

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.

Автоматизация процесса подачи печных заготовок

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ПО ПРОГРАММЕ БАКАЛАВРИАТА
«ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»
ЮУрГУ–13.03.02.2020.183 ВКР

Руководитель, д.т.н. профессор
_____ / В.Л. Кодкин /
« ____ » _____ 2020 г.

Автор работы,
бакалавр группы П–476
_____ / А.М. Угрюмов /
« ____ » _____ 2020 г.

Нормоконтролер, к.т.н., доцент
_____ / Т.А. Функ /
« ____ » _____ 2020 г.

Челябинск 2020

АННОТАЦИЯ

Угрюмов А.М. Автоматизация процесса подачи печных заготовок. – Челябинск: ЮУрГУ, Э; 2020, 67 с., 19 ил., 19 табл., библиографический список – 8 наим., 1 лист чертежей ф. А3.

В данной выпускной квалификационной работе произведена разработка автоматизации процесса подачи печных заготовок, которая содержит в себе электропривод толкателя, программируемый контроллер, датчики технологической информации и другое необходимое для системы оборудование.

Графическая часть работы представляет собой статические и динамические характеристики, построенные с помощью специализированного программного обеспечения, а также функциональную и принципиальную схемы, которые демонстрируют работу системы и выбранное в ходе работы силовое и слаботочное оборудование.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	<i>Угрюмов А.М.</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Кодкин В.Л.</i>					4	67
<i>Реценз</i>					<i>ЮУрГУ</i>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Функ Т.А.</i>				<i>Кафедра «АЭП»</i>		
<i>Утверд.</i>	<i>Григорьев М.А.</i>						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОПИСАНИЕ РАБОЧЕЙ МАШИНЫ	7
2 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ.....	9
3 ВЫБОР ТИПА ДВИГАТЕЛЯ.....	16
4 ВЫБОР РЕДУКТОРА	17
5 ПРИВЕДЕНИЕ МОМЕНТОВ К ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ	18
6 ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЯ ПО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И НАГРЕВУ	23
7 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ	27
8 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА	28
9 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПУСК И ТОРМОЖЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯ.....	32
10 РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	34
11 ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	36
12 ОПИСАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА .	39
13 СОСТАВЛЕНИЕ СПИСКА СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ	41
14 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМАМИ ОБЪЕКТА.....	47
15 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ	50
16 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗАЦИИ	53
17 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ.....	59
18 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	67

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

ВВЕДЕНИЕ

Методическая печь – проходная печь для нагрева металлических заготовок перед их дальнейшей обработкой. В свою очередь проходной печью называют печь непрерывного действия, в которой нагреваемые заготовки движутся вдоль печи, перемещаемые толкателем, рольгангом или другими механизмами. Загрузка и выгрузка проходной печи производятся через окна, расположенные в торцовых стенах печи или в боковых стенках вблизи торцов.

Методические нагревательные печи широко применяются в прокатных и кузнечных цехах для нагрева квадратных, прямоугольных, а иногда и круглых заготовок.

По методу транспортировки металла методические печи относятся к так называемым проходным печам. Ряд соприкасающихся друг с другом заготовок заполняет весь под печи и продвигается через печь при помощи толкателя. При загрузке в печь новой заготовки одна нагретая заготовка выдается из печи.

Наиболее важными классификационными признаками методических печей являются:

- 1) температурный режим печи (по длине);
- 2) двусторонний или односторонний характер нагрева металла;
- 3) способ выдачи металла из печи (боковая или торцовая выдача).

Кроме того, классификация выполняется по виду нагреваемых заготовок, методу утилизации тепла отходящих дымовых газов, виду топлива, числу рядов заготовок в печи.

1 ОПИСАНИЕ РАБОЧЕЙ МАШИНЫ

Толкатель служит для подачи очередной заготовки с рольганга в печь и для продвижения по поду печи всех лежащих в ней заготовок. С нижней стороны штанги толкателя укреплена зубчатая рейка, при помощи которой на штангу передается толкающее усилие от привода через приводную реечную шестерню 6.

После подачи рольгангом заготовки толкатель находится на расстоянии b от заготовки. Включается двигатель, толкатель подходит к заготовке и под нагрузкой на рабочей скорости V_p перемещает заготовку на расстояние L до соприкосновения её с заготовками, лежащими в печи, а затем перемещает все заготовки вместе на ширину b одной заготовки. Последняя заготовка выталкивается из печи. После этого толкатель реверсируется и на скорости $V_B > V_p$ возвращается в исходное положение.

На рисунке 1.1 показана кинематическая схема толкателя. Технологические параметры механизма приведены в таблице 1.1.

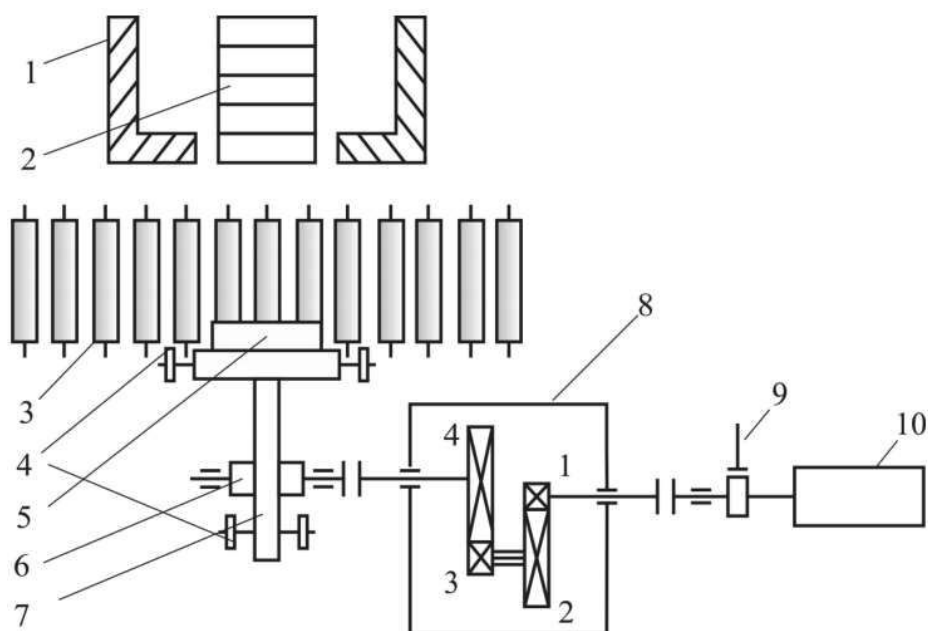


Рисунок 1.1 – Кинематическая схема толкателя

1 – печь; 2 – заготовки в печи; 3 – подающий рольганг; 4 – опорный ролик; 5 – заготовка; 6 – реечная шестерня; 7 – толкатель; 8 – редуктор; 9 – тормозной шкив; 10 – электродвигатель.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ

Лист

7

Таблица 1.1 – Технические данные механизма толкателя

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
$m_{ш}$	Масса штанги с рейкой	т	2,5
D	Диаметр реечной шестерни	м	0,6
J_p	Момент инерции вала со звездочками	кгм ²	100
$m_з$	Масса одной заготовки	т	0,3
b	Ширина одной заготовки	м	0,25
L	Длина перемещения заготовки	м	6
v_p	Скорость рабочего хода	м/с	0,4
t_p	Время работы	с	20
z	Число циклов	1/ч	45
$a_{доп}$	Допустимое ускорение	м/с ²	1
$d_{ст}$	Диаметр шейки ролика	м	0,15
$\mu_{п}$	Коэффициент трения подшипников	—	0,03
f	Коэффициент трения качения штанги о ролики	м	0,002
$\mu_с$	Коэффициент трения скольжения заготовок по поду печи	—	0,2
$J_{ш}$	Момент инерции тормозного шкива	кгм ²	0,4
$v_в$	Скорость возвратного движения	м/с	0,6
C_K	Крутильная жесткость	МН·м/рад	50
N	Количество заготовок в печи	—	5

2 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

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

Время пуска $t_{\text{п}}$ до установившейся скорости с допустимым ускорением, торможения $t_{\text{т}}$ от установившейся скорости до остановки:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{т}} = \frac{v_y}{a_{\text{доп}}}. \quad (1)$$

Путь, проходимый за время пуска (торможения) рабочей машиной

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

Время установившегося режима движения со скоростью v_y

$$t_y = \frac{L - (L_{\text{п}} + L_{\text{т}})}{v_y}. \quad (3)$$

При движении вперед (с заготовкой):

$$t_{\text{п}}^{\text{п}} = t_{\text{т}}^{\text{п}} = \frac{0,4}{1} = 0,4 \text{ с.}$$

$$L_{\text{п}}^{\text{п}} = L_{\text{т}}^{\text{п}} = \frac{0,4^2}{2 \cdot 1} = 0,08 \text{ м.}$$

При движении назад (без заготовки):

$$t_{\text{п}}^{\text{б}} = t_{\text{т}}^{\text{б}} = \frac{0,6}{1} = 0,6 \text{ с.}$$

$$L_{\text{п}}^{\text{б}} = L_{\text{т}}^{\text{б}} = \frac{0,6^2}{2 \cdot 1} = 0,18 \text{ м.}$$

$$t_y^{\text{б}} = \frac{6 - (0,18 + 0,18)}{0,6} = 9,4 \text{ с.}$$

Время движения для участков моментов с заготовками:

Участок 1 – движение до 1ой заготовки:

$$T_1 = \frac{b}{v_y} = \frac{0,25}{0,4} = 0,625 \text{ с.}$$

Участок 2 – движение с 1ой заготовкой до 5 других:

$$T_2 = \frac{L}{v_y} = \frac{5}{0,4} = 12,5 \text{ с.}$$

Участок 3 – движение с бю заготовками:

$$T_3 = \frac{b}{v_y} = \frac{0,25}{0,4} = 0,625 \text{ с.}$$

Статические моменты сопротивления движению в рабочих машинах создаются силами трения скольжения в подшипниках, трения скольжения тела по горизонтальной плоскости, силами трения качения.

Момент сил трения в подшипниках:

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

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

В соответствии с формулой (4):

$$M_{\text{тп}}^{\text{р}} = \frac{m_{\text{ш}} \cdot d_{\text{ст}} \cdot \mu_{\text{п}} \cdot g}{2};$$
$$M_{\text{тп}}^{\text{р}} = \frac{2500 \cdot 0,15 \cdot 0,03 \cdot 9,81}{2} = 55,2 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Момент трения скольжения тела по горизонтальной плоскости:

$$M_{\text{тс}} = \frac{m \cdot \mu_c \cdot g \cdot D}{2}, \quad (5)$$

где μ_c – коэффициент трения скольжения тела по плоскости; D – диаметр барабана (звёздочки), находящегося на выходном валу редуктора и преобразующего вращение в поступательное движение тела, м.

В соответствии с формулой (5):

Рабочий ход:

Участок 2:

$$M_{\text{тс2}}^{\text{р}} = \frac{m_3 \cdot \mu_c \cdot g \cdot D}{2} = \frac{300 \cdot 0,2 \cdot 9,81 \cdot 0,6}{2} = 176,6 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Участок 3:

$$M_{тсз}^p = \frac{6 \cdot m_3 \cdot \mu_c \cdot g \cdot D}{2} = \frac{6 \cdot 300 \cdot 0,2 \cdot 9,81 \cdot 0,6}{2} = 1059,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$J_{po} = m \cdot \frac{D_K^2}{4}, \quad (6)$$

где m – масса поступательно движущихся частей; D_K – диаметр колеса.

В соответствии с формулой (6):

Рабочий ход (без заготовок):

$$J_{po1}^p = J_p + J_{ш} = 100 + 0,4 = 100,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Рабочий ход (с заготовками):

$$J_{po2}^p = J_p + J_{ш} + 6 \cdot m_3 \cdot \frac{D^2}{4} = 100 + 0,4 + 6 \cdot 300 \cdot \frac{0,6^2}{4} = 262,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Обратный ход:

$$J_{po}^B = J_p + J_{ш} = 100,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

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

$$M_{родин} = J_{po} \cdot \frac{2 \cdot a_{доп}}{D_K}. \quad (7)$$

Рабочий ход (без заготовок):

$$M_{родин1}^p = J_{po1}^p \cdot \frac{2 \cdot a_{доп}}{D} = 100,4 \cdot \frac{2 \cdot 1}{0,6} = 334,67 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Рабочий ход (с заготовками):

$$M_{родин2}^p = J_{po2}^p \cdot \frac{2 \cdot a_{доп}}{D} = 262,4 \cdot \frac{2 \cdot 1}{0,6} = 874,67 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При разгоне и торможении толкателя без заготовки:

$$M_{родин}^B = J_{po}^B \cdot \frac{2 \cdot a_{доп}}{D} = 100,4 \cdot \frac{2 \cdot 1}{0,6} = 334,67 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Полный момент рабочей машины находится по формуле:

$$M_{po} = M_{рост} + M_{родин}. \quad (8)$$

Первый участок – разгон толкателя без заготовки:

$$M_{po}^1 = M_{рост12}^p + M_{родин1}^p = 55,2 + 334,67 = 389,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Второй участок – подход к первой заготовке:

$$M_{po}^2 = M_{рост12}^p = 55,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Третий участок – равномерное движение толкателя с заготовкой:

$$M_{po}^3 = M_{рост3}^p = 231,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Четвертый участок – движения толкателя вместе с заготовками:

$$M_{po}^4 = M_{рост45}^p = 1114,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пятый участок – торможение толкателя вместе с заготовками:

$$M_{po}^5 = M_{рост45}^p - M_{родин2}^p = 1114,7 - 874,67 = 240 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Шестой участок – время паузы:

$$M_{po}^6 = 0.$$

Седьмой участок – разгон толкателя без заготовки:

$$M_{po}^7 = M_{рост}^b + M_{родин}^b = 55,2 + 334,67 = 389,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Восьмой участок – равномерное движение толкателя без заготовки:

$$M_{po}^8 = M_{рост}^b = 55,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Девятый участок – торможение толкателя без заготовки:

$$M_{po}^9 = M_{рост}^b - M_{родин}^b = 55,2 - 334,67 = -279,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Значения статических моментов, моментов инерции, полного момента рабочей машины для каждого участка движения сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

Участок движения		Рабочий ход					Обратный ход		
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Подход к 1 заг-ке	Уст. Режим	Вместе по поду	Торможение	Пуск	Уст. Режим	Торможение
Скорость, м/с	v_{po}	—	0,4	0,4	0,4	—	—	-0,6	—
Время, с	t_{po}	0,4	0,625	12,5	0,625	0,4	0,6	9,4	0,6
Путь, м	L_{po}	0,08	0,25	5,34	0,25	0,08	0,18	5,64	0,18
Моменты РО, Нм:									
Трения скольжения в подшипниках	$M_{тп}$	55,2							
Трения скольжения тела	$M_{тс}$	—	—	176,6	1059,5	1059,5	—		
Статический момент, Нм	$M_{рост}$	55,2	55,2	231,8	1114,7	1114,7	55,2		
Момент инерции, кгм ²	J_{po}	100,4	—			262,4	100,4		
Динамич. момент, Нм	$M_{родина}$	334,7	—			874,7	334,7	—	334,7
Суммарный момент, Нм	M_{po}	388,9	55,2	231,8	1114,7	240	389,9	55,2	-279,5

Полученные значения скорости и моментов показаны на нагрузочных диаграммах рабочего органа на рисунке 2.1.

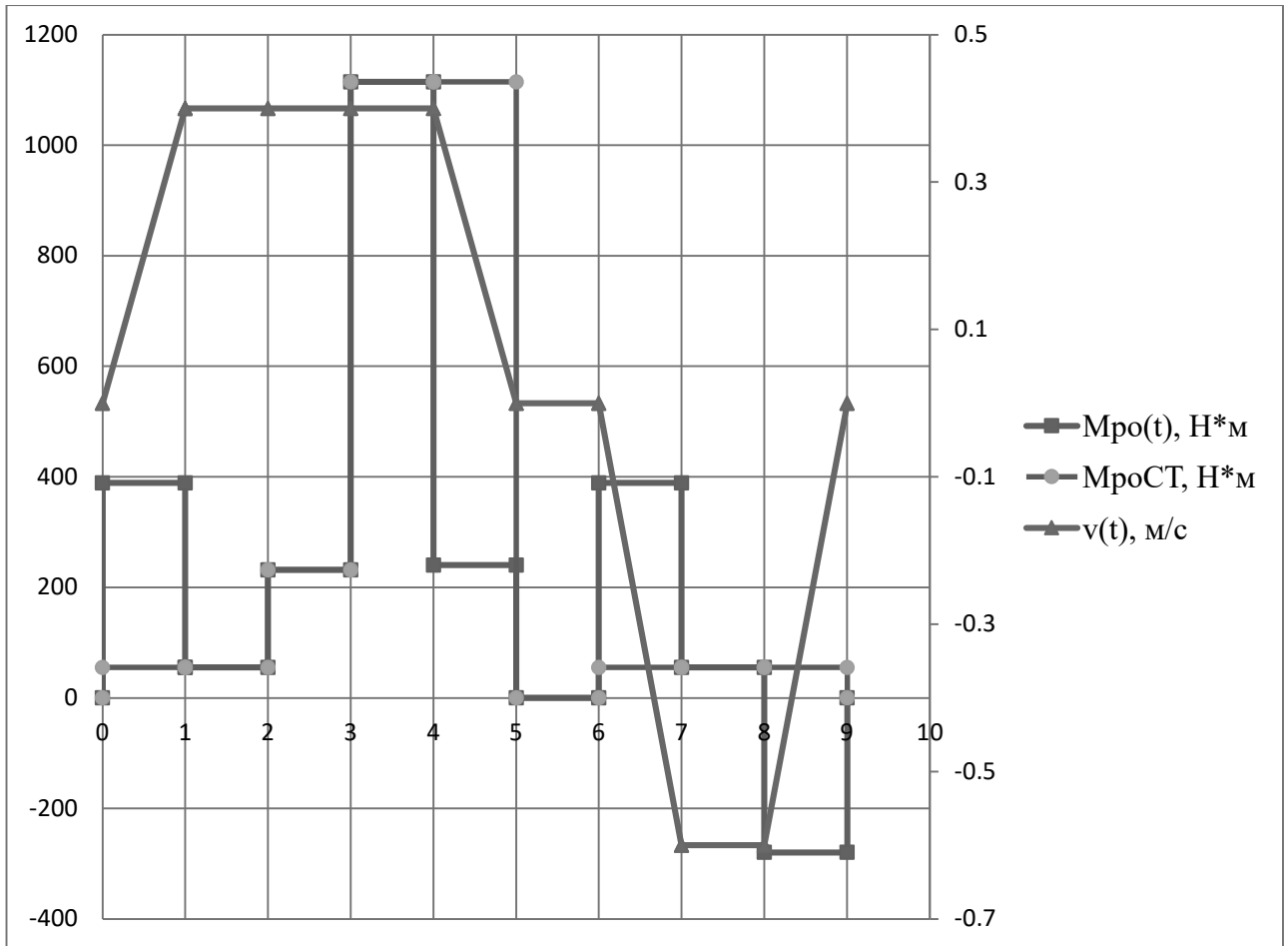


Рисунок 2.1 – Нагрузочная диаграмма скорости и моментов рабочего органа

Рассчитаем среднеквадратическое значение момента:

$$M_{срkv} = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^m M_K^2 \cdot t_K}{\sum_{K=1}^m t_K}}, \quad (9)$$

где M_K - момент двигателя на k-м участке, Н·м; t_K - длительность k-го участка, с.

Подставив числовые значения, получим:

$$M_{срkv} = \sqrt{\frac{388,9^2 \cdot 0,4 + 55,2^2 \cdot 0,625 + 231,8^2 \cdot 12,5 + 1114,7^2 \cdot 0,625 + 240^2 \cdot 0,4 + 389,9^2 \cdot 0,6 + 55,2^2 \cdot 9,4 + (-279,5)^2 \cdot 0,6}{25,15}} = 260 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Мощность двигателя может быть определена по формуле :

$$P_{ДВ} = k_1 \cdot M_{срkv} \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{факт}}{ПВ_{кат}}}, \quad (10)$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, обусловленные вращающимися элементами электродвигателя (двигатель, редуктор), а также потери мощности в редукторе. $k_1 = 1,5$; v_0 – основная скорость движения РО, м/с; D – диаметр шестерни выходного вала редуктора, м; $ПВ_{факт}$ – фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого электродвигателя; $ПВ_{кат}$ – ближайшее к $ПВ_{ф}$ каталожное значение относительной продолжительности включения для электродвигателя выбранной серии.

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

$$t_{ц} = \frac{3600}{z}, \quad (11)$$

где z – число циклов работы машины в час.

$$t_{ц} = \frac{3600}{z} = \frac{3600}{45} = 80 \text{ с.}$$

$$ПВ_{факт} = \frac{1}{t_{ц}} \cdot \sum_{k=1}^m t_k = \frac{1}{80} \cdot 25,15 = 31,44 \text{ \%}.$$

Для повторно-кратковременного режима работы следует выбирать двигатели специальных серий, предназначенных для этого режима. Наиболее известна краново-металлургическая серия. Для этой серии номинальными данными являются каталожные данные при $ПВ_{кат}=40\%$. Тогда мощность двигателя:

$$P_{ДВ} = 1,5 \cdot 260 \cdot \frac{2 \cdot 0,4}{0,6} \cdot \sqrt{\frac{0,3144}{0,4}} = 461 \text{ Вт.}$$

3 ВЫБОР ТИПА ДВИГАТЕЛЯ

Из электродвигателей постоянного тока выбираем двигатель краново-металлургической серии Д12. Каталожные данные двигателя сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Номинальные данные двигателя Д12 при ПВ=40%

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
U_H	Номинальное напряжения на якоре	В	220
P_H	Номинальная мощность на валу	кВт	2,4
n_H	Номинальная частота вращения	об/мин	1230
I_H	Номинальный ток якоря	А	14
I_B	Номинальный ток возбуждения	А	0,7
$J_{дв}$	Момент инерции двигателя	кгм ²	0,05
$r_я$	Сопротивление обмотки якоря	Ом	1,63
r_B	Сопротивление обмотки возбуждения	Ом	260
N	Число активных проводников якоря	—	990
a	Число параллельных ветвей якоря	—	2
$w_{вп}$	Число витков параллельной обмотки на полюс	—	1800
Φ_H	Номинальный магнитный поток	мВб	0,49
$n_{макс}$	Максимальная допускаемая частота вращения	об/мин	3600

4 ВЫБОР РЕДУКТОРА

Передаточное число редуктора определяется по номинальной скорости вращения выбранного двигателя и основной скорости движения исполнительного органа по формуле (12):

$$i_p = \frac{\omega_n \cdot D}{2 \cdot v_0}, \quad (12)$$

где D – диаметр колеса, находящегося на выходном валу редуктора и преобразующего вращение вала в поступательное движение исполнительного органа рабочей машины, м; v_0 – основная скорость движения исполнительного органа.

В соответствии с формулой (12):

$$i_p = \frac{128,8 \cdot 0,6}{2 \cdot 0,4} = 96,6.$$

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 4.1.

Таблица 4.1 – Характеристики редуктора Ч-80

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
i_p	Передаточное число редуктора	-	80
$n_{вр}$	Частота вращения входного вала	Об/мин	≤ 1500
M_T	Номинальный крут. момент на выходном валу	Н*м	650
η_p	Коэффициент полезного действия	%	93

5 ПРИВЕДЕНИЕ МОМЕНТОВ К ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ

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:

$$M_{pc} = \frac{M_{рост}}{i_p}, \quad (13)$$

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

Рабочий ход:

1 и 2 участки:

$$M_{pc12}^p = \frac{M_{рост12}^p}{j_p} = \frac{55,2}{80} = 0,69 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3 участок:

$$M_{pc3}^p = \frac{M_{рост3}^p}{j_p} = \frac{231,8}{80} = 2,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

4 и 5 участки:

$$M_{pc45}^p = \frac{M_{рост45}^p}{j_p} = \frac{1114,7}{80} = 13,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Обратный ход:

$$M_{pc}^B = -\frac{M_{рост}^B}{j_p} = -\frac{55,2}{80} = -0,69 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$M_{вс} = \frac{M_{pc}}{\eta_p}. \quad (14)$$

При движении с заготовкой в двигательном режиме:

$$M_{всд12}^p = \frac{M_{pc12}^p}{\eta_p} = \frac{0,69}{0,93} = 0,74 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{всд3}^p = \frac{M_{pc3}^p}{\eta_p} = \frac{2,9}{0,93} = 3,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{всд4}^p = \frac{M_{рс4}^p}{\eta_p} = \frac{13,9}{0,93} = 14,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении без заготовки в двигательном режиме:

$$M_{всд}^b = \frac{M_{рс}^b}{\eta_p} = -\frac{0,69}{0,93} = -0,74 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$M_{вст} = M_{рс} \cdot \eta_p. \quad (15)$$

При движении с заготовкой в тормозном режиме:

$$M_{вст5}^p = M_{рс5}^p \cdot \eta_p = 13,9 \cdot 0,93 = 12,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении без заготовки в тормозном режиме:

$$M_{вст}^b = -M_{рс}^b \cdot \eta_p = 0,69 \cdot 0,93 = -0,64 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$M_c = M_{вс} + \Delta M_x, \quad (16)$$

где ΔM_x - момент потерь холостого хода двигателя.

$$\Delta M_x = \frac{\Delta P_H}{2\omega_H} = k\Phi_H \cdot I_{1H} - \frac{P_H \cdot 9,55}{\omega_H}; \quad (17)$$

$$k\Phi_H = \frac{U_H - I_{1H} \cdot r_{я}}{\omega_H} = \frac{(220 - 14 \cdot 1,63) \cdot 9,55}{1230} = 1,53;$$

$$\Delta M_x = 1,53 \cdot 14 - \frac{2400 \cdot 9,55}{1230} = 2,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$M_c = M_{вс} + \Delta M_x. \quad (18)$$

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

$$M_c = M_{вс} - \Delta M_x. \quad (19)$$

Рабочий ход в двигательном режиме:

$$M_{сд12}^P = 0,74 + 2,8 = 3,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{сд3}^P = 3,1 + 2,8 = 5,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{сд4}^P = 14,9 + 2,8 = 17,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Обратный ход в двигательном режиме:

$$M_{сд}^B = -0,74 + 2,8 = 2,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Рабочий ход в тормозном режиме:

$$M_{ст5}^P = 12,9 - 2,8 = 10,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Обратный ход в тормозном режиме:

$$M_{ст}^B = -0,64 - 2,8 = -3,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для каждого участка проведены расчеты, и все значения занесены в таблицу 5.1.

5.2 Приведение моментов инерции и коэффициентов жесткости к валу двигателя

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

Суммарный приведенный момент инерции:

$$J = \delta \cdot J_{дв} + J_{пр}, \quad (20)$$

где $J_{пр}$ - приведенный к валу двигателя момент инерции поступательно и вращательно движущихся частей системы, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; $J_{дв}$ - момент инерции ротора выбранного двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; δ - 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:

$$J_{пр} = \frac{J_{PO}}{i_p^2}. \quad (21)$$

Тогда суммарный приведенный момент инерции:

$$J = 1,5 \cdot J_{\text{дв}} + m_1 \cdot \frac{v_p^2}{\omega_c^2}, \quad (22)$$

где ω_c - установившаяся скорость двигателя, рад/с.

Установившуюся скорость двигателя находим по формуле:

$$\omega_c = i_p \cdot \frac{2 \cdot v_p}{D}. \quad (23)$$

При движении с рабочей скоростью v_p :

$$\omega_c^p = 80 \cdot \frac{2 \cdot 0,4}{0,6} = 106,67 \text{ рад/с.}$$

При движении с рабочей скоростью v_B :

$$\omega_c^B = 80 \cdot \frac{2 \cdot 0,6}{0,6} = 160 \text{ рад/с.}$$

Приведенный момент инерции при движении с заготовкой со скоростью v_p :

$$J^p = 1,5 \cdot 0,05 + (2500 + 6 \cdot 300) \frac{0,4^2}{106,67^2} = 0,135 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Приведенный момент инерции при движении без заготовки со скоростью v_B :

$$J^B = 1,5 \cdot 0,05 + 2500 \frac{0,6^2}{160^2} = 0,11 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

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

Пусковой момент:

$$M_{\text{п}} = M_{\text{с}} + M_{\text{дин}}, \quad (24)$$

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

Динамический момент рассчитываем по формуле:

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot i_p}{D}. \quad (25)$$

При движении с заготовкой:

$$M_{\text{дин}}^p = J^p \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 0,135 \cdot \frac{2 \cdot 1 \cdot 80}{0,6} = 36 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

При движении без заготовки:

$$M_{\text{дин}}^{\text{в}} = J^{\text{в}} \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_{\text{р}}}{D} = 0,11 \cdot \frac{2 \cdot 1 \cdot 80}{0,6} = 29,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент:

При движении с заготовкой:

$$M_{\text{п12}}^{\text{р}} = M_{\text{сд12}}^{\text{р}} + M_{\text{дин}}^{\text{р}} = 3,5 + 36 = 39,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{п3}}^{\text{р}} = M_{\text{сд3}}^{\text{р}} + M_{\text{дин}}^{\text{р}} = 5,9 + 36 = 41,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{п4}}^{\text{р}} = M_{\text{сд4}}^{\text{р}} + M_{\text{дин}}^{\text{р}} = 17,7 + 36 = 53,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении без заготовки:

$$M_{\text{п}}^{\text{в}} = M_{\text{сд}}^{\text{в}} + M_{\text{дин}}^{\text{в}} = 2,1 + 29,4 = 31,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тормозной момент:

$$|M_{\text{т}}| = |M_{\text{дин}}| + M_{\text{с}}. \quad (26)$$

При движении с заготовкой:

$$|M_{\text{т}}^{\text{р}}| = |M_{\text{дин}}^{\text{р}}| + M_{\text{ст5}}^{\text{р}} = 36 + 10,1 = 46,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении без заготовки:

$$|M_{\text{т}}^{\text{в}}| = |M_{\text{дин}}^{\text{в}}| + M_{\text{ст}}^{\text{в}} = 29,4 - 3,4 = 26 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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.

Приведем крутильную жесткость рабочего вала к валу двигателя:

$$C_{\text{пр}} = \frac{C_{\text{к}}}{j_{\text{р}}^2} = \frac{50\,000\,000}{80^2} = 7,81 \text{ кН} \cdot \text{м/рад}. \quad (27)$$

Для каждого участка проведены расчеты, и все значения занесены в таблицу 6.1

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 (28):

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

где J - суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции, кг · м²; ω_c - установившаяся скорость двигателя, рад/с; M_{cp} - средний момент двигателя, Н*м; M_c - приведенный статический момент, Н*м.

Первый участок - разгон без заготовки:

$$t_1 = J^p \cdot \frac{\omega_c^p}{M_{п12}^p - M_{сд12}^p} = 0,135 \cdot \frac{106,67}{39,5 - 3,5} = 0,4 \text{ с.}$$

Второй участок - установившийся с заготовкой:

$$t_2 = J^p \cdot \frac{\omega_c^p}{M_{п12}^p - M_{сд12}^p} = 0,135 \cdot \frac{106,67}{39,5 - 3,5} = 0,4 \text{ с.}$$

Четвертый участок - установившийся с заготовкой:

$$t_4 = J^p \cdot \frac{\omega_c^p}{M_{п4}^p - M_{сд4}^p} = 0,135 \cdot \frac{106,67}{53,7 - 17,7} = 0,4 \text{ с.}$$

Пятый участок – торможение с заготовкой:

$$t_5 = J^p \cdot \frac{\omega_c^p}{M_T^p - M_{ст}^p} = 0,135 \cdot \frac{106,67}{46,1 - 10,1} = 0,4 \text{ с.}$$

Седьмой участок – разгон без заготовки:

$$t_7 = J^B \cdot \frac{\omega_c^B}{M_{п}^B - M_{сд}^B} = 0,11 \cdot \frac{160}{31,5 - 2,1} = 0,6 \text{ с.}$$

Девятый участок – торможение без заготовки:

$$t_9 = J^B \cdot \frac{\omega_c^B}{M_T^B - M_{ст}^B} = 0,11 \cdot \frac{160}{26 + 3,4} = 0,6 \text{ с.}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ

Лист

23

Рассчитаем угол поворота вала двигателя за время переходного процесса:

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

Первый участок:

$$\alpha_1 = \frac{\omega_c^p \cdot t_1}{2} = \frac{106,67 \cdot 0,4}{2} = 21,3 \text{ рад.}$$

Второй участок:

$$\alpha_2 = \frac{\omega_c^p \cdot t_2}{2} = \frac{106,67 \cdot 0,4}{2} = 21,3 \text{ рад.}$$

Четвертый участок:

$$\alpha_4 = \frac{\omega_c^p \cdot t_4}{2} = \frac{106,67 \cdot 0,4}{2} = 21,3 \text{ рад.}$$

Пятый участок:

$$\alpha_5 = \frac{\omega_c^p \cdot t_5}{2} = \frac{106,67 \cdot 0,4}{2} = 21,3 \text{ рад.}$$

Седьмой участок:

$$\alpha_7 = \frac{\omega_c^B \cdot t_7}{2} = \frac{160 \cdot 0,6}{2} = 48 \text{ рад.}$$

Девятый участок:

$$\alpha_9 = \frac{\omega_c^B \cdot t_9}{2} = \frac{160 \cdot 0,6}{2} = 48 \text{ рад.}$$

Время работы с установившейся скоростью рассчитаем по формуле:

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

где α - 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.

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

$$\alpha = \frac{2 \cdot (L + 2b) \cdot i_p}{D} = \frac{2 \cdot 6,5 \cdot 80}{0,6} = 1733,3 \text{ рад.}$$

Тогда время работы с установившейся скоростью:

При движении с заготовкой со скоростью v_p :

$$t_3 = \frac{\alpha - (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_5)}{\omega_{c^p}} = \frac{1733,3 - (21,3 + 21,3 + 21,3 + 21,3)}{106,67} \\ = 15,45 \text{ с.}$$

При движении без заготовки:

$$t_8 = \frac{\alpha - (\alpha_7 + \alpha_9)}{\omega_{c^B}} = \frac{1733,3 - (48 + 48)}{160} = 10,2 \text{ с.}$$

Проведем предварительную проверку двигателя по нагреву по величине среднеквадратичного момента:

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

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

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{39,5^2 \cdot 0,4 + 39,5^2 \cdot 0,4 + 41,9^2 \cdot 15,45 + 53,7^2 \cdot 0,4}{28,45} + \frac{46,1^2 \cdot 0,4 + 31,5^2 \cdot 0,6 + 31,5^2 \cdot 10,2 + 26^2 \cdot 0,6}{28,45}} = 3,82 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Фактическое значение ПВ:

$$ПВ_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\% = \frac{28,45}{80} \cdot 100\% = 35,56 \%$$

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

$$M_{\text{кат}} = \frac{P_{\text{кат}}}{\omega_{\text{кат}}} = \frac{2400 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 1230} = 18,63 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Допускаемый момент:

$$M_{\text{доп}} = 18,63 \cdot \sqrt{\frac{40}{35,56}} = 20,96 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Двигатель проходит по нагреву. Для каждого участка проведены расчеты, и все значения занесены в таблицу 6.1

Таблица 6.1 – Приведение моментов к валу двигателя

Участок движения	Рабочий ход					Обратный ход		
	Пуск	Подход к 1 заготовке	Уст.режим	Вместе по поду	Торможение	Пуск	Уст.режим	Торможение
v , м/с	-	0,4			-	-	-0,6	-
$M_{рост}$, Н·м	55,2	55,2	231, 8	1114 ,7	1114, 7	-55,2		
$J_{рост}$, кг·м ²	100,4	-			262,4	-100,4		
ω_c , рад/с	-	106,67			-	-	-160	-
$M_{рс}$, Н·м	0,69	0,69	2,9	13,9	13,9	-0,69	-0,69	-0,69
$M_{вс}$, Н·м	0,74	0,74	3,1	14,9	12,9	-0,74	-0,74	-0,64
M_c , Н·м	3,5	3,5	5,9	17,7	10,1	2,1	2,1	-3,4
J , кг·м ²	0,135					0,11		
$M_{дин}$, Н·м	36	-	-	-	-36	-29,4	-	29,4
$M_{доп.уск}$, Н·м	39,5	39,5	41,9	53,7	46,1	-31,5	-31,5	26
$M_{ср}$, Н·м	39,5	39,5	41,9	53,7	46,1	-31,5	-31,5	26
t , с	0,4	0,4	15,4 5	0,4	0,4	0,6	10,2	0,6
α , рад	21,3	21,3	1648	21,3	21,3	-48	-1637	-48

7 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ

Выбор преобразователя осуществляется на основании номинальных данных предварительно выбранного двигателя:

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

$$I_{\text{нТП}} \geq I_{\text{н}};$$

где $U_{\text{нл}}$, $I_{\text{н}}$ – номинальные линейное напряжение и ток якоря двигателя;

$U_{\text{нТП}}$, $I_{\text{нТП}}$ – номинальные линейное напряжение и ток нагрузки тиристорного преобразователя.

Выберем преобразователь фирмы «ABB» DCS800. Его характеристики сведены в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Характеристики преобразователя «ABB» DCS800

Технический параметр	Значение
Модель	DCS800-S02-0025-04
Напряжение питания, В	3x400 В ± 10%
Ном. мощность электродвигателя, кВт	9
Номинальная входная частота, Гц	50 ± 10%
Выходной постоянный ток, А	20/25
Номинальный ток якоря, А	25

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

$$U_{\text{AB}} \geq U_{\text{H}};$$

$$I_{\text{AB}} \geq I_{\text{H}}.$$

Исходя из этих условий выберем автоматический выключатель фирмы Scheider Electric типа A0257 C60N 24352, у которого $I_{\text{AB}} = 25$ А, $U_{\text{AB}} = 220$ В.

8 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Механические характеристики двигателя независимого возбуждения прямолинейны и математически выражаются формулой:

$$\omega_{0н} = \frac{U}{k\Phi} - M \frac{R}{(k\Phi)^2} \quad (32)$$

Для естественной механической характеристики напряжение равно номинальному $U=U_n$, поток равен номинальному $\Phi=\Phi_n$, сопротивление якорной цепи равно внутреннему (невывключаемому):

$$R = r_{оя} + r_{дп} + r_{ко} = r_{я}.$$

Учитывая вышеизложенное, уравнение для естественной механической характеристики принимает вид:

$$\omega = \frac{U_n}{k\Phi_n} - M \frac{R_{я}}{(k\Phi_n)^2}. \quad (33)$$

Произведение $k\Phi_n$ можно определить через каталожные данные:

$$k\Phi_n = \frac{U_n - I_n \cdot r_{я}}{\omega_n}; \quad (34)$$

$$k\Phi_n = \frac{220 - 14 \cdot 1,63}{128,8} = 1,53.$$

Скорость идеального холостого хода:

$$\omega = \frac{U_n}{k\Phi_n}; \quad (35)$$

$$\omega_{0н} = \frac{220}{1,53} = 143,8 \text{ рад/с.}$$

Электромагнитный момент, который двигатель развивает при ω_n :

$$M_n = k\Phi_n \cdot I_n; \quad (36)$$

$$M_n = 1,53 \cdot 14 = 21,4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Естественная механическая характеристика строится по двум точкам: (ω_n, I_n) и $(\omega_{0н}, I=0)$.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ

Лист

28

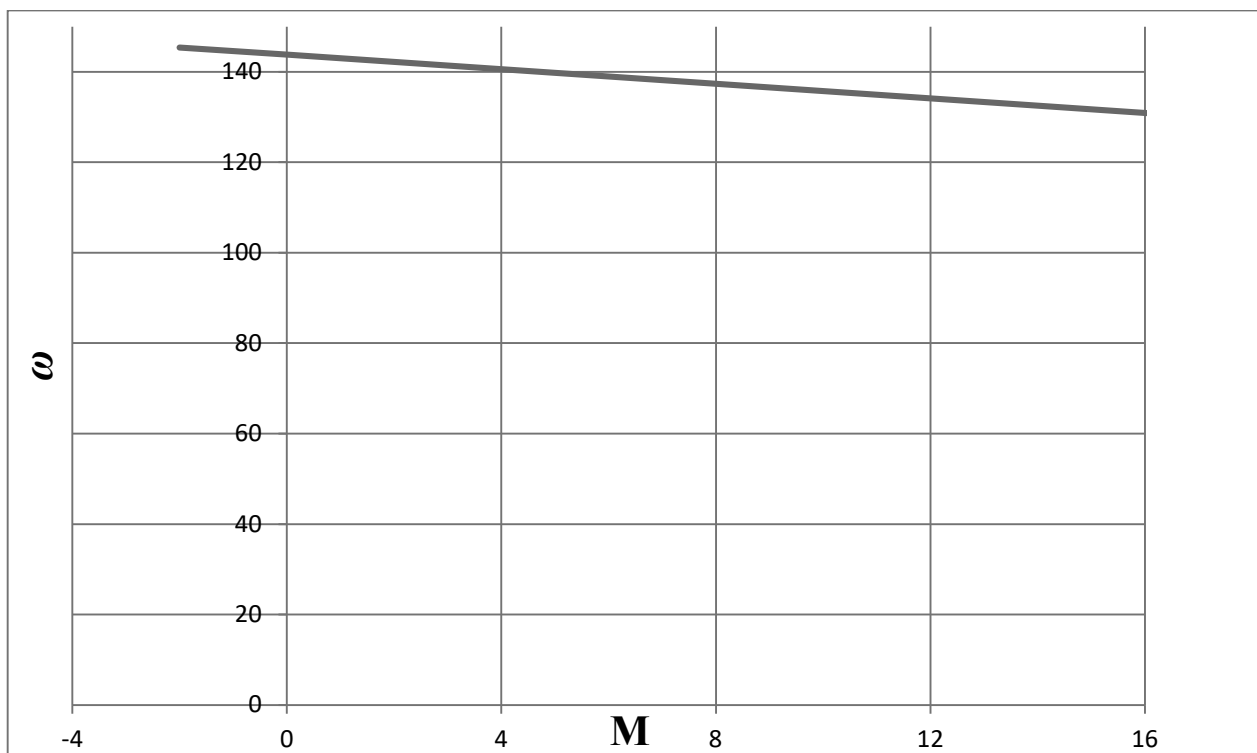


Рисунок 8.1 – Естественная механическая характеристика двигателя

Естественная электромеханическая характеристика $\omega=f(I)$ определяется соотношением:

$$\omega = \frac{U_H - I_H \cdot r_{я}}{k\Phi_H} \quad (37)$$

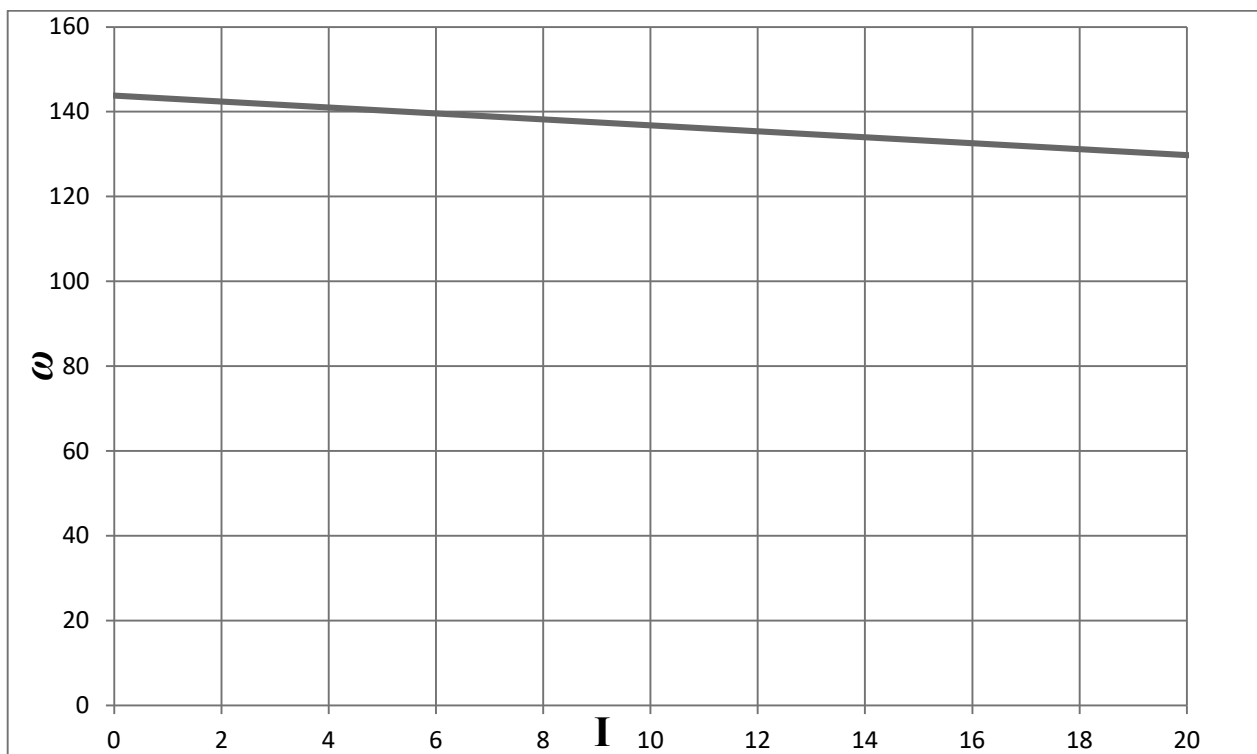


Рисунок 8.2 – Естественная электромеханическая характеристика двигателя

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ

Лист

29

Необходимо рассчитать параметры для двух установившихся режимов работы – при движении с заготовкой (Рабочая скорость) и без заготовки (Скорость возврата).

Выражение электромеханической характеристики в системе ТП-Д имеет вид:

$$\omega = \frac{U - \Delta U_B - I(r_{\text{я}} + R_T + R_{\text{э}})}{k\Phi_H} \quad (38)$$

Из формулы (38) выразим U:

$$U = \Delta U_B + I(r_{\text{я}} + R_T + R_{\text{э}}) + \omega k\Phi_H,$$

где $I = \frac{M_C}{k\Phi_H}$, $\Delta U_B = 1$ В для трехфазной мостовой схемы.

$$U_P = 1 + \frac{M_C^P}{k\Phi_H} r_{\text{я}} + \omega_P \cdot k\Phi_H = 1 + \frac{37,7}{1,53} \cdot 1,63 + 106,67 \cdot 1,53 = 204,37 \text{ В};$$

$$U_B = 1 + \frac{M_C^B}{k\Phi_H} r_{\text{я}} + \omega_B \cdot k\Phi_H = 1 + \frac{29,6}{1,53} \cdot 1,63 + 160 \cdot 1,53 = -277 \text{ В}.$$

Скорости идеального холостого хода для каждой из точек:

$$\omega_{0P} = \frac{U_P}{k\Phi_H} = \frac{204,37}{1,53} = 133,57 \text{ рад/с}.$$

$$\omega_{0B} = \frac{U_B}{k\Phi_H} = -\frac{277}{1,53} = -181,04 \text{ рад/с}.$$

Таблица 8.1 – Рабочие точки установившихся режимов работы

Характеристика/ скорость	Скорость идеального холостого хода, рад/с	Номинальная скорость, рад/с
Естественная	143,8	128,8
Рабочая	133,57	106,67
Обратная	-181,04	-160

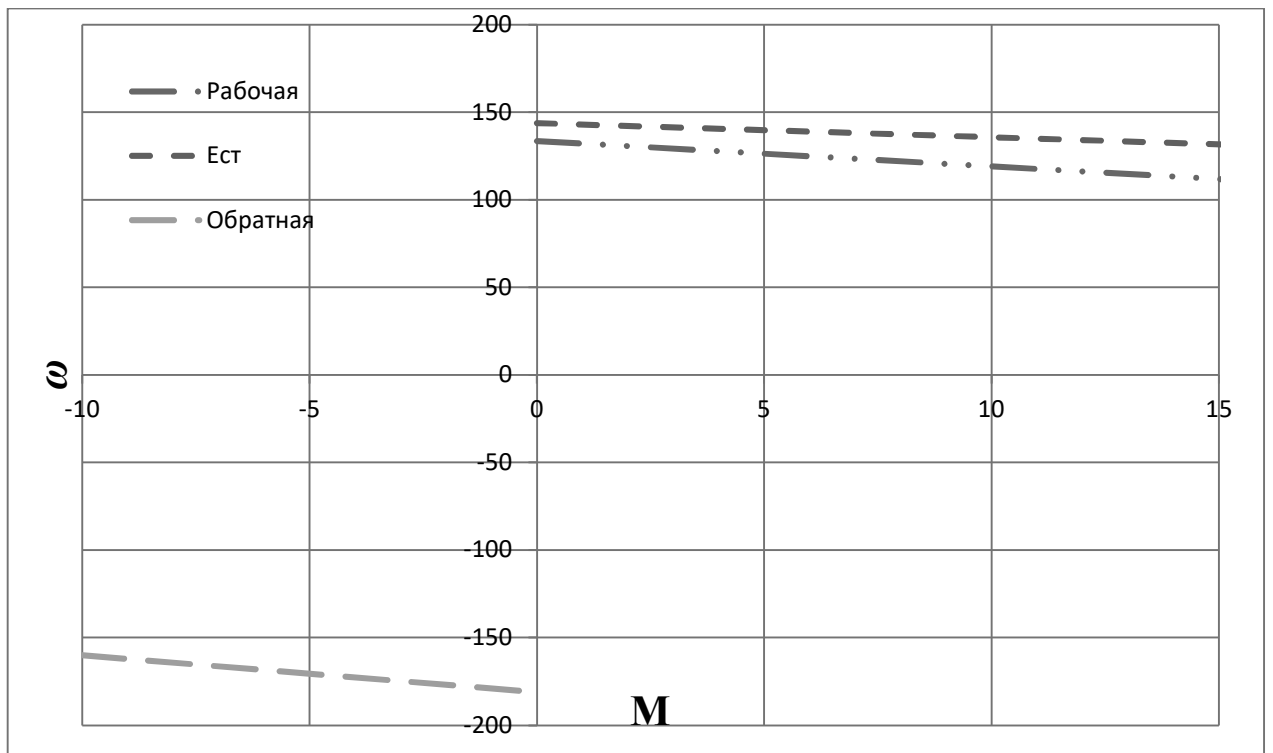


Рисунок 8.3 – Искусственные механические характеристики двигателя

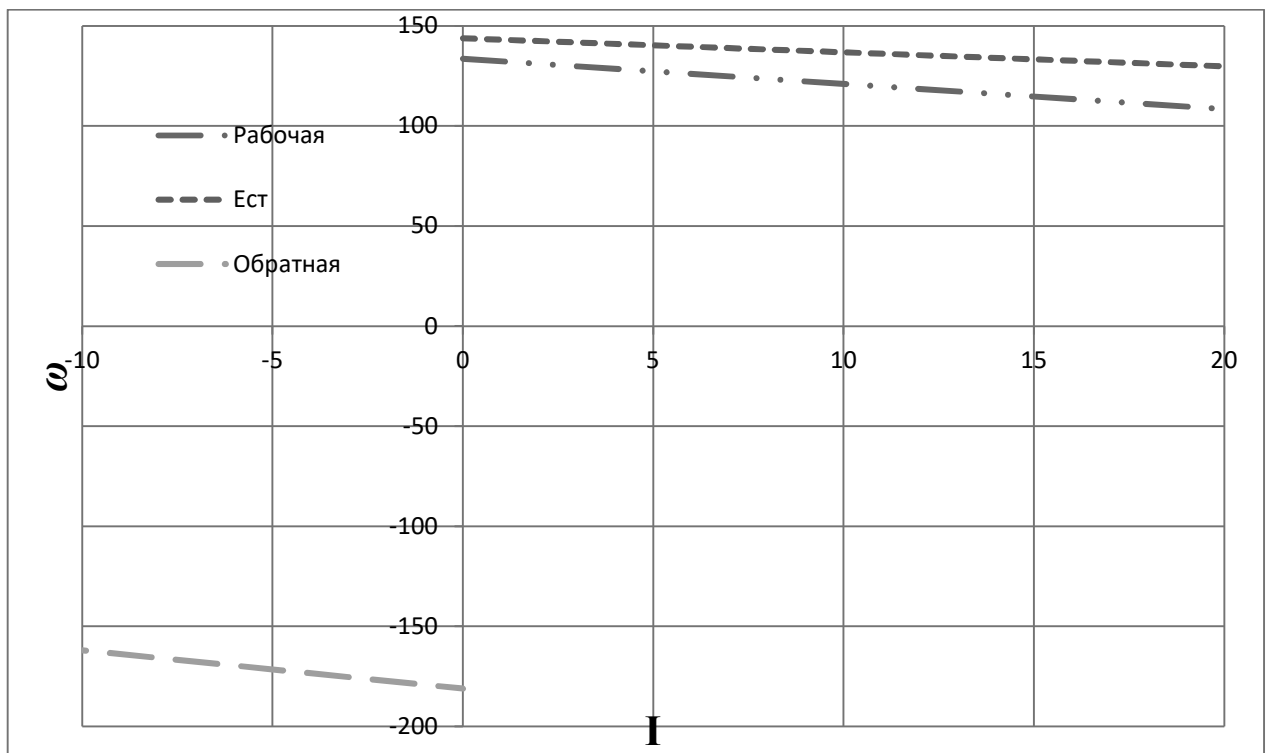


Рисунок 8.4 – Искусственные электромеханические характеристики двигателя

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ

9 РАСЧЕТ 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 $U_{ЗАД}$ изменяется по линейному закону. При достижении величины $U_{ЗАД}$ нарастание напряжения на выходе ЗИ прекращается. Выходное напряжение ЗИ, таким образом, является управляющим напряжением преобразователя, а величина $U_{ЗАД}$ определяется величиной базовой постоянной времени ЗИ $T_{ЗИ}$ численно равной времени достижения выходного напряжения преобразователя от 0 до базового значения $U_{Н}$.

Базовая постоянная задатчика интенсивности:

$$T_{ЗИ} = \frac{J \cdot \omega_{ОН}}{M_{ДИН}} \quad (39)$$

Рассчитаем величину постоянной задатчика интенсивности для участков, на которых происходит пуск/торможение заготовки:

1) Участок 1. Пуск с заготовкой:

$$T_{ЗИ} = \frac{0,135 \cdot 143,8}{36} = 0,54.$$

2) Участок 5. Торможение с заготовкой до полной остановки:

$$T_{ЗИ} = \frac{0,135 \cdot 143,8}{36} = 0,54.$$

4) Участок 7. Пуск без заготовки:

$$T_{зи} = \frac{0,11 \cdot 143,8}{29,4} = 0,54.$$

5) Участок 9. Торможение без заготовки до полной остановки:

$$T_{зи} = \frac{0,11 \cdot 143,8}{29,4} = 0,54.$$

					<i>ЮЧрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		33

10 РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

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

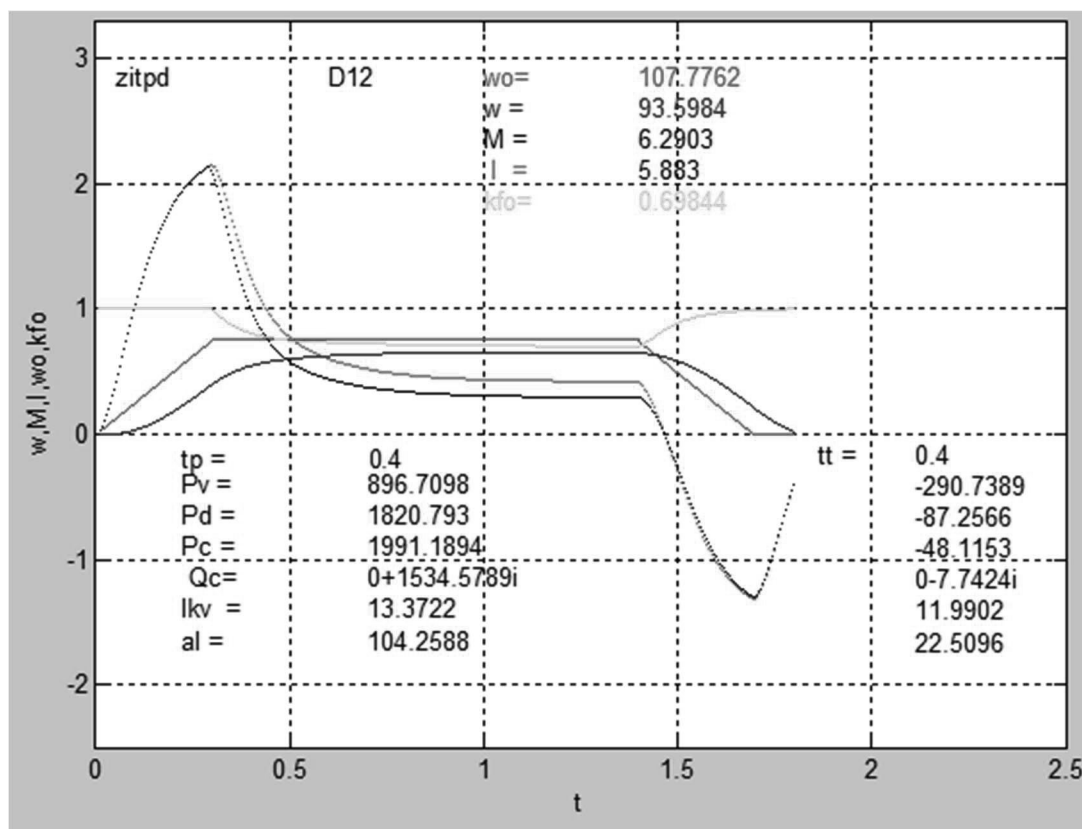


Рисунок 10.1 – Переходные процессы пуска и торможения с заготовкой

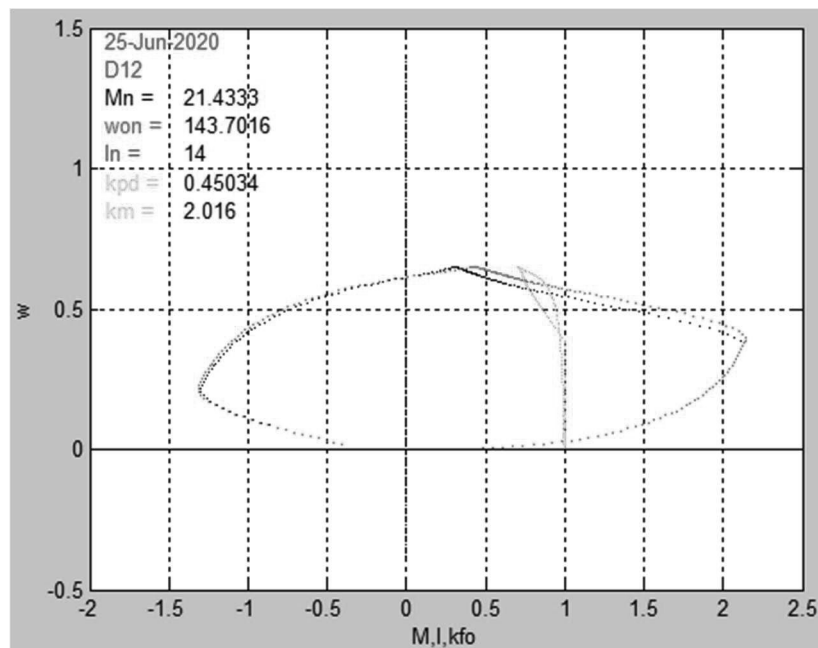


Рисунок 10.2 – Зависимость $\omega_{он}$ от M, I при движении с заготовкой

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ

Лист

34

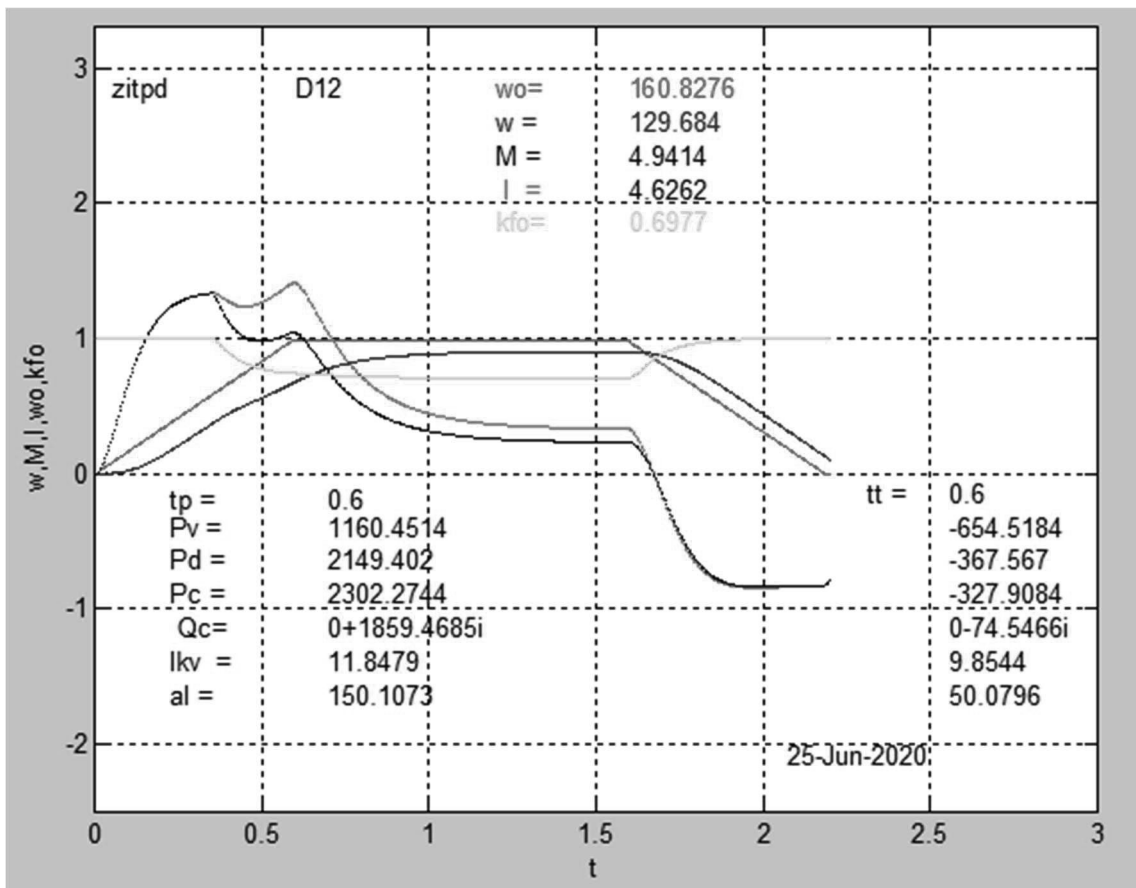


Рисунок 10.3 – Переходные процессы пуска и торможения при движении без заготовки

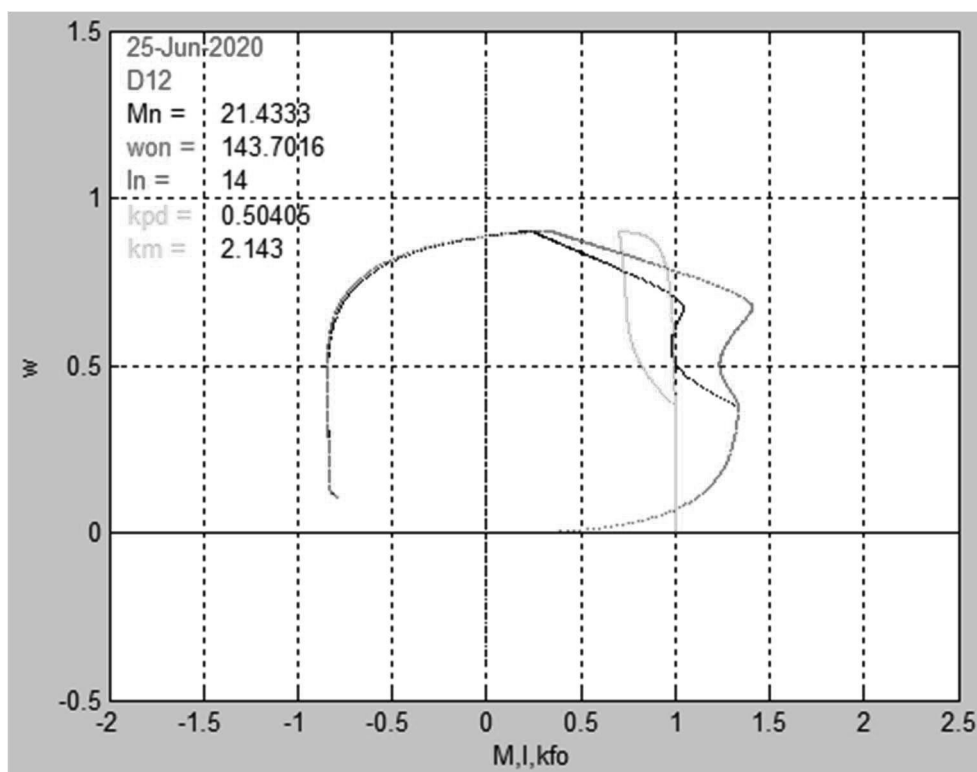


Рисунок 10.4 – Зависимость $\omega_{\text{он}}$ от M, I при движении без заготовки

11 ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

11.1 Проверка на перегрузочную способность

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

11.2 Проверка по нагреву двигателя и преобразователя

Эквивалентный ток:

$$I_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (41)$$

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

Среднеквадратичный ток на участке интегрирования за время Δt_k :

$$I_{kv} = \sqrt{\int_0^{t_i} I_i^2 \cdot dt} = \sqrt{\sum_{k=1}^i I_i^2 \cdot \Delta t_k}. \quad (42)$$

На рисунках 10.1 и 10.3 приведены значения среднеквадратичного тока I_{kv} за время пуска t_k , за время торможения t_t для одного участка движения.

Коэффициент ухудшения теплоотдачи остановленного двигателя β_0 зависит от его конструктивного исполнения и условий вентиляции. Примерные значения β_0 приведены в таблице 11.1.

Таблица 11.1 – Значения коэффициента ухудшения теплоотдачи β_0

Исполнение двигателя	β_0
Закрытый с независимой вентиляцией	1
Закрытый без принудительного охлаждения	От 0,95 до 0,98
Закрытый самовентилируемый	От 0,45 до 0,55
Защищенный самовентилируемый	От 0,25 до 0,35

Ухудшение условий охлаждения двигателя в переходных режимах учитывается коэффициентом ухудшения теплоотдачи β_i , которому, в зависимости от скорости вращения, можно присвоить значения из таблицы 11.2.

Таблица 11.2 – Рекомендуемые значения коэффициента ухудшения условий охлаждения двигателя

ω	$\omega \leq 0,2 \cdot \omega_H$	$0,2 \cdot \omega_H \leq \omega \leq 0,8 \cdot \omega_H$	$\omega \geq 0,8 \cdot \omega_H$
β_i	β_0	$(1 + \beta_0)/2$	1

Рассчитаем эквивалентный ток:

$$I_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{9,3^2 \cdot 0,4 + 12,7^2 \cdot 0,4 + 12,8^2 \cdot 0,6 + 15,9^2 \cdot 0,6}{1 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,6 + 1 \cdot 0,6}} = 13,2 \text{ А.}$$

Допустимый по нагреву ток двигателя:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{КАТ}}}{\text{ПВ}_{\text{ФАКТ}}}} = 14 \cdot \sqrt{\frac{40}{35,56}} = 14,9 \text{ А.}$$

$I_{\text{Э}} < (0,85 \dots 0,9)I_{\text{доп}}$, следовательно, двигатель проходит проверку по нагреву.

11.3 Проверка по нагреву преобразователя

Проверка выполняется сравнением среднеквадратичного тока двигателя за время работы с номинальным выходным током преобразователя.

$$I_{\text{ср кв}} = \sqrt{\frac{1}{t_p} \cdot \sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i} \quad (43)$$

На рисунках 10.1 и 10.3 приведены значения среднеквадратичного тока $I_{\text{КВ}}$ за время пуска t_k , за время торможения t_t и за время установившегося режима.

$$I_{\text{ср кв}} = \sqrt{\frac{9,3^2 \cdot 0,4 + 12,7^2 \cdot 0,4 + 12,8^2 \cdot 0,6 + 15,9^2 \cdot 0,6}{28,45}} = 3,5 \text{ А.}$$

$I_{\text{ср кв}} < I_{\text{НПР}}$, следовательно, выбранный преобразователь выполняет условия по нагреву.

11.4 Расчет энергетических показателей электропривода

Для оценки циклового КПД следует брать отрезки времени, началу и концу которых соответствует одинаковая энергия, запасенная в элементах привода. Для механизмов, приведенных в данном пособии, таким отрезком является цикл работы, когда механизм возвращается в исходное положение.

Для расчета энергетических показателей используем ранее полученные с помощью ЭВМ данные, а именно рисунки 10.1 и 10.3. Тогда получим следующие выражения для различных видов энергии:

Механическая энергия за цикл:

$$P_{vц} = 427,8 + 565,6 - 756,6 + 895,5 = 1132,9 \text{ Вт.}$$

Активная энергия из сети за цикл:

$$P_{сц} = 214,6 + 175,3 + 620,3 + 507,1 = 1517,3 \text{ Вт.}$$

Реактивная энергия за цикл:

$$Q_{сц} = 74,4 + 273,9 + 213,2 + 1041,4 = 1602,9 \text{ Вт.}$$

Цикловые значения КПД и $\cos\varphi$ определим по формулам:

$$\eta_{ц} = \frac{P_{vц}}{P_{сц}} = \frac{1132,9}{1517,3} = 0,75.$$

$$(\cos \varphi)_{ц} = \frac{P_{сц}}{\sqrt{P_{сц}^2 + Q_{сц}^2}} = \frac{1517,3}{\sqrt{1517,3^2 + 1602,9^2}} = 0,69.$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

12 ОПИСАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

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

В исходном состоянии толкатель 6 находится в крайнем правом положении, заслонка 3 переднего окна закрыта, отсутствует заготовка 4 перед печью.

Подающий рольганг 5 включается при появлении на нем заготовки, транспортирует ее до приемного окна печи и останавливается. Если высота заготовки превышает 1м, то рольганг вновь включается и отправляет заготовку на другой участок.

Иначе, при поступлении сигнала на выдачу заготовки из печи открывается заслонка переднего окна, включается в работу толкатель 6, который сталкивает заготовку с рольганга и подает ее в печь, передвигая при этом все нагреваемые заготовки 2.

В режиме работы с полной загрузкой печи толкатель должен проделать путь, достаточный для помещения очередной заготовки в рабочей зоне печи. При этом крайняя заготовка выталкивается из нее, открывая заслонку заднего окна печи своим весом. Нагретая заготовка скатывается на отводящий рольганг, заслонка закрывается, а толкатель отходит в исходное положение. После выхода толкателя из печи закрывается заслонка переднего окна. Толкатель возвращается в исходное положение.

Также предусмотрена световая и звуковая сигнализации при открытии переднего окна и выходе заготовки из печи.

Привода рольганга и заслонки требуют электродвигатели мощностью 1,5 и 1 кВт соответственно.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39

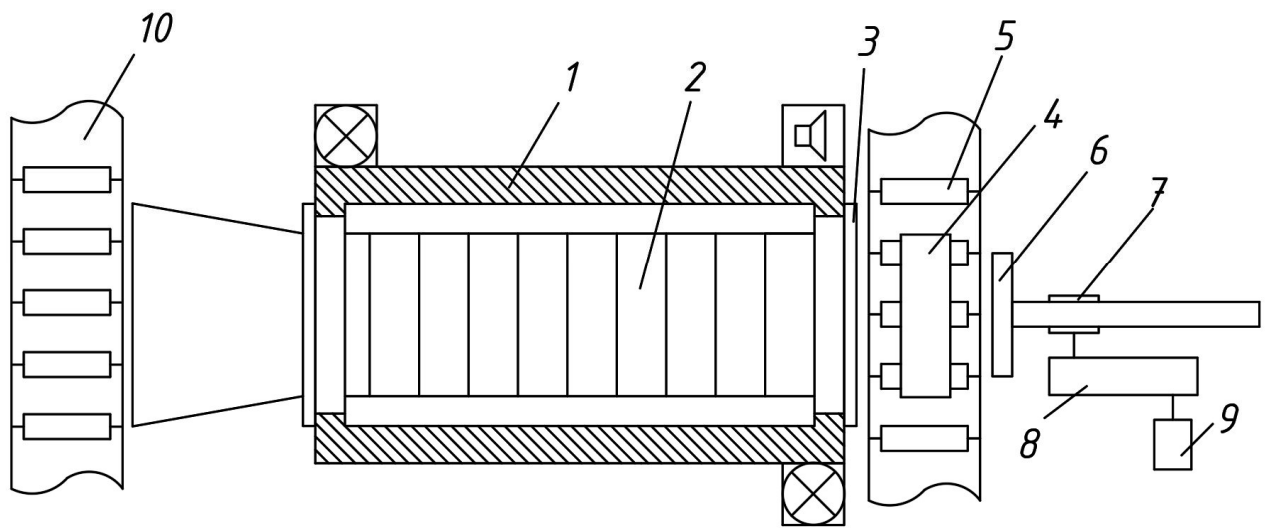


Рисунок 12.1 – Участок подачи печных заготовок

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ

Лист

40

13 СОСТАВЛЕНИЕ СПИСКА СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

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

13.2 Система автоматизации должна формировать следующие выходные команды:

- включение привода толкателя для движения вперед (ТВП);
- включение привода толкателя для движения назад (ТНЗ);
- включение привода подающего рольганга (ПР);
- включение привода отводящего рольганга (ОР);
- включение привода заслонки переднего окна для открытия (ПЗО);
- включение привода заслонки переднего окна для закрытия (ПЗЗ);
- включение звукового сигнала (ЗС);
- включение световой сигнализации (СС).

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

- сигнал «Питания» (ИндПит);
- сигнал «Автоматический режим» (ИндАвт);
- сигнал «Ручной режим» (ИндРуч);
- сигнал «Авария» (Авария);
- сигнал «Открыто переднее окно» (ИндОП);
- сигнал «Неисправность привода толкателя» (АврПТ);
- сигнал «Неисправность привода подающего рольганга» (АврПР);
- сигнал «Неисправность привода отводящего рольганга» (АврОР);
- сигнал «Неисправность привода заслонки переднего окна» (АврПЗ);
- сигнал «Неисправность датчиков» (АврД).

13.4 Для управления системой автоматизации используется пульт оператора, (изображенный на рисунке 13.1), представляющий собой панель с блоками кнопок, формирующих следующие выходные сигналы:

- сигнал «Питание» (кнПит);
- сигнал «Автоматический режим» (АвтР);
- сигнал «Ручной режим» (РучР);
- сигнал «Сброс Аварии» (СбросА);
- сигнал «Пуск» (кнПуск);
- сигнал «Стоп» (кнСтоп);
- сигнал «Толкатель вперед» (кнТВП);
- сигнал «Толкатель назад» (кнТНЗ);
- сигнал «Подающий рольганг» (кнПР);
- сигнал «Отводящий рольганг» (кнОР);
- сигнал «Открыть заслонку» (кнОЗ);
- сигнал «Заккрыть заслонку» (кнЗЗ).

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

- датчик, сигнализирующий о том, что заготовка поступила на подающий рольганг (ЗПР);
- датчик, сигнализирующий о том, что заготовка поступила на отводящий рольганг (ЗОР);
- датчик, сигнализирующий о крайнем правом положении толкателя (КП);
- датчик, сигнализирующий о крайнем левом положении толкателя (КЛ);
- датчик, сигнализирующий о том, что заготовка у приемного окна печи (ЗОП);
- датчик, сигнализирующий о том, что заготовка превышает высоту 1м (ДПВ);
- датчик, сигнализирующий об открытом положении заслонки (ДОЗ);

- датчик, сигнализирующий о закрытом положении заслонки (ДЗЗ);
- датчик, сигнализирующий об открытии заднего окна печи (ЗОО);
- датчик, сигнализирующий о том, что заготовка покинула участок (ЗПУ).

13.6 В таблицу 13.1 занесены все сигналы и команды, используемые в системе. В этой же таблице выражено соответствие действий сигналов и команд дискретным значениям этих переменных.

Таблица 13.1 – Сигналы и команды, используемые в системе автоматизации

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Входные сигналы пульта управления и выходные контроллера	ИнлПит	Лампа индикации «Питания»	Есть
	ИндАвт	Лампа индикации «Автоматический режим»	Есть
	ИндРуч	Лампа индикации «Ручной режим»	Есть
	Авария	Лампа индикации «Авария»	Есть
	ИндОП	Лампа индикации «Открыто переднее окно»	Есть
	АврПТ	Лампа индикации «Неисправность привода толкателя»	Есть
	АврПР	Лампа индикации «Неисправность привода подающего рольганга»	Есть
	АврОР	Лампа индикации «Неисправность привода отводящего рольганга»	Есть
	АврПЗ	Лампа индикации «Неисправность привода заслонки переднего окна»	Есть
	АврД	Лампа индикации «Неисправность датчиков»	Есть

Продолжение таблицы 13.1

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Выходные сигналы пульта управления	кнПит	Ключ-бирка «Питание»	Ключ повернут
	АвТР	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	Повернут влево
	РучР	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	Повернут вправо
	СбросА	Кнопка «Сброс аварии»	Нажата
	кнПуск	Кнопка «Пуск»	Нажата
	кнСтоп	Кнопка «Стоп»	Нажата
	кнТВП	Кнопка «Толкатель вперед»	Нажата
	кнТНЗ	Кнопка «Толкатель назад»	Нажата
	кнПР	Кнопка «Подающий рольганг»	Нажата
	кнОР	Кнопка «Отводящий рольганг»	Нажата
	кнОЗ	Кнопка «Открыть заслонку»	Нажата
кнЗЗ	Кнопка «Закрыть заслонку»	Нажата	
Выходные сигналы контроллера	ТВП	включение привода толкателя для движения вперед	Есть
	ТНЗ	включение привода толкателя для движения назад	Есть
	ПР	включение привода подающего рольганга	Есть
	ОР	включение привода отводящего рольганга	Есть
	ПЗО	включение привода заслонки переднего окна для открытия	Есть

Продолжение таблицы 13.1

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
	ПЗЗ	включение привода заслонки переднего окна для закрытия	Есть
	ЗС	включение звукового сигнала	Есть
	СС	включение световой сигнализации	Есть
Входные сигналы контроллера	ЗПР	датчик, сигнализирующий о том, что заготовка поступила на подающий рольганг	Есть
	ЗОР	датчик, сигнализирующий о том, что заготовка поступила на отводящий рольганг	Есть
	КП	датчик, сигнализирующий о крайнем правом положении толкателя	Есть
	КЛ	датчик, сигнализирующий о крайнем левом положении толкателя	Есть
	ЗОП	датчик, сигнализирующий о том, что заготовка у приемного окна печи	Есть
	ДПВ	датчик, сигнализирующий о том, что заготовка превышает высоту 1м	Есть
	ДОЗ	датчик, сигнализирующий об открытом положении заслонки	Есть
	ДЗЗ	датчик, сигнализирующий о закрытом положении заслонки	Есть
	ЗОО	датчик, сигнализирующий об открытии заднего окна печи	Есть
	ЗПУ	датчик, сигнализирующий о том, что заготовка покинула участок	Есть

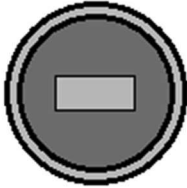











Питание	Автоматический	Ручной	Окно	Авария
			Сброс аварии 	Толкатель
				Подводящий рольганг
	Толкатель	Рольганги	Заслонка	Отводящий рольганг
				Заслонка
				Заслонка
				Датчики

Рисунок 13.1 – Пульт управления

14 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМАМИ ОБЪЕКТА

Программу для контроллера разделим условно–функционально на четыре блока: «блок управления толкателем», «блок управления рольгангами», «блок управления заслонкой» и «блок сигнализации».

14.1 Блок управления толкателем

14.1.1 Сигнал на включение привода толкателя для движения вперед возникает в автоматическом режиме если он находится в исходном положении, и заготовка находится напротив открытой заслонки печи, и сохраняется пока заготовка не покинет печь или толкатель не достигнет крайнего левого положения, в отсутствие сигналов «Стоп» и «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода толкателя для движения вперед возникает при нажатой кнопке «Толкатель вперед» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$ТВП = (АвтР \cdot (ДОЗ \cdot КП \cdot ЗОП + ТВП) \cdot \overline{ЗОО} \cdot \overline{КЛ} \cdot \overline{кнСтоп} + кнТВП \cdot РучР) \cdot \overline{Авария}.$$

14.1.2 Сигнал на включение привода толкателя для движения назад возникает в автоматическом режиме если он достиг крайнего левого положения или заготовка покинула печь, и сохраняется пока толкатель не вернется в свое исходное положение, в отсутствие сигналов «Стоп» и «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода толкателя для движения назад возникает при нажатой кнопке «Толкатель назад» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$ТНЗ = (АвтР \cdot (КЛ + ЗОО + ТНЗ) \cdot \overline{КП} \cdot \overline{кнСтоп} + кнТНЗ \cdot РучР) \cdot \overline{Авария}.$$

14.2 Блок управления рольгангами

14.2.1 Сигнал на включение привода подающего рольганга возникает в автоматическом режиме если на подающий рольганг попадает заготовка и нажата кнопка пуск или если высота заготовки превышает 1м, и сохраняется, пока заготовка не покинула участок, в отсутствие сигналов «Стоп» и «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода подающего рольганга

возникает при нажатой кнопке «Подводящий рольганг» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$PR = (AVTP \cdot (knpusk \cdot ZPR + DPV^{\uparrow 3C} + PR) \cdot \overline{ZPU} \cdot \overline{ZOP} \cdot \overline{kncstop} + knpr \cdot RuchP) \cdot \overline{Avaria}.$$

14.2.2 Сигнал на включение привода отводящего рольганга возникает в автоматическом режиме если на отводящий рольганг попадает заготовка, и сохраняется, пока заготовка не покинула участок, в отсутствие сигналов «Стоп» и «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода отводящего рольганга возникает при нажатой кнопке «Отводящий рольганг» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$OP = (AVTP \cdot (ZOP + OP) \cdot \overline{ZPU} \cdot \overline{kncstop} + knop \cdot RuchP) \cdot \overline{Avaria}.$$

14.3 Блок управления заслонкой

14.3.1 Сигнал на включение привода заслонки переднего окна для открытия возникает в автоматическом режиме если заслонка закрыта, заготовка подходит по высоте и находится у печи, при неподвижном подающем рольганге, и сохраняется пока заслонка переднего окна не откроется, в отсутствие сигналов «Стоп» и «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода заслонки переднего окна для открытия возникает при нажатой кнопке «Открыть заслонку» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$PZO = (AVTP \cdot (\overline{DPV} \cdot D33 \cdot ZOP \cdot \overline{PR} + PZO) \cdot \overline{DO3} \cdot \overline{kncstop} + knpzo \cdot RuchP) \cdot \overline{Avaria}.$$

14.3.2 Сигнал на включение привода заслонки переднего окна для закрытия возникает в автоматическом режиме если заслонка открыта и толкатель вернулся в исходное положение, и сохраняется пока заслонка переднего окна не закроется, в отсутствие сигналов «Стоп» и «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода заслонки переднего окна для закрытия возникает при нажатой кнопке «Закрыть заслонку» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$P33 = (AVTP \cdot (KP \cdot OP + P33) \cdot \overline{D33} \cdot \overline{kncstop} + knp33 \cdot RuchP) \cdot \overline{Avaria}.$$

14.4 Блок сигнализации

14.4.1 Сигнал аварии возникает при неисправности механизмов и датчиков, в отсутствие нажатой кнопки «Сброс Аварии»:

$$\text{Авария} = (\text{АврПТ} + \text{АврПР} + \text{АврОР} + \text{АврПЗ} + \text{АврД} + \text{Авария}) \cdot \overline{\text{СбросА.}}$$

14.4.2 Сигнал неисправности датчиков возникает при неправильной комбинации сигналов с датчиков технологической информации, в отсутствие нажатой кнопки «Сброс Аварии»:

$$\text{АврД} = (\text{КП} \cdot \text{КЛ} + \text{ДПВ} \cdot \text{ДОЗ} + \text{КЛ} \cdot \text{ДЗЗ} + \text{ЗПУ} \cdot \text{ЗОП} + \text{АврД}) \cdot \overline{\text{СбросА.}}$$

14.4.3 Сигнал на включение звукового сигнала возникает при открытии заслонки и выходе заготовки из печи:

$$\text{ЗС} = \text{ПЗО} + \text{ЗОО.}$$

14.4.3 Сигнал на включение световой сигнализации возникает при открытии заслонки и выходе заготовки из печи:

$$\text{СС} = \text{ПЗО} + \text{ЗОО.}$$

15 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

15.1 На основе описания технологического процесса, автоматизируемого объекта, определенных входных и выходных команд составлена схема электрическая функциональная, представленная на рисунке 15.1.

15.2 В рассматриваемой системе автоматизации можно выделить следующие функциональные элементы:

- пульт управления (ПУ);
- блок управления (БУ);
- системы управления двигателями (СУД);
- приводной двигатель (М1) толкателя;
- приводной двигатель (М2) подающего рольганга;
- приводной двигатель (М3) отводящего рольганга;
- приводной двигатель (М4) заслонки;
- звуковая сигнализация (ВА1);
- световая сигнализация (НЛ1 и НЛ2);
- датчики технологической информации (ЗПР, ЗОР, КП, КЛ и т.д.);
- блок питания (БП).

15.3 На функциональной схеме продемонстрирована взаимосвязь отдельных элементов системы автоматизации.

15.4 На пульте управления предусмотрены:

- индикационные светодиодные лампы с целью индикации состояния системы (режима работы): «Питание», «Автоматический», «Ручной», «Авария», «Открыто переднее окно», «Неисправность привода толкателя», «Неисправность привода подающего рольганга», «Неисправность привода отводящего рольганга», «Неисправность привода заслонки переднего окна», «Неисправность датчиков»;
- кнопки управления «Пуск», «Стоп», «Толкатель вперед», «Толкатель назад», «Подающий рольганг», «Отводящий рольганг», «Открыть заслонку», «Заккрыть заслонку», а также кнопка «Сброс аварии»;

– переключатель положений автоматического и ручного режима работы.

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

					<i>ЮЧрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		51

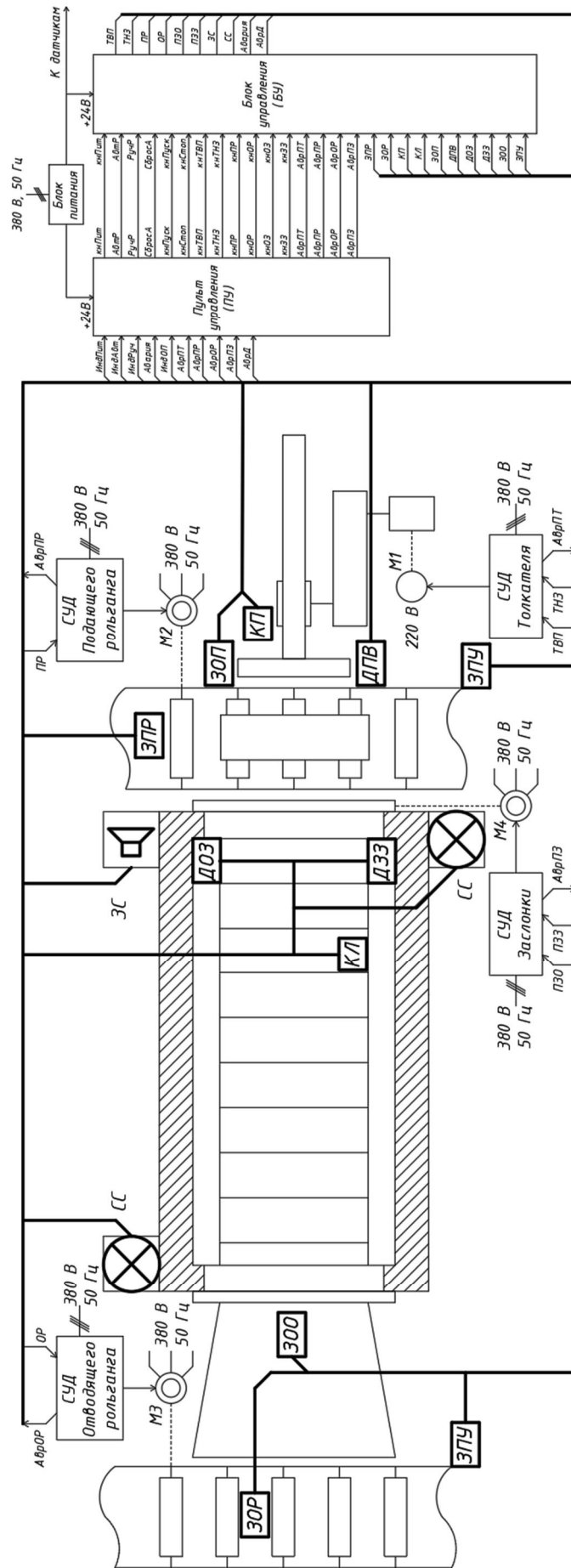


Рисунок 15.1 – Функциональная схема системы автоматизации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ

Лист

52

16 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

16.1 Выбор блока управления

Для управления работой системы нам необходим контроллер, который содержит как минимум 25 входных и 10 выходных сигналов.

Под эти условия подходит промышленный контроллер FX3G-60MR/DS, производства «Mitsubishi». Его основные характеристики занесены в таблицу 16.1

Таблица 16.1 – Технические характеристики контроллера FX3G-60MR/DS

Наименование параметра	Размерность	Значение
Напряжение питания	В	24 DC
Ток питания	мА	400
Время выполнения команды	мкс	0,21
Количество входных сигналов		36
Количество выходных сигналов	—	24
Память	шагов	32 000
Условия эксплуатации	°С	0...55



Рисунок 16.1 – Внешний вид контроллера FX3G-60MR/DS

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ

Лист

53

16.2 Выбор датчиков технологической информации

Для контроля положений механизмов и местоположения заготовки выберем оптический датчик BEN5M-MFR фирмы «Autonics». Датчик состоит из излучателя и приемника, встроенных в корпус.

Оптическое излучение инфракрасного спектра от излучателя попадает на световозвращатель (катафот) и, отражаясь от него, попадает в приемник датчика. Контролируемый объект, попадая в зону действия датчика, прерывает оптическое излучение и вызывает изменение выходного сигнала датчика.



Рисунок 16.2 – Внешний вид оптического датчика BEN5M-MFR

Таблица 16.2 – Технические параметры оптического датчика BEN5M-MFR

Наименование параметра	Размерность	Значение
Напряжение питания	В	24 DC
Подключение	—	Трехпроводной кабель, 2м
Выход		PNP
Номинальный ток	мА	100
Зона чувствительности	м	до 5

16.3 Выбор блока питания

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

Рассчитаем эту мощность:

$$P_{\text{Потр}} = U_{\text{контр.}} \cdot I_{\text{контр}} + 10 \cdot U_{\text{Датч}} \cdot I_{\text{Датч}}$$

$$P_{\text{Потр}} = 24 \cdot 0,4 + 10 \cdot 24 \cdot 0,1 = 33,6 \text{ Вт.}$$

По полученной мощности выберем блок питания LRS-35-24 — AC/DC преобразователь мощностью 36 Вт, производства компании «Mean Well». Его технические характеристики представлены в таблице 16.3.

Таблица 16.3 – Технические характеристики источника питания LRS-35-24

Наименование параметра	Размерность	Значение
Входное напряжение	В	85...264
Выходное напряжение		24
Выходная мощность	Вт	36
Выходной ток, до	А	1,5
КПД	%	90



Рисунок 16.3 – Внешний вид блока питания LRS-35-24

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ

Лист

55

16.4 Выбор электродвигателей

Электродвигатели выберем фирмы «Электромотор» серии АИР, благодаря простоте конструкции, отсутствию подвижных контактов, высокой ремонтпригодности, невысокой цене по сравнению с другими электрическими двигателями применяются практически во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства. Они используются для привода вентиляционного оборудования, насосов, компрессорных установок, станков, эскалаторов и многих других машин.

Для использования в качестве привода рольгангов выбираем трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АИР90L6.

Таблица 16.3 – Номинальные данные электродвигателя АИР90L6

Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Ином, А	Ипуск, о.е.	КПД , %	Коэффициен т мощности	Масса , кг
1,5	935	4,2	5	76	0,76	20,6

Для использования в качестве привода заслонки выбираем трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АИР80B6.

Таблица 16.4 – Номинальные данные электродвигателя АИР80B6

Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Ином, А	Ипуск, о.е.	КПД , %	Коэффициен т мощности	Масса , кг
1,1	1400	3,2	5,5	72	0,73	20

16.5 Выбор преобразователей частоты

Для привода рольгангов выберем преобразователь частоты фирмы «Mitsubishi Electric» серии FR-D700.

Таблица 16.5 – Номинальные данные FR-D740-050-E11

Модель	Напряжение на входе, В	Номинальный ток на выходе, А	Допустимая мощность двигателя, кВт
FR-D740-050-E11	380...480	5	2,2

Для привода заслонки выберем преобразователь частоты фирмы «Mitsubishi Electric» серии FR-D700.

Таблица 16.6 – Номинальные данные FR-D740-036-E11

Модель	Напряжение на входе, В	Номинальный ток на выходе, А	Допустимая мощность двигателя, кВт
FR-D740-036-E11	380...480	3,6	1,5

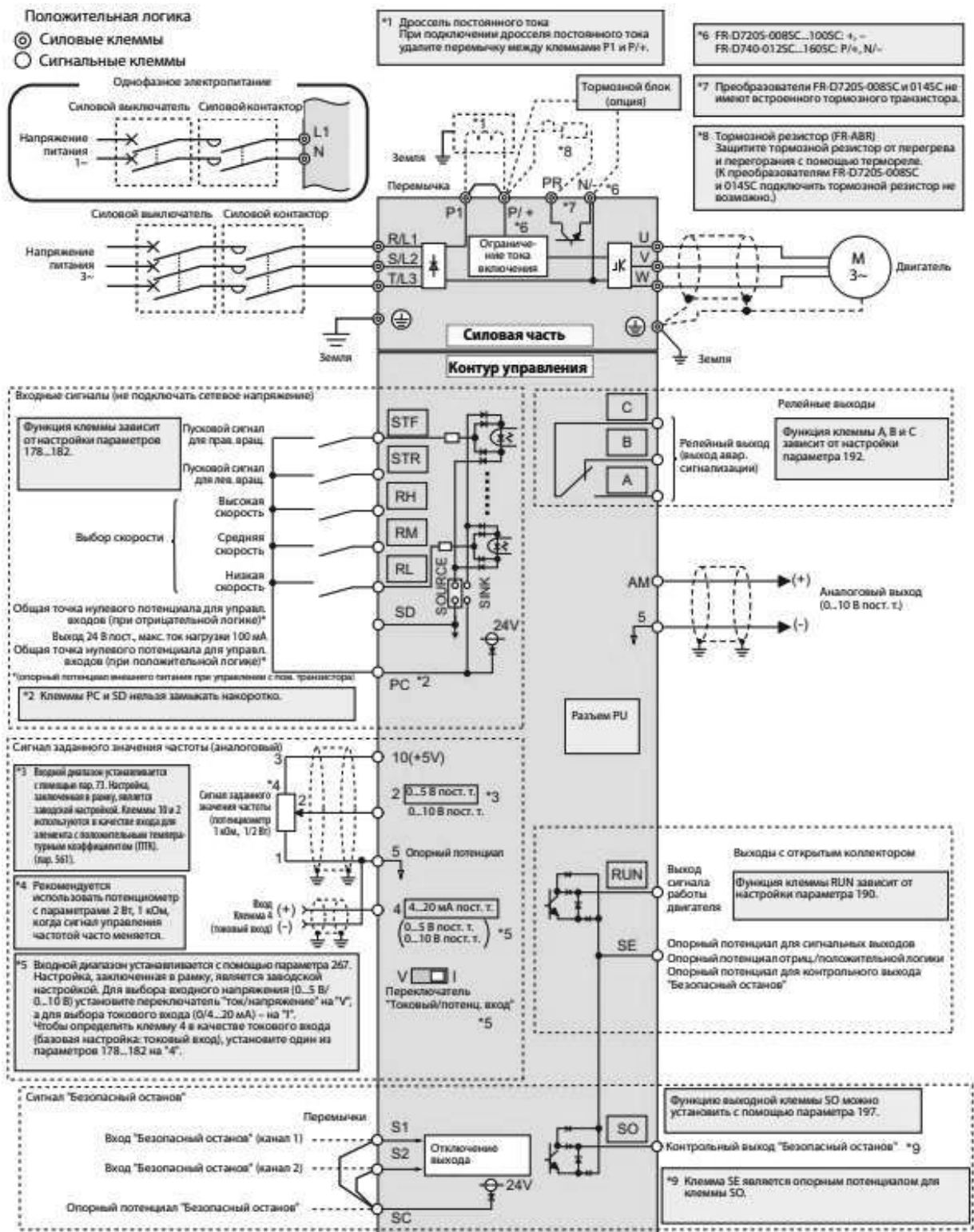


Рисунок 16.4 – Схема подключения FR-D700

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

17 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ

17.1 В соответствии с выбранной элементной базой и разработанной функциональной схемой системы автоматизации (рисунок 15.1) была составлена принципиальная схема (чертеж ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.02 ЭЗ).

17.2 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–QF5 обеспечивают питание систем управления двигателями и защищают их от токов короткого замыкания.

17.3 Блок питания G1 с выходным напряжением 24 В подает питание на основные низковольтные элементы пульта управления A1, контроллер A2 и датчики SQ1–SQ10.

17.4 Пульт A1 обеспечивает управление всем технологическим процессом в ручном и автоматическом режиме, а также индикацию режимов работы системы и ее неисправности.

17.5 Автоматизация технологического процесса реализуется программируемым контроллером A2. Входные сигналы поступают с пульта управления A1, датчиков технологической информации SQ1–SQ10, а выходные сигналы подаются на преобразователи частоты двигателей UZ1–UZ4, динамик BA1, световую сигнализацию HL1/HL2 и индикацию пульта управления HL4–HL12.

17.6 В данной системе автоматизации для фиксации положений механизмов используются датчики SQ1–SQ10. Выходы датчиков подключены к контроллеру A2.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		59

18 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

18.1 На основе приведенных в п. 14 логических уравнений, а также с учетом подключения входных и выходных цепей к программируемому контроллеру FX3G-60MR/DS, представленному на электрической принципиальной ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.02 ЭЗ, создадим программу.

18.2 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 18.1

Таблица 18.1 – Адреса переменных FX3G-60MR/DS

№ п/п	Наименование сигнала, таймера, счетчиков или переменной	Обозначение переменной	Адрес	Связывающий элемент
	Входные сигналы			
1	Переключатель «Автоматический режим»	Автр	X0	SA2.1
2	Переключатель «Ручной режим»	Ручр	X1	SA2.2
3	Кнопка «Сброс Аварии»	СбросА	X2	SB2
4	Кнопка «Пуск»	кнПуск	X3	SB3
5	Кнопка «Стоп»	кнСтоп	X4	SB4
6	Кнопка «Толкатель вперед»	кнТВП	X5	SB5
7	Кнопка «Толкатель назад»	кнТНЗ	X6	SB6
8	Кнопка «Подающий рольганг»	кнПР	X7	SB7
9	Кнопка «Отводящий рольганг»	кнОР	X10	SB8
10	Кнопка «Открыть заслонку»	кнОЗ	X11	SB9
11	Кнопка «Закреть заслонку»	кнЗЗ	X12	SB10
12	Лампа индикации «Неисправность привода толкателя»	АврПТ	X13	HL6
13	Лампа индикации «Неисправность привода подающего рольганга»	АврПР	X14	HL7

Продолжение таблицы 18.1

№ п/п	Наименование сигнала, таймера, счетчиков или переменной	Обозначение переменной	Адрес	Связывающий элемент
14	Лампа индикации «Неисправность привода отводящего рольганга»	АврОР	X15	HL8
15	Лампа индикации «Неисправность привода заслонки переднего окна»	АврПЗ	X16	HL9
16	датчик, сигнализирующий о том, что заготовка поступила на подающий рольганг	ЗПР	X17	SQ1
17	датчик, сигнализирующий о том, что заготовка поступила на отводящий рольганг	ЗОР	X20	SQ2
18	датчик, сигнализирующий о крайнем правом положении толкателя	КП	X21	SQ3
19	датчик, сигнализирующий о крайнем левом положении толкателя	КЛ	X22	SQ4
20	датчик, сигнализирующий о том, что заготовка у приемного окна печи	ЗОП	X23	SQ5
21	датчик, сигнализирующий о том, что заготовка превышает высоту 1м	ДПВ	X24	SQ6
22	датчик, сигнализирующий об открытом положении заслонки	ДОЗ	X25	SQ7
23	датчик, сигнализирующий о закрытом положении заслонки	ДЗЗ	X26	SQ8
24	датчик, сигнализирующий об открытии заднего окна печи	ЗОО	X27	SQ9
25	датчик, сигнализирующий о том, что заготовка покинула участок	ЗПУ	X30	SQ10

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ

Лист

61

Продолжение таблицы 18.1

№ п/п	Наименование сигнала, таймера, счетчиков или переменной	Обозначение переменной	Адрес	Связывающий элемент
	Выходные сигналы			
26	включение привода толкателя для движения вперед	ТВП	Y0	UZ1
27	включение привода толкателя для движения назад	ТНЗ	Y1	UZ1
28	включение привода подающего рольганга	ПР	Y2	UZ2
29	включение привода отводящего рольганга	ОР	Y3	UZ4
30	включение привода заслонки переднего окна для открытия	ПЗО	Y4	UZ3
31	включение привода заслонки переднего окна для закрытия	ПЗЗ	Y5	UZ3
32	включение звукового сигнала	ЗС	Y6	BA1
33	включение световой сигнализации	СС	Y7	HL1, HL2
34	Лампа индикации «Авария»	Авария	Y10	HL11
35	Лампа индикации «Неисправность датчиков»	АврД	Y11	HL12
	Таймеры и счетчики			
1	Задержка включения подающего рольганга	ДПВ [↑] ЗС	T0	—

18.3 Уравнения с учетом адресации контроллера представлены в таблице 18.2.

Таблица 18.2 – Уравнения в адресации контроллера FX3G-60MR/DS

Команда	Уравнения в адресах ПЛК
Y0	$Y0 = (X0 \cdot (X25 \cdot X21 \cdot X23 + Y0) \cdot \overline{X27} \cdot \overline{X22} \cdot \overline{X4} + X5 \cdot X1) \cdot \overline{Y10}$
Y1	$Y1 = (X0 \cdot (X22 + X27 + Y1) \cdot \overline{X21} \cdot \overline{X4} + X6 \cdot X1) \cdot \overline{Y10}$
Y2	$Y2 = (X0 \cdot (X3 \cdot X17 + T0 + Y2) \cdot \overline{X30} \cdot \overline{X23} \cdot \overline{X4} + X7 \cdot X1) \cdot \overline{Y10}$
Y3	$Y3 = (X0 \cdot (X20 + Y3) \cdot \overline{X30} \cdot \overline{X4} + X10 \cdot X1) \cdot \overline{Y10}$
Y4	$Y4 = (X0 \cdot (\overline{X24} \cdot X26 \cdot X23 \cdot \overline{Y2} + Y4) \cdot \overline{X25} \cdot \overline{X4} + X11 \cdot X1) \cdot \overline{Y10}$
Y5	$Y5 = (X0 \cdot (X21 \cdot Y3 + Y5) \cdot \overline{X26} \cdot \overline{X4} + X12 \cdot X1) \cdot \overline{Y10}$
Y6	$Y6 = Y4 + X27$
Y7	$Y7 = Y4 + X27$
Y10	$Y10 = (X13 + X14 + X15 + X16 + Y11 + Y10) \cdot \overline{X2}$
Y11	$Y11 = (X21 \cdot X22 + X24 \cdot X25 + X22 \cdot X26 + X30 \cdot X23 + Y11) \cdot \overline{X2}$
T0	T0 = X24, с уставкой 3с

18.4 Лестничная диаграмма

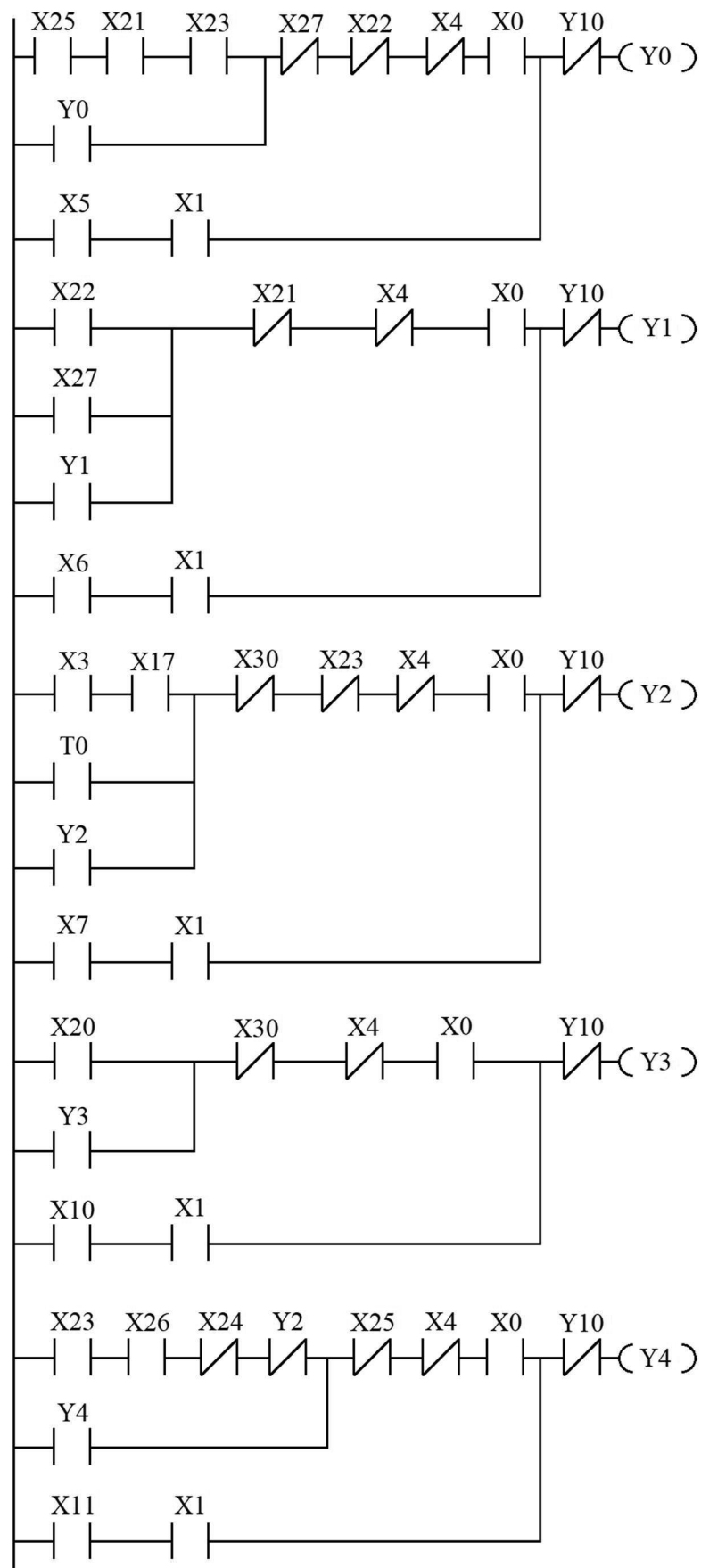


Рисунок 18.1 – Лестничная диаграмма системы автоматизации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ

Лист

64

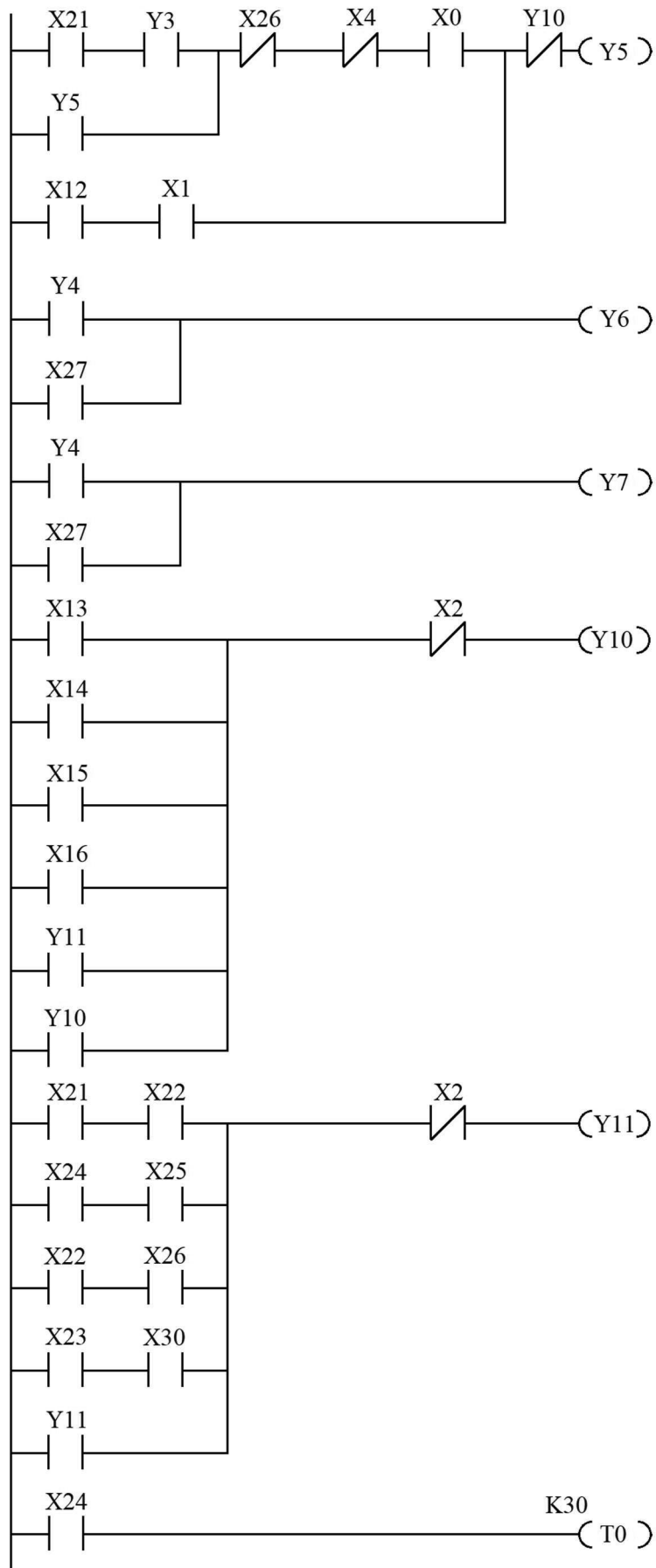


Рисунок 18.2 – Лестничная диаграмма системы автоматизации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой части работы произведен расчет и выбор электропривода толкателя для перемещения заготовок по поду печи. Был выбран электропривод с применением двигателя постоянного тока серии Д12 и червячного редуктора Ч-80. Для управления двигателем установлен тиристорный преобразователь «ABB» DCS800-S02-0025-04. С помощью программного обеспечения Excel и Matlab выполнено построение статических и динамических характеристик электропривода.

Вторая половина выпускной квалификационной работы представляет собой разработку системы автоматизации подачи печных заготовок. После составления списка сигналов и написания алгоритма работы было выбрано оборудование для реализации технологического процесса на реальных элементах.

Взяв за основу расчеты и основные технические решения пояснительной записки, были построены электрическая функциональная и принципиальная схемы работы системы автоматизации процесса подачи печных заготовок.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						66
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Драчев, Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие к курсовому проектированию / Г.И. Драчев. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2012. – 168 с.
2. Ключев, В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. / В.И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
3. Вешеневский, С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе / С.Н. Вешеневский. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.
4. Яуре, А.Г. Крановый электропривод: Справочник / А.Г. Яуре, Е.М. Певзнер. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 344 с.
5. Анфимов, М.И. Редукторы. Конструкция и расчет / М.И. Анфимов. – М.: Машиностроение, 1993. – 463 с.
6. Каталог преобразователей – <https://abb.com>.
7. Борисов, А.М. Автоматизация технологических процессов (технологические средства, проектирование, лабораторный практикум): учебное пособие в 2 ч. / А.М. Борисов, Н.Е. Лях. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2001. – Ч.1. – 404 с.
8. Борисов, А.М. Программируемые устройства автоматизации: учебное пособие / А.М. Борисов, А.С. Нестеров, Н.А. Логинова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 186 с.

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»

Автоматизация подачи печных заготовок

АЛЬБОМ ИЛЛЮСТРАЦИЙ
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ПО ПРОГРАММЕ БАКАЛАВРИАТА
«ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»
ЮУрГУ–13.03.02.2020.183.АИ ВКР

Количество листов 16

Руководитель, д.т.н. профессор

_____ / В.Л. Кодкин /

« _____ » _____ 2020 г.

Автор работы,

бакалавр группы П–476

_____ / А.М. Угрюмов /

« _____ » _____ 2020 г.

Нормоконтролер, к.т.н., доцент

_____ / Т.А. Функ /

« _____ » _____ 2020 г.

Челябинск 2020

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОДАЧИ ПЕЧНЫХ ЗАГОТОВОК

Автор работы: Угрюмов Алексей Михайлович

Руководитель: Кодкин Владимир Львович

Челябинск, 2020 г.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Целью работы является разработка системы автоматизации процесса подачи печных заготовок, с использованием электропривода и программируемого контроллера.

Задачи работы:

1. Расчет и выбор электродвигателя согласно исходным данным, его проверка по производительности и нагреву.
2. Выбор подходящего силового и слаботочного оборудования для автоматизации.
3. Разработка алгоритма автоматизации и программного обеспечения для контроллера.
4. Синтез функциональной и принципиальной схем.

ОПИСАНИЕ РАБОЧЕЙ МАШИНЫ

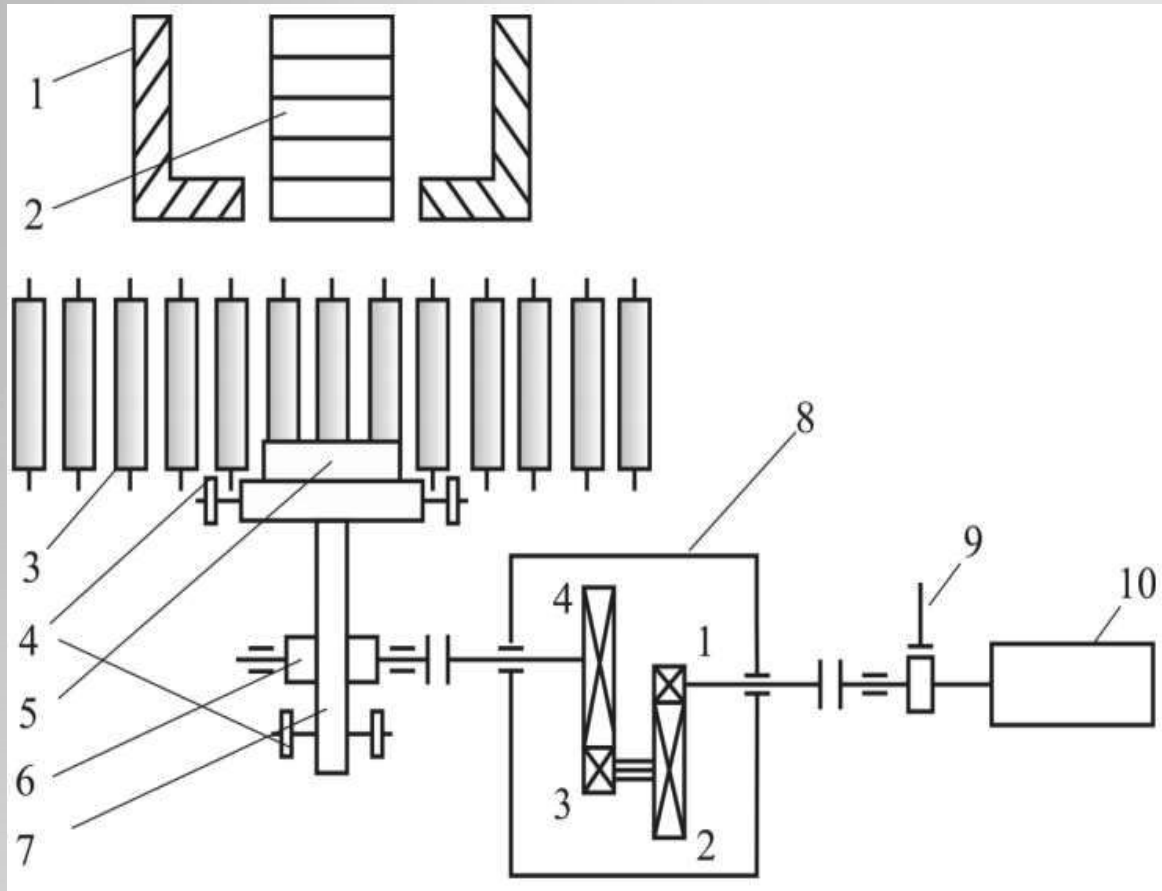


Рисунок 1 – Кинематическая схема толкателя

- 1 – печь;
- 2 – заготовки в печи;
- 3 – подающий рольганг;
- 4 – опорный ролик;
- 5 – заготовка;
- 6 – реечная шестерня;
- 7 – толкатель;
- 8 – редуктор;
- 9 – тормозной шкив;
- 10 – электродвигатель.

МОМЕНТЫ РАБОЧЕГО ОРГАНА

$$M_{\text{родин1}}^{\text{P}} = 100,4 \cdot \frac{2 \cdot 1}{0,6} = 334,67 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad M_{\text{родин2}}^{\text{P}} = 262,4 \cdot \frac{2 \cdot 1}{0,6} = 874,67 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad M_{\text{родин}}^{\text{B}} = 100,4 \cdot \frac{2 \cdot 1}{0,6} = 334,67 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Первый участок – разгон толкателя без заготовки:

$$M_{\text{ро}}^1 = M_{\text{рост12}}^{\text{P}} + M_{\text{родин1}}^{\text{P}} = 55,2 + 334,67 = 389,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Второй участок – подход к первой заготовке:

$$M_{\text{ро}}^2 = M_{\text{рост12}}^{\text{P}} = 55,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Третий участок – равномерное движение толкателя с заготовкой:

$$M_{\text{ро}}^3 = M_{\text{рост3}}^{\text{P}} = 231,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Четвертый участок – движения толкателя вместе с заготовками:

$$M_{\text{ро}}^4 = M_{\text{рост45}}^{\text{P}} = 1114,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пятый участок – торможение толкателя вместе с заготовками:

$$M_{\text{ро}}^5 = M_{\text{рост45}}^{\text{P}} - M_{\text{родин2}}^{\text{P}} = 1114,7 - 874,67 = 240 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Шестой участок – время паузы:

$$M_{\text{ро}}^6 = 0.$$

Седьмой участок – разгон толкателя без заготовки:

$$M_{\text{ро}}^7 = M_{\text{рост}}^{\text{B}} + M_{\text{родин}}^{\text{B}} = 55,2 + 334,67 = 389,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Восьмой участок – равномерное движение толкателя без заготовки:

$$M_{\text{ро}}^8 = M_{\text{рост}}^{\text{B}} = 55,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Девятый участок – торможение толкателя без заготовки:

$$M_{\text{ро}}^9 = M_{\text{рост}}^{\text{B}} - M_{\text{родин}}^{\text{B}} = 55,2 - 334,67 = -279,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

НАГРУЗОЧНАЯ ДИАГРАММА РАБОЧЕГО ОРГАНА

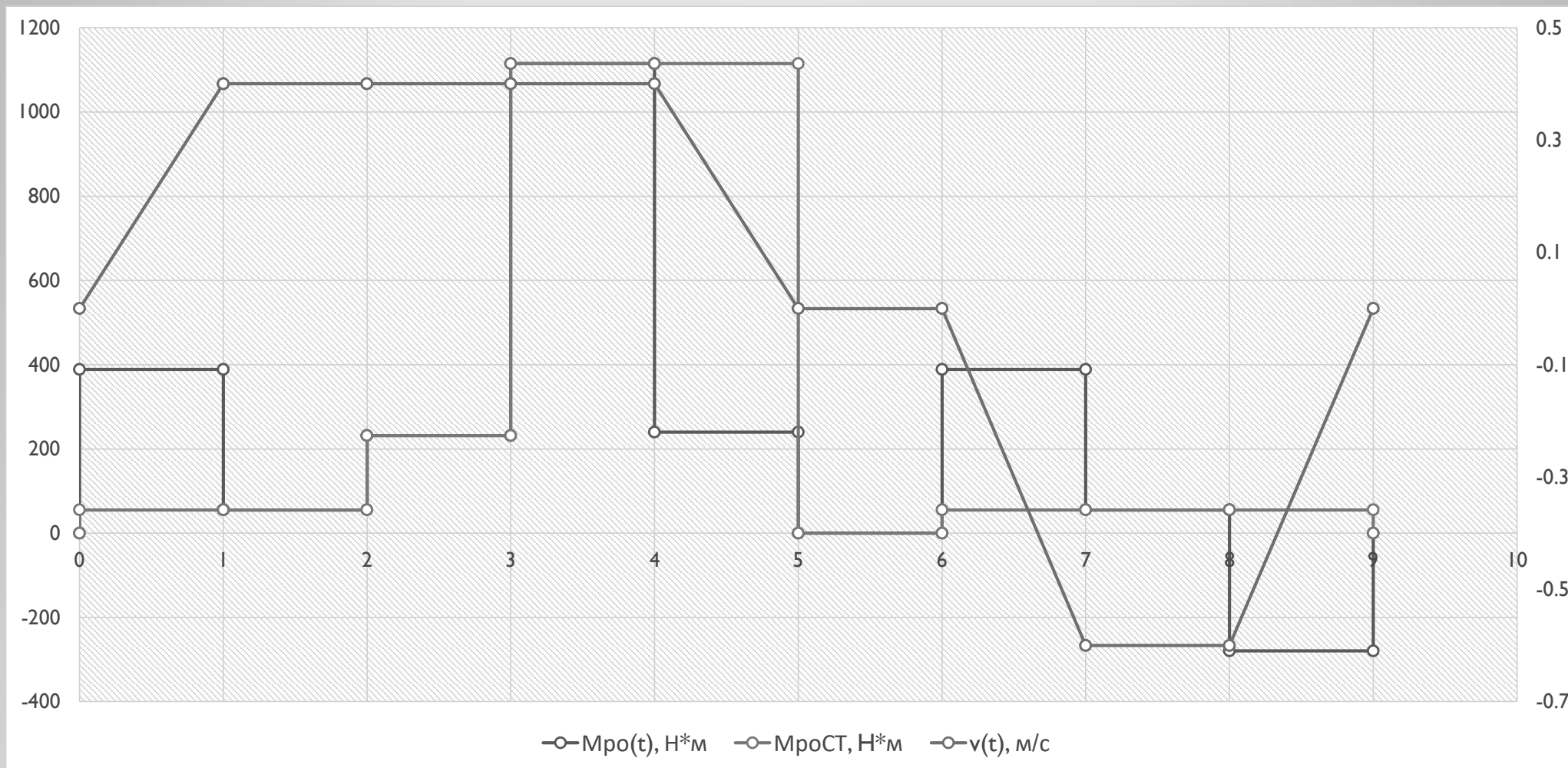


Рисунок 2 – Нагрузочная диаграмма работы толкателя

ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В результате расчетов была получена мощность электродвигателя:

$$P_{\text{дв}} = 461 \text{ Вт}$$

По рассчитанной мощности был выбран двигатель постоянного тока Д12.

Таблица 1 – Номинальные данные электродвигателя Д12

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
U_n	Номинальное напряжения на якоре	В	220
P_n	Номинальная мощность на валу	кВт	2,4
n_n	Номинальная частота вращения	об/мин	1230
I_n	Номинальный ток якоря	А	14
I_v	Номинальный ток возбуждения	А	0,7
$J_{\text{дв}}$	Момент инерции двигателя	кгм ²	0,05
$r_{\text{я}}$	Сопrotивление обмотки якоря	Ом	1,63

ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Выбор преобразователя выполнен согласно следующим условиям:

$$U_{\text{НТП}} \geq U_{\text{НЛ}};$$

$$I_{\text{НТП}} \geq I_{\text{Н}}.$$

Установлен тиристорный преобразователь фирмы «ABB» DCS800

Таблица 2 – Характеристики преобразователя DCS800-S02-0025-04



Технический параметр	Значение
Модель	DCS800-S02-0025-04
Напряжение питания, В	3x400 В ± 10%
Ном. мощность электродвигателя, кВт	9
Номинальная входная частота, Гц	50 ± 10%
Выходной постоянный ток, А	20/25
Номинальный ток якоря, А	25

Рисунок 3 – Внешний вид DCS800

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

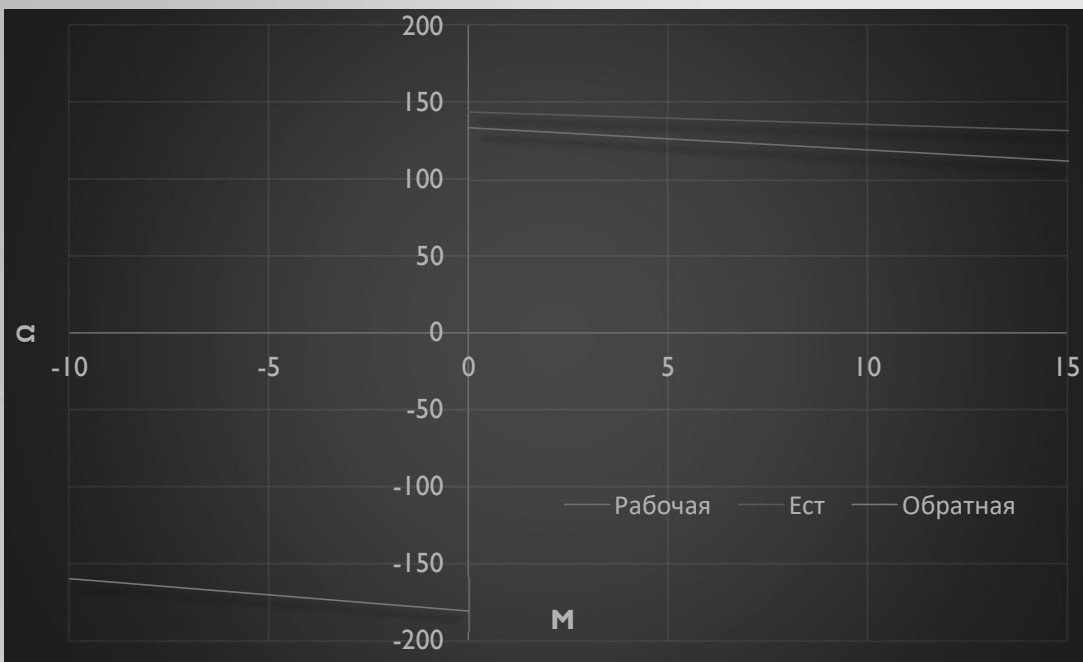


Рисунок 4 – Искусственные механические характеристики

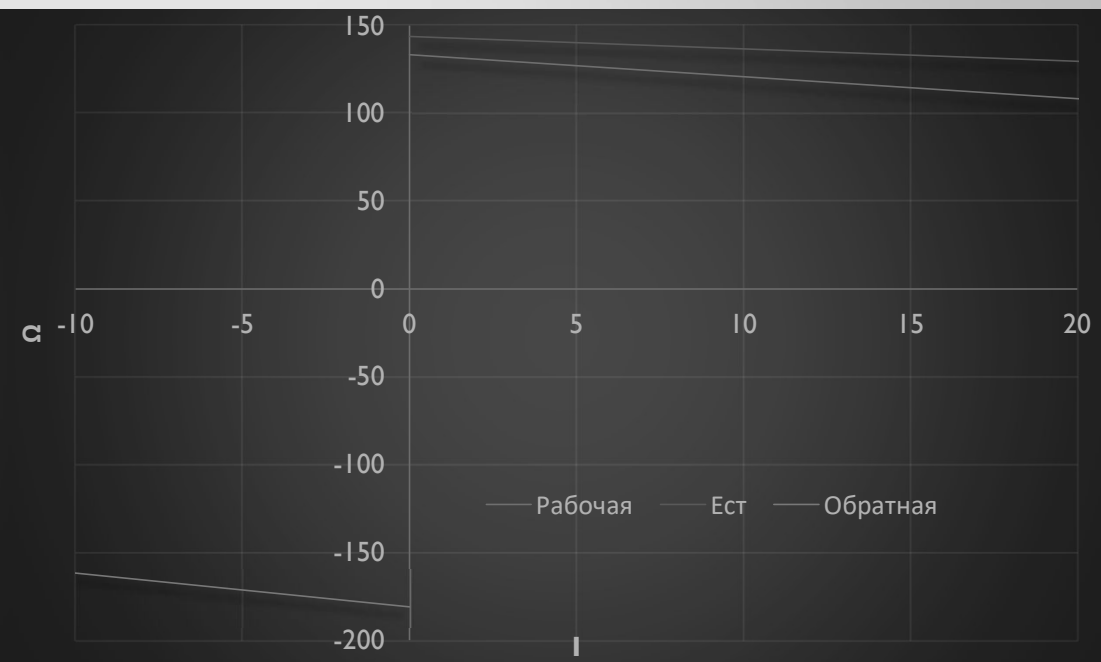


Рисунок 5 – Искусственные электромеханические характеристики

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

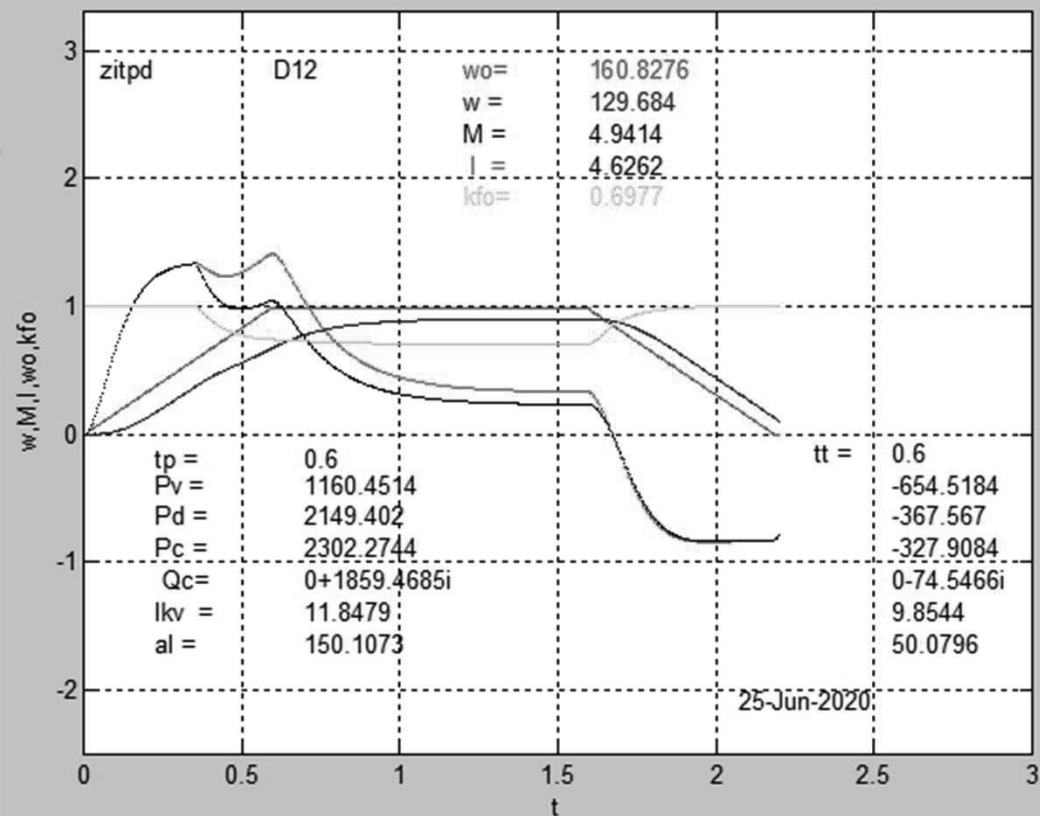
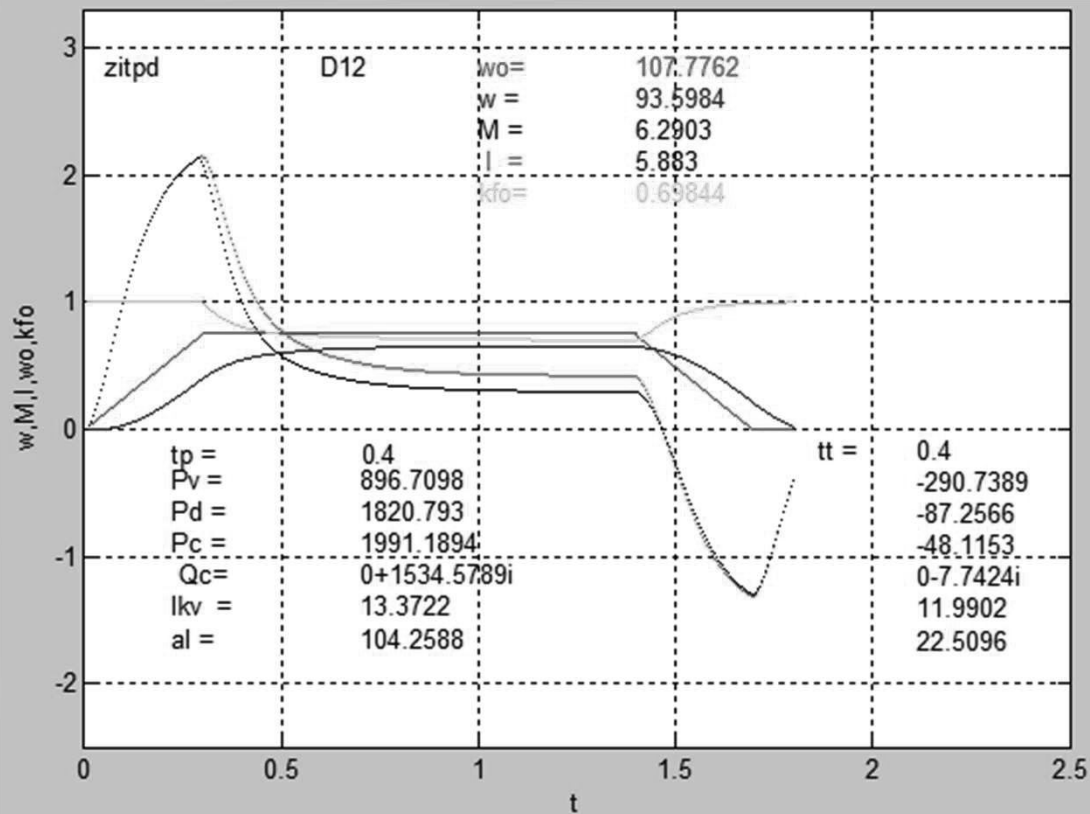


Рисунок 6 – Переходные процессы пуска и торможения с заготовкой

Рисунок 7 – Переходные процессы пуска и торможения без заготовки

ОПИСАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

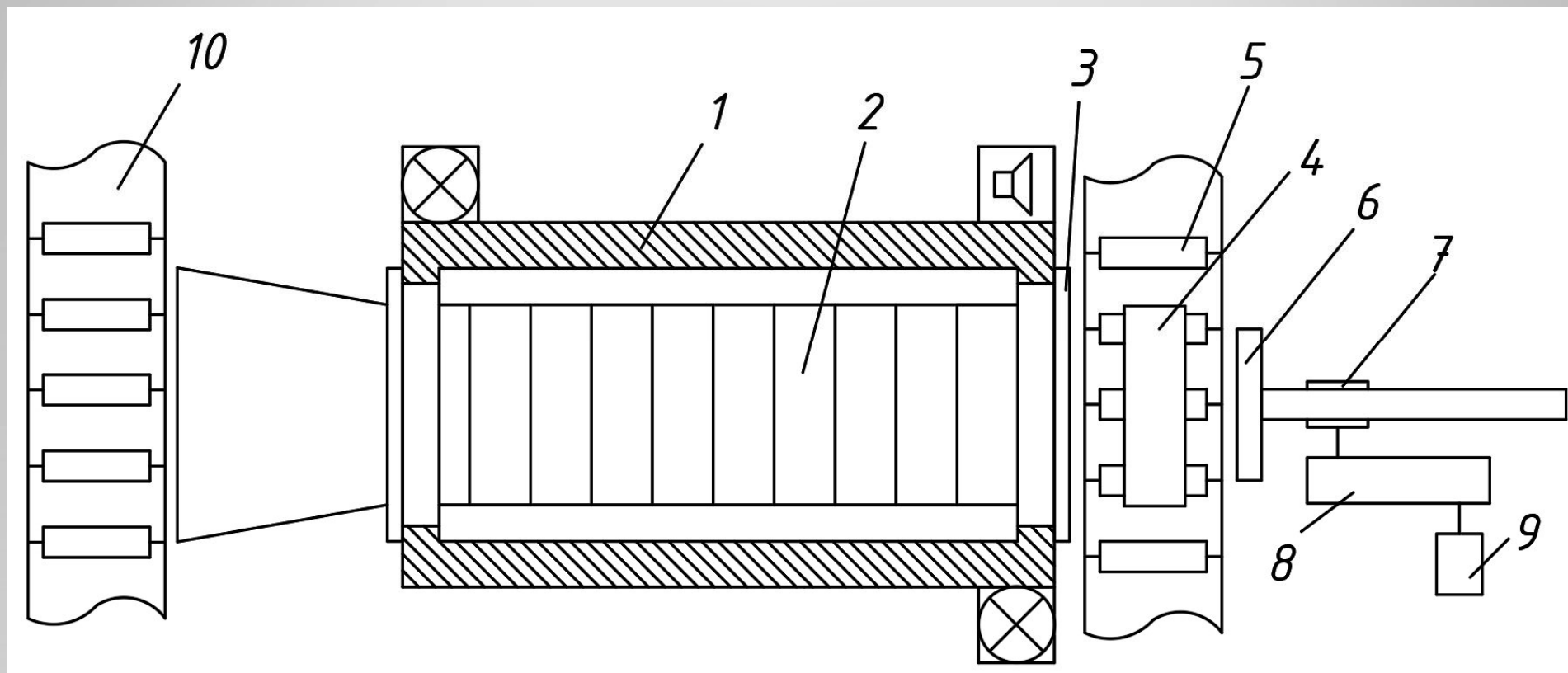


Рисунок 8 – Участок подачи печных заготовок

1- методическая печь, 2 – заготовка в печи, 3 – заслонка, 4 – заготовка, 5 – подающий рольганг, 6 – толкатель, 7 – реечная шестерня, 8 – редуктор, 9 – электродвигатель толкателя, 10 – отводящий рольганг.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА

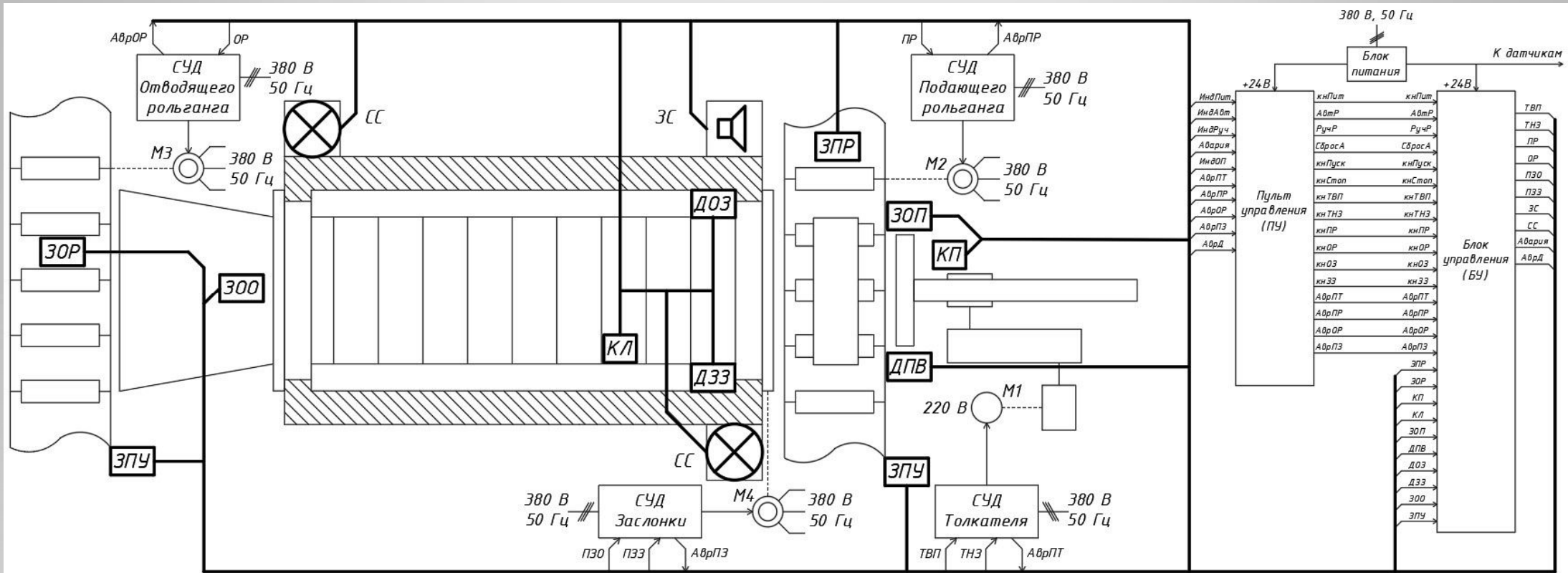


Рисунок 9 – Функциональная схема системы автоматизации процесса подачи печных заготовок

ВЫБОР БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ

Для управления системой автоматизации установи программируемый контроллер контроллер FX3G-60MR/DS, производства «Mitsubishi».



Рисунок 10 – Внешний вид FX3G-60MR/DS

Таблица 3 – Основные характеристики FX3G-60MR/DS

Наименование параметра	Размерность	Значение
Напряжение питания	В	24 DC
Ток питания	мА	400
Время выполнения команды	мкс	0,21
Количество входных сигналов		36
Количество выходных сигналов	—	24
Память	шагов	32 000
Условия эксплуатации	°С	0...55

ДАТЧИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Для контроля положений механизмов и местоположения заготовки выберем оптический датчик BEN5M-MFR фирмы «Autonics». Датчик состоит из излучателя и приемника, встроенных в корпус.

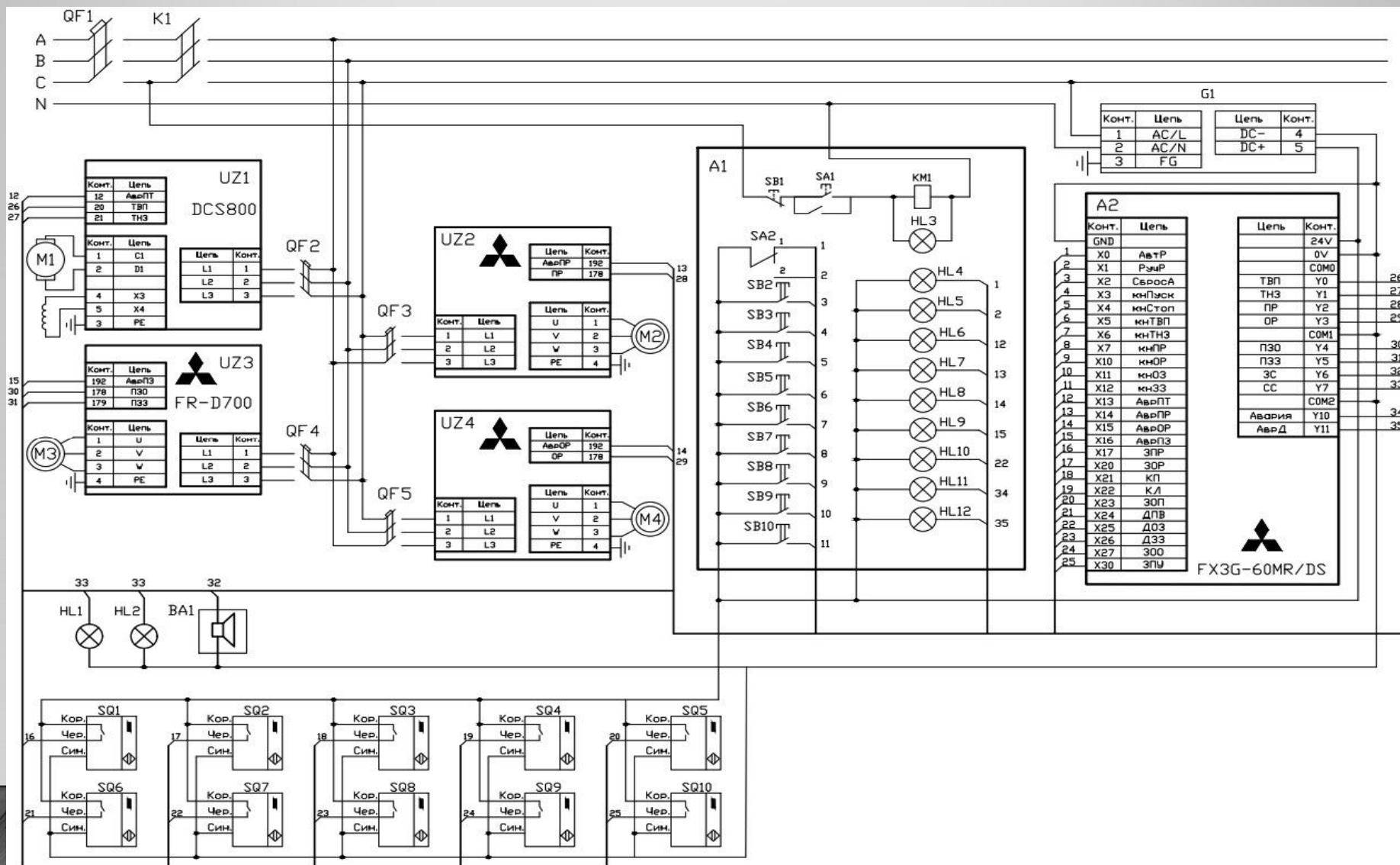
Таблица 4 – Технические характеристики оптического датчика BEN5M-MFR

Наименование параметра	Размерность	Значение
Напряжение питания	В	24 DC
Подключение	—	Трехпроводной кабель, 2м
Выход		PNP
Номинальный ток	мА	100
Зона чувствительности	м	до 5



Рисунок 11 – Внешний вид BEN5M-MFR

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ



РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Произведен расчет и выбор электропривода толкателя для перемещения заготовок по поду печи. Был выбран электропривод с применением двигателя постоянного тока серии Д12 и червячного редуктора Ч-80. Для управления двигателем установлен тиристорный преобразователь «ABB» DCS800-S02-0025-04. С помощью программного обеспечения Excel и Matlab выполнено построение статических и динамических характеристик электропривода.
2. Во второй части выпускной квалификационной работы произведена разработка системы автоматизации подачи печных заготовок. После составления списка сигналов и написания алгоритма работы было выбрано оборудование для реализации технологического процесса на реальных элементах.
3. Взяв за основу расчеты и основные технические решения пояснительной записки, были построены электрическая функциональная и принципиальная схемы работы системы автоматизации процесса подачи печных заготовок.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !

Перв. примен.

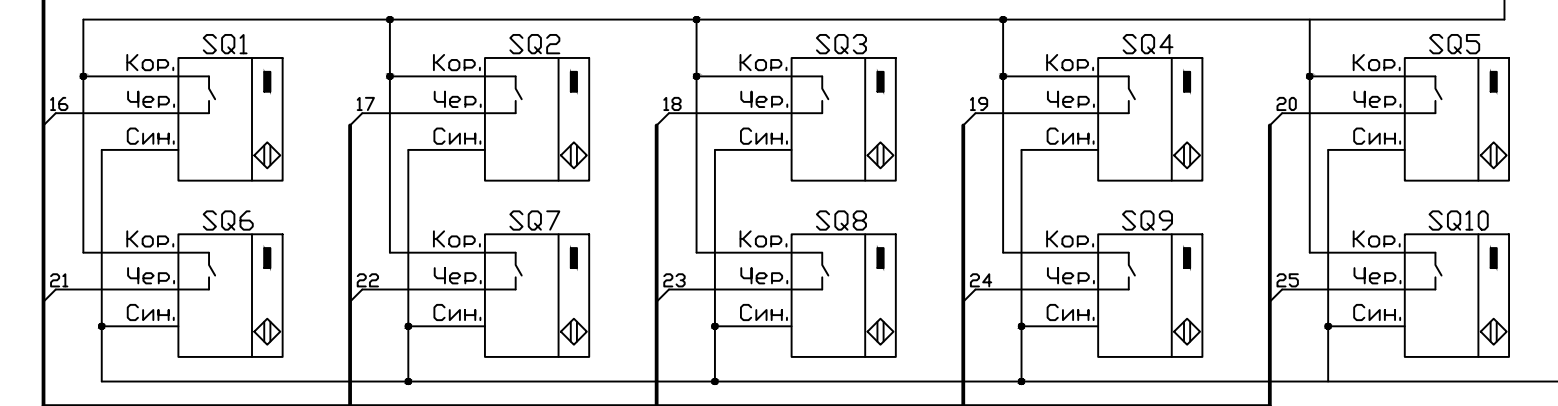
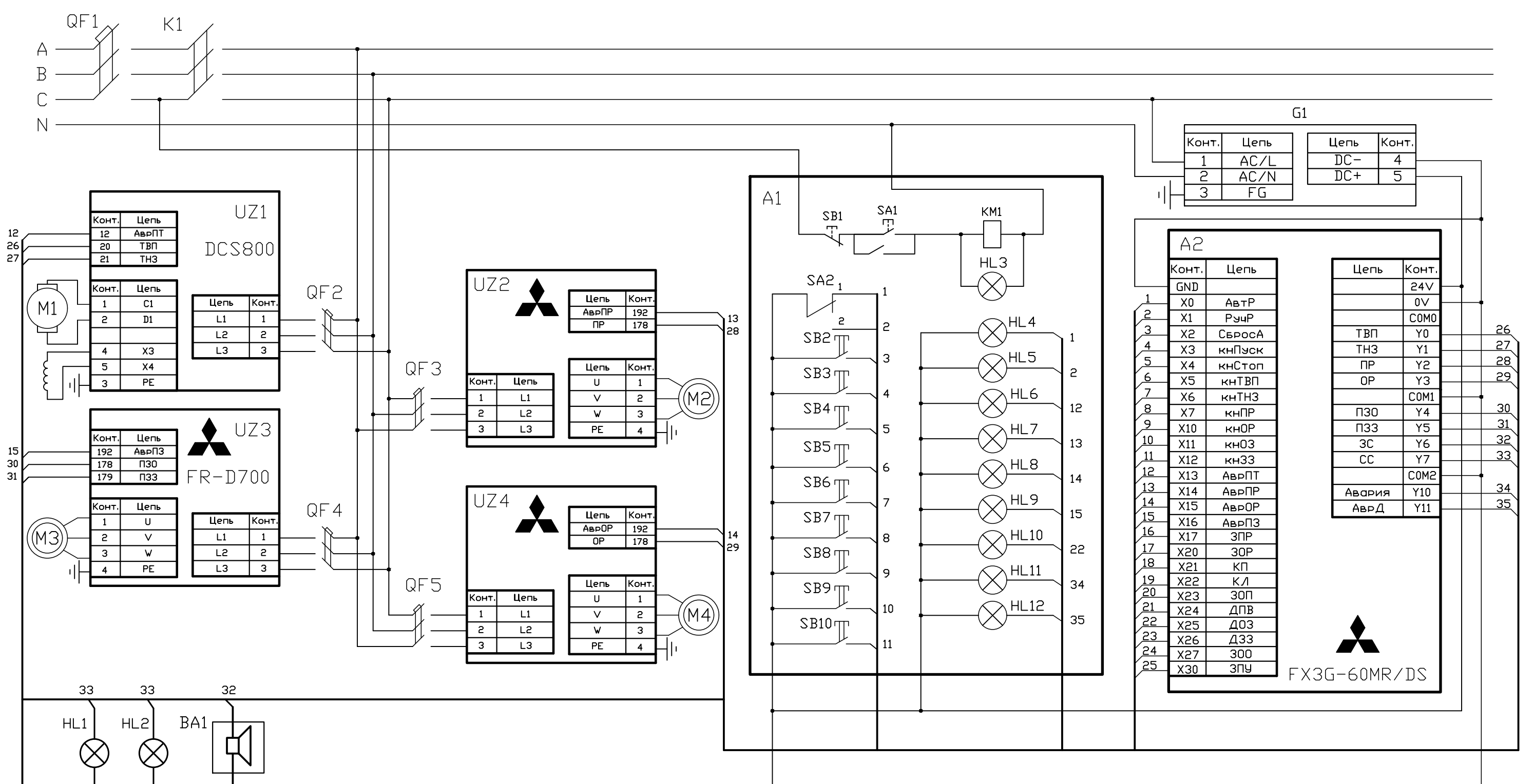
Справ. №

Погн. и дата

Взам. инв. № Инв. № дубл.

Погн. и дата

Инв. № подл.



Изм.	Лист	№ докум.	Погн.	Дата
Разраб.		Уеркумов А.М.		
Проб.		Кодкин В.Л.		
Т.контр.				
Н.контр.		Функ Т.А.		
Утв.		Григорьев М.А.		

ЮУрГУ-13.03.02.2020.183.0233

Система автоматизации процесса подачи печных заготовок

Лит. Масса Масштаб

Лист 1 Листов 1

ЮУрГУ
Кафедра АЭП

Схема электрическая принципиальная