

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Политехнический институт  
Энергетический факультет  
Кафедра «Автоматизированный электропривод»  
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
автоматизированного электропривода,  
д.т.н., профессор  
\_\_\_\_\_ / М.А. Григорьев /  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Автоматизированный электропривод тележки раскладывателя листов металла

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
ПО ПРОГРАММЕ БАКАЛАВРИАТА  
«ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»  
ЮУрГУ–13.03.02.2020.104 ВКР

Руководитель, к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ / А.Н. Горожанкин /  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы,  
бакалавр группы П–477  
\_\_\_\_\_ / А.А. Карташов /  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролер, к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ / Т.А. Функ /  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск  
2020 г.

## АННОТАЦИЯ

Карташов А.А. Автоматизированный электропривод тележки раскладывателя листов металла – Челябинск: ЮУрГУ, Э; 2020, 72 с., 20 ил., 15 табл., библиографический список – 19 наим., 1 лист чертежей ф. А3, 1 лист перечня элементов ф. А4

Целями данного выпускного квалификационного проекта являются проектирование системы электропривода и разработка системы автоматизации тележки раскладывателя листов металла.

В первой части работы производится проектирование системы электропривода рольганга, который предназначен для перемещения тележки над пакетирующими листами на заданное расстояние. Производится расчет мощности двигателя, предварительный выбор электродвигателя и редуктора, приведение статических моментов и моментов инерции к валу двигателя с последующей проверкой выбранного двигателя по нагреву и производительности, выбор основных элементов системы электропривода, построение статических характеристик, переходных процессов и расчет интегральных показателей.

Во второй части работы производится разработка алгоритма автоматизации управления тележкой раскладывателя в виде логических уравнений, пульта управления системой автоматизации, функциональной системы автоматизации, принципиальной электрической схемы, программного обеспечения. Так же производится выбор элементных баз пульта управления и механизма автоматизации.

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ</b>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>			
Разраб.	Карташов				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.	Горожанкин						
Реценз					<b>ЮУрГУ Кафедра «АЭП»</b>		
Н. Контр.	Функ Т.А.						
Утверд.	Григорьев						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	8
1 ОПИСАНИЕ МЕХАНИЗМА .....	9
2 ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНИЗМА ТРАНСПОРТИРОВКИ ИЗДЕЛИЙ....	11
2.1 Технические данные механизма транспортировки изделий .....	11
2.2 Расчёт мощности двигателя .....	11
2.3 Выбор типа двигателей .....	21
2.4 Выбор редуктора .....	22
2.5 Приведение моментов к валу двигателя.....	23
2.5.1 Приведение статических моментов и моментов инерции к валу двигателя.....	23
2.5.2 Приведение моментов инерции и коэффициентов жёсткости к валу двигателя.....	25
2.6 Предварительная проверка двигателя по производительности и нагреву .....	28
3 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ.....	33
4 РАСЧЁТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА .....	35
5 РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПУСК И ТОРМОЖЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯ.....	39
6 РАСЧЁТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	41
7 ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	42
7.1 Проверка на перегрузочную способность .....	42
7.2 Проверка по нагреву двигателя и преобразователя .....	42
8 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УЧАСТКА АВТОМАТИЗАЦИИ.....	44
8.1 Описание технологического процесса .....	44
8.2 Составление списка сигналов системы автоматизации .....	46
8.3 Разработка алгоритма автоматизации управления механизмами объекта .....	51
9 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ .....	54

											Лист
											6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ						

10 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗАЦИИ .....	56
10.1 Выбор блока управления.....	56
10.2 Выбор дополнительного модуля входов .....	56
10.3 Выбор датчиков технологической информации .....	57
10.4 Выбор блока питания .....	59
10.5 Выбор элементов для пульта управления .....	60
11 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ.....	63
12 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	70
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	71

## ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции развития систем автоматизации идут в направлении создания автоматических систем, которые способны выполнять заданные функции или процедуры без участия человека. Роль оператора заключается в подготовке исходных данных, выборе алгоритма (метода решения) и анализе полученных результатов. Причем эти тенденции прослеживаются не только при автоматизации сложных технологических процессов в промышленности, но и в других областях жизнедеятельности человека. В данном курсовом проекте разрабатывается система управления транспортерами.

Для создания человеко–машинного интерфейса (HMI) и решения задач оперативного управления будет использован пульт управления, на котором оператор сможет выбирать необходимый режим работы, осуществлять запуск механизма, определять причину возникновения аварии и т.д.

Для приведения механизмов в движения будут использованы асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, управление которыми будем осуществлять преобразователями частоты.

Внедрение системы автоматизации данными механизмами позволит оптимизировать управление ими и минимизировать роль оператора в процессе управления.

## 1 ОПИСАНИЕ МЕХАНИЗМА

Тележка раскладывателя предназначена для сортировки листов металла на годные изделия и бракованные.

Обработанные и нарезанные на мерные длины стальные листы по транспортёру проходят через устройство контроля качества (КК) листа к столу с воздушной подушкой 2. В зависимости от качества листа раскладыватель осуществляет операцию снятия листов со стола транспортёра и пакетирования либо на левый 8 (брак), либо на правый 9 (годные листы) пакетирующие столы.

Захват и перенос листа 1 со стола 2 с воздушной подушкой осуществляется воздушными присосками 3 тележки раскладывателя 4.

Если лист захвачен и поднят пневмоприводом 7 с присосками, то тележка разгоняется до определённой скорости с помощью электродвигателя 5. При приближении к месту остановки осуществляется переход на пониженную скорость. В строго определённом положении над пакетирующим столом отключается привод тележки и накладывается тормоз 6.

Пневмопривод 7 опускает присоски с листом на пакетирующий стол, освобождает лист и поднимает присоски в крайнее верхнее положение. Вновь включается привод тележки раскладывателя и тележка возвращается в исходное положение по центру агрегата также со снижением скорости при подходе к месту остановки.

										Лист
										9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ					

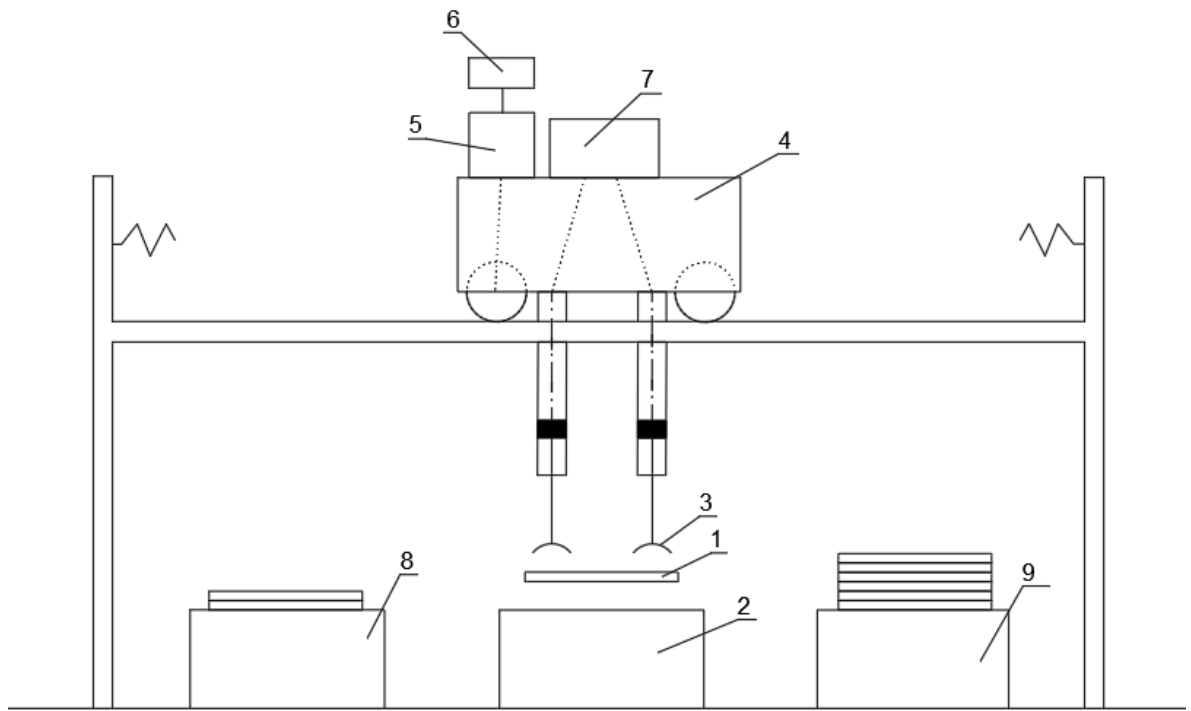


Рисунок 1.1 – Схема механизма тележки раскладывателя

## 2 ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНИЗМА ТРАНСПОРТИРОВКИ ИЗДЕЛИЙ

### 2.1 Технические данные механизма транспортировки изделий

В таблице 2.1 представлены технические данные механизма транспортировки изделий, необходимые для расчетов.

Таблица 2.1 – Технические данные механизма транспортировки изделий

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
m	Масса тележки	т	3
mГ	Масса груза	т	0,2
DK	Диаметр колеса	м	0,32
L	Перемещение	м	4
vр	Рабочая скорость	м/с	0,5
vв	Скорость возврата	м/с	0,5
aДОП	Среднее ускорение	м/с <sup>2</sup>	0,45
dЦ	Диаметр цапфы колеса	мм	70
mO	Масса грузозахватного приспособления	т	0,5
z	Число циклов	1/ч	65
JШ	Момент инерции тормозного шкива	кг•м <sup>2</sup>	0,4
μ	Коэффициент трения скольжения	—	0,02
f	Коэффициент трения качения	—	0,4
СК	Крутильная жесткость	МН•м/рад	50
КРБ	Коэффициент трения ребер колес о рельсы	—	2

### 2.2 Расчёт мощности двигателя



Время пуска и торможения  $t_{п}$ ,  $t_{т}$  до заданной скорости движения тележки раскладывателя при рабочем ходе:

$$t_{п} = t_{т} = \frac{v_p}{a_{доп}}, \quad (1)$$

где  $v_p$  – заданная скорость движения, м/с;  $a_{доп}$  - допустимое ускорение, м/с<sup>2</sup>.

Время пуска и торможения при движении вперед:

$$t_{п1} = t_{т1} = \frac{v_p}{a_{доп}} = \frac{0,5}{0,45} = 1,11 \text{ с.}$$

Время при торможении с установленной до пониженной скорости:

$$t_{т1.1} = \frac{v_p - v_{п}}{a_{доп}} = \frac{0,5 - 0,2 \cdot 0,5}{0,45} = 0,89 \text{ с.}$$

Время при торможении с пониженной скорости до полного торможения:

$$t_{т1.2} = \frac{v_{п}}{a_{доп}} = \frac{0,2 \cdot 0,5}{0,45} = 0,22 \text{ с.}$$

Время пуска и торможения при движении назад:

$$t_{п2} = t_{т2} = \frac{v_p}{a_{доп}} = \frac{0,5}{0,45} = 1,11 \text{ с.}$$

Время при торможении с установленной до пониженной скорости:

$$t_{т2.1} = \frac{v_p - v_{п}}{a_{доп}} = \frac{0,5 - 0,2 \cdot 0,5}{0,45} = 0,89 \text{ с.}$$

Время при торможении с пониженной скорости до полного торможения:

$$t_{т2.2} = \frac{v_{п}}{a_{доп}} = \frac{0,2 \cdot 0,5}{0,45} = 0,22 \text{ с.}$$

Путь, проходимый рабочей машиной за время пуска и торможения:

$$L_{п} = L_{т} = \frac{v_p^2}{2 \cdot a_{доп}}. \quad (2)$$

Путь, пройденный за время пуска, при движении тележки раскладывателя вперед:

$$L_{п1} = \frac{v_p^2}{2 \cdot a_{доп}} = \frac{0,5^2}{2 \cdot 0,45} = 0,28 \text{ м.}$$

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ	12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Путь, пройденный за время торможения, при движении тележки раскладывателя вперед:

$$L_{T1} = \frac{L}{5} = \frac{4}{5} = 0,8\text{ м.}$$

Путь, пройденный за время торможения, с установленной скорости до пониженной, при движении тележки раскладывателя вперед:

$$L_{T1.1} = \frac{(v_p - v_{II})^2}{2 \cdot a_{доп}} = \frac{(0,5 - 0,2 \cdot 0,5)^2}{2 \cdot 0,45} = 0,178 \text{ м.}$$

Путь, пройденный за время торможения, с пониженной скорости до полного торможения, при движении раскладывателя к разгрузочному месту:

$$L_{T1.2} = \frac{v_{II}^2}{2 \cdot a_{доп}} = \frac{(0,2 \cdot 0,5)^2}{2 \cdot 0,45} = 0,011 \text{ м.}$$

Путь, пройденный за время пуска при движении тележки раскладывателя назад:

$$L_{П2} = L_{T2} = \frac{v_p^2}{2 \cdot a_{доп}} = \frac{0,5^2}{2 \cdot 0,45} = 0,28 \text{ м.}$$

Путь, пройденный за время торможения, при движении тележки раскладывателя назад:

$$L_{T2} = \frac{L}{5} = \frac{4}{5} = 0,8\text{ м.}$$

Путь, пройденный за время торможения, с установленной скорости до пониженной, при движении тележки раскладывателя назад:

$$L_{T2.1} = \frac{(v_p - v_{II})^2}{2 \cdot a_{доп}} = \frac{(0,5 - 0,2 \cdot 0,5)^2}{2 \cdot 0,45} = 0,178 \text{ м.}$$

Путь, пройденный за время торможения, с пониженной скорости до полного торможения, при движении раскладывателя назад:

$$L_{T2.2} = \frac{v_{II}^2}{2 \cdot a_{доп}} = \frac{(0,2 \cdot 0,5)^2}{2 \cdot 0,45} = 0,011 \text{ м.}$$

Время установившегося режима движения:

$$t_y = \frac{L - (L_{II} + L_T)}{v_p}. \quad (3)$$

Время установившегося режима при движении тележки раскладывателя вперёд:

$$t_{y1} = \frac{L - (L_{п1} + L_{Т1})}{v_p} = \frac{4 - (0,28 + 0,8)}{0,5} = 5,84 \text{ с.}$$

Время установившегося режима при движении тележки раскладывателя на пониженной скорости, при движении вперёд:

$$t_{1п} = \frac{L_{Т1} - (L_{Т1.1} + L_{Т1.2})}{v_{п}} = \frac{0,8 - (0,178 + 0,011)}{0,2 \cdot 0,5} = 6,11 \text{ с.}$$

Время установившегося режима при движении тележки раскладывателя назад:

$$t_{y2} = \frac{L - (L_{п2} + L_{Т2})}{v_p} = \frac{4 - (0,28 + 0,8)}{0,5} = 5,84 \text{ с.}$$

Время установившегося режима при движении тележки раскладывателя на пониженной скорости, при движении назад:

$$t_{2п} = \frac{L_{Т1} - (L_{Т1.1} + L_{Т1.2})}{v_{п}} = \frac{0,8 - (0,178 + 0,011)}{0,2 \cdot 0,5} = 6,11 \text{ с.}$$

Рассчитаем статические моменты рабочей машины.

Момент сил трения в подшипниках:

$$M_{тп} = \frac{m_1 \cdot d_c \cdot \mu_{п} \cdot g}{2}, \quad (4)$$

где  $m_1$  – масса деталей и узлов, опирающихся на подшипники, кг ;  $d_c$  – диаметр шейки вала или оси , м;  $\mu_{п}$  – коэффициент трения скольжения в подшипниках;  $g=9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение силы тяжести.

При движении вперед:

$$M_{тп1} = \frac{(m + m_{Т} + m_{Г} + m_0) \cdot d_{ц} \cdot \mu \cdot g}{2} = 19,06 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

При движении назад:

$$M_{тп2} = -\frac{(m + m_0 + m_{Т}) \cdot d_{ц} \cdot \mu \cdot g}{2} = -18,03 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Момент сил трения качения:

$$M_{тк} = m_{тк} \cdot f \cdot g, \quad (5)$$

где  $m_{тк}$  - масса деталей, опирающихся на узел качения, кг;  $f$  – коэффициент трения качения;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение силы тяжести.

										Лист
										14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ					

$$M_{\text{ВП1}} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 0,2}{2} \cdot \text{tg}(6 + 5) = 3000 \cdot 0,194 = 582 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении вперёд:

$$M_{\text{ТК1}} = (m + m_{\Gamma} + m_0) \cdot f \cdot g = 14,52 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении назад:

$$M_{\text{ТК2}} = -(m + m_0) \cdot f \cdot g = -13,73 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Суммарный статический момент рабочего органа:

$$M_{\text{рост}} = K_{\text{РБ}} \cdot (M_{\text{ТП}} + M_{\text{ТК}}). \quad (6)$$

При движении тележки с грузом:

$$M_{\text{рост1}} = K_{\text{РБ}} \cdot (M_{\text{ТП1}} + M_{\text{ТК1}}) = 67,15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении тележки без груза:

$$M_{\text{рост2}} = K_{\text{РБ}} \cdot (M_{\text{ТП2}} + M_{\text{ТК2}}) = -13,73 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определим момент инерции рабочего органа по формуле:

$$J_{\text{ро}} = J_{\text{Ш}} + (m_1 + m_2 + \dots) \cdot \frac{D^2}{4}, \quad (7)$$

где  $J_{\text{Ш}}$  - момент инерции тормозного шкива;  $m_1, m_2$  - масса поступательно движущихся частей, кг;  $D$  - диаметр колеса (барабана, звездочки, шкива и т.п.), м.

При движении вперед:

$$J_{\text{ро1}} = J_{\text{Ш}} + (m + m_{\Gamma} + m_0) \cdot \frac{D_K^2}{4};$$

$$J_{\text{ро1}} = 0,4 + (3 + 0,2 + 0,5) \cdot 10^3 \cdot \frac{0,32^2}{4} = 95,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При движении назад:

$$J_{\text{ро2}} = J_{\text{Ш}} + (m + m_0) \cdot \frac{D_K^2}{4};$$

$$J_{\text{ро2}} = 0,4 + (3 + 0,5) \cdot 10^3 \cdot \frac{0,32^2}{4} = 90 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При заданной величине допустимого ускорения определим динамические моменты тележки раскладывателя при движении.

$$M_{\text{родин}} = J_{\text{ро}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}}}{D_K}, \quad (8)$$

где  $J_{\text{ро}}$  – момент инерции рабочего органа,  $\frac{\text{кг}^2}{\text{м}}$ ;  $a_{\text{доп}}$  – среднее ускорение  $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ ;  $D_K$  – диаметр шкива.

При движении вперед:

$$M_{\text{родин1}} = J_{\text{ро1}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}}}{D_K} = 95,12 \cdot \frac{2 \cdot 0,45}{0,32} = 267,53 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении назад:

$$M_{\text{родин2}} = J_{\text{ро2}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}}}{D_K} = 90 \cdot \frac{2 \cdot 0,45}{0,32} = 253,13 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Полный момент рабочей машины найдём по формуле:

$$M_{\text{ро}} = M_{\text{рост}} + M_{\text{родин}}. \quad (9)$$

Первый участок – разгон тележки раскладывателя вперед:

$$M_{\text{ро1}} = M_{\text{рост1}} + M_{\text{родин1}} = 67,15 + 267,53 = 334,67 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Второй участок – движение тележки раскладывателя с установившейся скоростью:

$$M_{\text{ро2}} = M_{\text{рост1}} = 67,15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Третий участок – торможение тележки раскладывателя с установившейся скорости до пониженной:

$$M_{\text{ро3}} = M_{\text{рост1}} - M_{\text{родин1}} = 67,15 - 267,53 = -200,38 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Четвертый участок – движение тележки раскладывателя на пониженной скорости:

$$M_{\text{ро4}} = M_{\text{рост1}} = 67,15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пятый участок – торможение тележки раскладывателя с пониженной скорости до остановки:

$$M_{po5} = M_{рост1} - M_{родин1} = 67,15 - 267,53 = -200,38 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Шестой участок – разгон тележки раскладывателя назад:

$$M_{po6} = M_{рост2} + M_{родин2} = -63,52 - 253,125 = -316,65 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Седьмой участок – движение тележки раскладывателя с установившейся скоростью назад:

$$M_{po7} = M_{рост2} = -63,52 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Восьмой участок – торможение тележки раскладывателя с установившейся скорости до пониженной:

$$M_{po8} = M_{рост2} - M_{родин2} = -63,52 + 253,125 = 189,61 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Девятый участок – движение тележки раскладывателя на пониженной скорости:

$$M_{po9} = M_{рост2} = -63,52 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Десятый участок – торможение тележки раскладывателя с пониженной скорости до остановки:

$$M_{po10} = M_{рост2} - M_{родин2} = -63,52 + 253,125 = 189,61 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

На рисунке 2 представлены диаграммы скорости и моментов в зависимости от времени. В таблице 2.2 для каждого участка запишем величины моментов, скоростей, моментов инерции и пройденного пути для рабочего хода, а в таблице 2.3 для обратного хода.

Таблица 2.2 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм для рабочего хода

Участок движения		Рабочий ход				
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Уст. режим	Торможение до п.с.	Уст. режим п.с.	Торможение до остан.
Скорость, м/с	$v_{po}$	-	0,5	-	0,1	-
Время, с	$t_{po}$	1,11	5,84	0,89	6,11	0,22
Путь, м	$L_{po}$	0,278	2,92	0,178	0,611	0,011
Моменты РО, Нм:						

Продолжение таблицы 2.2

Участок движения		Рабочий ход				
Трения в подшипниках	$M_{тп}$	19,06				
Трения качения	$M_{вп}$	14,25				
Статический момент, Нм	$M_{рост}$	67,15				
Момент инерции, кгм <sup>2</sup>	$J_{ро}$	95,12				
Динамич. момент, Нм	$M_{родин}$	267,53	0	267,53	0	267,53
Суммарный момент, Нм	$M_{ро}$	334,67	67,15	-200,38	67,15	-200,38

Таблица 2.3 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм для обратного хода

Участок движения		Обратный ход				
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Уст. режим	Торможение до п.с.	Уст. режим п.с.	Торможение до остан.
Скорость, м/с	$v_{ро}$	-	0,5	-	0,1	-
Время, с	$t_{ро}$	1,11	5,84	0,89	6,11	0,22
Путь, м	$L_{ро}$	0,278	2,92	0,178	0,611	0,011
Моменты РО, Нм:						
Трения в подшипниках	$M_{тп}$	-18,03				
Трения качения	$M_{вп}$	-13,73				
Статический момент, Нм	$M_{рост}$	-63,51				

Продолжение таблицы 2.3

Участок движения		Обратный ход				
Момент инерции, кгм <sup>2</sup>	J <sub>po</sub>	90				
Динамич. момент, Нм	M <sub>родин</sub>	253,13	0	253,13	0	253,13
Суммарный момент, Нм	M <sub>po</sub>	-316,45	-63,52	189,61	-63,52	189,61

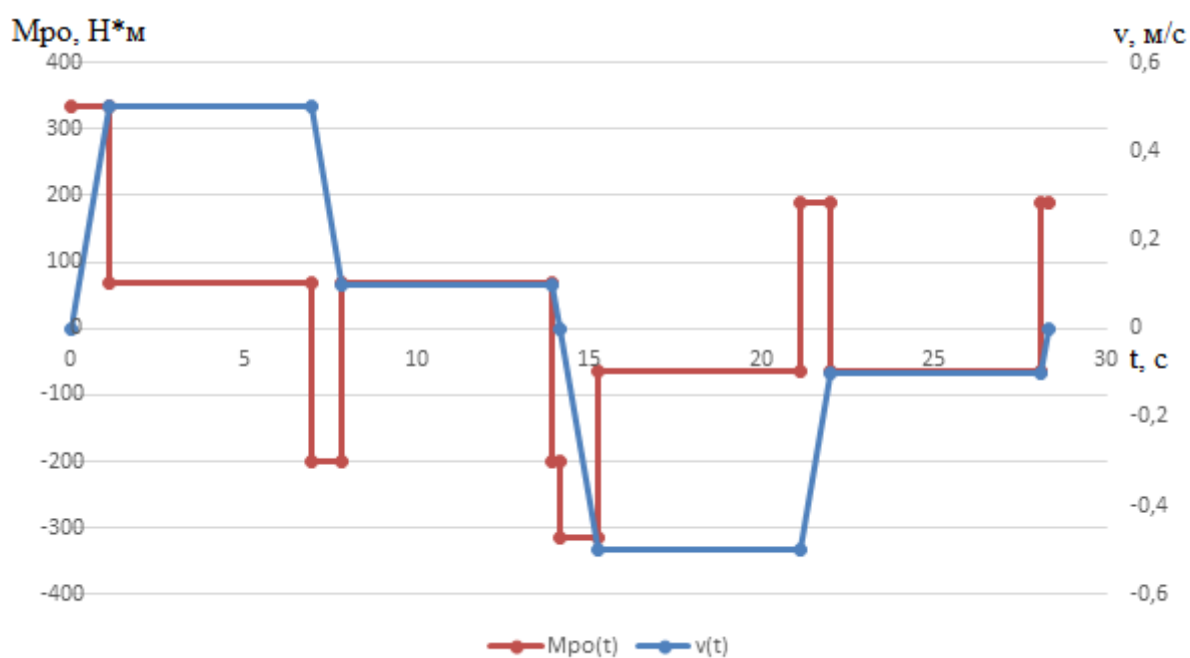


Рисунок 2.1 – Нагрузочная диаграмма момента рабочего органа и скорости

По рассчитанным значениям моментов на каждом участке можно найти среднеквадратичное значение момента:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m M_k^2 \cdot t_k}{\sum_{k=1}^m t_k}}, \quad (10)$$

где  $M_k$  - момент на k-ом участке, Нм;  $t_k$  - длительность k-го участка, с.



Получаем значение момента:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{334,67^2 \cdot 1,11 + 67,15^2 \cdot 5,84 + \dots + 189,61^2 \cdot 0,22}{1,11 + 5,84 + 0,89 + 6,11 + 0,22 + 1,11 + \dots + 0,22}} = 122,07 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тогда мощность двигателя определяется по формуле:

$$P_{\text{дв}} = k_1 \cdot M_{\text{сркв}} \cdot \frac{2 \cdot V_p}{D_K} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{факт}}}{\text{ПВ}_{\text{кат}}}}, \quad (11)$$

где  $k_1=1,3$  - коэффициент, учитывающий трение кабины при движении по направляющим;  $D_K$  – диаметр колеса, м;  $V_p$  – основная скорость движения, м/с;  $\text{ПВ}_{\text{факт}}$  - фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого привода;  $\text{ПВ}_{\text{кат}}$  – ближайшее к  $\text{ПВ}_{\text{факт}}$  каталожное значение относительной продолжительности включения для электродвигателей выбранной серии.

$$\text{ПВ}_{\text{факт}} = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \cdot \sum_{k=1}^m t_k \cdot 100\%. \quad (12)$$

Время работы цикла:

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{z} = \frac{3600}{65} = 55,4 \text{ с};$$

$$\text{ПВ}_{\text{факт}} = \frac{(1,11 + 5,84 + 0,89 + 6,11 + 0,22 + 1,11 + \dots + 0,22)}{55,4} \cdot 100\% = 50 \text{ \%}.$$

Для двигателей краново-металлургической серии ряд ПВ: 15, 25, 40, 60, 100%. Выбираем ближайшее ПВ, то есть  $\text{ПВ}_{\text{кат}}=40\%$ .

$$P_{\text{дв}} = 1,3 \cdot 122,074 \cdot \frac{2 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{\frac{51,2}{40}}}{0,32} = 561,064 \text{ Вт}.$$

### 2.3 Выбор типа двигателей

Из асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором выбираем двигатель краново-металлургической серии 4МТКФ(Н)112L6. Каталожные данные двигателя сведены в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Номинальные данные двигателя 4МТКФ(Н)112L6 при ПВ=40%

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
$P_n$	Номинальная мощность на валу	кВт	2,2
$n_n$	Номинальная частота вращения	об/мин	880
$I_n$	Номинальный ток статора	А	6,8
$\cos \varphi_n$	Коэффициент мощности в номинальном режиме	-	0,73
$I_p$	Пусковой ток	А	22,7
$M_p$	Пусковой момент	Нм	62
$M_{\max}$	Максимальный (критический) момент	Нм	64
$r_1$	Активное сопротивление фазной обмотки статора	Ом	2,97
$I_0$	Ток холостого хода в номинальном режиме	Ом	4,81
$R_{кз}$	Активное сопротивление короткого замыкания	Ом	9,66
$X_{кз}$	Индуктивное сопротивление короткого замыкания	Ом	5,87
$k_r$	Коэффициент приведения сопротивлений	-	5,9
$J_{дв}$	Момент инерции двигателя	кгм <sup>2</sup>	0,035

## 2.4 Выбор редуктора

Передаточное число редуктора определяется по номинальной скорости вращения выбранного двигателя и основной скорости движения исполнительного органа по формуле (4.1):

$$i_p = \frac{\omega_n \cdot D_K}{2 \cdot v_p}, \quad (13)$$

где  $D_K$  – диаметр колеса, находящегося на выходном валу редуктора и преобразующего вращение вала в поступательное движение исполнительного органа рабочей машины, м;  $v_p$  – основная скорость движения исполнительного органа.

В соответствии с формулой (13):

$$i_p = \frac{92,15 \cdot 0,32}{2 \cdot 0,5} = 29,5.$$

Выберем редуктор, исходя из того, что передаточное число должно быть равным или несколько меньшим рассчитанного, при этом должны быть учтены условия работы механизма и скорость двигателя. Данные редуктора заносим в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 – Характеристики двухступенчатого редуктора Ц2-250

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
$i_p$	Передаточное число редуктора	-	25
nнр	Частота вращения входного вала	Об/мин	1500
$\eta_p$	Коэффициент полезного действия	%	69

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ

Лист

22

## 2.5 Приведение моментов к валу двигателя

### 2.5.1 Приведение статических моментов и моментов инерции к валу двигателя

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

$$M_{pc} = \frac{M_{рост}}{i_p}, \quad (14)$$

где  $M_{рост}$  - статический момент рабочего органа;  $i_p$  - передаточное число редуктора.

При движении вперед:

$$M_{pc1} = \frac{M_{рост1}}{j_p} = \frac{67,15}{25} = 2,28 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении назад:

$$M_{pc2} = \frac{M_{рост2}}{j_p} = \frac{-63,52}{25} = -2,154 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$M_{вс} = \frac{M_{pc}}{\eta_p}. \quad (15)$$

При движении вперед в двигательном режиме:

$$M_{двс1} = \frac{M_{pc1}}{\eta_p} = \frac{2,28}{0,96} = 2,37 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении назад в двигательном режиме:

$$M_{двс2} = \frac{M_{pc2}}{\eta_p} = \frac{-2,154}{0,96} = -2,24 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$M_{\text{вст}} = M_{\text{рс}} \cdot \eta_{\text{р}}. \quad (16)$$

При движении вперед в тормозном режиме:

$$M_{\text{твс1}} = M_{\text{рс1}} \cdot \eta_{\text{р}} = 2,28 \cdot 0,96 = 2,19 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении назад в тормозном режиме:

$$M_{\text{твс2}} = M_{\text{рс2}} \cdot \eta_{\text{р}} = -2,15 \cdot 0,96 = -2,07 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$M_{\text{с}} = M_{\text{вс}} + \Delta M_{\text{х}}. \quad (17)$$

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

$$\Delta M_{\text{х}} = (I_{1\text{n}} U_{1\text{n}} 3 \cos \varphi_{\text{n}} - P_{\text{n}}) / (3n_{\text{n}} / 9,55); \quad (18)$$

$$\Delta M_{\text{х}} = \frac{(6,8 \cdot 380 \cdot 3 \cdot 0,73 - 2200) \cdot 9,55}{3 \cdot 880} = 12,51 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$M_{\text{с}} = M_{\text{вс}} + \Delta M_{\text{х}}. \quad (19)$$

С учетом потерь на ХХ статический момент на валу в тормозном режиме рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{с}} = M_{\text{вс}} - \Delta M_{\text{х}}. \quad (20)$$

При движении вперед в двигательном режиме:

$$M_{\text{дс1}} = 2,37 + 12,51 = 14,88 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении назад в двигательном режиме:

$$M_{\text{дс2}} = -2,24 - 12,51 = -14,76 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении вперед в тормозном режиме:

$$M_{\text{тс1}} = 2,19 - 12,51 = -10,33 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении назад в тормозном режиме:

$$M_{\text{тс2}} = -2,07 - 12,51 = -14,58 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для каждого участка проведены расчеты, и все значения занесены в таблицу 2.6.

### 2.5.2 Приведение моментов инерции и коэффициентов жёсткости к валу двигателя

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

Суммарный приведенный момент инерции:

$$J = \delta \cdot J_{\text{дв}} + J_{\text{пр}}, \quad (21)$$

где  $J_{\text{пр}}$  - приведенный к валу двигателя момент инерции поступательно и вращательно движущихся частей системы, кг·м<sup>2</sup>;  $J_{\text{дв}}$  - момент инерции ротора выбранного двигателя, кг·м<sup>2</sup>;  $\delta$  - коэффициент, учитывающий момент инерции остальных моментов электропривода: тормозного шкива, муфт, редуктора, и т.д., ( $\delta = 1.3 \dots 1.5$ ).

Приведенный момент инерции рабочей машины к валу двигателя:

$$J_{\text{пр}} = \frac{J_{\text{р0}}}{i_p^2}. \quad (22)$$

При движении вперед:

$$J_{\text{пр1}} = \frac{J_{\text{р01}}}{j_p^2} = \frac{95,12}{25^2} = 0,152 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При движении назад:

$$J_{\text{пр2}} = \frac{J_{\text{роз}}}{j_p^2} = \frac{90}{25^2} = 0,144 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

В соответствии с формулой (21) находим J:

При движении вперёд:

$$J_1 = \delta \cdot J_{\text{дв}} + J_{\text{пр1}} = 0,201 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При движении назад:

$$J_2 = \delta \cdot J_{\text{дв}} + J_{\text{пр2}} = 0,193 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Для возможности учета влияния упругостей в механизме указана крутильная жесткость  $C_K$ , отнесенная к рабочему валу.

Приведенную к валу двигателя жесткость упругой механической связи  $C_{\text{пр}}$  определяют через значение крутильной жесткости рабочего вала (муфты) по формуле:

$$C_{\text{пр}} = \frac{C_K}{j_p^2}; \quad (23)$$

$$C_{\text{пр}} = \frac{50 \cdot 10^6}{25^2} = 80000 \text{ Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{рад}}.$$

Рассчитаем для каждого участка работы электропривода значения установившейся скорости двигателя:

Установившуюся скорость двигателя находим по формуле:

$$\omega_c = i_p \cdot \frac{2 \cdot \vartheta_p}{D_K}. \quad (24)$$

При движении с рабочей скоростью  $\vartheta_p$ :

$$\omega_c^p = \frac{2 \cdot 0,5}{0,32} \cdot 25 = 78,13 \text{ рад/с}.$$

При движении с пониженной скоростью  $\vartheta_{\text{п}}$ :

$$\omega_{\text{сп}}^p = \frac{2 \cdot 0,1}{0,32} \cdot 25 = 15,62 \text{ рад/с}.$$

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

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		26

Пусковой момент:

$$M_{\text{П}} = M_{\text{С}} + M_{\text{дин}}, \quad (25)$$

где  $M_{\text{С}}$  - статический момент сопротивления движению, Н·м;  $M_{\text{дин}}$  - динамический момент, Н·м.

Динамический момент рассчитываем по формуле:

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot i_{\text{р}}}{D_{\text{К}}}. \quad (26)$$

Динамический момент.

При движении вперед:

$$M_{\text{дин1}} = \frac{J_1 \cdot 2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot j_{\text{р}}}{D_{\text{К}}} = \frac{0,201 \cdot 2 \cdot 0,45 \cdot 25}{0,32} = 14,15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении назад:

$$M_{\text{дин2}} = \frac{J_2 \cdot 2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot j_{\text{р}}}{D_{\text{К}}} = \frac{0,193 \cdot 2 \cdot 0,45 \cdot 25}{0,32} = 13,57 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент.

При движении вперед:

$$M_{\text{П1}} = M_{\text{дс1}} + M_{\text{дин1}} = 14,88 + 14,15 = 29,03 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении назад:

$$M_{\text{П2}} = M_{\text{дс2}} + M_{\text{дин2}} = -14,76 - 13,57 = -28,33 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тормозной момент:

$$M_{\text{Т}} = |M_{\text{дин}}| - M_{\text{тс}}. \quad (27)$$

При движении вперед:

$$M_{\text{Т1}} = |M_{\text{дин1}}| - M_{\text{тс1}} = 14,15 - (-10,32) = 24,47 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении назад:

$$M_{\text{Т2}} = |M_{\text{дин2}}| - M_{\text{тс2}} = 13,57 - (-14,58) = 28,15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$



Пусковой момент меньше максимально допустимого, значит, ускорения снижать не требуется.

Ни на одном участке момент при торможении или разгоне не оказался выше максимального момента двигателя.

Для каждого участка проведены расчеты, и все значения занесены в таблицу 2.6.

## 2.6 Предварительная проверка двигателя по производительности и нагреву

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

Рассчитаем время переходных процессов по формуле:

$$t_i = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{cp} - M_c}, \quad (28)$$

где  $J$  - суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции, кг · м<sup>2</sup>;  $\omega_c$  – установившаяся скорость двигателя, рад/с;  $M_{cp}$  – средний момент двигателя, Н\*м;  $M_c$  – приведенный статический момент, Н\*м.

Первый участок – разгон вперед:

$$t_1 = J_1 \cdot \frac{\omega_{c1}}{M_{дср1} - M_{дс1}} = 0,201 \cdot \frac{78,125}{29,03 - 14,88} = 1,11 \text{ с.}$$

Третий участок – торможение до пониженной скорости:

$$t_3 = J_1 \cdot \frac{\omega_c - \omega_{п}}{M_{тср1} + M_{тс1}} = 0,201 \cdot \frac{78,125 - 15,63}{24,472 - 14,88} = 1,31 \text{ с.}$$

Пятый участок – торможение до остановки:

$$t_5 = J_1 \cdot \frac{\omega_{п}}{M_{тср1} + M_{тс1}} = 0,201 \cdot \frac{15,63}{24,47 + 14,88} = 0,22 \text{ с.}$$

Шестой участок – разгон при назад:

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		28

$$t_6 = J_2 \cdot \frac{\omega_c}{M_{дсп2} - M_{дс2}} = 0,193 \cdot \frac{78,125}{28,33 - 14,76} = 1,11 \text{ с.}$$

Восьмой участок – торможение до пониженной скорости назад:

$$t_8 = J_2 \cdot \frac{\omega_c - \omega_{п}}{M_{тсп2} + M_{тс2}} = 0,193 \cdot \frac{78,125 - 15,63}{28,15 - 14,76} = 0,9 \text{ с.}$$

Десятый участок – торможение до полной остановки назад:

$$t_{10} = J_2 \cdot \frac{\omega_{п}}{M_{тсп2} + M_{тс2}} = 0,193 \cdot \frac{15,63}{28,15 - 14,58} = 0,22 \text{ с.}$$

Рассчитаем угол поворота вала двигателя за время переходного процесса:

$$\alpha_i = \frac{\omega_c \cdot t_i}{2}. \quad (29)$$

Угол поворота вала на соответствующих участках пути:

$$\alpha_1 = \frac{\omega_c \cdot t_1}{2} = \frac{78,13 \cdot 1,11}{2} = 43,4 \text{ рад/с.}$$

$$\alpha_3 = \frac{(\omega_c - \omega_{п}) \cdot t_3}{2} = \frac{(78,13 - 15,63) \cdot 1,31}{2} = 40,98 \text{ рад/с.}$$

$$\alpha_5 = \frac{\omega_{п} \cdot t_5}{2} = \frac{15,63 \cdot 0,22}{2} = 1,74 \text{ рад/с.}$$

$$\alpha_6 = \frac{\omega_c \cdot t_6}{2} = \frac{78,13 \cdot 1,11}{2} = 43,4 \text{ рад/с.}$$

$$\alpha_8 = \frac{(\omega_c - \omega_{п}) \cdot t_8}{2} = \frac{(78,13 - 15,63) \cdot 0,9}{2} = 32,188 \text{ рад/с.}$$

$$\alpha_{10} = \frac{\omega_{п} \cdot t_{10}}{2} = \frac{15,63 \cdot 0,22}{2} = 1,73 \text{ рад/с.}$$

Угол поворота вала за 1,3,5 участки:

$$\alpha_{135} = \alpha_1 + \alpha_3 + \alpha_5 = 43,4 + 40,98 + 1,74 = 86,12 \text{ рад/с.}$$

Угол поворота вала за 6,8,10 участки:

$$\alpha_{6810} = \alpha_6 + \alpha_8 + \alpha_{10} = 43,4 + 32,19 + 1,73 = 77,33 \text{ рад/с.}$$

Время работы с установившейся скоростью рассчитаем по формуле:

$$t_y = \frac{\alpha - (\alpha_{п} + \alpha_{т})}{\omega_c}, \quad (30)$$

где  $\alpha$  - угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме, рад;  $\alpha_{п}, \alpha_{т}$  - угол поворота вала за время пуска и торможения соответственно, рад.

Угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме:

$$\alpha_{\Sigma} = 2 \cdot L \cdot \frac{j_p}{D_k} = 2 \cdot 4 \cdot \frac{25}{0,32} = 625 \text{ рад.}$$

Тогда время работы с установившейся скоростью.

При движении тележки рскладывателя вперёд:

$$t_2 = \frac{\alpha - \alpha_{135} - \alpha_{п\text{он}}}{\omega_c} = \frac{625 - 86,12 - 95,49}{78,125} = 5,67 \text{ с,}$$

где

$$\alpha_{п\text{он}} = 2 \cdot (L_{Т1} - L_{Т1.1} - L_{Т1.2}) \cdot \frac{j_p}{D_k} = 95,49 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

При движении тележки раскладывателя назад:

$$t_7 = \frac{\alpha - \alpha_{6810} - \alpha_{п\text{он}}}{\omega_c} = \frac{625 - 77,33 - 95,49}{78,125} = 5,78 \text{ с.}$$

При движении тележки раскладывателя на пониженной скорости:

$$t_4 = t_9 = \frac{\alpha_{п\text{он}}}{\omega_{п}} = 6,11 \text{ с.}$$

Предварительная проверка двигателя по нагреву производится по величине среднеквадратичного момента:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \leq M_{\text{доп}}, \quad (31)$$

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

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{29,03^2 \cdot 1,11 + 14,88^2 \cdot 5,67 + \dots + (-28,33)^2 \cdot 0,22}{26,34}} = 16,4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Фактическое значение ПВ:

$$ПВ_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_{ц}} \cdot 100\% = \frac{26,34}{55,38} \cdot 100\% = 48 \%$$

Определим момент двигателя при  $ПВ_{кат}$ , ближайшем к  $ПВ_{\phi}$ :

$$M_{кат} = \frac{P_{кат}}{\omega_{кат}} = \frac{2200 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 880} = 23,87 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Допускаемый момент:

$$M_{доп} = 23,87 \cdot \sqrt{\frac{40}{47,56}} = 21,89 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$16,4 < 21,89$$

Двигатель проходит по нагреву. Для каждого участка проведены расчеты, и все значения занесены в таблицу 2.6.

Таблица 2.6 – Приведение моментов к валу двигателя

Участок движения	Рабочий ход					Обратный ход				
	Пуск	Уст. режим	Торможение до п.с.	Уст. режим п.с.	Торможение	Пуск	Уст. режим	Торможение	Уст. режим п.с.	Торможение
$v$ , м/с	-	0,5	-	0,1	-	-	0,5	-	0,1	-
$M_{рост}$ , Н·м	67,15					-63,52				
$J_{рост}$ , кг·м <sup>2</sup>	95,12					90				
$\omega_c$ , рад/с		78,13		15,63			78,13		15,63	
$M_{рс}$ , Н·м	2,28					-2,15				
$M_{вс}$ , Н·м	2,37					-2,24				

Продолжение таблицы 2.6

Участок движения	Рабочий ход					Обратный ход				
	Пуск	Уст. режим	Торможение до п.с.	Уст. режим п.с.	Торможение	Пуск	Уст. режим	Торможение	Уст. режим п.с.	Торможение
$M_c, Н·м$	14,88	14,88	-10,33	14,88	-10,33	-14,76	-14,76	-14,58	-14,76	-14,58
$J_{пр}, кг·м^2$	0,152					0,144				
$J, кг·м^2$	0,201					0,193				
$M_{дин}, Н·м$	14,15	-	-14,15	-	-14,15	-13,57	-	13,57	-	13,57
$M_{доп.уск}, Н·м$	29,03	2,37	24,47	2,19	24,47	-28,33	-2,24	28,15	-2,07	28,15
$M_{ср}, Н·м$	29,03	2,37	24,47	2,19	24,47	-28,33	-2,24	28,15	-2,07	28,15
$t, с$	1,11	5,67	1,31	6,11	0,22	1,11	5,78	0,9	6,11	0,22
$\alpha, рад$	43,4	221,5	40,9	47,72	1,74	43,1	225,8	32,19	47,73	1,73

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ

Лист

32

### 3 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ

Выбор преобразователя осуществляется на основании номинальных данных предварительно выбранного двигателя:

$$U_{\text{нпч}} \geq U_{\text{нл}};$$

$$I_{\text{нпч}} \geq I_{\text{н}},$$

где  $U_{\text{нл}}$ ,  $I_{\text{н}}$  – номинальные линейное напряжение и фазный ток статора двигателя;  $U_{\text{нпч}}$ ,  $I_{\text{нпч}}$  – номинальные линейное напряжение и ток нагрузки преобразователя частоты.

Выберем преобразователь фирмы «Siemens»: Модель 6SE6420-2AD23-0BA1. Его характеристики сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Характеристики преобразователя 6SE6420-2AD23-0BA1

Наименование параметра	Значение
Питающая сеть, В	3x380 В (+10%, -15%), 50 Гц (±2%)
Выходное напряжение, В	3x (380В ± 2%)
Выходная частота, Гц	0...650 Гц ± 0,05%
Ток перегрузки	1,5I <sub>н</sub> в течение 60 с
КПД (без двигателя), %	97
Коэффициент мощности сети	0,95
Мощность преобразователя, кВт	3
Номинальная мощность двигателя, кВт	2,2
Номинальный ток нагрузки, А	7,7

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ

Лист

33

Также необходима установка автоматического выключателя, его выбор осуществляется по следующим параметрам:

$$U_{AB} \geq U_H ; I_{AB} \geq I_H.$$

Исходя из этих условий выберем автоматический выключатель фирмы «Schneider Electric» типа EZ9F34310, у которого  $I_{AB} = 10 \text{ A}$ ,  $U_{AB} = 400 \text{ В}$ .

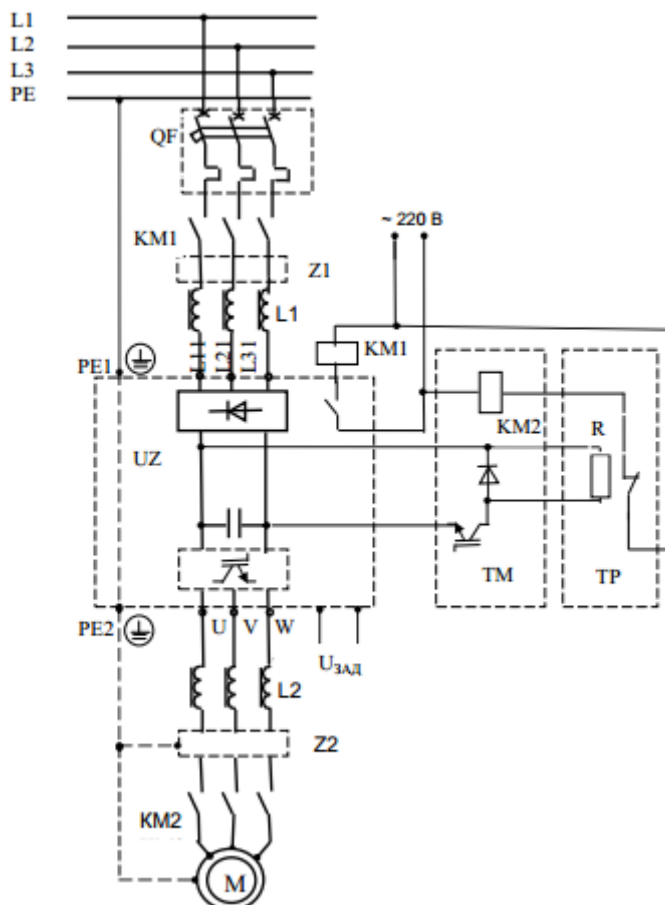


Рисунок 3.1 – Схема подключения 6SE6420-2AD23-0BA1

#### 4 РАСЧЁТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Синхронная скорость вращения  $\omega_{0H}$ :

$$\omega_{0H} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{3} = 104,72, \quad (32)$$

где  $p$  – число пар полюсов;  $f_{1H}$  – номинальная частота напряжения статора, Гц.

Номинальный момент на валу МН:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}; \quad (33)$$

$$M_H = \frac{2200}{92,15} = 23,57 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для использования в расчетах относительных единиц в таблицу 8.1 внесены базовые величины параметров двигателя.

Таблица 4.1 – Базовые величины параметров двигателя

Базовая величина	Единица измерения	Значение
Синхронная скорость вращения $\omega_{0H}$	рад/с	104,72
Номинальное фазное напряжение $U_{1H}$	В	380
Номинальная частота $f_{1H}$	Гц	50
Номинальный момент на валу $M_H$	Н·м	23,57
Номинальный ток статора $I_{1H}$	А	6,8

Таблица 4.2 – Расчетные параметры для работы тележки раскладывателя в заданных точках

Расчетные параметры		Скорость при движении			
		С грузом		Без груза	
		Рабочая	Пониженная	Рабочая	Пониженная
Заданные точки					
$\omega_{\text{ЗАД}}$	рад/с	78,125	15,63	-78,125	-15,63
	о.е.	0,75	0,15	-0,75	-0,15



Продолжение таблицы 4.2

Расчетные параметры		Скорость при движении			
		С грузом		Без груза	
		Рабочая	Пониженная	Рабочая	Пониженная
МЗАД на валу	Н·м	14,15	14,15	13,57	13,57
	о.е.	0,59	0,59	0,57	0,57
МС	Н·м	14,88	14,88	-14,76	-14,76
	о.е.	0,63	0,63	-0,626	-0,626
Расчетные данные					
$\omega_{0\text{зад}}$	о.е.	0,821	0,221	-0,784	-0,184
	рад/с	85,96	23,13	-82,06	-19,23
$f_1$	о.е.	0,821	0,221	-0,784	-0,184
	Гц	41,04	11,04	-39,18	-9,18
U1	о.е.	0,821	0,221	-0,784	-0,184
	В	311,92	83,92	-297,77	-69,77

Для предварительных расчетов частоты и напряжения на статоре выполняется параллельный перенос естественной механической характеристики в заданную точку:

Для обеспечения рабочей скорости при движении вперед:

Синхронная скорость:

$$S_H = \frac{\omega_{0H} - \omega_H}{\omega_{0H}} = \frac{104,72 - 92,15}{104,72} = 0,12; \quad (34)$$

$$\bar{\omega}_{0\text{зад}} = \bar{\omega}_{\text{зад}} + \Delta\bar{\omega}_{\text{ест}} = \bar{\omega}_{\text{зад}} + \overline{M_{\text{ЗАД}}} \cdot S_H = 0,75 + 0,59 \cdot 0,12 = 0,821; \quad (35)$$

$$\omega_{0\text{зад}} = \bar{\omega}_{0\text{зад}} \cdot \omega_{0H} = 0,821 \cdot 104,72 = 85,96 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (36)$$

Частота и напряжение на статоре при  $U_1/f_1 = \text{const}$ :

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1H}} = \bar{\omega}_{0\text{зад}} = 0,821; \quad (37)$$

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1H} = 0,821 \cdot 50 = 41,04 \text{ Гц}; \quad (38)$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1H} = 0,821 \cdot 380 = 311,92 \text{ В}. \quad (39)$$

Для обеспечения пониженной скорости с грузом:

Синхронная скорость:

$$\bar{\omega}_{0зад} = \bar{\omega}_{зад} + \Delta\bar{\omega}_{ест} = \bar{\omega}_{зад} + \overline{M_{3АД}} \cdot S_H = 0,15 + 0,59 \cdot 0,12 = 0,221;$$

$$\omega_{0зад} = \bar{\omega}_{0зад} \cdot \omega_{0Н} = 0,221 \cdot 104,72 = 23,13 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Частота и напряжение на статоре при  $U_1/f_1 = \text{const}$ :

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1Н}} = \bar{\omega}_{0зад} = 0,221;$$

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1Н} = 0,221 \cdot 50 = 11,042 \text{ Гц};$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1Н} = 0,221 \cdot 380 = 83,92 \text{ В}.$$

Для обеспечения рабочей скорости без груза:

Синхронная скорость:

$$\bar{\omega}_{0зад} = \bar{\omega}_{зад} + \Delta\bar{\omega}_{ест} = \bar{\omega}_{зад} + \overline{M_{3АД}} \cdot S_H = -0,75 + (-0,28 \cdot 0,12) = -0,784;$$

$$\omega_{0зад} = \bar{\omega}_{0зад} \cdot \omega_{0Н} = -0,784 \cdot 104,72 = -82,06 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Частота и напряжение на статоре при  $U_1/f_1 = \text{const}$ :

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1Н}} = \bar{\omega}_{0зад} = -0,784;$$

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1Н} = -0,784 \cdot 50 = -39,18 \text{ Гц};$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1Н} = -0,784 \cdot 380 = -297,77 \text{ В}.$$

Для обеспечения пониженной скорости без груза:

Синхронная скорость:

$$\bar{\omega}_{0зад} = \bar{\omega}_{зад} + \Delta\bar{\omega}_{ест} = \bar{\omega}_{зад} + \overline{M_{3АД}} \cdot S_H = -0,15 + (-0,28 \cdot 0,12) = -0,184;$$

$$\omega_{0зад} = \bar{\omega}_{0зад} \cdot \omega_{0Н} = -0,184 \cdot 104,72 = -19,23 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Частота и напряжение на статоре при  $U_1/f_1 = \text{const}$ :

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1H}} = \bar{\omega}_{\text{озад}} = -0,184;$$

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1H} = -0,184 \cdot 50 = -9,18 \text{ Гц};$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1H} = -0,184 \cdot 380 = -69,77 \text{ В}.$$

Механические характеристики, обеспечивающие работу привода в заданных точках изображены на рисунке 4.3. Точки на характеристике соответствуют номинальным скоростям движения тележки с грузом и без.

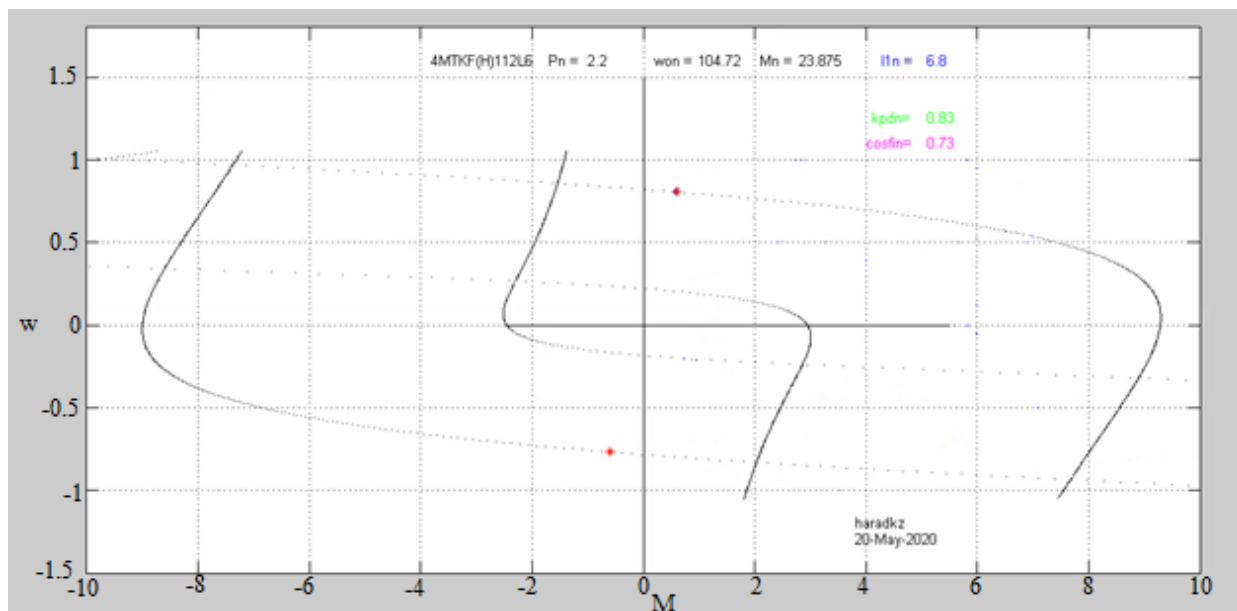


Рисунок 4.3 – Механические характеристики, обеспечивающие работу двигателя в заданных точках

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 5 РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПУСК И ТОРМОЖЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯ

При питании двигателя от индивидуального преобразователя появляется возможность плавного регулирования напряжения, поэтому переходные процессы пуска и торможения обеспечиваются формированием напряжения управления преобразователем. В разомкнутой системе преобразователь - двигатель чаще всего применяют линейное нарастание напряжения управления, что определяет линейное нарастание напряжения питания двигателя.

Для формирования линейного закона изменения напряжения управления на вход преобразователя подключают интегральный задатчик интенсивности ЗИ, выходное напряжение которого при подаче на его вход скачка задающего напряжения УЗАД изменяется по линейному закону. При достижении величины УЗАД нарастание напряжения на выходе ЗИ прекращается. Выходное напряжение ЗИ, таким образом, является управляющим напряжением преобразователя, а величина УЗАД определяется величиной базовой постоянной времени ЗИ  $T_{ЗИ}$  численно равной времени достижения выходного напряжения преобразователя от 0 до базового значения  $U_H$ .

Базовая постоянная задатчика интенсивности и механическая постоянная времени:

$$T_D = \frac{J \cdot \omega_{OH}}{M_H}; \quad (40)$$

$$T_{ЗИ} = \frac{T_D}{M_{дин} / M_H}. \quad (41)$$

Рассчитаем величину механической постоянной времени для участков, на которых происходит движение тележки в прямом и обратном направлениях: при движении вперёд:

$$T_{D1} = \frac{J_1 \cdot \omega_{OH}}{M_H} = \frac{0,201 \cdot 104,72}{23,87} = 0,88.$$

при движении назад:

$$T_{Д2} = \frac{J2 \cdot \omega_{ОН}}{M_H} = \frac{0,193 \cdot 104,72}{23,87} = 0,85.$$

Рассчитаем величину постоянной задатчика интенсивности для участков, на которых происходит движение тележки в прямом и обратном направлениях:

при движении вперёд:

$$T_{ЗИ1} = \frac{T_{Д1}}{M_{дин1}/M_H} = \frac{0,882}{14,15/23,87} = 1,49.$$

при движении назад:

$$T_{ЗИ2} = \frac{T_{Д2}}{M_{дин2}/M_H} = \frac{0,847}{13,57/23,87} = 1,49.$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40

## 6 РАСЧЁТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Расчет и построение характеристик переходных процессов двигателя производится с помощью программы zipchad.m в программе Matlab.

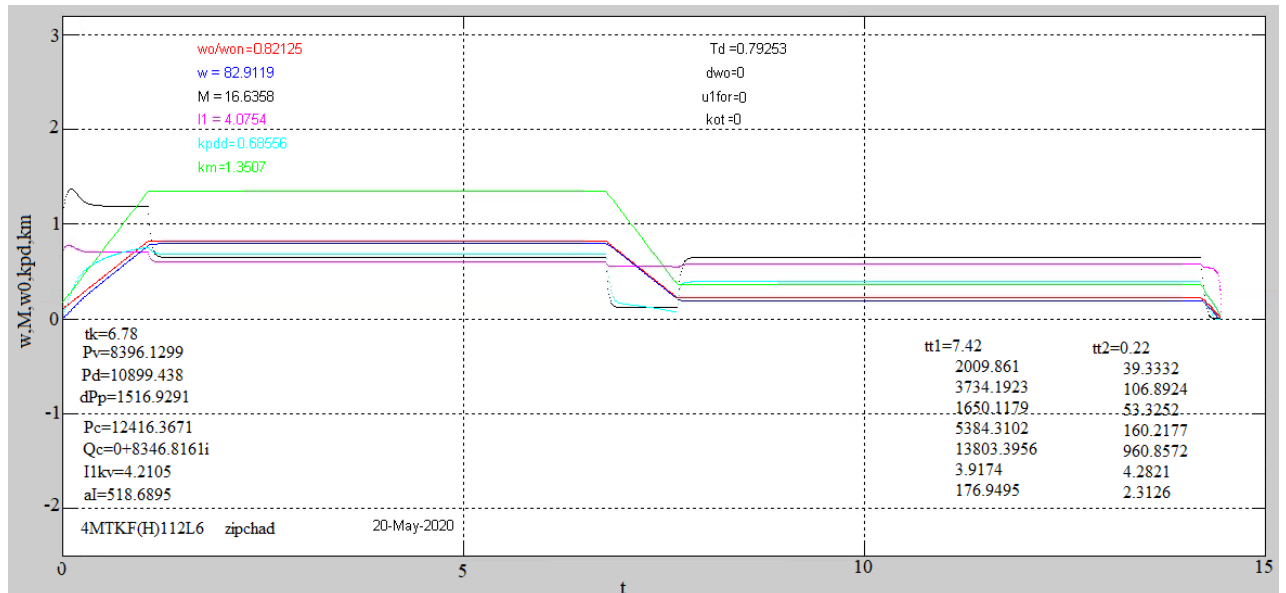


Рисунок 6.1 – Переходные процессы пуска и торможения при движении вперед

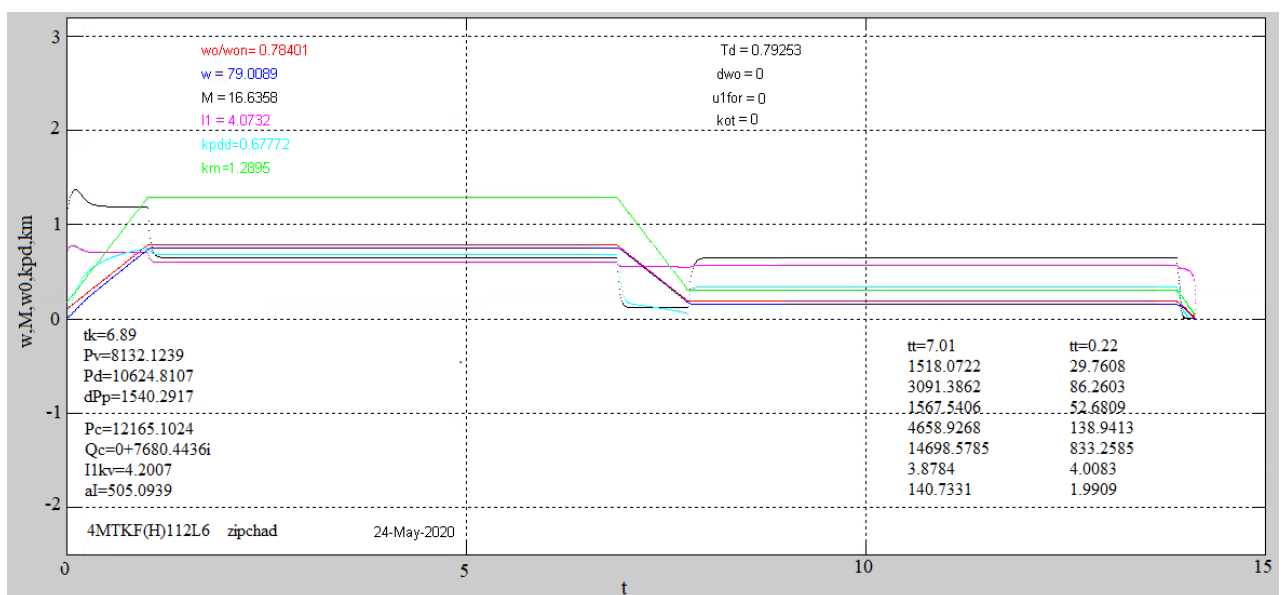


Рисунок 6.2 – Переходные процессы пуска и торможения при движении назад

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ

Лист

41

## 7 ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

### 7.1 Проверка на перегрузочную способность

Выбранный двигатель и преобразователь напряжения выполняют требования перегрузочной способности, т.к. нагрузочные диаграммы показывают, что максимальные значения тока и момента двигателя не превышают допустимые.

### 7.2 Проверка по нагреву двигателя и преобразователя

Эквивалентный ток:

$$I_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (42)$$

где  $I_i$  - среднеквадратичное значение тока на  $i$ -ом участке;  $\Delta t_i$  - длительность  $i$ -го участка работы;  $\beta_i$  - коэффициент ухудшения теплоотдачи двигателя;  $I_{\text{доп}}$  - допустимый по нагреву ток.

Выбранный двигатель имеет тип исполнения: закрытый с самовентиляцией. Следовательно, коэффициент ухудшения теплоотдачи остановленного двигателя  $\beta_0$  составляет 0,45...0,55.

Следовательно, эквивалентный ток будет равен:

$$I_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{4,5^2 \cdot 6,87 + 4,075^2 \cdot 7,41 + 3,8^2 \cdot 0,22 + \dots + 4,2^2 \cdot 7,01 + 4^2 \cdot 0,22}{0,5 \cdot 1,11 + 5,76 \cdot 1 + 1,3 \cdot 0,775 + 6,11 \cdot 0,55 \dots + 0,22 \cdot 0,55}} = 4,87 \text{ А.}$$

Допустимый ток рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{КАТ}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{КАТ}}}{\text{ПВ}_{\text{ФАКТ}}}} = 6,8 \cdot \sqrt{\frac{40}{46}} = 6,34 \text{ А}; \quad (43)$$

$$I_{\text{Э}} = 4,87 < I_{\text{доп}} = 6,34 \text{ А.}$$

Следовательно, выбранный двигатель проходит по условиям нагрева.

Недогрузка двигателя составляет:

$$\left( \frac{I_{\text{Э}}}{I_{\text{ДОП}}} \cdot 100\% \right) = \left( 1 - \frac{4,87}{6,34} \cdot 100\% \right) = 23,2\%,$$

что считается приемлемым показателем.

Проверка преобразователя частоты осуществляется сравнением среднеквадратичного тока за время работы с номинальным выходным током преобразователя частоты:

$$I_{\text{СРКВ}} = \sqrt{\frac{1}{t_{\text{P}}} \cdot \sum_i^n I_i^2 \cdot \Delta t_i} \leq I_{\text{Н.ПР}}; \quad (44)$$

$$I_{\text{СРКВ}} = \sqrt{\frac{1}{30} \cdot (4,5^2 \cdot 6,87 + 4,075^2 \cdot 7,41 + \dots + 4,2^2 \cdot 7,01 + 4^2 \cdot 0,22)} = 4,102 \text{ A.}$$

Номинальный выходной ток преобразователя составляет 7,7А.

$$I_{\text{СРКВ}} = 4,102 \text{ A} < I_{\text{Н.ПР}} = 7,7 \text{ A.}$$

Следовательно, преобразователь частоты проходит проверку по нагреву.



## 8 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УЧАСТКА АВТОМАТИЗАЦИИ

### 8.1 Описание технологического процесса

Обработанные и нарезанные на мерные длины стальные листы по транспортёру проходят через устройство контроля качества листа к столу с воздушной подушкой 2. В зависимости от качества листа раскладыватель осуществляет операцию снятия листов со стола транспортёра и пакетирования либо на левый 8 (брак), либо на правый 9 (годные листы) пакетирующие столы.

Захват и перенос листа 1 со стола 2 с воздушной подушкой осуществляется воздушными присосками 3 тележки раскладывателя 4. Если лист захвачен и поднят пневмоприводом 7 с присосками, то тележка разгоняется до определённой скорости с помощью электродвигателя 5. При приближении к месту остановки осуществляется переход на пониженную скорость. В строго определённом положении над пакетирующим столом отключается привод тележки и накладывается тормоз 6.

Пневмопривод 7 опускает присоски с листом на пакетирующий стол, освобождает лист и поднимает присоски в крайнее верхнее положение. Вновь включается привод тележки раскладывателя и тележка возвращается в исходное положение по центру агрегата также со снижением скорости при подходе к месту остановки.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44

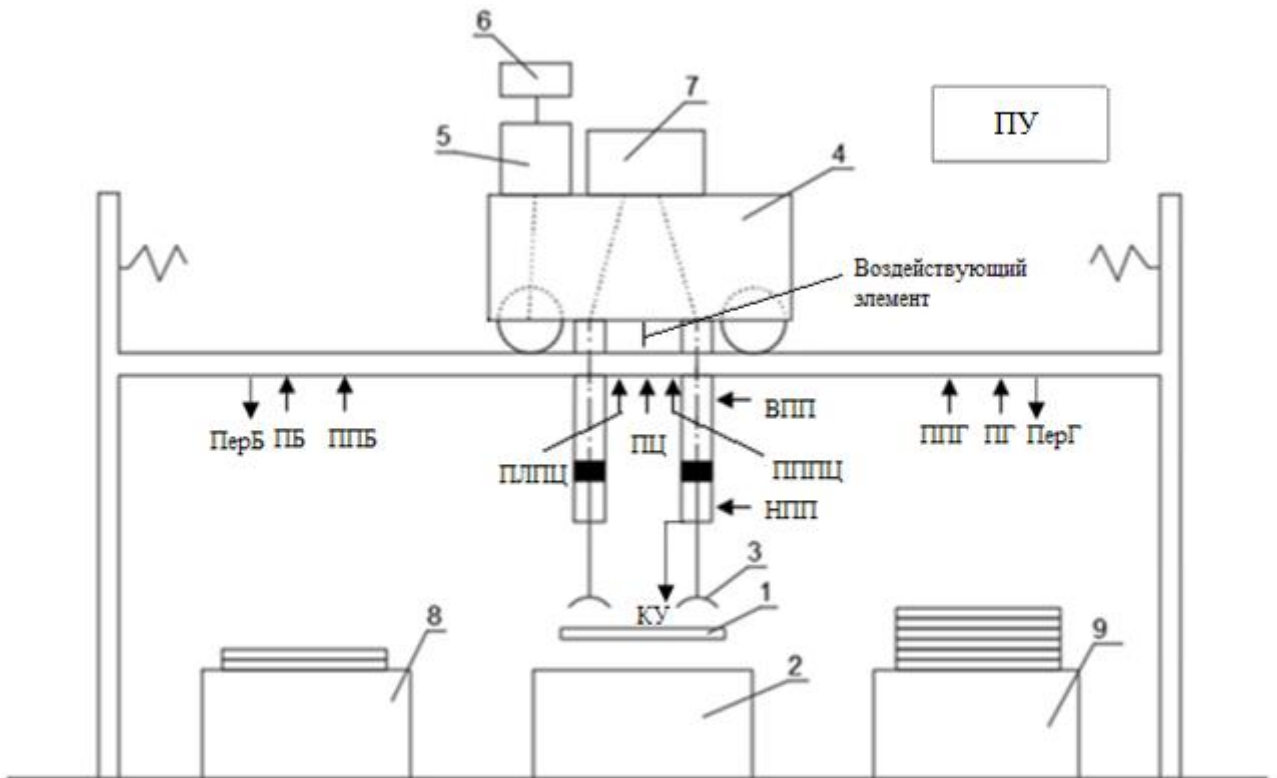


Рисунок 8.1 – Роботизированный комплекс транспортировки деталей

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ

Лист

45

## 8.2 Составление списка сигналов системы автоматизации

Из представленного описания технологического процесса и последовательности работы механизмом следует, что система автоматизации должна обеспечить работу в двух режимах: ручном и автоматическом.

Система автоматизации должна формировать следующие выходные команды:

- опускание пневмопривода (ОП);
- захват металла (Захват);
- подъём пневмопривода (ПП);
- движение в право к положению годных листов (ДВП);
- движение в лево к положению брака (ДВЛ);
- медленное движение в право (МДВП);
- медленное движение в лево (МДВЛ);
- движение в исходное положение центра (ДВИП);
- медленное движение в исходное положение (МДВИП);
- включение тормоза тележки (Тормоз).

Кроме команд на исполнительные механизмы, необходимо задействовать выходные сигналы на индикацию и сигнализацию состояния системы, для удобства эксплуатации и устранения неполадок в системе. На пульт оператора будут выводиться следующие сигналы:

- сигнал «Готовности системы» (Гот);
- сигнал «Переполнение стола» (Переп);
- сигнал «Неисправность привода тележки» (АврД);
- сигнал «Неисправность привода пневмопривода» (АврП);
- сигнал «Качественный лист» (Конт Кач).

Для управления системой автоматизации используется пульт оператора, (изображенный на рисунке 2), представляющий собой панель с блоками кнопок, формирующих следующие выходные сигналы:

- сигнал «Пуск» (кнПуск);

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46

- сигнал «Ручной режим» (Ручн);
- сигнал «Автоматический режим» (Авт);
- сигнал «Сброс Аварии» (СбросА);
- сигнал «Отпускания металла» (кнОтпуск);
- сигнал «Опускания пневмопривода» (кнОП);
- сигнал «Поднятия пневмопривода» (кнПП);
- сигнал «Движение в лево» (кнДвл);
- сигнал «Движение в право» (кнДвП);
- сигнал «Движение в исходное положение» (кнДвИП);
- сигнал «Захват металла» (кнЗахват).

Для автоматизации работы системы необходимо иметь информацию о состоянии системы, поэтому необходимо использовать следующие датчики технологической информации:

- датчик, сигнализирующий о положении бракованных листов (ПБ);
- датчик, сигнализирующий о промежуточном положении бракованных листов (ППБ);
- датчик, сигнализирующий о промежуточном левом положении центра (ПЛПЦ);
- датчик, сигнализирующий о положении центра (ПЦ);
- датчик, сигнализирующий о промежуточном правом положении центра (ПППЦ);
- датчик, сигнализирующий о промежуточном положении годных листов (ППГ);
- датчик, сигнализирующий о положении годных листов (ПГ);
- датчик, сигнализирующий о переполнении стола годных листов (ПерГ);
- датчик, сигнализирующий о переполнении стола брака (ПерБ);
- датчик, сигнализирующий о верхнем положении пневмопривода (ВПП);
- датчик, сигнализирующий о нижнем положении пневмопривода (НПП);
- датчик, сигнализирующий о контакте листа со столом (КУ).

В таблицу 8.1 сведены все сигналы и команды, используемые в системе. В этой же таблице выражено соответствие действий сигналов и команд дискретным значениям этих переменных.

Таблица 8.1 – Сигналы и команды, используемые в системе автоматизации

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Входные сигналы пульта управления и выходные контроллера	Гот	Лампа индикации «Готовности системы»	Есть
	АварП	Лампа индикации «Аварии пневмопривода»	Есть
	АврД	Лампа индикации «Аварии Двигателя тележки»	Есть
	Переп	Лампа индикации «Переполнения стола»	Есть
	Конт Кач	Лампа индикации «Годного листа»	Есть
Выходные сигналы пульта управления	кнПуск	Кнопка «Пуск»	Нажата один раз
	кнАвт	Кнопка «Автоматический режим»	Нажата один раз
	кнРучн	Кнопка «Ручной режим»	Нажата один раз
	кнОтпуск	Кнопка «Отпуск Металла»	Нажата один раз
	кнЗахват	Кнопка «Захват Металла»	Нажата один раз
	кнОП	Кнопка «Опускание пневмопривода»	Нажата
	кнПП	Кнопка «Поднятие пневмопривода»	Нажата
	кнДВП	Кнопка «Движение в право»	Нажата
	кнДВЛ	Кнопка «Движение в лево»	Нажата
	кнСтоп	Кнопка «Стоп»	Нажата один раз
кнДВИП	Кнопка «Движение в исходное положение»	Нажата	

Продолжение таблицы 8.1

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Выходные сигналы контроллера	ОП	включение пневмопривода для движения вниз	Есть
	ПП	включение пневмопривода для движения вверх	Есть
	ДвП	включение привода тележки для движения вправо	Есть
	ДвЛ	включение привода тележки для движения влево	Есть
	МДвП	включение пониженной скорости привода тележки для движения вправо	Есть
	МДвЛ	включение пониженной скорости привода тележки для движения влево	Есть
	ДвИП	включение привода тележки для движения в исходное положение центра	Есть
	МДвИП	включение пониженную скорости привода тележки для движения в исходное положение центра	Есть
	Тормоз	включение тормоза	Есть
	Захват	захват листа металла	Есть
	Отпуск	отпуск листа металла	Есть
Входные сигналы контроллера	ПБ	датчик, сигнализирующий о положении бракованных листов	Есть
	ППБ	датчик, сигнализирующий о промежуточном положении бракованных листов	Есть
	ПЛПЦ	датчик, сигнализирующий о промежуточном левом положении центра	Есть
	ПЦ	датчик, сигнализирующий о положении центра	Есть
	ПППЦ	датчик, сигнализирующий о промежуточном правом положении центра	Есть
	ППГ	датчик, сигнализирующий о промежуточном положении годных листов	Есть

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ

Лист

49

Продолжение таблицы 8.1

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Входные сигналы контроллера	ПГ	датчик, сигнализирующий о положении годных листов	Есть
	ВПП	датчик, сигнализирующий о верхнем положении пневмопривода	Есть
	НПП	датчик, сигнализирующий о нижнем положении пневмопривода	Есть
	КУ	датчик, сигнализирующий о контакте листа со столом	Есть
	ПерБ	датчик, сигнализирующий о переполнении стола брака	Есть
	ПерГ	датчик, сигнализирующий о переполнении стола годных листов	Есть

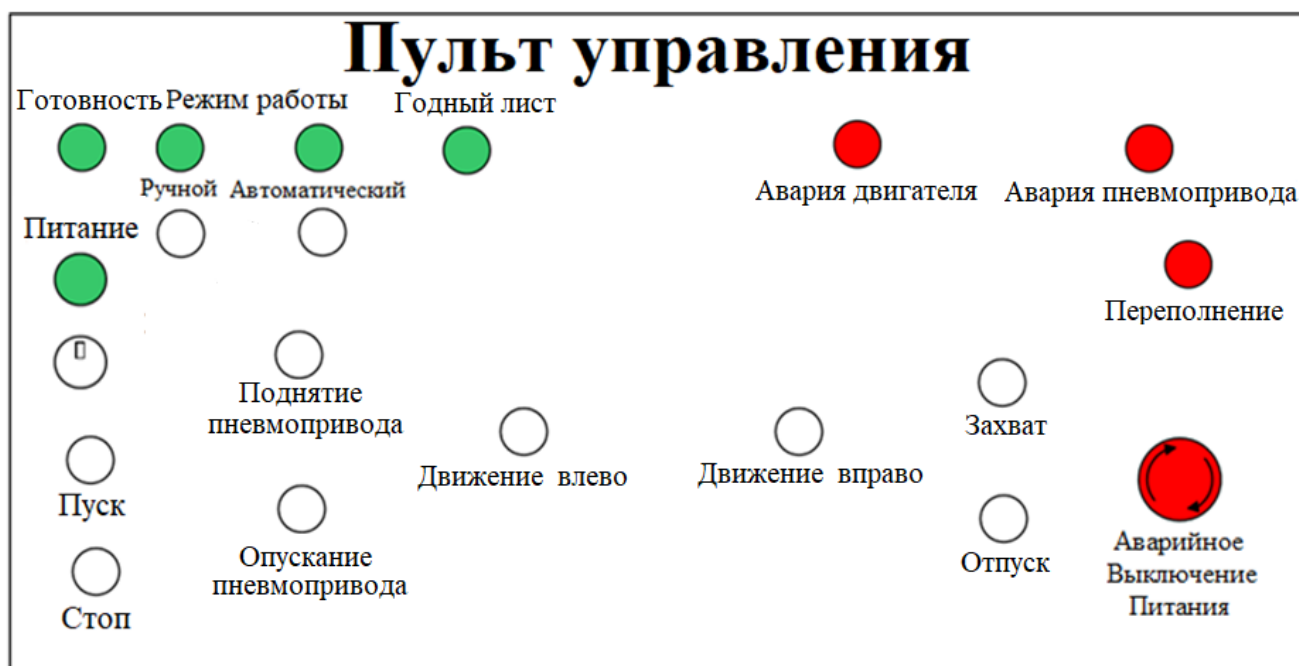


Рисунок 8.2 – Пульт управления

Выбор элементной базы пульта управления приведён в пункте 10.5.

### 8.3 Разработка алгоритма автоматизации управления механизмами объекта

Сигнал готовности системы (Гот) возникает в автоматическом режиме при нажатии на кнопку пуск и запоминается до нажатия кнопки стоп или возникновения переполнения:

$$\text{Гот} = (\text{Пуск} + \text{Гот}) \cdot \overline{\text{Стоп}} \cdot \overline{\text{Ручн}} \cdot \overline{\text{Переп}} \cdot \overline{\text{АварД}} \cdot \overline{\text{АварП}}.$$

Опускание пневмопривода возникает в центральном положении при наличии сигнала готовности системы либо в двух других положениях и запоминается до возникновения сигналов НПП, РЗахват и РОтпуск либо исчезновении сигнала готовности:

$$\text{ОП} = \text{Гот} \cdot (\text{ПЦ} + \text{ПБ} + \text{ПГ} + \text{ОП}) \cdot \overline{\text{РЗахват}} \cdot \overline{\text{РОтпуск}} \cdot \overline{\text{АварП}}.$$

Захват металла возникает в центральном положении при наличии сигнала с контакта упора пневмопривода:

$$\text{Захват} = \text{КУ} \cdot \text{ПЦ}.$$

Память захвата металла возникает в центральном положении при наличии сигнала захвата листа и запоминается до появления, либо сигнала с датчика брака, либо с датчика годных листов:

$$\text{РЗахват} = (\text{ПЦ} \cdot \text{Захват} + \text{РЗахват}) \cdot (\overline{\text{ПГ}} + \overline{\text{ПБ}}).$$

Подъём пневмопривода возникает в положение центра при наличии памяти захвата или в положение брака при наличии памяти отпуска, или в положении годных листов при наличии паями отпуска и запоминается до появления сигнала с датчика верхнего положения пневмопривода:

$$\text{ПП} = ((\text{РЗахват} \cdot \text{ПЦ} + \text{РОтпуска} \cdot \text{ПБ} + \text{РОтпуска} \cdot \text{ПБ}) + \text{ПП}) \cdot \overline{\text{ВПП}} \cdot \overline{\text{АварП}}.$$

Движение в право возникает при наличии сигнала с контроля качества, с датчика верхнего положения пневмопривода, с датчика положения центра и сигнала памяти захвата, движение запоминается до появления сигнала с датчика положения годных листов:

$$\text{ДВП} = (\text{Конт кач} \cdot \text{ВПП} \cdot \text{ПЦ} \cdot \text{РЗахват} + \text{ДВП}) \cdot \overline{\text{ПГ}} \cdot \overline{\text{АварД}}.$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		51



Движение в право возникает при отсутствии сигнала с контроля качества и при наличии сигнала, с датчика верхнего положения пневмопривода, с датчика положения центра и сигнала памяти захвата, движение запоминается до появления сигнала с датчика положения брака:

$$\text{Двл} = (\overline{\text{Конт кач}} \cdot \overline{\text{ВПП}} \cdot \overline{\text{ПЦ}} \cdot \overline{\text{РЗахват}} + \text{Двл}) \cdot \overline{\text{ПБ}} \cdot \overline{\text{АварД}}.$$

Медленное движение в право возникает при наличии движения в право и сигнала с датчика промежуточного положения годных листов и запоминается до появления сигнала с датчика положения годных листов:

$$\text{МДвлП} = (\text{ДвлП} \cdot \overline{\text{ППГ}} + \text{МДвлП}) \cdot \overline{\text{ПГ}}.$$

Медленное движение в лево возникает при наличии движения в лево и сигнала с датчика промежуточного положения брака и запоминается до появления сигнала с датчика положения брака:

$$\text{МДвлЛ} = (\text{ДвлЛ} \cdot \overline{\text{ППБ}} + \text{МДвлЛ}) \cdot \overline{\text{ПБ}}.$$

Тормоз появляется при наличии сигнала с датчика положения брака или с датчика положения центра, или с датчика положения годных листов и пропадает при появлении сигналов движения в право, движения в лево и движения в исходное положение:

$$\text{Тормоз} = (\overline{\text{ПБ}} + \overline{\text{ПЦ}} + \overline{\text{ПГ}}) \cdot \overline{\text{ДвлП}} \cdot \overline{\text{ДвлЛ}} \cdot \overline{\text{ДвлИП}}.$$

Отпуск листа металла возникает при наличии сигнала с датчика положения брака или с датчика нижнего положения годных листов:

$$\text{Отпуск} = (\overline{\text{ПБ}} + \overline{\text{ПГ}}) \cdot \overline{\text{НПП}}.$$

Память отпуска возникает при сигнале, либо с датчика положения годных листов, либо с датчика положения брака, при наличии сигнала отпуска и пропадает при появлении сигнала с датчика положения центра:

$$\text{РОтпуск} = ((\overline{\text{ПГ}} + \overline{\text{ПБ}}) \cdot \text{Отпуск} + \text{РОтпуск}) \cdot \overline{\text{ПЦ}}.$$

Движение в исходное положение возникает при сигнале, либо с датчика положения годных листов, либо с датчика положения брака, при наличии сигналов С датчика верхнего положения пневмопривода и памяти отпуска, пропадает при появлении сигнала с датчика положения центра:

$$\text{ДвиП} = ((\text{ПГ} + \text{ПБ}) \cdot \text{РОтпуск} + \text{ДвиП}) \cdot \overline{\text{ПЦ}} \cdot \overline{\text{АварД}}.$$

Медленное движение в исходное положение возникает при сигнале, либо с датчика промежуточного левого положения центра, либо с датчика промежуточного правого положения центра, при наличии сигнала движения в исходное положение, пропадает при появлении сигнала с датчика положения центра:

$$\text{МДвиП} = ((\text{ПЛПЦ} + \text{ПППЦ}) \cdot \text{ДвиП} + \text{МДвиП}) \cdot \overline{\text{ПЦ}}.$$

Переполнение возникает при сигнале с датчика переполнения брака или с датчика переполнения годных листов:

$$\text{Переп} = \text{ПерБ} + \text{ПерГ}.$$

## 9 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ

На основе описания технологического процесса, автоматизируемого объекта, определенных входных и выходных команд составлена схема электрическая функциональная, представленная на рисунке 9.1.

В рассматриваемой системе автоматизации можно выделить следующие функциональные элементы:

- пульт управления (ПУ);
- блок управления (БУ);
- системы управления двигателями (СУД);
- приводной двигатель (М1) механизма подъема;
- приводной двигатель (М2) пневмопривода;
- датчики технологической информации (ПБ, ППБ, ПЛПЦ и т.д.);
- устройство контроля качества;
- блок питания (БП).

На функциональной схеме показана взаимосвязь отдельных элементов системы автоматизации.

На пульте управления предусмотрены:

- индикационные светодиодные лампы с целью индикации состояния системы (режима работы): «Готовность», «Авария двигателя», «Авария пневмопривода», «Годный лист», «ручной режим», «Автоматический режим», «Переполнение;
- кнопки управления работой приводов «Поднятие пневмопривода», «Опускание пневмопривода», «Движение в исходное положение», «Движение в лево», «Движение в право», «Захват» «Отпуск», а также кнопки «Пуск» и «Стоп».

Питание контроллера, пульта управления и датчиков осуществляется от блока питания, преобразующего переменный трехфазный ток напряжением 380В в постоянный ток напряжением 24В.

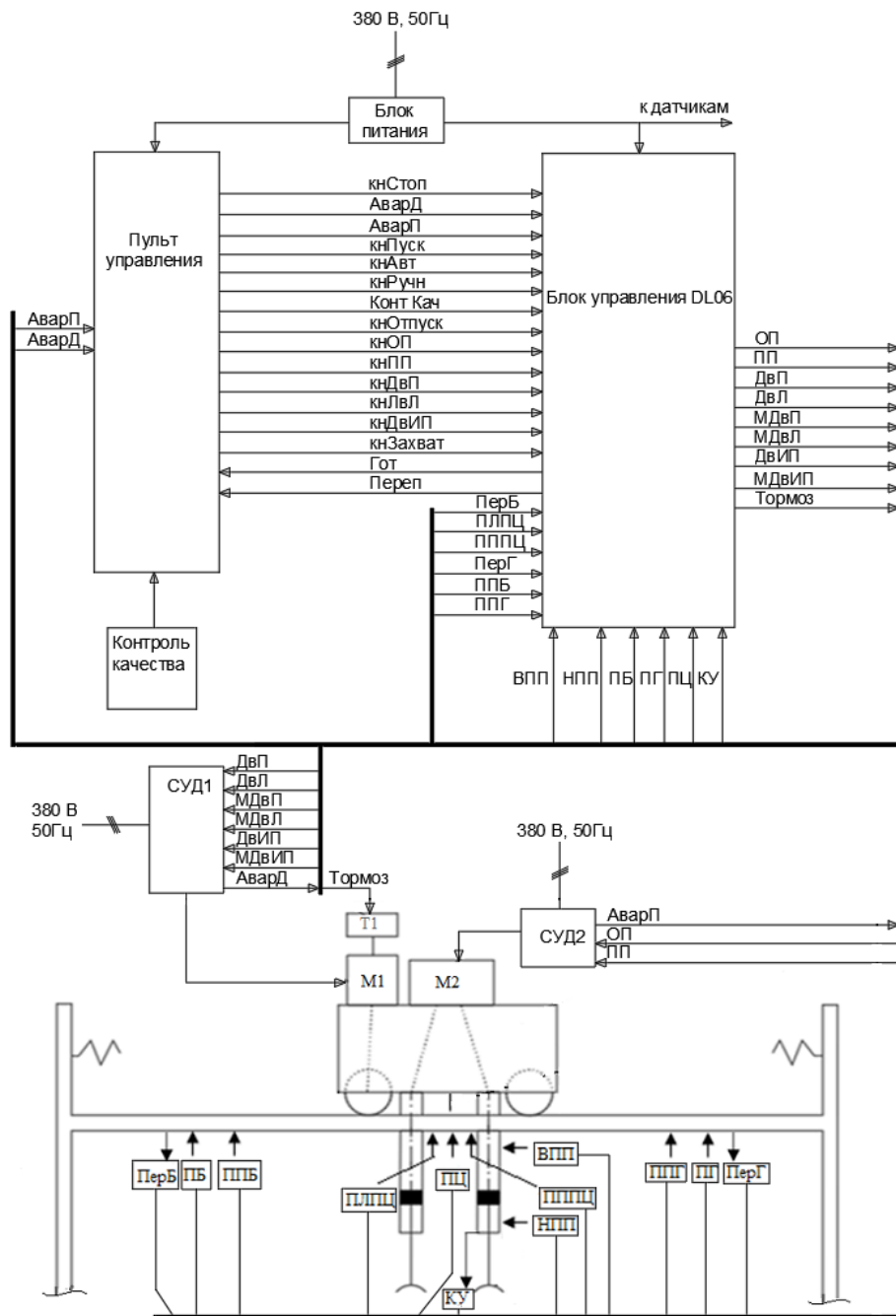


Рисунок 9.1 – Функциональная схема системы автоматизации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ

Лист

55

## 10 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

### 10.1 Выбор блока управления

В качестве блока управления выберем контроллер Direct LOGIC 06.

Контроллер включает в себя фиксированное количество точек ввода/вывода (20 входных и 16 выходных сигналов) с 4 дополнительными слотами расширения.



Рисунок 10.1 – Внешний вид контроллера DL06

### 10.2 Выбор дополнительного модуля входов

В ходе проектирования системы автоматизации, программируемому контроллеру необходимо иметь 26 входных и 15 выходных сигналов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ

Лист

56

Контроллер DL06 имеет всего 20 входных и 16 выходных сигналов, в связи с этим необходимо выбрать модуль дополнительных дискретных входов.

Выбираем модуль дискретных входов D0-16TD1, который содержит 16 входов.



Рисунок 10.2 – Внешний вид модуля дискретных входов D0-16TD1

### 10.3 Выбор датчиков технологической информации

В качестве датчиков положения тележки были выбраны индуктивные бесконтактные выключатели ISB AF8A-31P-10-Z-G производства фирмы «Теко». Датчик срабатывает при появлении объекта воздействия в чувствительной зоне. Для срабатывания индуктивного датчика непосредственного соприкосновения с контролируемым объектом не требуется. Основные технические характеристики представлены в таблице 5.3.

Таблица 10.1 – Характеристика индуктивного бесконтактного выключателя ISBAF8A-31P-10-Z-G

Наименование характеристики	Единицы измерения	Величина
Номинальное напряжениепитания	В	10-30
Расстояние срабатывания	мм	Не более 10
Максимальный ток нагрузки	мА	250



Рисунок 10.3 – Схема подключения датчика ISB AF8A

Для определения переполнения столов были выбраны оптические датчики расстояния DT2 фирмы «Sick». Данный датчик позволяет измерять расстояние с разрешением 1 мм на расстоянии от 50 до 300 мм.

Таблица 10.2 – Характеристика оптического датчика расстояния DT2

Наименование характеристики	Единицы измерения	Величина
Диапазон измерений	мм	50...300
Точность	%	±8
Повторяемость	%	3-5
Источник излучения	нм	ИК светодиод, 800
Напряжение питания	В	18...30
Потребляемый ток	мА	менее 100
Время отклика	мс	200
Разрешение	мм	1
Класс защиты		IP67
Диапазон рабочих температур	°С	-10...45
Габаритные размеры	мм	15×49×41,5

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ

Лист

58



Рисунок 10.4 – оптический датчик расстояния DT2

Так же для реализации контакта упора используется разомкнутая цепь, которая замыкается при касании листом металла одного из столов. Напряжение в цепи 24 В.

#### 10.4 Выбор блока питания

Выбор блока питания необходимо производить с учетом мощности всех потребителей, питающихся от него (контроллер, датчики и пульт управления). Рассчитаем эту мощность:

$$P_{\text{Потр}} = U_{\text{контр.}} \cdot I_{\text{контр}} + 9 \cdot U_{\text{Датч}} \cdot I_{\text{Датч}} + 2 \cdot U_{\text{Датч}} \cdot I_{\text{Датч}};$$

$$P_{\text{Потр}} = 24 \cdot 1 + 9 \cdot 24 \cdot 0,25 + 2 \cdot 2,4 = 83 \text{ Вт.}$$

По полученной мощности выберем блок питания LPP-100-24 мощностью 100 Вт, производства компании «Mean Well» серии LPP. Его технические характеристики представлены в таблице 3.



Таблица 10.3 – Технические характеристики источника питания LPP-100-24

Наименование параметра	Размерность	Значение
Входное напряжение	В	88...264
Выходное напряжение		24
Выходная мощность	Вт	100
Выходной ток, до	А	4,2
КПД	%	83



Рисунок 10.5 – Внешний вид блока питания LPP-100-24

### 10.5 Выбор элементов для пульта управления

Для индикации сигналов на пульте управления нужно выбрать светодиоды. Для этого выбираем 5 светодиодов зелёного свечения XD12-2-G-24VD фирмы «Diler» и 3 светодиода красного свечения XD12-2-R-24VDC так же фирмы «Diler».



Рисунок 10.6 – Внешний вид выбранных светодиодов

Для подачи сигналов управления необходимо выбрать 10 кнопок без фиксации. Были выбраны кнопки CX-R13-507 off-(on) 3A 250VAC.



Рисунок 10.7 – Внешний вид выбранных кнопок CX-R13-507

Для подачи питания в систему был выбран ключ-выключатель NS102-2 фирмы «Jin Tay Industries», который имеет два положения, поворот ключа на 90° и работает в режиме off-on.



Рисунок 10.8 – Внешний вид ключ-выключателя NS102-2

Для аварийного отключения питания была выбрана кнопка КЕ-011.2.К от фирмы «Электродеталь».



Рисунок 10.9 – Внешний вид кнопки аварийного отключения КЕ-011.2.К

## 11 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ

В соответствии с выбранной элементной базой и разработанной функциональной схемой системы автоматизации (рисунок 3) была составлена принципиальная схема (чертеж П-477.2020.104.11 ЭЗ).

Автоматический выключатель QF1 обеспечивает питание всей системы, а также осуществляет защиту от токов короткого замыкания.

С помощью контактора KM1 реализована нулевая защита двигателей, которая исключает самозапуск электродвигателей при исчезновении или резком снижении напряжения питающей сети. При повороте ключ-бирки SA1 подается питание на силовые цепи и на пульт управления, после ее отпускания происходит самоподхват. В случае нажатия кнопки SB1 силовые цепи разрываются.

Автоматические выключатели QF2, QF3 обеспечивают питание систем управления двигателями и защищают их от токов короткого замыкания.

Блок питания G1 с выходным напряжением 24 В подает питание на основные низковольтные элементы пульта управления A1, контроллер A2 и датчики SQ1-SQ12.

Пульт A1 обеспечивает управление всем технологическим процессом в ручном и автоматическом режиме, а также индикацию аварийных режимов.

Автоматизация технологического процесса реализуется программируемым контроллером A2. Входные сигналы поступают с пульта управления A1, датчиков технологической информации SQ1-SQ12, а выходные сигналы подаются на преобразователи частоты двигателей UZ1, UZ2 и индикацию пульта управления HL1-HL6.

В данной системе автоматизации для фиксации положений механизмов используются датчики SQ1-SQ9. Выходы датчиков подключены к контроллеру A2.

						Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ	

## 12 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

12.1 На основе приведенных в п. 3 логических уравнений, а также с учетом подключения входных и выходных цепей к программируемому контроллеру, представленному на электрической принципиальной схеме П–477.2020.104.11 ЭЗ, создадим программу. Программа в дальнейшем предназначена для записи в ПЛК DL06, но в процессе курсового проектирования отладка программы на контроллере производиться не будет.

12.2 Прежде, чем записывать программу, присвоим переменным логических уравнений адреса ПЛК. Результаты представления переменных в адресах ПЛК для входных, выходных и промежуточных сигналов представлены в таблице 12.1.

Таблица 12.1 – Адреса переменных контроллера

№ п/п	Наименование сигнала, таймера, счетчиков или переменной	Обозначение переменной	Адрес	Связывающий элемент
	Входные сигналы			
1	Кнопка «Автоматический режим»	кнАвт	X0	SB2
2	Кнопка «Ручной режим»	кнРуч	X1	SB3
3	Кнопка «Пуск»	кнПуск	X2	SB4
4	Кнопка «Стоп»	кнСтоп	X3	SB5
5	Кнопка «Отпуск»	кнОтпуск	X4	SB6
6	Кнопка «Захват»	кнЗахват	X5	SB7
7	Кнопка «Поднятие пневмопривода»	кнПП	X6	SB8
8	Кнопка «Опускание пневмопривода»	кнОП	X7	SB9
9	Кнопка «Движение в исходное положение»	кнДвИП	X10	SB10
10	Кнопка «Движение в лево»	кнДвЛ	X11	SB11
11	Кнопка «Движение в право»	кнДвП	X12	SB12
12	Сигнал «Авария двигателя»	АварД	X13	UZ1
13	Сигнал «Авария пневмопривода»	АварП	X14	SQ13

Продолжение таблицы 12.1

№ п/п	Наименование сигнала, таймера, счетчиков или переменной	Обозначение переменной	Адрес	Связывающий элемент
14	Сигнал «Годный лист»	Конт Кач	X15	A3
15	датчик, сигнализирующий о положении брака	ПБ	X16	SQ1
16	датчик, сигнализирующий о промежуточном положении бракованных листов	ППБ	X17	SQ2
17	датчик, сигнализирующий о промежуточном левом положении центра	ПЛПЦ	X20	SQ3
18	датчик, сигнализирующий о положении центра	ПЦ	X21	SQ4
19	датчик, сигнализирующий о промежуточном правом положении центра	ПППЦ	X22	SQ5
20	датчик, сигнализирующий о промежуточном положении годных листов	ППГ	X23	SQ6
21	датчик, сигнализирующий о положении годных листов	ПГ	X24	SQ7
22	датчик, сигнализирующий о переполнении стола годных листов	ПерГ	X25	SQ11
23	датчик, сигнализирующий о переполнении стола брака	ПерБ	X26	SQ12
24	датчик, сигнализирующий о верхнем положении пневмопривода	ВПП	X27	SQ8
25	датчик, сигнализирующий о нижнем положении пневмопривода	НПП	X30	SQ9
26	датчик, сигнализирующий о контакте листа со столом	КУ	X31	SQ10
	Выходные сигналы			
27	Лампа индикации «Готовность к работе»	Гот	Y0	HL6
28	Лампа индикации «Переполнение стола»	Переп	Y1	HL5
29	опускание пневмопривода	ОП	Y2	SQ14

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ

Лист

65

Продолжение таблицы 12.1

№ п/п	Наименование сигнала, таймера, счетчиков или переменной	Обозначение переменной	Адрес	Связывающий элемент
30	поднятие пневмопривода	ПП	Y3	SQ13
31	движение в право	ДВП	Y4	UZ1
32	движение в лево	ДВЛ	Y5	UZ1
33	медленное движение в право	МДВП	Y6	UZ1
34	медленное движение в лево	МДВЛ	Y7	UZ1
35	движение в исходное положение центра	ДВИП	Y10	UZ1
36	медленное движение в исходное положение центра	МДВИП	Y11	UZ1
37	включение тормоза	Тормоз	Y12	UZ1
38	захват металла	Захват	Y13	UZ1
39	отпуск металла	Отпуск	Y14	UZ1
40	память захвата металла	РЗахват	Y15	UZ1
41	память отпускания металла	РОтпуск	Y16	UZ1

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ

Лист

66

Уравнения с учетом адресации контроллера представлены в таблице 12.2

Таблица 12.2 – Уравнения в адресации контроллера DL06

Команда	Уравнения в адресах ПЛК
Y0	$Y0 = (Y1 + Y2) \cdot \overline{X3} \cdot \overline{X1} \cdot \overline{Y1} \cdot \overline{X13} \cdot \overline{X14}$
Y2	$Y2 = Y0 \cdot (X21 + X16 + X24 + Y2) \cdot \overline{Y15} \cdot \overline{Y16} \cdot \overline{X14}$
Y13	$Y13 = X31 \cdot X21$
Y15	$Y15 = (X21 \cdot Y13 + Y15) \cdot (\overline{X24} \cdot \overline{X16})$
Y3	$Y13 = ((Y15 \cdot X21 + Y14 \cdot X16 + X14 \cdot X16) + Y3) \cdot \overline{X27} \cdot \overline{X14}$
Y4	$Y4 = (X15 \cdot X27 \cdot X21 \cdot Y15 + Y4) \cdot \overline{X24} \cdot \overline{X13}$
Y5	$Y5 = (\overline{X15} \cdot X27 \cdot X21 \cdot Y15 + Y5) \cdot \overline{X16} \cdot \overline{X13}$
Y6	$Y6 = (Y4 \cdot X23 + Y6) \cdot \overline{X24}$
Y7	$Y7 = (Y5 \cdot X17 + Y7) \cdot \overline{X16}$
Y12	$Y12 = (X16 + X21 + X24) \cdot \overline{Y4} \cdot \overline{Y5} \cdot \overline{Y10}$
Y14	$Y14 = (X16 + X24) \cdot X30$
Y16	$Y16 = ((X24 + X16) \cdot Y14 + Y16) \cdot \overline{X21}$
Y10	$Y10 = ((X24 + X16) \cdot Y16 + Y10) \cdot \overline{X21} \cdot \overline{X13}$
Y11	$Y101((X20 + X22) \cdot Y10 + Y11) \cdot \overline{X21}$
Y1	$Y1 = X26 + X25$



## Лестничные диаграммы

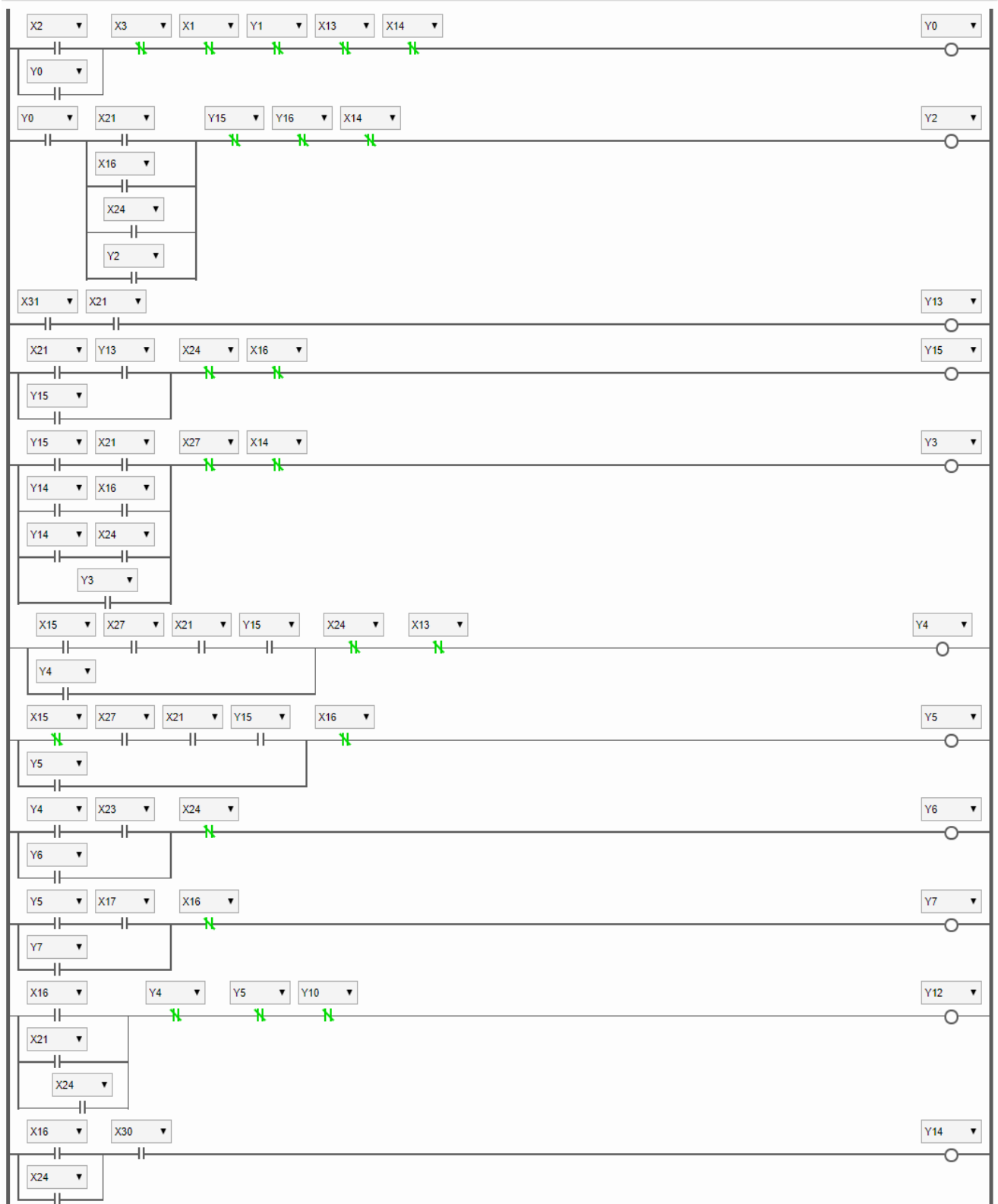


Рисунок 12.1 – Лестничная диаграмма системы автоматизации

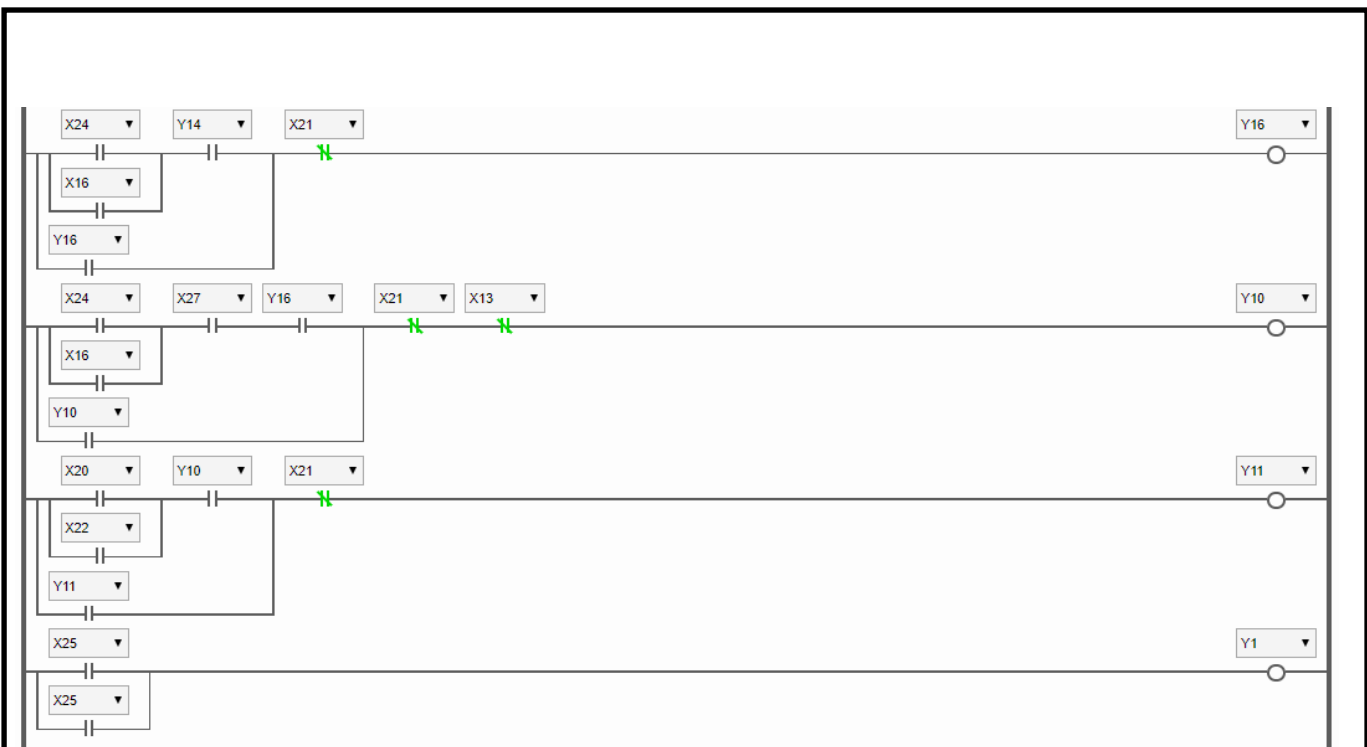


Рисунок 12.2 – Лестничная диаграмма системы автоматизации

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе была спроектирована система электропривода тележки и разработана система автоматизации раскладывателя листов металла.

Первым этапом работы стал расчёт мощности электропривода и построение нагрузочных диаграмм скоростей и момента, на основании которых был выбран асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа 4МТКФ(Н)112L6 мощностью 2,2 кВт и редуктор типа Ц2-250 с передаточным числом 25. Далее было сделано приведение статических моментов и моментов инерции к валу двигателя с последующей проверкой по нагреву и производительности. На основании выбранного двигателя был выбран преобразователь частоты 6SE6420-2AD23-0BA1 фирмы «Siemens», а также автоматический выключатель фирмы «Schneider Electric» типа EZ9F34310. Были построены статические характеристики и переходные процессы, и рассчитаны интегральные показатели.

Вторым этапом работы была разработка алгоритма автоматизации управления механизма и пульта управления автоматизацией. С последующим составлением функциональной схемы и выбором элементной базы автоматизации. После чего были разработаны принципиальная электрическая схема и программное обеспечение для управления механизмом.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		70

## 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. Борисов, А.М. Программируемые устройства автоматизации: учебное пособие / А.М. Борисов, А.С. Нестеров, Н.А. Логинова. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2010. – 186 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 к дипломному и курсовому проектированию / Г.И. Драчев. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2012. – 204 с.
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. Двигатели асинхронные крановые МТ и 4МТ [Электронный ресурс]: Руководство по эксплуатации URL: [https://www.td-electroprivod.ru/files/330/mt-4mt\\_re.pdf](https://www.td-electroprivod.ru/files/330/mt-4mt_re.pdf) (дата обращения 15.05.2020).
7. УРАЛРЕДУКТОР [Электронный ресурс]: Редукторы цилиндрические двухступенчатые специальные кранового типа Ц2-250 URL: <http://www.uralreduktor.ru/katalog/standart/23?26=28> (дата обращения 17.05.2020).
8. Промэнерго Автоматика [Электронный ресурс]: Частотный преобразователь Micromaster 420 URL: <https://www.siemens-pro.ru/mm420/6SE6420-2AD23-0BA1.html> (дата обращения 18.05.2020).
9. Schneider Electric [Электронный ресурс]: Автоматические выключатели URL: <https://rushop.se.com/avtomaty-i-shchitki/avtomaticheskie-vyklyuchateli/avtomaticheskiy-vyklyuchatel-3p-10a-s-4-5ka-400v-s-easy9-schneider-electric-ez9f34310.html> (дата обращения 18.05.2020).

										Лист
										71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2020.104.11ПЗ					

10. PLC systems [Электронный ресурс]: DirectLOGIC 06 URL: [https://www.plcsystems.ru/catalog/DirectLOGIC\\_2/section.php?SECTION\\_ID=166](https://www.plcsystems.ru/catalog/DirectLOGIC_2/section.php?SECTION_ID=166) (дата обращения 24.05.2020).

11. ПЛАТАН [Электронный ресурс]: Оптические датчики расстояния URL: <https://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=313852351> (дата обращения 24.05.2020).

12. ТЕКО [Электронный ресурс]: Индуктивные бесконтактные выключатели URL: <https://teko-com.ru/katalog/induktivnye-datchiki/podbor-induktivnih-datchikov-po-parametram/isb-af8a-31p-10-z-g.html> (дата обращения 24.05.2020).

14. Источники питания Mean Well [Электронный ресурс]: Технические характеристики URL: <http://www.mean-well.ru/store/LPP-100-24/> (дата обращения 24.05.2020).

15. ЧИП и ДИП [Электронный ресурс]: Светодиоды видимого спектра URL: <https://www.chipdip.ru/product/xd12-1-r-24vdc> (дата обращения 26.05.2020).

16. ЧИП и ДИП [Электронный ресурс]: Светодиоды видимого спектра URL: <https://www.chipdip.ru/product/xd12-1-g-24vdc> (дата обращения 26.05.2020).

17. ЧИП и ДИП [Электронный ресурс]: Кнопки аварийного отключения в сборе URL: <https://www.chipdip.ru/product0/8000855733> (дата обращения 26.05.2020).

18. ЧИП и ДИП [Электронный ресурс]: Ключ-выключатели URL: <https://www.chipdip.ru/product/ns102-2> (дата обращения 26.05.2020).

19. ЧИП и ДИП [Электронный ресурс]: Прочие кнопки URL: <https://www.chipdip.ru/product/cx-r13-507> (дата обращения 26.05.2020).