

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

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

Автоматизированный электропривод моторизованного слайдера
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ПО ПРОГРАММЕ БАКАЛАВРИАТА
«ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»
ЮУрГУ–13.03.02.2020.219 ВКР

Руководитель, должность
_____ / Д.А. Сычёв /
« ____ » _____ 2020 г.
Автор работы,
бакалавр группы П-477
_____ / Д.А. Флоря /
« ____ » _____ 2020 г.
Нормоконтролер, должность
_____ / Т.А. Функ /
« ____ » _____ 2020 г.

Челябинск 2020

АННОТАЦИЯ

Флоря Д.А. Автоматизация моторизированного слайдера. – Челябинск: ЮУрГУ, Э; 2020, 96 с., 20 ил., 38 табл., библиографический список –12 наим., 2 листа чертежей ф. А3

В выпускной квалификационной работе рассматриваются вопросы проектирования сервопривода современного устройства, предназначенного для фото-видеооператоров, моторизированного слайдера. Осуществляется выбор элементов силовой части и элементов управления. На основании технических данных выбранного электродвигателя осуществлен выбор специализированного оборудования для управления электродвигателем и всей системой управления моторизированным слайдером, а также построены статические характеристики и разработан алгоритм системы автоматизации устройства. Разработана принципиальная схема.

					ЮУрГУ-13.03.02.2020.219.01ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
Разраб.	Флоря Д.А.				Автоматизированный электропривод моторизированного слайдера	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.	Сычёв Д.А.						4	96
Реценз					ЮУрГУ Кафедра «АЭП»			
Н. Контр.	Функ Т.А.							
Утверд.	Григорьев М.А.							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 МОТОРИЗИРОВАННЫЙ СЛАЙДЕР	8
1.1 Назначение.....	8
1.2 Устройство и принцип действия	8
1.3 Требования.....	9
2 ВЫБОР СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ	11
2.1 Исходные данные.....	11
2.2 Расчет мощности электродвигателя.....	11
2.3 Выбор типа электродвигателя	37
2.4 Выбор редуктора	38
2.5 Приведение статических моментов и моментов инерции к валу двигателя..	39
2.6 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности.....	48
2.7 Выбор основных элементов	51
3 РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	54
4 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	59
5 ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ	61
6 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ	64
7 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ .	73
8 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ.	74
9 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ	81
10 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	82
11 ЛЕСТНИЧНЫЕ ДИАГРАММЫ.....	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	91
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	92

ВВЕДЕНИЕ

Бурный технический прогресс в области электротехники и электроники, наблюдающийся в последние годы, привел к существенным изменениям в теории и практике электрического привода. Эти изменения прежде всего касаются создания новой элементной базы и технических средств автоматизации, быстрого расширения областей и объемов применения регулируемого электропривода. В последнее время все больший интерес и развитие получает управляемый синхронный привод, являющийся самым перспективным видом электропривода по многим важным показателям. Существенные изменения произошли также в развитии автоматических систем управления электроприводами. Все шире используются управляющие вычислительные машины различных уровней, развиваются работы по прямому цифровому управлению электроприводами.

Система электропривода сопровождает нас повсеместно. Помимо огромных промышленных электроприводов, используемых на заводах и т.д. существуют и маленькие привода, которые так же используются во многих сферах деятельности. В своей выпускной квалификационной работе я решила подойти к творческой сфере, не только же рассматривать промышленность.

Слово Slide переводится как «скольжение», и это слово наилучше описывает этот слайдер. Такая своего рода мини рельса со скользящей по ней площадкой, на которую ставится дополнительно голова или непосредственно сама камера. Прежде всего, хотелось бы отметить, что такой инструмент позволит вам не беспокоиться о дрожании камеры и постоянном контроле над техникой фотосъемки во время длительных сессий. Так что же позволяет нам делать слайдер? По сути, он замещает столь популярное в кино панорамирование с помощью рельс и телеги, но используя значительно меньший ресурс. Не нужно будет раскладывать длинные рельсы по полу, потом устанавливать на них телегу катать ее туда-сюда.

А будет простая мобильная конструкция, с которой можно справиться самостоятельно и которую возможно будет использовать абсолютно в разных пространствах. Даже если вы не являетесь профессиональным фотографом, наверняка вам нравятся плавные переходы между кадрами фильма или видеоролика. Именно для этой цели и было создано устройство, позволяющее снимать и фотографировать происходящее на протяжении нескольких подряд кадров. При этом видео выглядит очень плавным, а картинка действительно живой.

Целью данной работы является разработка электропривода для механизма передвижения каретки и разработка алгоритма автоматизации системы.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.219.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

1 МОТОРИЗИРОВАННЫЙ СЛАЙДЕР

1.1 Назначение

Моторизированный слайдер предназначен для съемки с движущейся точки, а также для плавного перемещения каретки по направляющим при видео и фотосъемке.

1.2 Устройство и принцип действия

На рисунке 1.1 представлена схема моторизированного слайдера

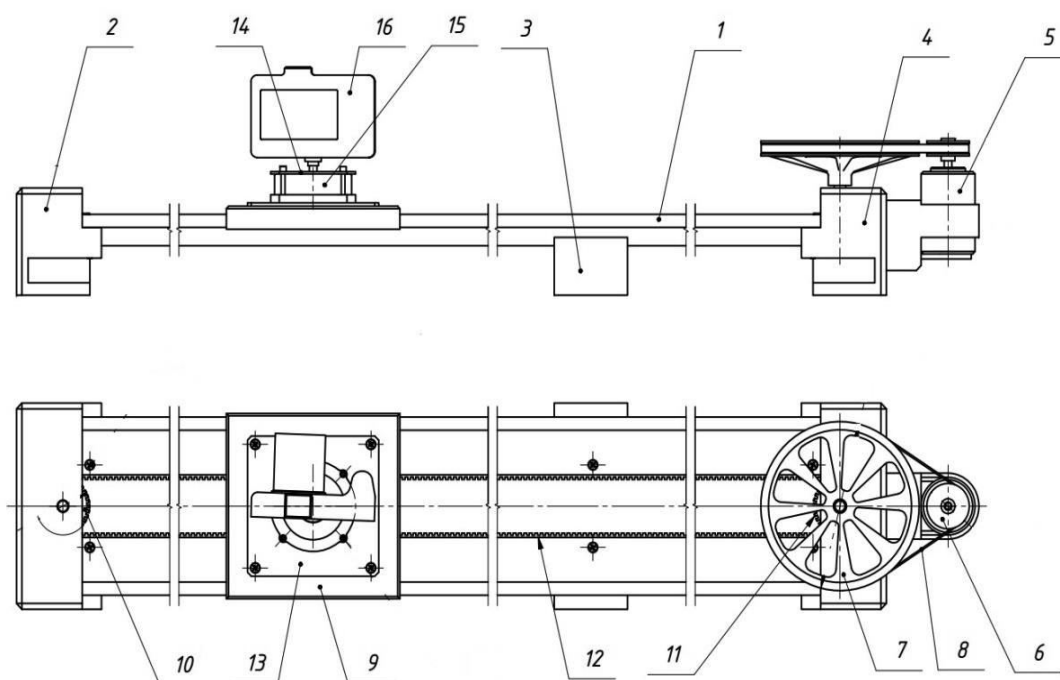


Рисунок 1.1 – Структурная схема моторизированного слайдера

Моторизированный слайдер состоит из подвижной каретки 9, изготовленной из алюминия и перемещаемой по направляющим 1. На каретке, на основании 13 установлена моторизированная голова 15, предназначенная для поворота камеры, а на крышке 14, моторизированной головы, устанавливается, собственно, сама камера 16. Направляющие установлены на опорах 2,3,4 для устойчивого положения самого слайдера.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.219.01ПЗ

Лист

8

Каретка перемещается по направляющим за счет движения зубчатого ремня 12, который огибает шестерни 10,11. Двигатель 5 приводит в движение ведущий шкив 6, который в свою очередь через ремень 8, приводит в движение ведомый шкив 7. Ведомый шкив, помимо того, что он приводит в движение шестерню, так он еще и нужен для ручного управления, если вдруг двигатель выйдет из строя, а каретку нужно будет передвинуть к оператору.

Управление механизмами осуществляется автоматически по средствам системы автоматического управления на основе микроконтроллера. Оператор только задает режим работы и нужное перемещение для видеосъемки.

Цикл работы включает в себя перемещение каретки с начального положения до конечного и обратно. Движение каретки происходит на заданной скорости v_p , в зависимости от участка пути и режима съемки (фото-видеосъемка). После того, как каретка остановилась в конечной точке, она начинает движение в обратном направлении, так же с заданной скоростью на определенных участках.

1.3 Требования

Электрическое оборудование слайдера должно обеспечивать надежную работу, способную работать в условиях высокой влажности, так как система может находиться как внутри помещения, так и на открытом воздухе. В то же время к электрооборудованию предъявляются безопасности обслуживания и простоты эксплуатации.

На направляющих устанавливаются датчики положения и датчики для ограничения хода, воздействующие на электрическую цепь управления. Датчики крайнего правого (КП) и крайнего левого (КЛ) положений ограничивают ход каретки за них. При включении системы в работу каретка с камерой (вне зависимости от начального положения) автоматически перемещается к положению КЛ и останавливается до тех пор, пока не поступит следующая команда оператора. Система работает в режимах фото- и видеосъемки.

Фотосъемка осуществляется в автоматическом режиме в положениях с заранее установленными параметрами (скорость, направление, время остановки). Конкретизация параметров осуществляется оператором с помощью сенсорного монитора.

В работе обеспечить наличие всех необходимых команд и кнопок управления на сенсорном мониторе, а также обеспечить точную остановку каретки в заданных положениях. В целях безопасности, предусмотреть команду для экстренного отключения системы в аварийных ситуациях.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.219.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

2 ВЫБОР СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

2.1 Исходные данные

Таблица 2.1 – Исходные данные для привода моторизированного слайдера

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Масса каретки	$m_{кар}$	кг	4...11.5
Масса камеры	$m_{кам}$	кг	до 9
Диаметр ведущего шкива	D_1	м	0.05
Диаметр ведомого шкива	D_2	м	0.2
Диаметр шестерен	$D_3 - D_4$	м	0.07
Число циклов в час (фото)	$z_{ф}$	1/ч	30
Число циклов в час (видео)	$z_{в}$	1/ч	10
Время работы (видео)	$t_{в}$	с	100
Коэф.трения качения	f	-	0,001
Коэф.трения скольжения	μ	-	0,02
Диаметр ступицы колеса	$d_{ст}$	м	0,01
Диаметр колеса	$d_{к}$	м	0,03
Ускорение	$a_{доп}$	м/с ²	1
Длина пути	L	м	2,45

2.2 Расчет мощности электродвигателя

В работе рассматриваются два режима работы- фотосъемка и видеосъемка. Так как для каждого режима разный принцип действия, разная нагрузка, то и расчеты будут отличаться. В последствии будет выбран электродвигатель для наиболее загруженного режима работы. То есть выбираться будет электродвигатель так, чтобы мощности хватило на любой режим работы.

Расчет времени для режима фотосъемки.

Полный цикл движения каретки- движение в одну сторону и обратно. Для расчета времени мы опираемся на заданные условия путей L , установившейся скорости V_y и среднего допустимого ускорения $a_{доп}$.

Предполагается что разделяем путь каретки на части, каретке необходимо преодолеть определенный путь с заданной определенной скоростью. Расстояния, и скорости представлены в таблице 2.2

Таблица 2.2 – Соотношение пройденного пути и скорости на каждом из участков

Номер участка	Расстояние участка, м	Скорость V , м/с
Движение вперед		
L_1	0,5	$V_1=0,05$
L_2	0,15	$V_1=0,05$
L_3	0,7	$V_2=0,1$
L_4	0,7	$V_2=0,1$
L_5	0,4	$V_1=0,05$
Движение назад		
L_6	1	$V_2=0,1$
L_7	1	$V_1=0,05$
L_8	0,45	$V_1=0,05$

определяем время пуска t_n от 0 до и время торможения t_T от V до остановки.

В режиме движения каретки со скоростью V_1 :

$$t_{п1} = t_{Т1} = \frac{V_1}{a_{доп}}; \quad (1)$$

$$t_{п1} = t_{Т1} = \frac{0,05}{1} = 0,05 \text{ с.}$$

$$t_{п1} = t_{Т1} = t_{п2} = t_{Т2} = t_{п5} = t_{Т5} = t_{п7} = t_{Т7} = t_{п8} = t_{Т8} = 0,05 \text{ с.}$$

Путь пройденный за время пуска и торможения рабочей машины:

$$L_{п1} = L_{т1} = \frac{V_1^2}{2a_{доп}}; \quad (2)$$

$$L_{п1} = L_{т1} = \frac{0,05^2}{2 \cdot 1} = 0,00125 \text{ м.}$$

$$L_{п1} = L_{т1} = L_{п2} = L_{т2} = L_{п5} = L_{т5} = L_{п7} = L_{т7} = L_{п8} = L_{т8} = 0,00125 \text{ м.}$$

Время установившегося режима движения со скоростью V_1 :

$$t_{y1} = \frac{L_1 - (L_{п1} + L_{т1})}{V_1}; \quad (3)$$

$$t_{y1} = \frac{0,5 - (0,00125 + 0,00125)}{0,05} = 9,95 \text{ с.}$$

Время, установившегося режима движения со скоростью V_1 , на втором участке:

$$t_{y2} = \frac{0,15 - (0,00125 + 0,00125)}{0,05} = 2,95 \text{ с.}$$

Время, установившегося режима движения со скоростью V_1 , на пятом участке:

$$t_{y5} = \frac{0,4 - (0,00125 + 0,00125)}{0,05} = 7,95 \text{ с.}$$

Время, установившегося режима движения со скоростью V_1 , на седьмом участке:

$$t_{y7} = \frac{1 - (0,00125 + 0,00125)}{0,05} = 19,5 \text{ с.}$$

Время, установившегося режима движения со скоростью V_1 , на восьмом участке:

$$t_{y8} = \frac{0,45 - (0,00125 + 0,00125)}{0,05} = 8,95 \text{ с.}$$

В режиме движения каретки со скоростью V_2 :

$$t_{п3} = t_{т3} = \frac{0,1}{1} = 0,1 \text{ с.}$$

$$t_{п3} = t_{т3} = t_{п4} = t_{т4} = t_{п6} = t_{т6} = 0,1 \text{ с.}$$

Путь пройденный за время пуска и торможения рабочей машины:

$$L_{п3} = L_{т3} = \frac{V_2^2}{2a_{доп}} = \frac{0,1^2}{2 \cdot 1} = 0,005 \text{ м.}$$

$$L_{п3} = L_{т3} = L_{п4} = L_{т4} = L_{п6} = L_{т6}.$$

Время, установившегося режима движения со скоростью V_2 :

$$t_{y3} = \frac{L_3 - (L_{п3} + L_{т3})}{V_2} = \frac{0,7 - (0,005 + 0,005)}{0,1} = 6,9 \text{ с.}$$

Время, установившегося режима движения со скоростью V_2 на четвертом участке:

$$t_{y4} = \frac{0,7 - (0,005 + 0,005)}{0,1} = 6,9 \text{ с.}$$

Время, установившегося режима движения со скоростью V_2 на шестом участке:

$$t_{y6} = \frac{1 - (0,005 + 0,005)}{0,1} = 9,9 \text{ с.}$$

Полное время работы при фотосъемке

$$t_{\text{работыфото}} = \sum_{i=1}^n t_{\text{пi}} + \sum_{i=1}^n t_{\text{yi}} + \sum_{i=1}^n t_{\text{тi}} , \quad (4)$$

где n - количество рассматриваемых участков, i - номер участка.

Тогда:

$$t_{\text{работыфото}} = 0,55 + 73,45 + 0,55 = 74,55 \text{ с.}$$

Расчет моментов для режима фотосъемки.

Расчет статических моментов.

Статические моменты сопротивления движению в данной рабочей машине создаются силами трения в подшипниках и силами трения качения.

Момент сил трения в подшипниках:

$$M_{\text{ТП1}} = \frac{m \cdot d_{\text{ст}} \cdot \mu \cdot g}{2}, \quad (5)$$

где μ – коэффициент трения скольжения в подшипниках, $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение силы тяжести, m -полная масса, $d_{\text{ст}}$ - диаметр ступицы, m - масса нагрузки вычисляется по формуле (6)

$$m = m_{\text{кар}} + m_{\text{кам}} ; \quad (6)$$
$$m = 11,5 + 9 = 20,5 \text{ кг.}$$

тогда $M_{\text{ТП}}$ равен:

$$M_{\text{ТП1}} = \frac{20,5 \cdot 4 \cdot 0,01 \cdot 0,02 \cdot 9,81}{2} = 0,08 \text{ Нм.}$$

Момент сил трения качения опорного ролика по рельсе:

$$M_{ст1} = m \cdot f \cdot g, \quad (7)$$

где f – коэффициент трения качения, м.

Для роликоподшипника $f=0,001$ м. Так как колеса 4, тогда

$$M_{ст1} = 20,5 \cdot 4 \cdot 0,001 \cdot 9,81 = 0,803 \text{ Нм.}$$

Суммарный момент сил трения с учетом трения в шестернях и на ведомом валу

$$M_{рост1} = (M_{ТП1} + M_{ст1}) \cdot K_p, \quad (8)$$

где K_p - коэффициент, учитывающий трение, принимается равным 1,3.

Тогда:

$$M_{рост1} = (0,08 + 0,803) \cdot 1,3 = 1,15 \text{ Нм.}$$

Расчет динамических моментов рабочей машины в режиме фотосъемки

Для определения динамических моментов рабочей машины рассчитывают статические моменты инерции рабочей машины (рабочего органа). В данной рабочей машине момент инерции определяется моментом инерции шестерен.

Определяем момент инерции рабочей машины на каждом этапе.

$$J_{ро} = 2 \cdot J_{шестерни} + \frac{m \cdot v_y^2}{2}, \quad (9)$$

где

$$J_{шестерни} = m \cdot \frac{R3^2}{2}, \quad (10)$$

где $R3$ - радиус шестерни.

Тогда

$$J_{\text{шестерни}} = 20,5 \cdot \frac{0,035^2}{2} = 0,013 \text{ м} \cdot \text{кг}^2.$$

Отсюда определяем момент инерции рабочей машины на первом участке:

$$J_{\text{po1}} = 2 \cdot J_{\text{шестерни}} + \frac{m \cdot v_1^2}{2} = 2 \cdot 0,013 \frac{20,5 \cdot 0,05^2}{2} = 0,051 \text{ м} \cdot \text{кг}^2.$$

Моменты инерции на остальных участках представлены в таблице 2.3

Таблица 2.3 – Моменты инерции на каждом участке движения

Обозначение	Величина, м · кг ²
J_{po1}	0,051
J_{po2}	0,051
J_{po3}	0,128
J_{po4}	0,128
J_{po5}	0,051
J_{po6}	0,128
J_{po7}	0,051
J_{po8}	0,051

При заданной величине допустимого ускорения $a_{\text{доп}} = 1 \text{ м/с}^2$ для каждого участка работы рабочего органа определяем динамические моменты.

Динамический момент определяется по формуле:

$$M_{\text{родин}} = \frac{J_{\text{po}} \cdot 2 \cdot a_{\text{доп}}}{D3}; \quad (11)$$

$$M_{\text{родин1}} = \frac{J_{\text{po1}} \cdot 2 \cdot a_{\text{доп}}}{D3} = \frac{0,051 \cdot 2 \cdot 1}{0,07} = 1,45 \text{ Нм.}$$

$$M_{\text{родин1}} = M_{\text{родин2}} = M_{\text{родин5}} = M_{\text{родин7}} = M_{\text{родин8}} = 1,45 \text{ Нм.}$$

$$M_{\text{родин3}} = \frac{J_{\text{роз}} \cdot 2 \cdot a_{\text{доп}}}{D3} = \frac{0,128 \cdot 2 \cdot 1}{0,07} = 3,646 \text{ Нм.}$$

$$M_{\text{родин3}} = M_{\text{родин4}} = M_{\text{родин6}} = 3,646 \text{ Нм.}$$

Расчет полных моментов в режиме фотосъемки.

Определяем полный момент рабочей машины на каждом участке работы.

$$M_{\text{ро}} = M_{\text{рост}} \pm M_{\text{родин}} ; \quad (12)$$

Определяем полный момент рабочего органа на каждом участке. Так как на участках 1-2-5-7-8 моменты динамические и статический одинаковы, следовательно, и полный момент на каждом участке будет одинаков. То же самое и с участками 3-4-6.

Полный момент для участков 1-2-5-7-8.

Режим пуска ($M_{\text{родин}} > 0$):

$$M_{\text{ро11}} = M_{\text{рост}} + M_{\text{родин1}} = 1,15 + 1,45 = 2,6 \text{ Нм.}$$

Установившейся режим ($M_{\text{родин}} = 0$):

$$M_{\text{ро12}} = M_{\text{рост1}} = 1,15 \text{ Нм.}$$

Режим торможения ($M_{\text{родин}} < 0$):

$$M_{\text{ро13}} = M_{\text{рост1}} - M_{\text{родин1}} = 1,15 - 1,45 = -0,299 \text{ Нм.}$$

Полный момент для участков 3-4-6.

Режим пуска ($M_{\text{родин}} > 0$):

$$M_{\text{ро31}} = M_{\text{рост1}} + M_{\text{родин3}} = 1,15 + 3,646 = 4,796 \text{ Нм.}$$

Установившейся режим ($M_{\text{родин}} = 0$):

$$M_{\text{ро32}} = M_{\text{рост1}} = 1,15 \text{ Нм.}$$

Режим торможения ($M_{\text{родин}} < 0$):

$$M_{\text{розз}} = M_{\text{рост1}} - M_{\text{родинз}} = 1,15 - 3,646 = -2,496 \text{ Нм.}$$

Результаты расчетов для каждого участка движения каретки приведены в таблицах 2.4.-2.7.

Таблица 2.4 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

Участок		Вперед					
		1			2		
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Установившийся режим	Торможение	Пуск	Установившийся режим	Торможение
Скорость, м/с	V_{PO}		0,05			0,05	
Время работы, с	t_{PO}	0,05	9,95	0,05	0,05	2,95	0,05
Путь, м	$L \cdot 10^{-3}$	1,25	497,5	1,25	1,25	147,5	1,25
Моменты, Нм							
–сил трения скольжения в подшипниках	$M_{\text{ТП1}}$	0,08					
–сил трения качения	$M_{\text{ст1}}$	0,803					
Статический момент, Нм	$M_{\text{рост1}}$	1,15					
Момент инерции, кгм ²	J_{PO}	0,051			0,051		
Динамический момент, Нм	$M_{\text{родин}}$	1,45			1,45		
Суммарный момент, Нм	M_{PO}	2,6	1,15	- 0,299	2,6	1,15	- 0,299

Таблица 2.5 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

Участок		ВПЕРЕД					
		3			4		
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Установившийся режим	Торможение	Пуск	Установившийся режим	Торможение
Скорость, м/с	V_{PO}		0,1			0,1	
Время работы, с	t_{PO}	0,1	6,9	0,1	0,1	6,9	0,1
Путь, м	$L \cdot 10^{-3}$	5	690	5	5	690	5
Моменты, Нм							
–сил трения скольжения в подшипниках	$M_{ТП1}$	0,08					
–сил трения качения	$M_{СТ1}$	0,803					
Статический момент, Нм	$M_{РОСТ1}$	1,15					
Момент инерции, кгм ²	J_{PO}	0,128			0,128		
Динамический момент, Нм	$M_{РОДИН}$	3,646			3,646		
Суммарный момент, Нм	M_{PO}	4,79 6	1,15	- 2,496	4,79 6	1,15	- 2,496

Таблица 2.6 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

Участок		ВПЕРЕД			НАЗАД		
		5			6		
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Установившийся режим	Торможение	Пуск	Установившийся режим	Торможение
Скорость, м/с	V_{PO}		0,05			0,1	
Время работы, с	t_{PO}	0,05	7,95	0,05	0,1	9,9	0,1
Путь, м	$L \cdot 10^{-3}$	1,25	397,5	1,25	5	990	5
Моменты, Нм							
–сил трения скольжения в подшипниках	$M_{ТП1}$	0,08					
–сил трения качения	$M_{СТ1}$	0,803					

Продолжение таблицы 2.6

		ВПЕРЕД			НАЗАД		
Участок		5			6		
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Установившийся режим	Торможение	Пуск	Установившийся режим	Торможение
Статический момент, Нм	$M_{рост1}$	1,15					
Момент инерции, кгм ²	$J_{ро}$	0,051			0,128		
Динамический момент, Нм	$M_{родиH}$	1,45			3,646		
Суммарный момент, Нм	$M_{ро}$	2,6	1,15	- 0,299	4,7 96	1,15	- 2,496

Таблица 2.7 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

		НАЗАД					
Участок		7			8		
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Установившийся режим	Торможение	Пуск	Установившийся режим	Торможение
Скорость, м/с	$V_{ро}$		0,05			0,05	
Время работы, с	$t_{ро}$	0,05	19,5	0,05	0,05	8,95	0,05
Путь, м	$L \cdot 10^{-3}$	1,25	997,5	1,25	1,25	447,5	1,25
Моменты, Нм							
–сил трения скольжения в подшипниках	$M_{тп1}$	0,08					
–сил трения качения	$M_{ст1}$	0,803					
Статический момент, Нм	$M_{рост1}$	1,15					
Момент инерции, кгм ²	$J_{ро}$	0,051			0,051		
Динамический момент, Нм	$M_{родиH}$	1,45			1,45		
Суммарный момент, Нм	$M_{ро}$	2,6	1,15	- 0,299	2,6	1,15	- 0,299

По результатам расчетов с учётом времени пуска, торможения и установившегося режима строим нагрузочную диаграмму моментов и скорости рабочего органа для фотосъемки. Диаграммы представлены на рисунках 2.1-2.2.

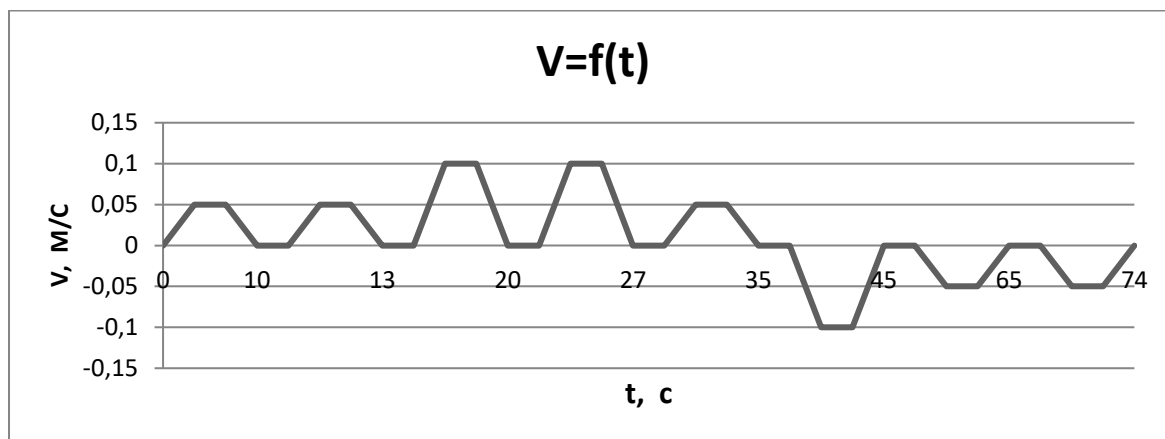


Рисунок 2.1 – Нагрузочная диаграмма скорости рабочего органа для режима фотосъемки

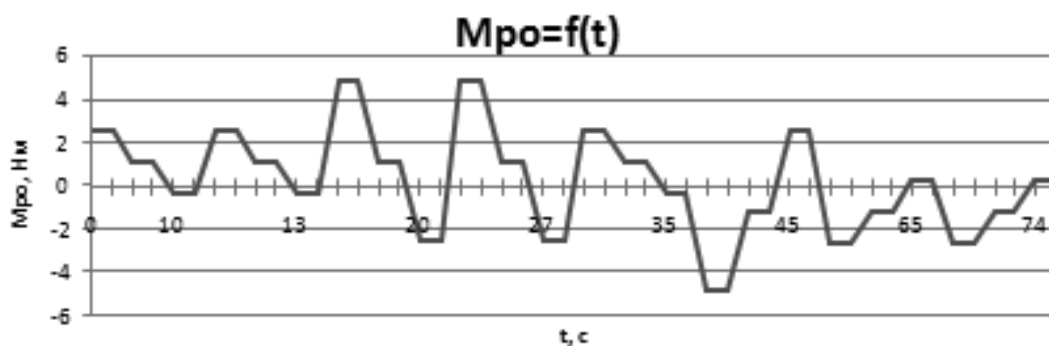


Рисунок 2.2 – Нагрузочная диаграмма суммарного момента рабочего органа для режима фотосъемки

Расчет времени для режима видеосъемки

Расчеты для видеосъемки производятся аналогично с расчетами для режима фотосъемки, отличие лишь в режиме работы электродвигателя. При видеосъемке режим работы S9 - режим работы электродвигателя с неперiodическими изменениями, нагрузки и частоты вращения.

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.219.01ПЗ

Лист

22

Предполагается что разделяем путь каретки на части. Каретке необходимо преодолеть определенный путь с заданной определенной скоростью. Расстояния, и скорости представлены в таблице 2.8

Таблица 2.8 – Соотношение пройденного пути и скорости на каждом из участков

Номер участка	Расстояние участка, м	Скорость V , м/с
Движение вперед		
L_1	0,5	$V_3=0,16$
L_2	0,7	$V_1=0,02$
L_3	0,25	$V_2=0,1$
L_4	1	$V_4=0,2$
Движение назад		
L_5	0,5	$V_3=0,16$
L_6	1,45	$V_2=0,1$
L_7	0,5	$V_1=0,02$

определяем время пуска t_n от 0 до V и время торможения t_T от V до остановки:

$$t_{\text{пвидео}} = \frac{|V_k - V_n|}{a_{\text{доп}}}; \quad (13)$$

где $V_k - V_n$ - разность конечной и начальной скорости на определенном участке.

Тогда

$$t_{\text{п1видео}} = \frac{V_3}{a_{\text{доп}}} = \frac{0,16}{1} = 0,16 \text{ с.}$$

$$t_{п2\text{видео}} = \frac{|V_1 - V_3|}{a_{\text{доп}}} = \frac{0,16 - 0,02}{1} = 0,14 \text{ с.}$$

$$t_{п3\text{видео}} = \frac{|V_2 - V_1|}{a_{\text{доп}}} = \frac{0,1 - 0,02}{1} = 0,08 \text{ с.}$$

$$t_{п4\text{видео}} = \frac{|V_4 - V_2|}{a_{\text{доп}}} = \frac{0,2 - 0,1}{1} = 0,1 \text{ с.}$$

Время торможения на 4 участке

$$t_{т4\text{видео}} = \frac{V_4}{a_{\text{доп}}} = \frac{0,2}{1} = 0,2 \text{ с.}$$

Расчет времени при движении назад

$$t_{п5\text{видео}} = \frac{V_3}{a_{\text{доп}}} = \frac{0,16}{1} = 0,16 \text{ с.}$$

$$t_{п6\text{видео}} = \frac{|V_3 - V_4|}{a_{\text{доп}}} = \frac{0,1 - 0,16}{1} = 0,06 \text{ с.}$$

$$t_{п7\text{видео}} = \frac{|V_2 - V_1|}{a_{\text{доп}}} = \frac{0,1 - 0,02}{1} = 0,08 \text{ с.}$$

Время торможения на 7 участке

$$t_{т7\text{видео}} = \frac{V_1}{a_{\text{доп}}} = \frac{0,02}{1} = 0,02 \text{ с.}$$

$$L_{\text{пвидео}} = \frac{(V_{\text{к}} - V_{\text{н}})^2}{2a_{\text{доп}}}; \quad (14)$$

Исходя из формулы (14), рассчитаем путь пройденный за время пуска и торможения рабочей машины на каждом участке:

$$L_{п1\text{видео}} = \frac{(V3 - 0)^2}{2a_{\text{доп}}} = \frac{(0,16 - 0)^2}{2} = 0,013 \text{ м.}$$

$$L_{п2\text{видео}} = \frac{(V1 - V3)^2}{2a_{\text{доп}}} = \frac{(0,02 - 0,16)^2}{2} = 0,013 \text{ м}$$

$$L_{п3\text{видео}} = \frac{(V2 - V1)^2}{2a_{\text{доп}}} = \frac{(0,1 - 0,02)^2}{2} = 0,0048 \text{ м.}$$

$$L_{п4\text{видео}} = \frac{(V4 - V2)^2}{2a_{\text{доп}}} = \frac{(0,2 - 0,1)^2}{2} = 0,015 \text{ м.}$$

$$L_{т4\text{видео}} = \frac{(0 - V4)^2}{2a_{\text{доп}}} = \frac{(0,2)^2}{2} = 0,02 \text{ м.}$$

Движение назад

$$L_{п5\text{видео}} = \frac{(V3 - 0)^2}{2a_{\text{доп}}} = \frac{(0,16 - 0)^2}{2} = 0,013 \text{ м.}$$

$$L_{п6\text{видео}} = \frac{(V2 - V3)^2}{2a_{\text{доп}}} = \frac{(0,1 - 0,16)^2}{2} = 0,0078 \text{ м.}$$

$$L_{п7\text{видео}} = \frac{(V1 - V2)^2}{2a_{\text{доп}}} = \frac{(0,02 - 0,1)^2}{2} = 0,048 \text{ м.}$$

$$L_{T7\text{видео}} = \frac{(0 - V1)^2}{2a_{\text{доп}}} = \frac{(0,02)^2}{2} = 0,0002 \text{ м.}$$

Время, установившегося режима :

$$t_{\text{увидео}} = \frac{L_{\text{видео}} - (L_{\text{пвидео}} - L_{T\text{видео}})}{Vn}, \quad (15)$$

где Vn - скорость в установившемся режиме на каждом участке.

Тогда при движении вперед:

$$t_{y1\text{видео}} = \frac{0,5 - (0,013)}{0,16} = 3,045 \text{ с.}$$

$$t_{y2\text{видео}} = \frac{0,7 - (0,013)}{0,02} = 34,37 \text{ с.}$$

$$t_{y3\text{видео}} = \frac{0,25 - (0,0048)}{0,1} = 2,452 \text{ с.}$$

$$t_{y4\text{видео}} = \frac{1 - (0,015 + 0,02)}{0,2} = 4,825 \text{ с.}$$

при движении назад:

$$t_{y5\text{видео}} = \frac{0,5 - (0,013)}{0,16} = 3,045 \text{ с.}$$

$$t_{y6\text{видео}} = \frac{1,45 - (0,0078)}{0,1} = 14,422 \text{ с.}$$

$$t_{y7\text{видео}} = \frac{0,5 - (0,0048 + 0,0002)}{0,02} = 24,75 \text{ с.}$$

Полное время работы при видеосъемке

$$t_{\text{работывидео}} = \sum_i^n t_{\text{пвидео}i} + \sum_i^n t_{\text{увидео}i} + \sum_i^n t_{\text{твидео}i}, \quad (16)$$

где n- количество рассматриваемых участков, i - номер участка.

Тогда

$$t_{\text{работывидео}} = 0,78 + 86,909 + 0,22 = 87,909 \text{ с.}$$

Для определения динамических моментов рабочей машины рассчитывают статические моменты инерции рабочей машины (рабочего органа). В данной рабочей машине момент инерции определяется моментом инерции шестерен.

Определяем момент инерции рабочей машины на каждом этапе.

$$J_{\text{ровидео}} = 2 \cdot J_{\text{шестерни}} + \frac{m \cdot (V_k - V_n)^2}{2}; \quad (17)$$

По формуле (17) производим расчет моментов инерции для каждого участка. Данные расчета приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Моменты инерции на каждом участке движения для режима видеосъемки

Обозначение	Величина, м · кг ²
$J_{\text{ро1видео}}$	0,288
$J_{\text{ро2видео}}$	0,283
$J_{\text{ро3видео}}$	0,124
$J_{\text{ро4видео}}$	0,333
$J_{\text{ро5видео}}$	0,288
$J_{\text{ро6видео}}$	0,185
$J_{\text{ро7видео}}$	0,124
$J_{\text{ро71видео}}$	0,029
$J_{\text{ро41видео}}$	0,435

Где $J_{p041\text{видео}}$ и $J_{p071\text{видео}}$ моменты инерции при торможении на участках 4 и 7 соответственно.

При заданной величине допустимого ускорения $a_{\text{доп}} = 1 \text{ м/с}^2$ для каждого участка работы рабочего органа определяем динамические моменты. Динамический момент определяется по формуле (11).

$$M_{\text{родин1видео}} = \frac{J_{p01\text{видео}} \cdot 2 \cdot a_{\text{доп}}}{D3} = \frac{0,288 \cdot 2 \cdot 1}{0,07} = 8,215 \text{ Нм.}$$

Остальные моменты динамические рассчитываются аналогично, расчетные данные приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Моменты динамические на каждом участке движения для режима видеосъемки

Обозначение	Величина, м · кг ²
$M_{\text{родин1видео}}$	8,215
$M_{\text{родин2видео}}$	8,097
$M_{\text{родин3видео}}$	3,529
$M_{\text{родин4видео}}$	9,503
$M_{\text{родин5видео}}$	8,215
$M_{\text{родин6видео}}$	5,286
$M_{\text{родин7видео}}$	3,529
$M_{\text{родин41видео}}$	12,432
$M_{\text{родин71видео}}$	0,835

Расчет полных моментов в режиме видеосъемки.

Определяем по формуле (12) полный момент рабочей машины на каждом участке работы.

Полный момент для 1 участка.

Режим пуска ($M_{\text{родин}} > 0$):

$$M_{\text{ро11видео}} = M_{\text{рост1}} + M_{\text{родин1видео}} = 1,15 + 8,215 = 9,365 \text{ Нм.}$$

Установившейся режим ($M_{\text{родин}} = 0$):

$$M_{\text{ро12видео}} = M_{\text{рост1}} = 1,15 \text{ Нм.}$$

Полный момент для 2 участка.

Режим пуска ($M_{\text{родин}} > 0$):

$$M_{\text{ро21видео}} = M_{\text{рост1}} + M_{\text{родин2видео}} = 1,15 + 8,097 = 9,248 \text{ Нм.}$$

Установившейся режим ($M_{\text{родин}} = 0$):

$$M_{\text{ро22видео}} = M_{\text{рост1}} = 1,15 \text{ Нм.}$$

Полный момент для 3 участка.

Режим пуска ($M_{\text{родин}} > 0$):

$$M_{\text{ро31видео}} = M_{\text{рост1}} + M_{\text{родин3видео}} = 1,15 + 3,529 = 4,679 \text{ Нм.}$$

Установившейся режим ($M_{\text{родин}} = 0$):

$$M_{\text{ро32видео}} = M_{\text{рост1}} = 1,15 \text{ Нм.}$$

Полный момент для 4 участка.

Режим пуска ($M_{\text{родин}} > 0$):

$$M_{\text{ро41видео}} = M_{\text{рост}} + M_{\text{родин4видео}} = 1,15 + 9,503 = 10,654 \text{ Нм.}$$

Установившейся режим ($M_{\text{родин}} = 0$):

$$M_{\text{ро42видео}} = M_{\text{РОСТ1}} = 1,15 \text{ Нм.}$$

Режим торможения ($M_{\text{родин}} < 0$):

$$M_{\text{ро43}} = M_{\text{рост1}} - M_{\text{родин41видео}} = 1,15 - 12,432 = -11,281 \text{ Нм.}$$

Полный момент для 5 участка.

Режим пуска ($M_{\text{родин}} > 0$):

$$M_{\text{ро51видео}} = M_{\text{рост1}} + M_{\text{родин5видео}} = 1,15 + 8,215 = 9,365 \text{ Нм.}$$

Установившейся режим ($M_{\text{родин}} = 0$):

$$M_{\text{ро52видео}} = M_{\text{рост1}} = 1,15 \text{ Нм.}$$

Полный момент для 6 участка.

Режим пуска ($M_{\text{родин}} > 0$):

$$M_{\text{ро61видео}} = M_{\text{рост1}} + M_{\text{родин6видео}} = 1,15 + 5,286 = 6,436 \text{ Нм.}$$

Установившейся режим ($M_{\text{родин}} = 0$):

$$M_{\text{ро62видео}} = M_{\text{рост1}} = 1,15 \text{ Нм.}$$

Полный момент для 7 участка.

Режим пуска ($M_{\text{родин}} > 0$):

$$M_{\text{ро71видео}} = M_{\text{рост1}} + M_{\text{родин7видео}} = 1,15 + 3,529 = 4,679 \text{ Нм.}$$

Установившейся режим ($M_{\text{родин}} = 0$):

$$M_{\text{ро72видео}} = M_{\text{рост1}} = 1,15 \text{ Нм.}$$

Режим торможения ($M_{\text{родин}} < 0$):

$$M_{\text{ро73}} = M_{\text{рост1}} - M_{\text{родин71видео}} = 1,15 - 0,835 = 0,316 \text{ Нм.}$$

Результаты расчетов для каждого участка движения каретки приведены в таблицах 2.11–2.14.

Таблица 2.11 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

Участок		Вперед			
		1		2	
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Установившийся режим	Пуск	Установившийся режим
Скорость, м/с	V_{PO}		0,16		0,02
Время работы, с	t_{PO}	0,16	3,045	0,14	34,37
Путь, м	$L \cdot 10^{-3}$	13	487	13	687
Моменты, Нм					
–сил трения скольжения в подшипниках	$M_{ТП1}$	0,08			
–сил трения качения	$M_{ст1}$	0,803			
Статический момент, Нм	$M_{рост1}$	1,15			
Момент инерции, кгм ²	$J_{ровидео}$	0,288		0,283	
Динамический момент, Нм	$M_{родинвидео}$	8,215		8,097	
Суммарный момент, Нм	$M_{ровидео}$	9,365	1,15	9,248	1,15

Таблица 2.12 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

Участок		Вперед				
		3		4		
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Установившийся режим	Пуск	Установившийся режим	Торможение
Скорость, м/с	$V_{POвидео}$		0,1		0,2	
Время работы, с	$t_{POвидео}$	0,08	2,452	0,1	4,825	0,2
Путь, м	$L \cdot 10^{-3}$	4,8	245,2	15	965	20
Моменты, Нм						
–сил трения скольжения в подшипниках	$M_{ТП1}$	0,08				

Продолжение таблицы 2.12

		Вперед				
Участок		3		4		
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Установившийся режим	Пуск	Установившийся режим	Торможение
–сил трения качения	$M_{ст1}$	0,803				
Статический момент, Нм	$M_{рост1}$	1,15				
Момент инерции, кгм ²	$J_{ровидео}$	0,124		0,333		0,435
Динамический момент, Нм	$M_{родинвидео}$	3,529		9,503		12,432
Суммарный момент, Нм	$M_{ровидео}$	4,679	1,15	10,654	1,15	-11,281

Таблица 2.13 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

		Назад			
Участок		5		6	
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Установившийся режим	Пуск	Установившийся режим
Скорость, м/с	$V_{РОВИДЕО}$		0,16		0,1
Время работы, с	$t_{РОВИДЕО}$	0,16	3,045	0,06	14,422
Путь, м	$L \cdot 10^{-3}$	13	487	7,8	1442,2
Моменты, Нм					
–сил трения скольжения в подшипниках	$M_{ТП1}$	0,08			
–сил трения качения	$M_{ст1}$	0,803			
Статический момент, Нм	$M_{рост1}$	1,15			
Момент инерции, кгм ²	$J_{ровидео}$	0,288		0,185	
Динамический момент, Нм	$M_{родинвидео}$	8,215		5,286	

Продолжение таблицы 2.13

Участок		Назад			
		5		6	
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Установившийся режим	Пуск	Установившийся режим
Суммарный момент, Нм	$M_{\text{ровидео}}$	9,365	1,15	6,436	1,15

Таблица 2.14 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

Участок		Назад		
		7		
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Установившийся режим	Торможение
Скорость, м/с	$V_{\text{РОВидео}}$		0,02	
Время работы, с	$t_{\text{РОВидео}}$	0,08	24,75	0,02
Путь, м	$L \cdot 10^{-3}$	4,8	495	0,2
Моменты, Нм				
–сил трения скольжения в подшипниках	$M_{\text{ТП}}$		0,08	
–сил трения качения	$M_{\text{ст1}}$		0,803	
Статический момент, Нм	$M_{\text{рост1}}$		1,15	
Момент инерции, кгм ²	$J_{\text{ровидео}}$	0,124		0,029
Динамический момент, Нм	$M_{\text{родинвидео}}$	3,529		0,835
Суммарный момент, Нм	$M_{\text{ровидео}}$	4,679	1,15	0,316

По результатам расчетов с учетом времени пуска, торможения и установившегося режима строим нагрузочную диаграмму моментов и скорости рабочего органа для фотосъемки. Диаграммы представлены на рисунках 2.3 –2.4.

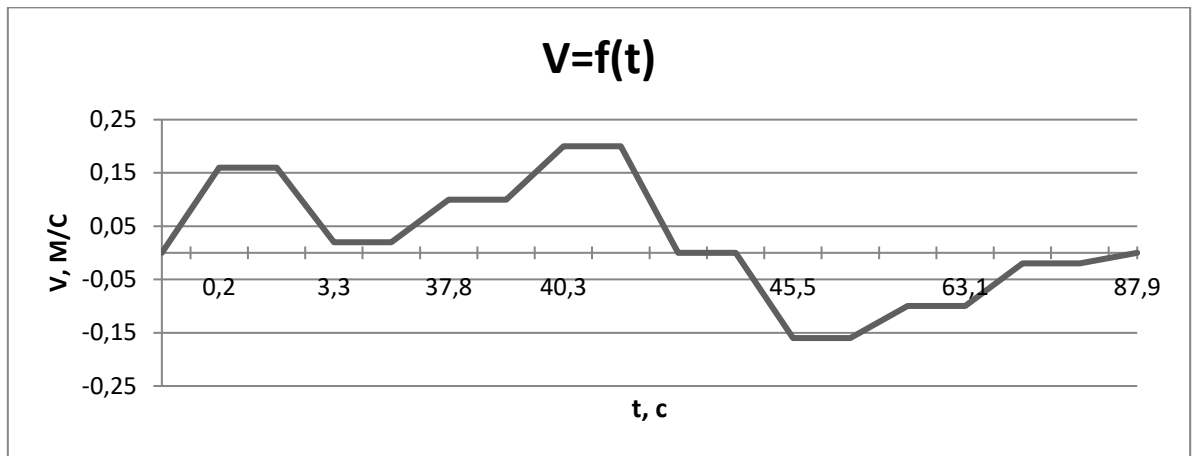


Рисунок 2.3 – Нагрузочная диаграмма скорости рабочего органа для режима видеосъемки.

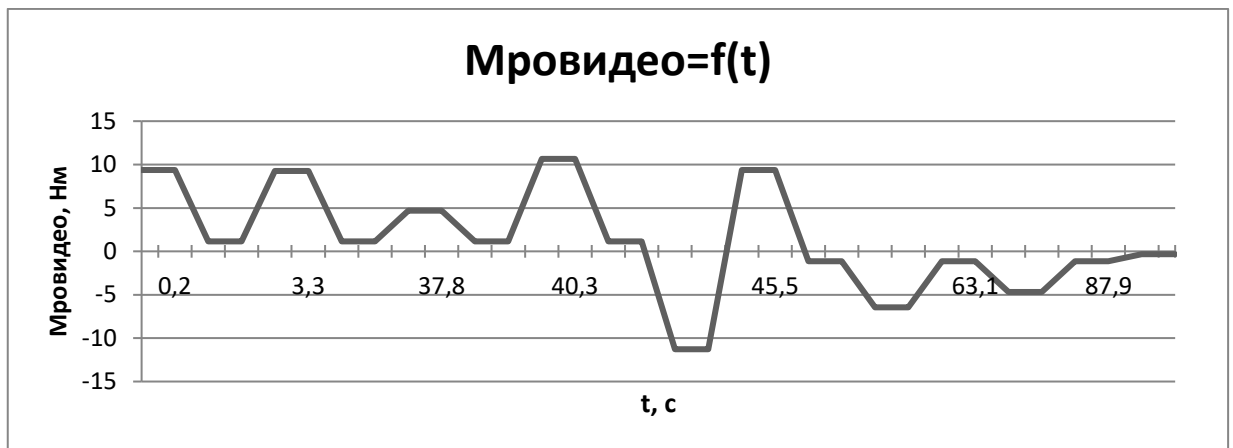


Рисунок 2.4 – Нагрузочная диаграмма суммарного момента рабочего органа для режима видеосъемки.

Предварительный выбор мощности двигателя

На основании построенных нагрузочных диаграмм моментов рабочей машины в разных режимах рассчитаем среднеквадратичное значение момента:

$$M_{\text{СРКВ}} = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^m M_K^2 \cdot t_K}{\sum_{K=1}^m t_K}}, \quad (18)$$

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.

$$M_{\text{кфото}} = \sum_i^n M_{\text{poi1}} \cdot t_{ni} + \sum_i^n M_{\text{poi2}} \cdot t_{yi} + \sum_i^n M_{\text{poi3}} \cdot t_{mi}, \quad (19)$$

где n - количество рассматриваемых участков, i - номер участка.

$$M_{\text{кфото}} = 107,7 \text{ Нм.}$$

Тогда:

$$M_{\text{срквфото}} = \sqrt{\frac{M_{\text{кфото}}}{t_{\text{работыфото}}}} = \sqrt{\frac{107,7}{74,55}} = 1,202 \text{ Нм.}$$

$$M_{\text{квидео}} = \sum_i^n M_{\text{повидеоi1}} \cdot t_{ni} + \sum_i^n M_{\text{повидеоi2}} \cdot t_{yi} + \sum_i^n M_{\text{повидеоi3}} \cdot t_{mi}, \quad (20)$$

где n - количество рассматриваемых участков, i - номер участка.

$$M_{\text{квидео}} = 197,7 \text{ Нм.}$$

Отсюда

$$M_{\text{сркввидео}} = \sqrt{\frac{M_{\text{квидео}}}{t_{\text{работывидео}}}} = \sqrt{\frac{197,7}{87,909}} = 1,5 \text{ Нм.}$$

Время одного цикла.

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

где $Z_{\text{фото}}$ - число циклов машины в режиме фото в час (10).

$Z_{\text{видео}}$ - число циклов машины в режиме видео в час (30).

Время цикла фоторежима равно:

$$t_{\text{цфото}} = \frac{3600}{10} = 360 \text{ с.}$$

Время цикла видео режима равно:

$$t_{\text{цвидео}} = \frac{3600}{30} = 120 \text{ с.}$$

Продолжительность включения $\text{ПВ}_{\text{факт}}$ по времени t_k на всех участках m :

$$\text{ПВ}_{\text{факт}} = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \sum_{k=1}^m t_k; \quad (22)$$

$$\text{ПВ}_{\text{фактфото}} = \frac{1}{t_{\text{цфото}}} \cdot t_{\text{работыфото}}; \quad (23)$$

$$\text{ПВ}_{\text{фактфото}} = \frac{74,55}{360} = 0,21 = 21\%.$$

Следовательно, $\text{ПВ}_{\text{кат}}$ – ближайшее каталожное значение относительной продолжительности включения в режиме фотосъемки для электродвигателя равен 25%.

$$\text{ПВ}_{\text{фактвидео}} = \frac{1}{t_{\text{цвидео}}} \cdot t_{\text{работывидео}}; \quad (24)$$

$$\text{ПВ}_{\text{фактвидео}} = \frac{87,909}{120} = 0,73 = 73\%.$$

$\text{ПВ}_{\text{кат}}$ – ближайшее каталожное значение относительной продолжительности включения в режиме видеосъемки для электродвигателя равен 100%.

Рассчитываем мощность двигателя:

$$P_{\text{дв}} = \kappa_1 M_{\text{срКВ}} \frac{2v_0}{D} \sqrt{\frac{ПВ_{\text{факт}}}{ПВ_{\text{кат}}}}; \quad (25)$$

где κ_1 – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, обусловленные вращающимися элементами электропривода (двигатель, редуктор), а также потери в редукторе, (принимаем $\kappa_1=1,5$);

v_0 – основная скорость движения РО при работе двигателя на естественной механической характеристике;

D_B – диаметр шестерни, м;

$M_{\text{срКВ}}$ – среднеквадратичный момент, Нм;

$ПВ_{\text{ФАКТ}}$ – фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого электропривода;

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

По формуле (25) рассчитаем мощность двигателя для разных режимов работы.

$$P_{\text{дв1фото}} = 1,5 \cdot 1,202 \cdot \frac{2 \cdot 0,1}{0,07} \cdot \sqrt{\frac{21}{25}} = 1,76 \text{ Вт.}$$

$$P_{\text{дв1видео}} = 1,5 \cdot 1,5 \cdot \frac{2 \cdot 0,2}{0,07} \cdot \sqrt{\frac{73}{100}} = 7,148 \text{ Вт.}$$

2.3 Выбор типа электродвигателя

Исходя из полученных расчетных значений мощности выбираем большую мощность, так чтобы в режиме видео двигатель работал нормально.

Так как необходимо обеспечить точное позиционирование, поэтому выбираю серводвигатель на постоянных магнитах.

В таблице 2.15 приведены основные каталожные данные серводвигателя АРМ-SA01А

Таблица 2.15 – Основные каталожные данные двигателя АРМ-SA01А

Мощность, кВт	Ток, А	Скорость, об/мин	Максимальный момент, Нм	Номинальный момент, Нм	Момент инерции двигателя, кг·м ²	cos φ	КПД, %
0,1	1,65	3000	0,955	0,318	4,5·10 ⁻⁶	0,8	80

Угловая скорость определяется по формуле:

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}; \quad (26)$$

$$\omega_n = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3000}{60} = 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

2.4 Выбор редуктора

Редуктор выбираем исходя из условий:

$$\begin{aligned} i &\leq i_{\text{РАСЧ}}, \\ M_n &\geq M_{\text{НДВ}}, \\ P_n &\geq P_{\text{НДВ}}. \end{aligned}$$

Определим передаточное число редуктора:

$$j_p = \frac{\omega_n}{\omega_m}, \quad (27)$$

где

$$\omega_m = \frac{v_{\text{max}} \cdot R_2}{R_1 \cdot R_3}, \quad (28)$$

где R1-радиус ведомого шкива, R2-радиус ведущего шкива, R1-радиус шестерни, V_{\max} -максимальная скорость при видеосъемке.

$$\omega_m = \frac{0,2 \cdot 0,1}{0,025 \cdot 0,035} = 22,8 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Тогда:

$$j_p = \frac{314}{22,8} = 13,7.$$

Выбираю редуктор NMRV-0,25-10 с передаточным числом $j = 10$. Передаточное число редуктора должно быть меньше рассчитанного значения, для предотвращения механических повреждений редуктора, поломки зубцов.

Таблица 2.16 – Основные технические характеристики редуктора NMRV-0,25-10

Передаточное число	Скорость, об/мин	Крутящий момент, Нм	КПД редуктора η	Мощность, Вт
10	140	3,4	0,83	60

2.5 Приведение статических моментов и моментов инерции к валу двигателя

Проведем расчет приведенных статических моментов системы электропривод – рабочая машина.

Статические моменты рабочей машины, приведённые к валу двигателя:

$$M_{pc} = \frac{M_{\text{рост1}}}{j_p \cdot j_{\text{пр}}}, \quad (29)$$

где j_p - передаточное число редуктора, $M_{\text{рост1}}$ -статический момент рабочего органа, $j_{\text{пр}}$ - передаточное число ременной передачи, рассчитывается по формуле (31)

$$J_{\text{пр}} = \frac{D_2}{D_1}, \quad (30)$$

где D2- диаметр ведомого шкива, D1- диаметр ведущего шкива.

Тогда

$$J_{\text{пр}} = \frac{0,2}{0,05} = 4.$$

Отсюда

$$M_{pc} = \frac{0,288}{10 \cdot 4} = 7,19 \cdot 10^{-3} \text{ Нм.}$$

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

Статический момент на валу в двигательном режиме:

$$M_{двс} = \frac{M_{pc}}{\eta_p \cdot \eta_{пр}}, \quad (31)$$

где η_p - кпд редуктора, $\eta_{пр}$ - кпд ременной передачи.

Тогда

$$M_{двс} = \frac{7,19 \cdot 10^{-3}}{0,83 \cdot 0,9} = 9,625 \cdot 10^{-3} \text{ Нм.}$$

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

$$M_{твс} = M_{pc} \cdot \eta_p \cdot \eta_{пр}; \quad (32)$$

$$M_{твс} = 7,9 \cdot 10^{-3} \cdot 0,83 \cdot 0,9 = 5,371 \cdot 10^{-3} \text{ Нм.}$$

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

В двигательном режиме

$$M_{дс} = M_{двс} + M_{хх}; \quad (33)$$

В тормозном режиме

$$M_{тс} = M_{твс} - M_{хх}, \quad (34)$$

где $M_{хх}$ - потери момента холостого хода, рассчитывается по формуле:

$$M_{хх} = M_{эл.магн} - M_n, \quad (35)$$

где $M_{\text{эл.магн}}$ -электромагнитный момент, который рассчитываем по формуле

$$M_{\text{эл.магн}} = \frac{60 \cdot P_n \cdot K_c}{2 \cdot \pi \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot n_n}, \quad (36)$$

где P_n - номинальная мощность двигателя, K_c -коэффициент, учитывающий разницу между ЭДС и напряжением (принимаем равным 1,2), $\eta_{\text{дв}}$ - КПД двигателя, n_n - номинальная скорость двигателя.

Отсюда

$$M_{\text{эл.магн}} = \frac{60 \cdot 100 \cdot 1,2}{2 \cdot \pi \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 3000} = 0,597 \text{ Нм.}$$

Тогда

$$M_{\text{хх}} = 0,597 - 0,318 = 0,279 \text{ Нм.}$$

Отсюда следует, что:

$$M_{\text{дс}} = 9,625 \cdot 10^{-3} + 0,279 = 0,288 \text{ Нм.}$$

$$M_{\text{тс}} = 5,371 \cdot 10^{-3} - 0,279 = -0,273 \text{ Нм.}$$

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

$$J = J_{\text{дв}} \cdot J_{\text{пр}} + \frac{J_{\text{б}}}{j_p^2 \cdot j_{\text{пр}}^2} + \frac{J_{\text{м}}}{j_p^2} + \frac{J_{\text{ш}} \cdot 2}{j_p^2 \cdot j_{\text{пр}}^2}, \quad (37)$$

где $J_{\text{дв}}$ - момент инерции двигателя, $J_{\text{пр}}$ - приведенный момент инерции, $j_p, j_{\text{пр}}$ - передаточное число редуктора и ременной передачи соответственно,

$J_{\text{б}}$ - момент инерции большого (ведомого шкифа) рассчитывается по формуле:

$$J_{\text{б}} = m \cdot \frac{R_2^2}{2}, \quad (38)$$

где m - масса нагрузки, R_2 -радиус ведомого шкива.

$$J_{\text{б}} = 20,5 \cdot \frac{0,1^2}{2} = 0,103 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$J_{\text{м}}$ - момент инерции малого (ведущего шкива) рассчитывается по формуле:

$$J_m = m \cdot \frac{R_1^2}{2}, \quad (39)$$

где R_1 -радиус ведущего шкива.

$$J_m = 20,5 \cdot \frac{0,025^2}{2} = 6,406 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$J_{ш}$ - момент инерции шестерни рассчитывается по формуле:

$$J_{ш} = m \cdot \frac{R_3^2}{2}, \quad (40)$$

где R_3 -радиус шестерни. Так как шестерен в системе две, тогда момент инерции шестерни в (38) умножается на 2.

$$J_{ш} = 20,5 \cdot \frac{0,035^2}{2} = 0,013 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Приведенный момент инерции рассчитывается для каждого участка, по формуле:

$$J_{пр} = \frac{J_{ровидео}}{(j_p \cdot j_{пр})^2}, \quad (41)$$

где $J_{ровидео}$ - моменты инерции на каждом участке, которые приведены в таблице 2.9.

Тогда:

$$J_{пр1} = \frac{J_{р01видео}}{(j_p \cdot j_{пр})^2} = \frac{0,288}{(10 \cdot 4)^2} = 1,797 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Отсюда:

$$J_1 = 4,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,797 \cdot 10^{-4} + \frac{0,103}{10^2 \cdot 4^2} + \frac{6,406 \cdot 10^{-4}}{10^2} + \frac{0,013 \cdot 2}{10^2 \cdot 4^2} = 3,28 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Все остальные приведенные и суммарные моменты рассчитываются аналогично, их результаты приведены в таблице 2.17

Таблица 2.17 – Приведенные и суммарные моменты инерции на каждом участке

Номер участка	Приведенный момент $J_{пр} \cdot 10^{-4}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	Суммарный момент $J \cdot 10^{-4}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
1	1,797	3,28
2	1,771	3,255
3	0,772	2,255
4	2,079	3,562
4.1 (при торможении)	2,719	4,203
5	1,797	3,28
6	1,156	2,64
7	0,772	2,255
7.1 (при торможении)	0,183	1,666

Для каждого этапа работы электропривода определяем значение установившейся скорости по формуле:

$$\omega_c = \frac{j_p \cdot j_{np} \cdot 2v_{\text{видео}}}{D_3}, \quad (42)$$

где $V_{\text{видео}}$ - скорость на установившемся режиме, которые приведены в нагрузочной диаграмме на рисунке 2.3.

Тогда:

$$\omega_{c1} = \frac{10 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 0,16}{0,07} = 182,857 \text{ рад/с.}$$

$$\omega_{c2} = \frac{10 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 0,02}{0,07} = 22,857 \text{ рад/с.}$$

Все следующие скорости рассчитываются аналогично и приведены в таблицах 2.18-2.21

Расчет приведенных динамических моментов на валу двигателя

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot j_p \cdot j_{\text{пр}}}{D_3}; \quad (43)$$

Тогда

$$M_{\text{дин1}} = J_1 \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot j_p \cdot j_{\text{пр}}}{D_3} = 3,28 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{2 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 4}{0,07} = 0,375 \text{ Нм.}$$

Для остальных участков расчет производится аналогично и приведены в таблицах 2.18-2.21.

Требуемые пусковые и тормозные моменты:

$$M_{\text{п}} = M_{\text{дс}} + M_{\text{дин}}, \quad (44)$$

$$M_{\text{т}} = M_{\text{тс}} - M_{\text{дин}}, \quad (45)$$

Исходя из формулы (45) рассчитаем пусковой момент на первом участке. Остальные пусковые моменты будут рассчитаны так же и приведены в таблицах 2.22

$$M_{\text{п1}} = 0,288 + 0,375 = 0,633 \text{ Нм.}$$

Так как в данном режиме у нас всего два тормозных участка, следовательно, присутствуют два тормозных момента на четвертом и седьмом участках:

$$M_{m41} = -0,273 - 0,48 = -0,754 \text{ Нм.}$$

$$M_{m71} = -0,273 - 0,19 = -0,464 \text{ Нм.}$$

Рассчитанные значения установившейся скорости ω_c , а также значение суммарного приведённого момента инерции J , приведённого момента инерции $J_{\text{пр}}$, приведённого статического моментов M_c (двигательного и тормозного режимов работы), приведённого динамического момента $M_{\text{дин}}$ для каждого этапа работы, записываем в таблицу 2.18-2.21

Таблица 2.18 – Результаты расчетов

Приведение к валу двигателя					
Участок		Вперед			
Участок		1		2	
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Установившийся режим	Пуск	Установившийся режим
Скорость, рад/с	ω_c		182,857		22,857
Моменты, Нм					
–без учета потерь в передаче и редукторе	$M_{pc} \cdot 10^{-3}$	7,19			
–с учетом потерь в передаче и редукторе	$M_{bc} \cdot 10^{-3}$	9,625		9,625	
- с учетом потерь на ХХ	M_c	0,288		0,288	
Момент инерции, кгм ²	$J \cdot 10^{-4}$	3,28		3,225	
Динамический момент, Нм	$M_{дин}$	0,375		0,372	

Таблица 2.19 – Результаты расчетов

Приведение к валу двигателя						
Участок		Вперед				
Участок		3			4	
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Установившийся режим	Пуск	Установившийся режим	Торможение
Скорость, рад/с	ω_c		114,286		228,571	
Моменты, Нм						
–без учета потерь в передаче и редукторе	$M_{pc} \cdot 10^{-3}$	7,19				
–с учетом потерь в передаче и редукторе	$M_{bc} \cdot 10^{-3}$	9,625		9,625		5,371
- с учетом потерь на ХХ	M_c	0,288		0,288		- 0,273

Продолжение таблицы 2.19

Приведение к валу двигателя						
Участок		Вперед				
Участок		3		4		
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Установившийся режим	Пуск	Установившийся режим	Торможение
Момент инерции, кгм ²	$J \cdot 10^{-4}$	2,255		3,562	3,562	4,203
Динамический момент, Нм	$M_{дин}$	0,258		0,407	0,407	0,48

Таблица 2.20 – Результаты расчетов

Приведение к валу двигателя					
Участок		Назад			
Участок		5		6	
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Установившийся режим	Пуск	Установившийся режим
Скорость, рад/с	ω_c		182,857		114,286
Моменты, Нм					
–без учета потерь в передаче и редукторе	$M_{рс} \cdot 10^{-3}$	7,19			
–с учетом потерь в передаче и редукторе	$M_{вс} \cdot 10^{-3}$	9,625		9,625	
- с учетом потерь на ХХ	M_c	0,288		0,288	
Момент инерции, кгм ²	$J \cdot 10^{-4}$	3,28		2,64	
Динамический момент, Нм	$M_{дин}$	0,375		0,302	

Таблица 2.21 – Результаты расчетов

Приведение к валу двигателя				
Участок		Назад		
Участок		7		
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Установившийся режим	Торможение
Скорость, рад/с	ω_c		22,857	
Моменты, Нм				
–без учета потерь в передаче и редукторе	$M_{pc} \cdot 10^{-3}$	7,19		
–с учетом потерь в передаче и редукторе	$M_{bc} \cdot 10^{-3}$	9,625	9,625	5,371
- с учетом потерь на ХХ	M_c	0,288	0,288	-0,273
Момент инерции, кгм ²	$J \cdot 10^{-4}$	2,255	2,255	1,666
Динамический момент, Нм	$M_{дин}$	0,258	0,258	0,19

Таблица 2.22 – Пусковые и тормозные моменты на каждом участке

Номер участка	Пусковой момент $M_{п}$, Нм	Тормозной момент $M_{т}$, Нм
1	0,663	
2	0,660	
3	0,546	
4	0,696	-0,754
5	0,663	
6	0,59	
7	0,546	-0,464

Исходя из таблицы 2.22 можно сделать вывод что пусковые и тормозные моменты являются допустимыми так как они не превышают максимального момента ($M_{max}=0,955$ Нм) двигателя.

2.6 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности

Целями предварительной проверки являются:

- уточнение нагрузочных диаграмм момента и скорости двигателя с учётом момента инерции предварительно выбранного двигателя;
- снижение затрат времени на выполнение курсового проекта для случая, когда предварительно выбранный двигатель не проходит по нагреву.

При питании от преобразователя с задатчиком интенсивности средний момент двигателя можно принять равным моменту допустимому по ускорению: при пуске и торможении:

$$M_{cp} = M_{п} = M_{т}. \quad (46)$$

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

- время переходных процессов:

$$t_i = \frac{J \cdot \omega_c}{M_{cp} - M_c}, \quad (47)$$

- время работы с установившейся скоростью:

$$t_y = \frac{\alpha}{\omega_c}, \quad (48)$$

где α – угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения на данном этапе:

$$\alpha = \frac{2 \cdot L_{ровидео} \cdot j_p \cdot j_{np}}{D_3}, \quad (49)$$

где $L_{ровидео}$ – величина перемещения на установившемся режиме:

$$L_{ровидео} = L_{ивидео} - L_{нивидео} - L_{тивидео}, \quad (50)$$

Тогда приведем расчеты для первого участка работы:

$$L_{\text{ро1видео}} = L_{1\text{видео}} - L_{\text{п1видео}} = 0,05 - 0,013 = 0,487 \text{ м.}$$

Угол поворота вала двигателя за время переходного процесса на первом участке

$$\alpha_1 = \frac{2 \cdot 0,487 \cdot 10^4}{0,07} = 556,8 \text{ рад.}$$

Время работы с установившейся скоростью:

$$t_{y1} = \frac{556,8}{182,857} = 3,045 \text{ с.}$$

$$t_1 = \frac{J_1 \cdot \omega_{c1}}{M_{\text{п1}} - M_{\text{дс1}}} = \frac{3,28 \cdot 10^{-4} \cdot 182,857}{0,813 - 0,438} = 0,16 \text{ с.}$$

Результаты расчетов для остальных участков выполнены по выше приведенным формулам и представлены в таблице 2.23

Таблица 2.23 – Результаты расчетов

Участок	1	2	3	4	4.1	5	6	7	7.1
t,с	0,16	0,14	0,08	0,1	0,2	0,16	0,06	0,08	0,02
t _y ,с	3,045	34,37	2,452	4,825	-	3,045	14,422	24,75	-
L _{ровидео} ,М	0,487	0,687	0,245	0,965	-	0,487	1,442	0,495	-
а,рад	556,8	785,6	280,23	1103	-	556,8	1648	565,714	-

$$t_{\text{факт}} = \sum_{i=1}^n t_{\text{пi}} + \sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n t_{\text{Ti}} , \quad (51)$$

где n- количество рассматриваемых участков, i - номер участка.

Тогда

$$t_{\text{факт}} = 0,78 + 86,909 + 0,22 = 87,909 \text{ с} < 120 \text{ с} - t_{\text{рвидео}}.$$

$t_{\text{рвидео}}$ - заданное время работы.

Проверка по производительности пройдена.

Предварительная проверка двигателя по нагреву осуществляется по величине среднеквадратичного момента:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m M_k^2 t_k}{\sum_{k=1}^m t_k}}, \quad (52)$$

где M_k – момент двигателя средний на участке k , $M_{\text{ср}}$;

$$M_{\text{сркв}} = 0,295 \text{ Нм.}$$

Среднеквадратичный момент $M_{\text{сркв}}$ не должен превышать допустимый момент выбранного двигателя $M_{\text{доп}}$: $M_{\text{сркв}} \leq M_{\text{доп}}$.

$$M_{\text{доп}} = M_{\text{н}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{кат}}}{\text{ПВ}_{\text{факт}}}}, \quad (53)$$

где $M_{\text{н}}$ – номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{100}{314,13} = 0,318 \text{ Нм};$$

$\text{ПВ}_{\text{факт}}$ – фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого электропривода, $\text{ПВ}_{\text{факт}} = 73\%$;

$\text{ПВ}_{\text{кат}}$ – ближайшее каталожное значение относительной продолжительности включения для электродвигателя данной серии, $\text{ПВ}_{\text{кат}} = 100\%$.

$$M_{\text{доп}} = 0,318 \cdot \sqrt{\frac{100}{73}} = 0,372 \text{ Нм.}$$

Тогда $0,295 \leq 0,372$.

Двигатель проходит по условиям нагрева.

2.7 Выбор основных элементов

Выбор преобразователя частоты происходит с условием :

$$U_{\text{нпч}} \geq U_{\text{н}} \text{ и } I_{\text{нпч}} \geq I_{\text{н}},$$

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

С учетом рекомендаций $U_{\text{нпч}} \geq U_{\text{н}} = 380\text{В}$, $I_{\text{нпч}} \geq I_{\text{н}} = 1,65\text{ А}$, выбираю преобразователь Delta VFD1A5MS43. Преобразователи частоты серии MS300 имеют интеллектуальное векторное управление, что обеспечивает универсальный режим управления для двигателей. Предназначены для широкого применения в промышленности. Экономия пространства, сокращение времени установки и подключения, а также обеспечение высокой эффективности и стабильности системы. Отличительные особенности:

- Работа с трехфазными асинхронными двигателями и с синхронными двигателями на постоянных магнитах
- Встроенный Modbus (опционально — Profibus DP, DeviceNet, CANopen, Modbus TCP, Ethernet/IP, EtherCAT)
- Функция автоматического энергосбережения
- Работа при температурах до +50 градусов без снижения мощности и до 60 градусов со снижением
- Монтаж «стенка к стенке». Допускается плотная установка при рабочих температурах от -20 до 40 градусов
- Встроенный USB-порт для загрузки и выгрузки прошивок, программ и данных, даже без включения питания
- Встроенный тормозной модуль
- Функция безопасного отключения (STO)
- ПИД-регулятор

Характеристики преобразователя представлены в таблице 2.24

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.219.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		51

Таблица 2.24 – Характеристики преобразователя частоты VFD1A5MS43

Мощность, кВт	0,4
Номинальный ток, А	1,8
Частота питающего напряжения, Гц	50
Встроенный ПИД регулятор	есть
Исполнение	IP20.
Габариты, мм	68x128x129

Сетевой дроссель снижает выбросы тока, вызванные скачками напряжения в сети, а также улучшает форму тока, потребляемого преобразователем частоты. Выбор сетевых дросселей, если производитель не дал рекомендаций, выбирается из условий: $U_{нсдр} \geq U_{нс}$ и $I_{нсдр} \geq I_{н.вх.пч}$,

где $U_{н}$ - номинальное напряжение сети, $I_{н.вх.пч}$ - номинальный выходной ток преобразователя частоты, $U_{нсдр}$ и $I_{нсдр}$ - номинальные линейное напряжение и ток сетевого дросселя.

Тогда из этих условий выбираю сетевой дроссель IR 002, характеристики приведены в таблице 2.25

Таблица 2.25 – Характеристики сетевого дросселя IR 002.

Напряжение, В	220
Номинальный ток, А	3
Индуктивность, мГн	8,4

Выбор моторных дросселей, включаемых на выходе преобразователя частоты, может быть осуществлен по рекомендациям производителя.

В этом случае для конкретной марки преобразователя частоты в технической документации указана конкретная марка моторного дросселя. Такой подход позволяет при правильном выборе преобразователя частоты автоматически правильно выбрать и моторный дроссель.

Выходные моторные дроссели обеспечивают:

- Подавление высокочастотных гармоник в токе двигателя;
- Ограничение амплитуды тока короткого замыкания и снижение его скорости напряжения;
- Компенсируют емкостные токи длинных моторных кабелей;
- Снижают выбросы напряжений на обмотках двигателя

Выбор моторных дросселей, если производитель не дал рекомендаций, выбирается из условий: $U_{\text{нмдр}} \geq U_{\text{н}}$ и $I_{\text{нмдр}} \geq I_{\text{н}}$,

где $U_{\text{н}}$ - номинальное напряжение двигателя, $I_{\text{н}}$ - номинальный ток двигателя, $U_{\text{нмдр}}$ и $I_{\text{нмдр}}$ - номинальные линейное напряжение и ток моторного дросселя.

Из выше представленных условий выбираю моторный дроссель ED3S - 5,40/3, характеристики приведены в таблице 2.26

Таблица 2.26 – Характеристики моторного дросселя ED3S - 5,40/3

Напряжение, В	380
Номинальный ток, А	3
Индуктивность, мГн	5,4

Автоматический выключатель выбирается из условия, что он будет выдерживать перегрузочную способность преобразователя равную 2,7 А. Отсюда выбираем выключатель фирмы IEK, 3А-ВА-47-29, с током 3А. [11]

3 РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Во время переходных процессов происходит изменение ЭДС, токов, напряжений, угловых скоростей роторов и механических моментов вращающихся машин. Одновременно изменяются уровни энергии, запасенной во всех электрических и механических элементах систем. Для проведения исследования этих процессов, которые протекают в реальности, и необходимо создать модели. Математическая модель представляется системой дифференциальных уравнений, обычно упрощенных по сравнению с теми которые, входят или должны были бы входить в общую модель. Расчёты переходных процессов, связанные с оценкой статических и динамических свойств электропривода, начинают с составления дифференциальных уравнений элементов системы электропривода. В данной работе, для того чтобы посмотреть переходные процессы и статические характеристики, используется математическая модель, приведенная на рисунке 3.1.

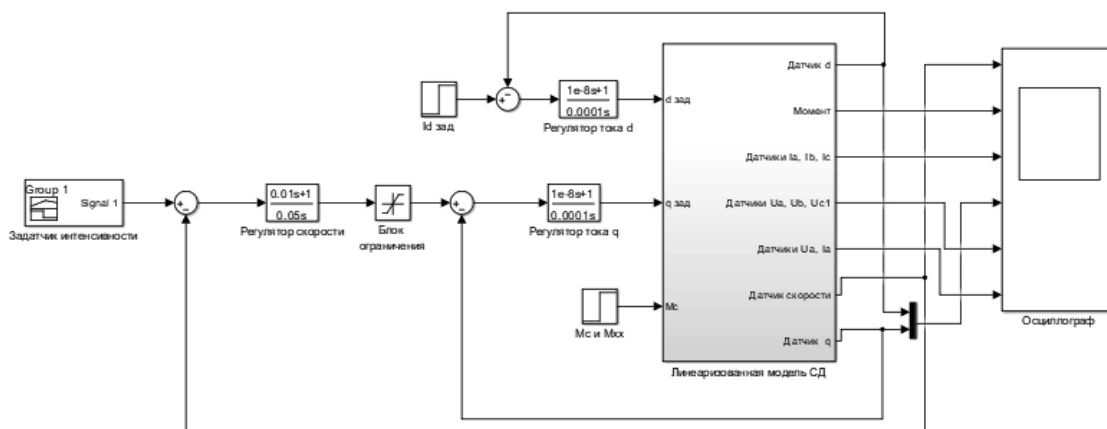


Рисунок 3.1 – Математическая модель

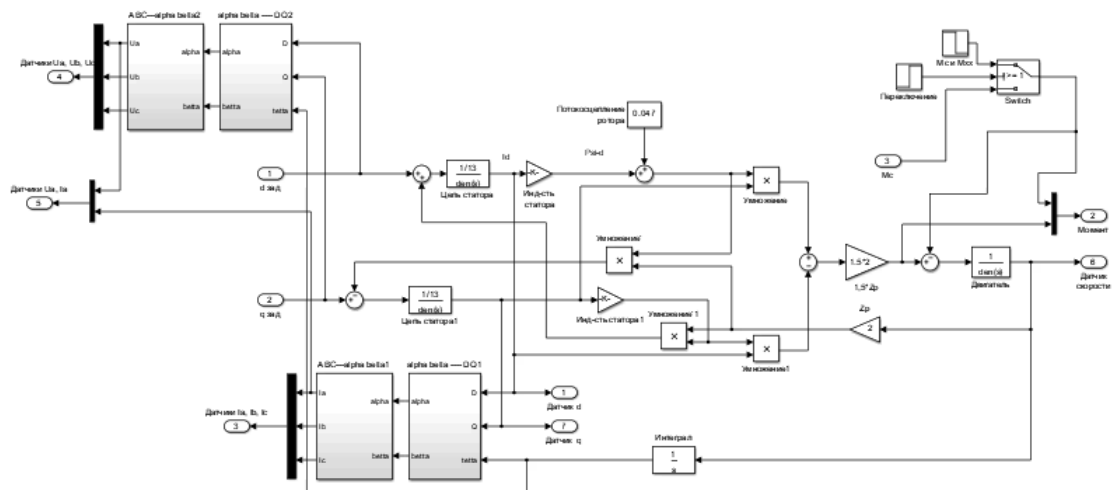


Рисунок 3.2 – Линеаризованная модель СД

У СДПМ на две статорные обмотки, сдвинутые в пространстве на 90° , подаются напряжения переменного тока (сдвинутые по фазе относительно друг друга также на 90°). Протекающие по обмоткам токи создают магнитное поле, которое вращается в пространстве с частотой питающих напряжений. Это поле увлекает за собой постоянный магнит ротора, заставляя последний вращаться. У математической модели СДПМ входными переменными являются питающие напряжения на обмотках, а выходными — угловая скорость ротора. При получении математической модели СДПМ принимается ряд упрощающих допущений:

1) магнитная проводимость магнитопровода бесконечно большая по сравнению с магнитной проводимостью воздуха, из-за чего конфигурация магнитного поля полностью определяется конфигурацией воздушного зазора и все электромагнитные процессы протекают в воздушном зазоре между статором и ротором;

2) отсутствуют вихревые токи (поэтому отсутствуют соответствующие им контуры схемы замещения), гистерезис (поэтому собственные индуктивности обмоток не зависят от знака протекающих через них токов) и насыщение (поэтому индуктивности статорных обмоток не зависят от величины протекающих через них токов).

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.219.01ПЗ

Лист

55

На рисунке 3.3 изображена векторная диаграмма, поясняющая процессы, происходящие в двигателе. Будем рассматривать их в системе dq, ось d которой ориентирована по оси ротора. Ротор двигателя, являющийся постоянным магнитом, создает потокосцепление (Ψ_f), равное произведению потока ротора на число витков обмотки статора. Направлен вектор этого потокосцепления по оси ротора (d) от положительного полюса к отрицательному.

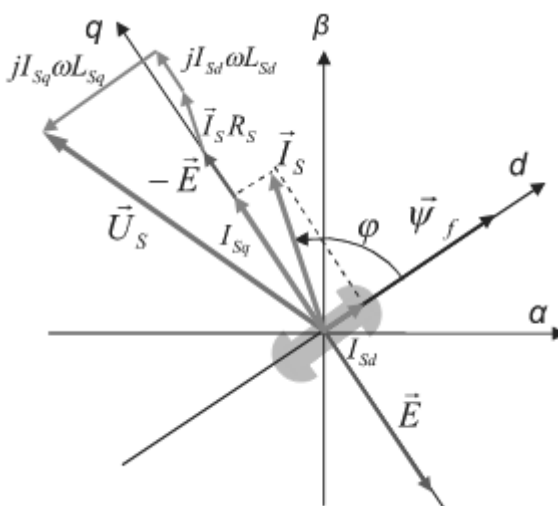


Рисунок 3.3 – Векторная диаграмма [8]

Ψ_f отстает от вектора тока на угол скручивания (φ). Постоянный поток вращающегося ротора создает в обмотках статора вектор ЭДС (E), направленный под прямым углом к потоку и отстающий от него на 90 градусов. Амплитуда вектора ЭДС определяется выражением

$$E = \Psi_f \cdot \omega, \quad (54)$$

где ω – электрическая скорость вращения, определяющаяся по формуле:

$$\omega = Z_p \cdot \omega_R, \quad (55)$$

где ω_R – скорость вращения ротора; Z_p – число пар полюсов двигателя.

Тогда исходя из векторной диаграммы можно записать векторное соотношение:

$$\vec{U}_S = -\vec{E} + \vec{I}_S \cdot R_S + j \cdot \omega (\vec{I}_{Sd} \cdot L_{Sd} + \vec{I}_{Sq} \cdot L_{Sq}), \quad (56)$$

где \vec{U}_S - векторное напряжение статора;

\vec{I}_S -вектор тока статора, а \vec{I}_{Sd} и \vec{I}_{Sq} его осевые составляющие; L_{Sd} и L_{Sq} - индуктивность статора по осям d и q; R_S -активное сопротивление статора.

Вектор статорного напряжения уравнивается вектором ЭДС и падением напряжения на активном (R_S) и реактивном (L_{Sq} , L_{Sd}) сопротивлениях статорной обмотки (рисунок 3.3). Момент двигателя создается вследствие взаимодействия тока и потокосцепления статора. С учетом фазности и числа пар полюсов двигателя (Z_p) он равен произведению этих векторов. Для трехфазного двигателя можно записать следующее выражение:

$$\vec{M} = \frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot \vec{I}_S \times \vec{\Psi}_S; \quad (57)$$

Тогда для модуля момента записываем

$$M = \frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot |\vec{I}_S| \cdot |\vec{\Psi}_S| \cdot \sin \varepsilon, \quad (58)$$

где ε -угол между векторами.

Переходя к осям dq:

$$M = \frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot (I_{Sq} \cdot \Psi_d - I_{Sd} \cdot \Psi_q), \quad (59)$$

где Ψ_d и Ψ_q -потокосцепления статора по осям d и q соответственно. И могут быть рассчитаны по формулам:

$$\Psi_d = L_{Sd} \cdot I_{Sd} \cdot \Psi_f; \quad (60)$$

$$\Psi_q = L_{Sq} \cdot I_{Sq}; \quad (61)$$

Тогда:

$$M = \frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot \left(I_{Sq} \cdot \Psi_f + I_{Sd} \cdot I_{Sq} (L_{Sd} - L_{Sq}) \right). \quad (62)$$

Для формирования линейного закона изменения напряжения управления на вход преобразователя подключают задатчик интенсивности, входное напряжение которого при подаче на его вход скачка задающего напряжения U_3 , изменяется по линейному закону. При достижении величины U_3 , нарастание напряжения на выходе ЗИ прекращается.

Переходные процессы представлены на рисунке 3.4.

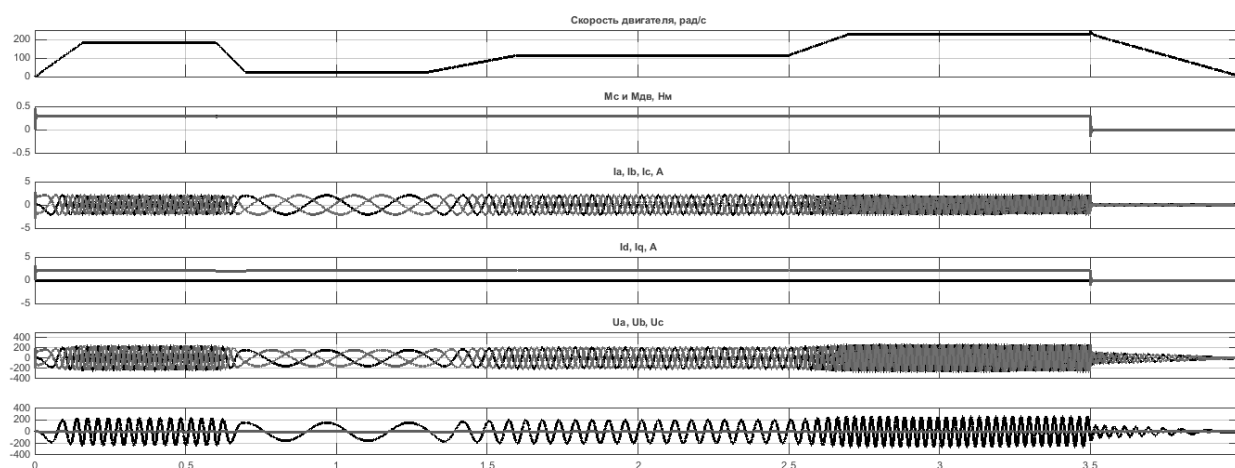


Рисунок 3.4 – Переходные процессы для движения вперед

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.219.01ПЗ

4 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Статические характеристика электропривода были сняты в программе Matlab с помощью математической модели, представленной в разделе 3. Были сняты зависимости скорости, фазных токов и напряжений, тока I_q от момента. Все характеристики представлены на рисунках 4.1 – 4.4.

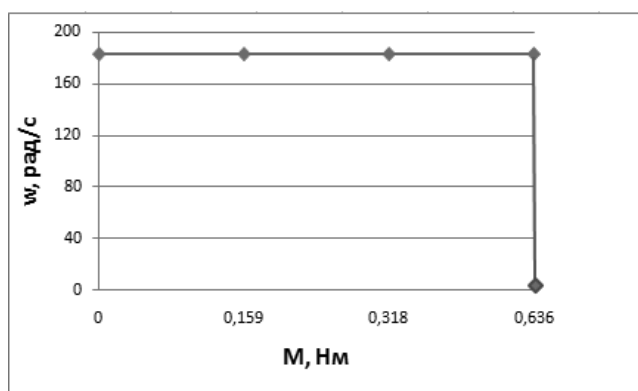


Рисунок 4.1 – Механическая характеристика

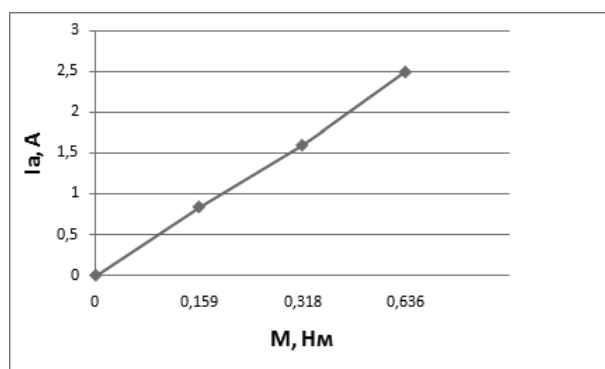


Рисунок 4.2 – Моментная характеристика

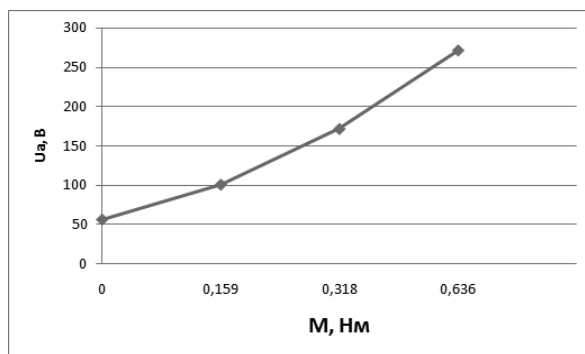


Рисунок 4.3 – Зависимость фазного напряжения от момента

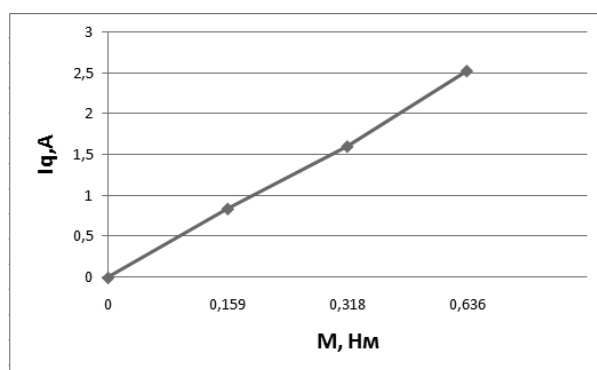


Рисунок 4.4 – Зависимость тока I_q от момента

5 ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

После расчета нагрузочных диаграмм переходных процессов необходимо выполнить ряд дополнительных расчетов для того, чтобы убедиться в правильности выбора оборудования и системы в целом.

Проверка двигателя по нагреву

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

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (63)$$

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

Коэффициент ухудшения теплоотдачи остановленного двигателя β_0 зависит от его конструктивного исполнения и условий вентиляции. Так как двигатель, закрытый без системы охлаждения, тогда принимаем $\beta_0=1$.

Ухудшение условий охлаждения двигателя в переходных режимах учитывают коэффициентом ухудшения теплоотдачи β_i которому в зависимости от скорости вращения можно присвоить значения (см таблицу 5.1).

Таблица 5.1 – Рекомендуемые значения коэффициента ухудшение условий охлаждения двигателя

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

$$\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i = 1,48^2 \cdot 0,16 + 1,48^2 \cdot 3,045 + 1,41^2 \cdot 0,14 + 1,41^2 \cdot 34,37 +$$

$$+ 1,43^2 \cdot 0,08 + 1,43^2 \cdot 2,452 + 1,52^2 \cdot 0,1 + 1,6^2 \cdot 4,825 + 1,3^2 \cdot 0,2 =$$

$$= 93,71 \text{ А} \cdot \text{с.}$$

$$\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i = t_{p\text{факт}} = 45,372 \text{ с.}$$

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{93,71}{45,372}} = 1,437 \text{ А.}$$

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{кат}} \sqrt{\frac{ПВ_{\text{кат}}}{ПВ_{\text{факт}}}}, \quad (64)$$

где

$$ПВ_{\text{факт}} = t_{p\text{факт}} / t_{\text{ц}} \quad (65)$$

$$ПВ_{\text{факт}} = 45,372 / 120 = 0,38.$$

Тогда $ПВ_{\text{кат}} = 40\%$

$$I_{\text{доп}} = 1,65 \cdot \sqrt{\frac{40}{38}} = 1,67 \text{ А.}$$

При проверке двигателя по нагреву эквивалентный ток сравнивают с допустимым:

$$I_{\text{э}} = (0,85 \dots 0,9) \cdot I_{\text{доп}} \quad (66)$$

Недогрузка двигателя на 10...15% считается нормальной. В данном случае, в нашей системе недогруз 14,9% , следовательно двигатель проходит проверку.

Проверка по нагреву преобразователя

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

$$I_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{t_{p\text{факт}}}} \leq I_{\text{н пч}}, \quad (67)$$

где I_i —среднеквадратичное значение тока на i -м участке;

Δt_i —длительность i -го участка работы;

$t_{\text{факт}}$ —время работы;

$I_{\text{н пч}}$ —номинальный ток преобразователя частоты (2,2 А).

$$I_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{93,71}{45,372}} = 1,437 \text{ А.}$$

$$1,437 \text{ А} \leq 2,2 \text{ А.}$$

Проверка преобразователя частоты по нагреву пройдена.

6 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ

Для системы автоматизации слайдера предусмотрено пять контролируемых положения КЛ, КП, П1, П2, П3. Датчики КЛ и КП ограничивают крайнее левое и крайнее правое положения соответственно. Датчики П1, П2, П3 контролируют промежуточные положения каретки с камерой для выполнения съемки. При включении системы в работу каретка с камерой (вне зависимости от начального положения) автоматически перемещается к положению КЛ и останавливается до тех пор, пока не поступит следующая команд оператор. а

Система работает в режимах фото- и видеосъемки. Фотосъемка осуществляется в автоматическом режиме в положениях с заранее установленными параметрами (скорость, направление, время остановки). Конкретизация параметров осуществляется оператором с помощью сенсорного монитора.

В рамках данной работы принят определенный (с заданными параметрами) режим работы моторизированного слайдера в автоматическом режиме.

При нажатии кнопки «Пуск» каретка из положения КЛ начинает движение до положения П1, где останавливается на 6 с. В течении этого времени осуществляется съемка. Через 2 секунд после остановки каретки включается привод поворота, и камера поворачивается на заданный угол. После 6-секундной остановки каретка начинает свое движение до положения П2 на пониженной скорости, где так же останавливается на 6 с.Через 2 с после остановки осуществляется поворот камеры на заданный угол.

После второй 6-секундной остановки каретка продолжает свое движение до положения П3 с нормальной скоростью, в котором останавливается на 3 с.

В положении П3 через 3 секунды после остановки осуществляется реверс двигателя (1) и каретка перемещается к положению КЛ.

Предусмотреть сигналы индикации готовности всего оборудования к работе в автоматическом режиме работы, а также сигнал аварии.

Система моторизированного слайдера при видеосъемке работает в двух режимах: ручной и автоматический.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.219.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		64

Ручной– режим, в котором оператор задает траекторию перемещения, скорость и время остановки.

Автоматический–режим автоматического воспроизведения сохраненных перемещений, которые были записаны в режиме ручной.

В рамках данной работы предусматривается реализация только режима ручного. Обеспечить наличие всех необходимых команд и кнопок управления на сенсорном мониторе. На рисунке 6.1 представлен моторизированный слайдер.

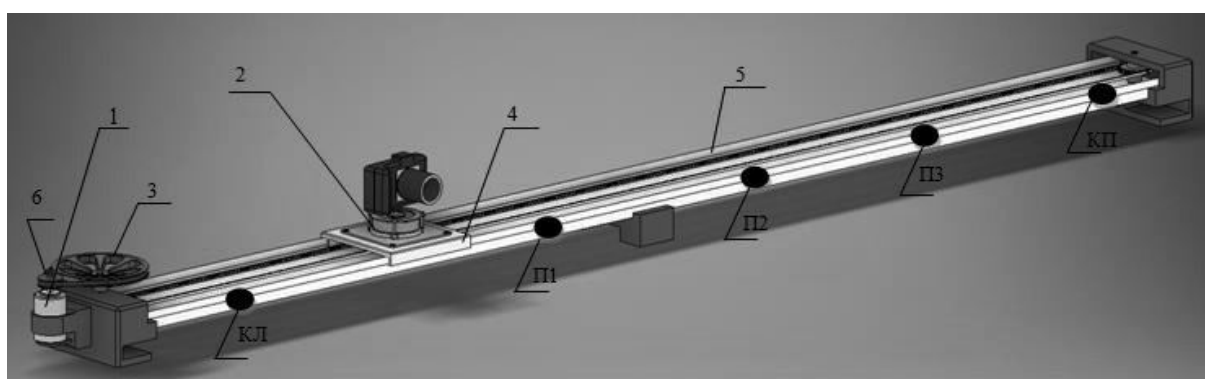


Рисунок 6.1 – Моторизированный слайдер: 1 - электродвигатель;
2 -моторизованная голова; 3 - ведомый шкив (ручное колесо);
4 - каретка;5 - направляющие; 6 - ведущий шкив.

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

Система автоматизации должна формировать следующие выходные команды:

- включение привода передвижения каретки вперед, назад (Вперед), (Назад);
- переход привода передвижения на пониженную скорость (Медленно);
- включение привода, на поворот моторизированный головы (Поворот).

В действующей системе для привода передвижения используется серводвигатель, для поворота используется готовое решение- моторизированная голова.

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

- Сигнал «Авария» (Авария);
- Сигнал «Автоматический режиму» (Ар);
- Сигнал «Ручной режим» (Ручной).

Для управления используется пульт оператора, (изображенный на рисунке 6.2), представляющий собой панель с блоками кнопок:

- сигнал «Влево» (Влево);
- сигнал «Вправо» (Вправо);
- сигнал «Поворот» (Поворот);
- сигнал «Пуск» автоматического режима (Пуск);
- сигнал «Стоп» автоматического режима (Стоп(а));
- сигнал «Фотосъемка» (Фото);
- сигнал «Видеосъемка» (Видео);
- сигнал «Автоматический» (Авт);
- сигнал «Ручной» (Руч);
- сигнал «Стоп» ручного режима (Стоп).



Рисунок 6.2 – Сенсорная панель управления

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

- датчик, сигнализирующий о положении каретки в крайнем левом положении (КЛ);
- датчик, сигнализирующий о положении каретки в крайнем правом положении (КП);
- датчик, сигнализирующий о положении каретки в положении П1;
- датчик, сигнализирующий о положении каретки в положении П2;
- датчик, сигнализирующий о положении каретки в положении П3;

В таблице 6.1 сведены все сигналы и команды, используемые в системе. В этой же таблице выражено соответствие действий сигналов и команд дискретным значениям этих переменных.

Таблица 6.1 – Сигналы и команды, используемые в системе автоматизации

Переменные	Обозначение сигнала	Наименование элемента	Принятие значения (единица)
Входные	Пуск	Кнопка «Пуск»	Нажата
	Стоп _а	Кнопка «Стоп» в автоматическом режиме	Не нажата
	П1, П2, П3	датчики сигнализирующие о положении каретки в положениях П1, П2, П3 соответственно	Есть
	КЛ, КП	Крайнее левое и правое положения	Есть
	Готовность суд	Готовность двигателя	Включен
	Руч, Авт	Кнопки «Ручной», «Автоматический»	Есть
	Поворот	Кнопка «Поворот» ручной режим	Нажата
	Стоп _р	Кнопка «Стоп» в ручном режиме	Не нажата
	Влево	Кнопка «Влево» в ручном режиме	Нажата

Продолжение таблицы 6.1

Переменные	Обозначение сигнала	Наименование элемента	Принятие значения (единица)
Входные	Вправо	Кнопка «Вправо» в ручном режиме	Нажата
Выходные	Ar	Лампа индикации «Автоматический режим»	Включена
	Ручной	Лампа индикации «Ручной режим»	Включена
	Поворот	Осуществление поворота в автоматическом режиме	Включена
	Авария	Лампа индикации «Авария»	Включена
	Вперед	движение вперед в автоматическом режиме	Включена
	Назад	движение назад в автоматическом режиме	Включена
	Медленно	движение медленно в автоматическом режиме	Включена

Сигнал Автоматический режим (Ар) информирует оператора о возможности работы системы автоматизации в автоматическом режиме. Он возникает при включении, на сенсорном мониторе в окне «Режим работы», кнопки Автоматический (Авт), наличии сигналов о готовности (включенном питании) станций управления двигателем. Готовность СУД. Возникает сигнал «Ар» при нажатии кнопки «Пуск», и кнопке «Фото», а также сигнал «Ар» возникает при выборе «Автоматический» в окне режима работы и «Видео» в окне режим съемки. Снимается сигнал в момент нажатия кнопки «Стоп» на сенсорном мониторе в окне «Автоматический режим», а также при возникновении аварии.

$$Ar = (Avt \cdot P_{\text{пуск}} \cdot (\text{Фото} + \text{Видео}) \cdot \text{Готовность суд} + Ar) \cdot \overline{\text{стоп}_a} \cdot \overline{\text{авария}}$$

Команда «Вперед» может возникнуть лишь при наличии сигнала «Ар» в трех ситуациях

- При наличии каретки в положении КЛ (первая составляющая В1)
- При наличии каретки в положении П1 (вторая составляющая В2)
- При наличии каретки в положении П2 (третья составляющая В3)

$$\text{Вперед} = (B1 + B2 + B3) \cdot Ar;$$

$$B1 = (\text{КЛ} + B1) \cdot \overline{П1};$$

$$B2 = (\text{П1}^{\uparrow 6c} + B2) \cdot \overline{П2};$$

$$B3 = (\text{П2}^{\uparrow 6c} + B3) \cdot \overline{П3};$$

Команда «Назад» может возникнуть лишь при наличии сигнала «Ар» и может быть осуществлена в двух случаях:

- В тот момент, когда каретка находится в положении П3 (первая составляющая Н1);
- Когда при включении, каретка, где бы она не находилась, автоматически должна дойти до положения КЛ (вторая составляющая Н2).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$\text{Назад} = (H1 + H2) \cdot \text{Ар};$$

$$H1 = (\text{ПЗ}^{\uparrow 3c} + H1) \cdot \overline{\text{КЛ}};$$

$$H2 = (\overline{\text{Р}_{\text{пуск}}} \cdot \overline{\text{стоп}_a} + H2) \cdot \overline{\text{КЛ}} + \text{Пуск} \cdot \text{Р}_{\text{стоп}};$$

Команда «Медленно»

$$\text{Медленно} = (B2 + \text{Медленно}) \cdot \overline{\text{ВЗ}};$$

Команда «Поворот» может возникнуть так же лишь при наличии сигнала «Ар» и осуществляется в двух случаях:

- Спустя 2 секунды после остановки в положении П1, поворот осуществляется 2 с (первая составляющая Пов1)
- Спустя 2 секунды после остановки в положении П2, поворот осуществляется 2 с (вторая составляющая Пов2)

$$\text{Поворот} = (\text{Пов1} + \text{Пов2}) \cdot \text{Ар};$$

$$\text{Пов1} = (\text{П1}^{\uparrow 2c} + \text{Пов1}) \cdot \overline{\text{П1}^{\uparrow 4c}};$$

$$\text{Пов2} = (\text{П2}^{\uparrow 2c} + \text{Пов2}) \cdot \overline{\text{П2}^{\uparrow 4c}};$$

Память пуска и стопа

$$\text{Р}_{\text{пуск}} = (\text{Пуск} + \text{Р}_{\text{пуск}}) \cdot \overline{\text{стоп}_a};$$

$$\text{Р}_{\text{стоп}} = (\text{стоп}_a + \text{Р}_{\text{стоп}}) \cdot \overline{\text{КЛ}} + \overline{\text{Р}_{\text{пуск}}};$$

Сигнал «Ручной» информирует оператора о возможности работы системы автоматизации в ручном режиме. Он возникает при включении, на сенсорном мониторе в окне «Режим работы», кнопки «Ручной» (Руч), снимается сигнал при возникновении аварии, а также при появлении сигнала «Ар»

$$\text{Ручной} = \text{Руч} \cdot \overline{\text{Ар}} \cdot \overline{\text{Авария}};$$

Сигнал «Авария» информирует оператора об аварийных ситуациях, о невозможности дальнейшей работы. Он возникает при одновременном включении, автоматического и ручного режима. При отсутствии готовности двигателей. Сбрасывается кнопкой "Стоп"(стоп_р) в окне ручной режим на сенсорном мониторе.

$$\text{Авария} = (\text{Ручной} \cdot \text{Ар} \cdot \text{Р}_{\text{пуск}} + \overline{\text{Готовность суд} + \text{Авария}}) \cdot \overline{\text{стоп}_{\text{р}}};$$

В ручном режиме при выборе «Видео», задаем определенные перемещения, после чего, нажав на кнопку «Автоматический», каретка должна перемещаться точно так же, как было задано ранее в ручном режиме. В рамках данной работы предусмотреть реализацию только режима ручного. Обеспечить наличие всех необходимых команд и кнопок управления на сенсорном мониторе.

7 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

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

В рассматриваемой системе автоматизации можно выделить следующие функциональные элементы:

- пульт управления (ПУ);
- блок управления (БУ);
- системы управления двигателями (СУД);
- приводной двигатель (М1) передвижения каретки;
- моторизованная голова(М2);
- датчики технологической информации (П1, П2, ПЗ, КЛ, КП);
- блок питания (БП),
- аккумулятор (АК)

На пульте управления предусмотрены:

- индикационные светодиодные лампы с целью индикации состояния системы (режима работы): «Авария», «Автоматический режим», «Ручной режим»

- кнопки управления режимами работы: «Пуск» автоматического режима, «Стоп» автоматического режима и кнопки управления приводами в ручном режиме «Вправо», «Влево», «Поворот»;

- кнопки выбора режимов автоматического и ручного режима работы;

- кнопка «Стоп» в окне «Ручной режим», на экране сенсорного монитора предназначена для ручной аварийной остановки.

Питание контроллера, пульта управления и датчиков осуществляется от блока питания (БП), преобразующего переменный трехфазный ток напряжением 220В в постоянный ток напряжением 24В. Питание моторизованной головы происходит с помощью аккумулятора.

8 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Выбор блока управления

При выборе подходящего контроллера для современных приложений промышленной автоматизации необходимо учитывать такие возможности, как обработка данных, связь и высокоскоростное управление. Важная особенность, которую следует учитывать при выборе контроллера автоматизации, — возможность связи, или, как мы говорим, возможности коммуникации. Здесь, для того чтобы обеспечить простую интеграцию с человеко-машинными интерфейсами, приводами двигателей и другими устройствами, должно быть доступно несколько портов Ethernet и портов последовательной связи. Важна поддержка протоколов EtherNet/IP (ODVA) и Modbus TCP/IP Ethernet. Также должны быть предусмотрены и другие порты связи, в том числе для подключения USB In/USB, Mini USB, MicroSD, удаленного ввода/вывода (Remote I/O), RS-232 и RS-485. Эти подключения обеспечивают простой доступ к программированию и подключение к высокоскоростным устройствам, например приводам. При выборе ПЛК, так же стоит думать о базовых требованиях к управлению и числу доступных портов ввода/вывода.

Исходя из вышесказанного выбор пал на ПЛК OMRON NX1P2, так как он полностью удовлетворяет все задачи и требования системы. Модель NX1P дополняет семейство универсальных контроллеров NX/NJ, предлагая такие же функции в компактном корпусе. Контроллер NX1P обеспечивает синхронизированное управление всеми узлами производственного оборудования, приводами, входами/выходами, системой безопасности и техническим зрением. При этом для проектирования системы автоматизации используется единая интегрированная среда разработки.

- Минимальное время цикла: 2 мс
- Функции: программно-логическое управление и управление

движением

- Количество осей: до 8 осей (4 синхронизированных оси)
- Встроенные модули ввода/вывода: 40 или 24 точки ввода/вывода

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.219.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		74

- До 8 локальных модулей ввода/вывода NX
- Встроенные порты EtherCAT и EtherNet/IP
- До 16 ведомых устройств EtherCAT
- Возможность подключения до 2 дополнительных плат для добавления последовательного интерфейса или аналоговых входов/выходов.

Таблица 8.1 – Технические характеристики контроллера NX1P2-1040DT1

Напряжение питания постоянного тока, В	20,4...28,8
количество цифровых входов	24
количество цифровых выходов	16
объем памяти, КБайт	1500
ширина, мм	154
высота, мм	100
глубина, мм	71

Выбор датчиков

Основной характеристикой датчиков является чувствительность. Датчики положения осуществляют связь между механической и электронной частью оборудования. Для определения положения каретки использованы оптические датчики OV AC43A5-43P-R400-LZS4. Выбор пал именно на этот датчик, так как необходимо, чтобы датчик имел высокую защиту от пыли и влаги, так как система может находиться не только в помещении, но и на улице.

Этому соответствует данный датчик с защитой IP65 (6-полная защита от пыли, 5 — от водяных струй с разных направлений).

Датчик состоит из излучателя и приемника, встроенных в корпус. Оптическое излучение инфракрасного спектра от излучателя попадает на световозвращатель и, отражаясь от него, попадает в приемник датчика.

Контролируемый объект, попадая в зону действия датчика, прерывает оптическое излучение и вызывает изменение выходного сигнала датчика.

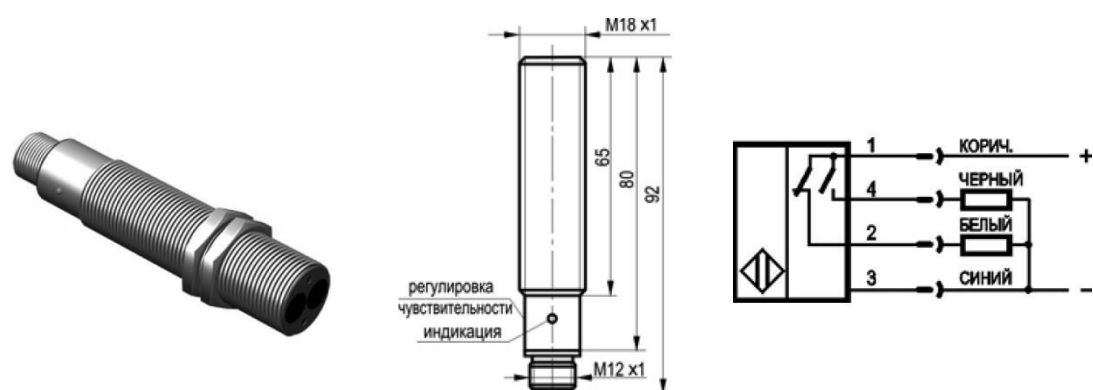


Рисунок 8.1 – Внешний вид, габаритный чертёж и схема подключения оптического датчика OV AC43A5-43P-R400-LZS4

Таблица 8.2 – Технические характеристики OV AC43A5-43P-R400-LZS4

Технические данные	Значение
Размер корпуса, мм	M18x1x86
Дальность действия, мм	400 мм
Материал корпуса	Д16Т
Спектр излучения	инфракрасный
Диапазон рабочих напряжений Uраб	10...30 В DC
Тип контакта/Структура выхода	PNP Переключающий
Максимальный рабочий ток, I _{max}	≤250 мА
Падение напряжения при I _{max} , U _d	≤2,5 В

Продолжение таблицы 8.2

Технические данные	Значение
Допустимая емкость нагрузки	0,02мкФ
Частота переключения, Fmax	100Гц
Диапазон рабочих температур	-15...+60
Задержка включения / отключения,	5мс
Освещенность окружающей среды	2000 Люкс
Световая индикация	Есть
Защита от короткого замыкания	Есть
Присоединение/Подключение	Соединитель S19, S20
Степень защиты по ГОСТ14254-96	IP65
Собственный ток потребления, I _о	≤25 мА

Выбор блока питания

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

$$P_{\text{потр}} = U_{\text{пу}} \cdot I_{\text{пу}} + U_{\text{контр}} \cdot I_{\text{контр}} + 5 \cdot U_{\text{датч}} \cdot I_{\text{датч}} = 24 \cdot 1 + 24 \cdot 0.5 + + 5 \cdot 24 \cdot 0.25 = 66 \text{Вт.}$$

По полученной мощности выберем блок питания EDR-75-24- AC/DC преобразователь мощностью 75 Вт.

Таблица 8.3 – Технические характеристики EDR-75-24

Технические данные	Значения
Выходное напряжение, В	24
Выходной ток, А	3.2
Мощность, Вт	75
Размеры, мм	32x125,2x102
Вес, г	300
Подстройка выходного напряжения	до +16%
Диапазон входного напряжения	90...264 В AC / 127...370 В DC
Диапазон рабочей температуры	-20...+60°C
Электрическая прочность изоляции вход-выход	3000 В AC
Защита	от короткого замыкания, перегрузки, перенапряжения, перегрева

Также необходим блок питания для роутера, который будет обеспечивать взаимодействие пульта управления и контроллером. Выбираю блок питания AMR1-12, с выходным напряжением 12В и выходным током 0,83А.

Элементы защиты должны обеспечивать защиту системы при перегрузках по току и короткому замыканию в ее элементах. В системе защиту проще всего выполнить автоматическим выключателем, выбранным по длительному току элементов системы.

Основным фактором здесь выступает ток потребления источников питания. Поэтому, зная ток потребления блоков питания (датчики, контр, монитор-0,8А) и (роутер-0,18А) выбираем автоматический выключатель ВА47-29 3P 1A, фирмы IEK. [12]

Для поворота камеры используется моторизированная голова, берем готовое решение моторизированная голова MONO HEAD.

Таблица 8.4 - Технические характеристики моторизированной головы MONO HEAD

Технические данные	Значения
Применение	прецизионное вращение в одной оси
Вес, кг	2,9
Габариты, мм	267 x 80 x 132
Нагрузка, кг	до 8
Диапазон вращения	N x 360°
Максимальная скорость вращения, град/сек	73
Максимальное ускорение, град/сек ²	264
Напряжение электропитания	10 – 17 В, мин 25 Вт
Влажность	99%

Электропитание головы MONO HEAD может осуществляться различными источниками постоянного тока 10 – 17 В и мощностью минимум 25 Вт. Адаптер переменного тока, входящий в комплект головы. Аккумуляторы типа V-Lock или BP-U с разъемом D-tap, подключенные с помощью дополнительного кабеля.

Голова может быть работать совместно с другими элементами системы управления движением, например, электропривод слайдера.

К одной панели управления может быть подключено любое количество оборудования, все зависит от поставленных задач и оптимального пересечения проводов.



Рисунок 8.2 - Порты подключения моторизированной головы [12]

При подключении проводов необходимо руководствоваться несколькими правилами:

- панель управления подключается к первому любому устройству к гнезду IN;
- любое следующее устройство подключается путем соединения его гнезда IN с гнездом ON предыдущего устройства;
- любое следующее устройство подключается путем соединения его гнезда IN с гнездом ON предыдущего устройства.

9 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

На основании представленной на чертеже 13.03.02.2020.219.02 Э3 схемы управления моторизированным слайдером в соответствии с функциональной схемой системы автоматизации и выбранной элементной базой составлена принципиальная схема, которая изображена на чертеже 13.03.02.2020.219.03Э3. Перечень элементов, используемых в схеме, приведен в приложении 13.03.02.2020.219.03ПЭ.

Автоматические выключатели $QF1...QF3$ выполняют функцию защиты системы от коротких замыканий.

Блок питания $UZ1$ с напряжением на выходе 24 В питает основные низковольтные элементы: сенсорный монитор, датчики, входные и выходные цепи модулей ввода/вывода контроллера $A1$.

Блок питания $UZ2$ с напряжением на выходе 12 В питает роутер $A3$, необходимый для подключения сенсорного монитора $A2$ к контроллеру $A1$, через беспроводную сеть. $A4$ -моторизированная голова, присоединяется непосредственно к двигателю.

В системе используются оптические датчики для определения положения $SQ1, SQ2, SQ3, SQ4, SQ5$. В соответствии со схемой, представленной на рисунке 8.1, производится подключение информационных выходов датчиков.

Синхронный двигатель $M1$ питается от сети трехфазного переменного напряжения 220 В через тиристорный преобразователь частоты $UZ3$. На входе преобразователя частоты установлены сетевые дроссели $L11, L12, L13$. На выходе ПЧ установлены моторные дроссели $L21, L22, L23$.

Управление приводом осуществляется через программируемый контроллер, в зависимости от режима работы, который включает и отключает привод в соответствии с входными сигналами и по заданной программе.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.219.01ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

10 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

На основе приведенных в 6 разделе логических уравнений создадим программу. Программа в дальнейшем предназначена для записи в ПЛК OMRON NX. Прежде, чем записывать программу, присвоим переменным логических уравнений адреса ПЛК. Результаты представления переменных в адресах ПЛК для входных, выходных и промежуточных сигналов представлены в таблицах 10.1-10.4.

Таблица 10.1- Входные переменные в адресах ПЛК

№	Наименование сигнала, таймера, переменной	Обозначение переменной	Адрес
1	Кнопка "Пуск" в автоматическом режиме	Пуск	Input Bit 00
2	Кнопка "Стоп" в автоматическом режиме	Стоп _а	Input Bit 01
3	Кнопка "Стоп" в ручном режиме	Стоп _р	Input Bit 02
4	Датчик положения 1	П1	Input Bit 03
5	Датчик положения 2	П2	Input Bit 04
6	Датчик положения 3	П3	Input Bit 05
7	Датчик крайнего левого положения	КЛ	Input Bit 06
8	Датчик крайнего правого положения	КП	Input Bit 07
9	Автоматический режим	Ар	Input Bit 08
10	Ручной режим	Руч	Input Bit 09
11	Фотосъемка	Фото	Input Bit 10
12	Видеосъемка	Видео	Input Bit 11

Продолжение таблицы 10.1

№	Наименование сигнала, таймера, переменной	Обозначение переменной	Адрес
13	Готовность системы управления двигателем	Готовность суд	Input Bit 12

Таблица 10.2 - Выходные переменные в адресах ПЛК

№	Наименование сигнала, таймера, переменной	Обозначение переменной	Адрес
1	Лампа индикации "Автоматический режим"	Ар	Output Bit 00
2	Лампа индикации "Ручной режим"	Ручной	Output Bit 01
3	Лампа индикации "Авария"	Авария	Output Bit 02
4	Передвижение каретки вперед	Вперед	Output Bit 03
5	Передвижение каретки назад	Назад	Output Bit 04
6	Передвижение каретки на пониженной скорости	Медленно	Output Bit 05
7	Поворот моторизированной головы	Поворот	Output Bit 06

Таблица 10.3 – Промежуточные переменные в адресах ПЛК

№	Наименование сигнала, таймера, переменной	Обозначение переменной	Адрес
5	Память о пуске	R _{пуск}	Output Bit 07
6	Память о стопе автоматического режима	R _{стопа}	Output Bit 08
8	Движение каретки вперед 1	B1	Output Bit 09
9	Движение каретки вперед 2	B2	Output Bit 10
10	Движение каретки вперед 3	B3	Output Bit 11
11	Движение каретки назад 1	H1	Output Bit 12
12	Движение каретки назад 2	H2	Output Bit 13
13	Поворот моторизированной головы 1	Пов1	Output Bit 14
14	Поворот моторизированной головы 2	Пов2	Output Bit 15

Таблица 10.4 – Таймеры в адресах ПЛК

№	Наименование сигнала, таймера, переменной	Адрес
1	Таймер начала движения вперед после остановки в положении П1 ^{↑6с}	TON 000#060
2	Таймер начала движения вперед после остановки в положении П2 ^{↑6с}	TON 001#060
3	Таймер начала движения назад после остановки в положении П3 ^{↑3с}	TON 002#030
4	Таймер начала поворота в положении П1 ^{↑2с}	TON 003#020
5	Таймер начала поворота в положении П2 ^{↑2с}	TON 004#020
6	Таймер окончания поворота в положении П1 ^{↑4с}	TON 005#040
7	Таймер окончания поворота в положении П2 ^{↑4с}	TON 006#040

Уравнения с учетом адресации контроллера представлены в таблице 10.5

Таблица 10.5 – Уравнения с учетом адресации контроллера

Команда	Уравнения с учетом адресации контроллера
Ар	$Output\ Bit\ 00 = (Input\ Bit\ 08 \cdot Output\ Bit\ 07 \cdot Input\ Bit\ 12 \cdot$ $\cdot (Input\ Bit\ 10 + Input\ Bit\ 11) +$

$$+Output\ Bit\ 00) \cdot \overline{Input\ Bit\ 01} \cdot \overline{Output\ Bit\ 02}$$

Продолжение таблицы 10.5

Команда	Уравнения с учетом адресации контроллера
Ручной	$Output\ Bit\ 01 = Input\ Bit\ 09 \cdot \overline{Output\ Bit\ 00} \cdot \overline{Output\ Bit\ 02}$
Авария	$Output\ Bit\ 02 = (Input\ Bit\ 09 \cdot Output\ Bit\ 00 \cdot Output\ Bit\ 07 + \overline{Input\ Bit\ 12} + Output\ Bit\ 02) \cdot \overline{Input\ Bit\ 02}$
Вперед	$Output\ Bit\ 03 = Output\ Bit\ 00 \cdot (Output\ Bit\ 09 + Output\ Bit\ 10 + Output\ Bit\ 11)$
B1	$Output\ Bit\ 09 = \overline{Input\ Bit\ 03} \cdot (Input\ Bit\ 06 + Output\ Bit\ 09)$
B2	$Output\ Bit\ 10 = \overline{Input\ Bit\ 04} \cdot (Input\ Bit\ 03 \cdot TIM000 + Output\ Bit\ 10)$
B3	$Output\ Bit\ 11 = \overline{Input\ Bit\ 05} \cdot (Input\ Bit\ 04 \cdot TIM001 + Output\ Bit\ 11)$
Назад	$Output\ Bit\ 04 = Output\ Bit\ 00 \cdot (Output\ Bit\ 12 + Output\ Bit\ 13)$
H1	$Output\ Bit\ 12 = \overline{Input\ Bit\ 06} \cdot (Input\ Bit\ 05 \cdot TIM002 + Output\ Bit\ 12)$

H2	$Output\ Bit\ 13 = \overline{Input\ Bit\ 06} \cdot$ $\cdot (\overline{Output\ Bit\ 07} \cdot \overline{Input\ Bit\ 01} + Output\ Bit\ 13) + Input\ Bit\ 00 \cdot$ $\cdot Output\ Bit\ 08$
----	---

Продолжение таблицы 10.5

Команда	Уравнения с учетом адресации контроллера
Медленно	$Output\ Bit\ 05 = \overline{Output\ Bit\ 11} \cdot$ $\cdot (Output\ Bit\ 10 + Output\ Bit\ 05)$
Поворот	$Output\ Bit\ 06 = Output\ Bit\ 00 \cdot$ $\cdot (Output\ Bit\ 14 + Output\ Bit\ 15)$
Пов1	$Output\ Bit\ 14 = \overline{Input\ Bit\ 03} \cdot TIM005$ $\cdot (Input\ Bit\ 03 \cdot TIM003 + Output\ Bit\ 14)$
Пов2	$Output\ Bit\ 15 = \overline{Input\ Bit\ 04} \cdot TIM006$ $\cdot (Input\ Bit\ 04 \cdot TIM004 + Output\ Bit\ 15)$
P _{пуск}	$Output\ Bit\ 07 = \overline{Input\ Bit\ 01} \cdot$ $\cdot (Input\ Bit\ 00 + Output\ Bit\ 07)$
P _{стоп}	$Output\ Bit\ 08 = \overline{Input\ Bit\ 06} \cdot \overline{Output\ Bit\ 07} \cdot$ $\cdot (Input\ Bit\ 01 + Output\ Bit\ 08)$

11 ЛЕСТНИЧНЫЕ ДИАГРАММЫ

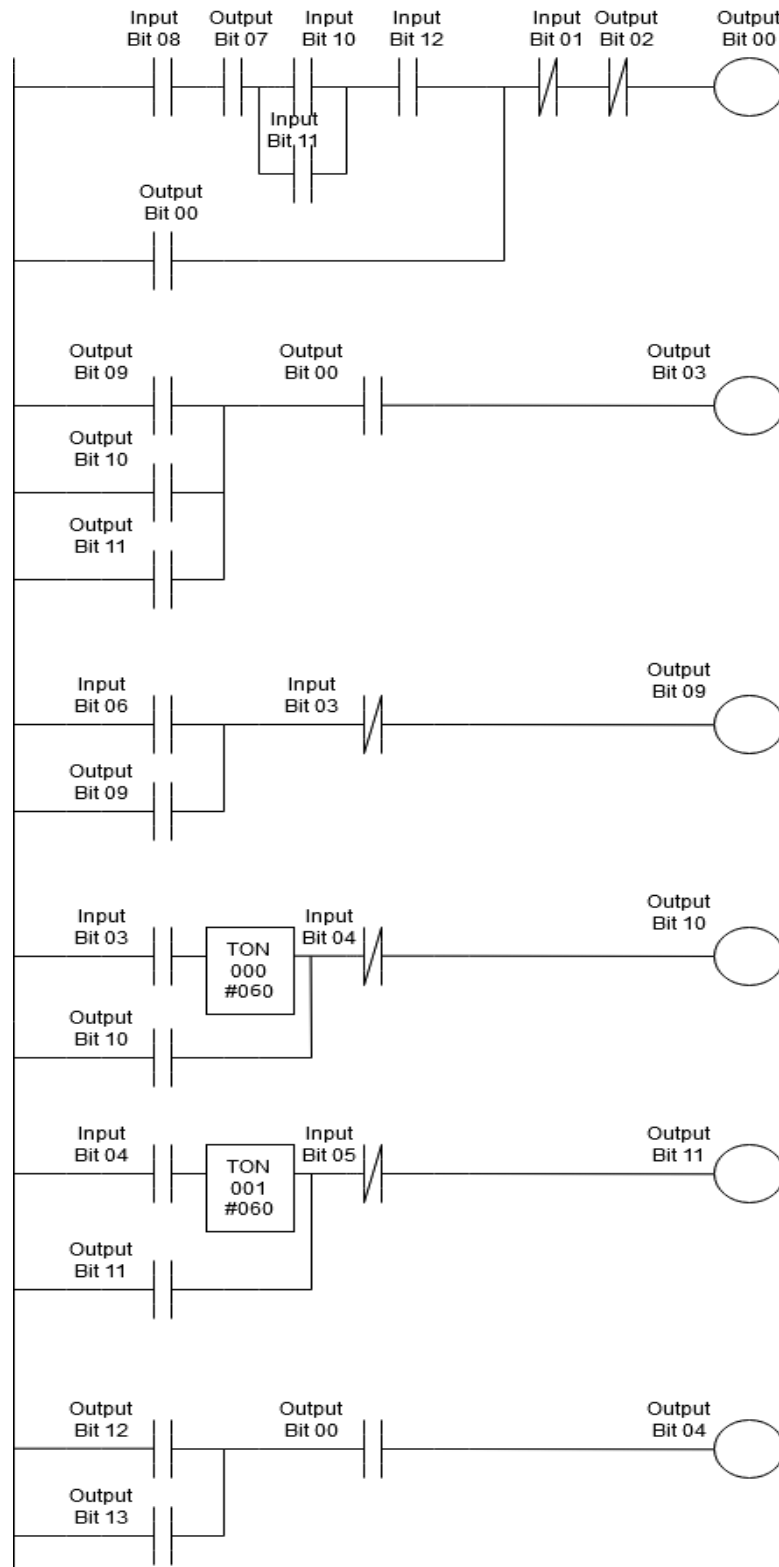


Рисунок 11.1 – Лестничные диаграммы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.219.01ПЗ

Лист

88

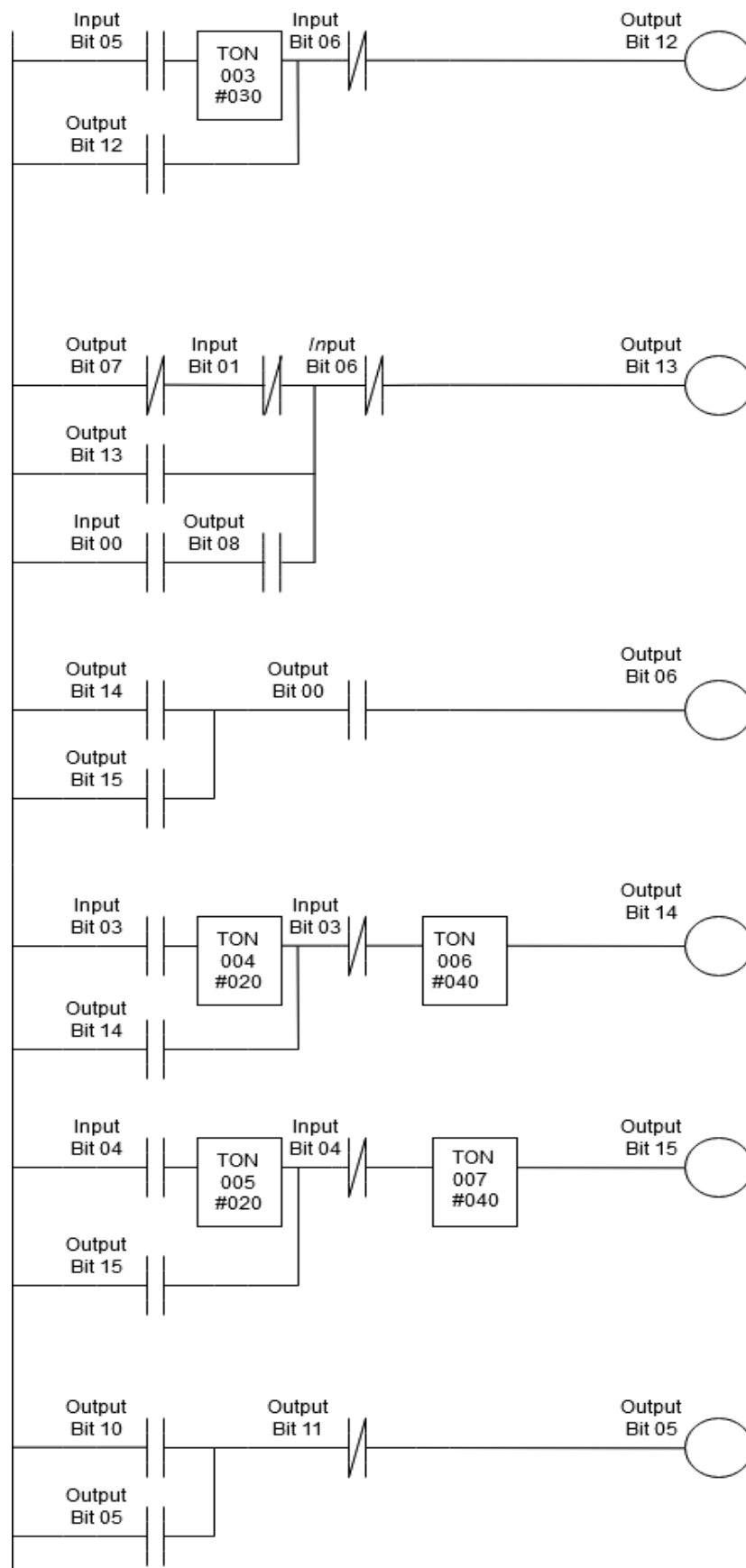


Рисунок 11.2 – Лестничные диаграммы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.219.01ПЗ

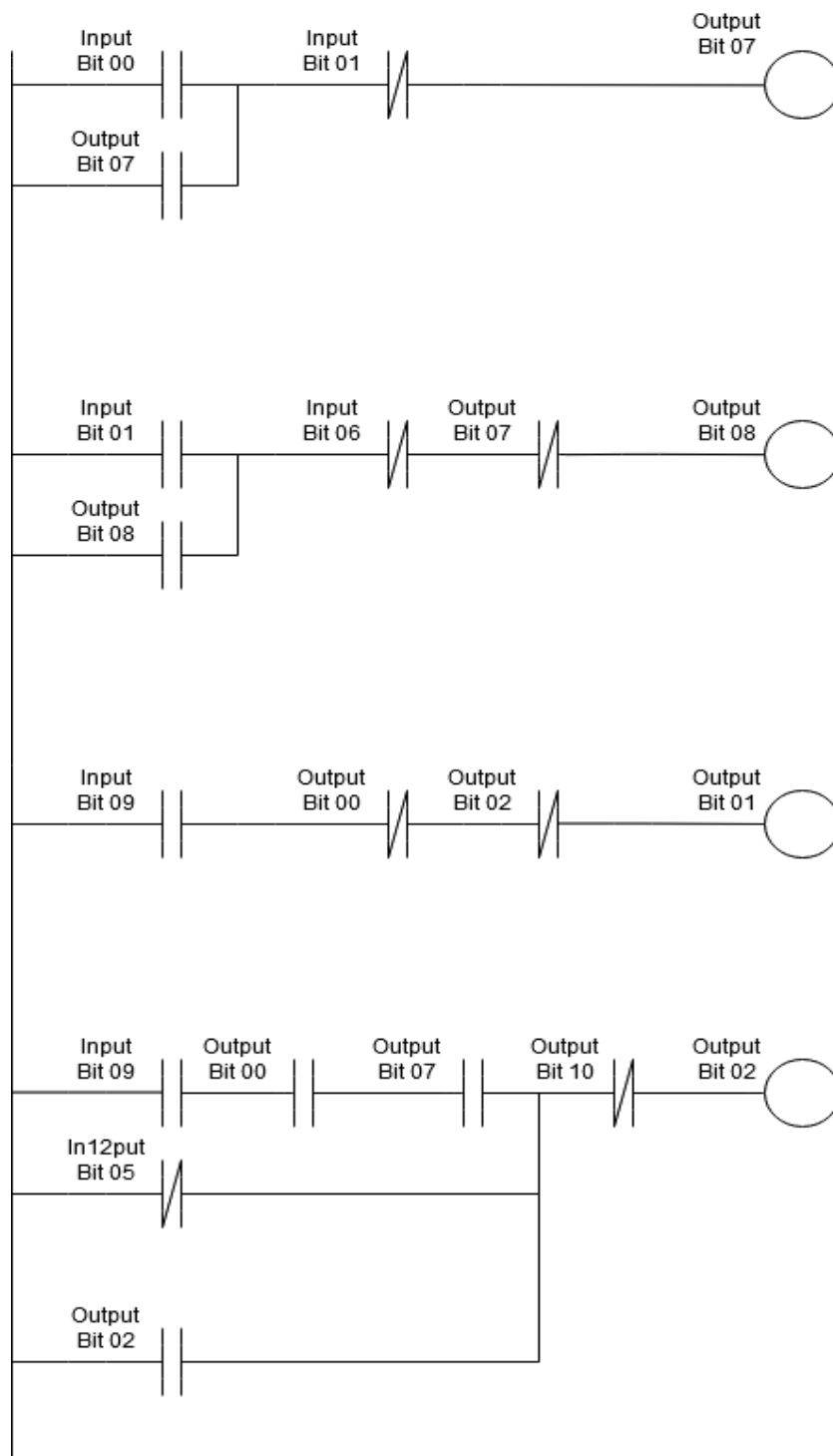


Рисунок 11.3 – Лестничные диаграммы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.219.01ПЗ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе был разработан электропривод моторизованного слайдера. Осуществлён выбор электродвигателя, по расчётным параметрам были рассчитаны нагрузки и мощность двигателя. На основании этого был выбран двигатель модели APM-SA01A 0,1 кВт.

Для управления двигателям был выбран преобразователь частоты фирмы Delta Electronics серии MS300 модели VFD1A5MS43. Для автоматизации процесса разработана панель оператора (рисунок 6.2).

Была составлена функциональная схема. Рассчитаны и построены статические характеристики двигателя (рисунок 4.1-4.4). Были составлены логические уравнения. Также была разработана принципиальная схема и составлен список элементов.

Графическая часть включает в себя:

- 1 лист формата А3 - принципиальная схема автоматизации моторизованного слайдера (Чертеж 13.03.02.2020.219 02Э3);
- 1 лист формата А3 – Функциональная схема автоматизации моторизованного слайдера (Чертеж 13.03.02.2020.219 03Э3);

А также спецификация представлена на одном листе формата А4 (Чертеж 13.03.02.2020.219 03ПЭ).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бисов, А.А. Математическое описание синхронного двигателя с постоянными магнитами / А. А. Бисов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый.— 2014. — № 21 (80).—С. 104-108. — URL: <https://moluch.ru/archive/80/14447/> (дата обращения: 25.05.2020).
2. Борисов А.М. Автоматизация технологических процессов и установок: учебное пособие / А.М. Борисов, А.С. Нестеров, А.Н. Горожанкин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 160 с.
3. Борисов А.М. Средства автоматизации и управления: учебное пособие / Борисов А.М., Нестеров А.С. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 207 с.
4. Борисов А.М. Программируемые устройства автоматизации: учебное пособие / Борисов А.М., Нестеров А.С., Логинова Н.А. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 186 с.
5. Драчев Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие к курсовому проектированию / Драчев Г.И. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1998.-160с.
6. Драчев Г.И. Теория электропривода. Часть 1,2: Учебное пособие / Драчев Г.И. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 207 с.
7. ГОСТ 2.701-2008 ЕСКД. СХЕМЫ. Виды и типы. Общие требования к выполнению; – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 25 с.
8. Калачев Ю.Н. Векторное регулирование: заметки практика / Ю.Н. Калачев, –ЭФО, 2013. – 72с.
9. Преобразователи частоты Delta – <https://chel.ies-drives.ru/equipment/freq/delta/ms300/32024/> (дата обращения: 23.06.2020).
10. Усынин, Ю.С. Системы управления электроприводов: учебное пособие / Ю.С. Усынин. – 2-е изд., испр. и доп. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 326 с.
11. ИЕК. Каталог продукции – https://www.iek.ru/products/catalog/modulnoe_oborudovanie/avtomaticheskie_vyklyuchateli/avtomaticheskie_vyklyuchateli_va47_29/va47_29_khar_ka_s/vyklyuchatel_avtomaticheskii_va47_29_3r_3a_4_5ka_s_iek (дата обращения: 23.06.2020).

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.219.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		92

12. Mono Head. Моторизированная голова -

http://slidekamera.ru/upload/iblock/e29/mono_head_ru.pdf (дата обращения:
25.06.2020).

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.219.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		93

13.03.02.2020.219.02 ЭЗ

Перф. примен.

Сград. №

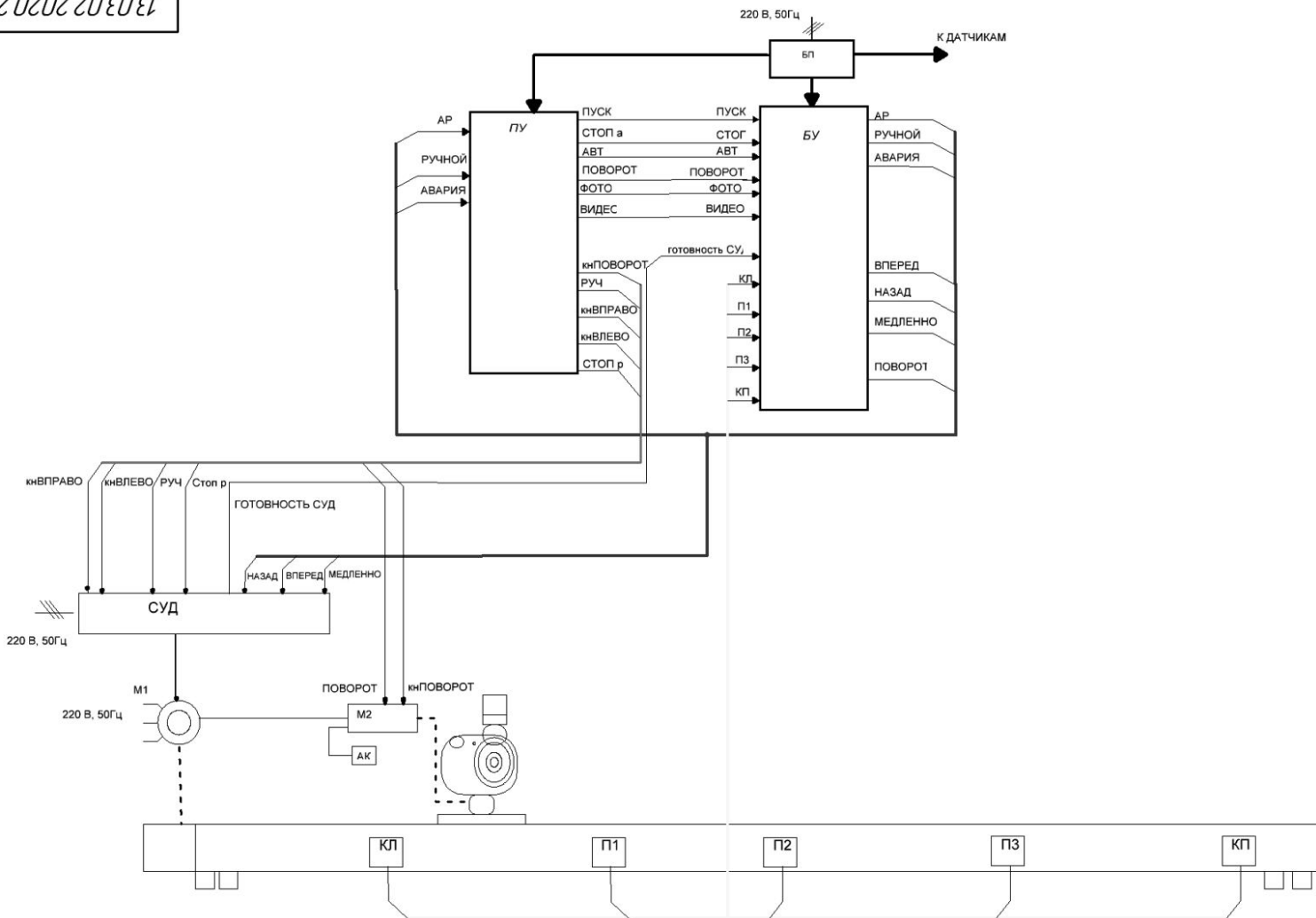
Лист. и дата

Инд. № докум.

Взач. инд. №

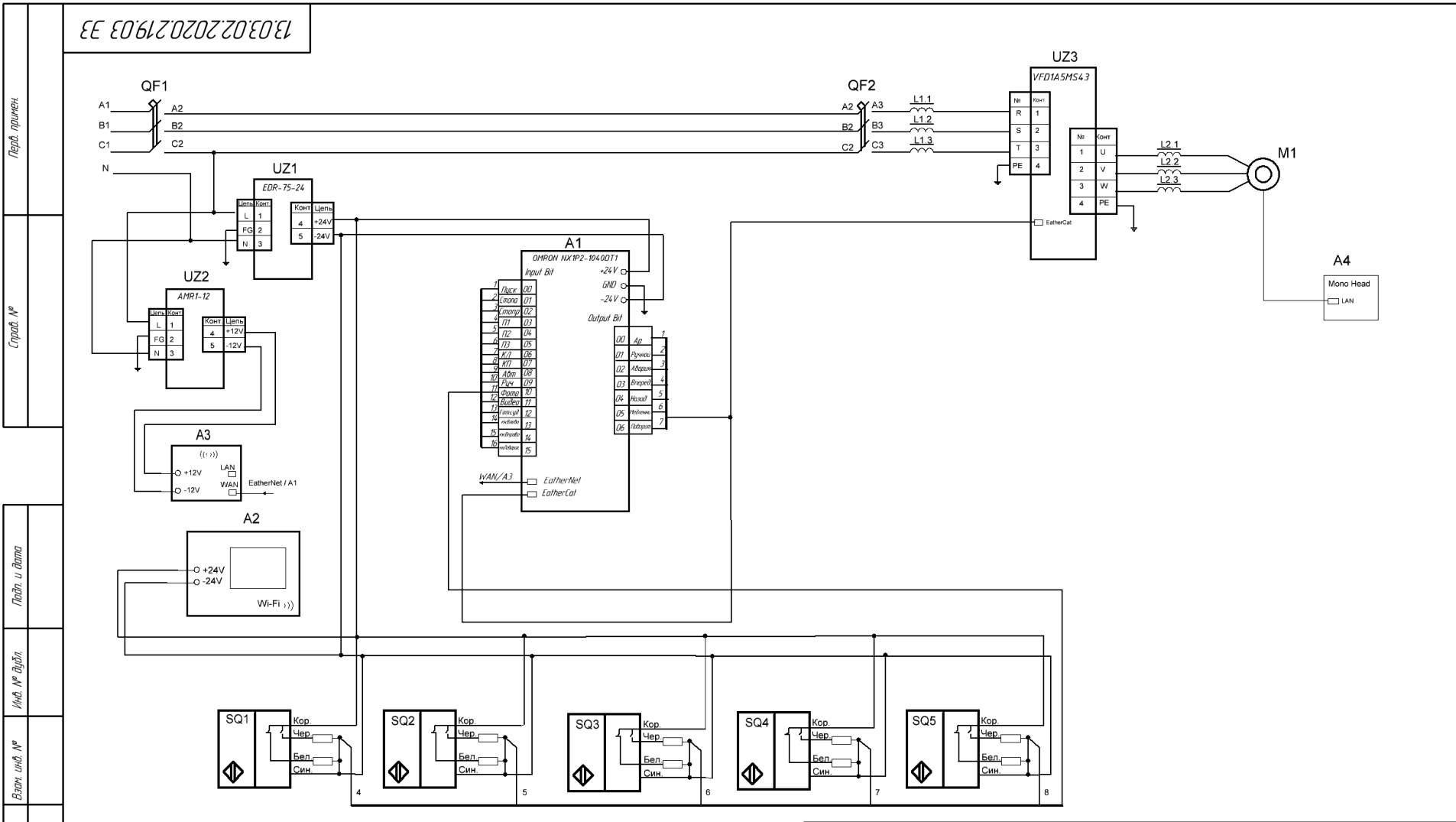
Лист. и дата

Инд. № лист.



					13.03.02.2020.219.02 ЭЗ		
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Автоматизированный электропривод моторизованного слайдера Схема электрическая функциональная.	Лист	Масштаб
Разраб.	Провер.	Т. контр.	Реценз.	Н. контр.		Лист 1	Листов 1
Утверд.							
						ЮУрГУ Кафедра АЭП	

13.03.02.2020.219.03 ЭЭ



Перв. примен.

Стр. №

Лист и дата

Инд. № дроб.

Взам. инд. №

Лист и дата

Инд. № лист

					13.03.02.2020.219.03 ЭЭ		
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Автоматизированный электропривод моторизованного слайдера		
Разраб		Флоря Д.А.			Лит	Масса	Масштаб
Провер		Сычев Д.А.			Схема электрическая принципиальная		
Т. контр.					Лист	1	Листов
Реценз.					ЮУрГУ		
Н. контр.		Функ Т.А.			Кафедра АЭП		
Утверд.		Григорьев И.А.					

<i>Поз.</i>	<i>Наименование</i>	<i>Кол.</i>	<i>Примечание</i>
<u>Автоматические выключатели</u>			
QF1	BA47-29 3P 1A	1	
QF2	BA47-29 3P 3A	1	
<u>Контроллер</u>			
A1	NX1P2-1040DT1	1	
<u>Блоки питания</u>			
UZ1	MEAN WELL EDR-75-24	1	
UZ2	Chinfa Electronics AMR1-12	1	
<u>Преобразователь частоты</u>			
UZ3	Delta VFD1A5MS43	1	
<u>Дроссели</u>			
L11..L13	IR002	3	
L21..L23	ED3S-5,40/3	3	
<u>Датчики</u>			
SQ1...SQ5	OV AC43A5-43P-R400-LZS4	5	
<u>Устройства управления</u>			
A2	Сенсорный монитор	1	
A3	Роутер	1	
A4	Моторизованная голова Mono Head	1	
<u>Двигатель</u>			
M1	APM-SA01A	1	

13.03.02.2020.219 03 ПЭ				
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>
<i>Разраб.</i>		Флоря Д.А.		
<i>Пров.</i>		Сычёв Д.А.		
<i>Н. контр.</i>		Функ Т.А.		
<i>Утв.</i>		Григорьев М.А.		
Автоматизированный электропривод моторизованного слайдера Перечень элементов.				
		<i>Лит</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
		У	1	1
ЮУрГУ Кафедра АЭП				