775 + 1 + 9,875 + \\
 &\quad + 553,866^2 \cdot 0,25) \cdot 2 + 683,067^2 \cdot 1,25 + 203,067^2 \cdot 30,75 + 276,933^2 \cdot 1,25 \\
 &\quad + 0,25) \cdot 2 + 1,25 + 30,75 + 1,25}} = \\
 &= 421,616 \text{ Н} \cdot \text{м}.
 \end{aligned}$$

Мощность двигателя может быть определена по формуле:

$$P_{\text{ДВ}} = k_1 \cdot M_{\text{срКВ}} \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{факт}}}{\text{ПВ}_{\text{кат}}}}, \quad (2.11)$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки. $k_1 = 1,5$;

v_0 – основная скорость движения РО, м/с;

D – Диаметр шестерни выходного вала редуктора, м;

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

$\text{ПВ}_{\text{кат}}$ – ближайшее к $\text{ПВ}_{\text{факт}}$ каталожное значение.

$\text{ПВ}_{\text{факт}}$ рассчитаем, с учетом длительности работы и заданным временем цикла:

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{z}, \quad (2.12)$$

где z – число циклов работы машины в час.

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{15} = 240 \text{ с};$$

$$\text{ПВ}_{\text{факт}} = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \cdot \sum_{K=1}^m t_k = \frac{1}{240} \cdot ((1,25 + 12,775 + 1 + 9,875 + 0,25) \cdot 2 + 1,25 + 30,75 + 1,25) = 34,8\% .$$

Для работы в повторно-кратковременном режиме необходимо выбирать двигатели особых серий, таких как, краново-металлургическая. Номинальными для этой серии являются данные при $\text{ПВ}_{\text{кат}} = 40\%$. Тогда мощность двигателя

$$P_{\text{ДВ}} = 1,5 \cdot 421,616 \cdot \frac{2 \cdot 0,5}{0,4} \cdot \sqrt{\frac{0,348}{0,4}} = 1,475 \text{ кВт}.$$

3 ВЫБОР ТИПА ДВИГАТЕЛЯ

Двигатель необходимо выбирать с учетом того, что значение его мощности при $P_{ВКАТ}$ было равно или несколько больше рассчитанной мощности [4].

Выбор электродвигателя произведем по каталогу краново-металлургической серии $4МТКФ(Н)$. Они часто используются в электроприводах металлургических механизмов [8].

Из двигателей переменного тока с короткозамкнутым ротором выбираем двигатель $4МТКФ(Н)132L6$.

Таблица 3.1 – Технические данные электродвигателя $4МТКФ(Н)132L6$

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Номинальная мощность на валу	P_H	кВт	5,5
Номинальная частота вращения	n_H	Об/мин	900
Коэффициент мощности	$\cos \varphi$	-	0,75
Номинальный ток статора	I_H	А	13,6
Пусковой ток	$I_{П}$	А	57
Ток холостого хода	I_0	А	8
Пусковой момент	$M_{П}$	Н·м	145
Максимальный момент	M_{\max}	Н·м	155
Активное сопротивление фазной обмотки статора	r_1	Ом	1,07
Активное сопротивление короткого замыкания	$R_{кз}$	Ом	3,36
Индуктивное сопротивление короткого замыкания	$X_{кз}$	Ом	2,87
Коэффициент приведения сопротивлений	K_r	-	1,97
Момент инерции двигателя	$J_{ДВ}$	кг·м ²	0,09

4 ВЫБОР РЕДУКТОРА

Передаточное число редуктора можно определить по номинальной скорости вращения двигателя и основной скорости движения исполнительного органа:

$$i_p = \frac{\omega_n \cdot D}{2 \cdot v_o}, \quad (4.1)$$

где D – диаметр колеса, находящегося на выходном валу редуктора, м;

Номинальная скорость двигателя:

$$\omega_n = \frac{n_n}{9,55};$$
$$\omega_n = \frac{900}{9,55} = 94,248 \text{ рад/с};$$
$$i_p = \frac{94,248 \cdot 0,4}{2 \cdot 0,5} = 37,699.$$

Редуктор выбираем исходя из того, что передаточное число должно быть равно или немного меньше рассчитанного, так же необходимо учитывать условия работы механизма, номинальную мощность и скорость двигателя [1, 4].

По полученной мощности выбираем цилиндрический трехступенчатый вертикальный редуктор: Ц2У-160.

Таблица 4.1 – Характеристики редуктора Ц2У-160.

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Передаточное число редуктора	j	-	39,2
Коэффициент полезного действия	η_p	%	0,96

5 ПРИВЕДЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ МОМЕНТОВ И МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ К ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ

После выбора электродвигателя и редуктора можно рассчитать статические моменты рабочей машины, приведенные к валу двигателя.

Установившаяся скорость двигателя:

$$\omega_c = \frac{i_p \cdot v_{p0}}{D/2}. \quad (5.1)$$

Рабочая и пониженная скорости будут равны:

$$\omega_p = \frac{39,2 \cdot 0,5}{0,4/2} = 98 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$
$$\omega_{п} = \frac{39,2 \cdot 0,1}{0,4/2} = 19,6 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Статические моменты рабочей машины, приведённые к валу двигателя, без учёта потерь в редукторе:

$$M_{PC} = \frac{M_{\text{РОСТ}}}{j_p}. \quad (5.2)$$

При движении с грузом:

$$M_{PC1} = \frac{M_{\text{РОСТВ}}}{j_p} = \frac{406,134}{39,2} = 10,361 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении без груза:

$$M_{PC2} = \frac{M_{\text{РОСТН}}}{j_p} = \frac{203,067}{39,2} = 5,18 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Статические моменты на валу с учётом потерь в редукторе в двигательных режимах:

$$M_{BC} = \frac{M_{PC}}{\eta_p}. \quad (5.3)$$

При движении вперёд:

$$M_{BC1} = \frac{M_{PC1}}{\eta_p} = \frac{10,361}{0,96} = 10,792 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении назад:

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		23

$$M_{BC2} = \frac{-M_{PC2}}{\eta_P} = \frac{-5,18}{0,96} = -5,369 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

В тормозных режимах:

$$M_{BC} = M_{PC} \cdot \eta_P \quad (5.4)$$

При движении вперёд:

$$M_{BC3} = M_{PC1} \cdot \eta_P = 10,361 \cdot 0,96 = 9,946 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении назад:

$$M_{BC4} = -M_{PC2} \cdot \eta_P = -5,18 \cdot 0,96 = -4,973 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Потери момента холостого хода.

Приближенно оценить потери момента холостого хода в номинальном режиме можно по формуле:

$$\Delta M_x = \frac{\Delta P_H}{3\omega_H}; \quad (5.5)$$

$$\Delta M_x = \frac{3 \cdot 220 \cdot 13,6 \cdot 0,75 - 5500}{3 \cdot 94,248} = 4,357 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Расчёт статического момента двигателя:

$$M_c = M_{BC} \pm \Delta M_x, \quad (5.6)$$

где знак плюс ставится в двигательном режиме, а знак минус – в тормозном.

В двигательных режимах:

$$M_1 = M_{BC1} + \Delta M_x = 10,792 + 4,357 = 15,15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_2 = -M_{BC2} + \Delta M_x = -5,396 + (-4,357) = -9,753 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

В тормозных режимах:

$$M_3 = M_{BC3} - \Delta M_x = 9,946 - 4,357 = 5,589 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_4 = M_{BC4} - \Delta M_x = -4,973 - (-4,357) = -0,616 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приведённые к валу двигателя моменты инерции РО:

$$J_{ПР} = \frac{J}{j_P^2}. \quad (5.7)$$

При движении с грузом:

$$J_{ПР1} = \frac{J_1}{j_P^2} = \frac{480}{39,2^2} = 0,312 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При движении без груза:

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		24

$$J_{\text{ПР2}} = \frac{J_2}{j_p^2} = \frac{240}{39,2^2} = 0,156 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции системы, приведённый к валу двигателя:

$$J = \delta \cdot J_{\text{дв}} + J_{\text{ПР}} + J_{\text{ш}}, \quad (5.8)$$

где $\delta = 1,5$ – коэффициент, учитывающий момент инерции остальных элементов электропривода.

$$J_1 = \delta \cdot J_{\text{дв}} + J_{\text{ПР1}} = 1,5 \cdot 0,09 + 0,312 + 0,4 = 0,847 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_2 = \delta \cdot J_{\text{дв}} + J_{\text{ПР2}} = 1,5 \cdot 0,09 + 0,156 + 0,4 = 0,691 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Жесткость упругой механической связи $C_{\text{пр}}$, приведенную к валу двигателя можно найти, зная значение крутильной жесткости рабочего вала:

$$C_{\text{пр}} = \frac{C_{\text{к}}}{j_p^2}; \quad (5.9)$$

$$C_{\text{пр}} = \frac{50 \cdot 10^6}{39,2^2} = 32540 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамический момент двигателя:

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{2a_{\text{доп}} \cdot j_p}{D_{\text{к}}}. \quad (5.10)$$

При движении вперед:

$$M_{\text{динв}} = 0,847 \cdot \frac{2 \cdot 1 \cdot 39,2}{0,4} = 166,084 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении назад:

$$M_{\text{динн}} = 0,691 \cdot \frac{2 \cdot 1 \cdot 39,2}{0,4} = 135,472 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой и тормозной моменты с допустимым ускорением определяются по формулам:

$$M_{\text{т}} = M_{\text{с}} - M_{\text{дин}}; \quad (5.11)$$

$$M_{\text{п}} = M_{\text{с}} + M_{\text{дин}}. \quad (5.12)$$

Пусковой и тормозной моменты при движении вперед с допустимым ускорением:

$$M_{\text{П1}} = M_1 + M_{\text{динв}} = 15,15 + 166,084 = 181,234 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{Т1}} = M_3 - M_{\text{динв}} = 5,589 - 166,084 = -160,496 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

Пусковой и тормозной моменты при движении назад с допустимым ускорением:

$$M_{П2} = M_2 - M_{динн} = -9,753 - 135,472 = -145,226 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{Т2} = M_4 + M_{динн} = -0,616 + 135,472 = 134,856 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таблица 5.1 – Приведённые к валу двигателя статические и динамические моменты

Участок движения		Прямой ход					Обратный ход		
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Уст. режим	Торможение до пониженной	Уст. Режим	Торможение до 0	Пуск	Уст. режим	Торможение
По данным таблицы 2:									
Скорость, м/с	v_{PO}	-	0,5	-	0,1	-	-	0,5	-
Статический момент P_O , Нм	M_{PocT}	406,164					-203,067		
Момент инерции P_O , кгм ²	J_{PocT}	480					240		
Приведение к валу двигателя:									
Скорость двигателя, рад/с	ω_c	-	98	-	19,6	-	-	-98	-
Момент статический, Нм:									
-без учёта потерь в передаче	$M_{ПР}$	10,361					5,18		
-с учётом потерь	M_{BC}	10,792	10,792	9,946	10,792	9,946	-5,396	-5,396	-4,937
-с учётом потерь холостого хода двигателя	M_C	15,15	15,15	5,589	15,15	5,589	-9,753	-9,753	-0,616
Приведённый момент инерции, кгм ²	$J_{ПР}$	0,312					0,156		
Момент инерции электропривода	J	0,847					0,691		
Динамический момент, Нм	$M_{дин}$	166,084	-	-166,084	-	-166,084	135,472	-	135,472
Допускаемый по ускорению момент двигателя, Нм	$M_{доп}$	181,234	15,15	-160,496	15,15	-160,496	145,226	-9,753	134,856
Данные предварительного расчёта:									
Средний момент двигателя на участке, Нм	M_{CP}	181,234	15,15	-160,496	15,15	-160,496	145,226	-9,753	134,856
Время работы, с	t_B	0,5	12,365	0,4	9,825	0,1	0,5	30,25	0,5
Угол поворота вала двигателя, рад	α_B	24,5	1252	15,68	193,55	0,98	24,5	3014	24,5

6 ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЯ ПО НАГРЕВУ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Предварительная проверка двигателя необходима для того, чтобы уточнить нагрузочные диаграммы момента и диаграммы скорости с учетом момента инерции двигателя [6].

6.1 Проверка двигателя по производительности

Найдем времена переходных процессов для каждого участка работы:

$$t_i = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{cp} - M_c}, \quad (6.1)$$

где J – суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции, кгм²;

ω_c – установившаяся скорость двигателя, рад/с;

M_{cp} – средний момент двигателя, Нм;

M_c – приведенный статический момент, Нм.

Первый участок - разгон тележки с грузом

$$t_1 = J^p \cdot \frac{\omega_c}{M_{п}^p - M_{сд}^p} = 0,847 \cdot \frac{98}{181,234 - 15,15} = 0,5 \text{ с.}$$

Третий участок – торможение тележки с грузом до пониженной

$$t_3 = J^p \cdot \frac{\omega_c - \omega_{cp}}{M_{т}^p - M_{ст}^p} = 0,847 \cdot \frac{98 - 19,3}{15,15 - (-160,496)} = 0,4 \text{ с.}$$

Пятый участок – торможение тележки с грузом до остановки

$$t_5 = J^p \cdot \frac{\omega_{cp}}{M_{т}^p - M_{ст}^p} = 0,847 \cdot \frac{19,6}{15,15 - (-160,496)} = 0,1 \text{ с.}$$

Седьмой участок – разгон тележки без груза

$$t_7 = J^b \cdot \frac{\omega_{св}}{M_{п}^b - M_{сд}^b} = 0,691 \cdot \frac{-98}{-145,226 - (-9,753)} = 0,5 \text{ с.}$$

Девятый участок – торможение тележки без груза

$$t_9 = J^b \cdot \frac{\omega_{св}}{M_{т}^b - M_{ст}^b} = 0,691 \cdot \frac{98}{143,856 - (-0,616)} = 0,5 \text{ с}$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		27

Угол поворота вала двигателя за время переходного процесса находится по формуле:

$$\alpha_i = \frac{\omega_c \cdot t_i}{2}. \quad (6.2)$$

Угол поворота вала:

– за 1-й участок

$$\alpha_1 = \frac{\omega_c \cdot t_1}{2} = \frac{98 \cdot 0,5}{2} = 24,5 \text{ рад};$$

– за 3-й участок

$$\alpha_3 = \frac{(\omega_c - \omega_{cp}) \cdot t_3}{2} = \frac{(98 - 199,6) \cdot 0,4}{2} = 15,68 \text{ рад};$$

– за 5-й участок

$$\alpha_5 = \frac{\omega_{cp} \cdot t_5}{2} = \frac{19,6 \cdot 0,1}{2} = 0,98 \text{ рад};$$

– за 7-й участок

$$\alpha_7 = \frac{\omega_{св} \cdot t_7}{2} = \frac{98 \cdot 0,5}{2} = 24,5 \text{ рад};$$

– за 9-й участок

$$\alpha_9 = \frac{\omega_{св} \cdot t_9}{2} = \frac{98 \cdot 0,5}{2} = 24,5 \text{ рад}.$$

Угол поворота вала, соответствующий полному перемещению моста:

$$\alpha_{\Sigma} = \frac{2L \cdot j_p}{D_K} = \frac{2 \cdot 16 \cdot 39,2}{0,4} = 3136 \text{ рад};$$

– на 2 участке

$$\alpha_2 = \frac{2 \cdot L \cdot j_p}{D} = \frac{2 \cdot 6,388 \cdot 39,2}{0,4} = 1252 \text{ рад}.$$

Время работы с установившейся скоростью:

– при движении с грузом

$$t_2 = \frac{\alpha_2 - (\alpha_1 + \alpha_3)}{\omega_c} = \frac{1252 - 40,18}{98} = 12,365 \text{ с};$$

– на 4 участке

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		28

$$\alpha_4 = \frac{2 \cdot L \cdot j_p}{D} = \frac{2 \cdot 0,988 \cdot 39,2}{0,4} = 193,55 \text{ рад};$$

– при движении с грузом

$$t_4 = \frac{\alpha_4 - \alpha_5}{\omega_{cp}} = \frac{193,55 - 0,98}{19,6} = 9,825 \text{ с};$$

– на 8 участке

$$\alpha_8 = \frac{2 \cdot L \cdot j_p}{D} = \frac{2 \cdot 15,375 \cdot 39,2}{0,4} = 3014 \text{ рад};$$

– при движении без груза

$$t_8 = \frac{\alpha_8 - (\alpha_7 + \alpha_9)}{\omega_{св}} = \frac{3014 - 49}{98} = 30,25 \text{ с}.$$

Результаты расчётов занесены в таблицу 6.1.

Проверка двигателя по производительности:

$$\begin{aligned} t_{\text{факт}} &= (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5) \cdot 2 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 = \\ &= (0,5 + 12,365 + 0,4 + 9,825 + 0,1) \cdot 2 + 0,5 + 30,25 + 0,5 = \\ &= 77,63 \text{ с}. \end{aligned}$$

Проверка двигателя по производительности выполнена.

6.2 Проверка двигателя по нагреву

Проверка двигателя по нагреву происходит за счет сравнения среднеквадратичного и допускаемого момента:

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

$$\begin{aligned} M_{\text{сркв}} &= \sqrt{\frac{(181,234^2 \cdot 0,5 + 15,15^2 \cdot 12,356 + 160,496^2 \cdot 0,4 + 15,15^2 \cdot 9,825 + \\ &+ 160,496^2 \cdot 0,1) \cdot 2 + 145,226^2 \cdot 0,5 + 9,753^2 \cdot 30,25 + 134,856^2 \cdot 0,5}{(0,5 + 12,365 + 0,4 + 9,825 + 0,1) \cdot 2 + \\ &+ 0,5 + 30,25 + 0,5}} = \end{aligned}$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		29

$$= 34,295 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Продолжительность включения:

$$\text{ПВ}_{\text{факт}} = \frac{t_{\text{ФАКТ}}}{t_{\text{ц}}} = \frac{77,63}{240} = 0,323.$$

Ближайшее $\text{ПВ}_{\text{КАТ}}=0,4$.

Момент двигателя при $\text{ПВ}_{\text{КАТ}}$:

$$M_{\text{кат}} = \frac{P_{\text{кат}}}{\omega_{\text{кат}}} = \frac{5500}{94,248} = 58,357 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Допускаемый по нагреву момент двигателя:

$$M_{\text{доп}} = M_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{кат}}}{\text{ПВ}_{\text{ФАКТ}}}};$$

$$M_{\text{доп}} = 58,357 \cdot \sqrt{\frac{0,4}{0,323}} = 64,895 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{сркв}} = 34,295 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{\text{доп}} = 64,895 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По условиям нагрева двигатель проходит.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		30

7 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Если выбранный двигатель прошел проверку по нагреву, то осуществляется выбор системы управления электроприводом, в данном случае ПЧ-АД. Номинальная мощность и ток преобразователя должны быть больше или равны номинальной мощности и току двигателя.

На основе номинальных данных электродвигателя выбираем преобразователь частоты *ATV71HU55N4* номинальной полной мощностью 13,4 кВА фирмы «*Schneider Electric*» [11].

Таблица 7.1 – Технические данные *ATV71HU55N4*

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Номинальная полная мощность	S_H	кВА	13,4
Номинальная мощность двигателя	P_H	кВт	5,5
Напряжение питания	U_H	В	380
Линейный ток	I_L	А	20,3
Ток короткого замыкания	$I_{КЗ}$	кА	22

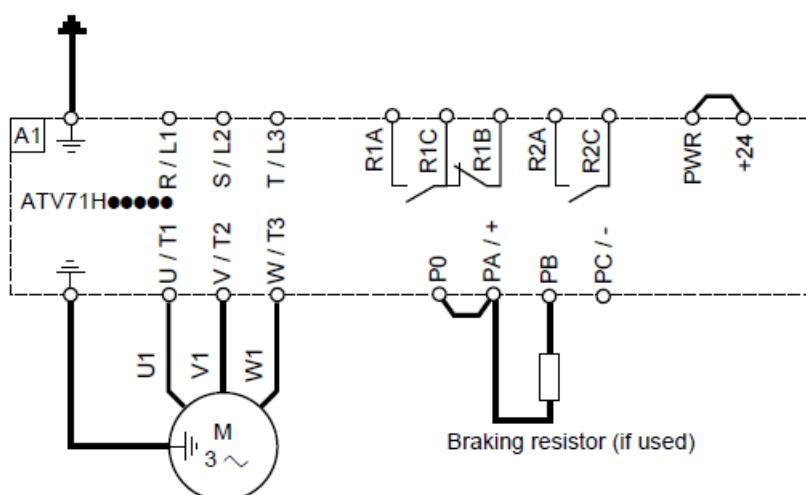


Рисунок 7.1 – Схема подключения *ATV71HU55N4*

8 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Так как сопротивления цепей статора и ротора неизвестны используем уточненную формулу Клосса, приняв $a = 1$:

$$M(\omega) = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot S_k)}{\frac{S_k}{S(\omega)} + \frac{S(\omega)}{S_k} + 2 \cdot a \cdot S_k}. \quad (8.1)$$

Выражение критического скольжения примет вид:

$$S_k = S_H \frac{\mu_k \pm \sqrt{\mu_k^2 - 1 + 2a \cdot S_H \cdot (\mu_k - 1)}}{1 - 2a \cdot S_H \cdot (\mu_k - 1)}, \quad (8.2)$$

где μ_k – перегрузочная способность асинхронного двигателя;

S_H – номинальное относительное скольжение.

$$S_H = \frac{94,248 - 104,72}{104,72} = 0,1;$$

$$S_k = 0,1 \cdot \frac{2,65 \pm \sqrt{2,65^2 - 1 + 2 \cdot 0,1 \cdot (2,65 - 1)}}{1 - 2 \cdot 0,1 \cdot (2,65 - 1)} = 0,775.$$

Для расчета электромеханических характеристик двигателя используем формулы В.А.Шубенко. ($r_1 = 0$):

$$I_{\mu H} = I_{1H} \cdot \left(\sin \varphi - \frac{S_n}{S_k} \cdot \cos \varphi \right); \quad (8.3)$$

$$I_{\mu H} = 13,6 \cdot \left(\sqrt{1 - 0,75^2} - \frac{0,1}{0,775} \cdot 0,75 \right) = 7,679 \text{ A};$$

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_{\mu H}^2 + (I_{1H}^2 - I_{\mu H}^2) \cdot \frac{M(\omega) \cdot S(\omega)}{M_H \cdot S_H}}; \quad (8.4)$$

$$I_1(\omega) = \sqrt{7,679^2 + (13,6^2 - 7,679^2) \cdot \frac{149,89 \cdot 1,1}{58,357 \cdot 0,1}} = 60,03 \text{ A}.$$

Данные для естественной характеристики приведены в таблице 8.1:

Таблица 8.1 – Данные естественной характеристики

ω , рад/с	s	M, Н·м	I, А
-10	1,10	149,89	60,03
0	1,00	152,20	57,83
23,56	0,78	155,00	51,50
10	0,90	153,96	55,37
20	0,81	154,92	52,58
30	0,71	154,70	49,42
40	0,62	152,79	45,80
50	0,52	148,42	41,63
60	0,43	140,52	36,80
70	0,33	127,51	31,17
80	0,24	107,10	24,59
94,25	0,10	58,36	13,60
100	0,05	29,26	9,35
104,72	0,00	0,00	7,68
110	-0,05	-39,63	10,11
120	-0,15	-139,32	22,31

При расчете заданных точек базовым моментом принимается электромагнитный номинальный момент:

$$M_{\text{ЭМН}} = \frac{3 \cdot U_{1H} I_{1H} \cdot \cos\varphi - 3 \cdot I_{1H}^2 \cdot r_1}{\omega_{0H}}; \quad (8.5)$$

$$M_{\text{ЭМН}} = \frac{3 \cdot 220 \cdot 13,6 \cdot 0,75 - 3 \cdot 13,6^2 \cdot 1,07}{104,7} = 58,616 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Базовые величины представлены в таблице 8.2:

Таблица 8.2 – Базовые величины параметров двигателя

Наименование величины	Обозначение	Размерность	Величина
Синхронная скорость вращения	ω_{0H}	рад/с	104,7
Номинальное фазное напряжение	U_{1H}	В	220
Номинальная частота	f_{1H}	Гц	50
Номинальный электромагнитный момент	$M_{\text{ЭМН}}$	Н·м	58,616
Номинальный ток статора	I_{1H}	А	13,6

Рассчитанные параметры для заданной точки приведены в таблице 8.3:

Таблица 8.3 – Расчетные параметры для работы в заданных точках

Расчетные параметры		Скорость при движении		
		Вперед с грузом	Вперед с грузом на пониженной	Назад без груза
Заданные точки				
ωзад	рад/с	98	19,6	-98
	о.е.	0,936	0,187	-0,936
Мзад	Н·м	10,729	10,729	-5,396
	о.е.	0,184	0,184	-0,092
Мс	Н·м	15,15	15,15	-9,753
	о.е.	0,258	0,258	-0,166
Расчетные данные				
ω0зад	о.е.	0,954	0,206	-0,945
	рад/с	99,928	21,528	-98,964
f1	о.е.	0,954	0,206	-0,945
	Гц	47,712	10,279	-47,252
U1	о.е.	0,954	0,206	-0,945
	В	209,933	45,227	-207,908

Заданные точки работы двигателя:

$$\bar{\omega}_{0\text{зад(всгр)}} = \bar{\omega}_{\text{зад}} + \bar{M}_{\text{зад}} \cdot s_{\text{н}} = 0,936 + 0,184 \cdot 0,1 = 0,954;$$

$$\bar{\omega}_{0\text{зад(пон)}} = \bar{\omega}_{\text{зад}} + \bar{M}_{\text{зад}} \cdot s_{\text{н}} = 0,187 + 0,184 \cdot 0,1 = 0,206;$$

$$\bar{\omega}_{0\text{зад(назад)}} = \bar{\omega}_{\text{зад}} + \bar{M}_{\text{зад}} \cdot s_{\text{н}} = -0,936 + (-0,092 \cdot 0,1) = -0,945.$$

Частота и напряжение на статоре при $\frac{U_1}{f_1} = \text{const}$ определяется из следующих соотношений:

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} = \bar{\omega}_{0\text{зад}}; \quad (8.6)$$

$$f_0 = 0,954 \cdot 50 = 47,712 \text{ Гц};$$

$$f_1 = 0,206 \cdot 50 = 10,279 \text{ Гц};$$

$$f_2 = -0,945 \cdot 50 = -47,252 \text{ Гц};$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1\text{н}} = 0,954 \cdot 220 = 209,933 \text{ В}.$$

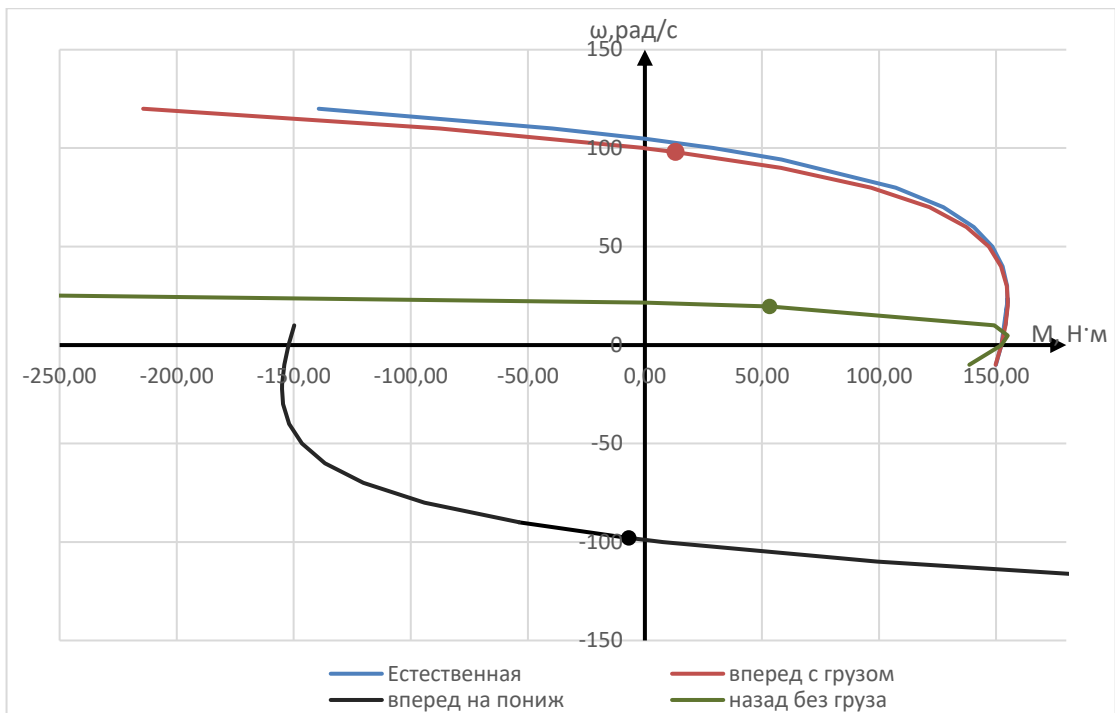


Рисунок 8.1 – Механические характеристики через заданные точки

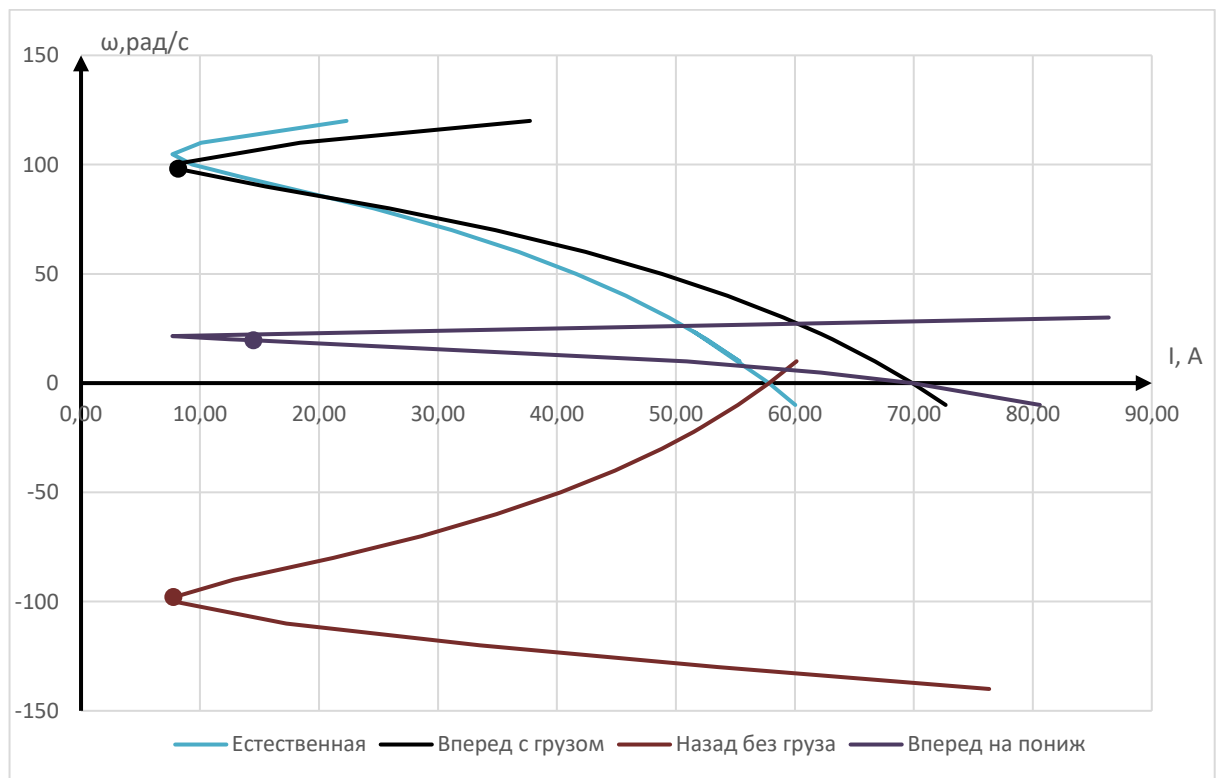


Рисунок 8.2 – Электромеханические характеристики через заданные точки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР

9 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ ПУСКА И ТОРМОЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПЧ-АД И ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

9.1 Расчет схем пуска и торможения

В системах электропривода с питанием двигателя от преобразователя частоты пусковые режимы управляются путем формирования выходного напряжения преобразователя.

$$T_{зи} = \frac{J \cdot \omega_{0н}}{M_H} = \frac{1,302 \cdot 88,151}{97,333} = 1,302; \quad (9.1)$$

$$\bar{M}_{дин1} = \frac{M_{дин}}{M_H} = \frac{325,501}{97,333} = 3,344; \quad (9.2)$$

$$T_{зи} = \frac{T_{д1}}{\bar{M}_{дин1}} = \frac{1,302}{3,344} = 0,389. \quad (9.3)$$

Для того, чтобы изменение напряжения управления было по линейному закону на вход преобразователя подключается интегральный задатчик интенсивности ЗИ.

При достижении величины напряжения задания нарастание напряжения на выходе ЗИ прекращается. Выходное напряжение ЗИ является управляющим напряжением преобразователя, а величина напряжения задания определяет установившуюся величину скорости двигателя.

9.2 Расчет переходных процессов

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		36

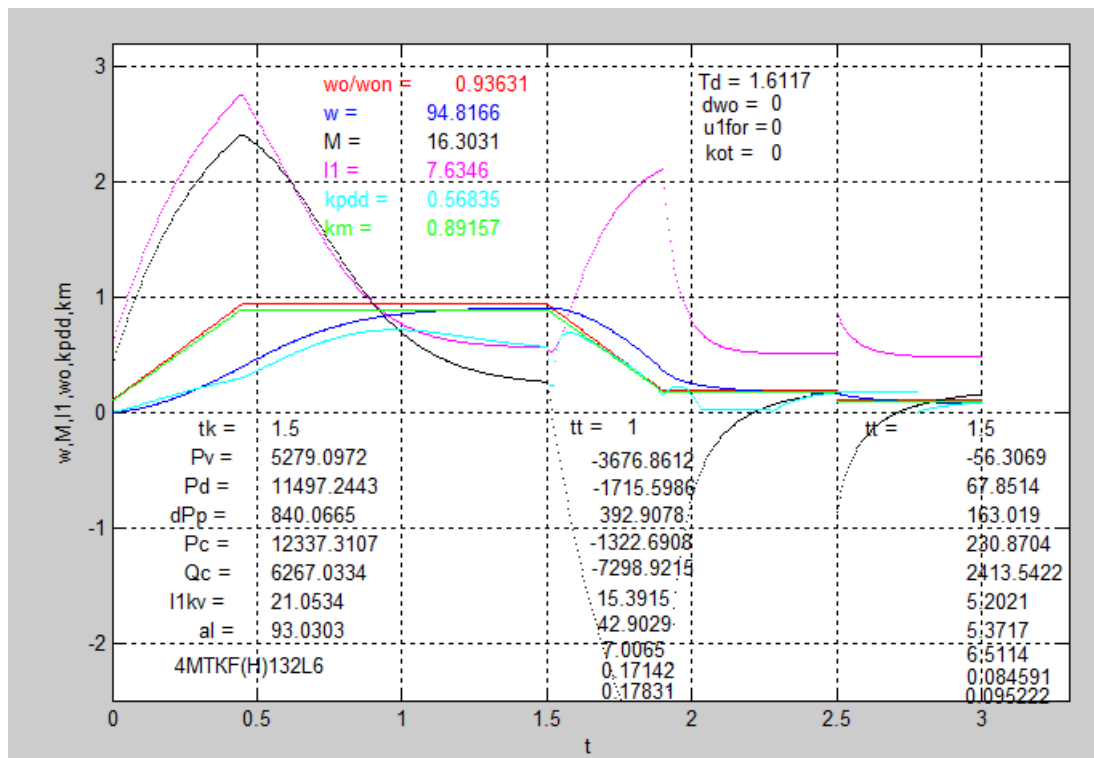


Рисунок 9.1 – Переходный процесс пуска и торможения при движении с рулоном

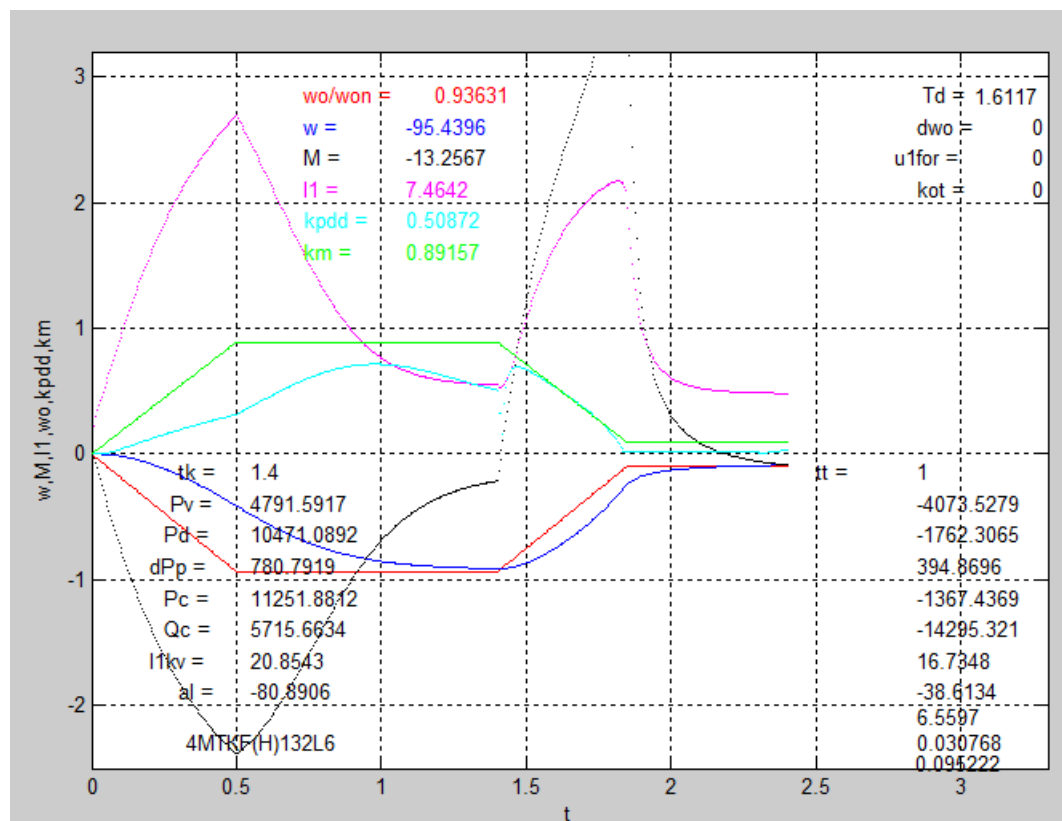


Рисунок 9.2 – Переходный процесс пуска и торможения при движении без рулона

10 ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

10.1 Проверка на заданную производительность

Движение с рулоном:

- $t_{\text{П}} = 1,5$ с – время пуска;
- $t_{\text{т1}} = 1$ с – время торможения до пониженной скорости;
- $t_{\text{т2}} = 0,5$ с – время торможения до 0.

Время установившегося режима на рабочей скорости:

$$t_{y1} = \frac{\alpha_{\Sigma} - \alpha_4 - \alpha_3 - 93,0303}{94,8166} = 29,887 \text{ с.} \quad (10.1)$$

Время установившегося режима на пониженной скорости:

$$t_{y2} = \frac{\alpha_4 - 5,3717}{18,5} = 10,172 \text{ с;} \quad (10.2)$$

$$T_1 = t_{\text{П}} + t_{\text{т1}} + t_{\text{т2}} + t_{y1} + t_{y2} = 43,057\text{-}8 \text{ с.}$$

Движение без груза:

- $t_{\text{П}} = 1,4$ с – время пуска;
- $t_{\text{т}} = 1$ с – время торможения до 0;

$$t_{y3} = \frac{\alpha_7 - \alpha_8 - (-80,8906)}{-95,4396} = 30,471 \text{ с;} \quad (10.3)$$

$$T_2 = t_{\text{П}} + t_{\text{т}} + t_{y3} = 32,871 \text{ с;} \quad (10.4)$$

$$T = T_1 + T_2 = 75,929 \text{ с.}$$

По производительности двигатель подходит.

10.2 Проверка по нагреву двигателя

Коэффициент ухудшения теплоотдачи остановленного двигателя β_0 зависит от его конструктивного исполнения и условий вентиляции. Примем $\beta_0 = 0,5$ — закрытый с самовентиляцией.

Таблица 10.1 – Расчетные параметры для работы в заданных точках

ω	$<0,2$	$0,2 \dots 0,8$	$>0,8$
β_i	$\beta_0=0,5$	$0,75$	1
t15	t02= 10,7972 с	t08 = 0,8 с	t10= 31,287 с
t68	t02= 0,8 с	t08 = 0,8 с	t10= 31,271 с

Значения токов возьмем с переходной характеристики.

Найдем эквивалентный ток:

$$I_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{(21,053^2 \cdot 1,5 + 7,635^2 \cdot 29,887 + 15,392^2 \cdot 1 + 7,007^2 \cdot 10,172 + 0,5(10,972 \cdot 2 + 0,8) + 0,75(0,8 \cdot 2 + 0,8) + \sqrt{+5,202^2 \cdot 0,5) \cdot 2 + 20,854^2 \cdot 1,4 + 7,464^2 \cdot 30,471 + 16,735^2 \cdot 1}}{+1(31,287 \cdot 2 + 31,271)}} = 9,119 \text{ А;}$$

$$ПВ_{\text{факт}} = \frac{t_{\text{рфакт}}}{t_{\text{ц}}} = \frac{75,929}{240} \cdot 100\% = 31,6;$$

$$ПВ_{\text{кат}} = 0,4.$$

Допустимый ток рассчитаем аналогично допустимому моменту:

$$I_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{ПВ_{\text{кат}}}{ПВ_{\text{факт}}}} I_{\text{н}} = \sqrt{\frac{0,4}{0,316}} \cdot 13,6 = 15,292 \text{ А;}$$

$$I_{\text{Э}} < I_{\text{доп}};$$

$$\frac{I_{\text{Э}}}{I_{\text{доп}}} = 0,596.$$

Двигатель прошел проверку по нагреву. Недогрузка двигателя велика = 40,4%, но двигатели с меньшей мощностью не проходят по нагреву.

10.3 Проверка по нагреву преобразователя

Проверка по нагреву преобразователя выполняется сравнением среднеквадратичного тока двигателя за время работы:

$$I_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \Delta t_i}{t_{\text{рфакт}}}} \leq I_{\text{н пр}}; \quad (10.3)$$

$$I_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{(21,053^2 \cdot 1,5 + 7,635^2 \cdot 29,887 + 15,392^2 \cdot 1 + 7,007^2 \cdot 10,172 + 5,202^2 \cdot 0,5) \cdot 2 + 20,854^2 \cdot 1,4 + 7,464^2 \cdot 30,471 + 16,735^2 \cdot 1}{(1,5 + 29,887 + 1 + 10,172 + 0,5) \cdot 2 + 1,4 + 30,471 + 1}} = 8,649 \text{ А;}$$

$$I_{\text{сркв}} < I_{\text{нтп}}$$

Среднеквадратичный ток меньше номинального тока преобразователя, следовательно, преобразователь проходит проверку по нагреву.

10.4 Энергетические показатели

Энергетические показатели электропривода характеризуют коэффициент полезного действия и коэффициент мощности.

Для электропривода, который работает в повторно-кратковременном режиме работы, универсальной оценкой энергетических показателей будут их средневзвешенные значения за цикл работы, так как мгновенные значения КПД и $\cos\varphi$ могут характеризовать экономичность работы электропривода только в установившихся режимах работы.

Средневзвешенные значения за цикл работы КПД и $\cos\varphi$ определяются по формулам:

$$\eta_{\text{ц}} = \frac{\eta_{\text{срвзв15}} \cdot t_{15} + \eta_{\text{срвзв68}} \cdot t_{68}}{t_{15} + t_{68}} = \frac{0,555 \cdot 43,058 + 0,58 \cdot 32,871}{43,058 + 32,871} = 0,566;$$

$$(\cos\varphi)_{\text{ц}} = \frac{\cos\varphi_{\text{срвзв15}} \cdot t_{15} + \cos\varphi_{\text{срвзв67}} \cdot t_{68}}{t_{15} + t_{68}} =$$

$$= \frac{0,698 \cdot 43,058 - 0,801 \cdot 32,871}{43,058 + 32,871} = 0,742.$$

11 СОСТАВЛЕНИЕ СПИСКА СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

При проектировании системы необходимо учитывать требования к системе автоматизации, поэтому данная система установки рулона на моталку должна обеспечивать работу ручном и автоматическом режимах.

В системе автоматизации должны формироваться следующие выходные команды:

- включить двигатель тележки вправо (Вп);
- включить двигатель тележки влево (Вл);
- включить двигатель тележки влево на пониженной скорости (М);
- включить двигатель подъемника вверх (Вв);
- включить двигатель подъемника вниз (Вн);
- включение звонка (Зв).

В действующей системе для привода тележки и подъемника используется двигатель переменного тока с короткозамкнутым ротором.

Для устранения неполадок в системе и удобства эксплуатации необходимо задействовать выходные сигналы на индикацию и сигнализацию состояния системы. На пульт управления оператора выводятся сигналы:

- Готов (Г);
- Авария (Авр);
- Центровка (Ц).

Пульт управления оператора позволяет управлять механизмами в ручном режиме, запускать и останавливать систему в автоматическом режиме. Он формирует следующие выходные сигналы:

- кнопка пуск автоматической работы (Пуск);
- переключатель автоматический/ручной режим работы (Авт/Руч);
- кнопка сброс аварии (СбАвр);
- кнопка движения тележки вправо (кВп);
- кнопка движения тележки влево (кВл);

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

- кнопка движения тележки влево на пониженной скорости (кМ);
- кнопка движения подъемника вверх (кВв);
- кнопка движения подъемника вниз (кВн);
- кнопка стоп (СТОП).

Для автоматизации работы системы необходимы датчики технологической информации:

- датчики крайних положений (КЛ, КП, КВ, КН);
- датчики положений тележки (П1, П2, П3);
- датчик наличие рулона на столе (НРС);
- датчики положения устройства центровки (ЦО, ЦП);
- датчики центровки (Дц1, Дц2);
- готовность первого привода (Гпр1, Гпр2);
- сигнал об отсутствие рулона на моталке (Отс).

Таблица 11.1 – Сигналы и команды, используемые в системе

Наименование сигнала или команды	Обозначение	Принятое значение (единица)
Входные сигналы		
Кнопка сброс аварии	СбАвр	Нажата один раз
Переключатель в ручной режим	Руч	Повернут вправо
Переключатель в автоматический режим	Авт	Повернут влево
Кнопка стоп	СТОП	Нажата один раз
Кнопка пуск	Пуск	Нажата один раз
Кнопка тележка вправо	кВп	Нажата
Кнопка тележка влево	кВл	Нажата
Кнопка тележка влево на пониженной скорости	кМ	Нажата
Кнопка подъемник вверх	кВв	Нажата
Кнопка подъемник вниз	кВн	Нажата
Датчик положения тележки П0	П0	Есть
Датчик положения тележки П1	П1	Есть
Датчик положения тележки П2	П2	Есть
Датчик положения тележки П3	П3	Есть
Датчик положения тележки П4	П4	Есть
Датчик крайне нижнего положения	КН	Есть

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

ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР

Лист

42

Продолжение таблица 11.1

Наименование сигнала или команды	Обозначение	Принятое значение (единица)
Датчик крайне высокого положения	КВ	Есть
Датчик крайне левого положения	КЛ	Есть
Датчик крайне правого положения	КП	Есть
Датчик рулона на столе	НРС	Есть
Датчик поднятого устройства центровки	ЦП	Есть
Датчик опущенного устройства центровки	ЦО	Есть
Готовность первого привода	Гпр1	Есть
Готовность второго привода	Гпр2	Есть
Датчик центровки 1	Дц1	Есть
Датчик центровки 2	Дц2	Есть
Сигнал об отсутствие рулона на моталке	Отс	Есть
Выходные сигналы		
Готовность системы	Г	Есть
Сигнал аварии	Авр	Есть
Включение звонка	Зв	Есть
Сигнал центрованного состояния оси рулона с осью моталки	Ц	Есть
Движение тележки вправо	Вп	Есть
Движение тележки влево	Вл	Есть
Движение подъемного стола вверх	Вв	Есть
Движение подъемного стола вниз	Вн	Есть
Движение тележки влево на пониженной скорости	М	Есть

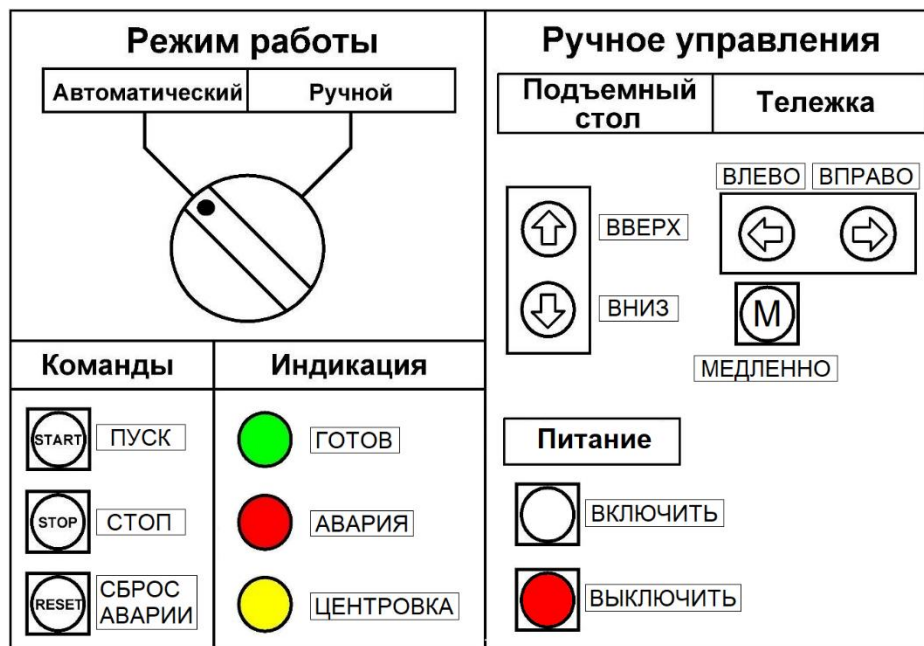


Рисунок 11.1 – Пульт управления оператора

12 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМАМИ ОБЪЕКТА

Согласно описанию и требованиям к технологическому процессу составляются логические уравнения для автоматизации системы.

Сигнал «Г» информирует оператора о том, что система готова работать в автоматическом режиме. Он возникает при следующих условиях: постановка переключателя режима работы в автоматическое положение «Авт»; наличии готовности управления приводами «Гпр1» и «Гпр2»; нахождении подъемного стола в крайнем нижнем положении «КН», тележки в положении «П0». Возникает сигнал «Г» при нажатии замыкающей кнопки «Пуск» в автоматическом режиме работы «Авт» и сохраняется до нажатия кнопки «СТОП» или до аварийной ситуации «Авр». Снимается сигнал «Авт» также при установке переключателя режима работы в ручное положение «Руч».

Все перечисленные логические условия могут быть отражены при записи сигнала «Г» в виде логического уравнения:

$$Г = (Авт \cdot Гпр1 \cdot Гпр2 \cdot Пуск \cdot П0 \cdot КН + Г) \cdot \overline{Авр} \cdot \overline{Руч} \cdot \overline{СТОП}.$$

Команда движение вправо «Вп» возникает при готовности системы «Г», если тележка находится в положении «П4», при нахождении подъемного стола в крайнем нижнем положении «КН». Или в ручном режиме «Руч» при нажатии кнопки вправо «кВп», пока стол не достигнет положения «П0»:

$$Вп = Г \cdot (П4 \cdot КН + Руч \cdot кВп + Вп) \cdot \overline{П0}.$$

Команда движение влево «Вл» формируется в случаях:

– При наличии готовности системы «Г», когда подъемный стол находится в крайнем верхнем положении «КВ», при нахождении тележки в положении «П1» и при отсутствии рулона на решетчатом столе «НРС». Действует до достижения тележкой положения «П1».

– При наличии готовности системы «Г», когда тележка находится в положении «П2», при наличии центровки осей рулона и моталки «Ц», поднятом коромысле «ЦП». Действует до достижения тележкой положения «П3».

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		45

– В ручном режиме «Руч» при нажатии кнопки влево «кВл», пока стол не достигнет положения «ПЗ»:

$$\text{Вл1} = \Gamma \cdot (\text{П0} \cdot \text{КВ} \cdot \overline{\text{НРС}} + \text{Вл1}) \cdot \overline{\text{П1}};$$

$$\text{Вл2} = \Gamma \cdot (\text{П2} \cdot \text{Ц} \cdot \overline{\text{ЦП}} + \text{Вл2}) \cdot \overline{\text{П3}};$$

$$\text{Вл} = (\text{Вл1} + \text{Вл2}) + \text{Руч} \cdot \text{кВл} \cdot \overline{\text{П3}}.$$

Команда движение влево на пониженной скорости «М» формируется в случаях:

– При наличии готовности системы «Г», когда подъемный стол находится в крайнем верхнем положении «КВ», при нахождении тележки в положении «П1». Действует до достижения тележкой положения «П2».

– При наличии готовности системы «Г», когда тележка находится в положении «ПЗ», при наличии центровки осей рулона и моталки «Ц», свободной моталке «Отс». Действует до достижения тележкой положения «П4».

– В ручном режиме «Руч» при нажатии кнопки влево на пониженной скорости «кМ», пока стол не достигнет положения «П4»:

$$\text{М1} = \Gamma \cdot (\text{П1} \cdot \text{КВ} + \text{М1}) \cdot \overline{\text{П2}};$$

$$\text{М2} = \Gamma \cdot (\text{П3} \cdot \text{Ц} \cdot \overline{\text{Отс}} + \text{М2}) \cdot \overline{\text{П4}};$$

$$\text{М} = (\text{М1} + \text{М2}) + \text{Руч} \cdot \text{кМ}.$$

Команда движение вверх «Вв» возникает в случаях:

– При наличии готовности системы «Г», когда тележка находится в положении «П0», при нахождении подъемного стола в крайнем нижнем положении «КН», при наличии рулона на решетчатом столе «НРС». Действует до тех пор, пока подъемный стол не дойдет до крайнего верхнего положения «КВ».

– При наличии готовности системы «Г», когда тележка находится в положении «П2», при нахождении подъемного стола в крайнем нижнем положении «КН», при опущенном устройстве центровки «ЦО». Действует до тех пор, пока не произойдет центровка осей рулона и моталки «Ц».

– В ручном режиме «Руч» при нажатии кнопки вверх «кВв», пока стол не достигнет крайне верхнего положения «КВ»:

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46

$$Вв1 = \Gamma \cdot (П0 \cdot КН \cdot НРС + Вв1) \cdot \overline{КВ};$$

$$Вв2 = \Gamma \cdot (П2 \cdot КН \cdot Отс \cdot Ц0 \cdot + Вв2) \cdot \overline{Ц};$$

$$Вв = (Вв1 + Вв2) + Руч \cdot кВв \cdot \overline{КВ}.$$

Команда движение вниз «Вн» формируется в двух случаях:

– При наличии готовности системы «Г», когда тележка находится в положении «П2», при нахождении подъемного стола в крайнем верхнем положении «КВ», при поднятом устройстве центровки «ЦП». Действует до достижения крайне нижнего положения «КН».

– При наличии готовности системы «Г», когда тележка находится в положении «П4», при отсутствии свободной моталки «Отс». Действует до достижения крайне нижнего положения «КН».

– В ручном режиме «Руч» при нажатии кнопки вниз «кВн», пока стол не достигнет крайне нижнего положения «КН»:

$$Вн1 = \Gamma \cdot (П2 \cdot КВ \cdot ЦП + Вн1) \cdot \overline{КН};$$

$$Вн2 = \Gamma \cdot (П4 \cdot \overline{Отс} + Вн2) \cdot \overline{КН};$$

$$Вн = (Вн1 + Вн2) + Руч \cdot кВн \cdot \overline{КН}.$$

Процесс центровки приведен в описании технологического процесса. Память центровки осей рулона и моталки (Рц) появляется, когда: тележка находится в положении «П2»; подъемный стол находится в крайнем нижнем положении «КН», устройство центровки опущено «Ц0». Во время движения вверх «Вв» в зависимости от комбинаций сигналов с датчиков (таблица 12.1), находящихся на устройстве центровки «Дц1» и «Дц2» происходит центровка «Ц» (рисунок 12.1), которая сбрасывается когда подъемный стол перемещается в положение «П3»:

$$Рц = (П2 \cdot КН \cdot Ц0 + Рц) \cdot \overline{Ц};$$

$$P0 = Рц \cdot (Дц1 \cdot Дц2 \cdot Вв + P0) \cdot \overline{Ц};$$

$$P1 = Рц \cdot (\overline{Дц1} \cdot Дц2 \cdot Вв \cdot P0 + P1) \cdot \overline{Ц};$$

$$P2 = Рц \cdot (\overline{Дц1} \cdot \overline{Дц2} \cdot Вв \cdot P1 + P2) \cdot \overline{Ц};$$

$$P3 = Рц \cdot (Дц1 \cdot \overline{Дц2} \cdot Вв \cdot P2 + P3) \cdot \overline{Ц};$$

$$P4 = Рц \cdot (Дц1 \cdot Дц2 \cdot P3 + P4) \cdot \overline{Ц};$$

$$Ц = (P0 \cdot P1 \cdot P2 \cdot P3 \cdot P4 + Ц) \cdot \overline{П4}.$$

Таблица 12.1 – Сигналы с датчиков на устройстве центровки

Этап центровки	Сигналы с датчиков центровки		Сигнал завершённой центровки
	Дц1	Дц2	
Первый	1	1	0
Второй	0	1	0
Третий	0	0	0
Четвертый	1	0	0
Пятый	1	1	1

Сигнал авария «Авр» возникает когда: нет сигналов готовности приводов «Гпр1» или «Гпр2»; тележка с подъемным столом достигает крайнего правого или левого положения «КП» или «КЛ»; при одновременном включении датчиков, если это может вызвать сбой в автоматическом режиме работы. Сбросить сигнал аварии можно нажатием кнопки сброс аварии «СбАвр»:

$$\begin{aligned} \text{Авр} = & (КЛ + КП + \overline{Гпр1} + \overline{Гпр2} + П0 \cdot П1 + П0 \cdot П2 + П0 \cdot П3 + П0 \cdot П4 + \\ & + П1 \cdot П2 + П1 \cdot П3 + П1 \cdot П4 + П2 \cdot П3 + П2 \cdot П4 + П3 \cdot П4 + КВ \cdot КН + \\ & + ЦО \cdot ЦП + \text{Авр}) \cdot \overline{\text{СбАвр}}. \end{aligned}$$

При возникновении режима авария «Авр» возникает звуковой сигнал, который длится в течении 30 секунд:

$$Зв = \text{Авр} \cdot \overline{\text{Авр}}^{30с}.$$

13 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Составим электрическую функциональную схему, используя описание технологического процесса и автоматизируемого объекта, определенные входные и выходные команды. Функциональная схема, представленная на рисунке 13.1.

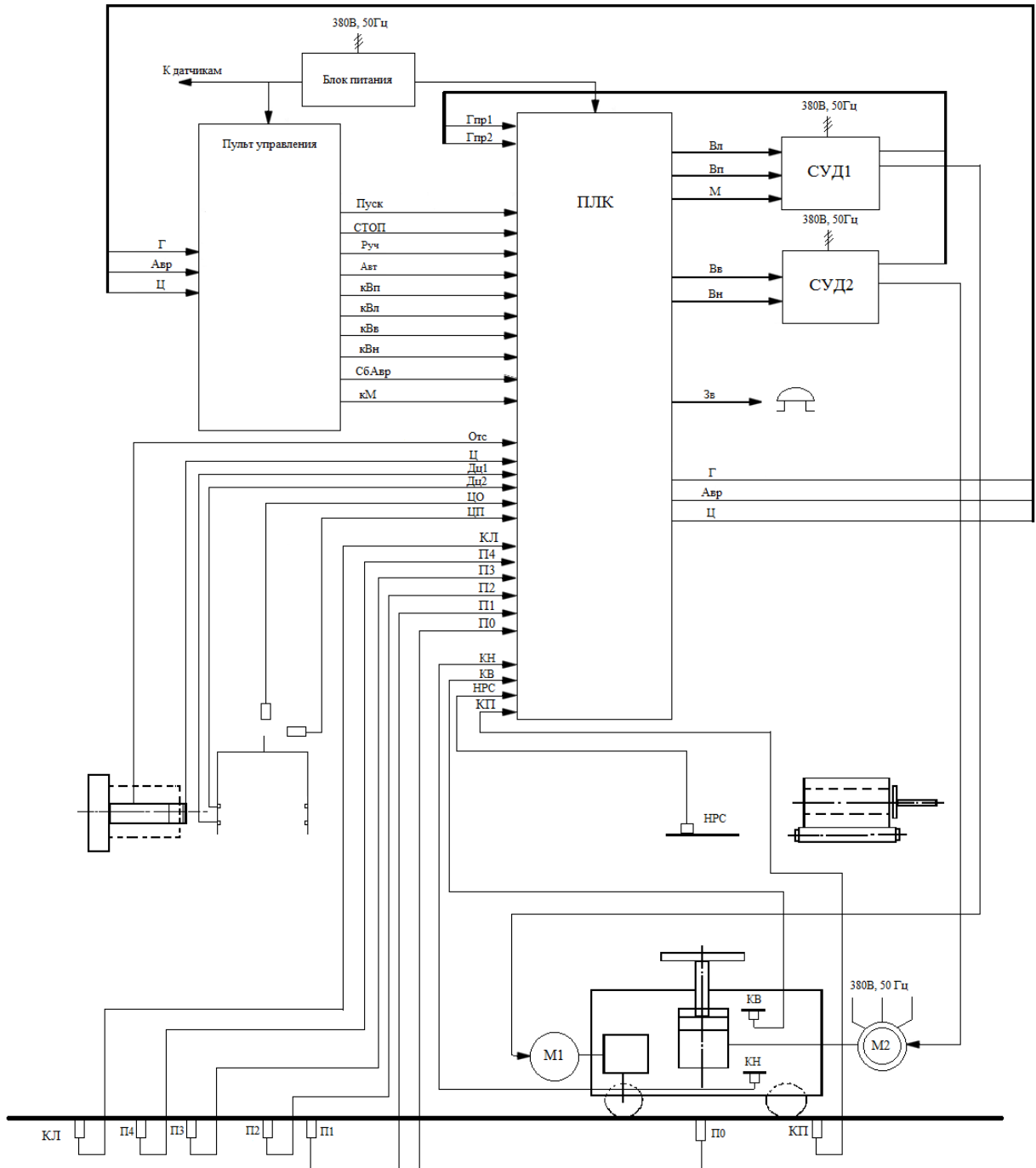


Рисунок 13.1 – Функциональная схема объекта автоматизации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР

Лист

49

Функциональные элементы в схеме автоматизации:

- программируемый логический контроллер (ПЛК);
- пульт управления;
- блок питания;
- датчики технологической информации (КВ, КН, КЛ, КП, П0-П4, Дц1, Дц2, НРС, ЦО, ЦП);
- системы управления двигателями (СУД1, СУД2);
- приводные двигатели (М1, М2).

Функциональная схема позволяет увидеть взаимосвязь отдельных элементов системы автоматизации. Основным связующим элементом системы автоматизации является программируемый контроллер.

На пульте управления предусматривается:

- переключатель положений автоматического и ручного режимов работы;
- индикационные светодиодные лампы: «Готов», «Авария», «Авария», «Центровка»;
- кнопки управления приводами в ручном режиме «Вправо», «Влево», «Вверх», «Вниз», «Медленно», а также кнопки «Пуск», «СТОП», «Сброс аварии».

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		50

14 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

14.1 Выбор электродвигателей

Для осуществления перемещения тележки влево и вправо, а также поднятия и опускания рулона приводом подъемного стола необходимо выбрать электродвигатели. Выбор был сделан в пользу асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, так как они характеризуются простотой управления и регулирования, высокой экономичностью, надёжностью, простой обслуживания.

Для перемещения тележки с подъемным столом выбран двигатель переменного тока краново-металлургической серии *4МТКF(H)132L6* с короткозамкнутым ротором. Электродвигатель был выбран исходя из расчетов в главе 3, основные технические характеристики двигателя приведены в таблице 3.1.

Движение подъемного стола осуществляется асинхронным двигателем фирмы «Электромотор» серии АИР. Выберем 3-х фазный асинхронный двигатель АИР90L4 с короткозамкнутым ротором АИР90L4. Основные технические данные записаны в таблицу 14.1.

Таблица 14.1 – Технические данные электродвигателя АИР90L4

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Мощность	P_H	кВт	2,2
Частота вращения	n	об/мин	1420
Номинальный ток	I_H	А	5,2
Номинальное напряжения	U_H	В	380
Кпд	η	%	79,7
Коэффициент мощности	$\cos\varphi$	-	0,79

14.2 Выбор преобразователей частоты

Выбранным двигателем для перемещения тележки управляет преобразователь частоты *ATV71HU55N4* фирмы «*Schneider Electric*». Данный преобразователь частоты был выбран в главе 7 на основе номинальных данных выбранного двигателя. Основные технические данные преобразователя приведены в таблице 7.1.

За управления двигателя для перемещения подъемного стола будет отвечать преобразователь частоты общепромышленной серии *ATV312HU22N4* так же фирмы «*Schneider Electric*». Преобразователь был выбран на основе номинальных данных электродвигателя *AIP90L4*. Основные технические данные преобразователя приведены в таблице 14.2.

Таблица 14.2 – Технические данные *ATV312HU22N4*

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Номинальная полная мощность	S_H	кВА	5,9
Номинальная мощность двигателя	P_H	кВт	2,2
Напряжение питания	U_H	В	380
Линейный ток	I_L	А	8,9
Ток короткого замыкания	I_{K3}	кА	5

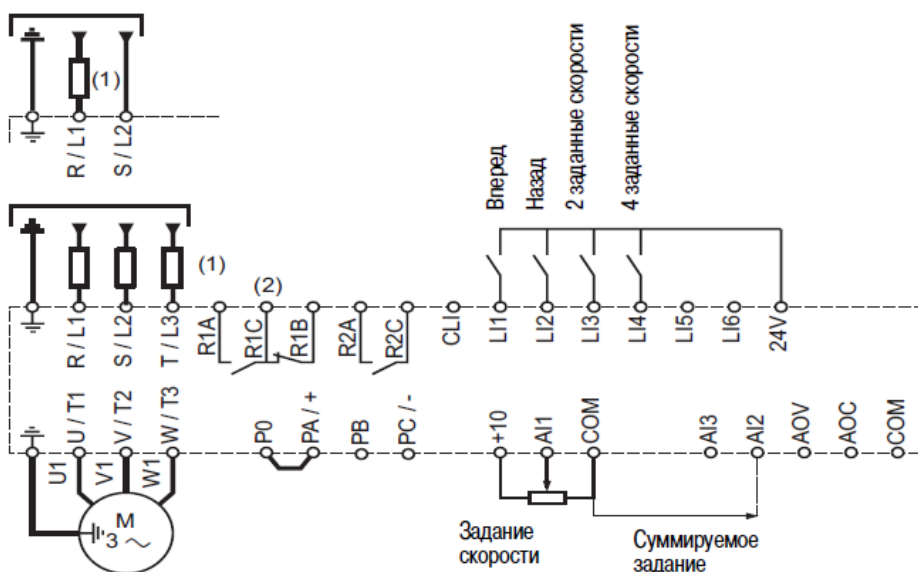


Рисунок 14.1 – Схема подключения *ATV312HU22N4*

14.3 Выбор датчиков

14.3.1 Выбор индуктивных датчиков

В качестве датчиков информации о положении (КЛ, КП, НРС, ЦО, ЦП, ПО – П4, Отс) выбраны индуктивные датчики бесконтактного типа *ISN I7P-31P-25-LZ*.

При появлении объекта воздействия (металлического) в чувствительной зоне индуктивный датчик коммутирует электрическую цепь исполнительного устройства. Для того, чтобы индуктивный датчик сработал, соприкосновение с объектом не требуется.

Основные технические характеристики датчика приведены в таблице 14.3.

Таблица 14.3 – Характеристики датчика *ISN I7P-31P-25-LZ*

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Размер корпуса	-	мм	80x80x40
Тип корпуса	Прямоугольный		
Максимальный рабочий ток	I_{max}	мА	400
Диапазон рабочих напряжений	$U_{раб}$	В	10-30
Падение напряжения при I_{max}	U_d	В	2,5
Тип контакта / Структура выхода	NPN Замыкающий		
Материал корпуса	Полиамид		
Световая индикация	Есть		
Степень защиты по ГОСТ 14254-96	IP67		
Номинальный зазор	-	мм	25
Схема подключения	3х проводный		
Частота переключения	F_{max}	Гц	100

Схема подключения нагрузки представлена на рисунке 14.2.



Рисунок 14.2 – Схема подключения нагрузки датчика *ISN I7P-31P-25-LZ*

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

14.3.2 Выбор оптических датчиков

В качестве датчиков (КВ, КН, Дц1, Дц2) были выбраны оптические бесконтактные выключатели. Датчик срабатывает при попадании засветки с осветителя в приемник.

Излучатель оптический применяется в комплекте с выключателем оптическим (приемником) и используется для формирования направленного оптического излучения. При нахождении непрозрачного объекта между излучателем и приемником прерывается оптическое излучение и происходит изменение выходного сигнала выключателя.

Основные технические характеристики оптического датчика *ОУ А12В-2-2,5-Р* приведены в таблице 14.4.

Таблица 14.4 – Технические характеристики датчика *ТЕКО ОУ А12В-2-2,5-Р*

Наименование показателя	Значение
Тип выключателя	Тип Т, излучатель
Размер корпуса, мм	М8х1х60
Материал корпуса	Л68
Дальность действия	2500мм
Регулировка чувствительности	без регулировки
Спектр излучения	инфракрасный
Диапазон рабочих напряжений, Ураб.	10...30 В DC
Максимальный рабочий ток, I _{max}	≤100 мА
Падение напряжения при I _{max} , U _d	≤2,5 В
Собственный ток потребления, I _о	≤40 мА
Допустимая емкость нагрузки	0,02 мкФ
Категория применения / применяемость	DC13
Задержка включения / отключения, не более	10 мс
Частота циклов оперирования, f	50 Гц
Допустимая освещенность окружающей среды	10000 Люкс
Диапазон рабочих температур	-15°C...+65°C
Защита от короткого замыкания	Есть
Защита от переплюсовки	Есть
Световая индикация	Есть
Присоединение / Подключение	Кабель 2х0,34 кв. мм
Степень защиты по ГОСТ 14254-96	IP67
Защита от переплюсовки оптрона	Есть

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

ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР

Лист

54



Рисунок 14.3 – Схема подключения оптического датчика (излучателя)

ТЕКО ОУ А12В-2-2,5-Р

Оптический выключатель (приёмник) используется для обнаружения контролируемого объекта, а затем происходит коммутация исполнительных устройств. Основные технические характеристики датчика *OS AC25A-31P-2,5-LZS4* в таблице 14.5.

Таблица 14.5 – Технические характеристики датчика *OS AC25A-31P-2,5-LZS4*

Наименование показателя	Значение
Тип выключателя	Тип Т, приемник
Размер корпуса, мм	M12x1x88
Материал корпуса	Д16Т
Дальность действия	2500 мм
Регулировка чувствительности	с регулировкой
Спектр излучения	инфракрасный
Диапазон рабочих напряжений, Ураб.	10...30 В DC
Тип контакта / Структура выхода	PNP Замыкающий
Максимальный рабочий ток, I _{max}	≤100 мА
Падение напряжения при I _{max} , U _d	≤2,5 В
Собственный ток потребления, I _o	≤15 мА
Допустимая емкость нагрузки	0,02 мкФ
Категория применения / применяемость	DC13
Задержка включения / отключения, не более	10 мс
Частота циклов оперирования, f	50 Гц
Допустимая освещенность окружающей среды	10000 Люкс
Диапазон рабочих температур	-15°C...+65°C
Защита от короткого замыкания	Есть
Защита от переплюсовки	Есть
Световая индикация	Есть
Степень защиты по ГОСТ 14254-96	IP65

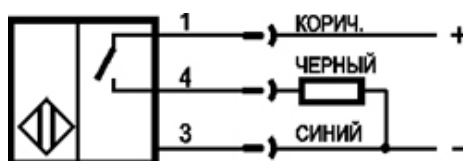


Рисунок 14.4 – Схема подключения оптического датчика (приемника)

OS AC25A-31P-2,5-LZS4

14.4 Выбор программируемого логического контроллера

В качестве программируемого контроллера выберем *Siemens SIMATIC S7-300*. ПЛК этой серии предназначены для решения задач автоматического управления относительно низкой и средней степени сложности.

Программируемый контроллер *Siemens SIMATIC S7-300* имеет модульную конструкцию и состоит из следующих элементов:

- Центральный процессор (*CPU*, заказной номер 314-1AF10-0AB0);
- блок питания (*PS*);
- сигнальный модуль (*SM*);
- модуль ввода дискретных сигналов *SM321; DI32xDC24V* (заказной номер 321-1BL00-0AA0);
- модуль вывода дискретных сигналов *SM 322; DO16xDC24V/0,5A* (заказной номер 322-1BH01-0AA0);
- коммуникационный модуль (*CP*);
- функциональный модуль (*FM*);
- интерфейсный модуль (*IM*);



Рисунок 14.5 – Внешний вид контроллера *Siemens SIMATIC S7-300*

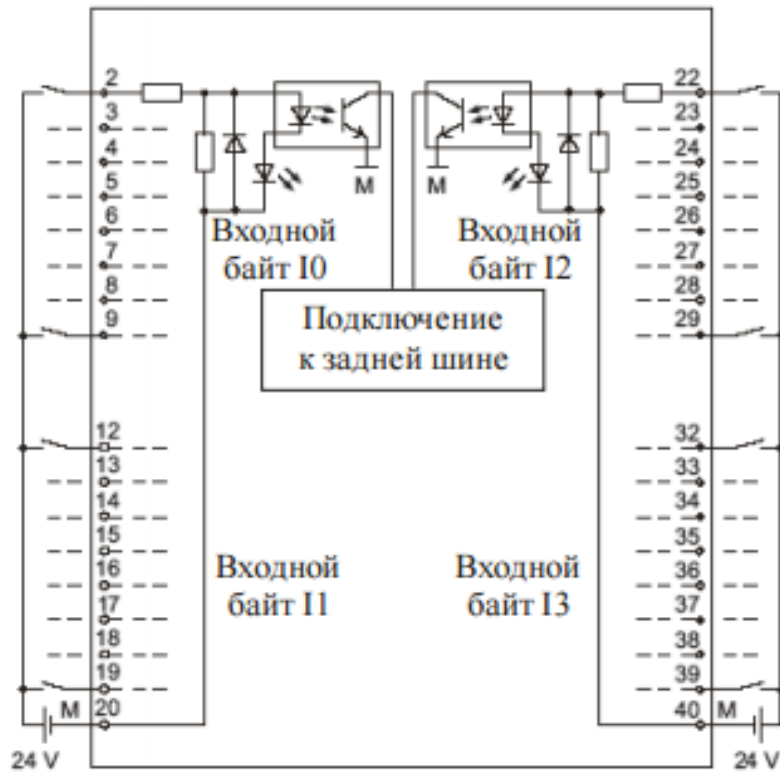


Рисунок 14.6 – Схема подключения модуля *SM321; DI32xDC24V*

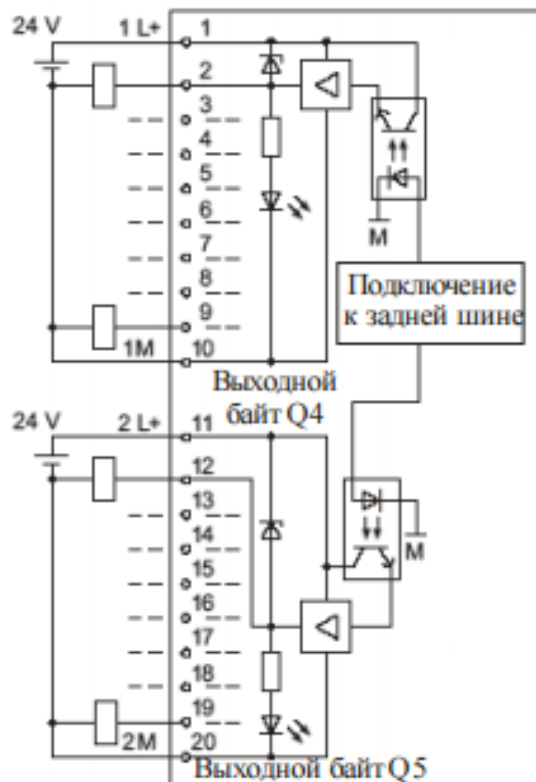


Рисунок 14.7 – Схема подключения модуля *SM 322; DO16xDC24V/0,5A*

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР

14.5 Выбор блока питания

Для того, чтобы выбрать блок питания, следует рассчитать суммарную мощность питающихся от него потребителей. Расчет суммарной мощности приведен в таблице 14.6.

Таблица 14.6 – Расчет требуемой мощности блока питания

Наименование потребителя	Потребляемый ток, А	Количество потребителей, шт.	Мощность потребителей, Вт
Индуктивный датчик	0,25	11	66
Оптический датчик	0,1	8	19,2
Звонок	0,03	1	0,72
Входные цепи S7-300	0,015	27	9,72
Выходные цепи S7-300	0,5	9	0,1875
Сигнальные лампы	0,02	4	1,92
Суммарная мощность потребителей			97,75

По рассчитанной суммарной мощности был выбран блок питания фирмы «Mean Well» SE-100-24. Его основные характеристики которого приведены в таблице 14.5.

Таблица 14.5 – Технические характеристики блока питания

«Mean Well» SE-100-24

Наименование показателя	Значение
Тип корпуса	Перф. корпус
Диапазон входных напряжений, В	
– переменного тока	85...132
– постоянного тока	248...373
Номинальное выходное напряжение U_n , В	24
Номинальная выходная мощность P_n , Вт	100
Максимальный выходной ток I , А	4,5

15 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Согласно функциональной схеме и выбранной элементной базе была составлена принципиальная схема (чертеж ЮУрГУ – 13.03.02.2019.135.02.ЭЗ ВКР) и перечень элементов (13.03.02.2019.135.03.ПЭ ВКР).

С помощью автоматического выключателя *QF1* обеспечивается питание пульта управления и его защита. Автоматический выключатель *QF2* необходим для питания и защиты силового источника питания. Автоматический выключатель *QF3* нужен для питания всей системы и осуществления защиты от коротких замыканий. Автоматические выключатели *QF4*, *QF5* используются для питания систем управления и защиты силовых цепей электродвигателей.

При нажатии на кнопку *SB1* подается питание на силовые цепи и пульт управления, об этом сигнализирует лампа *HL1*. Контактор *KM1* реализует защиту двигателей.

Автоматизация технологического процесса реализуется с помощью программируемого логического контроллера *A2*. Пульт управления *A1* обеспечивает управление всем технологическим процессом и индикацию сигналов. Датчики *SQ1 - SQ15* необходимы для контроля положения механизмов данной системы автоматизации. Сигналы с датчиков также поступают на контроллер *A2*.

Блок питания *UZ1* питает основные низковольтные элементы: пульт управления *A1*, контроллер *A2* и датчики *SQ1 - SQ15*.

Управление асинхронными двигателями *M1* и *M2* осуществляется при помощи преобразователей частоты *UZ2* и *UZ3*, которые получают питание от сети трехфазного напряжения 380 В.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		59

16 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Если логические уравнения, описывающие работу системы составлены, программируемый логический контроллер выбран, то можно приступить к разработке программного обеспечения.

Для того, чтобы составить программу, необходимо определить адреса входных и выходных переменных, промежуточных переменных и таймеров. Адресация переменных, используемых в программе, приведена в таблице 16.1.

Таблица 16.1 – Адресации команд и сигналов

Наименование сигнала или команды	Обозначение	Адрес
Входные сигналы		
Кнопка пуск	Пуск	I0.0
Кнопка стоп	СТОП	I0.1
Переключатель в автоматический режим	Авт	I0.2
Переключатель в ручной режим	Руч	I0.3
Кнопка сброс аварии	СбАвр	I0.4
Кнопка тележка вправо	кВп	I0.5
Кнопка тележка влево	кВл	I0.6
Кнопка тележка влево на пониженной скорости	кМ	I0.7
Кнопка подъемник вверх	кВв	I1.0
Кнопка подъемник вниз	кВн	I1.1
Датчик крайне нижнего положения	КН	I1.2
Датчик крайне высокого положения	КВ	I1.3
Датчик крайне левого положения	КЛ	I1.4
Датчик крайне правого положения	КП	I1.5
Датчик положения тележки П0	П0	I1.6
Датчик положения тележки П1	П1	I1.7
Датчик положения тележки П2	П2	I2.0
Датчик положения тележки П3	П3	I2.1
Датчик положения тележки П4	П4	I2.2
Датчик рулона на столе	НРС	I2.3
Датчик поднятого устройства центровки	ЦП	I2.4
Датчик опущенного устройства центровки	ЦО	I2.5
Датчик центровки 1	Дц1	I2.6
Датчик центровки 2	Дц2	I2.7
Сигнал об отсутствие рулона на моталке	Отс	I3.0

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР

Лист

60

Продолжение таблицы 16.1

Наименование сигнала или команды	Обозначение	Адрес
Готовность первого привода	Гпр1	I3.1
Готовность второго привода	Гпр2	I3.2
Выходные сигналы		
Готовность системы	Г	Q4.0
Сигнал аварии	Авр	Q4.1
Движение тележки влево на пониженной скорости	М	Q4.2
Сигнал центрованного состояния оси рулона с осью моталки	Ц	Q4.3
Движение тележки вправо	Вп	Q4.4
Движение тележки влево	Вл	Q4.5
Движение подъемного стола вверх	Вв	Q4.6
Движение подъемного стола вниз	Вн	Q4.7
Включение звонка	Зв	Q5.0
Промежуточные переменные		
Движение тележки влево (№1)	Вл1	M0.0
Движение тележки влево (№2)	Вл2	M0.1
Движение тележки влево на пониженной скорости (№1)	М1	M0.2
Движение тележки влево на пониженной скорости (№2)	М2	M0.3
Движение подъемного стола вверх (№1)	Вв1	M0.4
Движение подъемного стола вверх (№2)	Вв2	M0.5
Движение подъемного стола вниз (№1)	Вн1	M0.6
Движение подъемного стола вниз (№2)	Вн2	M0.7
Память начала центровки	Pц	M1.0
Память первого этапа центровки	P0	M1.1
Память второго этапа центровки	P1	M1.2
Память третьего этапа центровки	P2	M1.3
Память четвертого этапа центровки	P3	M1.4
Память пятого этапа центровки	P4	M1.5
Таймеры		
Таймер T1 с задержкой 30 с	T1	T1

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

ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР

Лист

61

Таблица 16.2 – Уравнения с учетом адресации

Команда, сигнал	Уравнения в адресах ПЛК SIMATIC S7-300
Г	$(I0.2 \cdot I3.1 \cdot I3.2 \cdot I0.0 \cdot I1.6 \cdot I1.2 + Q4.0) \cdot \overline{Q4.1} \cdot \overline{I0.3} \cdot \overline{I0.1} = Q4.0$
Вп	$Q4.0 \cdot (I2.2 \cdot I1.2 + I0.3 \cdot I0.5 + Q4.4) \cdot \overline{I1.6} = Q4.4$
Вл1	$Q4.0 \cdot (I1.6 \cdot I1.3 \cdot \overline{I2.3} + M0.0) \cdot \overline{I1.7} = M0.0$
Вл2	$Q4.0 \cdot (I2.0 \cdot Q4.3 \cdot I2.4 + M0.1) \cdot \overline{I2.1} = M0.1$
Вл	$(M0.0 + M0.1) + I0.3 \cdot I0.6 \cdot \overline{I2.1} = Q4.5$
М1	$Q4.0 \cdot (I1.7 \cdot I1.3 + M0.2) \cdot \overline{I2.0} = M0.2$
М2	$Q4.0 \cdot (I2.1 \cdot Q4.3 \cdot I3.0 + M0.3) \cdot \overline{I2.2} = M0.3$
М	$(M0.2 + M0.3) + I0.3 \cdot I0.7 = Q4.2$
Вв1	$Q4.0 \cdot (I1.6 \cdot I1.2 \cdot I2.3 + M0.4) \cdot \overline{I1.3} = M0.4$
Вв2	$Q4.0 \cdot (I2.0 \cdot I1.2 \cdot I3.0 \cdot I2.5 + M0.5) \cdot \overline{Q4.3} = M0.5$
Вв	$(M0.4 + M0.5) + I0.3 \cdot I1.0 \cdot \overline{I1.3} = Q4.6$
Вн1	$Q4.0 \cdot (I2.0 \cdot I1.3 \cdot I2.4 + M0.6) \cdot \overline{I1.2} = M0.6$
Вн2	$Q4.0 \cdot (I2.2 \cdot \overline{I3.0} + M0.7) \cdot \overline{I1.2} = M0.7$
Вн	$(M0.6 + M0.7) + I0.3 \cdot I1.1 \cdot \overline{I1.2} = Q4.7$
Рц	$(I2.0 \cdot I1.2 \cdot I2.5 + M1.0) \cdot \overline{Q4.3} = M1.0$
Р0	$M1.0 \cdot (I2.6 \cdot I2.7 \cdot Q4.6 + M1.1) \cdot \overline{Q4.3} = M1.1$
Р1	$M1.0 \cdot (\overline{I2.6} \cdot I2.7 \cdot Q4.6 \cdot M1.1 + M1.2) \cdot \overline{Q4.3} = M1.2$
Р2	$M1.0 \cdot (\overline{I2.6} \cdot \overline{I2.7} \cdot Q4.6 \cdot M1.2 + M1.3) \cdot \overline{Q4.3} = M1.3$
Р3	$M1.0 \cdot (I2.6 \cdot \overline{I2.7} \cdot Q4.6 \cdot M1.3 + M1.4) \cdot \overline{Q4.3} = M1.4$
Р4	$M1.0 \cdot (I2.6 \cdot I5.7 \cdot M1.4 + M1.5) \cdot \overline{Q4.3} = M1.5$
Ц	$(M1.1 \cdot M1.2 \cdot M1.3 \cdot M1.4 \cdot M1.5 + Q4.3) \cdot \overline{I2.2} = Q4.3$
Авр	$(I1.4 + I1.5 + \overline{I3.1} + \overline{I3.2} + I1.6 \cdot I1.7 + I1.6 \cdot I2.0 + +I1.6 \cdot I2.1 + I1.6 \cdot I2.2 + I1.7 \cdot I2.0 + I1.7 \cdot I2.1 + +I1.7 \cdot I2.2 + I2.0 \cdot I2.1 + I2.0 \cdot I2.2 + I2.1 \cdot I2.2 + +I1.2 \cdot I1.3 + I2.4 \cdot I2.5 + Q4.1) \cdot \overline{I0.4} = Q4.1$
Зв	$Q4.1 \cdot \overline{T1} = Q5.0$
Т1	$Q4.1 = T1$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный выпускной квалификационный проект посвящен проектированию системы автоматизации установки рулона на моталку.

В процессе проектирования был произведен расчет мощности электродвигателя. В соответствии с техническими требованиями для перемещения тележки был выбран двигатель переменного тока *4МТКF(H)132L6* с короткозамкнутым ротором, редуктор Ц2У-160. Также для управления подъемным столом был выбран электродвигатель *АИР90L4*.

Для управления приводами были выбраны преобразователи частоты фирмы «Schneider Electric» серии *Altivar machine*: *ATV71HU55N4* для управления приводом тележки и *ATV312HU22N4* для управления приводом подъемного стола.

С учетом особенностей работы автоматизируемого объекта и условий его использования для системы автоматизации был произведен выбор элементной базы. Был выбран программируемый логический контроллер *Siemens SIMATIC S7-300*, также выбран блок питания «*Mean Well*» *S-201-24*, индуктивные датчики *ISN I7P-31P-25-LZ*, оптические излучатели *ТЕКО ОУ А12В-2-2,5-Р* и оптические приемники *OS AC25A-31P-2,5-LZS4*.

На основе выбранной элементной базы и функциональной схемы была разработана принципиальная электрическая схема системы автоматизации.

Также на основе логических уравнений, описывающих работу системы, и выбранного ПЛК, было составлено программное обеспечение системы автоматизации на языке LAD.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		63

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Анфимов, М.И. Редукторы: конструкция и расчет: альбом / М.И. Анфимов.– М.: Машиностроение, 1993. – 432 с.
- 2 Борисов, А.М. Автоматизация технологических процессов (технические средства, проектирование, лабораторный практикум): Учебное пособие./ Н.Е. Лях. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2001. – Ч.1. – 404 с.
- 3 Гельман, М.В. Преобразовательная техника: учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.
- 4 Драчев Г. И. - Теория электропривода. Учебное пособие Часть 1. – Челябинск, 2005, 210 стр.
- 5 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.
- 6 Драчев, Г.И. Теория электропривода: учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2012. – 168 с.
- 7 Каталог продукции "ТЕКО", датчики. – <http://teko-com.ru/katalog/>
- 8 Каталог двигателей краново–металлургической серии МТКН/МТКФ – <http://sibelektromotor.ru>.
- 9 Каталог продукции «Электромотор», электродвигатели. – <http://electronpo.ru/>
- 10 Каталог продукции Siemens – <http://www.siemens-ru.com/>.
- 11 Каталог продукции Shnider Electric – <https://www.schneider-electric.ru/ru/>.
- 12 Каталог продукции «MeanWell», Источники питания. – <http://www.meanwell.com/py/productSeries.aspx/>
- 13 Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560с., ил.

14 Программируемые устройства автоматизации: учебное пособие / А.М. Борисов, А.С. Нестеров, Н.А. Логинова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 186 с.

15 Справочное руководство по программируемому контроллеру S7-300. Siemens, Издание 02/2004.

16 СТО ЮУрГУ 04-2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению /составители: Т.И. Парубочная, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеева, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008.-56 с.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		65

ПРИЛОЖЕНИЕ А

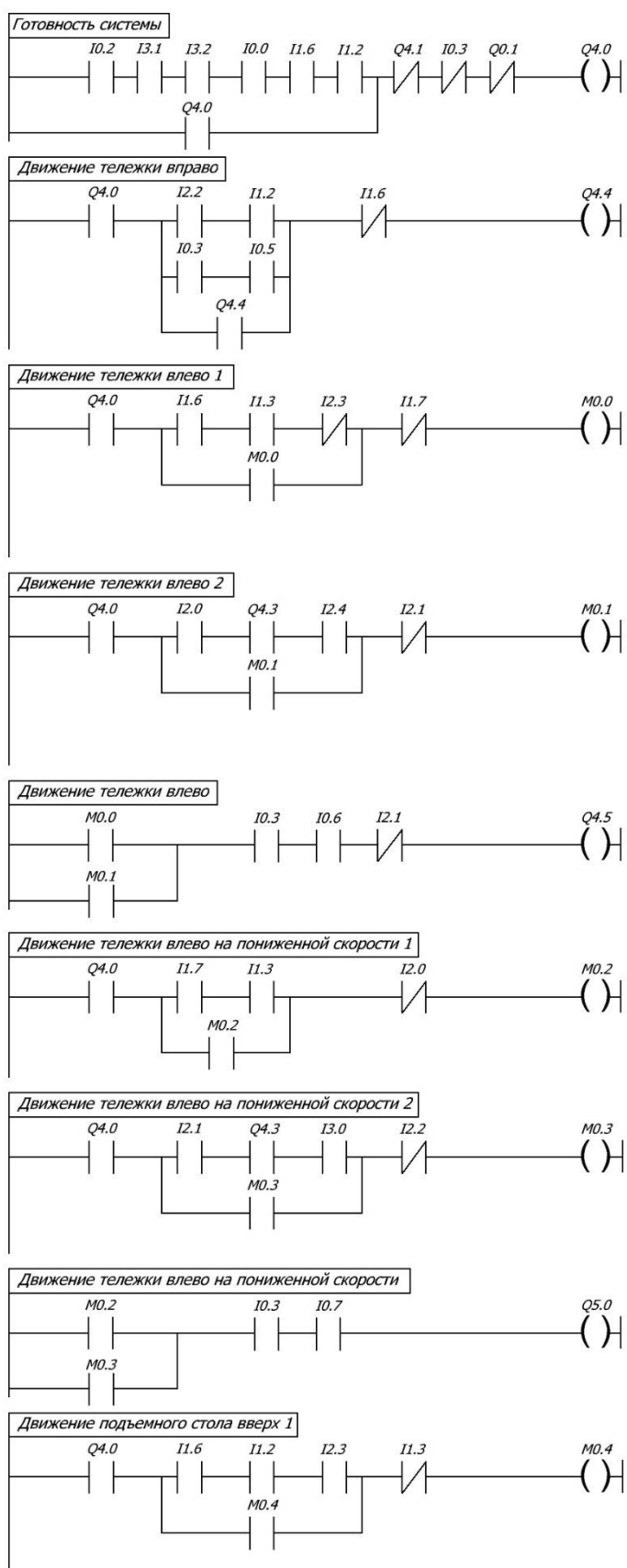


Рисунок А.1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись
			Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.135.01ПЗ ВКР

Продолжение приложения А

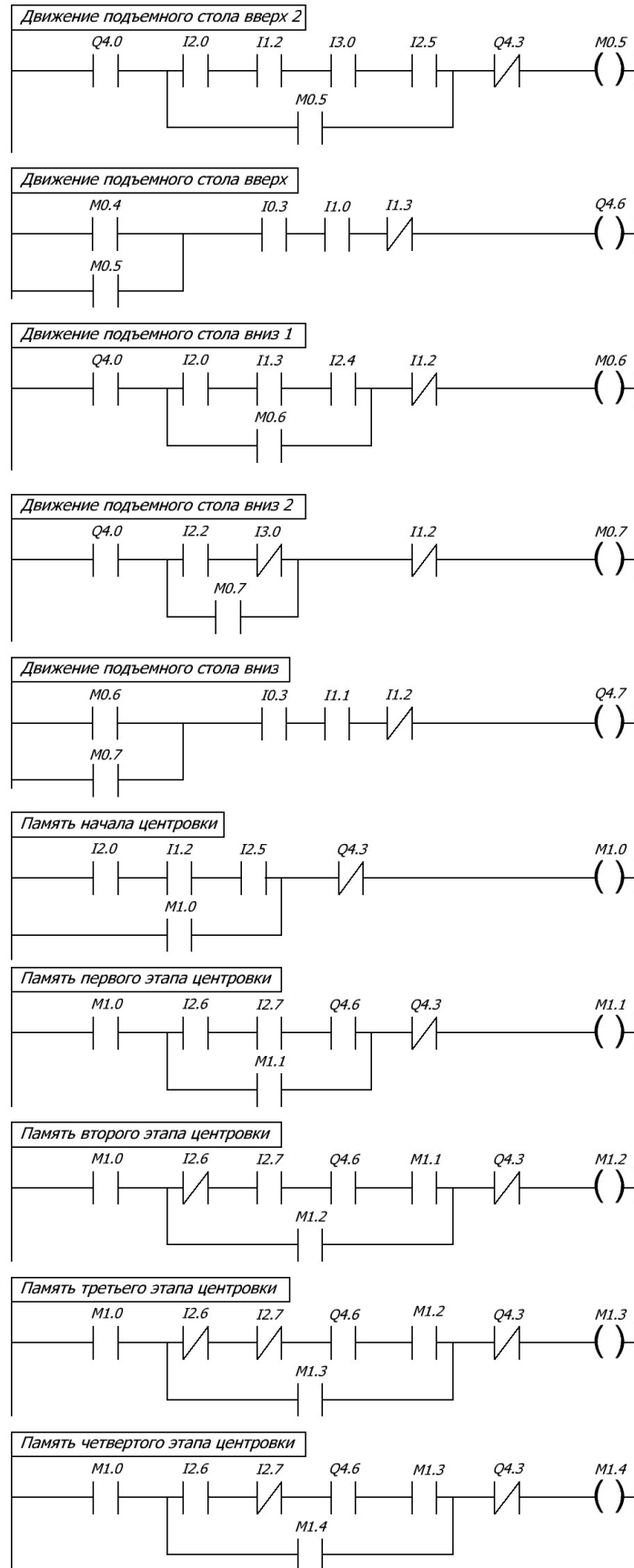


Рисунок А.2

Продолжение приложения А

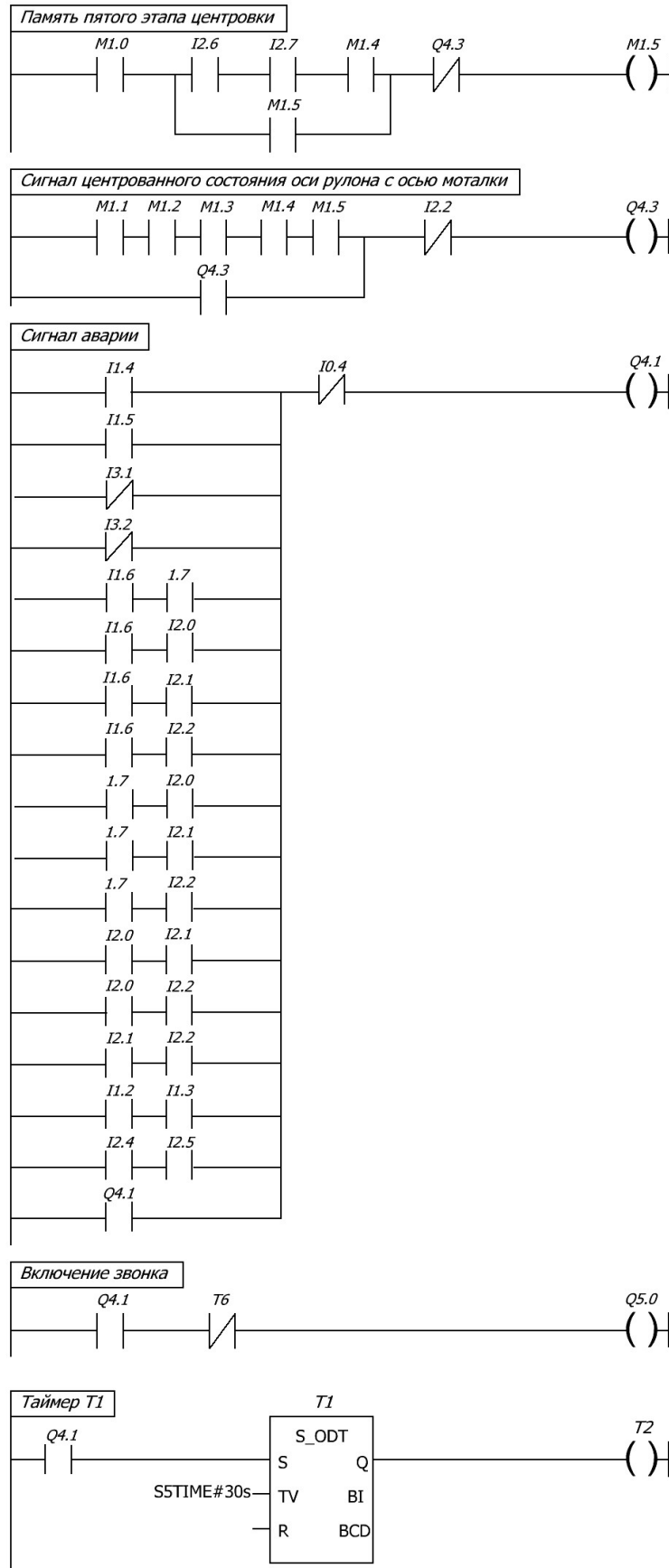


Рисунок А.3

