

Министерство образования и науки 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/

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНИЗМА ПОДЪЁМА  
МОСТОВОГО КРАНА С НАБЛЮДАТЕЛЕМ ЛЮЕНБЕРГЕРА

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОМУ  
КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ**

ЮУрГУ-13.03.02.2017.012 ВКП

*Руководитель проекта:*  
Доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_/Т.А. Функ/

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

*Автор проекта*  
студент группы П-477

\_\_\_\_\_/А.А. Сабельников/

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

*Нормоконтролер:*  
Доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_/Т.А. Функ/

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

Челябинск 2017 г.

## АННОТАЦИЯ

Сабельников А.А. Автоматизированный электропривод механизма подъёма мостового крана с наблюдателем Люенбергера. - Челябинск: ЮУрГУ, Э; 2017, 67 с., 18 ил., 13 табл., библиографический список – 8 наим.

Выпускной квалификационный проект состоит из трех частей: расчет и выбор силовой части системы электропривода, автоматизация объекта и исследовательской части.

В первой части был произведен расчет необходимой мощности электродвигателя с последующим его выбором. Выполнена проверка электродвигателя по нагреву и производительности. Построены нагрузочные диаграммы и статические характеристики электродвигателя АИР255М4. Также был выбран редуктор 2Ч-63. Для управления асинхронным двигателем был выбран преобразователь частоты АВВ ACS 800.

Во второй части были определены требования к автоматизации с последующим их исполнением. Написаны логические уравнения работы механизма. Выбрана элементная база системы управления. Разработана функциональная схема.

Третья часть заключалась в исследовании функций, позволяющих обеспечить точность позиционирования груза, а также реализация наблюдателя Люенбергера в этих функциях.

					ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Сабельников			Автоматизированный электропривод механизма подъёма мостового крана с наблюдателем Люенбергера	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Функ Т.А.					4	67
Реценз						ЮУрГУ		
Н. Контр.		Функ Т.А.				Кафедра «АЭП»		
Утверд.		Шишков А.Н.						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1	ОПИСАНИЕ РАБОЧЕЙ МАШИНЫ.....	7
2	РАСЧЁТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ.....	10
3	ВЫБОР ТИПА ДВИГАТЕЛЯ.....	18
4	ВЫБОР РЕДУКТОРА .....	20
5	ПРИВЕДЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ МОМЕНТОВ И МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ К ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ .....	22
6	ПРИВЕДЕНИЕ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ И КОЭФИЦИЕНТОВ ЖЕСТКОСТИ К ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ.....	25
7	ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЯ ПО НАГРЕВУ .....	29
8	ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА .....	30
9	РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	33
9.1	Расчет естественной характеристики:.....	33
9.2	Расчет параметров схем включения двигателя, обеспечивающих работу в заданной точке .....	34
10	РАСЧЁТ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК .....	39
11	АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОСТОВОГО КРАНА	40
12	ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА .....	41
13	СОСТАВЛЕНИЕ СПИСКА СИГНАЛОВ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	43
14	РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМАМИ ОБЪЕКТА .....	49
14.1	Блок автоматического цикла.....	49
14.2	Блок ручного управления .....	52
14.3	Блок аварийных сигналов.....	52
15	РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ....	54
16	ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	56

16.1	Выбор блока управления.....	56
16.2	Выбор дополнительного модуля входов-выходов .....	57
16.3	Выбор датчиков.....	58
16.4	Выбор блока питания.....	59
17	ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ.....	61
18	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ ЛЮЕНБЕРГЕРА .....	63
19	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	65
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	66

## ВВЕДЕНИЕ

В данной дипломной работе выполняется проектирование механизма подъёма мостового крана с наблюдателем Люенбергера. Приводится назначение и описание мостового крана. Выполняется расчёт необходимой мощности электродвигателя, для правильного функционирования технологического процесса с дальнейшим выбором нужной мощности, и проверкой по нагреву и производительности. Также выбирается преобразователь частоты исходя из номинальных параметров электродвигателя.

Также в данном проекте разрабатывается система автоматизации мостового крана, состоящая из: алгоритмов работы системы, написания логических уравнений автоматизированной системы мостового крана. Разработана функциональная схема автоматизации мостового крана.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

# 1 ОПИСАНИЕ РАБОЧЕЙ МАШИНЫ

Кран предназначен для обслуживания склада труб и листов, а также и для других элементов при помощи крюков.

Данный кран может использоваться в условиях, отвечающих классу режима работы *A5* согласно *ISO 4301-1*. Кран не может работать в опасной химической и взрывоопасной среде. Также данный кран не предназначен для транспортировки расплавленных материалов, находящихся в жидком состоянии.

Мостовой кран состоит из следующих частей:

- несущая конструкция
- площадки и лестницы
- механизм передвижения крана
- грузовая тележка
- кабина управления
- питание тележки
- корзина для обслуживания троллей канна
- электроснабжение крана
- вспомогательные устройства
- электрическое оборудование

Двигатель *D* через редуктор *P* приводит во вращение барабан лебедки, на который канат наматывается при подъеме и сматывается при опускании груза *m*. Грузозахватное приспособление подвешивается на подвижных блоках, которые образуют с неподвижными относительно лебедки блоками полиспасть.

Двигатель включается в работу после строповки груза, на скорости  $0,2 v_T$  выбирается слабина каната. Далее выполняется разгон с ускорением не выше допустимого до рабочей скорости и обеспечивается подъём груза. При достижении заданной высоты *h* двигатель тормозится, на вал двигателя накладывается тормоз. Удержание груза в подвешенном состоянии осуществляется тормозом.

При спуске груза выдерживается ускорение не выше допустимого, двигатель работает в тормозном режиме. При подходе груза к площадке выгрузки скорость

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

спуска снижается до  $0,2v_{г}$ , груз плавно устанавливается на площадку. Ослабляется натяжение канатов для расстроповки груза, крюк отцепляется. На повышенной скорости крюк поднимается на высоту  $h$ , двигатель тормозится. По прибытии к месту погрузки порожний крюк спускается на площадку погрузки и цикл работы повторяется.

На рисунке 1.1 показана кинематическая схема механизма подъема.

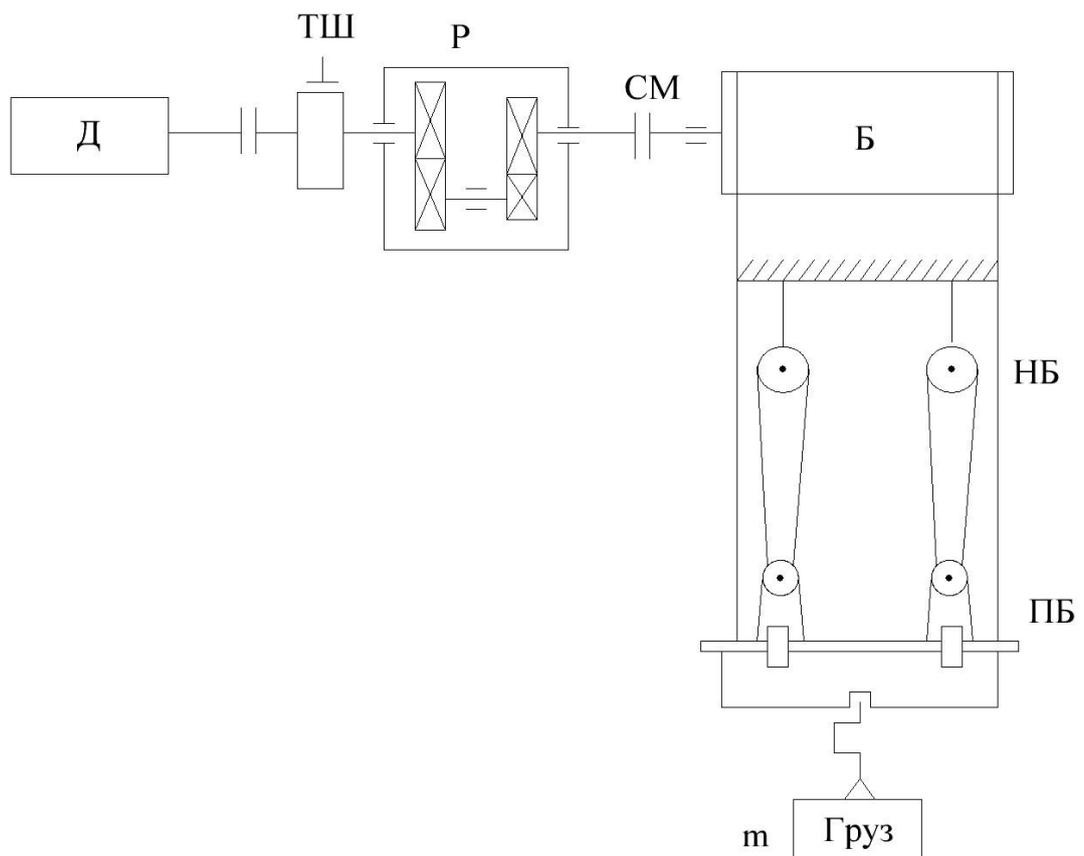


Рисунок 1.1 – Кинематическая схема механизма подъема

Д – электродвигатель; Р – редуктор; ТШ – тормозной шкив; Б – барабан; НБ – неподвижные блоки; ПБ – подвижные блоки;  $m$  – груз массой  $m$

В таблице 1.1 представлены технические данные механизма передвижения тележки мостового крана, необходимые для расчетов.

Таблица 1.1 – Исходные данные

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
$m$	Масса груза	т	50
$D_б$	Диаметр барабана	м	0,65
$J_{ш}$	Момент инерции тормозного шкива	кг·м <sup>2</sup>	0,4
$m_б$	Масса барабана	кг	500
$h$	Высота подъема	м	18
$v_Г$	Скорость подъёма	м/с	0,13
$z$	Число циклов	1/ч	1
$i_п$	Коэффициент полиспаста		6
$a_{доп}$	Допустимое ускорение	м/с <sup>2</sup>	0,4
$D_п$	Диаметр подшипников барабана	м	$0,4D_б$
$\mu_п$	Коэффициент трения скольжения	–	0,05
$v_п$	Скорость без груза	мм	$1,2 v_Г$
$h_{сл}$	Высота подъема при выборе слабины канатов	м	0,5
$m_0$	Масса грузозахватного приспособления	т	0,5

## 2 РАСЧЁТ 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  $t_{\Pi}$  до установившейся скорости  $0,2v_{\Gamma}$  с допустимым ускорением, торможения  $t_{\tau}$  от установившейся скорости до остановки (при обратном ходе);

$$t_{\Pi} = t_{\tau(\text{обр})} = \frac{0,2v_{\Gamma}}{a_{\text{ДОП}}}; \quad (1)$$

– время работы  $t_k$  в режиме натягивания канатов

$$t_k = \frac{h_{\text{сл}}}{0,2v_{\Gamma}}; \quad (2)$$

– время разгона до установившейся скорости

$$t_p = \frac{v - 0,2v}{a}; \quad (3)$$

– время торможения от установившейся скорости до остановки (рабочий ход)

$$t_{\tau(\text{раб})} = \frac{v}{a}; \quad (4)$$

– время пуска  $t_{\Pi(\text{пор})}$  до установившейся скорости  $1,2v_{\Gamma}$  с допустимым ускорением, торможения  $t_{\tau \text{ пор}}$  от установившейся скорости до остановки (при обратном ходе) – для поднятия (спуска) порожнего крюка

$$t_{\Pi(\text{кр})} = t_{\tau(\text{кр})} = \frac{1,2v_{\Gamma}}{a_{\text{ДОП}}}; \quad (5)$$

– перемещение за время пуска до скорости  $0,2v_{\Gamma}$

$$L_{\Pi} = \frac{(0,2v)^2}{2a}; \quad (6)$$

– перемещение за время разгона до установившейся скорости  $v_{\Gamma}$

$$L_p = \frac{v^2 - (0,2v)^2}{2a}; \quad (7)$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

– перемещение за время торможения  $t$  установившейся скорости до основной

$$L_{T(\text{раб})} = \frac{v^2}{2a}; \quad (8)$$

– перемещение за время установившегося режима при поднятии (спуске) груза

$$L_{\text{уст}} = h - h_{\text{сл}} - L_{\text{п}} - L_{\text{р}} - L_{T(\text{раб})}; \quad (9)$$

– время работы  $t_{\text{уст}}$  в установившемся режиме

$$t_{\text{уст}} = \frac{L_{\text{уст}}}{v}; \quad (10)$$

– перемещение за время пуска (торможения) крюка

$$L_{\text{п(кр)}} = L_{T(\text{кр})} = \frac{(1,2v)^2}{2a}; \quad (11)$$

– перемещение за время установившегося режима подъема (спуска) крюка

$$L_{\text{уст(кр)}} = h - L_{\text{п(кр)}} - L_{T(\text{кр})}; \quad (12)$$

– время работы  $t_{\text{уст(кр)}}$  в установившемся режиме

$$t_{\text{уст(кр)}} = \frac{L_{\text{уст(кр)}}}{1,2v}; \quad (13)$$

Подставив числовые значения, получим:

$$t_{\text{п}} = t_{T(\text{обр})} = \frac{0,2 \cdot 0,13}{0,4} = 0,065 \text{ с,}$$

$$t_k = \frac{0,5}{0,2 \cdot 0,13} = 19,2 \text{ с,}$$

$$t_p = \frac{0,13 - 0,2 \cdot 0,13}{0,4} = 0,26 \text{ с,}$$

$$t_{T(\text{раб})} = \frac{0,13}{0,4} = 0,325 \text{ с,}$$

$$t_{\text{п(кр)}} = t_{T(\text{кр})} = \frac{1,2 \cdot 0,13}{0,4} = 0,39 \text{ с,}$$

$$L_{\text{п}} = \frac{(0,2 \cdot 0,13)^2}{2 \cdot 0,4} = 0,001 \text{ м,}$$

$$L_{\text{р}} = \frac{0,13^2 - (0,2 \cdot 0,13)^2}{2 \cdot 0,4} = 0,02 \text{ м,}$$

$$L_{T(\text{раб})} = \frac{0,13^2}{2 \cdot 0,4} = 0,033 \text{ м,}$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

$$L_{\text{уст}} = 20 - 0,5 - 0,001 - 0,035 - 0,036 = 19,43 \text{ м,}$$

$$t_{\text{уст}} = \frac{L_{\text{уст}}}{v} = \frac{19,43}{0,13} = 114,3 \text{ с,}$$

$$L_{\text{п(кр)}} = L_{\text{т(кр)}} = \frac{(1,2 \cdot 0,13)^2}{2 \cdot 0,4} = 0,03 \text{ м,}$$

$$L_{\text{уст(кр)}} = 18 - 0,02 - 0,021 = 17,96 \text{ м,}$$

$$t_{\text{уст(кр)}} = \frac{17,96}{1,2 \cdot 0,13} = 115 \text{ с.}$$

Определение статических моментов:

Момент силы тяжести

$$M_{\text{ст}} = \frac{m_1 \cdot g \cdot D_6}{2}, \quad (14)$$

где  $m$  – масса поднимаемого груза, барабана, грузоподъемного устройства, кг;

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

В соответствии с формулой (14):

При подъеме (спуске) груза:

$$M_{\text{ст}} = \frac{(50000 + 500 + 500) \cdot 9,81 \cdot 0,65}{2} = 1,6 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

При подъеме (спуске) порожнего крюка:

$$M_{\text{ст(кр)}} = \frac{(500 + 500) \cdot 9,81 \cdot 0,65}{2} = 3,2 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Момент сил трения в подшипниках:

$$M_{\text{тп}} = \frac{m_1 \cdot d_c \cdot \mu_{\text{п}} \cdot g}{2}, \quad (15)$$

где  $m$  – масса поднимаемого груза, барабана, грузоподъемного устройства, кг;

$d_c$  – диаметр подшипников барабана, м ;

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

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

В соответствии с формулой (15):

При подъеме (спуске) груза

$$M_{\text{п}} = \frac{m \cdot d_c \cdot \mu_{\text{п}} \cdot g}{2} = \frac{(50000 + 500 + 500) \cdot 0,26 \cdot 0,05 \cdot 9,81}{2} = 3,25 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м;}$$

									Лист
									12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ				

При подъеме (спуске) порожнего крюка

$$M_{\Pi(\text{кр})} = \frac{m \cdot d_c \cdot \mu_{\Pi} \cdot g}{2} = \frac{(500 + 500) \cdot 0,26 \cdot 0,05 \cdot 9,81}{2} = 63,7 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Суммарный статический момент при подъеме груза:

$$M_{\text{рост1под}} = M_{\text{СТ}} + M_{\Pi} = 1,66 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Суммарный статический момент при подъеме порожнего крюка:

$$M_{\text{рост2под}} = M_{\text{СТ(кр)}} + M_{\Pi(\text{кр})} = 3,25 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Суммарный статический момент при спуске груза:

$$M_{\text{рост1сп}} = M_{\text{СТ}} - M_{\Pi} = 1,59 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Суммарный статический момент при спуске порожнего крюка:

$$M_{\text{рост2сп}} = M_{\text{СТ(кр)}} - M_{\Pi(\text{кр})} = 3,12 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

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

$$J_{\text{ро}} = J + m \cdot \frac{D^2}{4}, \quad (16)$$

где  $J$  – моменты инерции вращающихся элементов рабочей машины;

$m$  – масса поступательно движущихся частей;

$D$  – диаметр барабана.

В соответствии с формулой (16):

При движении с грузом

$$\begin{aligned} J_{\text{ро}} &= J + m \cdot \frac{D^2}{4} = J_{\text{ш}} + m \cdot \frac{D^2}{4} = 0,4 + (50000 + 500 + 500) \cdot \frac{0,65^2}{4} = \\ &= 5,39 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \end{aligned}$$

При движении с порожним крюком:

$$J_{\text{ро(кр)}} = J_{\text{ш}} + m \cdot \frac{D^2}{4} = 0,4 + (500 + 500) \cdot \frac{0,65^2}{4} = 106 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

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

$$M_{\text{родин}} = J_{\text{ро}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}}}{D}. \quad (17)$$

									Лист
									13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

При разгоне и торможении с грузом

$$M_{\text{родин1}} = J_{\text{ро}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}}}{D} = 5,39 \cdot 10^3 \cdot \frac{2 \cdot 0,4}{0,65} = 6,63 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

При разгоне и торможении без груза:

$$M_{\text{родин2}} = J_{\text{ро(кр)}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}}}{D} = 106 \cdot \frac{2 \cdot 0,4}{0,65} = 130,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Полный момент рабочей машины находится по формуле:

$$M_{\text{ро}} = M_{\text{рост}} + M_{\text{родин}} \quad (18)$$

Первый участок – пуск механизма

$$M_{\text{ро}}^1 = M_{\text{рост2под}} + M_{\text{родин(кр)}} = 3,25 \cdot 10^3 + 130,492 = 3,383 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Второй участок – выбор слабины канатов:

$$M_{\text{ро}}^2 = M_{\text{рост2под}} = 3,25 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Третий участок – разгон механизма до скорости  $v$

$$M_{\text{ро}}^3 = M_{\text{рост1под}} + M_{\text{родин1}} = 1,659 \cdot 10^5 + 6,63 \cdot 10^3 = 1,725 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Четвёртый участок – равномерный подъём груза:

$$M_{\text{ро}}^4 = M_{\text{рост1под}} = 1,659 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пятый участок – торможение механизма

$$M_{\text{ро}}^5 = M_{\text{рост1сп}} - M_{\text{родин1}} = 1,659 \cdot 10^5 - 6,63 \cdot 10^3 = 1,592 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Шестой участок -- разгон механизма с грузом (спуск):

$$M_{\text{ро}}^6 = M_{\text{рост1сп}} + M_{\text{родин1}} = 1,593 \cdot 10^5 + 6,63 \cdot 10^3 = 1,66 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Седьмой участок – равномерный спуск груза

$$M_{\text{ро}}^7 = M_{\text{рост1сп}} = 1,593 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Восьмой участок – торможение механизма до скорости  $0,2v$

$$M_{\text{ро}}^8 = M_{\text{рост1сп}} - M_{\text{родин1сп}} = 1,593 \cdot 10^5 - 6,63 \cdot 10^3 = 79082 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Девятый участок – выбор слабины канатов

$$M_{\text{ро}}^9 = M_{\text{рост2сп}} = 3,124 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Десятый участок – остановка механизма

$$M_{\text{ро}}^{10} = M_{\text{рост2сп}} - M_{\text{родин2}} = 3,124 \cdot 10^3 - 130,5 = 2,994 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

										Лист
										14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Одиннадцатый участок – разгон механизма без груза (подъем)

$$M_{po}^{11} = M_{рост2под} + M_{родин2} = 3,25 \cdot 10^3 + 130,492 = 3,383 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Двенадцатый участок – подъем механизма без груза

$$M_{po}^{12} = M_{рост2под} = 3,252 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тринадцатый участок – торможение механизма без груза (подъем)

$$M_{po}^{13} = M_{рост2под} - M_{родин2} = 3,252 \cdot 10^3 - 130,492 = 3,122 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Четырнадцатый участок – разгон механизма без груза (спуск)

$$M_{po}^{14} = M_{рост2сп} + M_{родин2} = 3,124 \cdot 10^3 + 130,492 = 3,255 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пятнадцатый участок – спуск механизма без груза

$$M_{po}^{15} = M_{рост2сп} = 3,124 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Шестнадцатый участок – торможение механизма без груза (спуск)

$$M_{po}^{16} = M_{рост2сп} - M_{родин2} = 3,124 \cdot 10^3 - 130,5 = 2,994 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Рассчитаем среднеквадратическое значение момента:

$$M_{сркв} = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^m M_K^2 \cdot t_K}{\sum_{K=1}^m t_K}}, \quad (19)$$

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

$t_K$  – длительность  $k$ -го участка, с.

Подставив числовые значения, получим:

$$M_{сркв} = \sqrt{\frac{7,342 \cdot 10^{12}}{547,6}} = 1,158 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Мощность двигателя может быть определена по формуле:

$$P_{дв} = k_1 \cdot M_{сркв} \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{факт}}{ПВ_{кат}}}, \quad (20)$$

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

$$k_1 = 1,4$$

$v_0$  – основная скорость движения РО, м/с;

									Лист
									15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ

$D$  – диаметр барабана, м;

$PВ_{факт}$  – фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого электродвигателя;

$PВ_{кат}$  – ближайшее к  $PВ_{ф}$  каталожное значение относительной продолжительности включения для электродвигателя выбранной серии.

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

$$t_{ц} = \frac{3600}{z}, \quad (21)$$

где  $z$  – число циклов работы машины в час.

Для данного двигателя  $PВ=25\%$ , следовательно, необходимо вычислить необходимое число циклов технологического процесса для достижения данной  $PВ$

Продолжительность цикла:

$$T_{ц} = \sum_{t=1}^{16} = 0,065 + 19,2 + 0,26 + 138,1 + 0,325 + 0,325 + 138,1 + 0,26 + 19,2 + 0,065 + 0,39 + 115 + 0,39 + 0,39 + 115 + 0,39 = 547,8 \text{ с.}$$

Примем, что  $z=1$

Тогда фактическая  $PВ$  двигателя:

$$PВ_{факт} = \frac{T_{ц}}{T_{цикл}} = \frac{547,8}{3600} \cdot 100\% = 15,2\%.$$

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  $PВ_{кат}=25\%$ . Тогда мощность двигателя:

$$P_{дв} = 1,4 \cdot 1,158 \cdot 10^5 \cdot \frac{2 \cdot 0,13}{0,65} \cdot \sqrt{\frac{12,7}{25}} = 50,058 \text{ кВт.}$$

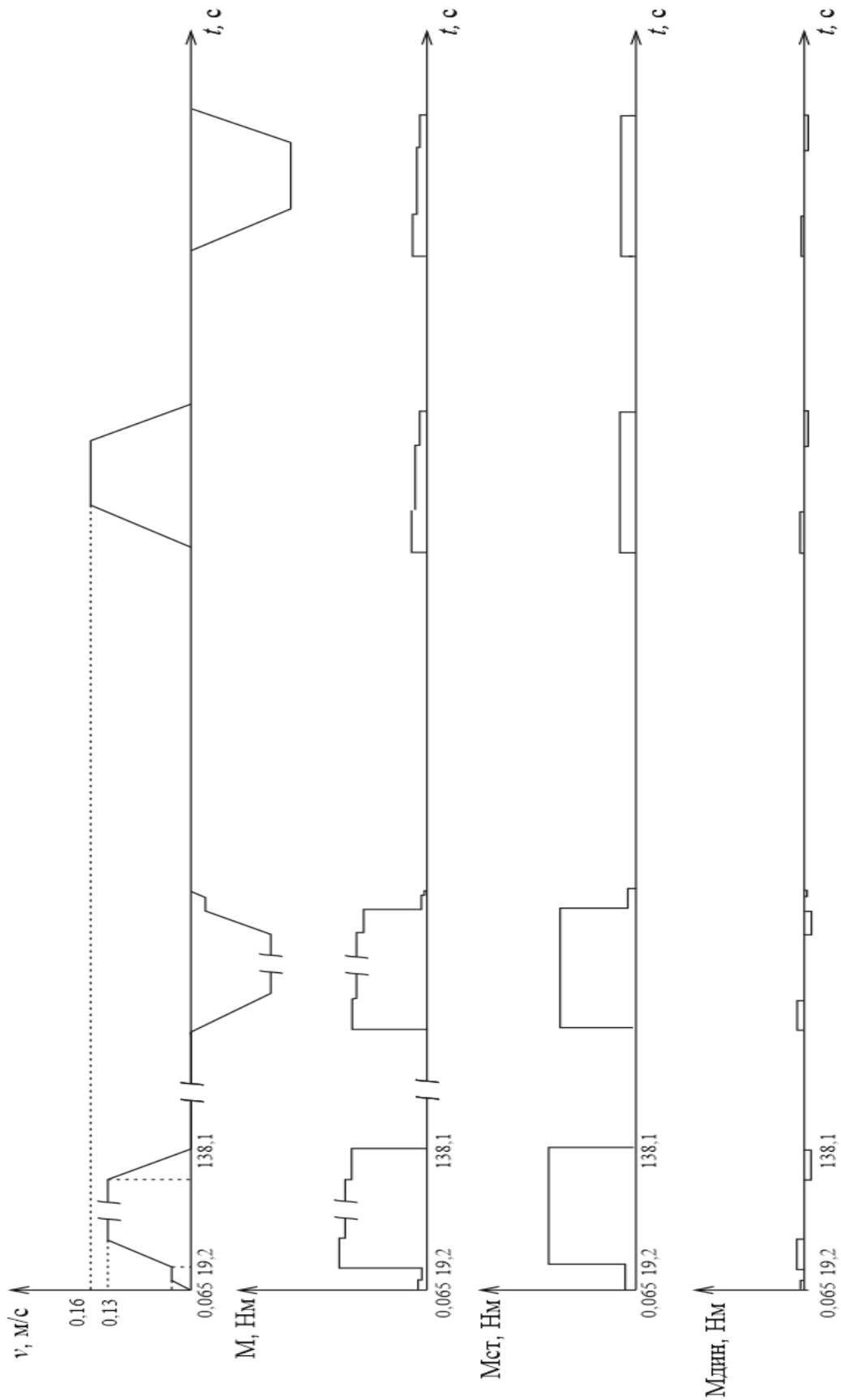


Рисунок 2.1 – Нагрузочные диаграммы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ

### 3 ВЫБОР ТИПА ДВИГАТЕЛЯ

Из полученных выше расчетов выбираем асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АИР225М4 (5А225М4).

Таблица 3.1 – Номинальные данные двигателя АИР225М4

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
$P_n$	Номинальная мощность на валу	кВт	55
$n_n$	Номинальная частота вращения	об/мин	1475
$I_{1n}$	Номинальный ток статора	А	105
$\cos\varphi$	Коэффициент мощности в номинальном режиме	–	0,86
$J_{дв}$	Момент инерции двигателя	кг·м <sup>2</sup>	0,5
$M_n$	Номинальный крутящий момент	Н·м	356
$M_{макс}$	Максимальный (критический) момент	Н·м	819



Рисунок 3.1 – Внешний вид двигателя АИР225М4 (5А225М4)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ

Лист

19

#### 4 ВЫБОР РЕДУКТОРА

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

$$j_p = \frac{\omega_n \cdot D}{2 \cdot v_0 \cdot i}, \quad (22)$$

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.

$i$  – коэффициент полиспаста.

В соответствии с формулой (22):

$$j_p = \frac{154,4 \cdot 0,65}{2 \cdot 0,13 \cdot 6} = 64,359.$$

Выберем редуктор, исходя из того, что передаточное число должно быть равным или несколько меньшим рассчитанного, при этом должны быть учтены условия работы механизма, номинальная мощность и скорость двигателя

Режим работы редуктора в заданном механизме является тяжелым, поэтому принимаем при выборе редуктора коэффициент условий работы  $k=1,5$  для тяжелого режима работы. Тогда расчетная мощность редуктора рассчитывается по формуле (23)

$$N_p = k \cdot N_M, \quad (23)$$

где  $N_M$  – наибольшая мощность, передаваемая рабочей машиной, Вт.

$$N_M = M \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D} \quad (24)$$

Тогда

$$N_M = \frac{1,725 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 0,13}{0,65} = 6,9 \cdot 10^4 \text{ Вт.}$$

В соответствии с формулой (23):

$$N_p = 1,5 \cdot 6,9 \cdot 10^4 = 1,035 \cdot 10^5 \text{ Вт.}$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

По передаточному числу выбираем редуктор

Выбранный редуктор 2Ч–63 (2ЧМ–63). Данные редуктора заносим в таблицу 4.1.

Таблица 4.1. – Технические характеристики редуктора 2Ч–63 (2ЧМ–63)

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
$j$	Передаточное число редуктора	–	63
$\eta_p$	Коэффициент полезного действия	%	80

Выберем редуктор 2Ч–63 (2ЧМ–63) с передаточным числом  $j=63$ , КПД, равным 80%.



Рисунок 4.1 – Внешний вид редуктора 2Ч–63 (2ЧМ–63)

## 5 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 (25):

$$M_{pc} = \frac{M_{рост}}{j_p}, \quad (25)$$

где  $M_{рост}$  – статический момент рабочего органа;

$j_p$  – передаточное число редуктора.

При подъеме груза:

$$M_{pc}^p = \frac{M_{рост1}}{j_p \cdot i} = \frac{1,66 \cdot 10^5}{63 \cdot 6} = 438,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При подъеме порожнего крюка:

$$M_{pc}^p = \frac{M_{рост1}}{j_p \cdot i} = \frac{3,25 \cdot 10^3}{63 \cdot 6} = 8,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При спуске груза:

$$M_{pc}^p = \frac{M_{рост1}}{j_p \cdot i} = \frac{1,593 \cdot 10^5}{63 \cdot 6} = 421,43 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При спуске порожнего крюка:

$$M_{pc}^p = \frac{M_{рост1}}{j_p \cdot i} = \frac{3,124 \cdot 10^3}{63 \cdot 6} = 8,265 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$M_{вс} = \frac{M_{pc}}{\eta_p}. \quad (26)$$

При подъеме груза в двигательном режиме

$$M_{всд} = \frac{M_{pc}}{\eta_p} = \frac{438,9}{0,8} = 548,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При подъеме порожнего крюка в двигательном режиме

$$M_{всд} = \frac{M_{pc}}{\eta_p} = \frac{8,6}{0,8} = 10,75 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

									Лист
									22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ				

При спуске груза в двигательном режиме

$$M_{всд} = \frac{M_{рс}}{\eta_p} = \frac{421,43}{0,8} = 526,786 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При спуске порожнего крюка в двигательном режиме

$$M_{всд} = \frac{M_{рс}}{\eta_p} = \frac{8,265}{0,8} = 10,331 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$M_{вст} = M_{рс} \cdot \eta_p \quad (27)$$

При подъеме груза в тормозном режиме:

$$M_{вст} = M_{рс} \cdot \eta_p = 438,9 \cdot 0,8 = 351,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При подъеме порожнего крюка в тормозном режиме

$$M_{вст} = M_{рс} \cdot \eta_p = 8,603 \cdot 0,8 = 6,883 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При спуске груза в тормозном режиме:

$$M_{вст} = M_{рс} \cdot \eta_p = 421,43 \cdot 0,8 = 337,143 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При спуске порожнего крюка в тормозном режиме

$$M_{вст} = M_{рс} \cdot \eta_p = 8,265 \cdot 0,8 = 6,612 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$M_c = M_{вс} + \Delta M_X, \quad (28)$$

где  $\Delta M_X$  – момент потерь холостого хода двигателя.

Момент потерь холостого хода в номинальном режиме:

$$\Delta M_X = 0,05 \cdot M_H. \quad (29)$$

Подставляя соответствующие значения, находим  $\Delta M_X$ .

$$\Delta M_X = 0,05 \cdot 356 = 17,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При подъеме груза в двигательном режиме

$$M_{\text{пгд}} = M_{\text{всд}} + \Delta M_X = 548,61 + 17,8 = 566,41 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При спуске груза в тормозном режиме:

$$M_{\text{ст}} = M_{\text{вст}} + \Delta M_X = 526,786 - 17,8 = 544,586 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При подъеме порожнего крюка в двигательном режиме:

$$M_{\text{ст}} = M_{\text{всд}} + \Delta M_X = 10,75 + 17,8 = 28,55 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При спуске порожнего крюка в тормозном режиме

$$M_{\text{ст}} = M_{\text{вст}} - \Delta M_X = 6,612 - 17,8 = -11,88 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		24

## 6 ПРИВЕДЕНИЕ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ И КОЭФИЦИЕНТОВ ЖЕСТКОСТИ К ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ

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

Суммарный приведенный момент инерции,

$$J = \delta \cdot J_{\text{д}} + J_{\text{пр}}, \quad (30)$$

где  $J_{\text{пр}}$  – приведенный к валу двигателя момент инерции поступательно и вращательно движущихся частей системы, кг·м<sup>2</sup>;

$J_{\text{д}}$  – момент инерции якоря выбранного двигателя, кг·м<sup>2</sup>;

$\delta$  – коэффициент, учитывающий момент инерции остальных моментов электропривода: тормозного шкива, муфт, редуктора, и т.д.

$$(\delta = 1,3 \dots 1,5).$$

Приведенный момент инерции рабочей машины к валу двигателя:

$$J_{\text{пр}} = \frac{J_{\text{ро}}}{j_{\text{р}}^2 \cdot i}. \quad (31)$$

Установившуюся скорость двигателя находим по формуле:

$$\omega_{\text{с}} = \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot j_{\text{р}} \cdot i. \quad (32)$$

При выборе слабины канатов:

$$\omega_{\text{с}}^{\text{кан}} = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 0,13}{0,65} \cdot 63 \cdot 6 = 30,24 \text{ с}^{-1}.$$

При установившемся режиме подъема (спуска) груза:

$$\omega_{\text{с}}^{\text{гр}} = \frac{2 \cdot 0,13}{0,65} \cdot 63 \cdot 6 = 151,2 \text{ с}^{-1}.$$

При установившемся режиме подъема (спуска) порожнего крюка:

$$\omega_{\text{с}}^{\text{кр}} = \frac{2 \cdot 1,2 \cdot 0,17}{0,65} \cdot 63 \cdot 6 = 181,44 \text{ с}^{-1}.$$

Приведенный момент инерции при движении с грузом

$$J_{\text{пр}} = \frac{5387}{63^2 \cdot 6} = 0,226 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

									Лист
									25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ				

Приведенный момент инерции при движении с порожним крюком:

$$J_{\text{пр}} = \frac{106,025}{63^2 \cdot 6} = 4,452 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции при подъеме груза (разгон):

$$J_{\text{грр}} = 1,4 \cdot 0,5 + 0,226 = 0,926 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции при подъеме груза (торможение):

$$J_{\text{грт}} = 1,4 \cdot 0,5 - 0,226 = 0,474 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции при подъеме порожнего крюка (разгон):

$$J_{\text{крр}} = 1,4 \cdot 0,5 + 4,452 \cdot 10^{-3} = 0,704 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции при подъеме порожнего крюка (торможение):

$$J_{\text{крт}} = 1,4 \cdot 0,5 - 4,452 \cdot 10^{-3} = 0,696 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

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

Пусковой момент:

$$M = M_{\text{дин}} + M_{\text{с}}, \quad (33)$$

где  $M_{\text{с}}$  – статический момент сопротивления движению, Н·м;

$M_{\text{дин}}$  – динамический момент, Н·м.

Динамический момент рассчитываем по формуле (3.11):

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p \cdot i}{D}, \quad (34)$$

где  $a$  – допустимое ускорение при пуске и торможении,  $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ;

$D$  – диаметр барабана, м;

$J$  – приведенный момент инерции привода, кг·м<sup>2</sup>.

Динамический момент

при движении с грузом (разгон):

$$M_{\text{дин грр}} = J_{\text{грр}} \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 0,926 \cdot \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 63 \cdot 6}{0,65} = 430,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

при движении с грузом (торможение):

$$M_{\text{дин грт}} = J_{\text{грт}} \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 0,474 \cdot \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 63 \cdot 6}{0,65} = 220,421 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

при подъеме порожнего крюка (разгон):

$$M_{\text{дин крр}} = J_{\text{крр}} \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 0,704 \cdot \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 63 \cdot 6}{0,65} = 327,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

при подъеме порожнего крюка (торможение):

$$M_{\text{дин крт}} = J_{\text{крт}} \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 0,696 \cdot \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 63 \cdot 6}{0,65} = 323,59 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент:

при движении с грузом (подъем):

$$M_{\text{п}} = M_{\text{сд}} + M_{\text{дин грр}} = 430,9 + 652,071 = 1,083 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

при движении без груза (подъем):

$$M_{\text{п}} = M_{\text{сд}} + M_{\text{дин крр}} = 327,7 + 114,2 = 441,95 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

при движении с грузом (спуск):

$$M_{\text{п}} = M_{\text{сд}} + M_{\text{дин грр}} = 327,7 + 114,2 = 442 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

при движении без груза (спуск):

$$M_{\text{п}} = M_{\text{сд}} + M_{\text{дин крр}} = 327,7 + 113 = 441 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Тормозной момент:

$$|M_{\text{т}}| = |M_{\text{дин}}| + |M_{\text{с}}|, \quad (35)$$

при движении с грузом (подъем):

$$|M_{\text{т}}| = |M_{\text{дин грт}}| + M_{\text{ст}} = 220,421 + 247,651 = 468,072 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

при движении с грузом (спуск):

$$|M_{\text{т}}| = |M_{\text{дин грт}}| + M_{\text{ст}} = 220,421 + 233,683 = 738,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

при движении без груза (подъем):

$$|M_{\text{т}}| = |M_{\text{дин крт}}| + M_{\text{ст}} = -96,578 + 323,59 = 227,013 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

при движении без груза:

$$|M_{\text{т}}| = |M_{\text{дин крт}}| + M_{\text{ст}} = -96,849 + 323,59 = 226,742 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При питании от преобразователя с задатчиком интенсивности средний момент двигателя можно принять равным моменту, допустимому по ускорению:

– при пуске

$$M_{\text{ср}} = M_{\text{п}}, \quad (36)$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		27

– при торможении

$$M_{\text{ср}} = M_{\text{T}}, \quad (37)$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		28

## 7 ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЯ ПО НАГРЕВУ

Проведем предварительную проверку двигателя по нагреву по величине среднеквадратичного момента:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \leq M_{\text{доп}}, \quad (38)$$

где

$$M_{\text{доп}} = M_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{кат}}}{ПВ_{\text{ф}}}}$$

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{1,136 \cdot 10^8}{547,9}} = 390 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$M_{\text{кат}} = \frac{P_{\text{кат}}}{\omega_{\text{кат}}} = \frac{55000}{154,462} = 356,075 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Допускаемый момент:

$$M_{\text{доп}} = 235,7 \cdot \sqrt{\frac{25}{15,2}} = 456,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$390 \text{ Н} \cdot \text{м} < 456,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АИР225М4 (5А225М4) проходит проверку по нагреву.

									Лист
									29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ				

## 8 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Преобразователи частоты серии *ACS800* предназначены для промышленного использования. Выпускаются как в виде корпусных приводов, имеющих в своем конструктиве полный набор необходимых функциональных устройств, так и в виде модулей. Представляют собой универсальные, гибкие в использовании, приводы переменного тока, которые могут быть сконфигурированы точно в соответствии с требованиями конкретных промышленных применений.

Отличительные особенности:

– Интуитивно понятные панель управления и программные средства

- Усовершенствованный алгоритм прямого управления моментом двигателя для точного регулирования в замкнутых и разомкнутых системах регулирования
- Упрощенное параметрирование за счет встроенных функций обеспечения безопасности
- Возможности подключения к сетям автоматизации по основным протоколам передачи данных
- Простота конфигурирования и ввода в эксплуатацию благодаря наличию съемного блока памяти
- Функции оптимизации энергопотребления и возможность его мониторинга
- Встроенные ПИД-регуляторы процесса

Выбор преобразователя частоты для асинхронного двигателя осуществляется на основе следующих соотношений:

$$U_{\text{НПЧ}} > U_{\text{НЛ}}, \quad (39)$$

$$I_{\text{НПЧ}} > I_{\text{Н1}}, \quad (40)$$

где  $U_{\text{НПЧ}}$ ,  $I_{\text{НПЧ}}$  – номинальные линейное напряжение и ток нагрузки преобразователя частоты;

$U_{\text{НЛ}}$  и  $I_{\text{Н1}}$  – номинальные линейное напряжение и фазный ток статора двигателя.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		30

Технические характеристики преобразователя приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Технические характеристики преобразователя частоты *ABB ACS800-11-0060-3*

Производитель	ABB
Серия	ACS800
Модель	ACS800-11-0060-3
Применение	насосы / вентиляторы / лифты / краны / общепром
Мощность, кВт	55
Номинальный ток, А	120
Напряжение питания, В	380-415
Фазность (количество фаз)	3
Выходная частота, Гц	0-300
Класс защиты	IP 21
Перегрузка, % в течение 1 минуты	150
Время разгона, с	0,1-1800
Время торможения, с	0,1-1800
ЭМС фильтр	опция
Тормозной блок	опция
Аналоговый вход, кол-во	3
Дискретный вход, кол-во:	7
Аналоговый выход, кол-во:	2
Дискретный выход, кол-во:	–
Релейный выход, кол-во:	3
Интерфейс RS485 (Modbus RTU):	+

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

*ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ*

Лист

31

Продолжение таблицы 8.1

Регулятор:	ПИД – регулирование
Управление по ВЧХ:	–
Векторное управление с обратной связью:	+
Бессенсорное векторное управление:	+
Рабочая температура, °С:	–15....+50
Температура хранения, °С:	–40....+70
Габариты (ШхВхГ), мм:	300x970x440
Вес, кг:	100



Рисунок 8.1 – Внешний вид преобразователя частоты *ABB ACS800–11–0060–3*

## 9 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 9.1 Расчет естественной характеристики:

Для построения характеристики нужно рассчитать номинальный момент и скольжение.

Синхронная скорость двигателя:

$$\omega_c = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157 \text{ рад/с} \quad (41)$$

$$M_H = \frac{P_{\text{кат}}}{\omega_{\text{кат}}} = \frac{55 \cdot 10^3}{154,462} = 356 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (42)$$

$$S_H = \frac{n_1 - n_H}{n_1} = \frac{157 - 154,462}{157} = 0,016 \quad (43)$$

Рассчитаем критическое скольжение:

$$S_{\text{кр}} = S_H \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,016 \cdot (2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}) = 0,053, \quad (44)$$

где  $\lambda$  – отношение  $M_{\text{max}}/M_H$ , взятое из каталога.

Момент критический:

$$M_{\text{кр}} = \lambda \cdot M_H = 2,2 \cdot 356 = 818,8 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (45)$$

Выше мы получили основные точки характеристики, но для её построения их недостаточно. Для этого воспользуемся упрощенной формулой Клосса, и рассчитаем моменты для других значений скольжений.

Упрощенная формула Клосса выглядит следующим образом:

$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{кр}}}{\frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s}} = \frac{2 \cdot 818,8}{\frac{0,053}{0,016} + \frac{0,016}{0,053}} = 355,724 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (46)$$

Аналогичным методом мы рассчитываем остальные значения, на основании получившихся значений строится механическая характеристика.

Получившаяся механическая характеристика асинхронного двигателя приведена на рисунке 9.1.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		33

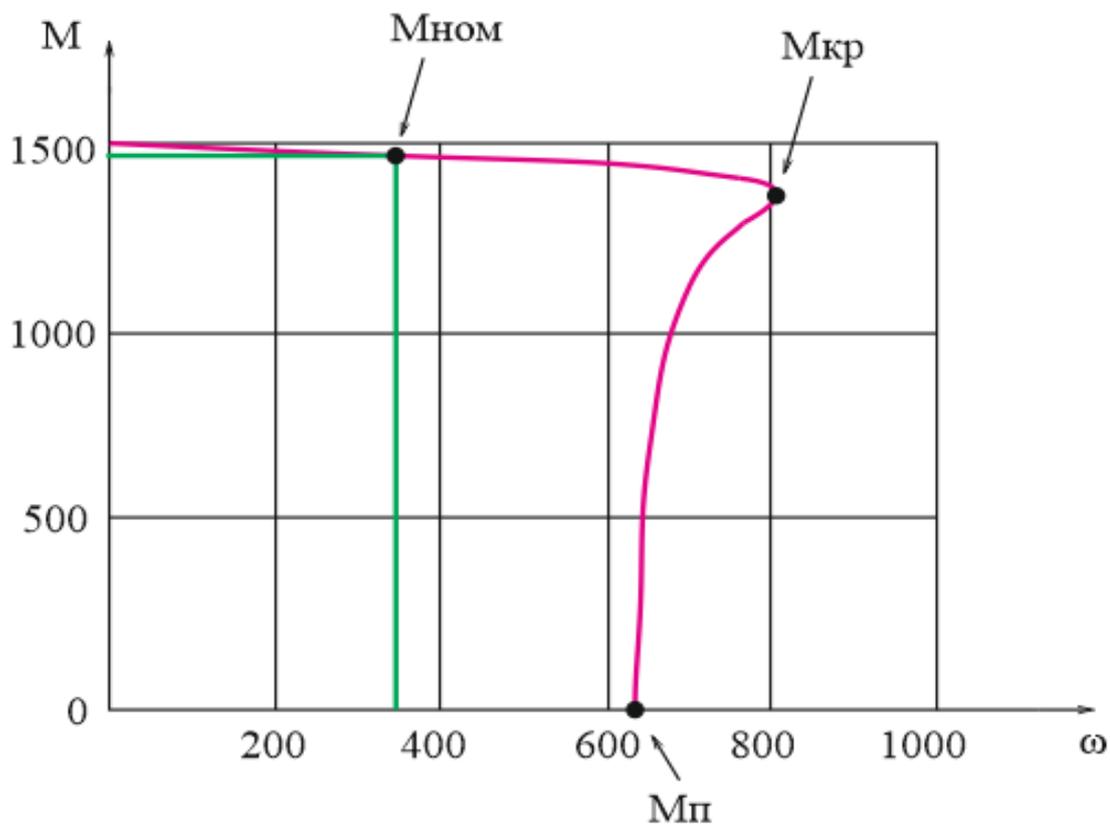


Рисунок 9.1 – Естественная механическая характеристика электропривода

9.2 Расчет параметров схем включения двигателя, обеспечивающих работу в заданной точке

Таблица 9.1 – Выбор слабины канатов (подъем)

Участок движения		Выбор слабины канатов (подъем)		
Расчетные данные	Обозначение	Уст. Режим		
		рад/с	о.е.	Н·м
Скорость двигателя	$\omega_c$	30,24	0,196	–
Механический момент (с учётом потерь)	$M_c$	–	0,031	

Таблица 9.2 – Подъём груза

Участок движения		Выбор слабины канатов (спуск)		
Расчетные данные	Обозначение	Уст. режим		
		рад/с	о.е.	Н·м
Скорость двигателя	$\omega_c$	151,2	1,025	–
Механический момент (с учётом потерь)	$M_c$	–	1,6	376,9

Таблица 9.3 – Подъём крюка

Участок движения		Подъём крюка		
Расчетные данные	Обозначение	Уст. режим		
		рад/с	о.е.	Н·м
Скорость двигателя	$\omega_c$	181,2	1,223	–
Механический момент (с учётом потерь)	$M_c$	–	0,63	155

Таблица 9.4 – Выбор слабины канатов (подъём)

Участок движения		Выбор слабины канатов (спуск)		
Расчетные данные	Обозначение	Уст. Режим		
		рад/с	о.е.	Н·м
Скорость двигателя	$\omega_c$	–30,24	– 0,204	–

Продолжение таблицы 9.4

Механический момент (с учётом потерь)	$M_c$	–	– 0,02	– 11
---------------------------------------	-------	---	--------	------

Таблица 9.5 – Режим спуска груза

Участок движения		Спуск груза		
Расчетные данные	Обозначение	Уст. режим		
		рад/с	о.е.	Н·м
Скорость двигателя	$\omega_c$	–151,2	– 1,025	–
Механический момент (с учётом потерь)	$M_c$	–	0,818	192,9

Таблица 9.6 – Режим спуска крюка

Участок движения		Спуск крюка		
Расчетные данные	Обозначение	Уст. режим		
		рад/с	о.е.	Н·м
Скорость двигателя	$\omega_c$	–181,2	–1,223	–
Механический момент (с учётом потерь)	$M_c$	–	–0,02	– 11

Рассчитаем заданные частоты и напряжения для режима выбора слабины каната (подъем):

$$\omega_{\text{зад}} = \frac{\omega_{\text{с}}}{\omega_{\text{н}}} + S_{\text{н}} \cdot M_{\text{зад}}, \quad (47)$$

$$\omega_{\text{зад}} = 0,192 + 0,016 \cdot 0,031 = 0,193,$$

$$f = \omega_{\text{зад}} \cdot f_{\text{н}} = 0,193 \cdot 50 = 9,6 \text{ Гц}, \quad (48)$$

$$U = \omega_{\text{зад}} \cdot U_{\text{н}} = 0,193 \cdot 380 = 72,96 \text{ В}. \quad (49)$$

Рассчитаем заданные частоты и напряжения для режима выбора слабины каната (спуск):

$$\omega_{\text{зад}} = \frac{\omega_{\text{с}}}{\omega_{\text{н}}} + S_{\text{н}} \cdot M_{\text{зад}},$$

$$\omega_{\text{зад}} = -0,192 + 0,016 \cdot (-0,031) = -0,192,$$

$$f = \omega_{\text{зад}} \cdot f_{\text{н}} = -0,193 \cdot 50 = -9,7 \text{ Гц},$$

$$U = \omega_{\text{зад}} \cdot U_{\text{н}} = -0,193 \cdot 380 = -73 \text{ В}.$$

Рассчитаем заданные частоты и напряжения для режима подъема груза:

$$\omega_{\text{зад}} = \frac{\omega_{\text{с}}}{\omega_{\text{н}}} + S_{\text{н}} \cdot M_{\text{зад}}$$

$$\omega_{\text{зад}} = 0,98 + 0,016 \cdot 1,58 = 1,005,$$

$$f = \omega_{\text{зад}} \cdot f_{\text{н}} = 1,005 \cdot 50 = 50,27 \text{ Гц},$$

$$U = \omega_{\text{зад}} \cdot U_{\text{н}} = 1,005 \cdot 380 = 382 \text{ В}.$$

Рассчитаем заданные частоты и напряжения для режима спуска груза:

$$\omega_{\text{зад}} = \frac{\omega_{\text{с}}}{\omega_{\text{н}}} + S_{\text{н}} \cdot M_{\text{зад}},$$

$$\omega_{\text{зад}} = -0,98 + 0,016 \cdot 1,58 = -0,72,$$

$$f = \omega_{\text{зад}} \cdot f_{\text{н}} = -0,72 \cdot 50 = -36 \text{ Гц},$$

$$U = \omega_{\text{зад}} \cdot U_{\text{н}} = -0,72 \cdot 380 = -273,6 \text{ В}.$$

Рассчитаем заданные частоты и напряжения для режима подъема крюка:

$$\omega_{\text{зад}} = \frac{\omega_{\text{с}}}{\omega_{\text{н}}} + S_{\text{н}} \cdot M_{\text{зад}},$$

$$\omega_{\text{зад}} = 1,17 + 0,016 \cdot 0,07 = 1,171,$$

$$f = \omega_{\text{зад}} \cdot f_{\text{н}} = 1,171 \cdot 50 = 58,5 \text{ Гц},$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37

$$U = \omega_{\text{зад}} \cdot U_{\text{H}} = 1,171 \cdot 380 = 444,6 \text{ В.}$$

Рассчитаем заданные частоты и напряжения для режима спуска крюка:

$$\omega_{\text{зад}} = \frac{\omega_{\text{с}}}{\omega_{\text{H}}} + S_{\text{H}} \cdot M_{\text{зад}},$$

$$\omega_{\text{зад}} = -1,17 + 0,0197 \cdot (-0,02) = -1,17,$$

$$f = \omega_{\text{зад}} \cdot f_{\text{H}} = -1,17 \cdot 50 = -58,5 \text{ Гц,}$$

$$U = \omega_{\text{зад}} \cdot U_{\text{H}} = -1,223 \cdot 380 = -444,7 \text{ В.}$$

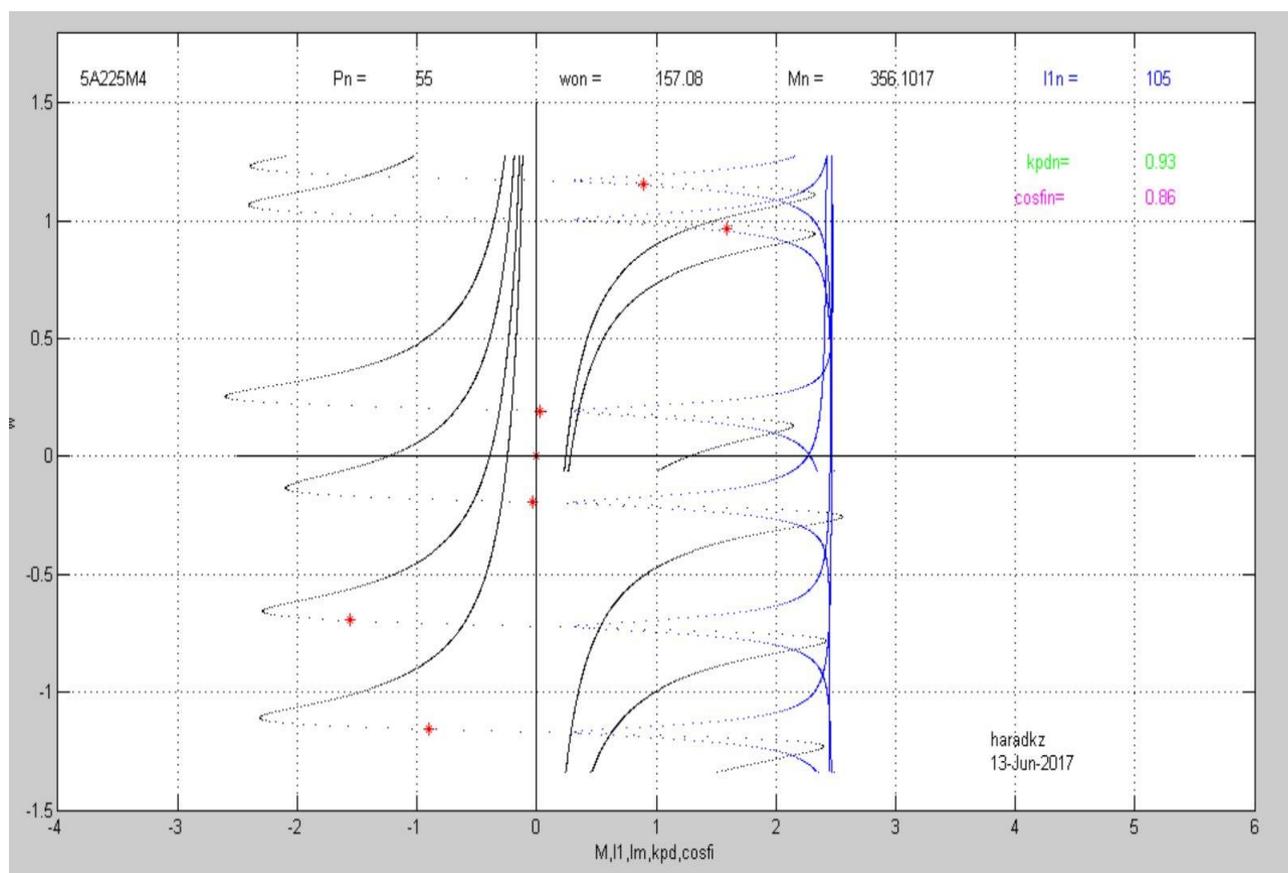


Рисунок 9.2 – Механические характеристики системы, проходящие через заданные точки

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

ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ

Лист

38

## 10 РАСЧЁТ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Переходные процессы электропривода возникают при изменении управляющих и возмущающих воздействий. На характер переходного процесса оказывают существенное влияние механическая инерция электропривода, жесткость механической передачи, электромагнитная инерция обмоток двигателя и элементов преобразователя.

Переходные процессы строим с использованием: обучающей программы для моделирования процессов в системе магнитный контроллер – асинхронный двигатель (read.m) ver2013.02.21.

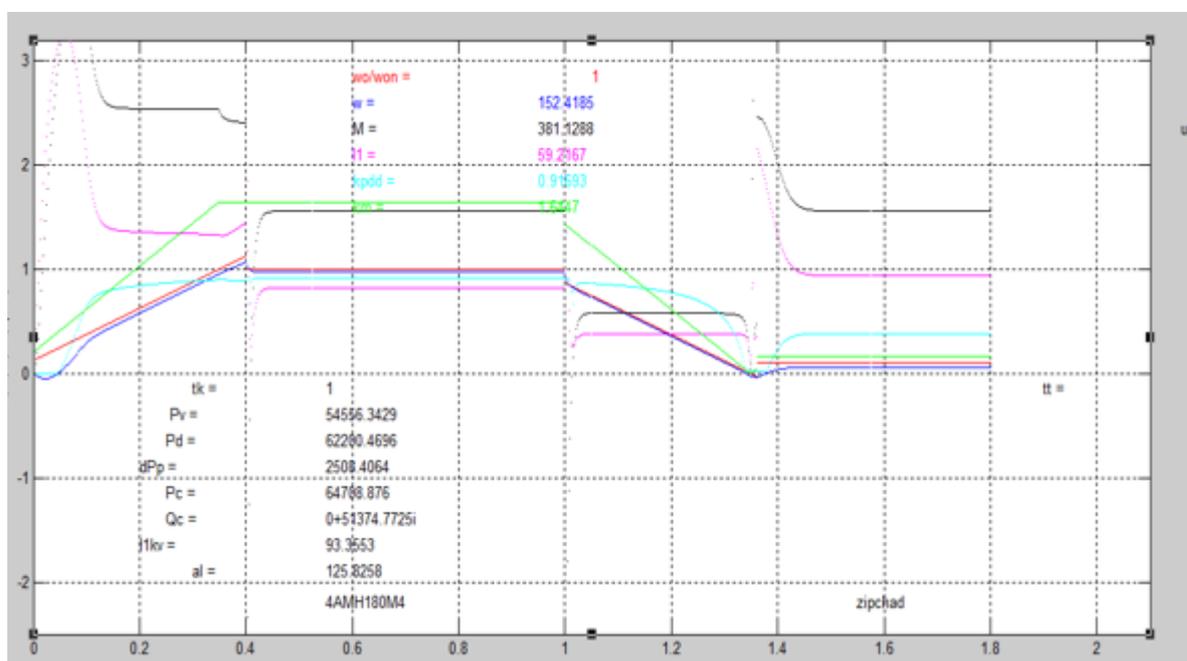


Рисунок 10.1 – Переходные характеристики при разгоне до естественной характеристики и торможение до нуля

## 11 АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОСТОВОГО КРАНА

Современные тенденции развития автоматизации развиваются в сторону создания таких автоматических систем, которые были бы способны выполнять большой объём задач без вмешательства человека. Задача оператора заключалась только к подготовке начальных данных, выборе метода решения задачи, последовательности действий и анализе полученных результатов. Такие перспективы наблюдаются не только в сложных промышленных технологических процессах, но и в обыденной жизни. В данной выпускной квалификационной работе было решено разработать систему автоматизации мостового крана, используемом на производстве на территории Челябинского Трубопрокатного завода.

Выбор системы автоматизации базируется в основном на учебных целях, следовательно, в настоящей работе построим её на основе программируемого логического контроллера *CPM2A* фирмы *Omron*, всецело удовлетворяющим потребностям по управлению объектом автоматизации.

Для создания человеко-машинного интерфейса и решения задач по оперативному управлению объектом будем использовать пульт управления, используя который, оператор получит возможность выбора нужного режима работы, запускать механизм, идентифицировать причины аварий и многое другое. Контроль положения механизмов в пространстве будет осуществлен за счёт индуктивных датчиков.

Внедряя систему автоматизации механизмов мостового крана, мы значительно упрощаем работу оператора, уменьшая его роль в процессе управления, а также оптимизируем само управление механизмами.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40

## 12 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Мостовой кран предназначен для перемещения и подъема механизмов внутри цеха. Разрабатываемыми механизмами являются тележка ТМК, перемещающая груз по оси X, мост М, перемещающий груз по оси Y, главный механизм подъема ГМП и вспомогательный механизм подъема ВМП, перемещающие груз по оси Z.

В самом начале процесса производится подъем грузов 1 и 2 при помощи механизмов ГМП и ВМП. После того, как они достигли крайнего верхнего положения КрВ тележка и мост перемещаются в положения П1<sub>тел</sub> и П1<sub>мост</sub>.

Достигнув положения П1, начинает работать механизм подъема ВМП на спуск («Спуск ВМП»). При достижении грузом крайнего нижнего положения КрН тележка и мост продолжают движение по направлению к своим положениям П2<sub>тел</sub> и П2<sub>мост</sub>.

При достижении положений П2 начинает работать механизм подъема ГМП на спуск («Спуск ГМП»). При достижении грузом крайне нижнего положения после определенной паузы начинается подъем порожних крюков ГМП и ВМП.

При достижении крюками крайнего верхнего положения КрВ тележка и мост и соответствующих положений П2 возвращаются в исходное положение П0. Затем технологический цикл повторяется.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

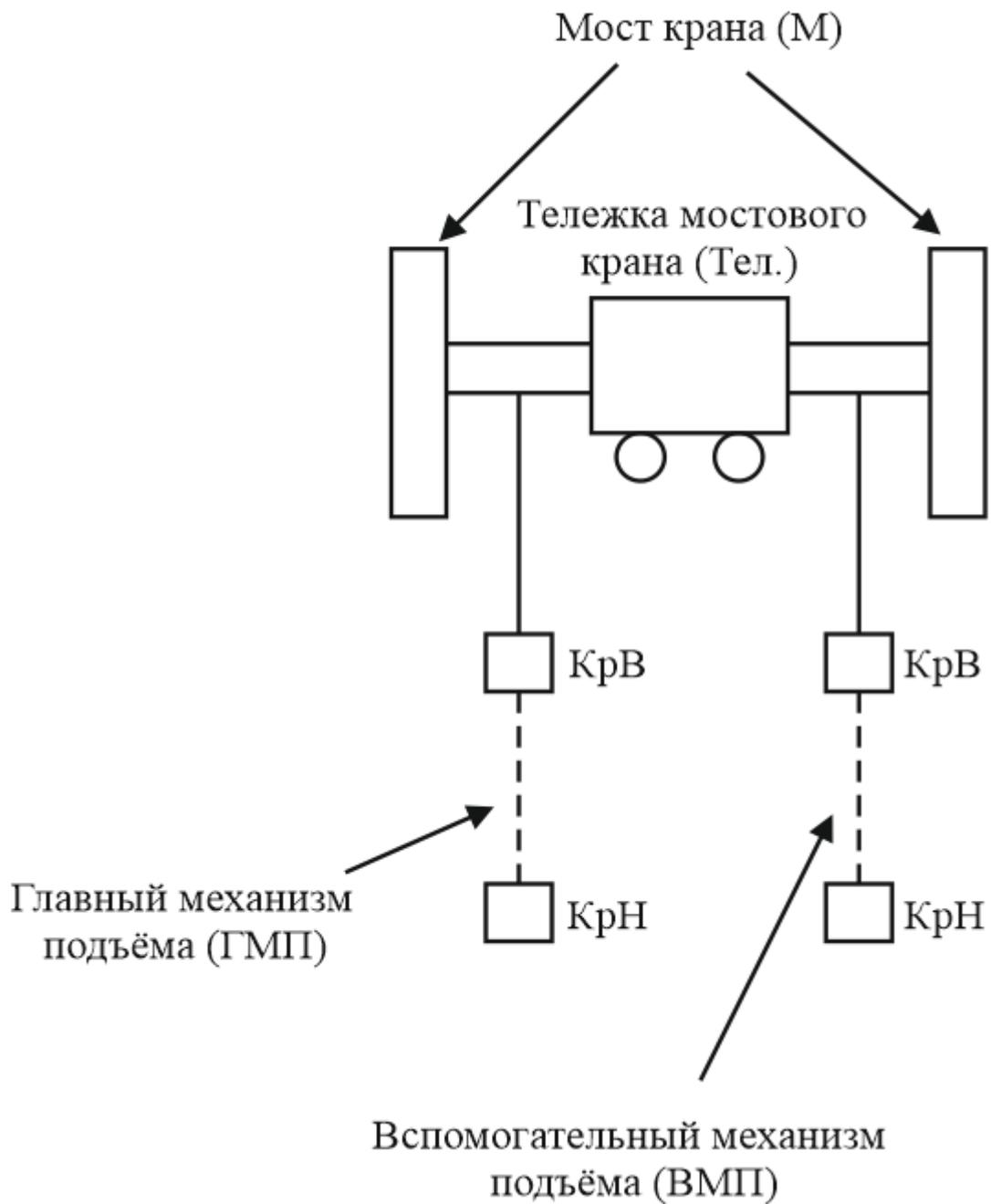


Рисунок 12.1 – Автоматизация мостового крана

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

### 13 СОСТАВЛЕНИЕ СПИСКА СИГНАЛОВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Из описания технологического процесса и последовательности работы имеющихся механизмов делаем вывод, что систему автоматизации мостового крана следует осуществлять в двух режимах: автоматическом и ручном.

Необходимо сформировать следующие выходные команды:

- включение привода главного механизма подъема вверх ( $V_{ГМП}$ );
- включение привода вспомогательного механизма подъема вниз ( $H_{ВМП}$ );
- включение привода главного механизма подъема вверх ( $V_{ГМП}$ );
- включение привода вспомогательного механизма подъема вниз ( $H_{ВМП}$ );
- включение привода перемещения тележки вперед ( $V_T$ );
- включение привода перемещения тележки назад ( $H_T$ );
- включение привода перемещения моста вперед ( $V_M$ );
- включение привода перемещения моста назад ( $H_M$ ).

Также нужно учесть 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» (ИндР);
- сигнал «АВАРИЯ» (Авария);
- сигнал «Подъем» (МП12);
- сигнал «Тележка» (Тел);
- сигнал «Мост» (М);
- сигнал «Неисправность привода главного подъема» (АврГМП);
- сигнал «Неисправность привода вспомогательного подъема» (АврВМП);
- сигнал «Неисправность привода тележки» (АврТ);
- сигнал «Неисправность привода моста» (АврМ);
- сигнал «Конец цикла» (КЦ).

										Лист
										43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ					

Для управления линией автоматизации используется пульт оператора, (изображенный на рисунке 13.1), 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 «Подъем вверх 1 груза» (кнВ1);
- сигнал «Подъем вверх 2 груза» (кнВ2);
- сигнал «Подъем вниз 1 груза» (кнН1);
- сигнал «Подъем вниз 2 груза» (кнН2);
- сигнал «Тележка вперед» (кнТвп);
- сигнал «Тележка назад» (кнТн);
- сигнал «Мост вперед» (кнМвп);
- сигнал «Мост назад» (кнМн).

Для автоматизации работы мостового крана нужно иметь информацию о состоянии системы, для этого необходимо использовать перечисленные ниже датчики:

- датчик, сигнализирующий о нахождении груза в крайнем нижнем положении (КН);
- датчик, сигнализирующий о нахождении груза в крайнем верхнем положении (КВ);
- датчик, сигнализирующий о нахождении тележки в исходном положении (П0<sub>Т</sub>);
- датчик, сигнализирующий о нахождении тележки в положении для спуска груза ВМП (П1<sub>Т</sub>);

– датчик, сигнализирующий о нахождении тележки в положении для спуска груза ГМП (П2<sub>Г</sub>);

– датчик, сигнализирующий о нахождении моста в исходном положении (П0<sub>М</sub>);

– датчик, сигнализирующий о нахождении моста в положении для спуска груза МП2 (П1<sub>М</sub>);

– датчик, сигнализирующий о нахождении моста в положении для спуска груза МП1 (П2<sub>М</sub>);

– датчик, сигнализирующий о положении груза в точке П1(П1<sub>Г</sub>);

– датчик, сигнализирующий о положении груза в точке П2(П2<sub>Г</sub>).

В таблице представлены сигналы и команды, используемые в системе. В этой же таблице показано 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)
Выходные сигналы контроллера	В <sub>ГМП</sub>	Подъем груза 1	Есть
	Н <sub>ГМП</sub>	Спуск груза 1	Есть
	В <sub>ВМП</sub>	Подъем груза 2	Есть
	Н <sub>ВМП</sub>	Спуск груза 2	Есть
	В <sub>Г</sub>	Тележка вперед	Есть
	Н <sub>Г</sub>	Тележка назад	Есть
	В <sub>М</sub>	Мост вперед	Есть
	Н <sub>М</sub>	Мост назад	Есть
Входные сигналы пульта управления и выходные контроллера	Пит	Индикация «питание»	Есть
	ГотА	Индикация «Готов к авт. Режиму»	Есть
	ИндАвт	Индикация «Авт. Режим»	Есть
	ИндР	Индикация «Ручной режим»	Есть
	Авария	Индикация «Авария»	Есть
	ПГ	Индикация «Подъем грузов»	Есть

	Т	Индикация «Работа тележки»	Есть
	М	Индикация «Работа моста»	Есть
	АврГМП	Индикация «Авария подъема 1»	Есть
	АврВМП	Индикация «Авария подъема 2»	Есть
	АврТ	Индикация «Авария тележки»	Есть
	АврД	Индикация «Авария датчиков»	Есть
	АврМ	Индикация «Авария моста»	Есть
	КЦ	Индикация «Конец цикла»	Есть
	Ошиб <sub>ГПР</sub>	Индикация «Ошибка преобразователя»	Есть
Выходные сигналы пульта управления	кнАвария	Ладонная кнопка «Авария»	Нажата один раз
	кнПит	Ключ-бирка «Питание»	Ключ повернут
	ПускА	Переключатель «Пуск авт. режима»	Нажата один раз
	СтопА	Переключатель «Стоп авт. режима»	Нажата один раз
	РучР	Переключатель «Ручной/авт. режим»	Левое положение
	АвтР	Переключатель «Ручной/авт. режим»	Правое положение
	Сброс А	Кнопка «Сброс авт. режима»	Нажата один раз
	кнВ1	Переключатель «Подъем 1 вверх»	Левое положение
	кнВ2	Переключатель «Подъем 2 вверх»	Левое положение
	кнН1	Переключатель «Подъем 1 вниз»	Правое положение
	кнН2	Переключатель «Подъем 2 вниз»	Правое положение
	кнТвп	Переключатель «Тележка вперед»	Левое положение
	кнТн	Переключатель «Тележка назад»	Правое положение

	кнМвп	Переключатель «Мост вперед»	Левое положение
	кнМн	Переключатель «Мост назад»	Правое положение
Входные сигналы контроллера	КНГМП	Датчик груза 1 в нижнем положении	Есть
	КВГМП	Датчик груза 1 в верх. положении	Есть
	КНВМП	Датчик груза 2 в нижнем положении	Есть
	КВВМП	Датчик груза 2 в верх. положении	Есть
	П0Т	Датчик тележки в П0	Есть
	П0М	Датчик моста в П0	Есть
	П1Т	Датчик тележки в П1	Есть
	П1М	Датчик моста в П1	Есть
	П2Т	Датчик тележки в П2	Есть
	П2М	Датчик моста в П2	Есть
	П1Г	Датчик положения груза в П1	Есть
	П2Г	Датчик положения груза в П2	Есть

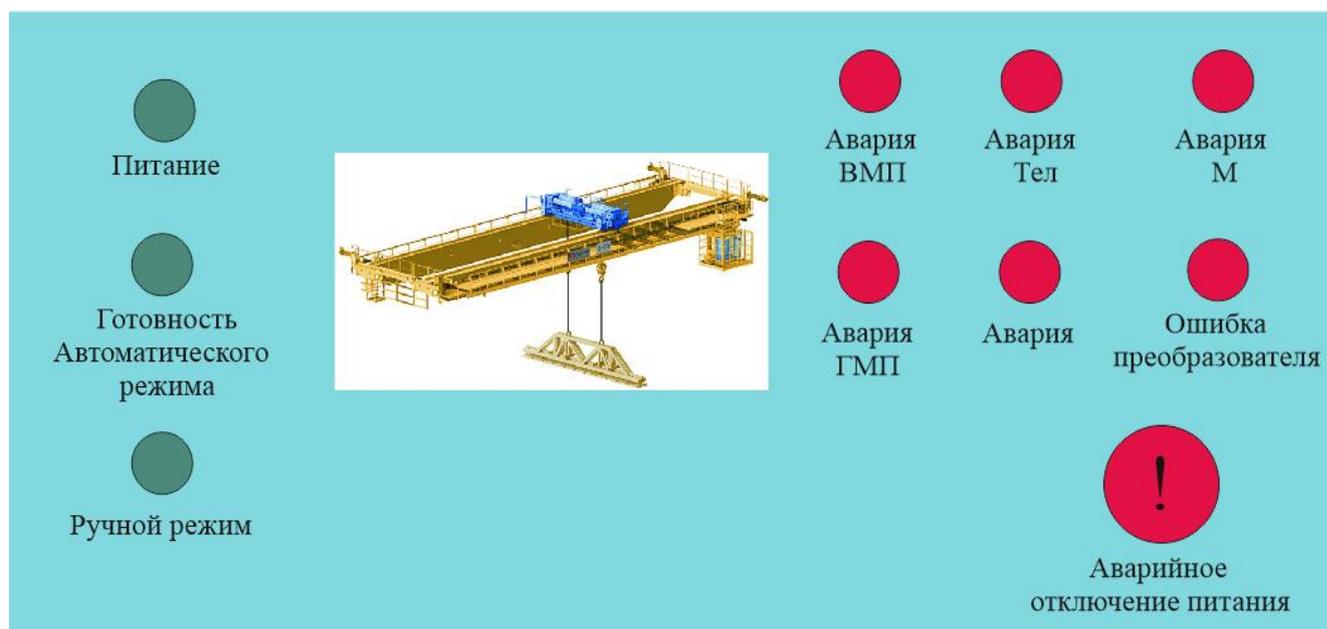


Рисунок 13.1 – Пульт оператора

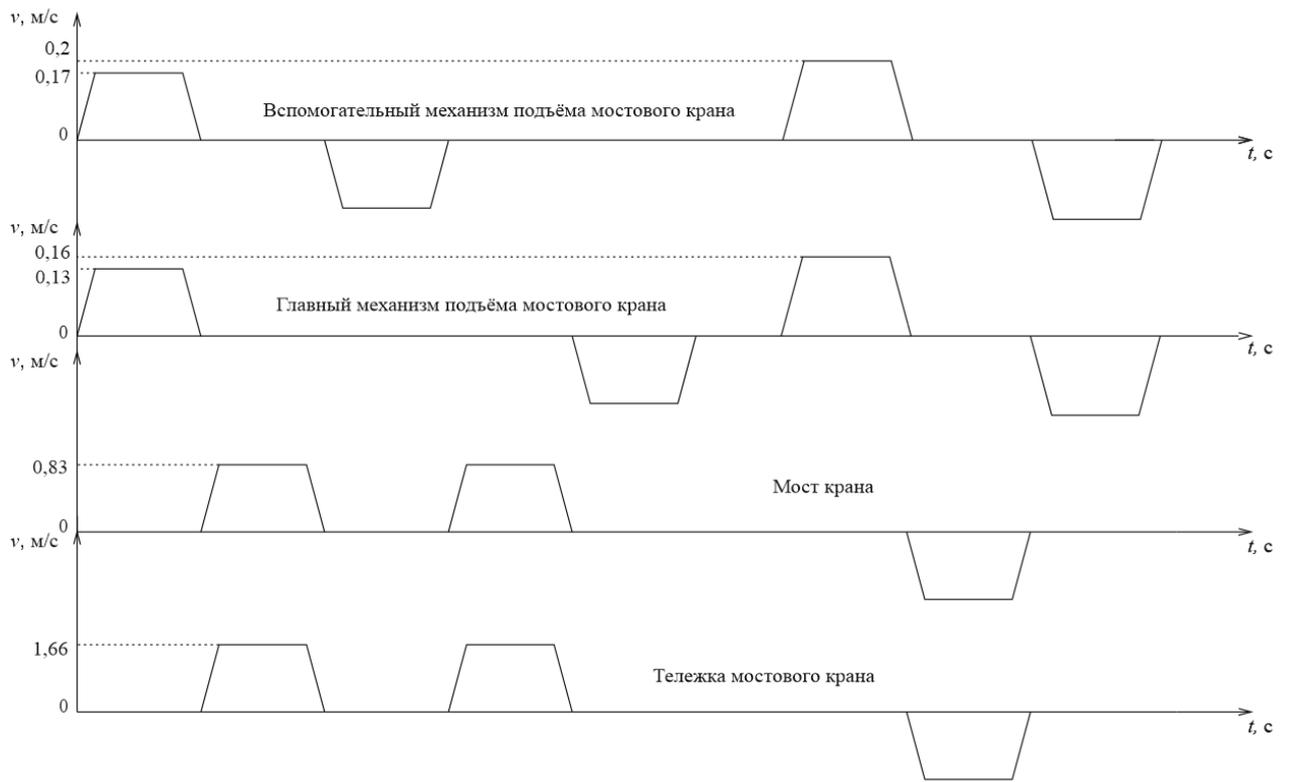


Рисунок 13.2 – Циклограммы работы системы автоматизации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ

Лист

48

## 14 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМАМИ ОБЪЕКТА

Для данного контроллера программу необходимо условно разделить на четыре блока:

- блок автоматического цикла
- блок ручного управления
- блок выходных символов
- блок аварийных сигналов

### 14.1 Блок автоматического цикла

Сигнал готовности к автоматическому режиму возникает в крайне нижнем положении механизмов подъема, и при нахождении тележки и моста в исходном положении П0 и сохраняется пока переключатель находится в положение автоматического режима, есть питание пульта и отсутствие сигнала об аварии:

$$ГотА = (КрН_{ГМП} \cdot КрН_{ВМП} \cdot П0_{Тел} \cdot П0_{М} + ГотА) \cdot АвтР \cdot \overline{Авария},$$

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, пока нет команды конец цикла и отсутствие сигнала об аварии:

$$Авт = (ПускаА + Авт) \cdot ГотА \cdot \overline{СтопА} \cdot \overline{КЦ} \cdot \overline{Руч} \cdot \overline{Авария},$$

На первом этапе работы происходит подъем грузов механизмами подъемов ГМП и ВМП. Подъем начинается при условии нахождения грузов в крайнем нижнем положении, нахождения тележки и моста в положении П0. Отключение команды на подъем – при достижении крайнего верхнего положения, появления сигнала аварии или сброса автоматического режима.

$$В_{МП1(1)} = (КН_{ГМП} \cdot П0_{Т} \cdot П0_{М} + В_{ГМП(1)}) \cdot \overline{КВ_{ГМП}} \cdot \overline{Авария} \cdot \overline{СбросА},$$

$$В_{ВМП(1)} = (КН_{ВМП} \cdot П0_{Тел} \cdot П0_{М} + В_{МП2(1)}) \cdot \overline{КВ_{ВМП}} \cdot \overline{Авария} \cdot \overline{СбросА},$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		49

Когда оба механизма достигают крайних верхних положений, включаются приводы перемещения тележки и моста. Отключение привода происходит при достижении ими соответствующих положений П1, или же при возникновении сигнала аварии или сброса автоматического режима.

$$V_{T(1)} = (KB_{ГМП} \cdot KB_{ВМП} \cdot PO_{Тел} \cdot PO_{М} + V_{Тел(1)}) \cdot \overline{П1_{Тел}} \cdot \overline{Авария} \cdot \overline{СбросА},$$

$$V_{M(1)} = (KB_{ГМП} \cdot KB_{ВМП} \cdot PO_{Тел} \cdot PO_{М} + V_{M(1)}) \cdot \overline{П1_{М}} \cdot \overline{Авария} \cdot \overline{СбросА},$$

Когда мост и тележка оказываются в положении П1, подается сигнал на спуск груза вспомогательным механизмом подъема МП2. Отключение привода происходит при достижении грузом своего положения П1, или же при наличии сигнала аварии или сброса автоматического режима.

$$H_{ВМП(1)} = (KB_{ВМП} \cdot П1_{Тел} \cdot П1_{М} + H_{ВМП(1)}) \cdot \overline{П1_{Г}} \cdot \overline{Авария} \cdot \overline{СбросА},$$

При достижении вспомогательным механизмом подъема крайнего нижнего положения, снова включается привод передвижения моста и тележки. Отключение происходит при достижении ими положений П2, или при возникновении сигнала аварии или сброса автоматического режима.

$$V_{Тел(2)} = (KH_{ВМП} \cdot П1_{Тел} \cdot П1_{М} + V_{Тел(2)}) \cdot \overline{П2_{Тел}} \cdot \overline{Авария} \cdot \overline{СбросА},$$

$$V_{M(2)} = (KH_{ВМП} \cdot П1_{Тел} \cdot П1_{М} + V_{M(2)}) \cdot \overline{П2_{М}} \cdot \overline{Авария} \cdot \overline{СбросА},$$

Общие сигналы на перемещение тележки и моста вперед складываются из сигналов  $V_{T(1)}$  и  $V_{T(2)}$  (или  $V_{M(1)}$  и  $V_{M(2)}$ )

$$V_T = V_{T(1)} + V_{T(2)},$$

$$V_M = V_{M(1)} + V_{M(2)},$$

По прибытии моста и тележки в свои положения П2 подается сигнал на спуск груза вспомогательным механизмом подъема ВМП. Отключение привода происходит при достижении грузом своего положения П2, или же при возникновении сигнала аварии или сброса автоматического режима.

$$H_{ГМП(1)} = (KB_{ГМП} \cdot П2_{Тел} \cdot П2_{М} + H_{ГМП(1)}) \cdot \overline{П2_{Г}} \cdot \overline{Авария} \cdot \overline{СбросА},$$

После достижения грузом главного подъема крайнего нижнего положения происходит подъем порожних крюков главного и вспомогательного механизмов..

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		50



$$H_{ГМП} = H_{ГМП(1)} + H_{ГМП(2)},$$

$$H_{ВМП} = H_{ВМП(1)} + H_{ВМП(2)}.$$

## 14.2 Блок ручного управления

Сигнал ручного режима возникает при повороте переключателя в положение ручного режима, пока не переключен переключатель в положение автоматического режима и отсутствие сигнала об аварии:

$$Руч = РучР \cdot \overline{Авт} \cdot \overline{Авария},$$

В ручном режиме все команды на передвижение тележки и моста, а также на подъем и спуск грузов формируются за счет переключения соответствующего переключателя в определенное положение.

$$Вруч_{ГМП} = Руч \cdot кнВ1 \cdot \overline{КВ} \cdot \overline{Авт} \cdot \overline{Авария},$$

$$Вруч_{ВМП} = Руч \cdot кнВ2 \cdot \overline{КВ} \cdot \overline{Авт} \cdot \overline{Авария},$$

$$Нруч_{ГМП} = Руч \cdot кнН1 \cdot \overline{КН} \cdot \overline{Авт} \cdot \overline{Авария},$$

$$Нруч_{ВМП} = Руч \cdot кнН2 \cdot \overline{КН} \cdot \overline{Авт} \cdot \overline{Авария},$$

$$Вруч_{Т} = Руч \cdot кнТВ \cdot (\overline{П1_{Т}} + \overline{П2_{Т}}) \cdot \overline{Авт} \cdot \overline{Авария},$$

$$Вруч_{М} = Руч \cdot кнМВ \cdot (\overline{П1_{М}} + \overline{П2_{М}}) \cdot \overline{Авт} \cdot \overline{Авария},$$

$$Нруч_{Т} = Руч \cdot кнТН \cdot \overline{П0_{Т}} \cdot \overline{Авт} \cdot \overline{Авария},$$

$$Нруч_{М} = Руч \cdot кнМН \cdot \overline{П0_{М}} \cdot \overline{Авт} \cdot \overline{Авария}.$$

## 14.3 Блок аварийных сигналов

Данный блок представляет собой перечень различных команд контроллера, описывающих аварийные ситуации разного рода, которые выводятся на пульт управления.

Авр<sub>д</sub> описывает ошибки в работе датчиков положения:

$$Авр_{д} = ((\overline{П0_{Тел}} \cdot \overline{П1_{Тел}} + \overline{П0_{М}} \cdot \overline{П1_{М}} + \overline{П0_{Тел}} \cdot \overline{П2_{Тел}} + \overline{П0_{М}} \cdot \overline{П2_{М}} + \overline{П1_{Тел}} \cdot \overline{П2_{Тел}} + \overline{П1_{М}} \cdot \overline{П2_{М}} + \overline{КВ} \cdot \overline{КН}) + Авр_{д}) \cdot \overline{СбросА}.$$



## 15 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

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

В рассматриваемой системе автоматизации можно выделить следующие функциональные элементы:

- пульт управления (ПУ);
- блок управления (БУ);
- преобразователь частоты приводного двигателя М1 (ПЧ1);
- преобразователь частоты приводного двигателя М2 (ПЧ2);
- преобразователь частоты приводного двигателя М3 (ПЧ3);
- преобразователь частоты приводного двигателя М4 (ПЧ4);
- приводной двигатель (М1) главного механизма подъема;
- приводной двигатель (М2) вспомогательного механизма подъема;
- приводной двигатель (М3) механизма перемещения тележки;
- приводной двигатель (М4) механизма перемещения тележки;
- датчики технологической информации (КВ, КН, П1<sub>Т</sub>, П1<sub>М</sub>, П1<sub>Г</sub>, П2<sub>Т</sub>, П2<sub>М</sub>, П2<sub>Г</sub> П0<sub>Т</sub>, П0<sub>М</sub>);
- блок питания (БП).

На функциональной схеме показана взаимосвязь отдельных элементов системы автоматизации. Основным связующим элементом является программируемый контроллер *Omron CPM2A*.

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

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

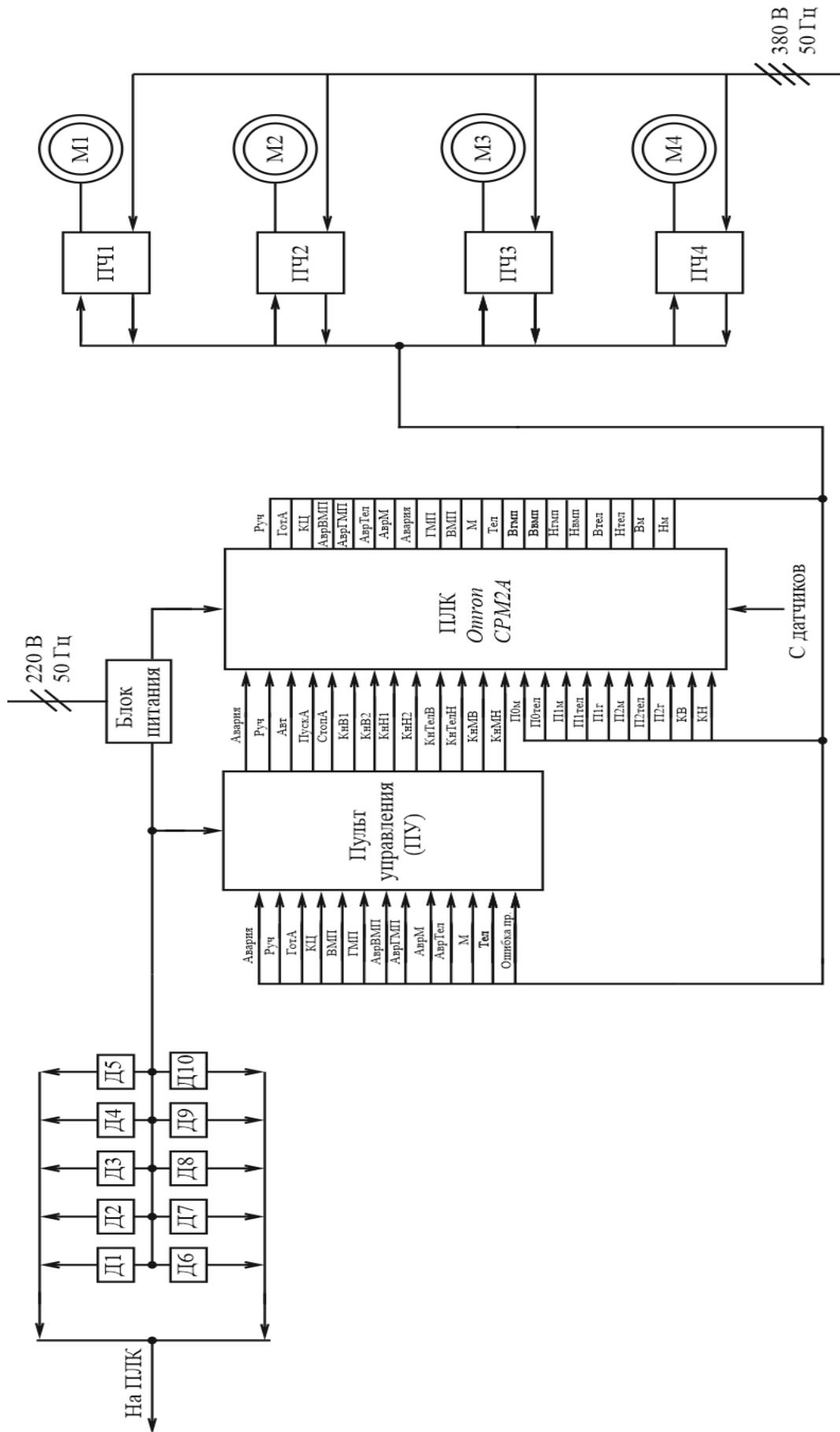


Рисунок 15.1 – Функциональная схема системы автоматизации

МОСТОВОГО КРАНА

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ

## 16 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

### 16.1 Выбор блока управления

Выберем контроллер фирмы *OMRON SYSMAC CPM2A-30CDR*.

Контроллер, комбинирующий в себе фиксированное количество точек ввода/вывода (30 входных/выходных сигналов) с дополнительным слотом расширения.

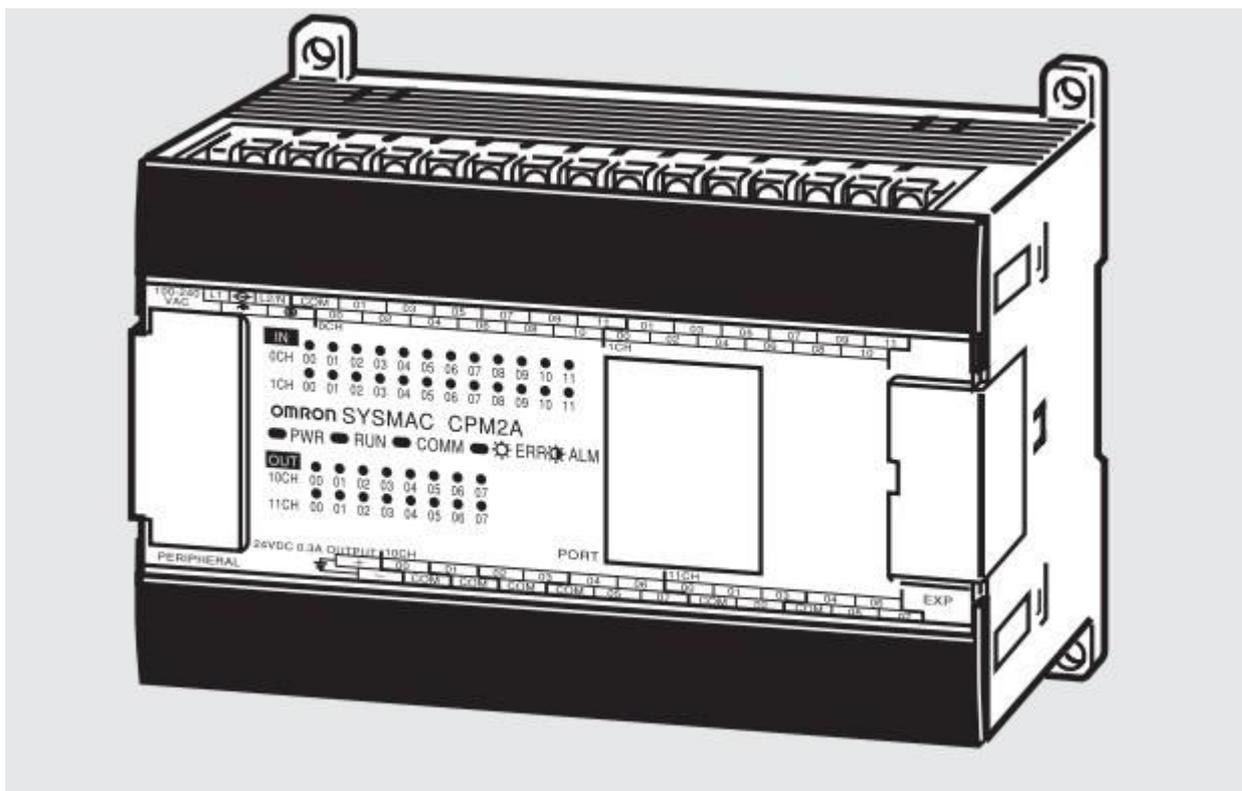


Рисунок 16.1 – Внешний вид контроллера *OMRON SYSMAC CPM2A-30CDR*

Общие характеристики:

- Тип процессора – *СМР2А*;
- Общий объем памяти – 4096 двухбайтных слов;
- Число входов/выходов – 30, с возможностью увеличения до 100 при помощи дополнительных модулей;
- Длина команды – 1 шаг на команду, 1...5 слов на команду;
- Количество точек ввода/вывода от 30 до 100;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- Типы команд – базовые (14 типов), специальные (105 типов);
- Языки программирования – РКС, язык инструкций;
- Счетчики и таймеры – до 256. 1мс таймеры *ТМНН*. 10мс таймеры *ТМН*, 100мс таймеры *ТМ*, 1с/10с таймеры *ТМЛ*, декрементирующие счетчики *СНТ*, реверсивные счетчики *СНТR*;
- Встроенные часы реального времени и календарь;
- Две аналоговые уставки;
- Сетевые протоколы *Host Link*, 1:1 *PC Link*, 1:1 *NT Link*, *CompoBus/S (Slave)*;
- Специальные функции – аналоговый ввод-вывод, модуль температурных датчиков, высокоскоростные счётчики, импульсный выход (доступны с подключением дополнительных модулей);
- Питание – ~100–240В и 12–24В.
- Ток потребления – 1А

## 16.2 Выбор дополнительного модуля входов-выходов

В ходе проектирования системы автоматизации мостового крана, программируемому контроллеру необходимо иметь 42 входных и выходных сигнала

Контроллер *OMRON SYSMAC CPM2A-30CDR* имеет всего 30 входных и выходных сигналов, в связи с этим необходимо выбрать модуль дополнительных дискретных входов.

Выбираем модуль дискретных входов *CPIW-20EDR1*, который имеет:

- 20 входов и выходов,
- 12–24 В источник/потребитель,
- Съёмный клеммник.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		57



Рисунок 16.2 – Внешний вид модуля дискретных входов *D0–10ND3*

### 16.3 Выбор датчиков

Для получения информации о месте нахождения крана выберем индуктивные датчики *ISN IT7P5-43P-R50-LZ*.

Таблица 16.1 – Технические характеристики *ISN IT7P5-43P-R50-LZ*

Размер корпуса, ДлхВхШ	80x80x40
Способ установки в металл	Невстраиваемый
Диапазон рабочих напряжений, $U_{раб}$ .	10...30 В DC
Максимальный рабочий ток, $I_{max}$	400 мА
Падение напряжения при $I_{max}$ , $U_d$	$\leq 2,5$ В
Тип контакта / Структура выхода	<i>PNP</i> Переключающий
Частота переключения, $F_{max}$	100 Гц
Диапазон рабочих температур	-25°C...+75°C
Присоединение / Подключение	Клеммник
Световая индикация	Есть
Комплексная защита	Есть



Рисунок 16.3 – Внешний вид индуктивного датчика *ISN IT7P5-43P-R50-LZ*

#### 16.4 Выбор блока питания

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

Рассчитаем эту мощность:

$$P_{\text{потр}} = U_{\text{контр.}} \cdot I_{\text{контр}} + U_{\text{мод.}} \cdot I_{\text{мод}} + 10 \cdot U_{\text{Датч}} \cdot I_{\text{Датч}} \quad (50)$$

$$P_{\text{потр}} = 24 \cdot 1 + 24 \cdot 1 + 10 \cdot 24 \cdot 0,4 = 144 \text{ Вт.}$$

По полученной мощности выберем блок питания *NES-200-24 AC/DC* преобразователь мощностью 200 Вт, производства компании *Mean Well* серии.

Таблица 16.2 – Технические характеристики блока питания *NES-200-24 AC/DC*

Напряжение постоянного тока, В	24
Номинальный ток, А	8,8
Номинальная мощность, Вт	200
Диапазон входных напряжений, В	85...264 AC 120...370 DC
Диапазон частот, Гц	47...63
КПД, %	87



Рисунок 16.4 – Внешний вид блока питания S-200-24

## 17 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

На данный момент, с учётом реальных условий, существуют технологии, которые позволяют преодолевать трудности, с которыми сталкиваются крановщики. Но установка интеллектуальных функций позволяет решить эту проблему как на уже существующих кранах, так и на современных кранах. Эти функции были разработаны с целью повышения безопасности и производительности работы. Данные функции упрощают управление краном, позволяя выполнять плавные контролируемые движения. Рассмотрим некоторые из них.

Медленное микрошаговое перемещение – эта функция, которая позволяет подвести груз требуемое положение с большой точностью. Применяется как для подъёма, так и для передвижения. Можно выставить длину шага от 2 мм до 100 мм.

Функция микроскорости повышает точность контроля груза, позволяя выполнять управление на очень низкой скорости. Активизация функции микроскорости выполняется переключением джойстика в соответствующий режим. Управлять на микроскорости можно всеми движениями крана.

Функция, предотвращающая ударные нагрузки, обеспечивает плавное ускорение в момент отрыва груза от земли/опоры. Привод подъема ведет мониторинг нагрузки, и, если происходит резкий отрыв, скорость автоматически снижается, пока груз не поднимется над уровнем земли/ опоры. Таким образом, исключаются ударные нагрузки на груз и кран, что способствует увеличению срока службы металлоконструкций и механических компонентов крана.

Функция “Следуй за мной” значительно ускоряет грузовые операции, позволяя подвести кран к грузу, просто направляя крюк рукой. Обеспечивает простоту управления и более быстрый перевод крана в требуемое положение без груза.

Защита, срабатывающая при зацеплении груза, останавливает все движения крана при случайном зацеплении крюка, стропа или груза о препятствие. Данная функция снижает риск аварийных ситуаций при перемещении груза.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		61

Также предотвращает повреждение груза, крана и расположенного вблизи производственного оборудования.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>62</i>

## 18 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ ЛЮЕНБЕРГЕРА

Сегодня разработка бездатчиковых интеллектуальных систем управления электроприводом становится всё более актуальной. В первую очередь, это связано с тем фактом, что использование систем такого рода значительно уменьшает затраты на электропривод в целом, а во-вторых, такие системы позволяют решить некоторые проблемы, которые, несомненно, возникли бы при использовании датчиковых систем (например, необходимость прокладки линий коммуникаций между датчиком и системой управления).

На практике достаточно распространенной является ситуация, когда не все компоненты вектора состояний доступны для измерения. В этом случае, чтобы в системе управления возможно было использовать обратную связь по состоянию, необходимо восстановить вектор состояния системы, недоступный для измерения. Восстановление вектора состояния называется его оценкой, а устройства, формирующие на выходе вектор оценки состояний, а также позволяющие отделить полезный сигнал от помех, наблюдателями (идентификаторами, фильтрами).

Наблюдатель может иметь порядок, равный порядку системы (наблюдатель полного порядка, например, фильтр Калмана), который оценивает вектор состояния учитывая все переменные состояния, или меньший, по сравнению с системой (наблюдатель пониженного порядка, наблюдатели Люенбергера), который имеет размерность на 1 или на количество измеряемых компонент меньше, чем система. Последний формирует новый вектор, в котором учитываются только те компоненты вектора состояния, которые недоступны для измерения.

В случае отсутствия шумов в измерениях для получения оценки координат вектора состояния возможно уменьшить порядок наблюдателя, непосредственно используя содержащуюся в выходных переменных информацию о состоянии объекта. Такие наблюдатели называются наблюдателями Люенбергера.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						63
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

В них размерность вектора состояния уменьшается на число компонент измеряемого вектора.

Американским учёным Д. Г. Люенбергером впервые были изучены структуры работоспособных наблюдателей, восстановителей вектора состояния, названных позднее его именем. Основополагающая идея состоит в том, чтобы в рассмотренную структурную схему ввести дополнительную обратную связь по ошибке оценки вектора  $y$ , заведомо обеспечивающую асимптотическое затухание ошибки оценки вектора состояния. В соответствии с рисунком 18.1 уравнение наблюдателя будет иметь вид:

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + K(y(t) - \hat{y}(t)) \quad (47)$$

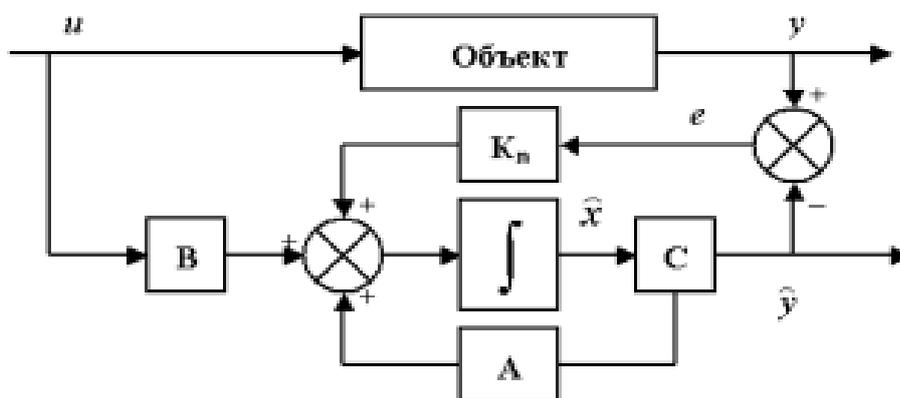


Рисунок 18.1 – Наблюдатель Люенбергера



Рисунок 18.2 – Функциональная схема САУ с наблюдателем

## 19 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проектирования электропривода, был рассмотрен электропривод механизма подъёма мостового крана.

В ходе дипломной работы были произведены расчёт мощности и выбор электродвигателя, определено передаточное число редуктора и выбран редуктор, были рассчитаны статические и динамические моменты, а также построены механические характеристики электропривода. На основании полученных данных был выбран частотный преобразователь. Построены переходные процессы электропривода. Была проведена проверка двигателя по нагреву и производительности, которую выбранный двигатель прошёл.

Помимо разработки электропривода была разработана система автоматизации толкателя на основе контроллера *Omron CPM2A, 30CDR*. Был реализован алгоритм автоматизации управления через логические уравнения, были выбраны все необходимые элементы (датчики, блок питания, блок процессора), разработана функциональная схема и программное обеспечение для контроллера.

Также в ходе дипломного проектирования была выполнена исследовательская часть.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		65

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Ключев, В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
- 2 Драчев, Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие к курсовому проектированию. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1998. – 160 с.
- 3 Яуре, А.Г. Певзнер Е.М. Крановый электропривод: справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 344 с.
- 4 Анфимов, М.И. Редукторы: конструкция и расчёт: Альбом. – М.: Машиностроение, 1993. – 432 с.
- 5 Драчев, Г.И. Теория электропривода: учебное пособие в 2 ч. / Г.И. Драчев. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005. – Ч.1. – 207 с; Ч.2. – 203 с.
- 6 Сайт кафедры «Автоматизированный электропривод»  
[http://epa.susu.ru/for\\_student.html](http://epa.susu.ru/for_student.html)
- 7 Усынин, Ю.С. Теория Автоматического управления: учебное пособие для вузов / Ю.С. Усынин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 176с.
- 8 АВВ руководство пользователю. ACS800-01 Drives. 2013 г. 174 с.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.012.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		66