

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт открытого и дистанционного образования
Кафедра «Техника, технологии и строительство»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
к.т.н., доцент
_____ К.М. Виноградов
_____ 2021г.

Модернизация электропривода мостового крана грузоподъемностью 16 т

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ ВКР

Руководитель работы,
Доцент, к.т.н.
_____ К.М. Виноградов
_____ 2021г.

Автор работы
студент группы ДО – 514
_____ А.Д. Филимонов
_____ 2021г.

Нормоконтролер,
преподаватель
_____ О.С. Микерина
_____ 2021г.

Челябинск,
2021

АННОТАЦИЯ

Филимонов, А.Д. Модернизация электропривода мостового крана грузоподъемностью 16 т - Челябинск: ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», ИОДО; 2021, 69 с., 29 ил., библиографический список – 6 наименования, 9 листов чертежей ф.А3.

После анализа существующего технологического процесса предложен вариант модернизации электропривода главного подъема с применением асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и управлением от преобразователя частоты.

Произведена настройка параметров преобразователя частоты в режим векторного управления с датчиком скорости.

Также выбран программируемый логический контроллер и выполнена автоматизация механизмов мостового крана.

					13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	Филимонов А.Д.				Модернизация электропривода мостового крана грузоподъемностью 16 т	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	Виноградов К.					В		64
<i>Реценз.</i>						ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» ИОДО Кафедра «ГТС»		
<i>Н. Контр.</i>	Микерина О.С.							
<i>Утверд.</i>	Виноградов К.М.							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	7
1.1 Описание механизма главного подъема.....	7
1.2 Исходные данные для проектирования.....	10
2 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.....	12
2.1 Расчет нагрузочных диаграмм скорости и моментов рабочего органа	12
2.2 Предварительный расчет мощности электродвигателя	16
2.3 Предварительный выбор электродвигателя и редуктора	17
2.4 Приведение статических моментов и моментов инерции.....	19
2.5 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности	21
3 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ	24
3.1 Выбор преобразователя.....	24
3.2 Выбор коммутационных аппаратов	45
3.3 Выбор шкафа электропривода	47
4 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА	49
5 РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	51
6 ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ	55
6.1 Проверка двигателя и преобразователя по нагреву.....	55
6.2 Проверка электропривода по перегрузочной способности.....	57
7 АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	58
7.1 Выбор программируемого логического контроллера (ПЛК).....	58
7.2 Логические уравнения.....	58
7.3 Программирование ПЛК.....	60
8 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	64
9 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	68
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	69

					13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы.

Технический прогресс в области электротехники и электроники, наблюдающийся в последние годы привел к существенным изменениям в теории и практике электропривода промышленных предприятий. Эти изменения, прежде всего, касаются создания новой элементной базы и технических средств автоматизации, быстрого расширения областей и объемов применения электропривода.

Достижение высокой степени механизации и автоматизации производственных процессов многих промышленных предприятий связано не только с выполнением главных технологических операций, но и со вспомогательными операциями по транспортировке сырья, готовой продукции и топлива, которые выполняются во многих случаях электрическими кранами.

Кранами называют грузоподъемные машины циклического действия, предназначенные для подъема, перемещения груза, удерживаемого грузозахватным устройством. Они являются наиболее распространенными грузоподъемными машинами, имеющими наиболее разнообразное конструктивное исполнение и назначение. По конструктивному признаку их разделяют на краны мостового типа, к которым относятся мостовые, козловые и полукозловые краны, перегрузочные краны, консольные, мостовые краны-штабелеры; краны стрелового типа (поворотные краны на колонне, имеющие постоянный или переменный вылет), башенные краны, порталные и другие. По виду грузозахватного устройства различают крюковые, рейферные, магнитные, клещевые краны.

Наиболее распространение на промышленных предприятиях получили мостовые краны общего назначения, которые широко применяются практически во всех отраслях народного хозяйства при технологических, погрузо-разгрузочных, монтажных, складских и других работах. Они имеют большую номенклатуру типоразмеров и исполнений, их грузоподъемность достигает 800 тонн. Наиболее широко используются краны грузоподъемностью от 5 до 320 тонн.

В настоящее время управление электроприводами крановых механизмов переменного тока в большинстве случаев осуществляется релейно-контакторными схемами управления с применением асинхронных двигателей с фазным ротором.

В данной выпускной квалификационной работе оценивается целесообразность применения современного частотно-регулируемого электропривода с использованием асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором в качестве управления крановыми механизмами мостового крана грузоподъемностью 16 тонн.

					13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

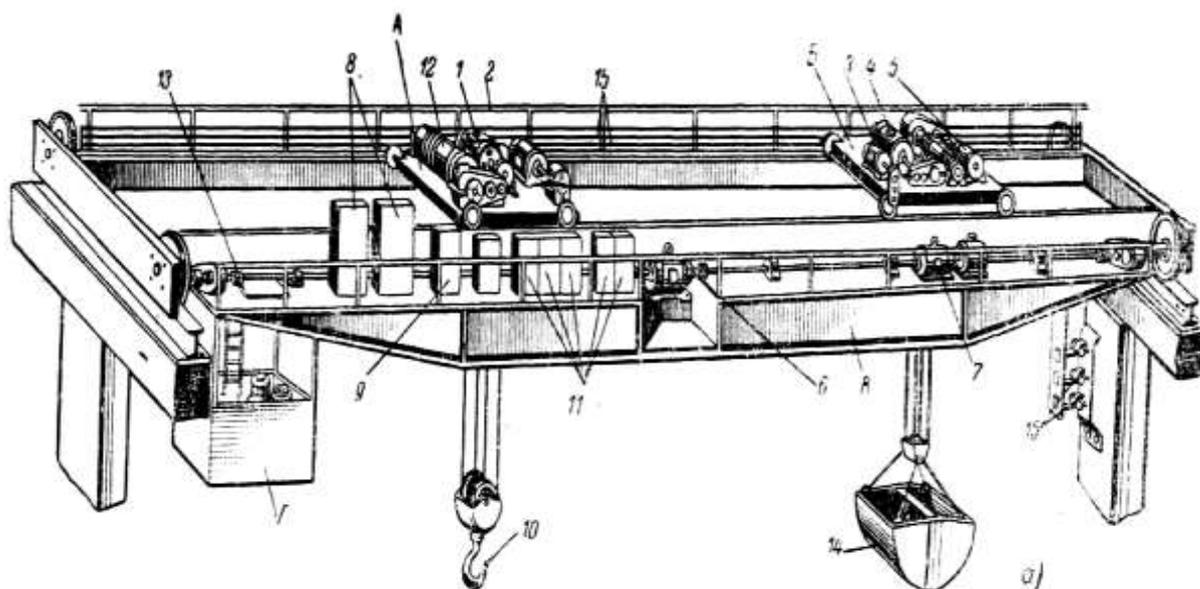
1.1 Описание механизма главного подъема

Мостовым краном называется грузоподъемная машина, передвигающаяся по рельсам на некотором расстоянии от земли (пола) и обеспечивающая перемещение груза в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Мостовые краны являются одним из наиболее распространенных средств механизации различных производств, погрузочно-разгрузочных и складских работ. Перемещаясь по путям, расположенным над землей, они не занимают полезной площади цеха или склада, обеспечивая в то же время обслуживание практически любой их точки.

Мостовой кран имеет в качестве грузозахватного органа траверсу с крюками. Штучные грузы навешивают на крюки при помощи стропов (канатных, цепных) или различных специальных захватов.

Мостовой кран представляет собой мост, перемещающийся по крановым путям на ходовых колесах, которые установлены на концевых балках. Пути укладывают на подкрановые балки, опирающиеся на выступы верхней части колонн цеха. Расстояние между диаметрными плоскостями, проходящими через середины колес крана (или между осями рельсов) называется пролетом крана (длина пролёта-10.5 м). Для мостовых кранов максимальная высота подъема принимается от уровня пола и определяется без нагрузки при установке крана на горизонтальной площади (высота подъёма=16 м). Базой крана называется расстояние между осями опор крана, измеренное вдоль пути (4.6 м).

На рисунке 1.1 показан общий вид мостового крана.



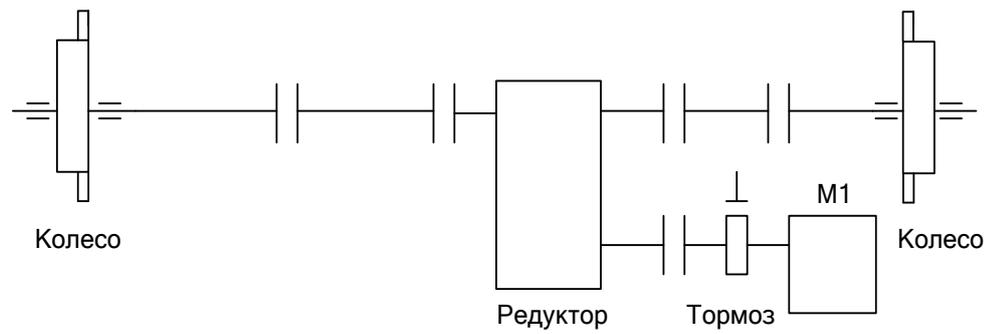


Рисунок 1.2 – Кинематическая схема привода передвижения тележки

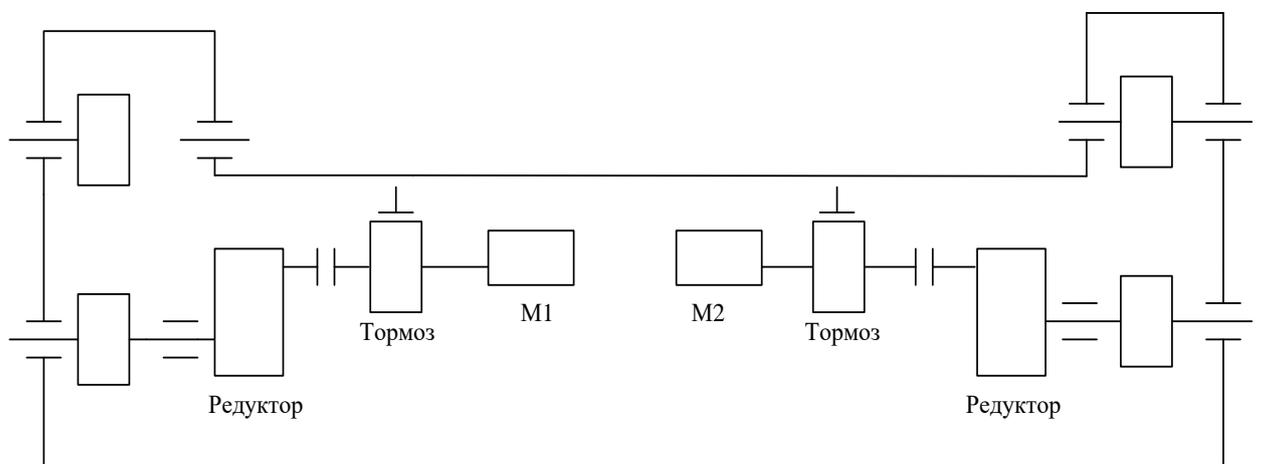


Рисунок 1.3 – Кинематическая схема привода передвижения моста

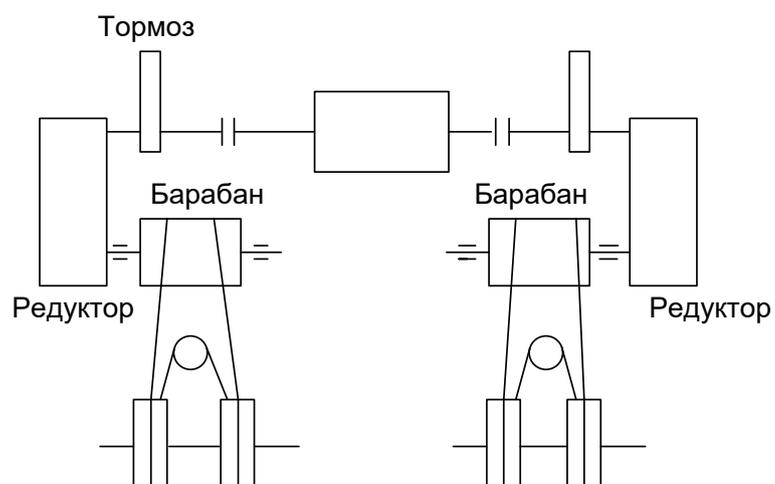


Рисунок 1.4 – Общая схема привода главного подъема

В таблице 1.3 приведены параметры привода механизма главного подъема.

Таблица 1.3 – Исходные данные для привода подъема

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
G	Грузоподъемность	т	16
$V_{\text{ПОД/СП}}$	Скорость подъема/спуска	м/с	0.14
$a_{\text{ДОП}}$	Допустимое ускорение	м/с ²	0.2
$R_{\text{Б}}$	Радиус барабана	м	0.07
ПВ	Группа режима – 4М (средний)	%	40
J	Момент инерции барабана	кг·м ²	100
$N_{\text{П}}$	Число включений в час механизма подъема	ч	4-10
$I_{\text{П}}$	Коэффициент запасовки тросов	-	1.7

Задачи выпускной квалификационной работы:

- провести анализ существующего электрооборудования мостового крана;
- проанализировать исходные данные о механизме главного подъема;
- рассчитать мощность асинхронного двигателя с короткозамкнутым двигателем для механизма главного подъема;
- проверить выбранный двигатель по нагреву, производительности, перегрузочной способности;
- выбрать и запрограммировать преобразователь частоты для электродвигателя главного подъема;
- построить статические и динамические характеристики электропривода;
- разработать схему автоматизации, выбрать ПЛК, составить программу;
- разработать схему электрическую принципиальную;

Выводы по разделу один.

Проанализированы исходные данные к работе. Сформулирована цель и поставлены задачи, которые необходимо решить в ходе выпускной квалификационной работы.

2 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

2.1 Расчет нагрузочных диаграмм скорости и моментов рабочего органа

По уточненной кинематической схеме, которая приведена на рисунке 2.1, проводится предварительный расчет нагрузочных диаграмм.

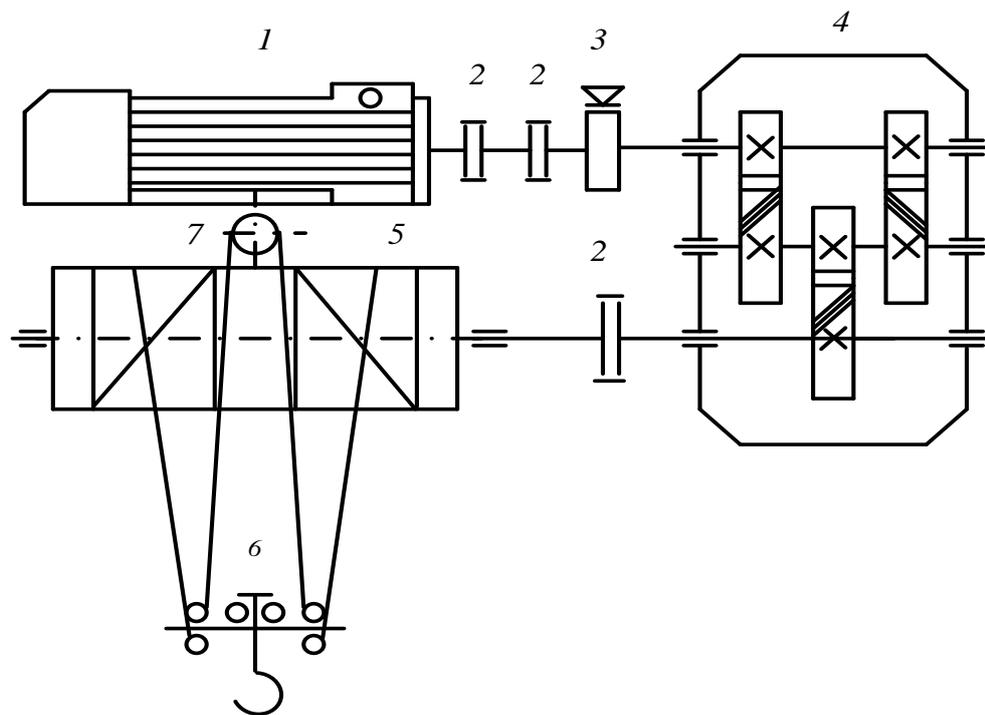


Рисунок 2.1 – Кинематическая схема механизма главного подъема

Здесь показаны следующие элементы: 1 – двигатель; 2 – муфта; 3 – тормоз; 4 – редуктор; 5 – барабан; 6 – полиспаст; 7 – неподвижный блок полиспаста .

Для построения нагрузочных диаграмм, необходимо рассчитать моменты сопротивления и скорости передвижения механизма в функции времени в разных режимах.

Рассчитаем моменты сопротивления и скорости рабочего органа.

Момент сопротивления (статический) рабочей машины[1]:

$$M_{\text{РОСТ}} = (m_{\text{ТР}} + G + m_{\text{К}}) \cdot g \times \frac{R_{\text{Б}}}{I_{\text{П}}}, \quad (2.1)$$

где $m_{\text{ТР}}$ – масса траверсы, кг;

$m_{\text{К}}$ – масса крюка, кг;

G – грузоподъемность крана, кг;

					13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

R_B – радиус барабана, м;

g – ускорение свободного падения ($g = 9.81 \text{ м/с}^2$);

I_{Π} – коэффициент запасовки тросов.

В соответствии с формулой (2.1) получим значение статического момента:

$$M_{\text{РОСТ}} = (16000 + 1000 + 150) \times 9.81 \times \frac{0.14}{1.7} = 6928 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Далее определяем динамический момент и моменты инерции механизмов [1]:

$$M_{\text{ДИНРО}} = J_{\text{РО}} \times \frac{2a}{D}, \quad (2.2)$$

$$J_{\text{РО}} = J_1 + J_2 + \dots + (m_1 + m_2 + \dots) \times \frac{D^2}{4}, \quad (2.3)$$

где J_1, J_2 – моменты инерции вращающихся элементов рабочей машины, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

m_1, m_2 – масса поступательно движущихся частей, кг;

D – диаметр колеса (барабана, звездочки, шкива и т.п.), находящегося на выходном валу редуктора и преобразующего вращение вала в поступательное движение рабочей машины, м.

$$J_{\text{РО}} = 100 + 4000 \times \frac{0.32^2}{4} + 15630 \times \frac{1.1^2}{4} = 4930 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$M_{\text{РОДИН}} = 4930 \times \frac{2 \times 0.2}{0.14} = 14090 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Полный момент рабочей машины (рабочего органа) [1]:

$$M_{\text{РО}} = M_{\text{РОСТ}} + M_{\text{РОДИН}}. \quad (2.4)$$

При пуске полный момент:

$$M_{\text{РО}} = 6928 + 14090 = 21018 \text{ Н} \times \text{м}.$$

При торможении полный момент определяется из выражения (2.5):

$$M_{\text{РО}} = M_{\text{РОСТ}} - M_{\text{РОДИН}}, \quad (2.5)$$

$$M_{\text{РО}} = 6928 - 11880 = -7159 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Время пуска/торможения [1]:

					13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

$$t_{\Pi} = t_{\Gamma} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{a_{\text{ДОП}}}, \quad (2.6)$$

где $V_{\text{ПОД}}$ – скорость подъема, м/с,
 $a_{\text{ДОП}}$ – допустимое ускорение движения, м/с².

$$t_{\Pi} = t_{\Gamma} = \frac{0.14}{0.2} = 0.7 \text{ с.}$$

Среднее время установившегося режима работы
 г) Угловая скорость [1]:

$$W_{\text{РО}} = \frac{V_{\text{ПОД}} \times I_{\Pi}}{R_{\text{Б}}}, \quad (2.7)$$

где $V_{\text{ПОД}}$ – скорость подъема, м/с,
 $R_{\text{Б}}$ – радиус барабана, м,
 I_{Π} – коэффициент запасовки тросов.

$$W_{\text{РО}} = \frac{0.14 \times 1.7}{0.07} = 3.4 \text{ рад/с.}$$

Нагрузочные диаграммы момента и скорости рабочего органа от времени представлены на рисунках 2.2, 2.3.

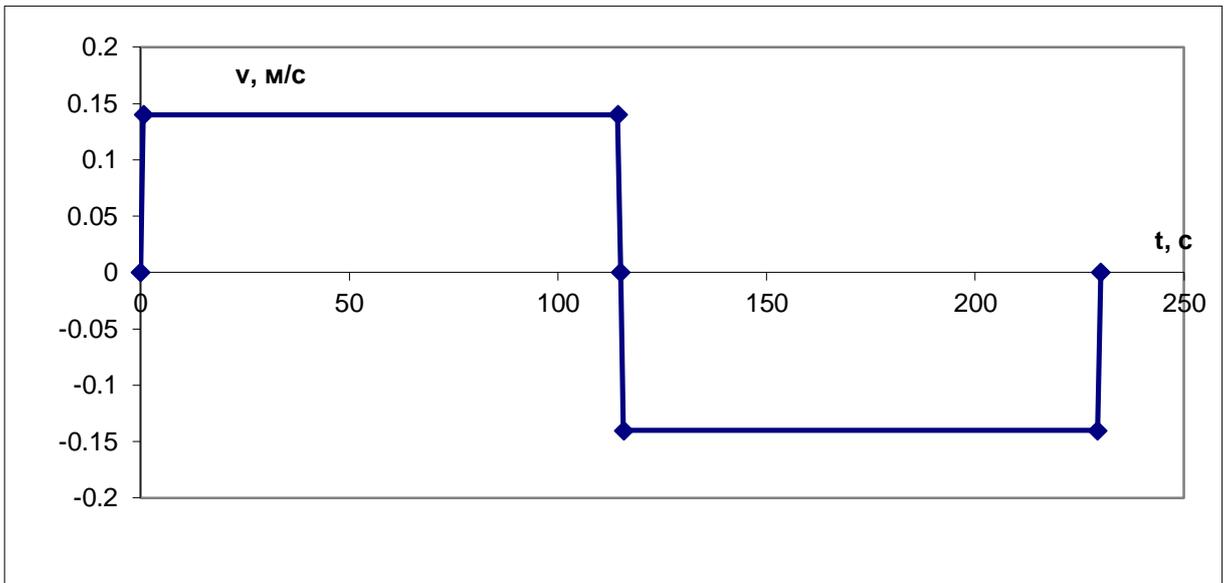


Рисунок 2.2 – Нагрузочная диаграмма скорости подъема крана

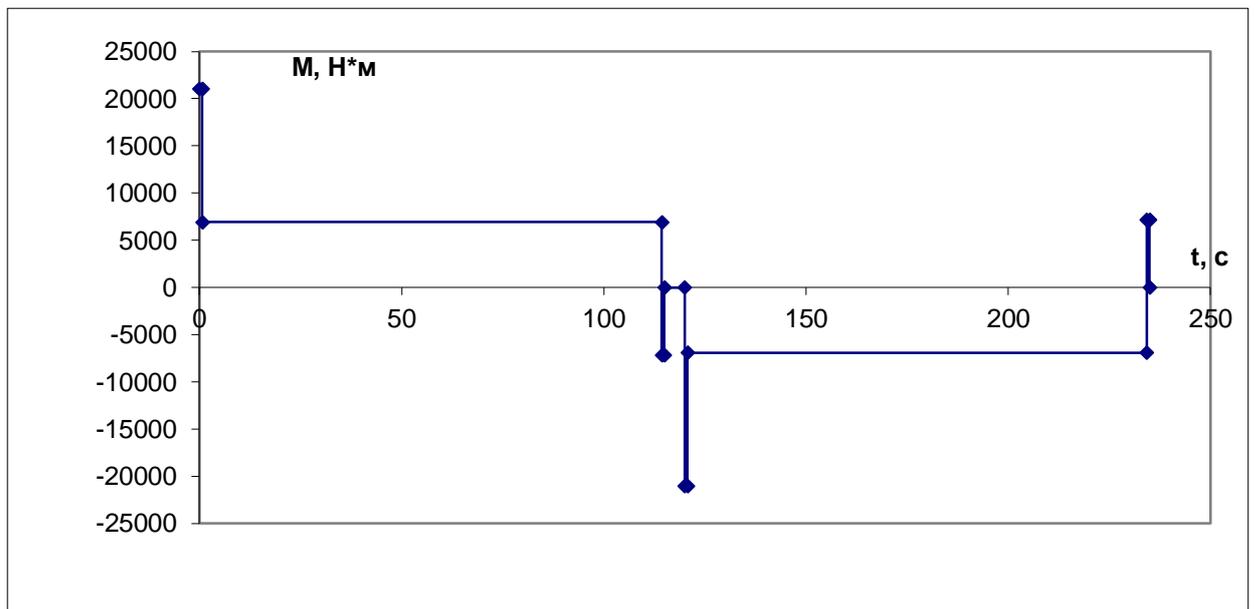


Рисунок 2.3 – Нагрузочная диаграмма моментов главного подъема

2.2 Предварительный расчет мощности электродвигателя

На основании построенной нагрузочной диаграммы момента рабочей машины рассчитаем среднеквадратичное значение момента:

$$M_{\text{СРКВ}} = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^m M_K^2 \cdot t_K}{\sum_{K=1}^m t_K}}, \quad (2.8)$$

где M_K – момент на k -ом участке;

$K=1,2,\dots,m$, где под участком подразумевается промежуток времени, в течение которого происходит разгон, торможение, работа с постоянной скоростью;

t_K – длительность каждого участка.

$$M_{\text{СРКВ}} = \sqrt{\frac{21018^2 \cdot 0.7 + 6928^2 \cdot 113.6 + 7159^2 \cdot 0.7}{0.7 + 113.6 + 0.7}} = 7100 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Мощность двигателя определяем соотношением [1]:

$$P_{\text{ДВ}} = k_3 \cdot M_{\text{СРКВ}} \cdot \frac{W_{\text{РО}}}{\text{КПД}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{Ф}}}{\text{ПВ}_{\text{КАТ}}}}, \quad (2.9)$$

где k_3 – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, обусловленные вращающимися элементами электропривода (двигатель, редуктор), а так же потери в редукторе, (принимаем $k_3=1.3$);

$W_{\text{РО}}$ – угловая скорость движения, м/с;

КПД – КПД передачи рабочий орган-двигатель (КПД=0.9);

$M_{\text{СРКВ}}$ – среднеквадратичный момент, Н · м;

$\text{ПВ}_{\text{Ф}}$ – фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого электропривода;

$\text{ПВ}_{\text{КАТ}}$ – ближайшее к $\text{ПВ}_{\text{Ф}}$ каталожное значение относительной продолжительности включения для электродвигателей выбранной серии.

$$P_{\text{ДВ}} = 1.3 \cdot 7100 \cdot \frac{3.4}{0.9} \cdot \sqrt{\frac{40}{40}} = 34.1 \text{ кВт}.$$

					13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

2.3 Предварительный выбор электродвигателя и редуктора

Двигатель выбирается из условия [1]:

$$P_{\text{ДВКАТ}} \geq P_{\text{ДВРАСЧ}}, \quad (2.10)$$

где $P_{\text{ДВКАТ}}$ – мощность двигателя при $PВ_{\text{КАТ}}$;

$P_{\text{ДВРАСЧ}}$ – мощность двигателя, рассчитанная в п. 2.2.

В таблице 2.1 приведены основные каталожные данные асинхронного двигателя АМТК225М6-F при $PВ=40\%$.

Для привода главного подъема выбираем двигатель крановой серии. Крановые электродвигатели серий АМТК, МТФ, МТН, ДМТФ, 4МТН, МТКФ, МТКН, АМТКФ, а также крановые двигатели других серий предназначены для работы в электроприводах металлургических агрегатов и подъемно-транспортных механизмах всех видов и поставляются на комплектацию башенных, козловых, порталных, мостовых и других кранов.

Основные преимущества электродвигателей серии ДМТКФ (Н), АМТКФ (Н):

- надежны и удобны в эксплуатации;
- двигатели работают в повторно-кратковременных или кратковременных режимах с частыми пусками и в условиях повышенной тряски и вибраций;
- допускают широкое регулирование частоты вращения и имеют высокие пусковые и максимальные моменты;
- обеспечивают работу в режимах электрического торможения, включая режим противовключения.
- изготовлены в России.

Основное (базовое) исполнение – асинхронный трехфазный крановый электродвигатель, предназначенный для режима работы S3 $PВ=40\%$ по ГОСТ 183, с питанием от сети переменного тока 50 Гц напряжением 380В (220В, 660В). Климатическое исполнение и категория размещения У1, степень защиты IP54, с типовыми техническими характеристиками, соответствующими требованиям стандартов

Особенность крановых электродвигателей серии АМТК — это их универсальность и многообразие. Такие установки работают не только в условиях замкнутых помещений, но и могут выполнять свои основные функции на открытом воздухе.

Рынок электротехники не стоит на месте, и с каждым годом на нем можно найти усовершенствованные модели двигателей, которые становятся все более и более востребованными. Поэтому ответственные за автоматизацию производства

					13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

все чаще оставляют заявки купить крановый электродвигатель для своего цеха.

В таблице 2.1 приведены основные каталожные данные асинхронного двигателя АМТК225М6-Ф при ПВ=40%, производства ОАО Ярославский электромашиностроительный завод (ОАО «ELDIN»)

Таблица 2.1 – Данные электродвигателя АМТК225М6-Ф.

Тип двигателя	Мощность на валу, кВт, при ПВ = 40%	Частота вращения, об/мин	Ток статора при 380 В, А	cos φ	КПД, %	Ток пусковой, А	Максимальный момент, Н*м	J двигателя, кг*м ²
АМТК225М6-Ф	37	980	70	0.87	92.2	6.5	10812	0.516

В таблице 2.2 приведены каталожные и расчётные данные электродвигателей для механизмов крановой установки, необходимые в дальнейшем для расчёта в программах на ЭВМ.

Таблица 2.2 – Каталожные и расчётные данные электродвигателя

Rs, Ом	Rr, Ом	Xs, Ом	Xr, Ом	Mн, Н*м	КПД _{передачи}
0.04	0.08	0.3	0.3	360.6	0.9

Угловая скорость определяется по формуле:

$$W_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30}, \quad (2.11)$$

$$W_H = \frac{3.14 \cdot 980}{30} = 102.6 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент двигателя [1]:

$$M_H = \frac{P_H}{W_H}, \quad (2.12)$$

$$M_H = \frac{37000}{102.6} = 360.6 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Редуктор выбран исходя из условий:

$$\begin{aligned} i &\leq i_{\text{РАСЧ}}, \\ M_H &\geq M_{\text{НДВ}}, \\ P_H &\geq P_{\text{НДВ}}. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Определим передаточное число редуктора:

$$\begin{aligned} j_P &= \frac{W_H}{W_{\text{РО}}}. \\ j_P &= \frac{102.6}{2} = 51.3. \end{aligned} \quad (2.14)$$

Выбираем редуктор Ц2-250 с передаточным числом $j_P = 50$ [3].

2.4 Приведение статических моментов и моментов инерции

Проведем расчет приведенных статических моментов системы электропривод–рабочая машина.

Статические моменты рабочей машины, приведённые к валу двигателя:

$$M_{\text{РС}} = \frac{M_{\text{РОСТ}}}{j_P} \quad (2.15)$$

$$M_{\text{РС}} = \frac{6928}{50} = 138.5 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

С учётом потерь в редукторе статические моменты на валу рассчитывают в зависимости от режима работы электропривода.

б) Статический момент на валу в двигательном режиме:

$$M_{\text{ВС}} = \frac{M_{\text{РС}}}{\eta_P}. \quad (2.16)$$

где η_P – КПД выбранного редуктора.

$$M_{\text{ВС}} = \frac{138.5}{0.9} = 154 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

					13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

в) При работе двигателя в тормозных режимах потери в редукторе вызывают уменьшение нагрузки двигателя, при этом моменты на валу определяют по формуле:

$$M_{BC} = M_{PC} \cdot \eta_P \quad (2.17)$$

$$M_{BC} = 138.5 \cdot 0.9 = 124.7 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Таким образом, приведенные статические моменты системы электропривод–рабочая машина рассчитываются для каждого участка с учетом режима работы электропривода по формуле:

$$M_C = M_{BC} \pm M_X \quad (2.18)$$

Примем момент холостого хода $M_X = 0$, то $M_C = M_{BC}$.

Суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции системы может быть рассчитан по соотношению:

$$J = \delta \cdot J_D + \frac{J_{PO}}{j_P} \quad (2.19)$$

где J_D – момент инерции ротора двигателя, кг·м² ;
 δ – коэффициент, учитывающий момент инерции остальных элементов привода: муфт, тормозного шкива, редуктора;

$J_{IP} = \frac{J_{PO}}{j_P}$ – приведенный к валу двигателя суммарный момент инерции движущихся исполнительных органов рабочей машины и связанных с ними движущихся масс (грузов, заготовки и т.п.):

$$J = 1.3 \cdot 0.516 + \frac{4930}{50^2} = 2.6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$$

Динамический момент на валу двигателя:

$$M_{ДИН} = J_{IP} \cdot \frac{dW_H}{dt \cdot I} \quad (2.20)$$

$$M_{ДИН} = 2.6 \cdot \frac{102.6}{0.7 \cdot 1.7} = 228 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

					13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Требуемые пусковые и тормозные моменты:

$$M_{\Pi} = M_C + M_{\text{ДИН}}, \quad (2.21)$$

$$|M_T| = M_{\text{ДИН}} - M_C. \quad (2.22)$$

$$M_{\Pi} = 382 + 228 = 610 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

$$M_T = 228 - 154 = 74 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

При питании двигателя от преобразователя средний момент двигателя можно принять равным моменту допустимому по ускорению:

при пуске $M_{\text{СР}} = M_{\Pi},$

при торможении $M_{\text{СР}} = M_T.$

Результаты расчетов статических моментов, среднеквадратичных моментов и предварительный расчёт мощностей двигателей, а также расчёт продолжительности включения механизмов приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Данные расчёта механизмов крана

Параметр	Размерность	Пуск	Установившийся режим	Торможение
$t_{\Pi} = t_T$	с	0.7	113.6	0.7
α	м	0.05	15.9	0.05
$V_{\text{ТЕЛ}}$	м/с	–	0.14	–
$M_{\text{РОСТ}}$	Н·м	6928	6928	6928
$M_{\text{ДИНРО}}$	Н·м	14090	0	14090
$M_{\text{РО}}$	Н·м	21018	6928	7159
$M_{\text{РС}}$	Н·м	138.5	138.5	138.5
$M_{\text{ВС}}$	Н·м	154	154	124.7
M_C	Н·м	154	154	124.7
J	кг·м ²	2.6	2.6	2.6

2.5 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности

Целью предварительной проверки двигателя является уточнение нагрузочных

диаграмм момента, а также диаграммы скорости с учетом момента инерции выбранного двигателя.

Рассчитаем времена переходных процессов для каждого участка по формуле (2.23):

$$t_i = J \frac{\omega_c}{M_{CP} - M_C} \quad (2.23)$$

где J – приведенный момент инерции системы к валу двигателя, кг·м²;

ω_c – установившаяся скорость двигателя, рад/с;

M_{CP} – средний момент двигателя, Н·м;

M_C – приведенный статический момент, Н·м.

$$t_{II} = t_T = 2.6 \cdot \frac{100}{382 - 154} = 1.16 \text{ с.}$$

Значение установившейся скорости двигателя найдём по формуле (2.24):

$$\omega_c = \frac{V_{\text{под}}}{R_K} \cdot j_p \quad (2.24)$$

$$\omega_c = \frac{0.14 \cdot 50}{0.07} = 100 \text{ рад/с}$$

Угол поворота вала двигателя за время переходного процесса:

$$\alpha_i = \frac{\omega_c \cdot t_i}{2} \quad (2.25)$$

$$\alpha_{II} = \alpha_T = \frac{100 \cdot 1.16}{2} = 58$$

Время работы с установившейся скоростью:

$$t_y = \frac{\alpha_{\Sigma} - (\alpha_{II} + \alpha_T)}{\omega_c} \quad (2.26)$$

где α_{Σ} – угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме, рад;

									Лист
									22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$\alpha_{\text{П}}, \alpha_{\text{Т}}$ - угол поворота вала за время пуска и торможения, рад.

$$\alpha_{\Sigma} = 2 \cdot L \cdot \frac{j_{\text{P}}}{D} \quad (2.27)$$

$$\alpha_{\Sigma} = 2 \cdot 16 \cdot \frac{100}{0.14} = 11430 \text{ град.}$$

В соответствии с формулой (2.26) найдём время работы с установившейся скоростью:

$$t_{\text{У}} = \frac{11430 - (58 + 58)}{100} = 113.1 \text{ с.}$$

Предварительная проверка двигателя по нагреву осуществляется по величине среднеквадратичного момента:

$$M_{\text{СРКВ}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \leq M_{\text{ДОП}} \quad (2.28)$$

$$M_{\text{СРКВ}} = \sqrt{\frac{382^2 \cdot 1.16 + 154^2 \cdot 113.1 + 74^2 \cdot 1.16}{1.16 + 113.1 + 1.16}} = 158 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$M_{\text{ДОП}} = 360.6 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Для асинхронных двигателей метод эквивалентного момента дает значительные погрешности. Для этих двигателей следует величину допустимого по нагреву момента $M_{\text{ДОП}}$ снижать на 15...20% [2].

$$M_{\text{ДОП}}' = M_{\text{ДОП}} \cdot 0.8 = 288$$

(2.28)

Условие $M_{\text{СРКВ}} \leq M_{\text{ДОП}}'$ выполняется ($158 < 288$), следовательно, двигатель по нагреву проходит.

Выводы по разделу два. Рассчитаны приведенные моменты. Двигатель проходит по нагреву.

3 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ

3.1 Выбор преобразователя

Рынок частотных преобразователей достаточно большой. Как отечественные, так и зарубежные фирмы производят преобразователи частоты (ПЧ) для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

На предприятии уже используются преобразователи фирмы «Emerson» линейки UNIDRIVE. Это универсальный частотный преобразователь, предназначен для управления асинхронными двигателями и серводвигателями как в общепромышленных, так и на грузоподъемных механизмах (в тяжелых условиях) [7].

Электропривод выполнен на основе двухзвенного преобразователя частоты с транзисторным (IGBT) автономным инвертором напряжения (АИН) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) сигналов, управлением от системного микропроцессорного контроллера с развитым интерфейсом связи с внешними устройствами.

В электроприводе реализовано частотное управление асинхронным электродвигателем, заключающееся во взаимосвязанном регулировании частоты f и основной гармоники питающего напряжения U . Закон изменения соотношения U/f программируется. Силовой канал преобразователя осуществляет двухступенчатое преобразование электрической энергии – выпрямление сетевого напряжения нерегулируемым выпрямителем с последующим инвертированием выпрямленного постоянного по величине напряжения посредством АИН. Алгоритм ШИМ обеспечивает взаимосвязанное регулирование частоты f и величины U выходного напряжения по заданному закону, а также формирует синусоидальную форму кривой тока приводного АД.

Функциональная схема соединения преобразователя частоты переменного тока UNIDRIVE и двигателя представлена на рисунке 3.1.

Силовой канал выпрямитель, фильтр сетевой, автономный инвертор (В-ФС-АИН) преобразователя осуществляет двухступенчатое преобразование электрической энергии - выпрямление сетевого напряжения нерегулируемым выпрямителем с последующим инвертированием выпрямленного постоянного по величине напряжения посредством АИН. Алгоритм ШИМ обеспечивает взаимосвязанное регулирование частоты f и величины U выходного напряжения по заданному закону, а также формирует синусоидальную форму кривой тока приводного АД.

Для реализации режима динамического (реостатного) торможения в звено постоянного тока электропривода включен тормозной транзисторный (IGBT) ключ ТК к которому может быть подключен внешний тормозной резистор с устройством тепловой защиты БТР.

						13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			24

Датчики тока ДТ и напряжения ДН в силовом канале электропривода служат для контроля, регулирования и измерения электрических параметров электропривода, в том числе для защиты от токов перегрузки и короткого замыкания, недопустимых отклонений напряжения.

Многоканальный источник питания ИП преобразует сетевое переменное напряжение или выпрямленное напряжение звена постоянного тока в систему напряжений постоянного тока требуемых уровней и степени стабильности, гальванически связанных и не связанных между собой, для питания устройств управления.

Микропроцессорный контроллер МК осуществляет формирование режимов работы электропривода с заданными параметрами с помощью сигналов управления: сигналов ШИМ - управления транзисторами АИН, сигналов защиты и аварийного отключения электропривода, приёма и передачи внешних управляющих, задающих и информационных сигналов.

Устройство ввода/вывода УВВ предназначено для приёма и передачи внешних управляющих сигналов. УВВ имеет набор дискретных и аналоговых входов/выходов, канал последовательной связи RS485, RS232(внешний преобразователь) для связи внешним АСУТП, дистанционным пультом и другими источниками управляющих воздействий. Во входные и выходные цепи УВВ включены устройства гальванической развязки для потенциального разделения с силовыми цепями и внешними управляющими цепями.

Формирователи импульсов ФИ (драйверы) предназначены для формирования требуемых уровней управляющих сигналов транзисторов, гальванического разделения цепей транзисторов IGBT и МК.

Сокращения принятые на рисунке 3.1:

В- силовой нерегулируемый выпрямитель;

РЧФ - радиочастотный фильтр;

ФС - силовой LC-фильтр звена постоянного напряжения;

R - тормозной резистор;

АИН - автономный инвертор напряжения;

ДТ - датчик тока;

ТК- транзисторный ключ;

М - приводной асинхронный электродвигатель;

ИП - источник питания (конвертор);

ДН - датчик напряжения;

ФИ - формирователь управляющих сигналов транзисторов (драйвер);

МК - микропроцессорный контроллер;

УВВ - устройство ввода / вывода (внешний интерфейс).

					13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

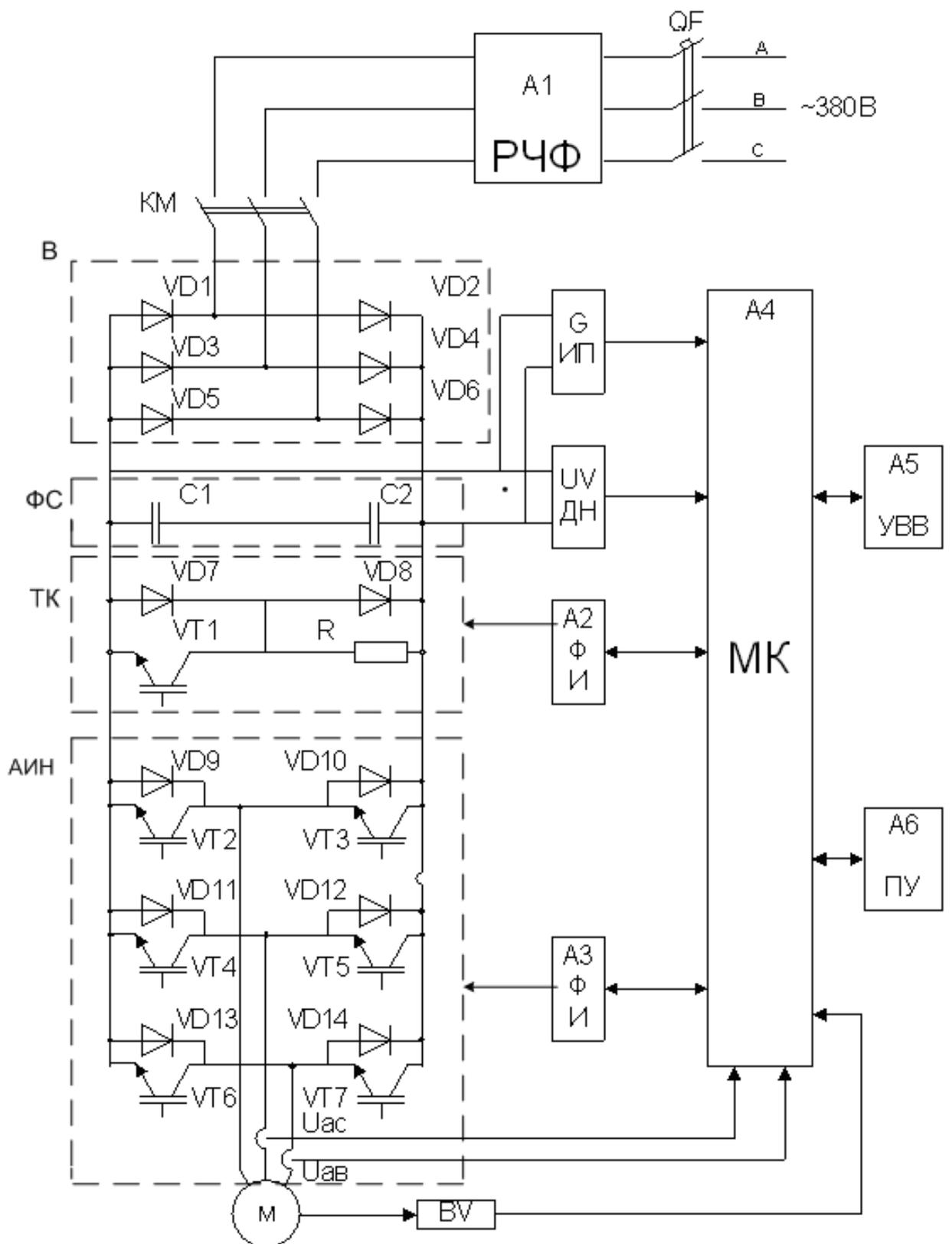


Рисунок 3.1 – Функциональная схема ПЧ – АД

Типовая схема соединения силовых цепей и цепей управления преобразователя частоты переменного тока UNIDRIVE габарита модели 1-4 (далее преобразователь) представлена на рисунке 3.2.

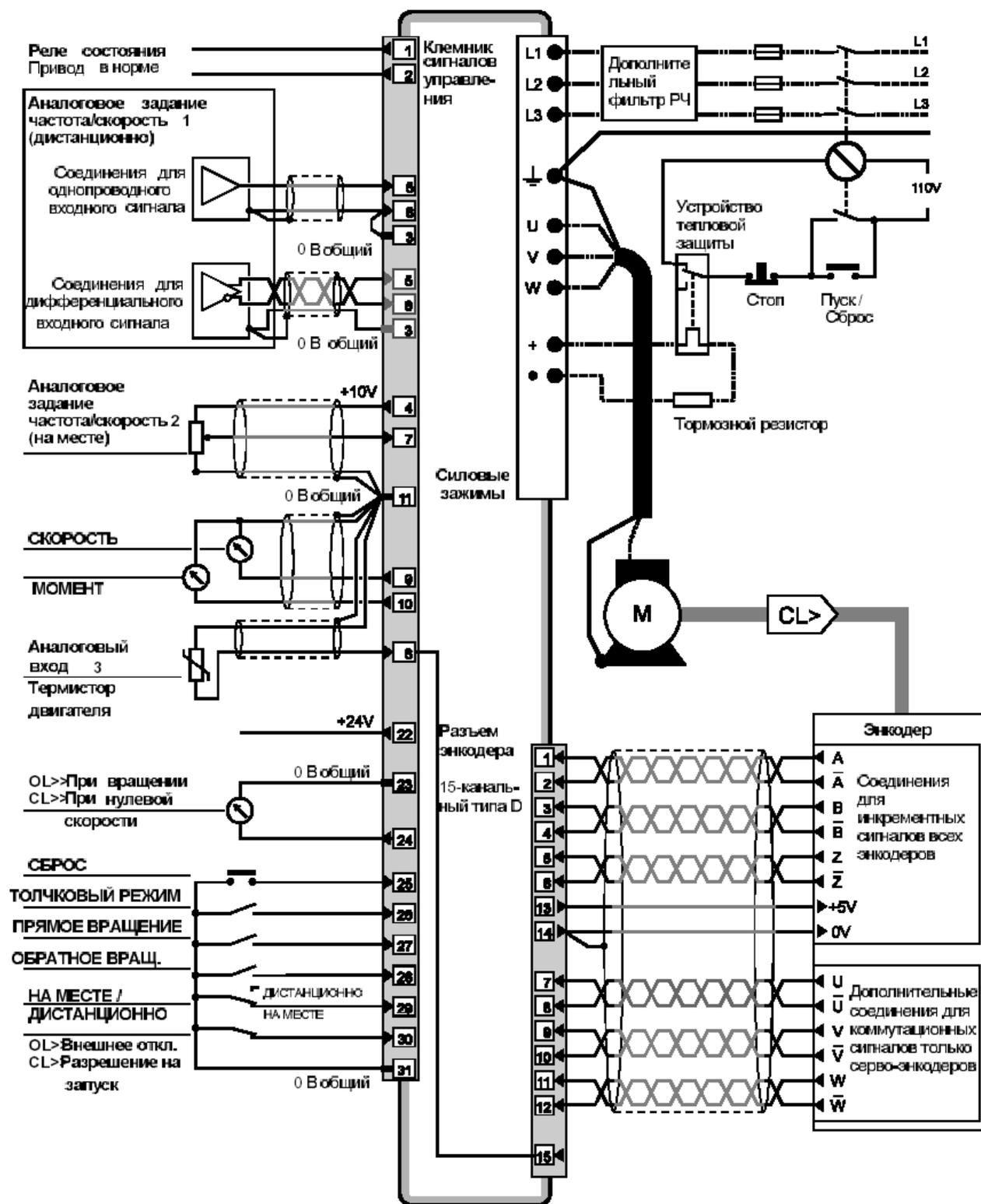


Рисунок 3.2 –Типовая схема соединения

Преобразователь частоты подключается к сети трехфазного переменного тока через устройство защиты (автоматический выключатель, предохранители) и сетевой радиочастотный фильтр на клеммы L1, L2, L3.

Статорные цепи асинхронного электродвигателя подсоединяются на выход инвертора к клеммам U, V, W. Корпуса электродвигателей и преобразователя должны быть надежно заземлены.

Привод имеет три аналоговых входа – через два первых (дистанционно или с выносного пульта, на месте) осуществляется задание частоты / скорости вращения электродвигателя M1. Через третий аналоговый вход контролируется температура корпуса электродвигателя M1 (термистор двигателя). Изменение скорости и момента привода можно посмотреть с помощью осциллографа или контрольно-измерительных приборов на выходах 9, 10 (СКОРОСТЬ, МОМЕНТ).

Проверка работоспособности привода в различных режимах проводится с помощью внешнего пульта переключателями «СБРОС», «ТОЛЧКОВЫЙ РЕЖИМ», «ПРЯМОЕ ВРАЩЕНИЕ», «ОБРАТНОЕ ВРАЩЕНИЕ», «НА МЕСТЕ /ДИСТАНЦИОННО» и переключателя, разрешающего работу преобразователя, «OL>Внешнее отключение, CL>Разрешение на запуск». Далее в тексте ключи, указывающие отношение излагаемой информации к режиму работы обозначаются:

OL> относится только к разомкнутой системе;

CL> относится к замкнутой системе с векторным управлением и к замкнутой сервосистеме;

VT> относится только к замкнутой системе с векторным управлением;

SV> относится только к замкнутой сервосистеме.

При построении замкнутых систем регулирования с обратной связью по скорости электропривода через 15 канальный разъем типа D подключается энкодер (импульсный датчик скорости).

Во входные и выходные цепи включены устройства гальванической развязки для потенциального разделения с силовыми цепями и внешними управляющими цепями.

Для гашения излишней энергии поступающей в звено постоянного тока в тормозных режимах в звено постоянного тока электропривода включен тормозной транзисторный (IGBT) ключ к которому может быть подключен внешний тормозной резистор с устройством тепловой защиты.

Электродвигатель можно запустить и остановить, изменить направление и скорость вращения управляя ПЧ «UNIDRIVE» следующими способами:

1) Внешнее управление, когда сигналы подаются от электрических контактов контролера управления, например ВПУ (внешнего пульта управления) на цифровые и аналоговые входы преобразователя. Или от ЭВМ через последовательный порт с помощью программы Unisoft (для этого ПЧ «UNIDRIVE» должен быть снабжен большим дополнительным модулем UD71).

					13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

2) Управление со встроенной кнопочной панели расположенной на лицевой стороне ПЧ «UNIDRIVE». Когда ручным набором производится изменение выходной частоты преобразователя.

Преобразователь частоты «UNIDRIVE» имеет несколько режимов работы.

Скалярное регулирование в разомкнутой системе (без обратной связи по скорости) ПЧ «UNIDRIVE» подает на двигатель переменный ток, частота которого изменяется пользователем, а напряжение из зависимости $U=Y(f)$, скорость двигателя определяется выходной частотой, а скольжение механической нагрузкой. Таким образом, это регулирование является скалярным $U/f=const$. В этом режиме преобразователь может питать несколько двигателей, соединенных параллельно.

У преобразователя есть дополнительные возможности для улучшения характеристики двигателя.

1) форсировка напряжения. Форсировка по напряжению подаётся при низких частотах вращения двигателя для создания начального пускового момента.

2) компенсация скольжения (на основе положительной обратной связи по внутреннему контуру тока) или векторное регулирование в разомкнутом контуре (бездатчиковый вектор). Компенсация скольжения увеличивает жесткость характеристики двигателя.

Векторное управление без датчика скорости.

При этом регулировании в разомкнутой системе магнитный поток (ток намагничивания) поддерживается почти постоянным посредством непрерывного регулирования напряжения двигателя в зависимости от нагрузки. Что позволяет иметь пониженную мощность потерь у легко нагруженного двигателя. Это регулируется параметром 0.09 динамический выбор характеристики U/f , при установке параметра 0.09 в 0 - для управления двигателем используются фиксированная характеристика напряжение/частота, при установке в 1 - в этом случае характеристика U/f будет изменяться, в результате чего при снижении тока двигателя пропорционально уменьшается напряжение на статоре двигателя. Рисунок 6.3 показывает изменение наклона зависимости U/f , когда уменьшается ток двигателя.

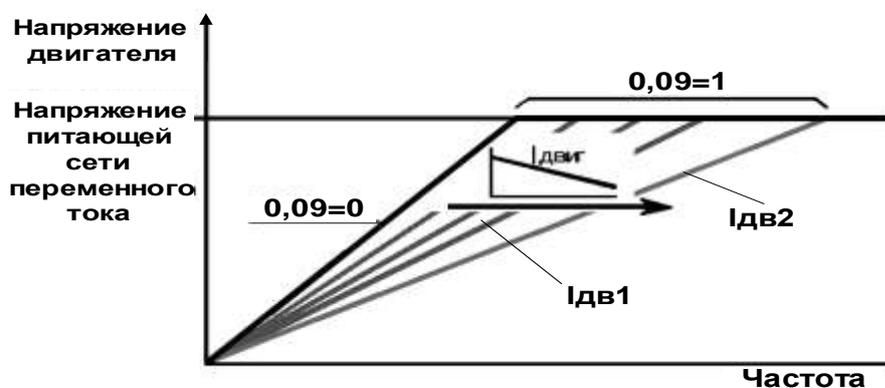


Рисунок 3.3 – Фиксированная и изменяемые характеристики $U=F(f)$
Векторное управление с датчиком скорости.

В замкнутой системе привод непосредственно управляет скоростью двигателя. Привод и двигатель объединены в замкнутую систему, в которой используется импульсный датчик положения ротора (энкодер) двигателя для обеспечения обратной связи по скорости. В этом режиме осуществляется частотно – токовое управление моментом.

Также имеется серво режим. В режиме замкнутой исполнительной системы (системы регулирования положения вала двигателя) используются только с бесщеточными двигателями переменного тока с постоянными магнитами на роторе (серводвигателями), оснащенными датчиками обратной связи, имеющими коммутируемые выходные сигналы. Преобразователь непосредственно управляет скоростью двигателя. Привод и двигатель объединены в замкнутую систему, в которой для обеспечения обратной связи используется датчик положения вала двигателя (например резольвер или сервоэнкодер). В данном режиме преобразователь может управлять только одним двигателем.

ПЧ имеет также режим рекуперации (рекуперативного торможения двигателя). В режиме рекуперации привод управляет двигателем, приводящим в движение механизмы обладающие высокой степенью инерции (например центрифуги), возникает необходимость отводить от ПЧ энергию, поступающую в него от двигателя во время торможения. Это делается во избежание чрезмерного повышения напряжения в звене постоянного тока ПЧ и предотвращения его аварийного отключения. Излишняя энергия может быть рассеяна либо на тормозном резисторе, подключенном к звену постоянного тока через тормозной транзистор, либо возвращена обратно в питающую сеть. Для реализации режима рекуперации используются два ГТЧ, соединенных по шине постоянного тока. Один из них работает в двигательном режиме, приводя в движение двигатель, а второй возвращает в сеть энергию поступающую от двигателя во время торможения. Мощность рекуперирующего ПЧ зависит от количества энергии, поступающей от двигателя и может быть меньше, чем мощность приводящего преобразователя.

ПЧ «UNIDRIVE» имеет также следующие виды защит ПЧ «UNIDRIVE»

Привод имеет два вида тепловой защиты силового каскада (моста IGBT): термистор (терморезистор), закрепленный на радиаторе преобразователя постоянно контролирует его температуру, при превышении температуры 950°C термистор подаст сигнал на отключение привода и на дисплее высветится сообщение Oh2; интеллектуальная тепловая модель расчетным путем оценивает температуру полупроводникового перехода IGBT. При превышении первого порога частота ШИМ уменьшается вдвое для того, чтобы снизить мощность, рассеиваемую в IGBT. При понижении температуры в достаточной мере частота ШИМ восстанавливается. Если температура продолжает расти и достигает второго порога, то привод отключается и выдает сообщение Oh1.

					13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

UNIDRIVE может выдержать ток перегрузки:

- в разомкнутой системе до 150% номинального тока в течение 60 секунд;
- в замкнутой системе с векторным управлением до 175% номинального тока в течение 60 секунд;
- в замкнутой сервосистеме до 175% номинального тока в течение 4 секунд.

При возникновении критических ситуаций привод продолжает работать и нижний дисплей показывает предупредительный код (тревожные сообщения мигают) вместо кода состояния. Если возникшие условия работы не устранены, то привод может отключиться и показать код отключения (приложение С.3 руководства Пользователя РПУ). UNIDRIVE обеспечен защитой от аварийных и нештатных режимов. Ниже приведены некоторые сообщения, выдаваемые преобразователем в случае возникновения аварии:

- от превышения напряжения на шинах постоянного тока (сообщение OU);
- от потери фазы питающей сети (Ph);
- от превышения порога допустимой скорости (OV);
- от неисправностей в энкодере (ENC.xxx) в узлах и модулях привода;
- от несанкционированного доступа к программируемым параметрам (пароль).

Настройка (программирование) привода осуществляется как с кнопочной панели преобразователя, так и от персонального компьютера (типа IBM PC) с помощью программы Unisoft, которая работает в операционной системе Microsoft Windows.

Пульт управления преобразователя включает в себя дисплей, кнопочную панель и кнопки управления, которые используются для следующих целей:

- считывания и изменения параметров настройки, управления и наблюдения за приводом;
- индикации рабочего состояния привода;
- индикации кодов ошибок и отключений.

Дисплей имеет три режима работы:

- режим индикации (показывает состояние привода);
- параметрический режим (используется для выбора параметров подлежащих редактированию);
- режим редактирования значений параметров.

Нижний дисплей показывает номер параметра или состояние привода. На верхнем дисплее указывается значение параметра (таблица 3.1).

										13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							31

Таблица 3.1. Функции дисплея

Дисплей	Функции дисплея		
	Состояние	Параметры	Редактирование
Верхний	Значение параметра (0.10)	Значение параметра	Значение параметра
Нижний	Состояние привода (rdY)	Номер параметра	Номер параметра

Функции кнопок для программирования (рисунок 3.4):

(M) – изменение режима работы дисплея;

▲ – выбор параметра (увеличение значения);

▼ – выбор параметра (уменьшение значения);

◀ – высвечивание номера параметра, выбор следующей левой цифры на дисплее, выбор другого меню;

▶ – высвечивание номера параметра, выбор следующей правой цифры на дисплее, выбор другого меню;

Функции кнопок управления:

⏻ - «Пуск» - запуск привода;

⏹ - «Стоп-Сброс» - останов Привода, возврат Привода в исходное состояние после того, как он отключился, сохранение новых значений параметров;

⏪ - «Прямо/Обратно» - изменение направления вращения двигателя (невозможно без дополнительных действий).

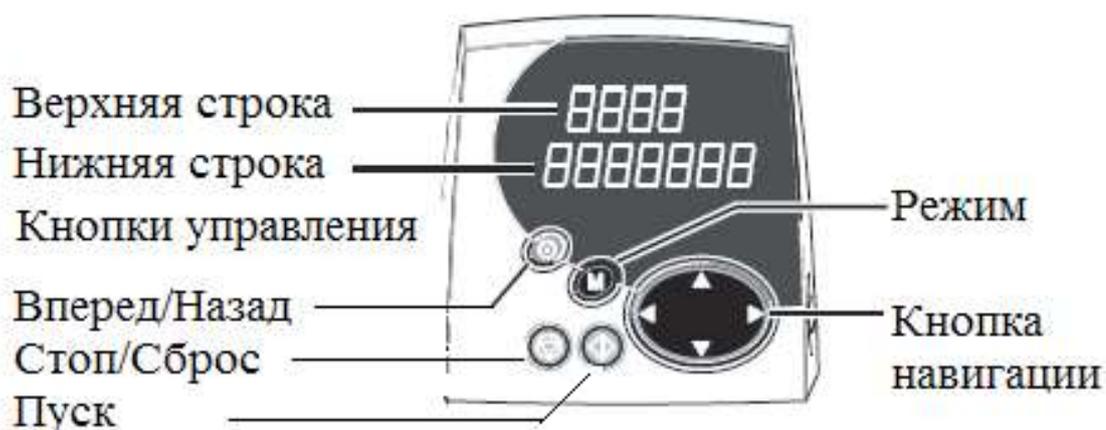


Рисунок 3.4 – Дисплей и кнопочная панель привода UNIDRIVE SP

Кнопка «I» – «Пуск» задействована только тогда, когда привод управляется с кнопочной панели (параметр 0.05 – Выбор способа управления имеет значение 4 – управление с кнопочной панели).

Кнопка «∇» - «Стоп - сброс» задействована только тогда, когда привод управляется с кнопочной панели. Эта кнопка действует только как «Сброс», когда привод управляется от внешних сигналов (параметр 0.05 – Выбор способа управления имеет значение 0, 1, 2, 3, 5).

В дополнение к кнопочной панели, для изменения параметров можно использовать любое из следующих средств (на выбор):

- системный контроллер, соединённый по последовательному каналу связи с приводом (когда привод снабжён соответствующим дополнительным модулем);
- персональный компьютер с программой Unisoft, соединённый по последовательному каналу связи с приводом (когда привод снабжён соответствующим дополнительным модулем);
- аналоговое управление частотой/скоростью;
- внешние цифровые сигналы.

Проверка работоспособности привода и управление им в различных режимах проводится с помощью внешнего пульта переключателями «СБРОС», «ТОЛЧКОВЫЙ РЕЖИМ», «ПРЯМОЕ ВРАЩЕНИЕ», «ОБРАТНОЕ ВРАЩЕНИЕ», «НА МЕСТЕ /ДИСТАНЦИОННО», переключателя «OL>Внешнее отключение, CL>Разрешение на запуск».

Выбор преобразователей зависит от частоты питающей сети, требуемого диапазона изменения частоты на выходе преобразователя, определяемого диапазоном изменения скорости вращения двигателя, от мощности двигателя, диапазона изменения нагрузки на валу двигателя, наличия или отсутствия реверса, режимов работы двигателя.

Выбор преобразователей осуществляется на основе номинальных данных выбранного двигателя:

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

$$I_{\text{нпч}} \geq I_{1\text{н}}. \quad (3.1)$$

где $U_{\text{нл}}$, $I_{1\text{н}}$ – номинальные линейное напряжение и ток статора двигателя соответственно;

$U_{\text{нпч}}$, $I_{\text{нпч}}$ – номинальные линейное напряжение и токи нагрузки преобразователя частоты соответственно.

Из [5] для приводов тележки, моста, подъёма выбраны частотные преобразователи, рассчитанные на мощности 4, 22 (номинальная мощность преобразователя в 2 раза больше мощности двигателя, так как он управляет двумя параллельно соединёнными двигателями), 37 кВт соответственно общепромышленной серии Unidrive фирмы «Emerson». Характеристики

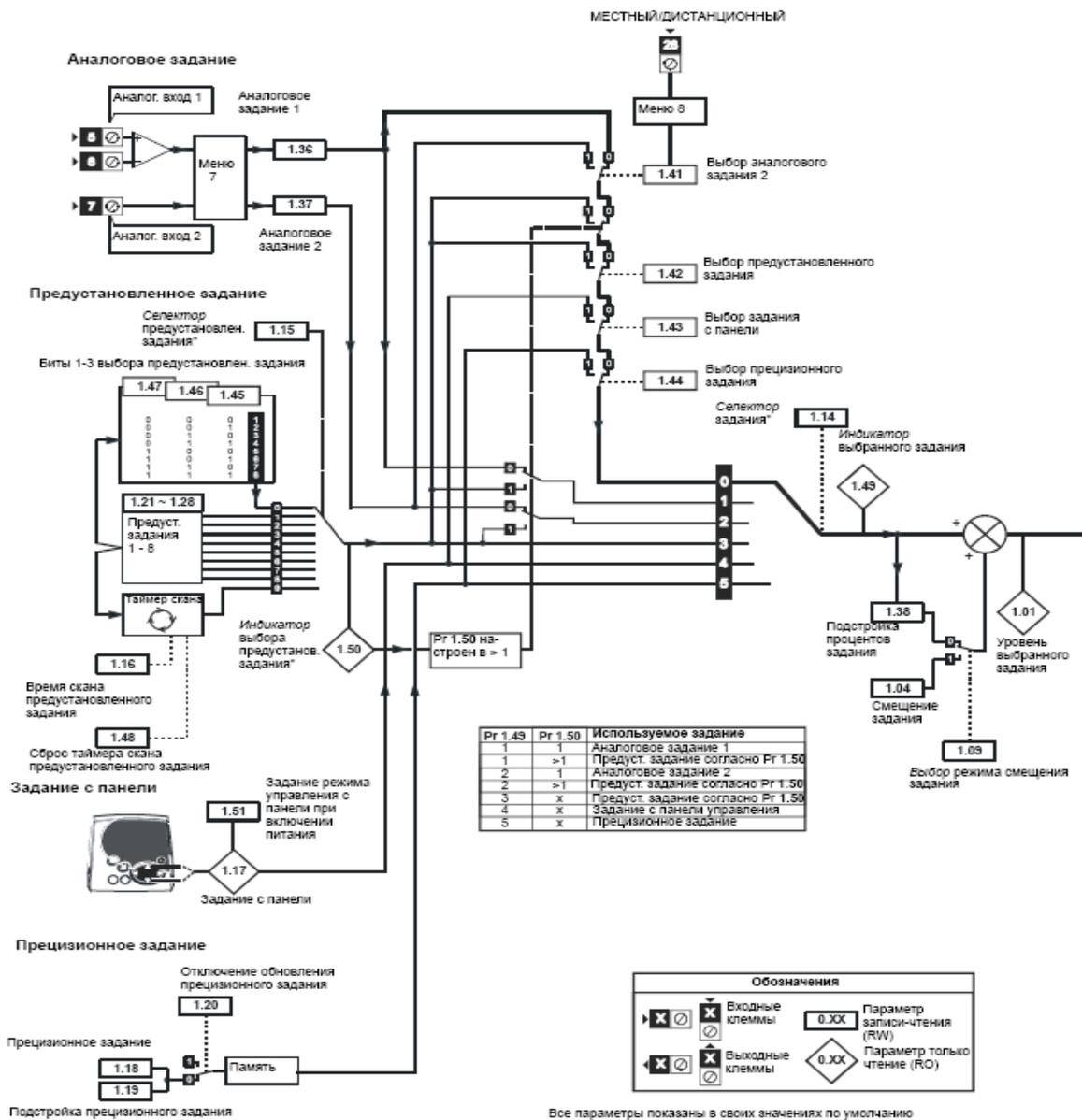


Рисунок 3.5 – Логическая схема меню 1

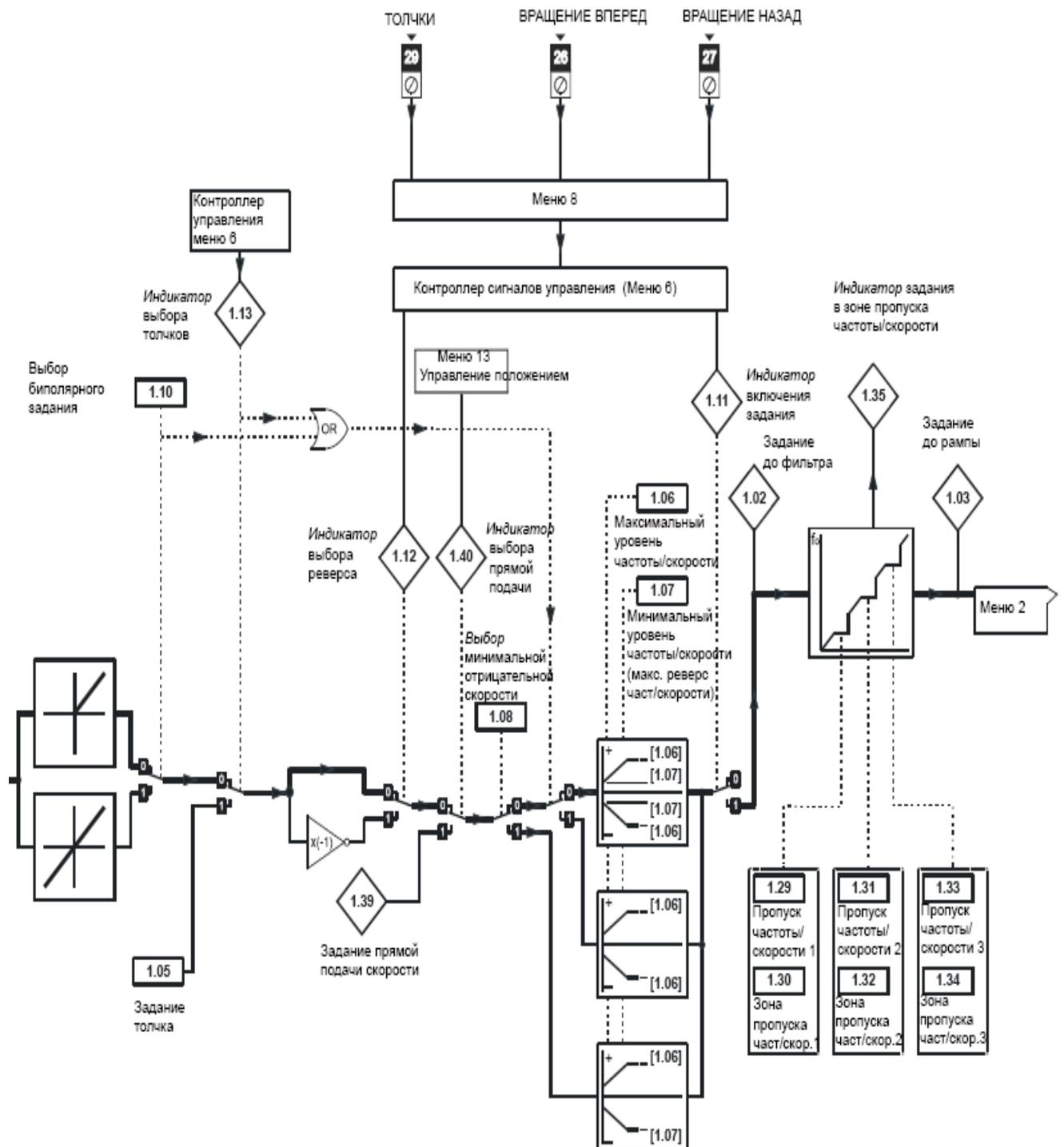


Рисунок 3.6 – Продолжение логической диаграммы Меню 1

Меню 2 показано на рисунках 3.7, 3.8, оно отвечает за настройку задатчика интенсивности (в зарубежной литературе – рампа). Здесь задается время разгона и время торможения.

Значение задания частоты или скорости перед рампой проходит через блок рампы, который управляется из меню 2, и лишь затем привод вырабатывает основную выходную частоту (режим разомкнутого контура) или подает этот сигнал на регулятор скорости (замкнутый векторный контур и серво). Блок рампы содержит линейные рампы, функцию S-рампы для нелинейного ускорения и замедления, управление рампой замедления для исключения повышения напряжения на шине звена постоянного тока внутри привода, которое может привести к защитному отключению при отсутствии тормозного резистора (0-быстрая рампа,1- стандартная,2- стандартная рампа с форсировкой напряжения двигателя).

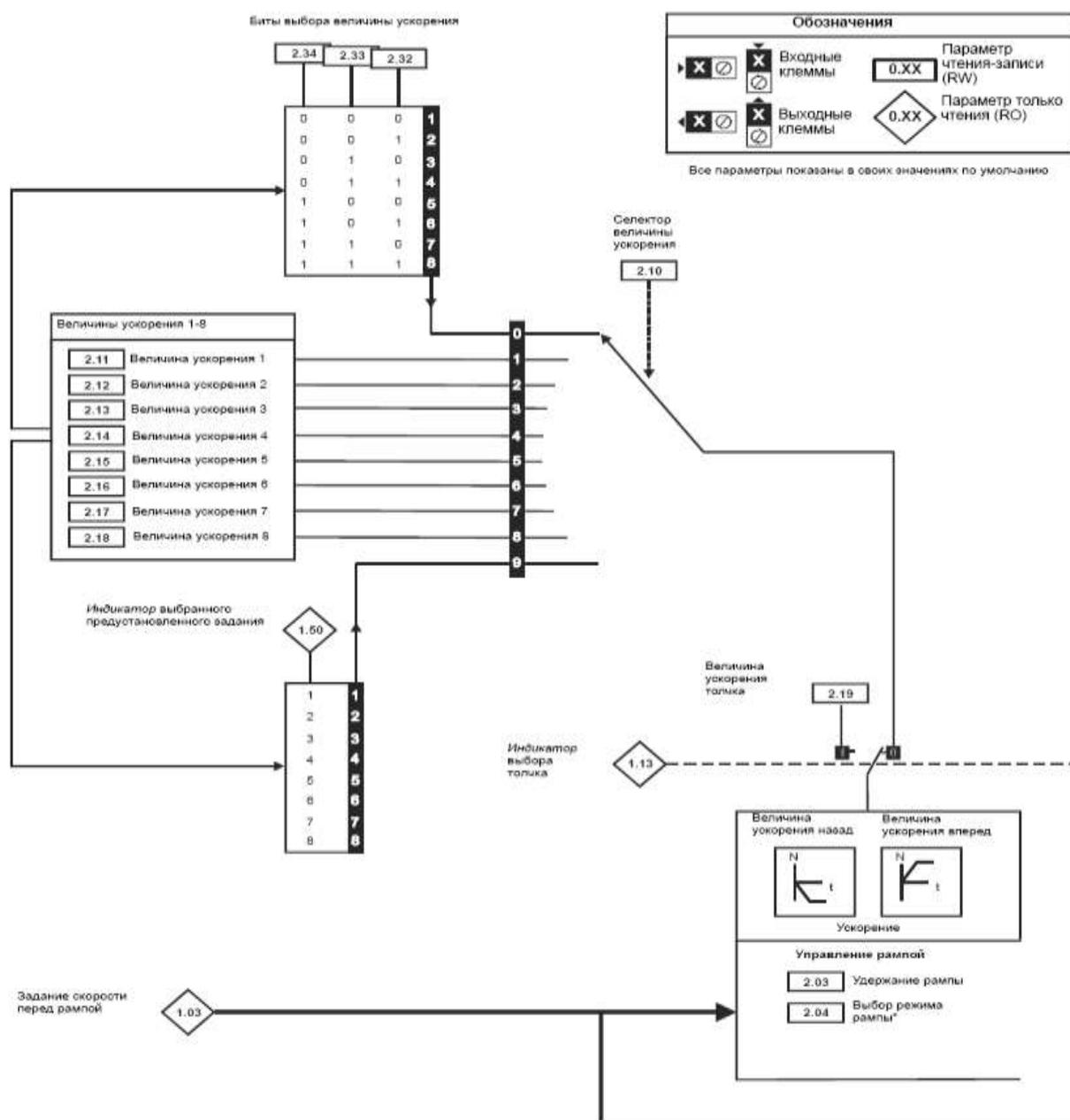


Рисунок 3.7 – Логическая схема меню 2

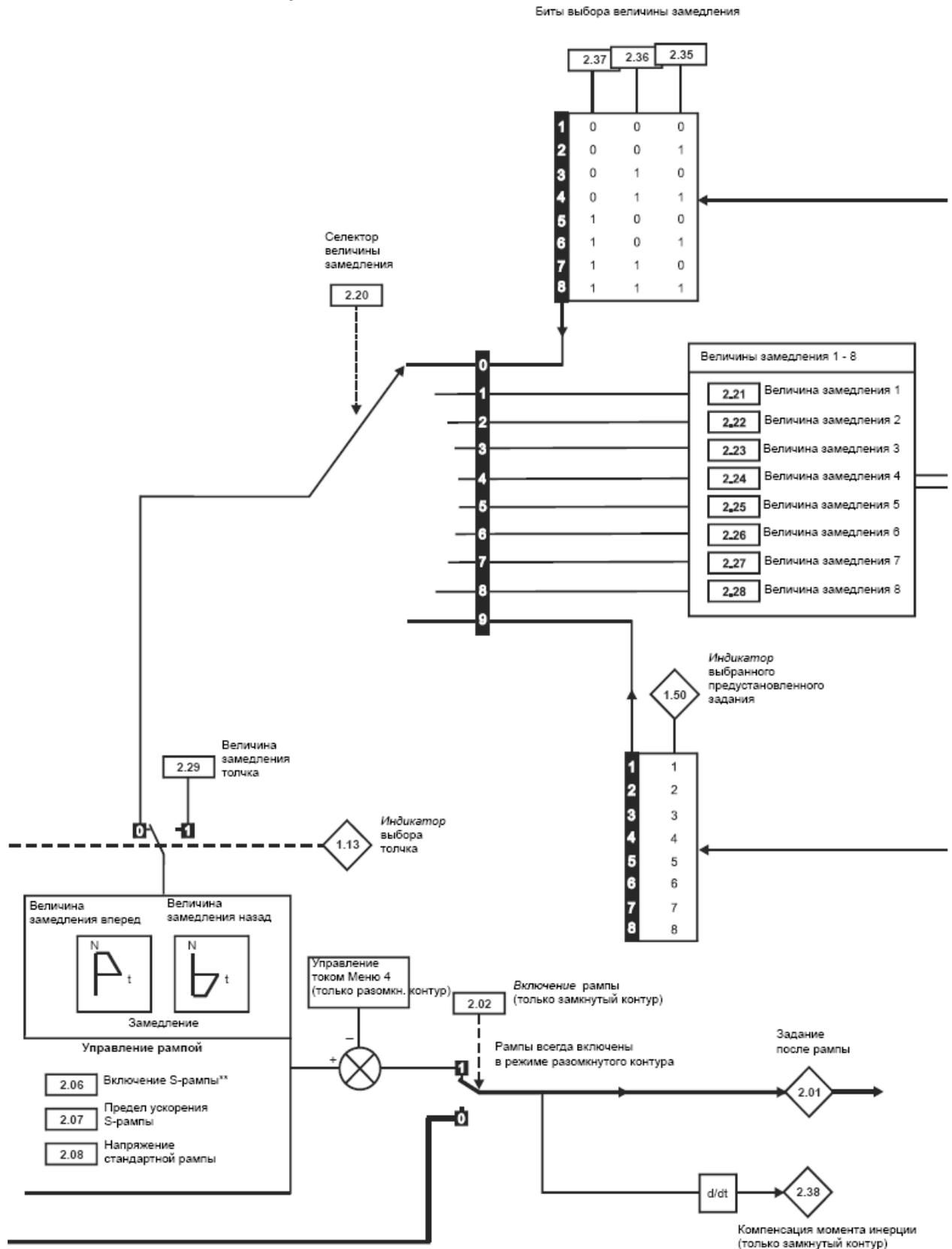


Рисунок 3.8 – Продолжение логической схемы меню2.

Меню 3 отвечает за контур скорости. Здесь задается ведомая частота, обратная связь по скорости, управление скоростью и рекуперация

Меню 3 в зависимости от выбранного режима работы привода содержит различные функции, как показано в таблице 3.3. Режим разомкнутого контура отличается от режима замкнутого векторного контура и сервосистемы за исключением того, что он разделяет общий блок параметров для энкодера привода.

Таблица 3.3 – Функции меню 3

Выбор режима привода	Функции меню 3
Разомкнутый контур	Управление частотой ведомых приводов Датчики состояний "Нулевая скорость" и "на скорости"
Замкнутый векторный контур и серво	Обратная связь по скорости, регулятор скорости, датчики "Нулевая скорость", "на скорости" и превышения скорости, энкодер привода
Рекуперация	Управление рекуперацией и функции слежения

Задание ведомой частоты имеет смысл только в том случае, если привод работает в режиме ведомой частоты. В других режимах этот параметр считывается как 0.0. Значение показанное в ведомом режиме - это выходная частота привода.

Режим ведомой частоты используется для синхронизации вырабатываемой приводом основной частоты с внешней частотой, поданной на вход энкодера главного привода. Источником сигнала для режима ведомой частоты могут быть сигналы квадратурного энкодера А/В или сигналы частоты и направления.

В режиме рекуперации привод полагает, что силовое питание отсутствует, не закрывает вход силового питания и пытается синхронизоваться, если постоянное напряжение на шине упало ниже уровня, указанного в таблице 3.4. Если блок синхронизован и постоянное напряжение на шине упало ниже этого уровня, то блок отключается, а входной контактор размыкается. Блок рекуперации отслеживает напряжение на клеммах переменного питания для обнаружения отказа силового питания и, если напряжение падает ниже уровня, то блок отключается, а входной контактор размыкается.

Меню 4 отвечает за управление электромагнитным моментом двигателя и включает контур регулирования тока. При разомкнутом контуре привод работает в неподвижной системе координат, связанной с полем статора. Абсолютный ток двигателя определен системой пикового предела как $1.75 \cdot I_n$ привода. Однако привод обычно не работает на этом уровне, а использует систему пикового предела как защиту от отключений по превышению тока. При нормальной работе ток двигателя ограничен уровнем $1.5 \cdot I_n$ привода, что дает запас устойчивости между максимальным рабочим током и уровнем пикового предела. Поэтому двигатель с

таким же номинальным током, как у привода, может создать не менее 150% момента, когда привод работает на предельном токе.

В векторном режиме замкнутого контура (рисунок 3.11) и режиме серво привод работает в системе координат, связанной с потоком ротора. Максимальный нормальный рабочий ток управляется предельными значениями. В режиме рекуперации привод работает в системе координат, которая связана с напряжением на клеммах привода. Так как фазовый сдвиг на входных индукторах небольшой, то система координат примерно соответствует напряжению питания.

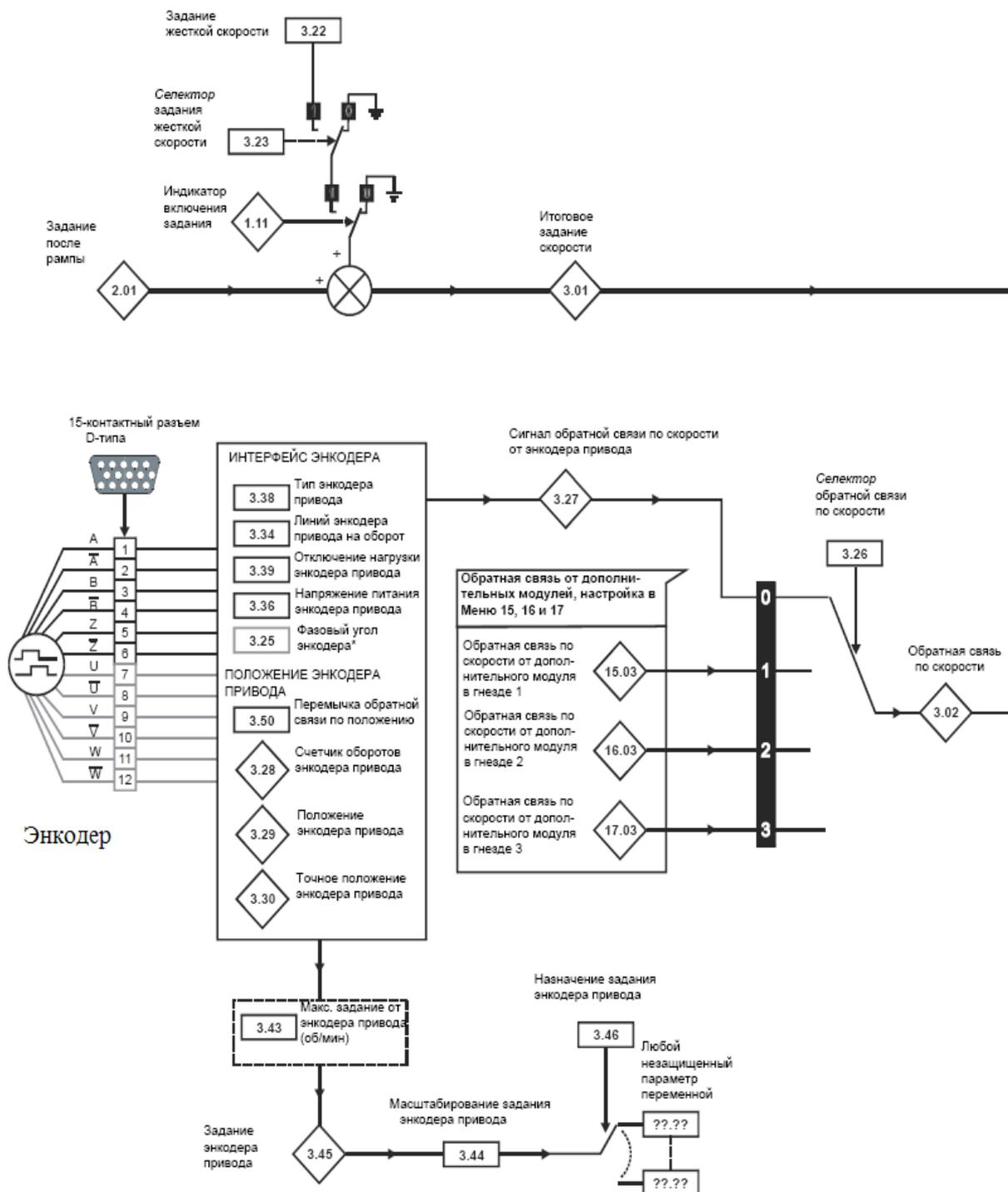


Рисунок 3.9 – Логическая схема меню 3 замкнутого контура.

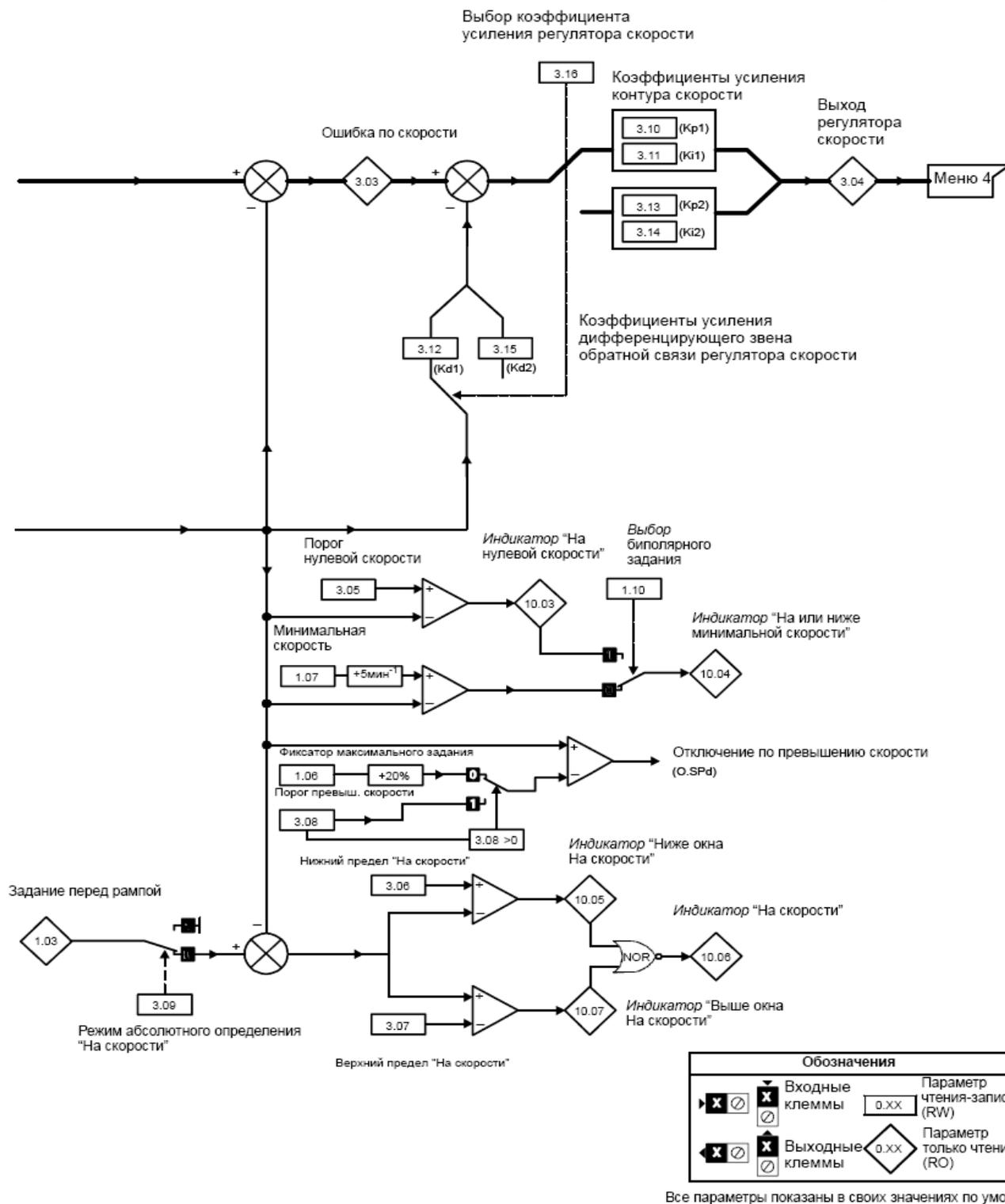


Рисунок 3.10 – Продолжение логической схемы меню3 замкнутого контура.

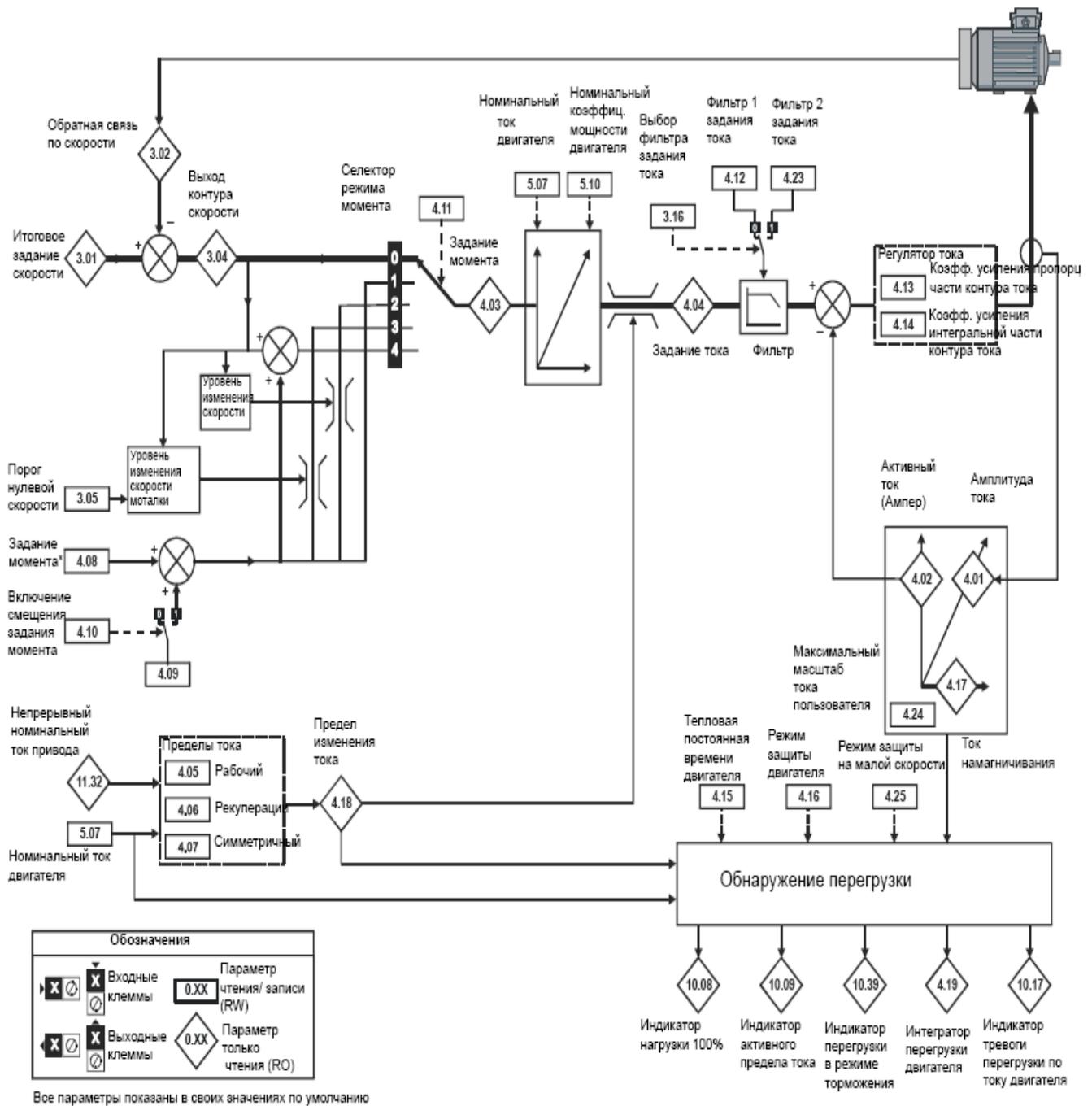


Рисунок 3.11– Логическая схема векторного режима замкнутого контура меню 4

Меню 5 отвечает за хранение параметров двигателя

В разомкнутом контуре фактическое значение частоты можно увеличивать за счет компенсации скольжения. Этот параметр указывает выходную частоту привода, то есть сумму задания после ramпы и компенсации скольжения.

При векторном управлении с ДС и при Серво режиме выходная частота не управляется, и поэтому указываемая выходная частота вычисляется при измерении частоты опорной системы регулятора.

В режиме рекуперации указывается частота питания. Отрицательные значения указывают на отрицательное вращение фазы питания.

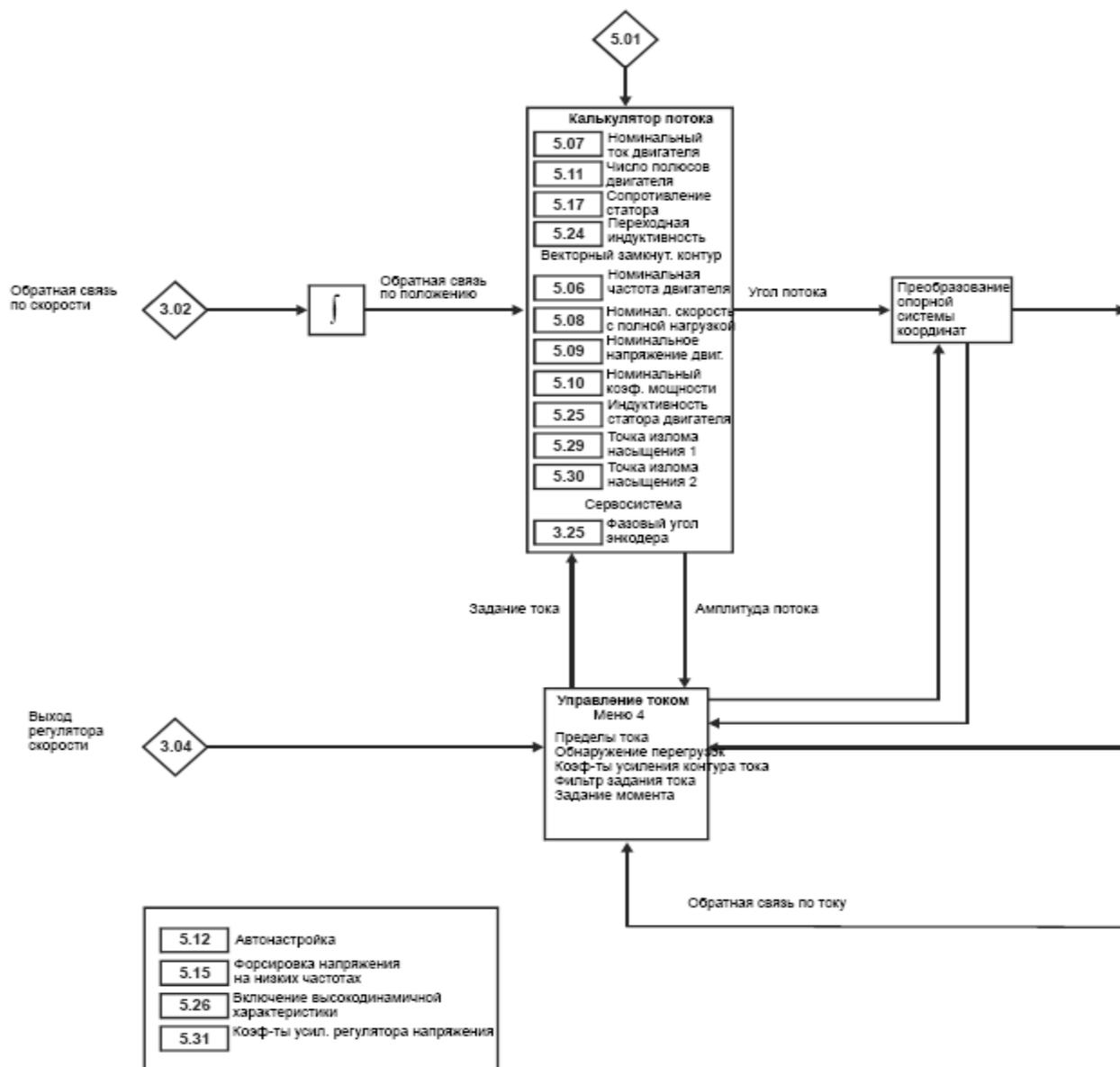


Рисунок 3.12 –Логическая схема замкнутого контура меню 5.

Кроме основных функций Привода, которых вполне достаточно для большинства практических применений, UNIDRIVE может также выполнять и более сложные функции, которые называются макросами:

- Макрос 6 – Ограничение линейных перемещений (с использованием конечных выключателей).
- Макрос 7 – Управление тормозом подъемного механизма.
- Макрос 8 – Цифровой замок (электрический вал).
- Макрос 15 - Рекуперативный режим;
 - три программируемых аналоговых входа;
 - два программируемых аналоговых выхода;
 - настраиваемый с высокой точностью сигнал задания частоты/скорости;
 - цифровой потенциометр;
 - вход для нерегулируемого задания скорости;
 - регулирование момента в разомкнутой системе;
 - три режима регулирования момента в замкнутой системе;
 - встроенный ПИД-регулятор, с использованием аналогового устройства обратной связи;
 - до восьми выбираемых и настраиваемых линейных законов пуска и торможения;
 - выбираемые и программируемые линейные законы пуска и торможения для толчкового режима;
 - счетчик общего времени работы Привода;
 - управление выходной частотой нескольких приводов (ведомых) с основного (ведущего) привода в разомкнутой системе;
 - работа замкнутой системы регулирования с ведущим и несколькими ведомыми приводами (система master-slave);
 - два программируемых компаратора;
 - журнал отключений, фиксирующий последние десять отключений;
 - функция ориентации вала двигателя при остановке;
 - три отдельных режима пуска;
 - программируемый триггерный предупреждающий сигнал о времени работы привода;
 - две программируемые логические функции;
 - программируемая функция суммирования в двоичном коде.

3.2 Выбор коммутационных аппаратов

Выбор коммутационных аппаратов и другого необходимого оборудования для модернизации электропривода представлены в таблице 3.5

						13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			45

Таблица 3.5 – Перечень элементов оборудования

№	Наименование	Название	кол.
1	Двигатель 37кВт	AMTK225M6-F	1
2	Unidrive SP4403, 45кВт, I _{вых} =96А I _{вх} =97.2А	SP4403	1
3	Панель управления	SM-Keypad	1
4	Входной реактор, 96А	AC Choke UNI4401	
5	Рубильник 3-полюсный на 125А, OS 125D03, предохранитель 000 или 00 (нет в комплекте)	SGC1SCA022469R8780	1
6	Предохранитель, PN000 125 А gG	13365	3
7	Контактор AF75-30-0, AC-1 105А	SST1SBL417001R7000	1
8	Тормозной резистор ПВ=40%, 10 Ом 12кВт	24-10R-12000	2
9	Энкодер	EGZ14DN1024CI	2

Автоматические выключатели используются для отключения от сети, тепловой и максимально токовой защиты преобразователя.

$$I_{\text{ЛК}} \geq I_{\text{ПЧ}} + I_{\text{ЭГ}}, \quad (3.2)$$

где $I_{\text{ав}}$ - номинальный ток автоматического выключателя, А;

$I_{\text{пч}}$ - номинальный входной ток преобразователя частоты, А;

$I_{\text{эг}}$ - номинальный ток, потребляемый электрогидротолкателем, 2..3 А.

Входной реактор применяется для улучшения формы входного тока и снижения уровня гармоник входного тока.

Для ограничения перемещения тележки во избежание аварийных ситуаций применяются конечные выключатели. Конечные выключатели должны иметь в рабочем положении нормально замкнутые контакты, это проверяется при монтаже. В каждом направлении движения необходима установка по три конечных выключателя (1- при снижении скорости, 2- точная остановка, 3- аварийное отключение).

Джойстик применяется для удобства управления перемещением и подъемом.

Тормозной резистор применяется при торможении привода для рассеивания энергии, которую не может рассеять звено постоянного тока.

$$R \geq 2.25 \cdot \frac{U_{\text{н}}^2}{P_{\text{нпч}}}. \quad (3.3)$$

Для защиты от перегрева используется тепловое реле.

					13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Для отключения питания привода при наезде на конечный выключатель «аварийное отключение» используется контактор, который выбирается из условия (3.4)

$$I_{нлк} \geq I_{нпч} + I_{нэГ} \quad (3.4)$$

3.3 Выбор шкафа электропривода

Выбираем шкаф фирмы «Rittal» с размерами 1800x800x500 мм. Сопутствующее оборудование приведено в таблице 3.6

Таблица 3.6 – Перечень элементов силового шкафа

№	Наименование	Код заказа	кол
1	Каркас шкафа 1800x800x500 (ВxШxГ)	8880500	2
2	Боковые стенки уп-2шт	8185235	1
3	Передние и задние панели цоколя высотой 100мм	8601800	2
4	Боковые панели цоколя высотой 100мм	8601050	2
5	Панели для гермовводов TS шириной 1200мм	8800120	2
6	Гермовводы 8 отв.d=13мм уп-25шт	4316000	1
7	Гермовводы 3 отв.d=21мм уп-25шт	4317000	1
8	Гермовводы 1 отв.d=47мм уп-25шт	4318000	1
9	Вентилятор	3327107	2
10	Выходной фильтр	3326207	2
11	Регулятор температуры	3110000	2
12	Лампа-стандарт 14Вт, 230В, 50Гц	4139140	2
13	Вилка для подключения лампы освещения	2507400	2
14	Сменные прокладки фильтра	3327700	1
15	Зажимная кабельная шина (уголок) для шкафа шир 800мм уп-2шт	4192000	2
16	Концевой выключатель двери	4127000	2

На рисунке 3.14 показан внешний вид шкафа.

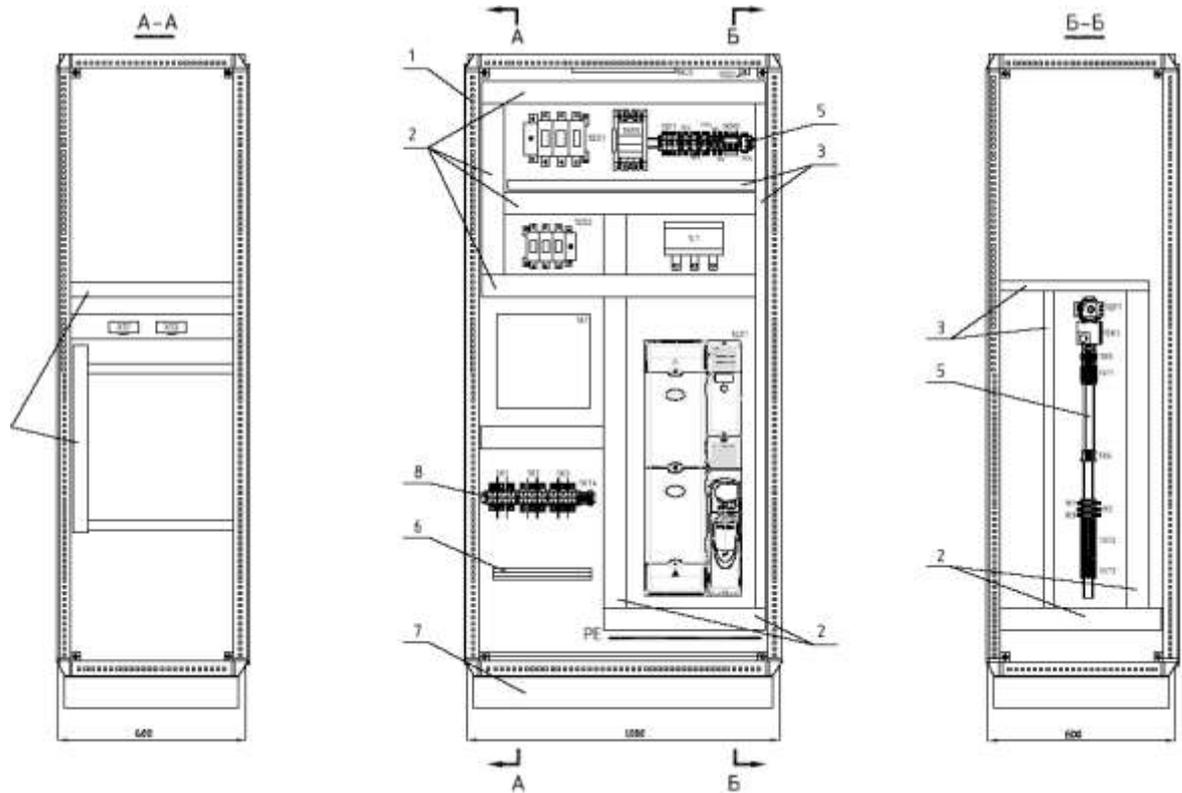


Рисунок 3.14 – Внешний вид шкафа электропривода

Выводы по разделу три. Выбран преобразователь частоты, показана его структура меню. Выбран шкаф силовой и коммутационное оборудование.

						13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			48

4 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Расчет параметров схем включения двигателя, обеспечивающих работу в заданных точках. Задачей является определение напряжения и частоты, при которых выполняются требования к электроприводу по обеспечению заданных скоростей движения рабочего органа (рабочей машины).

Исходными данными для расчета являются заданная скорость движения механизма, приведенная к валу двигателя, и заданный момент сопротивления движению, приведенный к валу двигателя и включающий в себя момент механических потерь холостого хода двигателя.

При питании от сети неизменного напряжения одна из заданных скоростей должна обеспечиваться работой двигателя на естественной характеристике (основная скорость).

На рисунках 4.4-4.6 изображены механические, электромеханические, и энергетические характеристики электродвигателя в относительных единицах.



Рисунок 4.4 – Механические характеристики электродвигателя АМТК225М6-Ф (естественная).

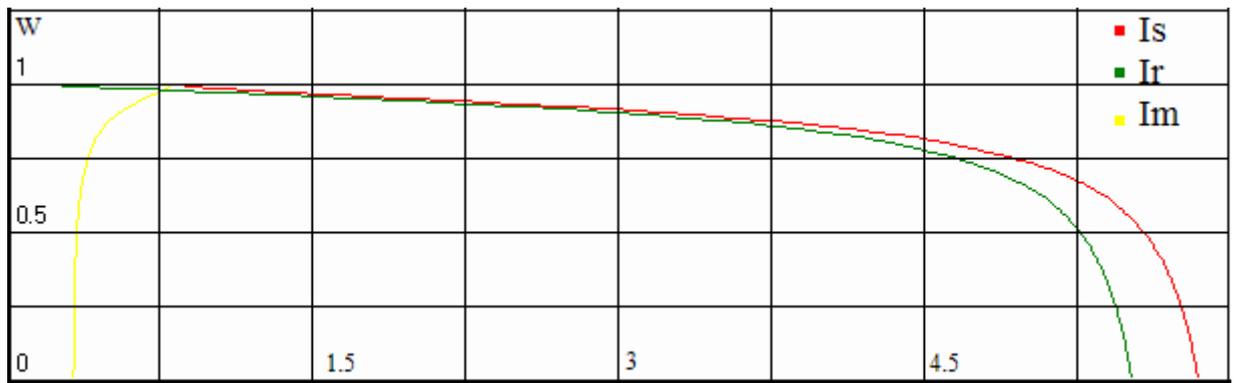


Рисунок 4.5 – Электромеханические характеристики электродвигателя АМТК225М6-Ф

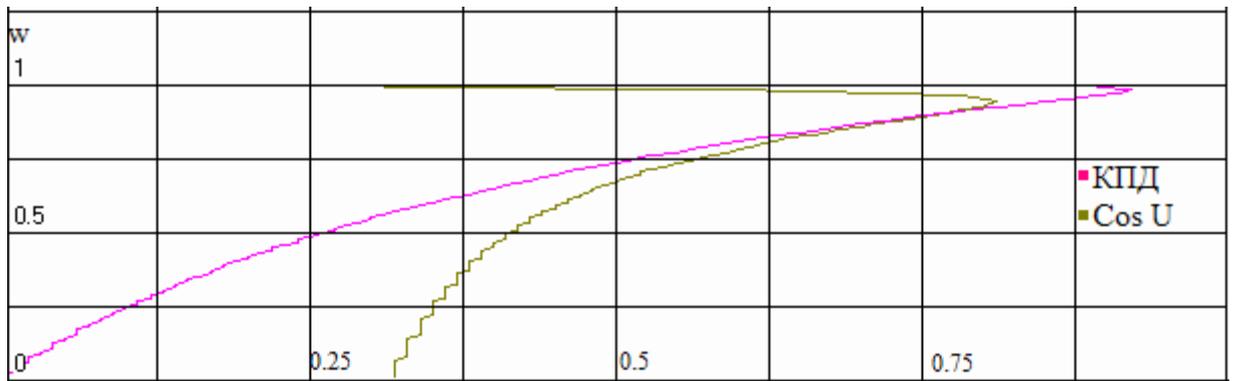


Рисунок 4.6 – Энергетические характеристики двигателя АМТК225М6-Ф

Выводы по разделу четыре. Построены статические характеристики электропривода

5 РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Переходные процессы электропривода возникают при изменении управляющих и возмущающих воздействий.

В установившемся режиме нарастания скорости двигателя, когда затухают свободные составляющие переходного процесса скорость двигателя определяется моментом статической нагрузки.

Величина установившегося значения динамического момента двигателя

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \dot{\omega} \quad (5.1)$$

Темп нарастания скорости определяется величиной базовой постоянной времени ЗИ $T_{\text{ЗИ}}$.

Механическая постоянная времени:

$$T_{\text{д}} = \frac{J \cdot \omega_{\text{н}}}{M_{\text{н}}} = \frac{0.48 \cdot 960}{9.55 \cdot 39.8} = 1.26 \text{ с.} \quad (5.2)$$

Постоянная времени ЗИ по (7.4)

$$T_{\text{ЗИ}} = \frac{T_{\text{д}} \cdot M_{\text{н}}}{M_{\text{дин}}} = \frac{1.26 \cdot 39.8}{43.2} = 1.16 \text{ с.} \quad (5.3)$$

В системе ПЧ-АД начальная пусковая характеристика определяется минимальной частотой преобразователя, а величина пускового момента существенно снижена из-за значительного влияния активного сопротивления статорной цепи двигателя.

На рисунках 5.1 – 5.3 представлены нагрузочные диаграммы пуска и торможения электродвигателя типа АМТК225М6-Ф.

Расчет был сделан в прикладной программе «ZIAD».

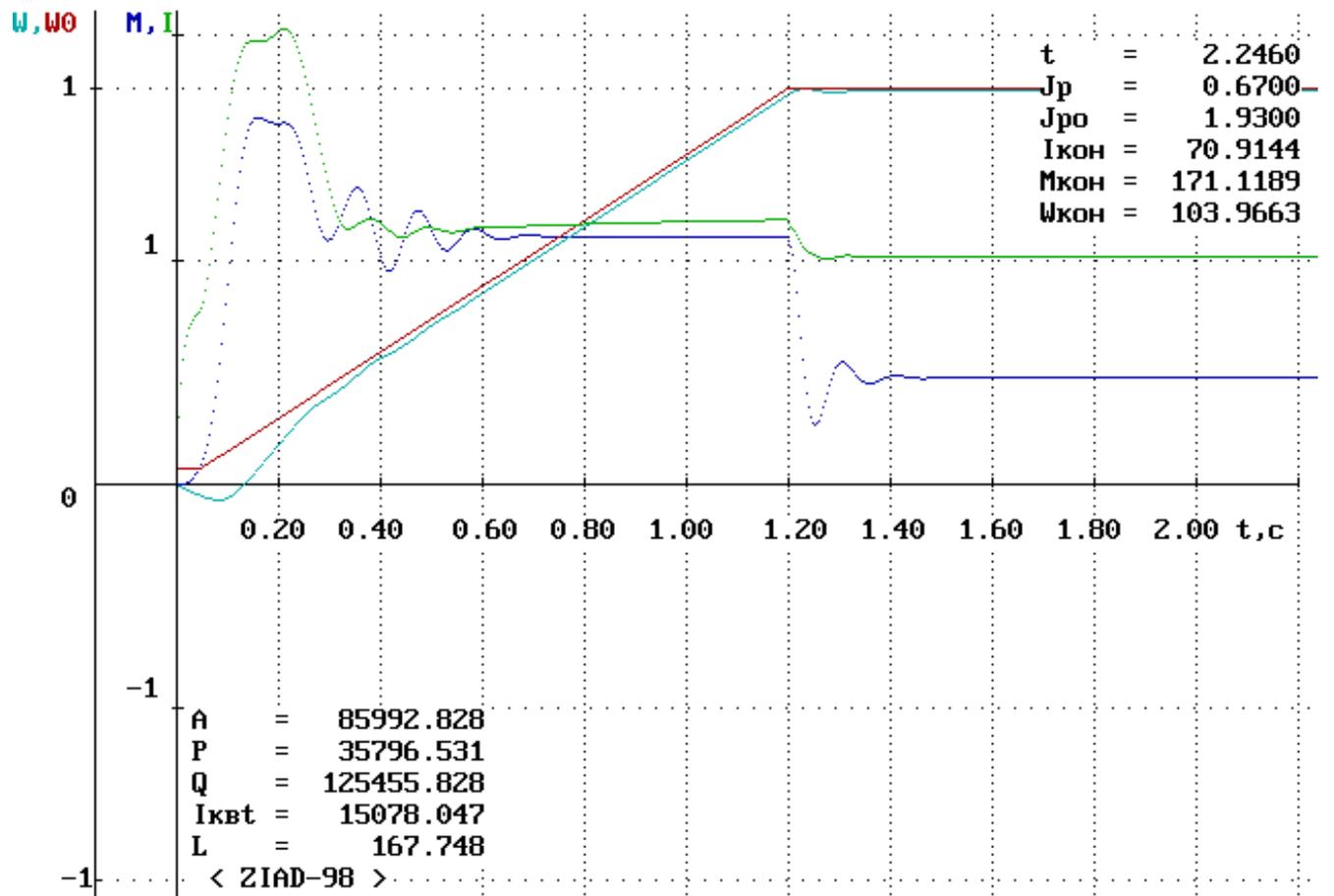


Рисунок 5.1 – Пуск электродвигателя типа АМТК225М6-Ф

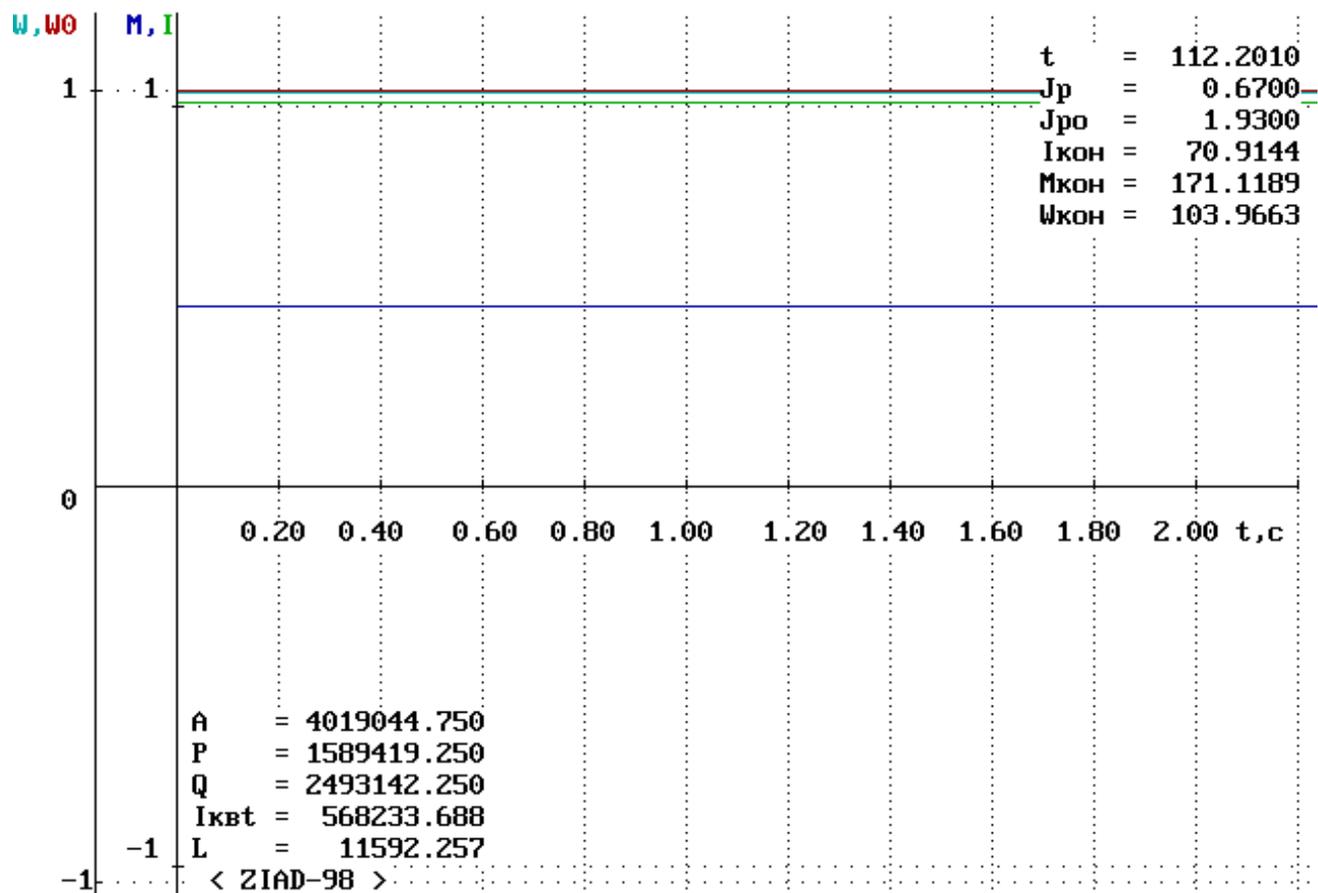


Рисунок 5.2 – Установившийся режим электродвигателя типа АМТК225М6-Р

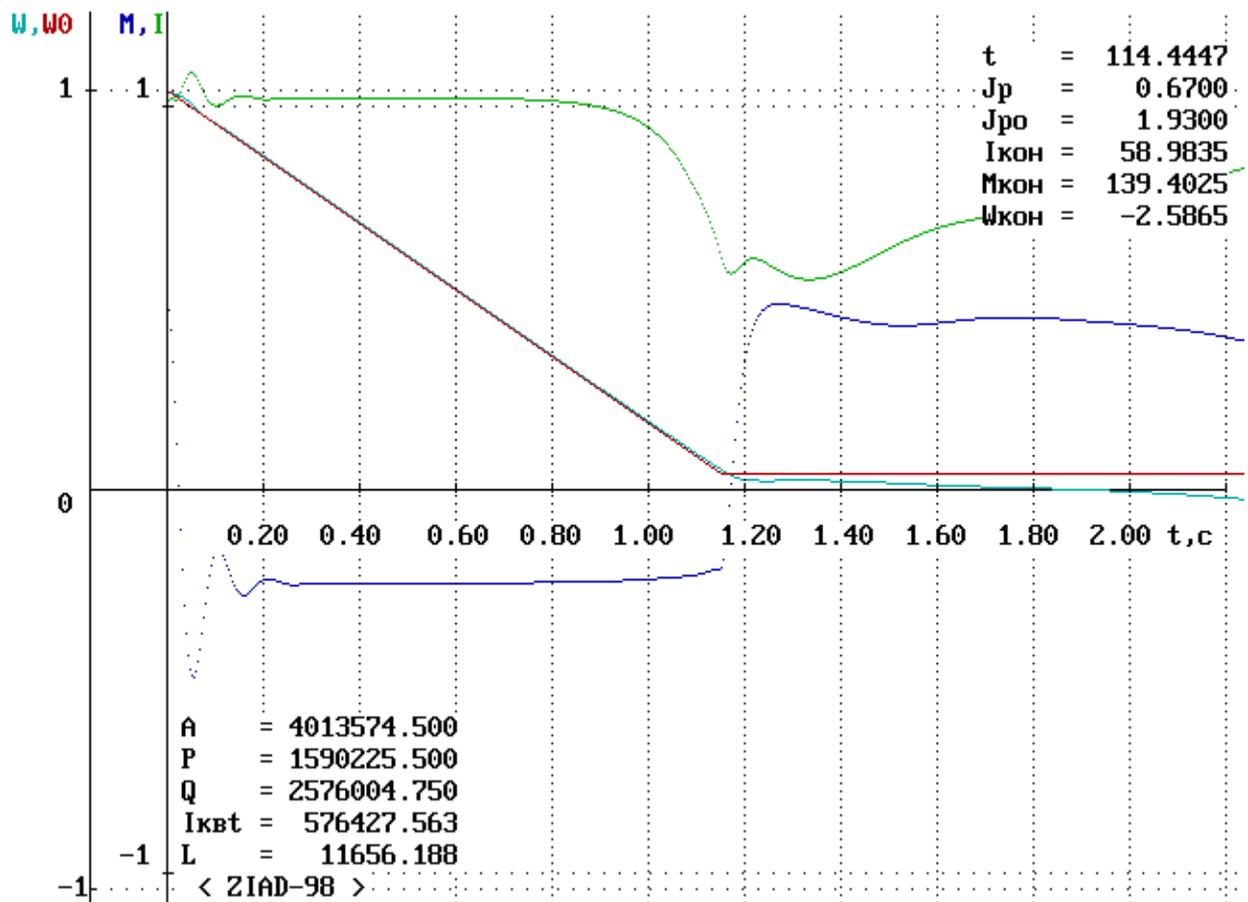


Рисунок 5.3 – Торможение электродвигателя типа АМТК225М6-Ф

Выводы по разделу пять. Построены динамические характеристики электропривода.

6 ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

6.1 Проверка двигателя и преобразователя по нагреву

В прикладной программе «ZIAD» также были рассчитаны интегральные показатели переходных процессов, которые приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1-Показатели переходных и установившихся режимов

Участок движения	Пуск	Уст. режим	Торможение
A, Вт.с	85993	4019044	14766
P, Вт.с	35796	1589419	34472
Q, Вар.с	125456	2493142	151832
L, Рад	167	11592	42
Икв.t, А2с	15078	568234	58444
tпп, с	2.2	112.2	2.2
Mмакс, Нм	604	----	-177.9
Iмакс, А	142	----	72
ωуст, 1/с	104	104	-
Mуст, Н.м	171	171	139
Iуст, А	70	70	59

Энергия за время цикла складывается из суммы энергий за время переходных процессов (пуска и торможения) и за время работы в установившихся режимах.

Механическая энергия за цикл

$$A_{\text{Ц}} = \sum_{k=1}^n A_{\text{К}} + \sum_{m=1}^n A_{\text{уст.м}} \quad (6.1)$$

Активная энергия за цикл:

$$P_{\text{Ц}} = \sum_{k=1}^n P_{\text{К}} + \sum_{m=1}^n P_{\text{уст.м}} \quad (6.2)$$

Реактивная энергия за цикл:

$$Q_{\text{Ц}} = \sum_{k=1}^n Q_{\text{К}} + \sum_{m=1}^n Q_{\text{уст.м}} \quad (6.3)$$

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

$$\eta_{\text{ц}} = \frac{A_{\text{ц}}}{P_{\text{ц}}}; \quad (6.4)$$

$$(\cos\varphi)_{\text{ц}} = \frac{P_{\text{ц}}}{\sqrt{P_{\text{ц}}^2 + Q_{\text{ц}}^2}} \quad (6.5)$$

Результаты расчетов занесены в таблицу 6.2.

Таблица 5.5 – Показатели переходных и установившихся режимов

Показатель и	Единица измерения	Значение
A	Вт.с	4119803
P	Вт.с	1659687
Q	Вар.с	2770430
t _{пп}	с	116.6
ncp.вз	%	248
Cosφcp.вз	-	0.5

Проверку электропривода по нагреву выполняют после расчета переходных процессов и построения нагрузочных диаграмм.

Проверку выбранного двигателя по нагреву следует выполнять, как правило, методом эквивалентного тока:

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} \leq I_{\text{доп}} \quad (6.6)$$

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{кат}}}{ПВ_{\text{ф}}}} \quad (6.7)$$

Эквивалентный ток двигателя, предназначенного для повторно-кратковременного режима работы (в т.ч. двигателей краново-металлургической серии), рассчитывают только за время работы. Для установившихся режимов работы рассчитываются $I_{\text{э}}$ для каждого участка движения по величинам статического тока $I_{\text{с}}$ и времени установившегося движения t_y .

Определим значение эквивалентного тока по формуле (6.6):

$$I_{\text{э}} = 65.2 \text{ (A)}.$$

Определим значение допустимого тока по формуле (6.7):

$$I_{\text{доп}} = 70 \cdot \sqrt{\frac{0.4}{0.4}} = 70 \quad (\text{А}).$$

Тогда по соотношению (4.30) получаем:

$I_{\text{э}} = 65.2 \text{ (А)} < I_{\text{доп}} = 70 \text{ (А)}$, следовательно, электродвигатель типа АМТК225М6-Ф удовлетворяет условию нагрева.

6.2 Проверка электропривода по перегрузочной способности

У асинхронных двигателей кратковременная перегрузка ограничивается не током, а критическим моментом двигателя. Поэтому проверка на кратковременную перегрузку для этих двигателей сводится к сравнению наибольшего момента из нагрузочной диаграммы с критическим моментом двигателя.

Для электродвигателя типа АМТК225М6-Ф наибольший момент определяем из нагрузочной диаграммы рисунка 5.7: $\bar{M}_{\text{max}} = 1.7$.

Наибольший момент из нагрузочной диаграммы меньше критического момента двигателя:

$\bar{M}_{\text{max}} = 1.7 < \bar{M}_{\text{к}} = 3$, следовательно, электродвигатель типа АМТК225М6-Ф проходит проверку на кратковременную перегрузку.

Выводы по разделу шесть. Построены энергетические характеристики. Произведена проверка двигателя по нагреву и перегрузочной способности.

										Лист
										57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ

7 АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

7.1 Выбор программируемого логического контроллера (ПЛК)

На предприятии уже используются ПЛК фирмы «OMRON», поэтому выбираем контроллер этой же фирмы. Автоматизацию целесообразно проводить комплексно, т.е. все механизмы крана (мост, тележка, подъем).

Автоматизацию системы будем обеспечивать программируемым контроллером фирмы OMRON CPM1A-30CDR-D-V1. Питание контроллера 24 В. Входы(36)/выходы(24) 24 В.

7.2 Логические уравнения

Запишем логические уравнения согласно описанию работы крана.

Сигнал Готовности схемы возникает в состоянии Готовности преобразователя частоты, управляющего двигателем привода тележки, Готовности преобразователей частоты, управляющих двигателями привода моста крана, Готовности преобразователя частоты, управляющего двигателем подъема, Тепловом реле², выполняющем защиту двигателя тележки от перегрева, тепловых реле и Теплового реле 1, выполняющих защиту двигателей от перегрева:

$$\text{Гот.} = \text{Гот.ПЧтел} \cdot \text{Гот.ПЧ1} \cdot \text{Гот.ПЧ2} \cdot \text{Гот.ПЧпод} \cdot \text{ТР1} \cdot \text{ТР2} \cdot \text{ТР3} \cdot \text{ТР4}$$

Сигнал Разрешения формируется при сигнале Готовности схемы и при нахождении в начальном положении: тележки, моста крана и подъема, запоминается:

$$\text{Разреш.} = \text{Гот} \cdot (\text{Полож.0 тел} + \text{Полож.0 моста} + \text{Полож.0 под} + \text{Разреш.})$$

Система уравнений для привода тележки выглядит следующим образом:

а) Выходная переменная Вправо возникает при сигнале Готовности схемы, сигнале Вправо скорость 1, Точной остановке 1 и отсутствии команды Влево:

$$\text{Вправо} = \text{Гот.} \cdot \text{Вправо ск.1} \cdot \text{Точн.ост.1тел} \cdot \overline{\text{Влево}}$$

б) Выходная переменная Влево возникает при сигнале Готовности схемы, сигнале Влево скорость 1, Точной остановке 2 и отсутствии команды Вправо:

$$\text{Влево} = \text{Гот.} \cdot \text{Влево ск.1} \cdot \text{Точн.ост.2тел} \cdot \overline{\text{Вправо}}$$

					13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

в) Сигнал Бит скорости 1 (подается сигнал двоичного кода на вход преобразователя частоты) формируется при сигнале Готовности схемы, сигнале Скорость 2 или сигнале Скорости 4, Снижении скорости 1, Снижении скорости 2 и отсутствии сигнала Скорость 3 – таким образом задается переход на вторую или четвертую скорость привода тележки

$$\text{Бит скорости 1} = \text{Гот.} \cdot (\text{Ск.2тел} + \text{Ск.4тел}) \cdot \text{Сниж.ск.1тел} \cdot \text{Сниж.ск.2тел} \cdot \overline{\text{Ск.3тел}}$$

г) Сигнал Бит скорости 2 (подается сигнал двоичного кода на вход преобразователя) формируется при сигнале Готовности схемы, сигнале Скорость 3 или сигнале Скорость 4, Снижении скорости 1, Снижении скорости 2 – таким образом задается переход на третью или четвертую скорость привода тележки:

$$\text{Бит скорости 2} = \text{Гот.} \cdot (\text{Ск.3тел} + \text{Ск.4тел}) \cdot \text{Сниж.ск.1тел} \cdot \text{Сниж.ск.2тел}$$

Система уравнений для привода моста крана выглядит следующим образом:

а) Выходная переменная Вперед возникает при сигнале Готовности схемы, сигнале Вперед скорость 1, Точной остановке 1 и отсутствии команды Назад:

$$\text{Вперед} = \text{Гот.} \cdot \text{Вперед ск.1} \cdot \text{Точн.ост.1моста} \cdot \overline{\text{Назад}}$$

б) Выходная переменная Назад возникает при сигнале Готовности, сигнале Назад скорость 1, Точной остановке 2 и отсутствии команды Вперед:

$$\text{Назад} = \text{Гот.} \cdot \text{Назад ск.1} \cdot \text{Точн.ост.2моста} \cdot \overline{\text{Вперед}}$$

в) Сигнал Бит скорости 1 (подается сигнал двоичного кода на вход преобразователя) формируется при сигнале Готовности схемы, сигнале Скорость 2 или, Снижении скорости 1, Снижении скорости 2 и отсутствии сигнала Скорость 3 – таким образом задается переход на вторую или четвертую скорость привода моста крана:

$$\text{Бит скорости 1} = \text{Гот.} \cdot (\text{Ск.2моста} + \text{Ск.4моста}) \cdot \text{Сниж.ск.1моста} \cdot \text{Сниж.ск.2моста} \cdot \overline{\text{Ск.3моста}}$$

г) Сигнал Бит скорости 2 (подается сигнал двоичного кода на вход преобразователя) формируется при сигнале Готовности схемы, сигнале Скорость 3 или Скорость 4, Снижении скорости 1, Снижении скорости 2 – таким образом задается переход на третью скорость привода моста крана:

										Лист
										59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Бит скорости 2 = Гот. · (Ск.3моста + Ск.4моста) · Сниз.ск.1моста · Сниз.ск.2моста

Система уравнений для привода подъема выглядит следующим образом:

а) Выходная переменная Вверх возникает при сигнале Готовности схемы, сигнале Вверх скорость 1, Точной остановке и отсутствии команды вниз:

$$\text{Вверх} = \text{Гот.} \cdot \text{Вверх1ск.} \cdot \text{Точн.ост.} \cdot \overline{\text{Вниз}}$$

б) Выходная переменная Вниз возникает при сигнале Готовности, сигнале Вниз скорость 1 и отсутствии команды Вверх:

$$\text{Вниз} = \text{Гот.} \cdot \text{Вниз1ск.} \cdot \overline{\text{Вверх}}$$

в) Сигнал Бит скорости 1 (подается сигнал двоичного кода на вход преобразователя) формируется при сигнале Готовности схемы, сигнале Скорость 2 или Скорость 4 и Снижении скорости и отсутствии сигнала Скорость 3:

$$\text{Бит скорости 1} = \text{Гот.} \cdot (\text{Ск.2под} + \text{Ск.4под}) \cdot \text{Сниз.ск.} \cdot \overline{\text{Ск.3под}}$$

г) Сигнал Бит скорости 2 (подается сигнал двоичного кода на вход преобразователя) формируется при сигнале Готовности схемы, сигнале Скорость 3 или Скорость 4, Снижении скорости – таким образом задается переход на третью скорость привода подъема:

$$\text{Бит скорости 2} = \text{Гот.} \cdot (\text{Ск.3под} + \text{Ск.4под}) \cdot \text{Сниз.ск.}$$

7.3 Программирование ПЛК

Перед составлением программы необходимо определить адреса входных и выходных переменных в соответствии с их подключением к программируемому контроллеру, а также задать адреса промежуточных переменных и используемых таймеров. Данные сведены в таблицу 7.1.

										Лист
										60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ

Таблица 7.1 – Адресация входных и выходных переменных

Наименование сигнала или команды	Обозначение	Адрес
Входные переменные		
Снижение скорости 1 тележки	Сниж.ск.1тел	0.00
Точная остановка 1 тележки	Точн.ост.1тел	0.01
Снижение скорости 2 тележки	Сниж.ск.2тел	0.02
Точная остановка 2 тележки	Точн.ост.2тел	0.03
Контроль положения 0	Положение 0 тел.	0.04
Вправо скорость 1 тележки	Вправо 1ск.	0.05
Влево скорость 1 тележки	Влево 1ск.	0.06
Скорость 2	Ск.2 тел	0.07
Скорость 3	Ск.3 тел	0.10
Скорость 4	Ск.4 тел	0.11
Готовность ПЧ тележки	Гот.ПЧ тел	0.12
Тепловое реле2	Т.Р2	0.13
Снижение скорости 1 моста крана	Сниж.ск.1 моста	0.14
Точная остановка 1 моста крана	Точн.ост.1 моста	0.15
Снижение скорости 2 моста крана	Сниж.ск.2 моста	0.16
Точная остановка 2 моста крана	Точн.ост.2 моста	0.17
Контроль положения 0	Положение 0 моста	0.20
Вперед скорость 1	Вперед ск.1	0.21
Назад скорость 1	Назад ск.1	0.22
Скорость 2 моста крана	Ск.2 моста	0.23
Скорость 3 моста крана	Ск.3 моста	0.24
Скорость 4 моста крана	Ск.4 моста	0.25
Готовность ПЧ1	Гот.ПЧ1	0.26
Готовность ПЧ2	Гот.ПЧ2	0.27
Тепловое реле3	Т.Р3	0.30
Тепловое реле4	Т.Р4	0.31
Снижение скорости подъема	Сниж.ск.	0.32
Точная остановка	Точн.ост.	0.33
Контроль положения 0 подъема	Положение 0 под.	0.34
Вверх скорость 1 подъема	Вверх ск.1	0.35
Вниз скорость 1 подъема	Вниз ск.1	0.36
Скорость 2 подъема	Ск.2 под.	0.37
Скорость 3 подъема	Ск.3 под.	0.40

Продолжение таблицы 7.1

Скорость 4 подъема	Ск.4 под.	0.41
Готовность ПЧ	Гот.ПЧ под.	0.42
Тепловое реле1	Т.Р1	0.43
Включение привода тележки вправо	Вправо	10.00
Включение привода тележки влево	Влево	10.01
Бит скорости 1	Бит скорости 1	10.02
Бит скорости 2	Бит скорости 2	10.03
Включение привода моста вперед	Вперед	10.04
Включение привода моста крана назад	Назад	10.05
Бит скорости 1	Бит скорости 1	10.06
Бит скорости 2	Бит скорости 2	10.07
Включение привода подъема вверх	Вверх	10.10
Включение привода подъема вниз	Вниз	10.11
Бит скорости 1	Бит скорости 1	10.12
Бит скорости 2	Бит скорости 2	10.13
Сигнал готовности схемы	Гот.	10.14
Сигнал разрешения	Разреш.	10.15

С учетом принятой адресации уравнения приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Уравнения в адресах контроллера

Сигнал	Уравнения в адресах программируемого контроллера
Гот	$10.14 = 0.12 \cdot 0.26 \cdot 0.27 \cdot 0.42 \cdot 0.13 \cdot 0.30 \cdot 0.31 \cdot 0.43$
Разреш.	$10.15 = 10.14 \cdot (0.04 + 0.20 + 0.34 + 10.15)$
Вправо	$10.00 = 10.14 \cdot 0.05 \cdot 0.01 \cdot \overline{10.01}$
Влево	$10.01 = 10.14 \cdot 0.06 \cdot 0.03 \cdot \overline{10.00}$
Бит скорости1	$10.02 = 10.14 \cdot (0.07 + 0.11) \cdot 0.00 \cdot 0.02 \cdot \overline{0.10}$
Бит скорости2	$10.03 = 10.14 \cdot (0.10 + 0.11) \cdot 0.00 \cdot 0.02$
Вперед	$10.04 = 10.14 \cdot 0.21 \cdot 0.15 \cdot \overline{10.05}$
Назад	$10.05 = 10.14 \cdot 0.22 \cdot 0.17 \cdot \overline{10.04}$
Бит скорости1	$10.06 = 10.14 \cdot (0.23 + 0.25) \cdot 0.14 \cdot 0.16 \cdot \overline{0.24}$
Бит скорости2	$10.07 = 10.14 \cdot (0.24 + 0.25) \cdot 0.14 \cdot 0.16$
Вверх	$10.10 = 10.14 \cdot 0.35 \cdot 0.33 \cdot \overline{10.11}$
Вниз	$10.11 = 10.14 \cdot 0.36 \cdot 10.10$
Бит скорости1	$10.12 = 10.14 \cdot (0.37 + 0.41) \cdot 0.32 \cdot \overline{0.40}$

По полученным уравнениям составлена релейно-контактная схема, которая приведена на рисунке 7.2.

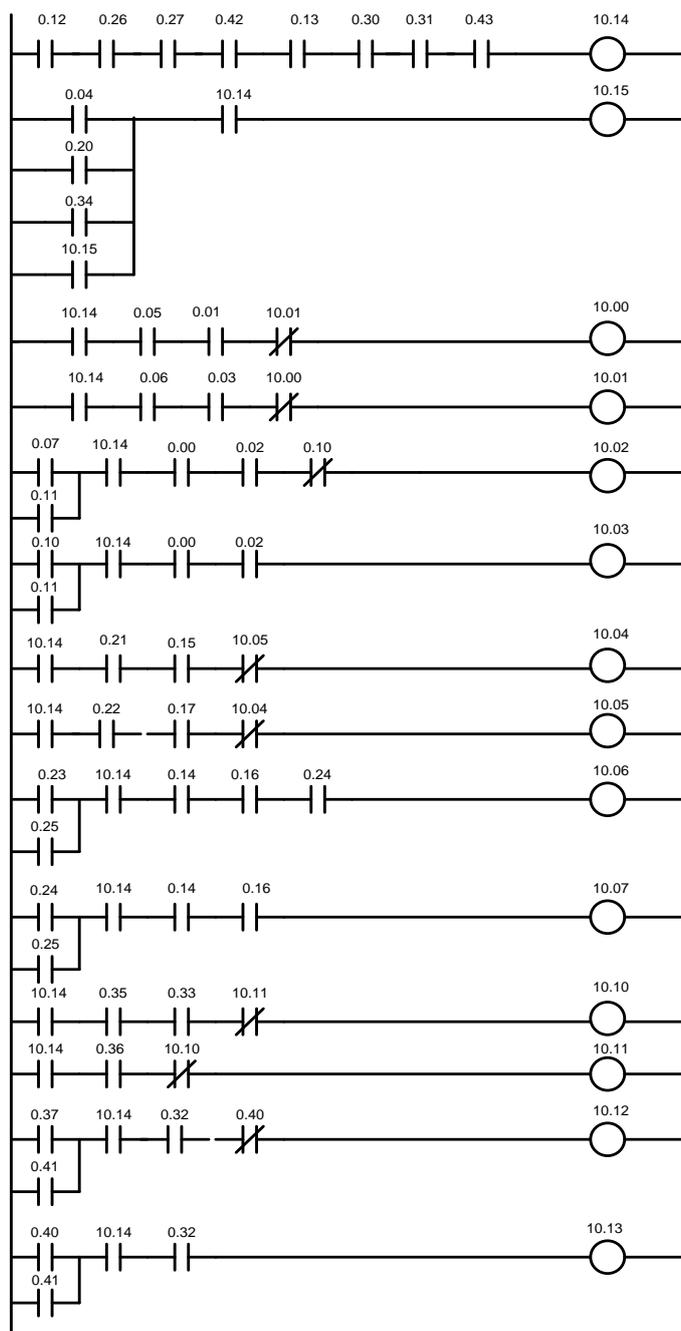


Рисунок 7.2 – Программа автоматизации в виде релейно-контактной схемы

Выводы по разделу семь. Выбран и запрограммирован ПЛК

8 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Схема электрическая принципиальная приведена на рисунке 8.1 для примера силовой части электропривода.

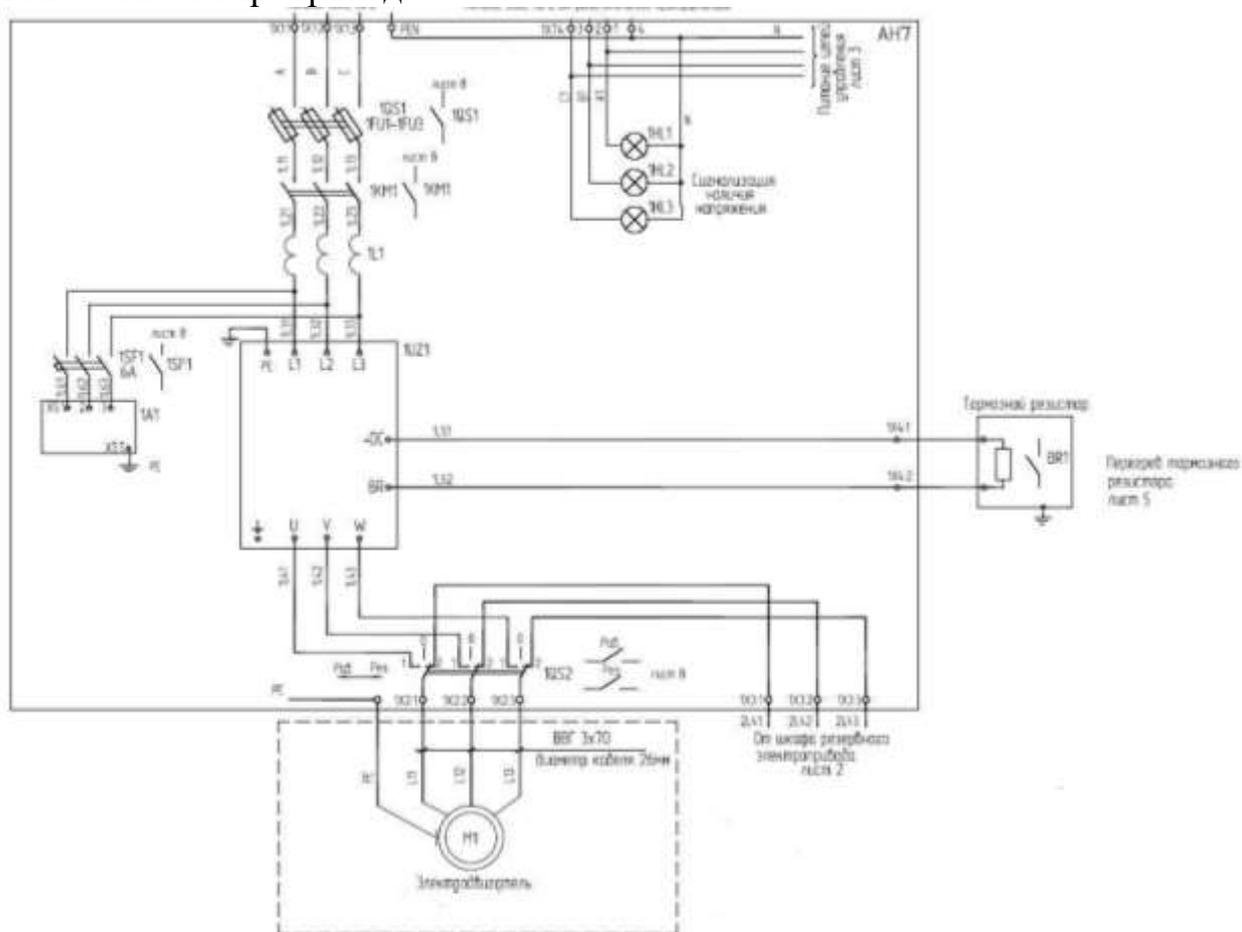


Рисунок 8.1 – Схема электрическая принципиальная (фрагмент)

Выводы по разделу восемь. Приведен фрагмент схемы электрической принципиальной электропривода.

9 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

На основе технологического процесса объекта, определенных входных и выходных команд, с учетом выбора программируемого контроллера составлена схема функциональная, которая представлена на рисунке 9.1.

В соответствии с указанными обозначениями входные сигналы для привода тележки будут задаваться таким образом:

- 1) снижение скорости 1;
- 2) точная остановка 1;
- 3) снижение скорости 2;
- 4) точная остановка 2;
- 5) 0 положение тележки;
- 6) вправо скорость 1;
- 7) влево скорость 1;
- 8) скорость 2;
- 9) скорость 3;
- 10) скорость 4;
- 11) готовность ПЧ;
- 12) тепловое реле 2.

Входные сигналы для привода моста крана:

- 1) снижение скорости 1;
- 2) точная остановка 1;
- 3) снижение скорости 2;
- 4) точная остановка 2;
- 5) 0 положение моста крана;
- 6) вперед скорость 1;
- 7) назад скорость 1;
- 8) скорость 2;
- 9) скорость 3;
- 10) скорость 4;
- 11) готовность ПЧ1;
- 12) тепловое реле 3;
- 13) готовность ПЧ2;
- 14) тепловое реле 4.

Входные сигналы для привода подъема:

- 1) снижение скорости;

										13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							65

- 2) точная остановка;
- 3) 0 положение подъема;
- 4) вверх скорость 1;
- 5) вниз скорость 1;
- 6) скорость 2;
- 7) скорость 3;
- 8) скорость 4;
- 9) готовность ПЧ;
- 10) тепловое реле 1.

Система автоматизации состоит из следующих элементов:

- пульт управления (ПУ);
- программируемый контроллер OMRON SYSMAS CPM1A-30CDR-D-V1;
- система управления двигателя тележки – СУМ1;
- система управления двигателя моста крана – СУМ3;
- система управления двигателя подъема– СУДМ2;
- система управления (СУ) двигателями – шкаф, который включает в себя: преобразователи частоты приводов тележки, моста крана, подъема, тепловые реле, защищающие двигатели от перегрева и т.д.

На пульте управления расположены:

- кнопочная станция управления для тележки;
- кнопочная станция управления для моста крана;
- кнопочная станция управления для подъема;
- светодиод готовности схемы;
- светодиод разрешения.

На функциональной схеме (рисунок 9.1) показана взаимосвязь некоторых элементов системы автоматизации. Основным элементом является программируемый контроллер OMRON SYSMAS CPM1A-30CDR-D-V1.

										Лист
										66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ					

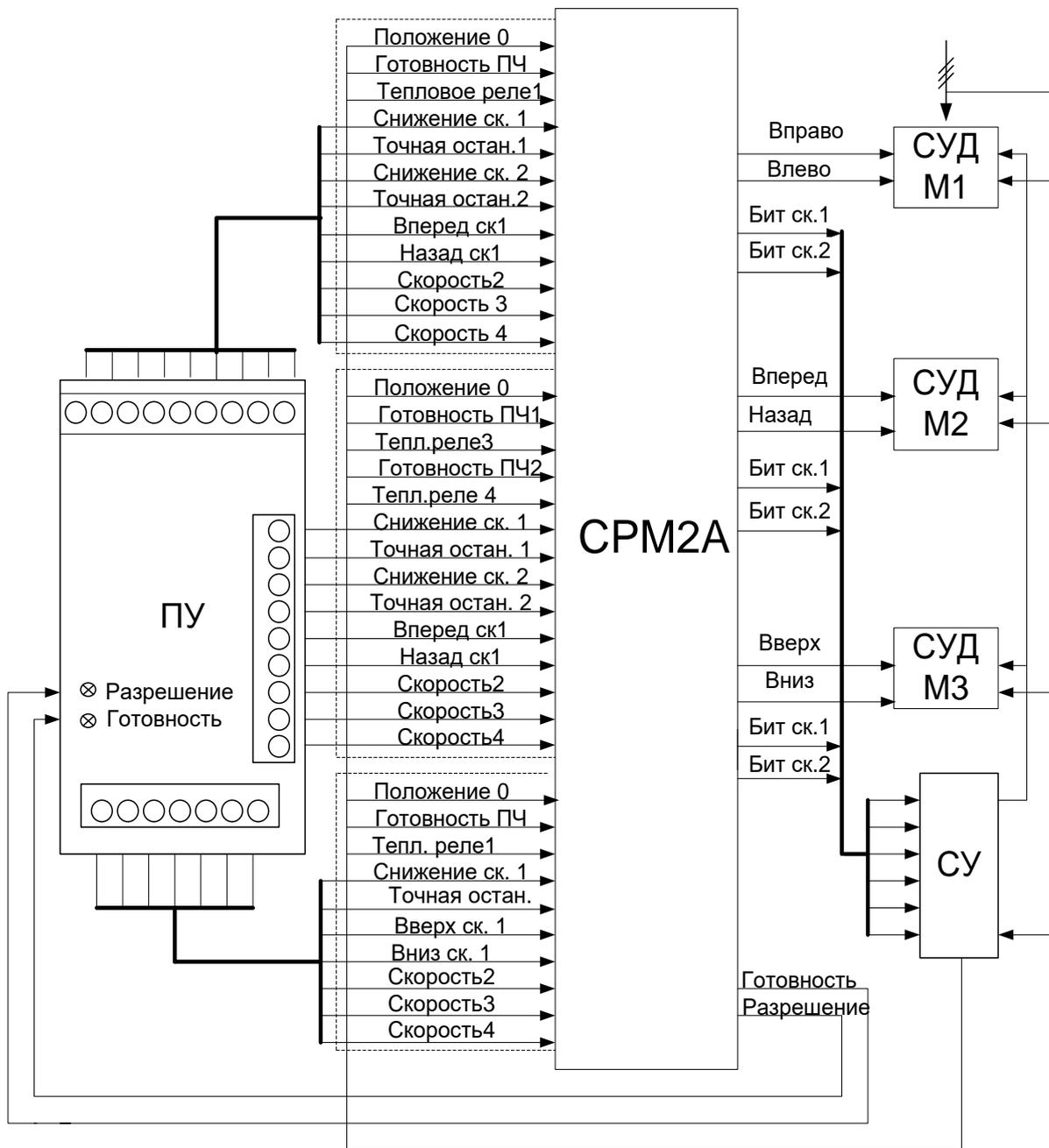


Рисунок 9.1 – Функциональная схема

Выводы по разделу девять. Приведена схема электрическая функциональная

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрено использование современных частотно-регулируемых электроприводов на базе преобразователей частоты фирмы «Emerson» , ранее это Control Techniques (Unidrive) при модернизации мостового крана.

В проекте были выбраны асинхронные двигатели с короткозамкнутыми роторами серии АМТК. Выбраны преобразователи частоты, рассмотрены их достоинства и недостатки. Представлены схемы подключений силовой части электропривода, программа управления для контроллера.

Кроме того, была рассчитана экономическая часть.

Графическая часть включает в себя 6 листов формата А3 (в Приложении):

- Кинематические схемы и нагрузочные диаграммы электропривода;
- Автоматизация системы;
- Настройки преобразователя частоты;
- Переходные процессы;
- Внешний вид шкафа управления;
- Принципиальная схема электропривода;

На основании выполненной работы можно сделать вывод, что возможно внедрение частотно-регулируемого электропривода в производстве, промышленности и других отраслях, где используются грузоподъемные машины. Главные преимущества привода: плавный пуск и использование короткозамкнутых асинхронных двигателей, что значительно снижает затраты на обслуживание приводов и увеличивает срок службы оборудования.

									Лист
									68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Браславский, И.Я. Современные тенденции применения частотно-регулируемых асинхронных электроприводов и энергосбережения / И.Я. Браславский // Электротехника. – 1998. - №8
- 2 Авербах, И.А. Электропривод и автоматизация промышленных установок как средство энергосбережения / И.А. Авербах, Е.И. Барац, И.Я. Браславский.– 2002. - №4
- 3 Ильичев, А.С. Разработка комплексного критерия качества для выбора преобразователя частоты / А.С. Ильичев, А.И. Надев, А.С. Решетов // Сборник тезисов докладов. - электротехника. – 1998. - №8
- 4 Кацман, М.Н. Электрические машины / М.Н. Кацман. – 3-е изд., испр. – М.: Академия, 2001. – 463с., ил.
- 5 Москаленко, В.В. Электрический привод / В.В. Москаленко. - М.: Высшая школа, 1991. – 430с., ил.
- 6 Меньков, А.В. Теоретические основы автоматизации управления / А.В. Меньков // Издательство Оникс. – 2005. – 640с.

					13.03.02.2021.106.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69