

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

Институт «Политехнический», факультет «Энергетический»

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ /А.Н. Шишков/

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 г.

Автоматизированный электропривод грейферного крана

---

## **ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОМУ КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ**

**ЮУрГУ-13.03.02.2019.145 ВКП**

*Руководитель проекта:*

Доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_ /Д.А. Сычёв/

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 г.

*Автор проекта*

*студент группы* \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ /Н.А. Белов/

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 г.

*Нормоконтролер*

Доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_ /А.Е. Бычков/

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 г.

Челябинск  
2019 г.

## АННОТАЦИЯ

Белов Н.А. Автоматизированный электропривод  
грейферного крана. – Челябинск: ЮУрГУ, П-477; 2019, 76 с., 18  
ил., 22 табл., библиографический список – 7 наим., 1 лист  
чертежа ф. А3

Задачей данного проекта является проектирование автоматизированного электропривода грейферного крана. Проект включает в себя описание рассматриваемого технологического процесса, расчет и выбор основных элементов электропривода, построение статических, динамических и переходных характеристик выбранного привода для различных режимов, проверку по нагреву и производительности выбранного двигателя и преобразователя, составление списка используемых в системе автоматизации сигналов и разработку логических уравнений, связывающих входные и выходные сигналы. По составленному алгоритму работы системы разрабатывается функциональная схема автоматизации, на которой отображаются все электрические и кинематические связи между элементами. Также, в ходе выполнения проекта производится разработка пульта управления оператора, с которой происходит управление системой. Кроме того, производится выбор составных частей системы автоматизации, разрабатывается принципиальная схема системы автоматизации.

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ ВКП</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
Разраб.	Белов Н.А.				<b>Автоматизированный электропривод грейферного крана</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.	Сычев Д.А.						3	76
Реценз						<b>ЮУрГУ Кафедра «АЭП»</b>		
Н. Контр.	Бычков А.Е.							
Утверд.	Шишков А.Н.							

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТЕЛЕЖКИ МОСТОВОГО КРАНА .....	7
1.1 Исходные данные .....	7
1.2 Расчет мощности двигателя .....	9
1.3 Нагрузочные диаграммы скорости РО .....	9
1.4 Нагрузочные диаграммы моментов РО .....	11
1.5 Расчет мощности двигателя .....	15
1.6 Выбор типа двигателя .....	16
1.7 Выбор редуктора .....	17
1.8 Приведение статических моментов и моментов инерции к валу двигателя .....	18
1.9 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности .....	23
1.10 Выбор преобразователя частоты .....	28
1.11 Расчет статических характеристик электропривода.....	29
1.12 Построение переходных процессов электропривода .....	34
1.13 Интегральные показатели переходных процессов .....	37
1.14 Расчет энергетических показателей электропривода .....	39
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1 .....	41
2 СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГРЕЙФЕРНОГО КРАНА .....	42
2.1 Составление списка сигналов системы автоматизации .....	44
2.2 Разработка алгоритма автоматизации управления механизмами объекта .....	51
2.3 Разработка функциональной схемы автоматизации.....	55
2.4 Выбор элементной базы автоматизации .....	56
2.5 Разработка схемы электрической принципиальной .....	65
2.6 Разработка программного обеспечения .....	66

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2 .....	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	74
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	75
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	76

## ВВЕДЕНИЕ

В данном дипломном проекте разрабатывается автоматизированный электропривод грейферного крана. Был описан полный технологический процесс. Выбран двигатель, который отвечает необходимому режиму работы и подходит по расчетной мощности, а также проходит проверки по нагреву и производительности. Согласно техническому заданию и каталожным характеристикам выбранного ранее двигателя, был выбран преобразователь частоты. Затем представлен расчет естественных и искусственных механических, электромеханических характеристик, а также переходных и динамических характеристик в режимах разгона и торможения.

Помимо расчета электропривода, разрабатывается система автоматизации, выбирается необходимая для функционирования элементная база. На основе описания технологического процесса разрабатываются уравнения работы схемы. На заключительном этапе проектирования была разработана принципиальная электрическая схема механизма.

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

# 1 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТЕЛЕЖКИ МОСТОВОГО КРАНА

## 1.1 Исходные данные

Тележка мостового крана выполняет операцию перемещения поднятого груза вдоль фермы крана с площадки загрузки на площадку выгрузки.

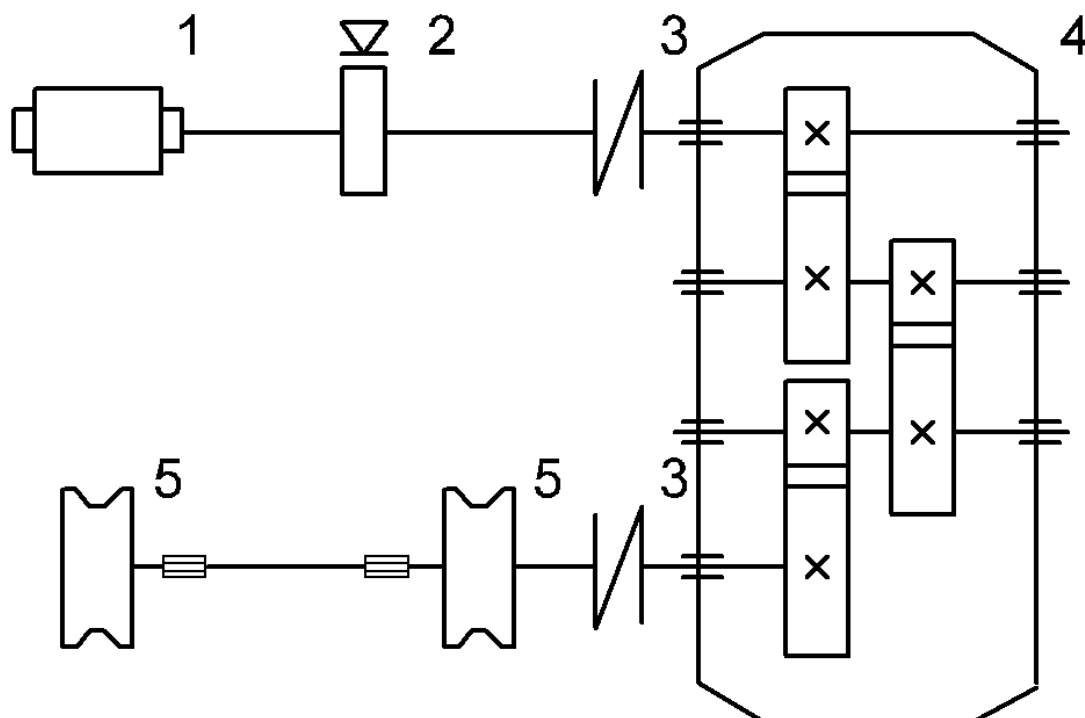


Рисунок 1 – Кинематическая схема механизма передвижения моста:

1 – двигатель, 2 – тормозной шкив, 3 – муфта, 4 – редуктор, 5 – ходовые колеса

Перемещение тележки с грузом осуществляется с установившейся рабочей скоростью  $V_p$ . По прибытии к бункеру двигатель затормаживается, тележка останавливается в заданном месте, переместившись на длину  $L$ .

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ

Лист

7



## 1.2 Расчет мощности двигателя

## 1.3 Нагрузочные диаграммы скорости РО

На базе исходных данных были рассчитаны и построены зависимости скорости рабочей машины от времени  $V(t)$ .

Время пуска  $t_{п}$  до установившейся скорости с допустимым ускорением, торможения  $t_{т}$  от установившейся скорости до остановки или до пониженной скорости, а также путь, проходимый за это время:

При прямом движении:

– Время пуска до установившейся скорости:

$$t_{пр} = \frac{V_p}{a_{доп}}; \quad (1.1)$$

$$t_{пр} = \frac{0,3}{0,3} = 1 \text{ с.}$$

– Путь, проходимый за время пуска:

$$L_{пр} = \frac{V_p^2}{2a_{доп}}; \quad (1.2)$$

$$L_{пр} = \frac{0,3^2}{2 \cdot 0,3} = 0,15 \text{ м.}$$

– Время торможения до пониженной скорости:

$$t_{тр1} = \frac{V_p - V_{п}}{a_{доп}}; \quad (1.3)$$

$$t_{тр1} = \frac{0,3 - 0,06}{0,3} = 0,8 \text{ с.}$$



– Путь, проходимый за время торможения до пониженной скорости:

$$L_{\text{тр1}} = \frac{V_{\text{р}}^2 - V_{\text{п}}^2}{2a_{\text{доп}}}; \quad (1.4)$$

$$L_{\text{тр1}} = \frac{0,5^2 - 0,06^2}{2 \cdot 0,3} = 0,144 \text{ м.}$$

– Время торможения с пониженной скорости до полной остановки:

$$t_{\text{тр2}} = \frac{V_{\text{п}}}{a_{\text{доп}}}; \quad (1.5)$$

$$t_{\text{тр2}} = \frac{0,06}{0,3} = 0,2 \text{ с.}$$

– Путь, проходимый за время торможения с пониженной скорости до полной остановки:

$$L_{\text{тр2}} = \frac{V_{\text{п}}^2}{2a_{\text{доп}}}; \quad (1.6)$$

$$L_{\text{тр2}} = \frac{0,06^2}{2 \cdot 0,3} = 0,006 \text{ м.}$$

– При возвратном движении:

– Время пуска до установившейся скорости и торможения до полной остановки:

$$t_{\text{пв}} = t_{\text{тв}} = \frac{V_{\text{в}}}{a_{\text{доп}}}; \quad (1.7)$$

$$t_{\text{пв}} = t_{\text{тв}} = \frac{0,4}{0,3} = 1,33 \text{ с.}$$

- Путь, проходимый за время пуска (торможения):

$$L_{\text{пв}} = L_{\text{тв}} = \frac{V_{\text{в}}^2}{2a_{\text{доп}}}; \quad (1.8)$$

$$L_{\text{пв}} = L_{\text{тв}} = \frac{0,4^2}{2 \cdot 0,3} = 0,267 \text{ м.}$$

Время установившегося режима:

При прямом движении:

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

– На рабочей скорости:

$$t_p = \frac{0,75L - L_{\text{пр}}}{V_p}; \quad (1.9)$$

$$t_p = \frac{0,75 \cdot 10 - 0,25}{0,3} = 24,5 \text{ с.}$$

– На пониженной скорости:

$$t_{\text{пони}} = \frac{0,25L - L_{\text{тр1}} - L_{\text{тр2}}}{V_{\text{п}}}; \quad (1.10)$$

$$t_{\text{пони}} = \frac{0,25 \cdot 10 - 0,144 - 0,2}{0,06} = 39,2 \text{ с.}$$

При возвратном движении:

$$t_{\text{в}} = \frac{L - L_{\text{тв}} - L_{\text{тв}}}{V_{\text{в}}}; \quad (1.11)$$

$$t_{\text{в}} = \frac{10 - 0,267 - 0,267}{0,4} = 23,7 \text{ с.}$$

#### 1.4 Нагрузочные диаграммы моментов РО

##### Статические моменты

Статические моменты сопротивления движению в рабочей машине создаются силами трения в подшипниках, силами трения качения, а также силами трения реборд колес о рельсы.

При прямом движении:

Момент сил трения в подшипниках: (1.12)

$$M_{\text{ТПр}} = \frac{(m + m_{\Gamma} + m_0)d_{\text{СТ}}\mu g}{2};$$

$$M_{\text{ТПр}} = \frac{(10 + 7,5 + 1) \cdot 10^3 \cdot 0,075 \cdot 0,02 \cdot 9,81}{2} = 136,1 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

– Момент сил качения

$$M_{TK_p} = (m + m_{\Gamma} + m_0)fg; \quad (1.13)$$

$$M_{TK_p} = (10 + 7,5 + 1) \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 9,81 = 90,75 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

– Суммарный момент сил трения (с учётом трения реборд колес о рельсы) при прямом движении:

$$M_{РОСТ_p} = K_{РБ}(M_{ТП_p} + M_{TK_p}); \quad (1.14)$$

$$M_{РОСТ_p} = 1,3 \cdot (136,1 + 90,75) = 294,91 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При обратном движении:

– Момент сил трения в подшипниках:

$$M_{ТП_B} = \frac{(m + m_0)d_{СТ}\mu g}{2}; \quad (1.15)$$

$$M_{ТП_B} = \frac{(10 + 1) \cdot 10^3 \cdot 0,075 \cdot 0,02 \cdot 9,81}{2} = 80,93 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

– Момент сил качения:

$$M_{TK_B} = (m + m_0)fg; \quad (1.16)$$

$$M_{TK_B} = (10 + 1) \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 9,81 = 53,96 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

– Суммарный момент сил трения (с учётом трения реборд колес о рельсы) при возвратном движении:

$$M_{РОСТ_B} = K_{РБ}(M_{ТП_B} + M_{TK_B}); \quad (1.17)$$

$$M_{РК_B} = 1,3 \cdot (80,93 + 53,96) = 175,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

#### Динамические моменты

Динамические моменты определяют способность движущимися массами рабочего органа запасать и выделять кинетическую энергию.

Для определения динамических моментов были рассчитаны моменты инерции рабочей машины:

При прямом движении:

$$J_{POp} = (m + m_{\Gamma} + m_0) \frac{D_K^2}{4}; \quad (1.18)$$

$$J_{POp} = (10 + 7,5 + 1) \cdot 10^3 \cdot \frac{0,3^2}{4} = 416,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При возвратном движении:

$$J_{POB} = (m + m_0) \frac{D_K^2}{4}; \quad (1.19)$$

$$J_{POB} = (10 + 1) \cdot 10^3 \cdot \frac{0,3^2}{4} = 247,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Используя полученные значения моментов инерции рассчитаем динамические моменты.

При прямом движении:

$$M_{POДИНp} = J_{POp} \frac{2a_{доп}}{D_K}; \quad (1.20)$$

$$M_{POДИНp} = 416,25 \frac{2 \cdot 0,3}{0,3} = 1387 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При возвратном движении:

$$M_{POДИНB} = J_{POB} \frac{2a_{доп}}{D_K}; \quad (1.21)$$

$$M_{POДИНB} = 247,5 \frac{2 \cdot 0,3}{0,3} = 825 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Полный момент рабочей машины:

$$M_{PO} = M_{POCT} + M_{POДИН}. \quad (1.22)$$

Знаки полного момента и его составляющих зависят от направления движения и режима работы

При прямом движении:

– При пуске:

$$M_{PO} = 294,91 + 1387 = 1681,91 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

– При торможении:

$$M_{PO} = 294,91 - 1387 = -1092,09 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При обратном движении:

– При пуске:

$$M_{PO} = 175,4 + 825 = 1000,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

– При торможении:

$$M_{PO} = 175,4 - 825 = -649,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Результаты расчетов скоростей и моментов для каждого участка движения приведены в таблице 2

Таблица 2 – Данные рабочего органа по участкам движения

	Пуск	Уст. режим	Торможение 1	Пон. скорость	Торможение 2	Пуск	Уст.режим	Торможение
Скорость, м/с	–	0,30	–	0,06	–	–	-0,40	–
Время работы, с	1	24,50	0,80	39,20	0,20	1,33	23,70	1,33
Путь, м	0,15	7,35	0,14	2,35	0,01	0,27	9,47	0,27
Моменты РО, Н·м:								
-Трения скольжения в подшипниках	136,10							
-Трения качения	90,75							
Статический момент, Н·м	294,91				-175,4			
Момент инерции, кг · м <sup>2</sup>	416,25				247,5 0			
Динамический момент, Н·м	1387	0	-1387	0	-1387	-825	0	825



– расчетная мощность двигателя:

$$P_{\text{дв}} = k_1 M_{\text{ср кв}} \frac{2V_p}{D_k} \sqrt{\frac{ПВ_{\text{кат}}}{ПВ_{\text{факт}}}}, \quad (1.26)$$

где  $ПВ_{\text{кат}}$  - ближайшее к  $ПВ_{\text{факт}}$  каталожное значение относительной продолжительности включения.

$k_1$  – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, обусловленные вращающимися элементами электропривода, а также потери мощности в редукторе.

Примем  $k_1 = 1,4$  и  $ПВ_{\text{кат}} = 1$

Тогда:

$$P_{\text{дв}} = 1,4 \cdot 363,783 \frac{2 \cdot 0,3}{0,3} \sqrt{\frac{1}{0,767}} = 1163 \text{ Вт.}$$

### 1.6 Выбор типа двигателя

По результатам расчета главы 1.2, по справочнику был выбран двигатель АИР 112 М8 для  $ПВ = 100\%$ . Каталожные данные этого двигателя представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Каталожные данные двигателя АИР 112 М8

№	Обозначения	Наименования показателя	Размерность	Данные
1	$P_H$	Мощность двигателя	кВт	2,20
2	$I_H$	Номинальный ток (статора)	А	7,30
3	$I_{\text{п}}$	Пусковой ток	А	36,50
4	$n_H$	Номинальная частота вращения	об/мин	710
5	$J_{\text{дв}}$	Момент инерции двигателя	кг · м <sup>2</sup>	$21 \cdot 10^{-3}$
6	$\cos \varphi$	Коэффициент мощности	-	0,65
7	$M_K$	Момент критический	Н·м	53,28
8	$M_{\text{п}}$	Пусковой момент	Н·м	35,52
9	$\eta$	Коэффициент полезного действия		0,7

## 1.7 Выбор редуктора

Передаточное число редуктора определяем по номинальной скорости вращения выбранного двигателя  $\omega_H$  и основной скорости движения исполнительного органа  $V_p$ .

Номинальная скорость вращения двигателя в рад/с:

$$\omega_H = n_H \frac{2\pi}{60}; \quad (1.27)$$

$$\omega_H = 710 \cdot \frac{2\pi}{60} = 74,4 \text{ рад/с};$$

$$j_p = \frac{\omega_H D_K}{2V_p}; \quad (1.28)$$

$$j_p = \frac{74,4 \cdot 0,3}{2 \cdot 0,5} = 37,176.$$

Редуктор должен иметь по возможности передаточное число, равное или несколько меньшее расчетного значения. Режим работы редуктора - “тяжелый”.

Исходя из приведенных выше требований, по справочнику был выбран трехступенчатый цилиндрический редуктор ВКУ-765М. Технические параметры выбранного редуктора представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Каталожные данные редуктора ВКУ-765М

Передаточное число $j_p$	35,5
Частота вращения быстроходного вала, об/мин	1000
Допускаемый момент на тихоходном валу, Н · м	8500
Допускаемая консольная нагрузка на конце тихоходного вала, Н	22000
КПД редуктора $\eta_p$	0,96



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

Статические моменты рабочей машины, приведенные к валу двигателя, без учета потерь в редукторе, рассчитываются по формуле:

$$M_{\text{пр}} = \frac{M_{\text{рост}}}{j_p}; \quad (1.29)$$

При прямом движении:

$$M_{\text{прр}} = \frac{294,91}{35,5} = 8,307 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

При обратном движении:

$$M_{\text{прв}} = \frac{175,4}{35,5} = 4,94 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Статические моменты с учетом потерь в редукторе рассчитываются в зависимости от режима работы электропривода.

Статический момент на валу в двигательном режиме

$$M_{\text{ВСдв}} = \frac{M_{\text{пр}}}{\eta_p}. \quad (1.30)$$

– При прямом движении моста:

$$M_{\text{ВСдв.р}} = \frac{8,307}{0,96} = 8,65 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

– При обратном движении:

$$M_{\text{ВСдв.в}} = \frac{3,9}{0,96} = 5,145 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При работе двигателя в тормозном режиме потери в редукторе снижают нагрузку на двигатель, поэтому моменты на валу определяются по формуле:

$$M_{\text{ВСторм}} = M_{\text{пр}} \eta_p \quad (1.31)$$

– При прямом движении:

$$M_{\text{ВСторм.р}} = 8,307 \cdot 0,96 = 7,98 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

– При обратном движении:



Расчет приведенных моментов инерции и коэффициентов жесткости  
Суммарный приведенный момент к валу двигателя момент инерции системы можно рассчитать по формуле:

$$J = \delta \cdot J_{\text{ДВ}} + J_{\text{Пр}} + J_{\text{Ш}}, \quad (1.33)$$

где  $J_{\text{ДВ}}$  - момент инерции ротора двигателя;

$\delta$  - коэффициент, учитывающий момент инерции остальных элементов электропривода: муфт, тормозного шкива, редуктора и др. Но в проекте допускается рассчитывать момент инерции электропривода приближенно, принимая  $\delta = 1.3 \dots 1.5$ .

Приведенный к валу двигателя суммарный момент инерции движущихся исполнительных органов рабочей машины и связанных с ними движущихся масс:

Для рабочего хода моста:

$$J_{\text{Пр1}} = \frac{J_{\text{РОР}}}{j_p^2}; \quad (1.34)$$

$$J_{\text{Пр1}} = \frac{416,25}{35,5^2} = 0,33 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Для возвратного хода моста:

$$J_{\text{Пр2}} = \frac{J_{\text{РОВ}}}{j_p^2}; \quad (1.35)$$

$$J_{\text{Пр2}} = \frac{247,5}{35,5^2} = 0,196 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

В соответствии с формулой (1.33) находим  $J$ :

Суммарный приведенный момент инерции системы:

$$J = \delta \cdot J_{\text{ДВ}} + J_{\text{Пр}} + J_{\text{Ш}}.$$

Для рабочего хода моста:

$$J_1 = 1,3 \cdot 21 \cdot 10^{-3} + 0,33 + 0,6 = 0,958 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Для возвратного хода моста:

$$J_2 = 1,3 \cdot 21 \cdot 10^{-3} + 0,196 + 0,6 = 0,824 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Расчет установившейся скорости двигателя и момента двигателя, допускаемого по ускорению

Рассчитаем для каждого участка работы электропривода значения установившейся угловой скорости двигателя:

$$\omega_c = 2 \cdot \frac{V_{po} j_p}{D_{BK}} \quad (1.36)$$

Рабочая и пониженная скорости двигателя при прямом движении моста:

$$\omega_c = 2 \cdot \frac{V_p j_p}{D_{BK}};$$

$$\omega_c = 2 \cdot \frac{0,3 \cdot 35,5}{0,3} = 71 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{спон} = 2 \cdot \frac{V_{II} j_p}{D_{BK}};$$

$$\omega_{спон} = 2 \cdot \frac{0,06 \cdot 35,5}{0,3} = 14,2 \text{ рад/с}.$$

При обратном движении:

$$\omega_B = 2 \cdot \frac{V_B j_p}{D_{BK}};$$

$$\omega_B = 2 \cdot \frac{0,4 \cdot 35,5}{0,3} = 94,667 \text{ рад/с}.$$

Рассчитываем динамический момент по формуле:

$$M_{дин} = \frac{2J a_{доп} j_p}{D_K} \quad (1.37)$$

где  $a_{доп}$  - допустимое ускорение при пуске и торможении,  $\text{м/с}^2$ ;

$D_K$  – диаметр колеса, м;

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

Динамический момент:

$$M_{дин1} = \frac{2J_1 a_{доп} j_p}{D_K};$$

$$M_{дин1} = \frac{0,958 \cdot 2 \cdot 0,105 \cdot 35,5}{0,3} = 67,989 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{дин2} = \frac{2J_2 a_{доп} j_p}{D_K};$$

$$M_{\text{дин}2} = \frac{0,824 \cdot 2 \cdot 0,105 \cdot 35,5}{0,3} = 58,482 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Рассчитываем пусковой момент электродвигателя при прямом движении:

$$M_{\text{п}1} = M_{\text{дс}1} + M_{\text{дин}1};$$

$$M_{\text{п}1} = 12,485 + 25,389 = 80,474 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При обратном движении:

$$M_{\text{п}2} = M_{\text{тс}1} - M_{\text{дин}2};$$

$$M_{\text{п}2} = -9,323 - 14,882 = -67,805 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Находим тормозной момент электродвигателя при прямом движении:

$$M_{\text{т}1} = M_{\text{дс}2} - M_{\text{дин}2};$$

$$M_{\text{т}1} = -3,798 - 25,389 = -64,191 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При обратном движении:

$$M_{\text{т}2} = M_{\text{тс}2} + M_{\text{дин}2};$$

$$M_{\text{т}2} = -0,565 + 15,882 = 57,917 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Результаты расчета моментов и скоростей сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Приведение статических моментов и моментов инерции к валу двигателя

Расчетные данные	Рабочий ход					Обратный ход		
	Пуск	Уст. режим	Торможение 1	Пон. скорость	Торможение 2	Пуск	Уст.режим	Торможение
По данным таблицы 2								
Скорость, м/с	-	0,3	-	0,06	-	-	-0,4	-
Статический момент, Н·м	294,91					-175,4		
Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>	416,25					247,5		
Приведение к валу двигателя ( $j_p=35,5$ , $\eta_p=0,96$ )								
Скорость двигателя, рад/с	-	71	-	14,2	-	-	-94,667	-
Момент статический на валу, Н·м:		:		:		:		

Продолжение таблицы 5

Расчетные данные	Рабочий ход					Обратный ход		
	Пуск	Уст. режим	Торможение 1	Пон. скорость	Торможение 2	Пуск	Уст.режим	Торможение
- без учета потерь в передаче	8,307					-4,94		
- с учетом потерь в редукторе	8,65	8,65	7,98	8,65	7,98	-5,145	-5,145	-4,74
- с учетом потерь холостого хода	12,485	12,485	3,798	12,485	3,798	-9,323	-9,323	0,565
Момент инерции электропривода, кг · м <sup>2</sup>	0,958					0,824		
Динамический момент, Н·м	67,989	0	-67,989	0	-67,989	-58,482	0	-58,482
Момент, допускаемый по ускорению	80,474	12,485	-64,191	12,485	-64,191	-67,805	-9,323	57,917

### 1.9 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности

Целями предварительной проверки являются:

- изучение приближенных способов оценки времени переходных процессов;
- уточнение нагрузочных диаграмм момента и скорости двигателя с учетом момента инерции предварительно выбранного двигателя;
- снижение затрат времени на выполнение курсового проекта для случая, когда предварительно выбранный двигатель не проходит по нагреву.

Используя выбранные выше значения пусковых и тормозных моментов, скоростей установившихся режимов и возможности выбранной схемы управления двигателем найдем:

- 1) время переходного процесса
  - а) прямое движение

пуск:

$$t_i = J \frac{\omega_c}{M_{cp} - M_c}; \quad (1.38)$$

$$t_{II} = J_1 \frac{\omega_c}{M_{II1} - M_{дс1}};$$

$$t_{II} = 0,958 \cdot \frac{71}{80,474 - 12,485} = 1.$$

торможение

$$t_T = J_1 \frac{\omega_c}{M_{T1} - M_{дс2}};$$

$$t_{T1} = 0,824 \cdot \frac{14,2 - 71}{-64,191 + 3,798} = 0,774;$$

$$t_{T2} = 0,824 \cdot \frac{0 - 14,2}{-64,191 + 3,798} = 0,193.$$

б) обратное движение

пуск

$$t_{II} = J_2 \frac{\omega_B}{M_{II2} - M_{Тс1}};$$

$$t_{II} = 0,224 \cdot \frac{-94,667}{-67,805 + 9,323} = 1,333.$$

торможение

$$t_T = J_2 \frac{\omega_B}{M_{T2} - M_{Тс2}};$$

$$t_T = 0,224 \cdot \frac{94,667}{-57,917 + 0,565} = 1,333.$$

2) угол поворота вала двигателя за время переходного процесса:

При прямом движении (для пуска и торможения):

$$\alpha_i = \frac{\omega_c t_i}{2}; \quad (1.39)$$

$$\alpha_{II} = \frac{\omega_c \cdot t_{II}}{2};$$

$$\alpha_{II} = \frac{71 \cdot 1}{2} = 35,5 \text{ рад/с};$$

$$\alpha_{T1} = \frac{(\omega_c + \omega_{\text{СПОН}}) t_{T1}}{2};$$

$$\alpha_{T1} = \frac{(71 + 14,2) \cdot 0,774}{2} = 32,97 \text{ рад/с};$$

$$\alpha_{T2} = \frac{\omega_{\text{СПОН}} t_{T2}}{2} = \frac{14,2 \cdot 0,193}{2} = 1,37 \text{ рад/с}.$$

б) обратное движение

пуск

$$\alpha_{\Pi} = \frac{\omega_{\text{В}} t_{\text{рП}}}{2};$$

$$\alpha_{\Pi} = \frac{94,667 \cdot 1,333}{2} = 63,11 \text{ рад/с}.$$

торможение

$$\alpha_{\text{T}} = \frac{\omega_{\text{В}} \cdot t_{\text{рТ}}}{2};$$

$$\alpha_{\text{T}} = \frac{94,667 \cdot (-1,333)}{2} = 63,11 \text{ рад/с}.$$

в) угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме

В прямом направлении с рабочей скоростью:

$$\alpha_{\text{р}} = \frac{2Lj_{\text{р}}}{D_{\text{ВК}}};$$

$$\alpha_{\text{р}} = \frac{2 \cdot (0,75 \cdot 10) \cdot 35,5}{0,3} = 1775 \text{ рад}.$$

В прямом направлении с пониженной скоростью:

$$\alpha_{\text{ПОН}} = \frac{2 \cdot (0,25 \cdot 10) \cdot 35,5}{0,3} = 591,66 \text{ рад}.$$

В обратном направлении:

$$\alpha_{\text{В}} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 35,5}{0,3} = 2366,66 \text{ рад}.$$



3) время работы с установившейся скоростью:

$$t_y = \frac{\alpha - (\alpha_{II} + \alpha_T)}{\omega_c} \quad (1.40)$$

Для движения в прямом направлении (на рабочей и пониженной скоростях):

а) при прямом движении

$$t_{yp} = \frac{1775 - 35,5}{71} = 24,5 \text{ с};$$

$$t_{y \text{ пон}} = \frac{591,66 - (32,97 + 1,37)}{14,2} = 39,24 \text{ с}.$$

б) Для движения в обратном направлении:

$$t_{yp \text{ в}} = \frac{2366,66 - (63,11 + 63,11)}{94,667} = 23,667.$$

Полученные промежутки времени отличаются от рассчитанных в главе 2 не более чем на 0,1 с. Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Время переходных процессов

Расчетные данные	Рабочий ход					Обратный ход		
	Пуск	Уст. режим	Торможение 1	Пон. скорость	Торможение 2	Пуск	Уст. режим	Торможение
Время работы, с	1	24,50	0,80	39,24	0,20	1,33	23,66	1,33
Угол поворота вала двигателя, рад	35,5	1711,89	32,97	556,16	1,37	63,11	2240,44	63,11

Проверка двигателя по производительности заключается в сравнении суммарного фактического времени работы электропривода в цикле  $t_{\phi}$ , с заданным значением времени работы  $t_p$  в исходных данных для проектирования. Задание по производительности должно быть безусловно выполнено, т.е.

$$t_{\phi} < t_p;$$

$$t_{\phi} = 1 + 24,5 + 0,8 + 39,24 + 0,2 + 1,33 + 23,66 + 1,33 = 92,06 \text{ с};$$

$$t_p = 100 \text{ с}.$$

Условие выполняется.

Предварительная проверка двигателя по нагреву осуществляется по величине среднеквадратичного момента:

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

$$M_{\text{ср кв}} = \sqrt{\frac{80,474^2 \cdot 1 + 12,485^2 \cdot 24,5 + (-64,191)^2 \cdot 1 + 67,805^2 \cdot 1,33 + (-9,323)^2 \cdot 23,7 + 57,917^2 \cdot 1,33}{1 + 24,5 + 0,8 + 39,2 + 0,2 + 1,33 + 23,7 + 1,33}}$$

$$M_{\text{ср кв}} = 17,11 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Допустимый момент двигателя:

$$M_{\text{доп}} = M_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{КАТ}}}{ПВ_{\text{ФАКТ}}}}; \quad (1.41)$$

Момент двигателя при ПВКАТ, ближайшем к ПВФАКТ

$$M_{\text{кат}} = \frac{P_{\text{кат}}}{\omega_{\text{кат}}}; \quad (1.42)$$

$$M_{\text{кат}} = \frac{2200}{74,351} = 29,589 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

Продолжительность включения  $PВ_{ФАКТ}$ :

$$PВ_{ФАКТ} = \frac{t_{ФАКТ}}{t_{Ц}}; \quad (1.43)$$

$$PВ_{ФАКТ} = \frac{92,06}{120} = 76,7 \%,$$

где  $t_{Ц}$  – время цикла.

Соответственно подставляя  $PВ_{ФАКТ}$  в формулу (1.41), получаем:

$$M_{ДОП} = 29,589 \cdot \sqrt{\frac{1}{0,767}} = 33,782 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Сравнивая  $M_{ДОП}$  и  $M_{СРКВ}$ , можно сказать, что:

$$M_{ДОП} \geq M_{СРКВ};$$

$$33,782 \text{ Н} \cdot \text{м} > 17,11 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Среднеквадратичный момент меньше допустимого, следовательно, двигатель проходит по нагреву.

Выбор основных элементов электропривода

### 1.10 Выбор преобразователя частоты

Преобразователь частоты выбираем по информации, собранной из справочников и интернета на основе номинальных данных предварительно выбранного двигателя:

$$U_{НПЧ} \geq U_{НЛ};$$

$$I_{НПЧ} \geq I_{1Н}.$$

Где  $U_{НЛ}$ ;  $I_{1Н}$  - номинальные линейное напряжение и фазный ток статора двигателя.

$U_{НПЧ}$ ;  $I_{НПЧ}$  – номинальные линейные напряжения и ток нагрузки преобразователя частоты.



Синхронная скорость двигателя:

$$\omega_{0H} = \frac{2\pi f_{1H}}{p}; \quad (1.45)$$

$$\omega_{0H} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{4} = 78,5,$$

где  $f_{1H}$  – частота напряжения статора, Гц;

$p$  – количество пар полюсов.

Номинальная скорость двигателя:

$$\omega_H = \frac{n}{9,55}; \quad (1.46)$$

$$\omega_H = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 710}{60} = 74,31 \text{ рад/с.}$$

Номинальное скольжение:

$$S_H = \frac{78,5 - 74,3}{78,5} = 0,05.$$

Естественная характеристика выбранного двигателя приведена на рисунке

2.

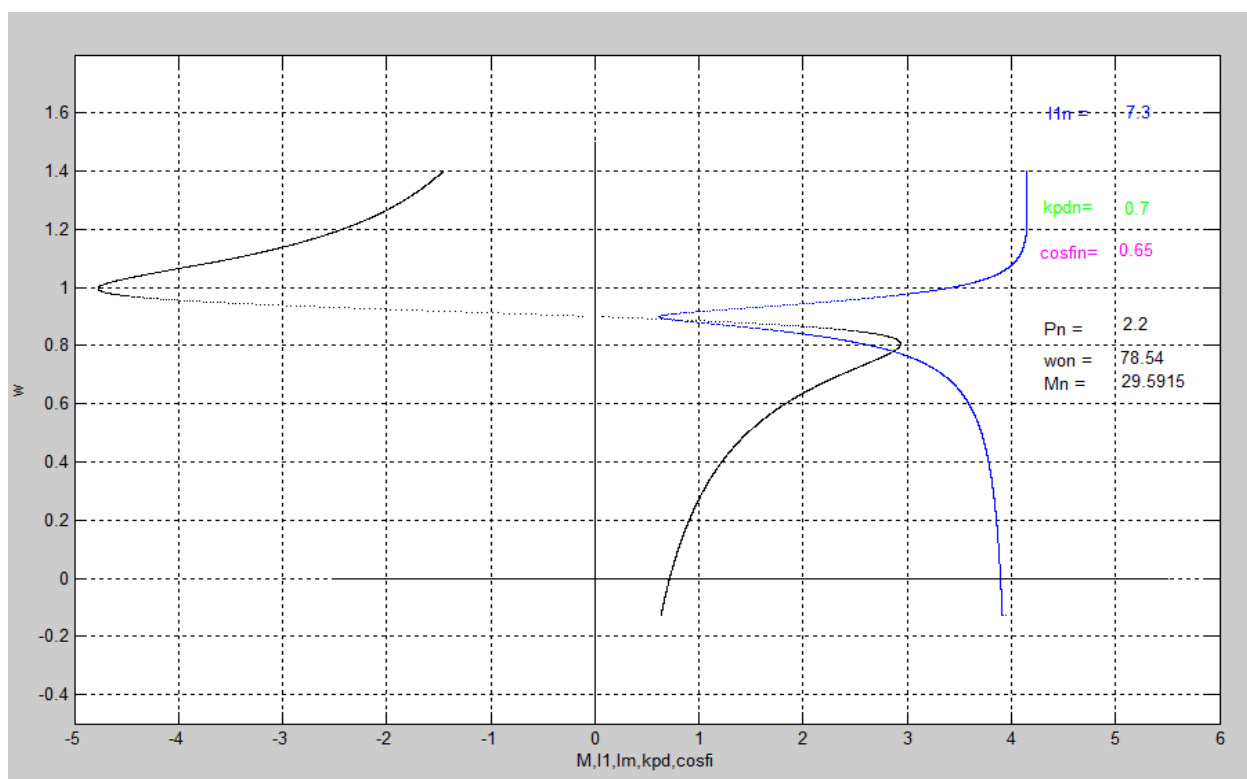


Рисунок 2 – Естественные механическая характеристика

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Построение искусственных характеристик:

Синхронная скорость, соответствующая заданной точке:

$$\overline{w_{\text{зад}}} = \frac{w_c}{w_{0H}}, \quad (1.47)$$

где  $w_c$  - установившаяся скорость двигателя, рад/с;

$w_{0H}$  - синхронная частота вращения двигателя при номинальной частоте  $f_{1H}$ .

Момент, соответствующая заданной точке:

$$\overline{M_{\text{зад}}} = \frac{M_c}{M_H}; \quad (1.48)$$

где  $M_c$  - статический момент на валу двигателя с учетом потерь, Н;

$M_H$  - номинальный момент, Н.

Синхронная скорость, соответствующая заданной точке в относительных единицах:

$$\overline{\omega_{0\text{зад}}} = \overline{w_{\text{зад}}} + \overline{M_{\text{зад}}} \cdot S_H. \quad (1.49)$$

Синхронная скорость, соответствующая заданной точке в рад/с:

$$\omega_{0\text{зад}} = \overline{\omega_{0\text{зад}}} \cdot \omega_{0H}. \quad (1.50)$$

Частота напряжения в заданной точке:

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1H}; \quad (1.51)$$

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1H}} = \overline{\omega_{0\text{зад}}}, \quad (1.52)$$

где  $f_{1H} = 50$  Гц – номинальная частота напряжения на статоре.

Напряжение в заданной точке:

$$U_{1\text{фH}} = \alpha \cdot U_{1\text{фH}}, \quad (1.53)$$

где  $U_{1\text{фH}} = 220$  В – номинальное фазное напряжение.

Используя формулы выше рассчитаем частоту и напряжение для движения вперед:

$$\overline{w_{\text{зад1}}} = \frac{71}{78,5} = 0,9 \text{ о.е.};$$

$$\overline{M_{\text{зад1}}} = \frac{12,485}{29,591} = 0,42 \text{ о.е.};$$

$$\overline{\omega_{\text{зад1}}} = 0,9 + 0,42 \cdot 0,05 = 0,921;$$

$$\omega_{\text{зад1}} = 0,921 \cdot 78,5 = 72,299 \text{ рад/с.}$$

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

$$a = \overline{w_{\text{зад1}}} = 0,9;$$

$$f_1 = a \cdot f_{1\text{н}};$$

$$f_1 = 0,9 \cdot 50 = 45 \text{ Гц};$$

$$U_1 = a U_{1\text{фн}};$$

$$U_1 = 0,9 \cdot 220 = 198 \text{ В.}$$

При обратном движении:

$$\overline{w_{\text{зад2}}} = \frac{-94,667}{78,5} = -1,2 \text{ о.е.};$$

$$\overline{M_{\text{зад2}}} = \frac{-9,323}{29,591} = -0,315 \text{ о.е.};$$

$$\overline{\omega_{\text{зад2}}} = 1,2 - 0,315 \cdot 0,05 = -1,184;$$

$$\omega_{\text{зад2}} = -1,184 \cdot 78,5 = -92,964 \text{ рад/с.}$$

частота и напряжение на статоре при  $\frac{U_2}{f_2} = \text{const}$ :

$$\alpha_2 = -1;$$

$$f_2 = \alpha \cdot f_{1\text{н}};$$

$$f_2 = -1,184 \cdot 50 = -59,2 \text{ Гц};$$

$$U_2 = \alpha U_{1\text{фн}};$$

$$U_2 = -1 \cdot 220 = -220 \text{ В.}$$

Частота и напряжение для движения с пониженной скоростью:

										Лист
										32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ					

$$\overline{w_{зад1}} = \frac{14,2}{78,5} = 0,18 \text{ о.е.};$$

$$\overline{M_{зад1}} = \frac{12,485}{29,591} = 0,42 \text{ о.е.};$$

$$\overline{\omega_{0зад1}} = 0,18 + 0,42 \cdot 0,05 = 0,201;$$

$$\omega_{0зад1} = 0,201 \cdot 78,5 = 15,779 \text{ рад/с.}$$

Частота и напряжение на статоре при  $\frac{U_3}{f_3} = const$ :

$$a = \overline{w_{зад1}} = 0,18;$$

$$f_3 = a f_{1н};$$

$$f_3 = 0,18 \cdot 50 = 9 \text{ Гц};$$

$$U_3 = a U_{1фн};$$

$$U_3 = 0,18 \cdot 220 = 39,6 \text{ В.}$$

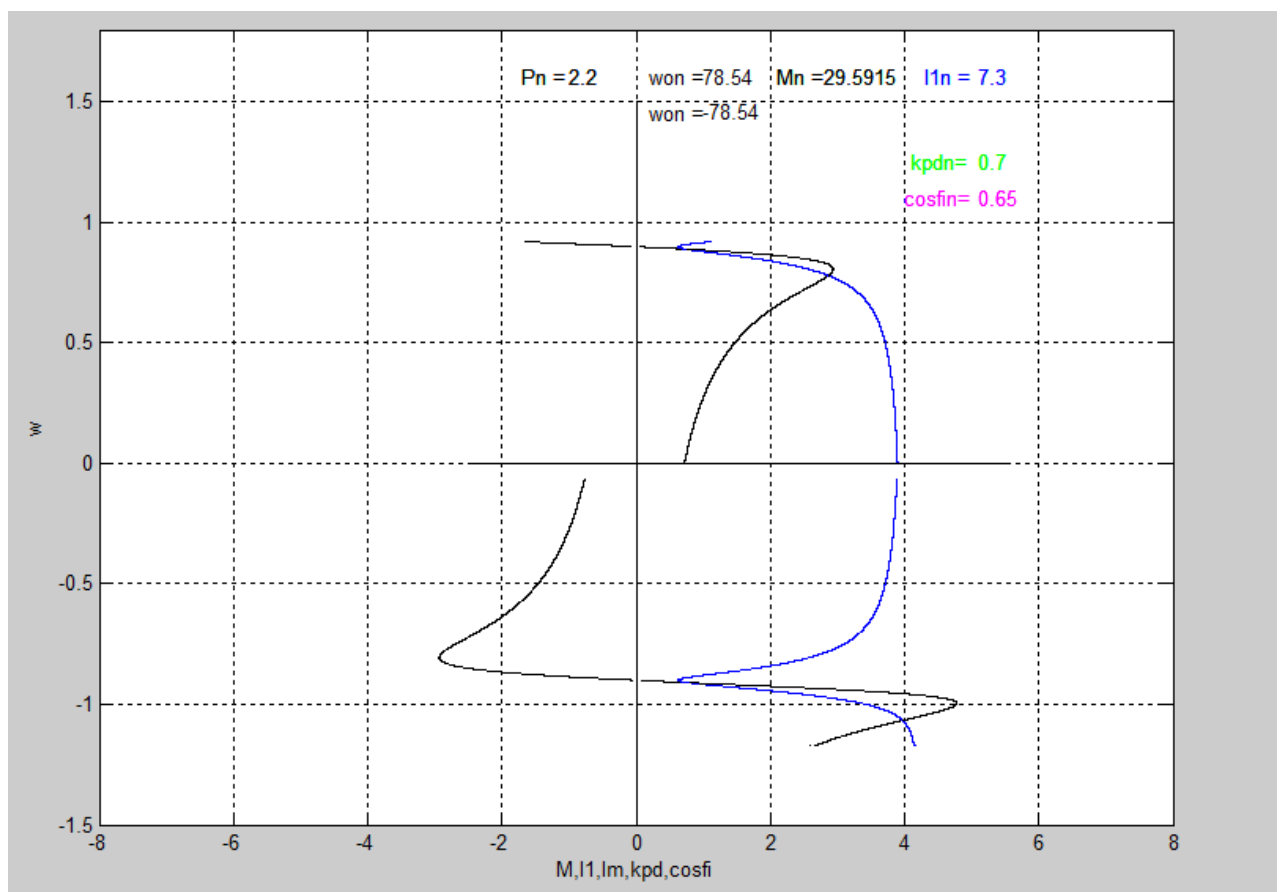


Рисунок 3 – Искусственные механические характеристики

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ

Лист

33



## 1.12 Построение переходных процессов электропривода

При питании двигателя от индивидуального преобразователя появляется возможность плавного регулирования напряжения (частоты), 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 (частоты) питания двигателя. Для формирования линейного закона изменения напряжения управления на вход преобразователя подключается интегральный И-задатчик интенсивности, выходное напряжение которого при подаче на его вход скачка задающего напряжения изменяется по линейному закону.

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

Темп нарастания скорости определяется величиной базовой постоянной времени ЗИ определяется формулой (1.54).

$$T_{\text{ЗИ}} = \frac{T_{\text{Д}}}{M_{\text{ДИН}}/M_{\text{Н}}}; \quad (1.54)$$

$$T_{\text{Д}} = J \frac{\omega_{0\text{Н}}}{M_{\text{Н}}}. \quad (1.55)$$

Механическая постоянная времени по (1.55):

$$T_{\text{Д1}} = 0,958 \cdot \frac{78,5}{29,589} = 2,54 \text{ с};$$

$$T_{\text{Д2}} = 0,824 \cdot \frac{78,5}{29,589} = 2,185 \text{ с}.$$

Постоянная времени задатчика интенсивности по (1.54):

$$T_{зи1} = \frac{2,54}{67,989/29,589} = 1,106 \text{ с;}$$

$$T_{зи2} = \frac{2,185}{58,482/29,589} = 1,106 \text{ с.}$$

Посчитанные значения, а также каталожные данные двигателя и преобразователя используем для построения переходных характеристик в программе zipcad. Переходные и динамические характеристики приведены на рисунках 4-7.

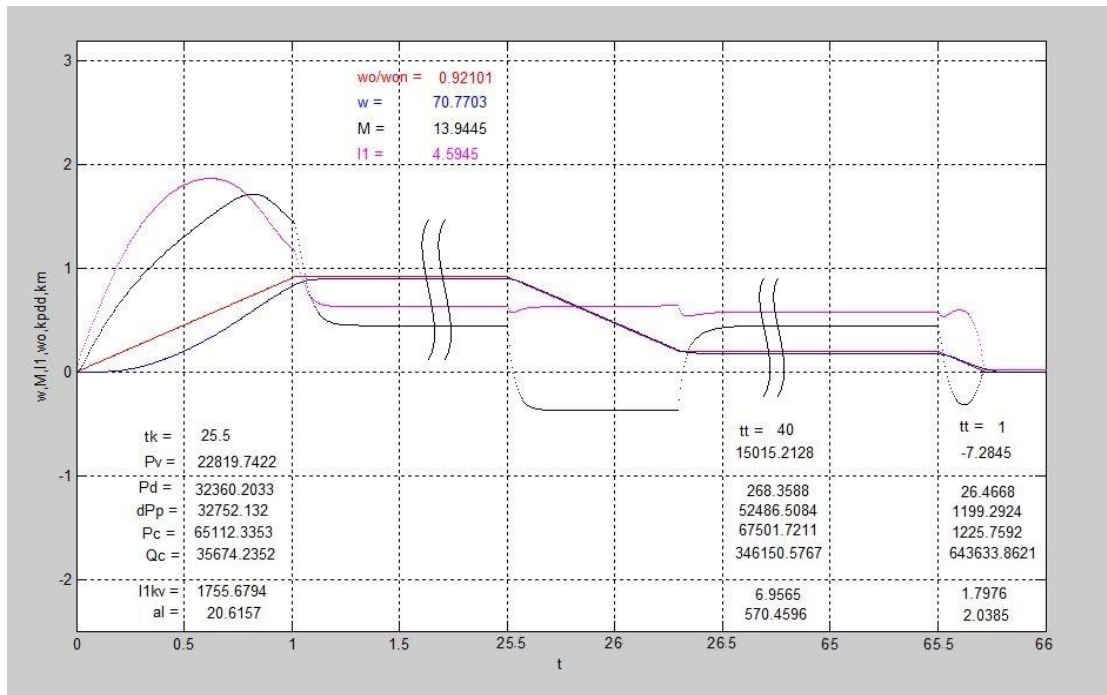


Рисунок 4 – Переходный процесс при движении вперед, о.е

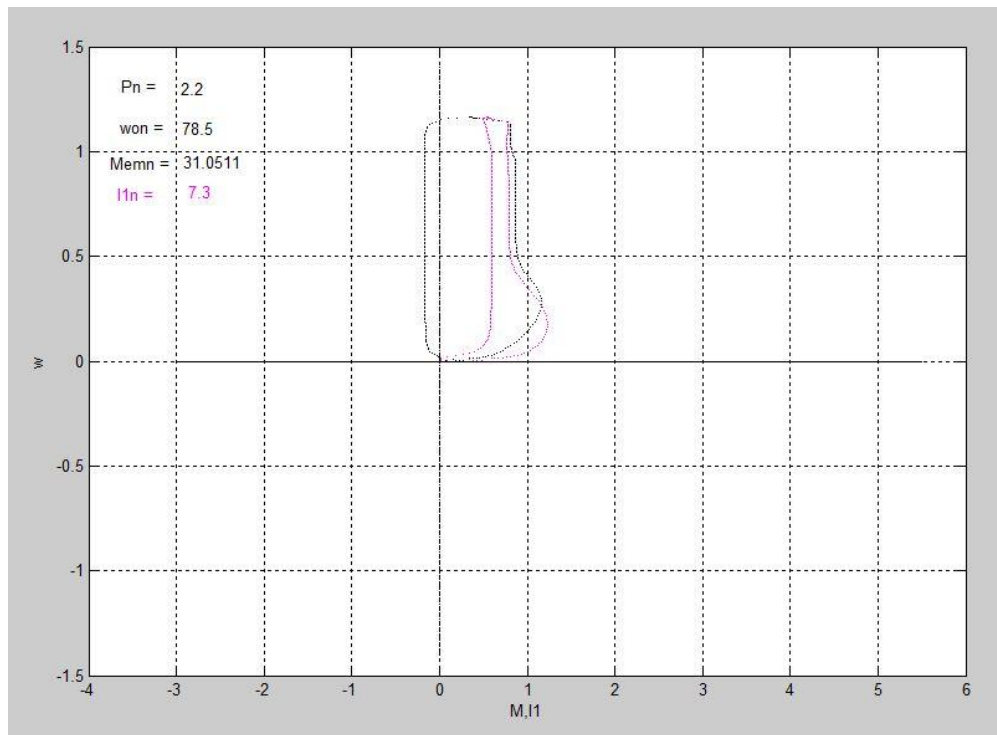


Рисунок 5 – Динамические механические характеристики при движении вперед, о.е

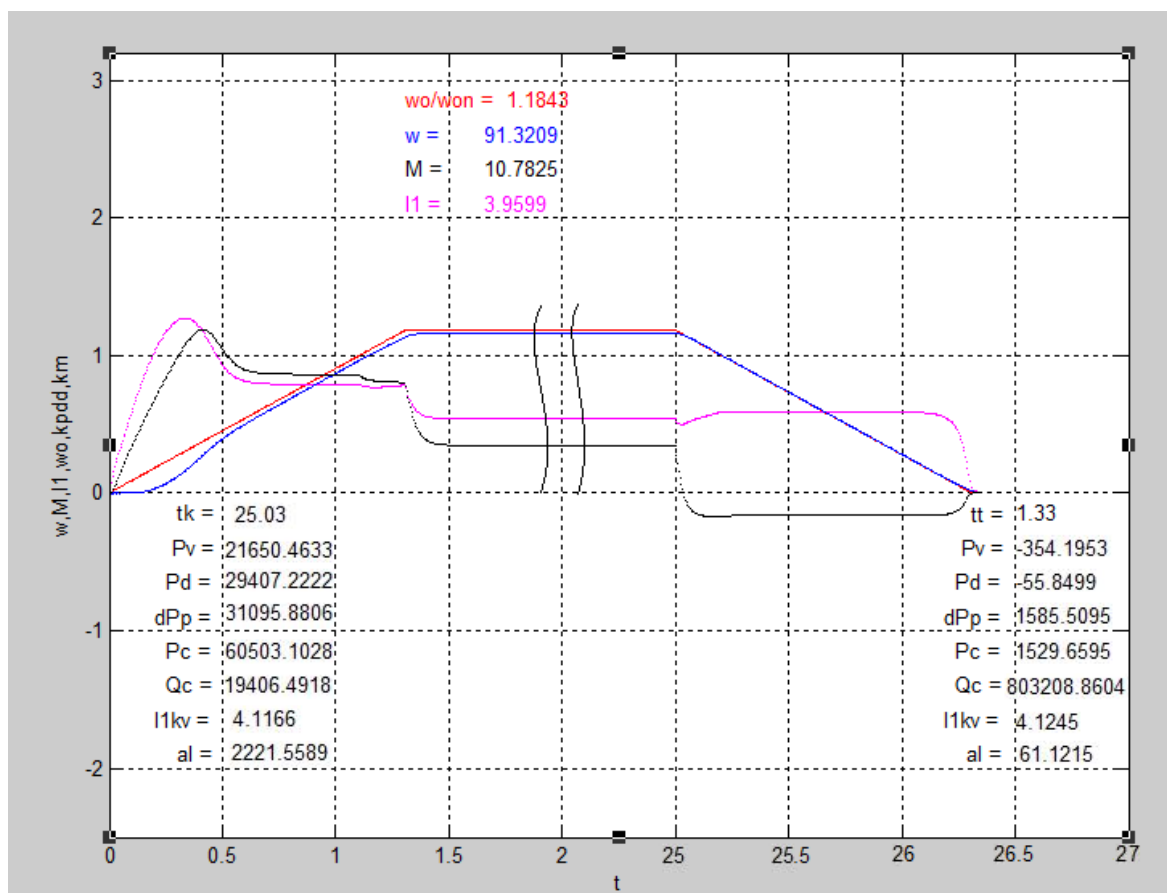


Рисунок 6 – Переходный процесс при движении назад, о.е

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ

Лист

36

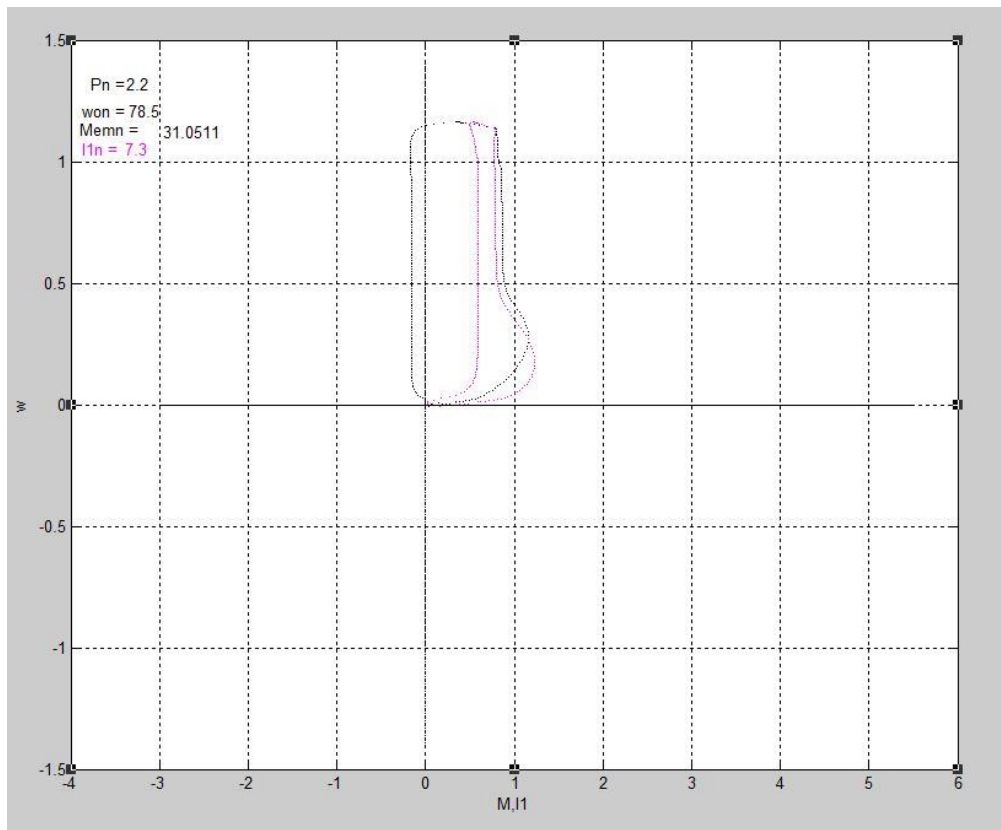


Рисунок 7 – Динамические механические характеристики при движении назад, о.е

### 1.13 Интегральные показатели переходных процессов

#### Проверка по нагреву двигателя и преобразователя

Проверку по нагреву двигателя выполняется методом эквивалентного тока

$$I_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \Delta t_i}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (1.56)$$

где  $I_i$  – среднеквадратичное значение тока на  $i$ -м участке;

$\Delta t_i$  – длительность  $i$ -го участка работы;

$\beta_i$  – коэффициент ухудшения теплоотдачи двигателя.

Поскольку наибольшее время двигатель работает в диапазоне скоростей  $0,2\omega_n \leq \omega \leq 0,8\omega_n$  примем упрощение, что коэффициент ухудшения условий охлаждения двигателя всегда равен  $(1 + \beta_0)/2$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$I_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{ПВ_{\text{кат}}}{ПВ_{\text{факт}}}} I_{\text{н}}; \quad (1.57)$$

Значения  $\beta_i$  приведены в таблице 10.

Таблица 8 – Рекомендуемые значения коэффициента ухудшения условий охлаждения двигателя

$\omega$	$\omega \leq 0,2\omega_{\text{н}}$	$0,2\omega_{\text{н}} \leq \omega \leq 0,8\omega_{\text{н}}$	$\omega \geq 0,8\omega_{\text{н}}$
$\beta_i$	$\beta_0$	$(1 + \beta_0)/2$	1

Поскольку наибольшее время двигатель работает в диапазоне скоростей  $0,2\omega_{\text{н}} \leq \omega \leq 0,8\omega_{\text{н}}$  примем упрощение, что коэффициент ухудшения условий охлаждения двигателя всегда равен  $(1 + \beta_0)/2$

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{7,4671^2 \cdot 1 + 4,5945^2 \cdot 24,5 + 4,0444^2 \cdot 0,8 + 4,2553^2 \cdot 39,2 + \frac{1+0,55}{2} \cdot (1 + 24,5+0,8 + 39,2+0,2+1,33 + 1,33 + 23,7)}{1+0,55}} = 5,62 \text{ А};$$

$$\frac{+ 1,7601^2 \cdot 0,2 + 5,4795^2 \cdot 1,33 + 3,9599^2 \cdot 23,7 + 4,1205^2 \cdot 1,33}{\frac{1+0,55}{2} \cdot (1 + 24,5+0,8 + 39,2+0,2+1,33 + 1,33 + 23,7)} = 5,62 \text{ А};$$

$$I_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{0,767}{1}} \cdot 7,3 = 6,39 \text{ А};$$

$$I_{\text{э}} = (0,85 \dots 0,9) I_{\text{доп}}.$$

Условие выполняется

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

$$I_{\text{ср кв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \Delta t_i}{t_{\text{р факт}}}} \leq I_{\text{н}} \text{ пр}; \quad (1.57)$$

$$I_{\text{ср кв}} = \sqrt{\frac{8,4094^2 \cdot 1 + 4,5945^2 \cdot 24,5 + 4,5194^2 \cdot 1 + \dots}{92,06}}$$

$$\frac{+ 5,4795^2 \cdot 1,33 + 3,9599^2 \cdot 23,7 + 4,1205^2 \cdot 1,33}{92,06} = 3,365 \text{ А.}$$

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

#### 1.14 Расчет энергетических показателей электропривода

Энергетические показатели электропривода характеризуют экономичность преобразования энергии системой электропривода (коэффициент полезного действия) и экономичность потребления энергии от сети (коэффициент мощности).

Для электропривода, работающего в повторно-кратковременном режиме работы, универсальной оценкой энергетических показателей является их средневзвешенные значения за цикл работы (цикловые значения). Мгновенные значения КПД и  $\cos\varphi$  могут характеризовать экономичность работы электропривода только в установившихся режимах работы.

Таблица 9 – Интегральные показатели

Расчетные данные	Рабочий ход				Обратный ход			
	Пуск	Уст. режим	Торможение 1	Пон. скорость	Торможение 2	Пуск	Уст.режим	Торможение
Механическая энергия (пер. процесс) / мощность на валу двигателя (уст. режим) $P_V$	22819,7422		15015,2128		-7,2845	21650		-354,153
Активная энергия (пер. процесс) сети / активная мощность (уст. режим) сети $P_C$	65112,3353		67501,7211		1225,7592	60503,1028		1529,6595
$\eta$	35,04		22,24		0,59	35,78		23,15

## Цикловые значения КПД и $\cos\varphi$

За время цикла знаки энергий могут быть различными и сложение энергий может привести к ошибочным показателям. Для определения цикловых энергетических показателей используем средневзвешенные значения, вводя в расчет показатели  $\eta$  каждого участка:

$$\eta_{\text{ц}} = \frac{\sum_{k=1}^m \eta_k \cdot t_k}{\sum_{k=1}^m t_k};$$

$$\eta_{\text{ц}} = \frac{35,04 \cdot 25,5 + 22,24 \cdot 40 + 0,59 \cdot 39,4 + 35,78 \cdot 25,03 + 23,15 \cdot 1,33}{92,06}; \quad (1.65)$$

$$\eta_{\text{ц}} = 29,684.$$

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

В ходе курсовой работы были проведены расчёты статических и динамических моментов, мощности двигателя. По рассчитанным данным был выбран асинхронный двигатель АИР 112 М8 для режима ПВ=100%.

Для данного двигателя было определено передаточное число, по которому в дальнейшем был выбран цилиндрический двухступенчатый редуктор типа ВКУ-765М. Рассчитаны приведенные статические моменты системы электропривод – рабочая машина, проведена их проверка. Рассчитаны статические характеристики электропривода, построены механические характеристики двигателя.

В результате было получено, что разработанный электропривод удовлетворяет всем требованиям.

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41



## 2 СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГРЕЙФЕРНОГО КРАНА

После нажатия кнопки пуск автоматического режима контроллер считывает необходимую информацию с имеющихся датчиков для проверки готовности к запуску системы в автоматическом режиме (ДТ1 - датчик температуры в первой печи, ДТ2 - датчик температуры во второй печи, ДТ3 - датчик температуры в третьей печи, ДУМин - датчики уровня топлива в бункерах).

Затем начнется движение моста и механизма подъема по осям X и Y соответственно. Движение будет происходить по координатам полученных с помощью датчиков ДМБ и ДМП для оси X, ДТП1 ДТП2 и ДТП3 для оси Y. После того как мост и кран достигнут нужной координаты сработает лебедка. Лебедка опустит механизм подъема на высоту датчика ДБ, ковш откроется и после этого с помощью датчика препятствия ДПК опустится на нужную для захвата груза высоту. Затем механизм зачерпнет груз. Затем лебедка поднимет ковш до датчика ДНачВыс. Мост перемещает груз по оси X, механизм подъема перемещается по оси Y к нужной печи (Нужная печь выбирается по температуре с помощью датчиков температуры). Механизм подъема опускает груз до датчика ДУП. Ковш открывается и груз перемещается в печь. Затем лебедка поднимает ковш вверх. После поступления информации о том, что температура в какой-либо печи понизилась ниже границы происходит повторение цикла.

Для работы в ручном режиме должны быть предусмотрены кнопки МВ, МВ, ТВв, ТВн, МПВв, МПВн, КЗ и КО («Мост влево», «Мост вправо», «Телешка вверх», «тележка вниз», «Механизм подъема вверх», «Механизм подъема вниз», «Ковш закрыть» и «Ковш открыть» соответственно).

										Лист
										42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ					



## 2.1 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:

- включение привода передвижения моста влево по оси X (МЛ);
- включение привода передвижения моста вправо по оси X(МП);
- включение привода передвижения тележки вверх по оси Y (ТВв);
- включение привода передвижения тележки вниз по оси Y (ТВн);
- включение привода механизма подъёма ковша вверх (КВв);
- включение привода механизма подъёма ковша вниз (КВн);
- включение привода ковша на открытие (КО);
- включение привода ковша на закрытие (КЗ).

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 «Питания» (Пит);
- сигнал «Готовность к Автоматическому режиму» (ГотА);
- сигнал «Автоматический режим» (ИндАвт);
- сигнал «Ручной режим» (ИндРуч);
- сигнал «АВАРИЯ» (Авария);
- сигнал «Неисправность привода моста» (АврМ);
- сигнал «Неисправность привода тележки» (АврТ);
- сигнал «Неисправность привода механизма подъёма» (АврМП);
- сигнал «Неисправность привода ковша» (АврК).

Для управления линией автоматизации используется пульт оператора, (изображенный на рисунке 9), представляющий собой панель с блоками кнопок, формирующих следующие выходные сигналы:

- сигнал «Авария» (кнАвария);
- сигнал «Питание» (кнПит);
- сигнал «Пуск автоматический режим» (Пуска);
- сигнал «Стоп автоматический режим» (Стопа);
- сигнал «Ручной режим» (РучР);
- сигнал «Автоматический режим» (Автр);
- сигнал «Сброс Аварии» (СбросА);
- сигнал «Мост влево» (кнКЛ);
- сигнал «Мост вправо» (кнКП);
- сигнал «Тележка вверх» (кнТвв);
- сигнал «Тележка Вниз» (кнТвн);
- сигнал «Механизм подъёма вверх» (кнКВв);
- сигнал «Механизм подъёма вниз» (кнКВн);
- сигнал «Ковш открыть» (кнКо);
- сигнал «Ковш закрыть» (кнКз);

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

- датчик, сигнализирующий о нахождении моста в начальном положении (ДМнач);
- датчик, сигнализирующий о положении моста напротив бункера (ДМБ);
- датчик, сигнализирующий о положении моста напротив печей (ДМП);
- датчик, ограничивающий положение моста слева по оси X (ДОМ1);
- датчик, ограничивающий положение моста справа по оси X (ДОМ2);
- датчик, сигнализирующий о нахождении тележки в начальном положении (ДТнач);

- датчик, сигнализирующий о положении тележки напротив печи 1 (ДТП1);
- датчик, сигнализирующий о положении тележки напротив бункера и печи 2 (ДТП2);
- датчик, сигнализирующий о положении тележки напротив печи 3 (ДТП3);
- датчик, ограничивающий положение тележки слева по оси Y (ДОТ1);
- датчик, ограничивающий положение тележки справа по оси Y (ДОТ2);
- датчик, сигнализирующий о нахождении ковша в начальном положении (ДНачВыс);
- датчик, сигнализирующий о нахождении топлива в бункере на минимальном для захвата ковшом уровне (ДУМин);
- датчик, сигнализирующий о нахождении ковша на безопасной для открытия высоте (ДБ);
- датчик, сигнализирующий о нахождении ковша на высоте сброса топлива в печь (ДУП);
- датчик, сигнализирующий о нахождении топлива в ковше (ДГК);
- датчик, показывающий температуру в печи 1 (ДТ1);
- датчик, показывающий температуру в печи 2 (ДТ2);
- датчик, показывающий температуру в печи 3 (ДТ3);

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

Таблица 10 – Сигналы и команды, используемые в системе автоматизации

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Входные сигналы пульта управления и выходные контроллера	Пит	Лампа индикации «Питания»	Есть
	ГотА	Лампа индикации «Готовность к Автоматическому режиму»	Есть
	ИндАвт	Лампа индикации «Автоматический режим»	Есть

Продолжение таблицы 10

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Входные сигналы пульта управления и выходные контроллера	ИндРуч	Лампа индикации «Ручной режим»	Есть
	АврМ	Лампа индикации «Неисправность привода моста»	Есть
	АврТ	Лампа индикации «Неисправность привода тележки»	Есть
	АврМП	Лампа индикации «Неисправность привода механизма подъёма»	Есть
	АврК	Лампа индикации «Неисправность привода ковша»	Есть
	АврД	Лампа индикации «Неисправность датчиков»	Есть
	Авария	Лампа индикации «Авария»	Есть
Выходные сигналы пульта управления	кнПит	Ключ-бирка «Питание»	Ключ повернут
	АврР	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	Повернут влево
	РучР	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	Повернут вправо
	Пуска	Кнопка «Пуск автоматического режима»	Нажата один раз
	СтопА	Кнопка «Стоп автоматического режима»	Нажата один раз
	кнКЛ	Кнопка «Мост влево»	Нажата
	кнКП	Кнопка «Мост вправо»	Нажата
	кнТвв	Кнопка «Тележка вверх»	Нажата
	кнТвн	Кнопка «Тележка Вниз»	Нажата
	кнКВв	Кнопка «Механизм подъёма вверх»	Нажата
	кнКВн	Кнопка «Механизм подъёма вниз»	Нажата
	кнКО	Кнопка «Ковш открыть»	Нажата
	кнКЗ	Кнопка «Ковш закрыть»	Нажата
	СбросА	Кнопка «Сброс аварии»	Нажата один раз
Входные сигналы контроллера	ДМнач	датчик, сигнализирующий о нахождении моста в начальном положении	Есть

Продолжение таблицы 10

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Входные сигналы контроллера	ДМБ	датчик, сигнализирующий о положении моста напротив бункера	Есть
	ДМП	датчик, сигнализирующий о положении моста напротив печей	Есть
Входные сигналы контроллера	ДМнач	датчик, сигнализирующий о нахождении моста в начальном положении	Есть
	ДМБ	датчик, сигнализирующий о положении моста напротив бункера	Есть
	ДМП	датчик, сигнализирующий о положении моста напротив печей	Есть
	ДОМ1	датчик, ограничивающий положение моста слева по оси X	Есть
	ДОМ2	датчик, ограничивающий положение моста справа по оси X	Есть
	ДТНач	датчик, сигнализирующий о нахождении тележки в начальном положении	Есть
	ДТП1	датчик, сигнализирующий о положении тележки напротив печи 1	Есть
	ДТП2	датчик, сигнализирующий о положении тележки напротив бункера и печи 2	Есть
	ДТП3	датчик, сигнализирующий о положении тележки напротив печи 3	Есть
	ДОТ1	датчик, ограничивающий положение тележки слева по оси Y	Есть
	ДОТ2	датчик, ограничивающий положение тележки справа по оси Y	Есть
	ДНачВыс	датчик, сигнализирующий о нахождении ковша в начальном положении	Есть
	ДУМин	датчик, сигнализирующий о нахождении топлива в бункере на минимальном для захвата ковшом уровне	Есть
	ДБ	датчик, сигнализирующий о нахождении ковша на безопасной для открытия высоте	Есть
	ДУП	датчик, сигнализирующий о нахождении ковша на высоте сброса топлива в печь	Есть
ДГК	датчик, сигнализирующий о нахождении топлива в ковше	Есть	

Продолжение таблицы 10

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Входные сигналы контроллера	ДТ1	датчик, показывающий температуру в печи 1	Есть
	ДТ2	датчик, показывающий температуру в печи 2	Есть
	ДТ3	датчик, показывающий температуру в печи 3	Есть
	ДПК	датчик, сигнализирующий о столкновении ковша с препятствием	Есть
Выходные сигналы контроллера	МЛ	включение привода передвижения моста влево по оси X	Есть
	МП	включение привода передвижения моста вправо по оси X	Есть
	ТВв	включение привода передвижения тележки вверх по оси Y	Есть
	ТВн	включение привода передвижения тележки вниз по оси Y	Есть
	КВв	включение привода механизма подъёма ковша вверх	Есть
	КВн	включение привода механизма подъёма ковша вниз	Есть
	КО	включение привода ковша на открытие	Есть
	КЗ	включение привода ковша на закрытие	Есть



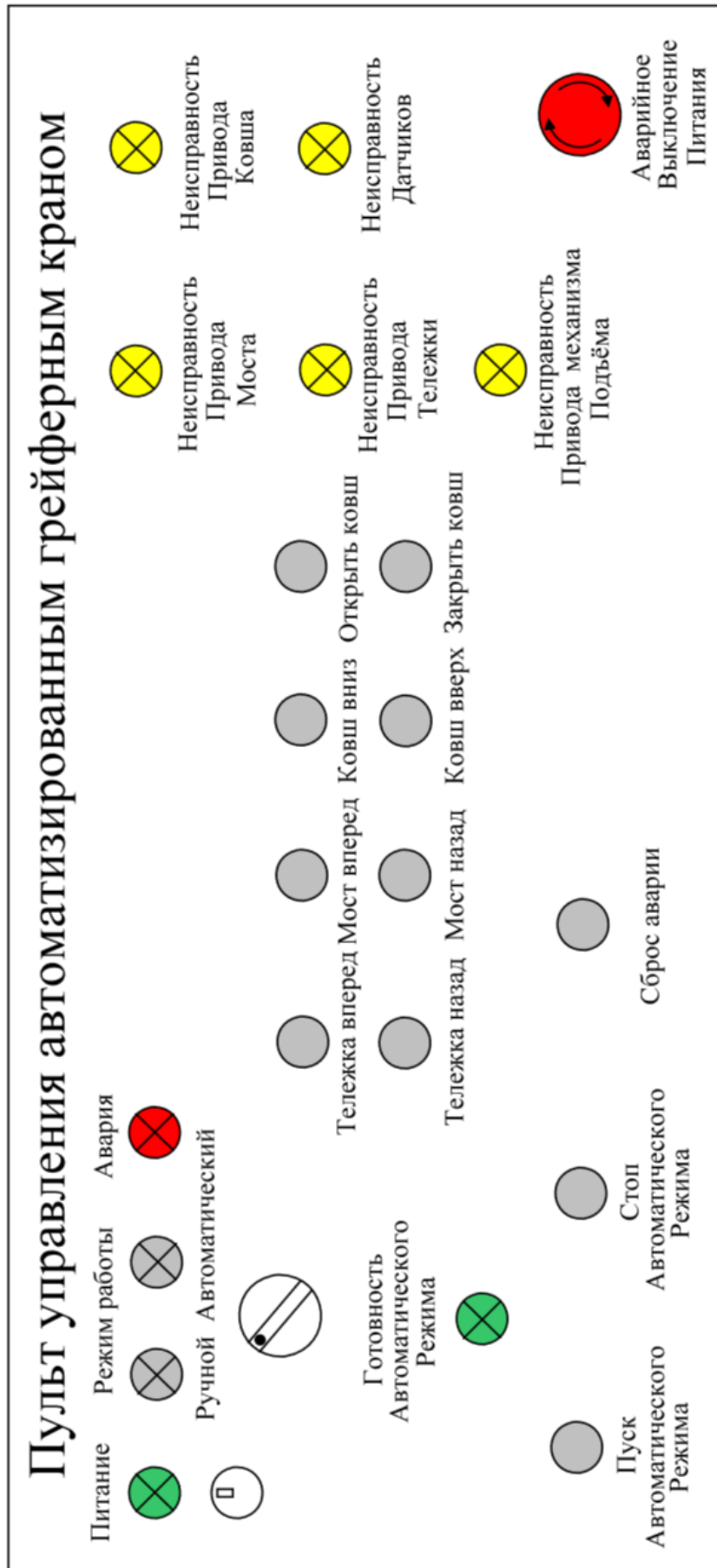


Рисунок 9 – Пульт управления

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 2.2 Разработка алгоритма автоматизации управления механизмами объекта

Программу для контроллера разделим условно-функционально на пять блоков: «блок автоматического цикла», «блок управления мостом», «блок управления тележкой», «блок управления ковшом» и «блок аварийных сигналов».

### Блок автоматического цикла

Сигнал готовности к автоматическому режиму возникает в начальном положении всех механизмов и сохраняется пока переключатель находится в положении автоматического режима, есть питание пульта и отсутствие сигнала об аварии:

$$ГотА = (ДМнач \cdot ДТНач \cdot ДНачВыс \cdot АвтР + ГотА) \cdot кнПит \cdot \overline{Авария}. \quad (2.1)$$

Сигнал автоматического режима возникает при нажатии кнопки «Пуск автоматического режима», и сохраняется пока есть сигнал готовности к автоматическому режиму, пока не будет нажата кнопка «Стоп Автоматического режима», пока не переключен переключатель положение ручного управления и пока отсутствует сигнала об аварии:

$$ГотА = (ПускаА \cdot ГотА + ГотА) \cdot \overline{СтопА} \cdot \overline{РучР} \cdot \overline{Авария}. \quad (2.2)$$

### Блок управления мостом

Сигнал движения моста влево возникает в автоматическом режиме при получении сигнала с датчика любой из печей до тех пор, пока мост не будет расположен напротив бункера или при отсутствии груза в ковше и положении моста напротив печей, нахождении ковша в начальном положении до тех пор, пока мост не займет свое начальное положение, в отсутствие сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал движения моста влево возникает при нажатой кнопке «Мост влево» и отсутствии сигнала «Авария»:

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

$$\begin{aligned}
 \text{МЛ} = & ((\text{ДТ1} + \text{ДТ2} + \text{ДТ3}) \overline{\text{ДМБ}} + \text{ДНачВыс} \cdot \overline{\text{ДГК}} \cdot \text{ДМП} \text{X} \\
 & \text{X} \overline{\text{ДМнач}} + \text{МЛ}) \overline{\text{ДОМ1}} \cdot \overline{\text{МП}} \cdot \text{ГотА} + \text{кнМЛ} \cdot \text{РучР}) \cdot \overline{\text{Авария}}.
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

Сигнал движения моста вправо возникает в автоматическом режиме при наличии груза в ковше и положении моста напротив бункера, нахождении ковша в начальном положении до тех пор, пока мост не займет положение напротив печей, в отсутствие сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал движения моста вправо возникает при нажатой кнопке «Мост вправо» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$\begin{aligned}
 \text{МП} = & ((\overline{\text{ДМП}} \cdot \text{ДНачВыс} \cdot \text{ДМБ} \cdot \text{ДГК} + \text{МП}) \overline{\text{ДОМ2}} \cdot \overline{\text{МЛ}} \cdot \text{ГотА} + \\
 & + \text{кнМП} \cdot \text{РучР}) \cdot \overline{\text{Авария}}.
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

#### Блок управления тележкой

Сигнал движения тележки вверх в автоматическом режиме возникает при наличии сигнала с датчика печи 1 и наличии груза в ковше до тех пор, пока тележка не достигнет положения напротив печи 1 или при отсутствии груза и нахождении тележки напротив печи 3 до тех пор, пока тележка не достигнет своего начального положения, в отсутствие сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал движения тележки вверх возникает при нажатой кнопке «Тележка вверх» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$\begin{aligned}
 \text{ТВв} = & ((\text{ДТ1} \cdot \overline{\text{ДТП1}} \cdot \text{ДГК} + \text{ДТП3} \cdot \overline{\text{ДГК}} \cdot \overline{\text{ДТнач}} + \text{ТВв}) \text{X} \\
 & \text{X} \text{ДНачВыс} \cdot \overline{\text{ДОТ1}} \cdot \overline{\text{ТВн}} \cdot \text{ГотА} + \text{кнТВв} \cdot \text{РучР}) \cdot \overline{\text{Авария}}.
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

Сигнал движения тележки вниз в автоматическом режиме возникает при отсутствии груза и нахождении тележки напротив печи 1, до тех пор, пока тележка не займет свое начальное положение или при наличии сигнала с датчика печи 3 и наличии груза в ковше до тех пор, пока тележка не достигнет положения напротив печи 3, в отсутствие сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал движения тележки вниз возникает при нажатой кнопке «Тележка вниз» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$T_{Вн} = ((ДТП1 \cdot \overline{ДГК} \cdot \overline{ДТнач} + ДТЗ \cdot \overline{ДТПЗ} \cdot \overline{ДГК} + T_{Вн}) \cdot X \cdot \overline{ДНачВыс} \cdot \overline{ДОТ2} \cdot \overline{ТВв} \cdot \overline{ГотА} + k_{нтВн} \cdot \overline{РучР}) \cdot \overline{Авария}. \quad (2.7)$$

#### Блок управления ковшом

Сигнал на включение привода ковша на открытие возникает в автоматическом режиме при нахождении ковша на безопасной для открытия высоте или высоте сброса топлива в печь, если ковш не движется вверх и отсутствует сигнал «Авария». В ручном режиме сигнал на открытие ковша возникает при нажатой кнопке «Ковш открыть» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$K_{О} = ((ДБ + ДУП + K_{О}) \cdot \overline{КЗ} \cdot \overline{КВв} \cdot \overline{ГотА} + k_{нкО} \cdot \overline{РучР}) \cdot \overline{Авария}. \quad (2.8)$$

Сигнал на включение привода ковша на закрытие возникает в автоматическом режиме при наличии груза в ковше или отсутствии груза в ковше и нахождении на высоте сброса топлива в печь, в отсутствие сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал на закрытие ковша возникает при нажатой кнопке «Ковш закрыть» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$K_{З} = ((ДГК + ДУП \cdot \overline{ДГК} + K_{З}) \cdot \overline{КО} \cdot \overline{ГотА} + k_{нкЗ} \cdot \overline{РучР}) \cdot \overline{Авария}. \quad (2.9)$$

Сигнал на движение ковша вверх возникает в автоматическом режиме при нахождении моста напротив бункера и наличии груза в ковше или при нахождении ковша на высоте сброса топлива в печь и отсутствии груза в ковше до тех пор, пока ковш не достигнет начальной высоты, в отсутствие сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал поднятие ковша вверх возникает при нажатой кнопке «Механизм подъема вверх» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$K_{Вв} = ((ДМБ \cdot \overline{ДГК} + ДУП \cdot \overline{ДГК}) \cdot \overline{ДНачВыс} \cdot \overline{КВн} \cdot \overline{ГотА} + k_{нкВв} \cdot \overline{РучР}) \cdot \overline{Авария}. \quad (2.10)$$

Сигнал на движение ковша вниз возникает в автоматическом режиме при нахождении моста напротив бункера до тех пор, пока у ковша не сработает датчик препятствия или при нахождении моста напротив печей до тех пор, пока ковш не достигнет высоты сброса топлива в печь, в отсутствие сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал движения ковша вниз возникает при нажатой кнопке «Механизм подъема вниз» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$КВн = ((ДМБ \cdot \overline{ДПК} + ДМП \cdot \overline{ДУП}) \cdot \overline{КВв} \cdot ГотА + \\ + кнКВн \cdot РучР) \cdot \overline{Авария}. \quad (2.11)$$

#### Блок аварийных сигналов

АврМ описывает аварии, сопутствующие отсутствию своевременного сигнала работы привода моста в автоматическом режиме:

$$АврМ = Т1; \quad (2.12)$$

$$Т1 = МЛ + МП; \quad (2.13)$$

$$СбросТ1 = СтопА + СбросА + РучР, \text{ время задержки } 2с. \quad (2.14)$$

САврТ описывает аварии, сопутствующие отсутствию своевременного сигнала работы привода тележки в автоматическом режиме:

$$АврТ = Т2; \quad (2.15)$$

$$Т2 = ТВв + ТВн; \quad (2.16)$$

$$СбросТ2 = СтопА + СбросА + РучР, \text{ время задержки } 2с. \quad (2.17)$$

АврМП описывает аварии, сопутствующие отсутствию своевременного сигнала работы привода подъема в автоматическом режиме:

$$АврМП = Т3; \quad (2.18)$$

$$Т3 = КВв + КВн; \quad (2.19)$$

$$СбросТ3 = СтопА + СбросА + РучР, \text{ время задержки } 2с. \quad (2.20)$$

АврК описывает аварии, сопутствующие отсутствие своевременного сигнала работы привода ковша в автоматическом режиме:

$$\text{АврК} = \text{T4}; \quad (2.21)$$

$$\text{T4} = \text{КО} + \text{КЗ}; \quad (2.22)$$

$$\text{СбросT4} = \text{СтопА} + \text{СбросА} + \text{РучР}, \text{ время задержки } 2\text{с}. \quad (2.23)$$

АврД описывает аварии, сопутствующие отсутствие своевременного сигнала работы датчиков:

$$\begin{aligned} \text{АврД} = & \text{ДМБ} \cdot \text{ДМП} + \text{ДОМ1} \cdot \text{ДОМ2} + \text{ДТП1} \cdot \text{ДТП2} + \text{ДТП2} \cdot \text{Х} \quad (2.24) \\ & \text{Х} \cdot \text{ДТП3} + \text{ДТП1} \cdot \text{ДТП3} + \text{ДОТ1} \cdot \text{ДОТ2} + \text{ДБ} \cdot \text{ДУП}. \end{aligned}$$

Сигнал аварии возникает при отсутствии нажатой кнопки «Сброс Аварии» и неисправности механизмов и датчиков:

$$\text{Авария} = (\text{АврМ} + \text{АврТ} + \text{АврМП} + \text{АврК} + \text{АврД} + \text{Авария}) \cdot \text{Сброс}. \quad (2.25)$$

### 2.3 Разработка функциональной схемы автоматизации

На основе описания технологического процесса, автоматизируемого объекта, определенных входных и выходных команд составлена схема электрическая функциональная, представленная в приложении В.

В рассматриваемой системе автоматизации можно выделить следующие функциональные элементы:

- пульт управления (ПУ);
- блок управления (БУ);
- системы управления двигателями (СУД);
- приводной двигатель (М1) передвижения моста;
- приводной двигатель (М2) передвижения тележки;
- приводной двигатель (М3) механизма подъема;
- приводной двигатель (М4) ковша;
- датчики технологической информации (ДМнач, ДМБ, ДМП и т.д.);
- блок питания (БП).

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

На функциональной схеме показана взаимосвязь отдельных элементов системы автоматизации.

На пульте управления предусмотрены:

–индикационные светодиодные лампы с целью индикации состояния системы (режима работы): «Автоматический», «Ручной», «Питание», «Авария», «Готовность Автоматического Режима», «Неисправность привода моста», «Неисправность привода ковша», «Неисправность привода тележки», «Неисправность привода механизма подъема», «Неисправность датчиков»;

– кнопки управления работы приводов «Пуск автоматического режима», «Стоп автоматического режима» и кнопки управления приводами в ручном режиме «Ковш вверх», «Ковш вниз», «Мост влево», «Мост вправо», «Тележка вверх», «Тележка вниз», «Открыть ковш», «Закреть ковш», а также кнопка «Сброс аварии» и «Аварийное выключение питания»;

– переключатель положений автоматического и ручного режима работы;

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

## 2.4 Выбор элементной базы автоматизации

### 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.

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56



Рисунок 10 – Внешний вид контроллера *DL06*

#### Выбор дополнительного модуля входов-выходов

В ходе проектирования системы автоматизации грейферного крана, программируемому контроллеру необходимо иметь 33 входных и 8 выходных сигналов.

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

Выбираем два модуля дискретных входов *D0-10ND3*, каждый из которых имеет 10 входов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата





Рисунок 11 – Внешний вид модуля дискретных входов *D0-10ND3*

### Выбор датчиков технологической информации

Из задания на курсовое проектирование для определения положения тележки, моста и ковша (а также их крайних положения) выберем универсальный оптический датчик *XUB0APSNM12*.

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 12 – Внешний вид универсального оптического датчика *XUB0APSNM12*

Технические характеристики оптического датчика *XUB0APSNM12*:

-Напряжение питания, универсальное: 12 - 24 В постоянного тока

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ

Лист

58

- Подключение: разъем *M12 4pin* четырехконтактный, трехпроводной кабель
- Выход: *PNP NO/NC*, программируемый
- Тип выходного сигнала: дискретный
- Тип выхода: реле состояния

Согласно описанию технологического процесса в печах необходима установка температурных датчиков для определения необходимости в топливе из бункера. В качестве универсального температурного датчика выберем датчик *JB-TS-PT1000*. Его характеристики приведены в таблице 8.

Таблица 11 – Характеристики *JB-TS-PT1000*

Диапазон измерений	-50°C ... +200°C
Относительная влажность окружающей среды	10% - 100%
Атмосферное давление	от 70 до 106 кПа
Диаметр корпуса	4,6 +/- 0,1мм
Длина корпуса	24мм
Электрическая прочность	500В переменного тока
Сопротивление изоляции	>200 Мом при 500В пост.тока
Тип и длина кабеля	Силиконовый, 2x0,22м2, 3м
Класс пылевлагозащиты датчика	<i>IP68</i>



Рисунок 13 – Внешний вид универсального температурного датчика *JB-TS-PT1000*

Также необходимо выбрать датчик, определяющий столкновение ковша с препятствием (топливом). Для этого следует использовать тензодатчик фирмы “*VPG TedeA*” *0355-0500-G300R*, распознающий номинальный вес до 500 кг. Его характеристики сведены в таблицу 9.



Рисунок 14 – Внешний вид тензодатчика 0355-0500-G300R

Таблица 12 – Характеристики 0355-0500-G300R

Тип	Одиночная балка
Номинальный вес, кг	500
Класс точности	C3
Класс защиты	IP68
Подключение	6-проводное
Материал	Нержавеющая сталь
Производитель	VPG/Tedea

## Выбор блока питания

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

Рассчитаем эту мощность:

$$P_{\text{потр}} = U_{\text{нкотр}} + U_{\text{контр}} + 2U_{\text{мод}}I_{\text{мод}} + 14U_{\text{датч1}}I_{\text{датч1}} + \quad (2.26) \\ + 3U_{\text{датч2}}I_{\text{датч2}} + 2U_{\text{датч3}}I_{\text{датч3}};$$

$$P_{\text{потр}} = 24 \cdot 1 + 2 \cdot 24 \cdot 0,50 + 14 \cdot 24 \cdot 0,1 + 2 \cdot 24 \cdot X \\ X 0,24 + 2 \cdot 24 \cdot 0,5 = 117,12 \text{ Вт.}$$

По полученной мощности выберем блок питания *DRP-240-24* - AC/DC преобразователь мощностью 240 Вт, производства компании *MW* серии *DRP-240*:

- Мощность: 240 Вт
- Количество выходов:  $U_{\text{вых}}=24 \text{ В}$ ,  $I_{\text{вых}}=0...10 \text{ А}$ ;
- Электрическая прочность изоляции: вход-выход 3000В AC, вход-земля 1500В AC
- 1 фазное подключение
- Входное напряжение AC: 180...264 В (Номинальное: 230 В)
- Коэффициент мощности: 0.7
- Комплекс защит от: короткого замыкания, перегрузки, перенапряжения, перегрева
- Габариты: 227 x 125.2 x 100 мм
- Корпус: для монтажа на *DIN*-рейку
- Диапазоны температур работы: -20...50 °С, хранения: -20...85 °С



Рисунок 15 – Внешний вид блока питания *DRP-240-24*

#### Выбор электродвигателя

Исходя из условий курсового проекта, необходимо выбрать четыре асинхронных электродвигателя с короткозамкнутым ротором мощностью

4 кВт (привод передвижения моста), 2,2 кВт (привод передвижения тележки), 3 кВт (привод механизма подъема) и 1,1 кВт (привод ковша).

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 привода передвижения моста выбираем 3-х фазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АИР 100 S2.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ

Лист

62

Таблица 13 – Номинальные данные электродвигателя АИР 100 S2

Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	$I_{ном}$ , А	$I_{пуск}$ , о.е.	КПД, %	Коэффициент мощности	Масса, кг
4	3000	8,40	63	84	0,88	30

Для привода передвижения тележки в главе 1.6 был выбран 3-х фазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АИР 112 M8

Таблица 14 – Номинальные данные электродвигателя АИР 112 M8

Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	$I_{ном}$ , А	$I_{пуск}$ , о.е.	КПД, %	Коэффициент мощности	Масса, кг
2,20	3000	7,30	36,50	76	0,65	43

Для привода механизма подъема выбираем 3-х фазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АИР 90 L2.

Таблица 15 – Номинальные данные электродвигателя АИР 90 L2

Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	$I_{ном}$ , А	$I_{пуск}$ , о.е.	КПД, %	Коэффициент мощности	Масса, кг
3	3000	6,50	45,50	82	0,85	20

Для привода ковша выбираем 3-х фазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АИР 80 А4.

Таблица 16 – Номинальные данные электродвигателя АИР 80 А4

Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	$I_{ном}$ , А	$I_{пуск}$ , о.е.	КПД, %	Коэффициент мощности	Масса, кг
1,10	1500	3,10	15,50	76	0,77	12,80

#### Выбор преобразователя частоты

Для выбранных выше приводов моста, тележки, ковша и механизма подъема выберем преобразователи частоты с векторным регулированием фирмы «Optimele» серии C200.

Таблица 17 – Номинальные данные преобразователя частоты для привода ковша

Модель	Напряжение на входе, В	Номинальный ток на выходе, А	Допустимая мощность двигателя, кВт
ПЧВ103-4К0-В	380-480	8,2	3

Таблица 18 – Номинальные данные преобразователя частоты для привода передвижения моста

Модель	Напряжение на входе, В	Номинальный ток на выходе, А	Допустимая мощность двигателя, кВт
С200-4Т-0040	380	9,5	4

Таблица 19 – Номинальные данные преобразователя частоты для приводов передвижения механизма подъема

Модель	Напряжение на входе, В	Номинальный ток на выходе, А	Допустимая мощность двигателя, кВт
С200-4Т-0037	380	8,5	3,7

Таблица 20 – Номинальные данные преобразователя частоты для привода ковша

Модель	Напряжение на входе, В	Номинальный ток на выходе, А	Допустимая мощность двигателя, кВт
С200-4Т-0022	380	5	2,2

## 2.5 Разработка схемы электрической принципиальной

В соответствии с выбранной элементной базой и разработанной функциональной схемой системы автоматизации была составлена принципиальная схема (чертеж П-13.03.02.2019.145.02ЭЗ ВКП).

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. А после нажатия кнопки  $SB1$  силовые цепи разрываются.

Автоматические выключатели  $QF2 - QF5$  обеспечивает 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  $A2$ , модули дискретных входов  $A3$  и датчики  $SQ1-SQ20$ .

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

Автоматизация технологического процесса реализуется программируемым контроллером  $A2$ . Входные сигналы поступают с пульта управления  $A1$ , датчиков технологической информации  $SQ1-SQ20$ , а также выходные сигналы подаются на преобразователи частоты двигателей.

В данной системе автоматизации для фиксации положений механизмов используются датчики  $SQ1-SQ20$ . Выходы датчиков подключены к контроллеру  $A2$  и к модулям ввода  $A3$  и  $A4$ .

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		65



Управление двигателями осуществляется преобразователями частоты *UZ1*, *UZ2*, *UZ3*, *UZ4* соответственно, сигналы на них подаются с контроллера *A2*.

## 2.6 Разработка программного обеспечения

На основе приведенных в п. 2 логических уравнений, а также с учетом подключения входных и выходных цепей к программируемому контроллеру, представленному на электрической принципиальной схеме П-13.03.02.2019.145.02ЭЗ ВКП. создадим программу. Программа в дальнейшем предназначена для записи в ПЛК DL06

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 17.

Таблица 21 – Адреса переменных контроллера

№ п/п	Наименование сигнала, таймера, счетчиков или переменной	Обозначение переменной	Адрес	Связывающий элемент
<b>Входные сигналы</b>				
1	Переключатель «Автоматический режим»	АвтР	X0	SA2.1
2	Переключатель «Ручной режим»	РучР	X1	SA2.2
3	Кнопка «Пуск автоматического режима»	ПускА	X2	SB2
4	Кнопка «Стоп автоматического режима»	СтопА	X3	SB3
5	Ключ-бирка «Питание»	кнПит	X4	SB1
6	Кнопка «Мост влево»	кнМЛ	X5	SB4
7	Кнопка «Мост вправо»	кнМП	X6	SB5
8	Кнопка «Тележка вверх»	кнТвв	X7	SB6
9	Кнопка «Тележка Вниз»	кнТвн	X10	SB7
10	Кнопка «Механизм подъёма вверх»	кнКВв	X11	SB8
11	Кнопка «Механизм подъёма вниз»	кнКВн	X12	SB9
12	Кнопка «Ковш открыть»	кнКО	X13	SB10
13	Кнопка «Ковш закрыть»	кнКЗ	X14	SB11
14	Кнопка «Сброс аварии»	СбросА	X15	SB12
15	датчик, сигнализирующий о нахождении моста в начальном положении	ДМнач	X16	SQ2
16	датчик, сигнализирующий о положении моста напротив бункера	ДМБ	X17	SQ3
17	датчик, сигнализирующий о положении моста напротив печей	ДМП	X20	SQ4

Продолжение таблицы 21

№ п/п	Наименование сигнала, таймера, счетчиков или переменной	Обозначение переменной	Адрес	Связывающий элемент
18	датчик, ограничивающий положение моста слева по оси X	ДОМ1	X21	SQ5
19	датчик, ограничивающий положение моста справа по оси X	ДОМ2	X22	SQ6
20	датчик, сигнализирующий о нахождении тележки в начальном положении	ДТНач	X23	SQ7
21	датчик, сигнализирующий о положении тележки напротив печи 1	ДТП1	X24	SQ8
22	датчик, сигнализирующий о положении тележки напротив бункера и печи 2	ДТП2	X25	SQ9
23	датчик, сигнализирующий о положении тележки напротив печи 3	ДТП3	X26	SQ10
24	датчик, ограничивающий положение тележки слева по оси Y	ДОТ1	X27	SQ11
25	датчик, ограничивающий положение тележки справа по оси Y	ДОТ2	X28	SQ12
26	датчик, сигнализирующий о нахождении ковша в начальном положении	ДНачВыс	X29	SQ13
27	датчик, сигнализирующий о нахождении топлива в бункере на минимальном для захвата ковшом уровне	ДУМин	X30	SQ14
28	датчик, сигнализирующий о нахождении ковша на безопасной для открытия высоте	ДБ	X31	SQ15
29	датчик, сигнализирующий о нахождении ковша на высоте сброса топлива в печь	ДУП	X32	SQ16
30	датчик, сигнализирующий о нахождении топлива в ковше	ДГК	X33	SQ17
31	датчик, показывающий температуру в печи 1	ДТ1	X34	SQ18
32	датчик, показывающий температуру в печи 2	ДТ2	X35	SQ19
33	датчик, показывающий температуру в печи 3	ДТ3	X36	SQ20
34	датчик, сигнализирующий о столкновении ковша с препятствием	ДПК	X37	SQ1
	<b>Выходные сигналы</b>			
1	включение привода передвижения моста влево по оси X	МЛ	Y0	UZ1

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

ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ

Лист

67

Продолжение таблицы 21

№ п/п	Наименование сигнала, таймера, счетчиков или переменной	Обозначение переменной	Адрес	Связывающий элемент
2	включение привода передвижения моста вправо по оси X	МП	Y1	UZ1
3	включение привода передвижения тележки вверх по оси Y	ТВв	Y2	UZ2
4	включение привода передвижения тележки вниз по оси Y	ТВн	Y3	UZ2
5	включение привода механизма подъёма ковша вверх	КВв	Y4	UZ3
6	включение привода механизма подъёма ковша вниз	КВн	Y5	UZ3
7	включение привода ковша на открытие	КО	Y6	UZ4
8	включение привода ковша на закрытие	КЗ	Y7	UZ4
9	Лампа индикации «Питания»	Пит	Y10	HL1
10	Лампа индикации «Готовность к Автоматическому режиму»	ГотА	Y11	HL2
11	Лампа индикации «Автоматический режим»	ИндАвт	Y12	HL3
12	Лампа индикации «Ручной режим»	ИндРуч	Y13	HL4
13	Лампа индикации «Неисправность привода моста»	АврМ	Y14	HL5
14	Лампа индикации «Неисправность привода тележки»	АврТ	Y15	HL6
15	Лампа индикации «Неисправность привода механизма подъёма»	АврМП	Y16	HL7
16	Лампа индикации «Неисправность привода ковша»	АврК	Y17	HL8
17	Лампа индикации «Неисправность датчиков»	АврД	Y18	HL9
18	Лампа индикации «Авария»	Авария	Y19	HL10
	<b>Промежуточные переменные</b>			
1	Готовность к автоматическому режиму	ГотА	С0	
	<b>Таймеры</b>			
1	Таймер ошибки работы привода перемещения моста	T1	T0	
2	Таймер ошибки работы привода перемещения тележки	T2	T1	
3	Таймер ошибки работы привода подъема	T3	T2	
4	Таймер ошибки работы ковша	T4	T3	

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

ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ

Лист

68

Уравнения с учетом адресации контроллера представлены в таблице 18

Таблица 22 – Уравнения в адресации контроллера DL06

Команда	Уравнения в адресах ПЛК
ГотА	$C0 = (X16 \cdot X23 \cdot X29 \cdot X0 + C0) \cdot X4 \cdot \overline{Y19}$
МЛ	$Y0 = ((X34 + X35 + X36) \overline{X17} + X29 \cdot \overline{X33} \cdot X20 \cdot \overline{X16} + Y0) X$ $X \overline{X21} \cdot \overline{Y1} \cdot Y11 + X5 \cdot X1) \cdot \overline{Y19}$
МП	$Y1 = ((\overline{X20} \cdot X29 \cdot X17 \cdot X33 + Y1) \overline{X22} \cdot \overline{Y0} \cdot Y11 + X6 \cdot X1) \cdot \overline{Y19}$
ТВв	$Y2 = ((X34 \cdot \overline{X24} \cdot X33 + X26 \cdot \overline{X33} \cdot \overline{X23} + Y2) \cdot X29 X$ $X \overline{X27} \cdot \overline{Y3} \cdot Y11 + X7 \cdot X1) \cdot \overline{Y19}$
ТВн	$Y3 = ((X24 \cdot \overline{X33} \cdot \overline{X23} + X36 \cdot \overline{X26} \cdot X33 + Y3) \cdot X29 X$ $X \overline{X28} \cdot \overline{Y2} \cdot Y11 + X10 \cdot X1) \cdot \overline{Y19}$
КВв	$Y4 = ((X17 \cdot X33 + X32 \cdot \overline{X33}) \cdot \overline{X29} \cdot \overline{Y5} \cdot Y11 + X11 \cdot X1) \cdot \overline{Y19}$
КВн	$Y5 = ((X17 \cdot \overline{X37} + X20 \cdot \overline{X32}) \cdot \overline{Y4} \cdot Y11 + X12 \cdot X1) \cdot \overline{Y19}$
КО	$Y6 = ((X31 + X32 + Y6) \cdot \overline{Y7} \cdot \overline{Y4} \cdot Y11 + X13 \cdot X1) \cdot \overline{Y19}$
КЗ	$Y7 = ((X33 + X32 \cdot \overline{X33} + Y7) \cdot \overline{Y6} \cdot Y11 + X14 \cdot X1) \cdot \overline{Y19}$
Пит	$Y10 = X4$
ГотА	$Y11 = (X2 \cdot C0 + Y11) \cdot \overline{X3} \cdot \overline{X1} \cdot \overline{Y17}$
ИндАвт	$Y12 = X0$
ИндРуч	$Y13 = X1$
АврМ	$Y14 = T0$
АврГ	$Y15 = T1$
АврМП	$Y16 = T2$
АврК	$Y17 = T3$
АврД	$Y18 = X17 \cdot X20 + X21 \cdot X22 + X24 \cdot X25 +$ $+ X25 \cdot X26 + X24 \cdot X26 + X27 \cdot X28 + X31 \cdot X32$
Авария	$Y19 = (Y14 + Y15 + Y16 + Y17 + Y18 + Y19) \cdot \overline{X15}$
T1	$T0 = Y0 + Y1, сброс T0 = X3 + X15 + X1, время задержки 2с$
T2	$T1 = Y2 + Y3, сброс T1 = X3 + X15 + X1, время задержки 2с$
T3	$T2 = Y4 + Y5, сброс T2 = X3 + X15 + X1, время задержки 2с$
T4	$T3 = Y6 + Y7, сброс T3 = X3 + X15 + X1, время задержки 2с$

Программа на языке LD

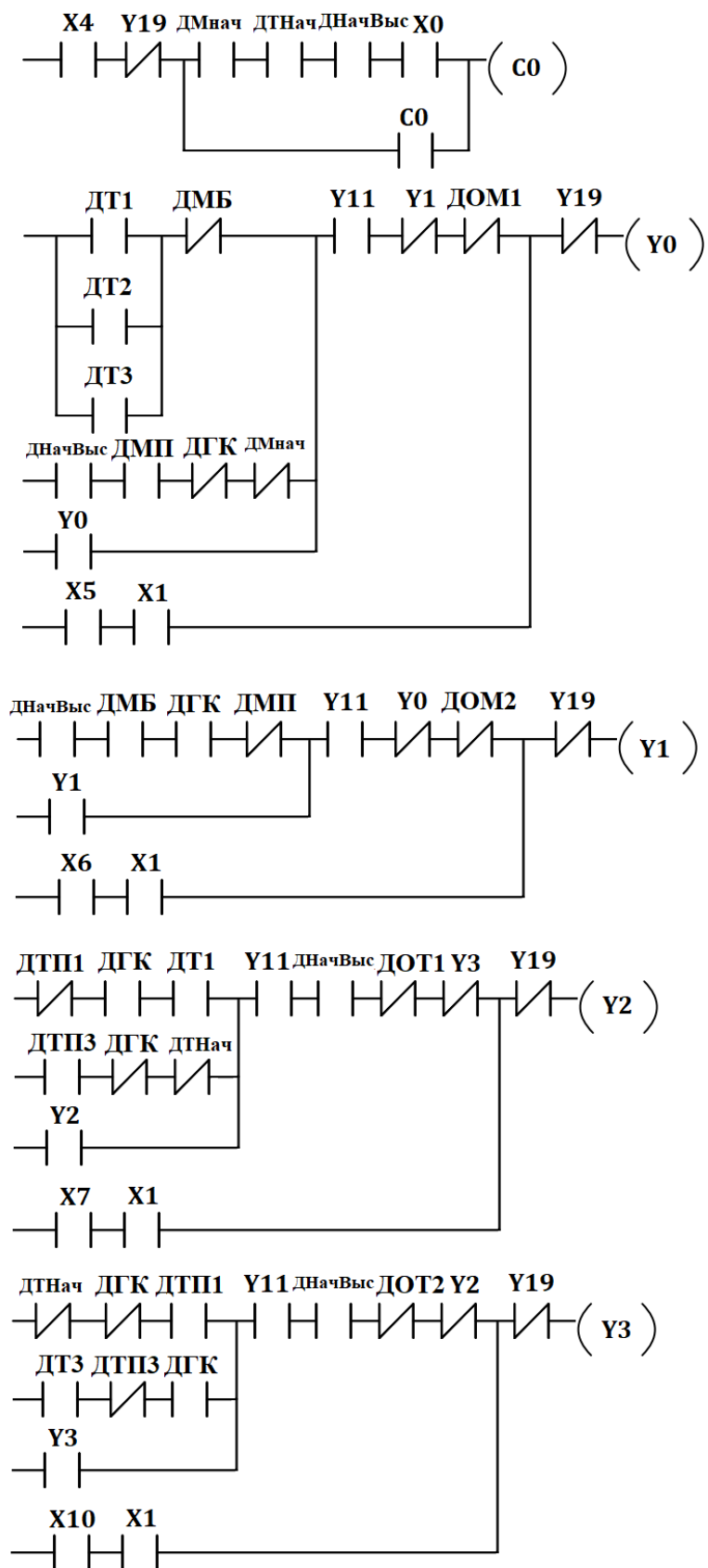


Рисунок 16 – Лестничная диаграмма часть 1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

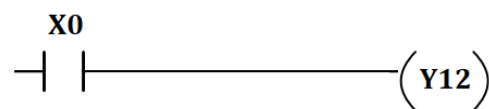
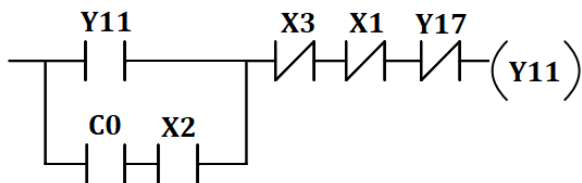
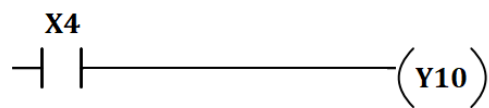
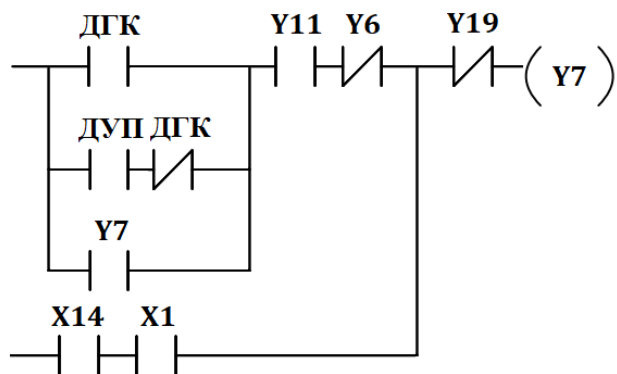
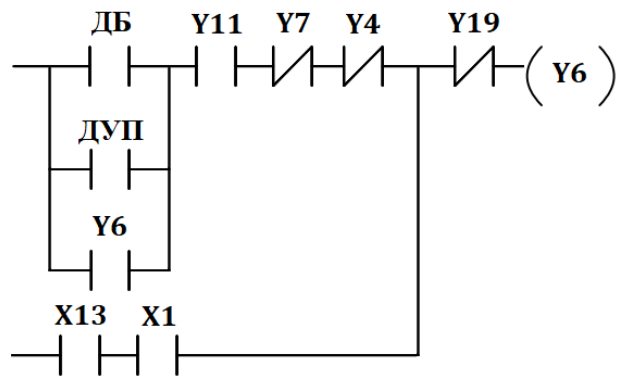
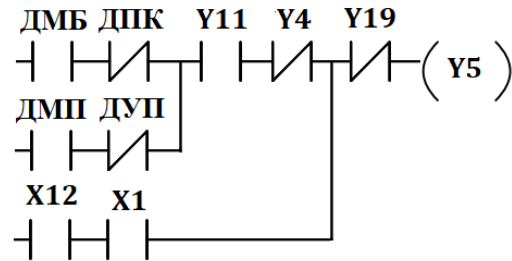
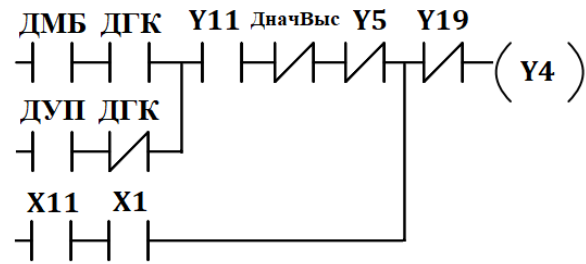


Рисунок 17 – Лестничная диаграмма часть 2

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

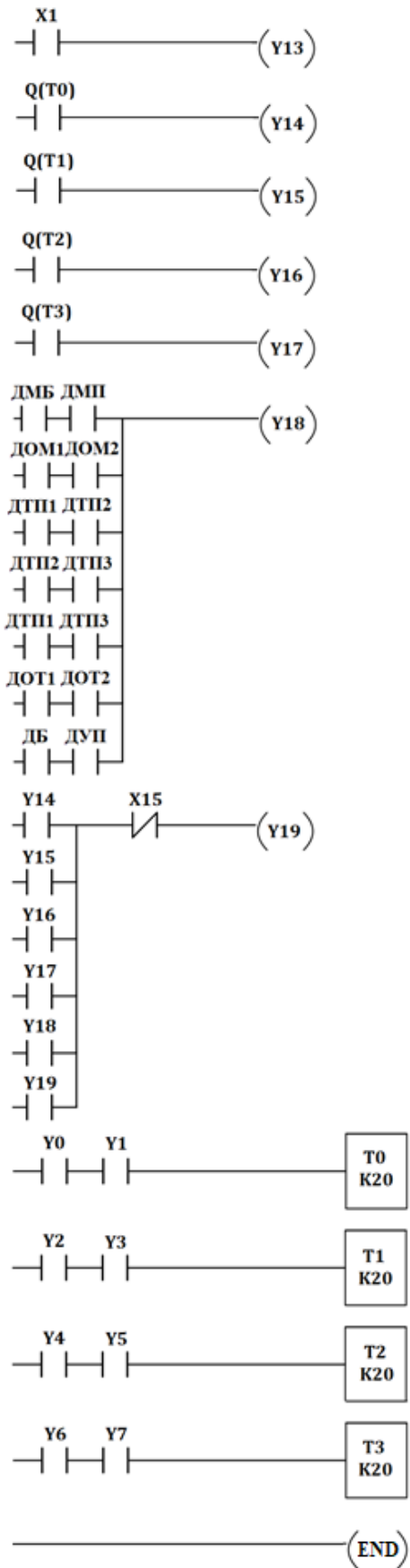


Рисунок 18 – Лестничная диаграмма часть 3

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

В данной главе была разработана система автоматизации грейферного крана. Было составлено описание технологического процесса, приведена упрощенная схема объекта автоматизации (рисунок 8). Дано описание конструкции и кинематики механизмов. Также была описана последовательность работы механизмов объекта и связь между ними.

На основе описания технологического процесса, последовательности работы механизма и требований к данной системе был разработан алгоритм работы системы автоматизации в виде логических уравнений. Также был разработан пульт управления системой автоматизации грейферного крана. (рисунок 9).

На основе требований к системе автоматизации, алгоритма работы автоматики отдельных механизмов и выбранной элементной базы была составлена функциональная схема.

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		73



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном проекте был разработан автоматизированный грейферный кран. Было составлено описание технологического процесса, приведена упрощенная схема объекта автоматизации. Проведен расчет электропривода мостовой тележки. Дано описание конструкции и кинематики механизмов. Также была описана последовательность работы механизмов объекта и связь между ними.

На основе описания технологического процесса, последовательности работы механизма и требований к данной системе был разработан алгоритм работы системы автоматизации в виде логических уравнений. Также был разработан пульт управления оператора (рисунок 9).

После разработки функциональной схемы системы автоматизации был произведен выбор оборудования. Был выбран программируемый логический контроллер *Direct LOGIC 06*, оптические датчики положений, датчики температуры, тензодатчик и блок питания к ним мощностью 240 Вт. Также был произведен выбор силовой части системы автоматизации – преобразователи частоты и двигатели мощностью 4, 2,2, 3 и 1,1 кВт.

На заключительном этапе проектирования была разработана принципиальная электрическая схема механизма.

					ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1) Драчев Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию.– Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2012. – 168 с.
- 2) Анфимов М.И. Редукторы: конструкция и расчёт: Альбом.– М.: Машиностроение, 1993. – 432 с.
- 3) Драчев Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. Часть 1. – 209 с.
- 4) Вешеневский, С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. – С.Н. Вешеневский. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.
- 5) 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.
- 6) Борисов, А.М. Программируемые устройства автоматизации: учебное пособие / А.М. Борисов, А.С. Нестеров, Н.А. Логинова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 186 с.
- 7) Стандарт предприятия: курсовые и дипломные проекты. Общие требования к содержанию и оформлению. СТО ЮУрГУ 04 – 2008. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Диаграммы моментов и скоростей рабочего органа

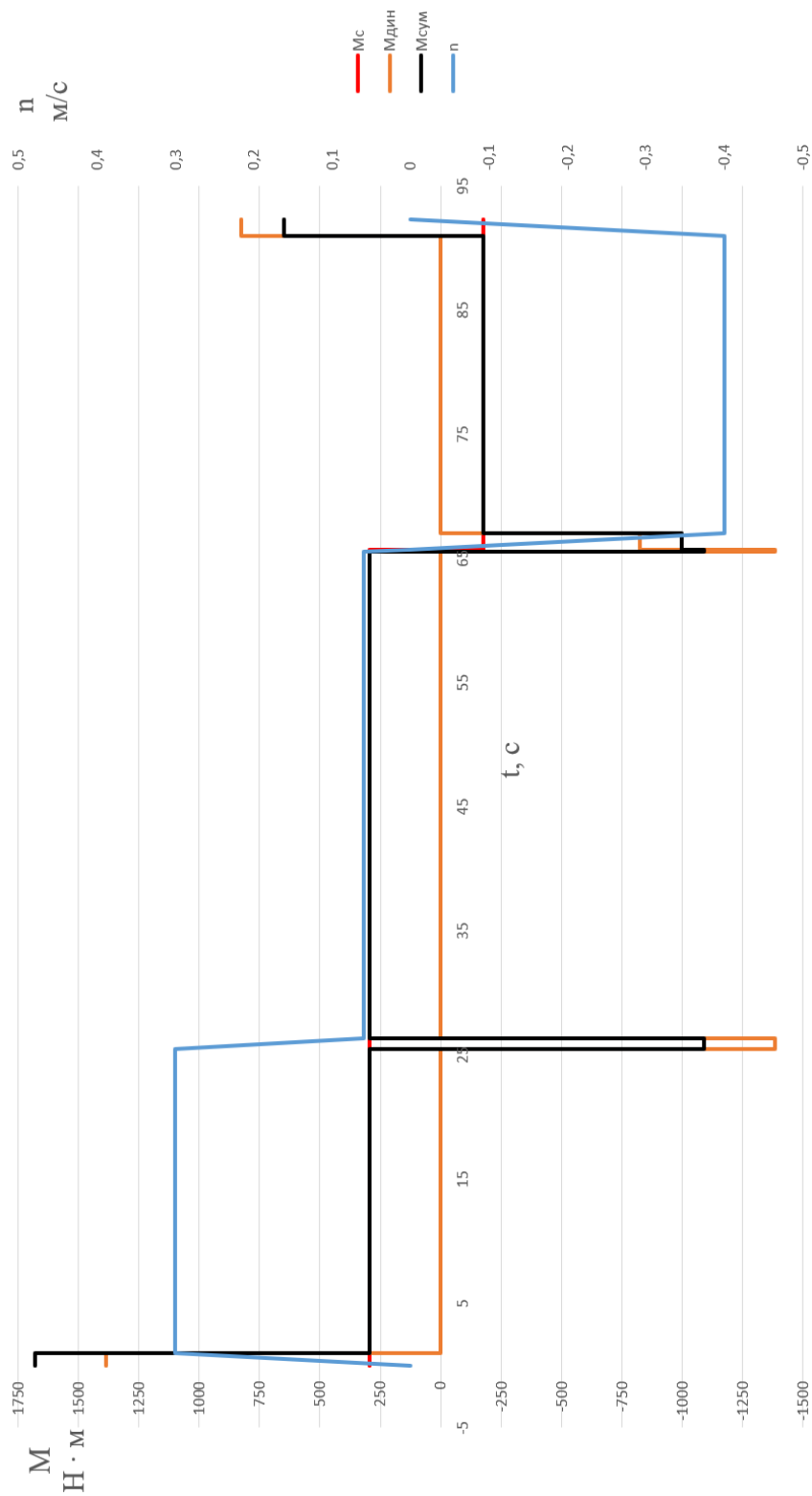


Рисунок А1 – Диаграммы скоростей и моментов рабочего органа

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2019.145.01ПЗ

Лист

76