

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**  
Институт «Политехнический институт», факультет «Энергетический»  
Кафедра «Автоматизированный электропривод»

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ**  
Заведующий кафедрой, к.т.н.,  
доцент

\_\_\_\_\_/А.Н. Шишков/

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 г.

---

**Проектирование автоматизированного одностоечного подъемника  
на базе контроллера DL-06**

---

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

**ЮУрГУ-13.03.02.2019.638 ВКП**

*Руководитель проекта:*  
Профессор, д.т.н.

\_\_\_\_\_/Кодкин В.Л./

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 г.

*Автор проекта*  
*студент группы* \_\_\_\_\_ ПЗ-577\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_/Чижов В.А./

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 г.

*Нормоконтролер*  
Доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_/А.Е. Бычков/

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 г.

Челябинск  
2019 г.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	8
1.1 Описание технологических условий работы.....	8
1.2 Кинематическая схема.....	9
1.3 Техничко–экономическое обоснование системы электропривода.....	11
1.4 Технические данные проектирования.....	12
2 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РОДА ТОКА И ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА	13
2.1 Обзор электроприводов проектируемого механизма.....	13
2.2 Описание режима работы однофазного подъемника.....	16
3 ВЫБОР СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	18
3.1 Расчет моментов статических сопротивлений и предварительный расчет мощности электродвигателя .....	18
3.2 Предварительный выбор электродвигателя и преобразовательного агрегата.....	25
3.3 Определение передаточного числа и выбор редуктора .....	30
3.4 Приведение статических моментов к валу двигателя.....	31
3.5 Приведение моментов инерции и коэффициентов жесткости к валу двигателя .....	33
3.6 Предварительная проверка двигателя по производительности и нагреву .....	35
3.7 Расчет статических характеристик электропривода .....	41
4 ВЫБОР И ОПИСАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ .....	44
4.1 Выбор преобразователя .....	44
4.2 Виды защит в преобразователе.....	46
4.3 Расчет динамических характеристик (расчет частоты и напряжения двигателя в системе преобразователь–двигатель при работе в заданной точке) .....	47
4.4 Проверка электропривода по нагреву и перегрузочной способности...	50

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

ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ

Лист

2

4.4.1 Проверка на перегрузочную способность.....	50
4.4.2 Проверка по нагреву двигателя, преобразователей.....	50
4.4.3 Проверка преобразователя по нагреву.....	51
4.5 Настройка электропривода и диагностика состояния работы .....	52
<b>5 ВЫБОР ПРОГРАММИРУЕМОГО КОНТРОЛЛЕРА .....</b>	<b>54</b>
5.1 Задачи, предъявляемые к контроллеру .....	54
5.2 Сравнение промышленных контроллеров.....	55
5.3 Характеристики выбранного контроллера .....	57
5.4 Описание технологического процесса и выбор элементной базы автоматизации и преобразователей технологической информации.....	61
5.4.1 Описание технологического процесса.....	61
5.4.3 Выбор элементной базы автоматизации и преобразователей технологической информации .....	69
5.5 Разработка программного обеспечения системы автоматизации.....	74
6 Разработка функциональной схемы и разработка электрической принципиальной схемы .....	79
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>80</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....</b>	<b>81</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А. СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....</b>	<b>84</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б. СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ .....</b>	<b>85</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В. ПЕРЕЧЕНЬ ЭЛЕМЕНТОВ .....</b>	<b>86</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....</b>	<b>87</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Грузоподъемные машины (подъемники) – высокоэффективное средство комплексной механизации и автоматизации подъемно–транспортных, погрузочно–разгрузочных и складских работ. Применение таких машин уменьшает объем использования тяжелых ручных операций и способствует резкому повышению производительности труда [1].

Виды подъемников:

1) По назначению:

- грузовые – предназначены только для транспортировки грузов,
- грузопассажирские – для транспортировки грузов и людей.

2) По способу установки:

- передвижные,
- стационарные.

3) По способу монтажа:

- мобильные – перевозимые с объекта на объект в собранном виде,
- немобильные – разбираемые при демонтаже на секции и перевозимые в таком виде к месту монтажа.

4) По роду применяемого привода:

- подъемники с электрическим приводом,
- гидравлическим приводом,
- пневматическим приводом,
- подъемники с приводом от двигателя внутреннего сгорания,
- подъемники с паровым приводом,
- ручным приводом [2].

Наиболее широкое применение имеют подъемники с электрическим приводом, так как им обеспечивается легкое и надежное управление подъемниками, компактен, дешев и не требует сложного ухода. Другие виды

									Лист
									4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ				

приводов обычно применяются в случаях, когда невозможно применение электрического привода.

5) По количеству стоек:

- 1–стоечные,
- 2–стоечные,
- 3–стоечные,
- 4–стоечные,
- многостоечные [2].

Подавляющее большинство выпускаемых подъемников – стационарные. В сравнении с передвижными они обладают тем преимуществом, что обеспечивают большую устойчивость поднятого объекта и тем самым повышают безопасность и удобство выполнения работ [3].

На основе указанной классификации в качестве объекта проекта выбран стационарный грузовой мобильный одностоечный подъемник с электрическим приводом.

Исходя из этого можно сформулировать основные требования, предъявляемые к исследуемому подъемнику:

- простота использования,
- надежность,
- производительность,
- экономичность,
- безопасность для обслуживающего персонала,
- способность к ремонту,
- соответствие заявленным характеристикам и т.д.

Грузоподъемные машины, как любая современная система, имеет в своем составе систему электрического привода.

Электрический привод (сокращенно – электропривод, ЭП) – это управляемая электромеханическая система, предназначенная для

											Лист
											5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ						

преобразования электрической энергии в механическую и обратно и управления этим процессом.

Современный электропривод – это совокупность множества электромашин, аппаратов и систем управления ими. Он является основным потребителем электрической энергии (до 60%) и главным источником механической энергии в промышленности [4].

Сочетание двух функций электропривода: преобразование электрической энергии в механическую и управление параметрами механической энергии (усилие, крутящий момент, скорость, ускорение, путь и угол перемещения) с целью рационального выполнения технологического процесса, выполняемого рабочей машиной, определяет назначение и роль электропривода в машинном производстве – уменьшение роли человека в производстве.

Вследствие этого при выборе системы ЭП рассчитываемого подъемника важны его основные параметры:

- номинальный вращающий момент на валу электродвигателя,
- номинальная механическая мощность на валу электродвигателя,
- номинальная частота вращения или угловая скорость,
- максимальная частота вращения или скорость,
- диапазон регулирования – отношение максимальной скорости к минимальной при котором сохраняются все параметры электропривода по стабильности при изменении нагрузки, напряжения сети, температуре окружающей среды, реверсе двигателя и по неравномерности его вращения,
- чувствительность – минимальный сигнал управления, обрабатываемый электроприводом (в следящем приводе станка с ЧПУ этот сигнал должен быть меньше напряжения управления, соответствующего одной дискрете),
- перегрузочная способность в установившемся и переходном режимах  $M_{max}/M_u$ ,

- время пуска и торможения и по нагрузке [5].

Помимо указанных основных параметров важен еще способ, с помощью которого регулируется скорость. В зависимости от этого электропривод имеет те или иные энергетические, экономические и технические показатели.

Как и к ЭП, так и к специалисту–выпускнику предъявляются следующие требования:

- скрупулезность и точность в расчетах, проектировании,
- эффективность,
- осведомленность о новейших разработках в ЭП,
- квалификация и т.д.

Цель данной выпускной квалификационной работы – проектирование автоматизированного электропривода стационарного грузового мобильного одностоечного подъемника с электрическим приводом.

									Лист
									7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ				



# 1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

## 1.1 Описание технологических условий работы

Стационарные одностоечные подъемники не требуют особых условий установки. Они могут устанавливаться как в помещении, так и вне его, но при условии отсутствия воздействия суровых внешних условий (дождь, град, снег, повышенная скорость ветра). Также не требуется стабильная питающая сеть. При использовании важно, чтобы площадка под подъемником должна быть достаточно ровной.

Проектируемый подъемник рассчитан на работу в условиях воздействия:

- a) температуру окружающей среды от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ;
- b) относительной влажности воздуха до 85%;
- c) атмосферного давления от 86500 до 106000 Па (от 650 до 800 мм. рт. ст).

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ				

## 1.2 Кинематическая схема

На рисунке 1.1 изображена кинематическая схема одностоечного подъемника.

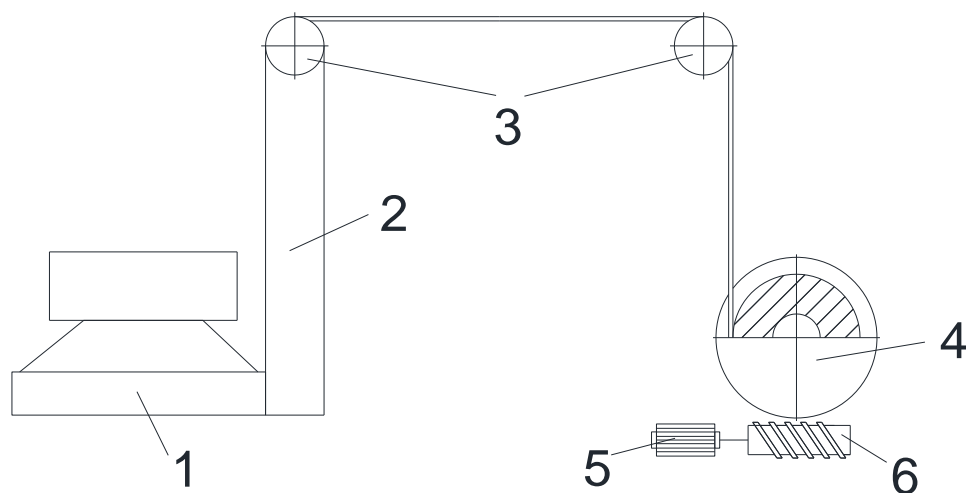


Рисунок 1.1 – Кинематическая схема одностоечного подъемника:

1 – тележка; 2 – стойка; 3 – опорные ролики; 4 – барабан; 5 – двигатель М;  
6 – червяк

Согласно кинематической схеме одностоечный подъемник состоит из тележки, стойки, опорных роликов, червяка, барабана и двигателя М1.

Принцип работы системы: при подаче напряжения сети двигатель М1 начинает вращаться и вместе с тем вращать червяк, который в свою очередь начинает приводить в движение барабан. Вращаясь, барабан наматывает жестко закрепленный канат, который расположен на опорных роликах. Чем дольше канат наматывается на барабан, тем выше поднимается тележка. При достижении заданной высоты барабан перестает наматывать канат и

останавливается, останавливая тем самым подъем тележки. Опускание тележки происходит в обратном порядке.

					<i>ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

### 1.3 Технико–экономическое обоснование системы электропривода

Среди всех используемых сейчас систем управления электроприводов наиболее простой с технической точки зрения и экономичной является система с частотно–регулируемым приводом.

Наибольший экономический эффект от внедрения частотно–регулируемого привода с точки зрения энергосберегающих мероприятий достигается на квадратичных нагрузках в случае замены дросселирования частотным регулированием [6].

Число оборотов двигателя пропорционально частоте его питания. При питании электродвигателя от сети (50 Гц) число его оборотов будет максимальным и неизменным. При питании электродвигателя от преобразователя частоты (регулируемая выходная частота 0–50 Гц) число его оборотов будет изменяемым от нуля до максимального значения.

Изменение частоты вращения двигателей ведет к изменению всех его рабочих параметров, а именно:

- расход пропорционален числу оборотов,
- потребляемая мощность пропорциональна кубу числа оборотов.

Кроме того, применение преобразователей частоты позволяет снизить потребление реактивной мощности и пусковые токи, что благотворно сказывается на сроках службы технологического оборудования и энергетической инфраструктуры [6].

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ					

## 1.4 Технические данные проектирования

Таблица 1.1 – Исходные технические данные подъемника

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Масса тележки	$m_T$	т	1
Масса груза	$m_G$	т	0,7
Высота подъема	$h$	м	16
Диаметр барабана	$D_{\bar{o}}$	м	0,58
Скорость подъема	$v_n$	м/с	0,7
Скорость спуска	$v_o$	м/с	0,7
Момент инерции роликов и троса	$J_{PT}$	кгм <sup>2</sup>	20
Момент инерции барабана с червячным колесом	$J_{BK}$	кгм <sup>2</sup>	250
Момент инерции червяка и муфт	$J_{ЧМ}$	кгм <sup>2</sup>	0,2
Передаточное число червячной пары	$i_{\text{ч}}$	–	20

Принять:

$a_{\text{доп}} = 0,2 \text{ м/с}^2$  – допустимое ускорение рабочего органа;

$\mu_{\text{п}} = 0,05$  – коэффициент трения в подшипниках;

$d_{\text{сб}} = d_{\text{ср}} = 0,15 \text{ м}$  – диаметр ступицы барабана и ролика;

$\eta_{\text{п}} = 0,7$  – КПД червячной пары;

$z = 50 \text{ 1/ч}$  – включений в час.

$v_{\text{п}} = 0,1 \cdot v_y = 0,07$  – пониженная скорость.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 2 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РОДА ТОКА И ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 2.1 Обзор электроприводов проектируемого механизма

Выбор рода тока и типа электропривода целесообразно производить на основе рассмотрения и сравнения технико–экономических показателей ряда вариантов, удовлетворяющих техническим требованиям данной рабочей машины.

На основании исходных данных и требований, предъявляемых к электроприводу, необходимо выбрать вариант электропривода, способный полностью выполнить требования и быть одновременно максимально экономичным [7].

#### 2.1.1 Электропривод постоянного тока

Основное достоинство приводов постоянного тока – это возможность плавной регулировки скорости в широких пределах, но их конструкция сложна и они требуют постоянного наблюдения за работой щеток и коллектора. Кроме того, двигатели постоянного тока требуют специальных источников питания, так как все электрические станции вырабатывают только переменный ток. Вот почему двигатели постоянного тока применяют только там, где заменить их двигателями переменного тока трудно (например, электрический транспорт – трамваи, метро, троллейбус, пригородные электрические железные дороги, электровозы), и на каждые 50–70 двигателей переменного тока приходится только один двигатель постоянного тока [8]. Для проектируемого механизма этот привод не используется.

#### 2.1.2 Синхронный привод

Синхронный электропривод применяют в установках, не требующих частых пусков и регулировки скорости, например для вентиляторов, насосов, компрессоров. Синхронный электродвигатель имеет более высокий КПД, чем асинхронный, может работать с перевозбуждением, т.е. с отрицательным

										Лист
										13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ					

углом  $\varphi$ , тем самым компенсируя индуктивную мощность других потребителей. Хотя синхронный двигатель более сложен по конструкции, требует источника постоянного тока, имеет контактные кольца, тем не менее он оказывается экономически более эффективным, чем асинхронный, особенно для привода мощных механизмов [9]. Такой тип не позволяет обеспечивать технические требования, поэтому не устраивает для исследуемого механизма.

### 2.1.3 Привод переменного тока

При глубоком регулировании скорости в большинстве случаев вопрос решается в пользу приводов постоянного тока. Однако конкурентными по своим свойствам являются приводы с частотным и частотно–токовым управлением. Преимущества приводов с асинхронными двигателями – простота конструкции и повышенная надежность двигателей, возможность их изготовления в поточном производстве.

Препятствием к быстрому внедрению частотно–регулируемых приводов является сложность систем управления, что приводит к недостаточной надежности их работы и повышенной стоимости. Появление на мировом рынке частотно–регулируемых электроприводов с микропроцессорным управлением повышает их надежность, но стоимость их не снижается.

Для нерегулируемого привода выбор типа двигателя прост. Двигатели переменного тока проще по конструкции, стоимость их ниже, обслуживание тоже требует меньших затрат. При повторно–кратковременном режиме работы с частыми пусками и торможениями рационально использовать двигатели повышенного скольжения.

Для регулируемого привода задача выбора типа привода решается сложнее. В зависимости от диапазона и плавности регулирования скорости, требований к качеству переходных процессов могут быть применены как системы реостатного регулирования скорости, так и системы с индивидуальными преобразователями.

										Лист
										14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ					

На основании требований, предъявляемых к электроприводу, осуществляется выбор рода тока и типа электропривода, обоснован выбор системы электропривода, приняты и обоснованы способы регулирования скорости, способы пуска и торможения электропривода.

Выбор системы определяет главное направление дальнейших расчетов.

1) Электродвигатель получает питание от сети неизменного напряжения (цеховой сети) и для обеспечения технологических требований осуществляется регулирование параметров цепи двигателя (резисторов в цепях обмоток).

2) Электродвигатель получает питание от индивидуального преобразователя постоянного напряжения или преобразователя частоты [7].

Все требования технического задания удовлетворяются на переменном токе. Следовательно, выберем его.

									Лист
									15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ				



## 2.2 Описание режима работы одностоечного подъемника

Режимом работы подъемников называется распределение календарного времени на их основную работу и перерывы по различным причинам. Время, затрачиваемое на выполнение технологического процесса и неизбежные технологические перерывы (установка различных сменных грузозахватных приспособлений), перерывы для сдачи–приема смены и выполнение технического обслуживания, называется рабочим временем.

При работе подъемников могут возникать также перерывы по организационным причинам, связанным с нарушением технологического процесса, падением напряжения в сети, нечеткой работой рабочих, обслуживающих подъемник. Минимальные перерывы по организационным причинам допускаются условно 0,5 ч на смену.

При определении режимов работы принимают три периода календарного времени: сменный, суточный и годовой, в соответствии с чем режим работы бывает сменным, суточным и годовым.

Сменный режим работы зависит от типа машины и ее грузоподъемности и предусматривает распределение сменного времени на отдельные отрезки, в течение которых машина выполняет основные операции и имеет перерывы в работе.

Сменный режим для подъемников зависит от конкретных условий. Так, при работе в одну смену из сменного режима исключают время на передачу подъемника одного оператора другому. При ограниченном периоде выполнения работ (например, летом) уменьшают время на простои по организационным причинам и метеоусловиям.

Суточный режим определяет количество смен работы подъемника в течение суток и в первую очередь зависит от принятой организации работ на строительной площадке.

									Лист
									16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ				

Годовой режим работы определяется для конкретных условий эксплуатации с учетом района строительства, мощности и расположения ремонтной базы, расположения объектов, а также эксплуатационных особенностей машин. При расчете годового режима учитывают только те перерывы, которые занимают целиком смену или сутки, праздничные и выходные дни, перерывы, связанные с демонтажем, перевозкой и монтажом на новом месте, простои из-за неблагоприятных метеоусловий, время на техническое обслуживание и ремонт, непредвиденные простои по организационным причинам.

Также следует учитывать, что проектируемый подъемник должен обеспечивать эффективную работу на пониженной и нормальной скорости.

Таким образом, на основании указанной выше классификации одностоечный подъемник невозможно классифицировать по причине того, что он может работать во всех режимах в зависимости от условий цеха [11].

									Лист
									17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ				

### 3 ВЫБОР СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

#### 3.1 Расчет моментов статических сопротивлений и предварительный расчет мощности электродвигателя

На базе исходных данных (таблица 1.1) произведем расчёт основных параметров, необходимых для выбора электродвигателя [5].

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

$$t_{п} = t_{т} = \frac{v_y}{a}, \quad (3.1)$$

где  $v_y$  – заданная скорость движения, м/с;

$a$  – допустимое ускорение, м/с<sup>2</sup>.

В соответствии с формулой 1 при движении вверх (подъеме):

$$t_{п1} = t_{т1} = \frac{0,7}{0,2} = 3,5 \text{ с.}$$

При торможении до пониженной скорости при движении вверх (подъеме):

$$t_{т1.1} = \frac{v_y - v_{п.}}{a_{доп}}; \quad (3.2)$$
$$t_{т1.1} = \frac{0,7 - 0,07}{0,2} = 3,15.$$

При торможении с пониженной скоростью при движении вверх (подъеме):

$$t_{т1.2} = \frac{0,07}{0,2} = 0,35.$$

При движении вниз (спуске) время совпадают с временем при движении вверх (подъеме), так как перемещаемая масса и установившиеся скорости одинаковы:

$$t_{п2} = t_{т2} = t_{п1} = t_{т1} = 3,5 \text{ с.}$$

При торможении до пониженной скорости при движении вниз (спуске):

$$t_{\tau 2.1} = t_{\tau 1.1} = 3,15 \text{ с.}$$

При торможении с пониженной скорости при движении вниз (спуске):

$$t_{\tau 2.2} = t_{\tau 1.2} = 0,35 \text{ с.}$$

Путь, проходимый рабочей машиной за время пуска и торможения:

$$L_{\text{п}} = L_{\text{т}} = \frac{v_y^2}{2 \cdot a_{\text{доп}}}. \quad (3.3)$$

В соответствии с формулой 2 при движении вверх (подъеме):

$$L_{\text{п1}} = L_{\text{т1}} = \frac{v_y^2}{2 \cdot a_{\text{доп}}} = \frac{0,7^2}{2 \cdot 0,2} = 1,225 \text{ м.}$$

При движении вниз (спуске):

$$L_{\text{п2}} = L_{\text{т2}} = L_{\text{п1}} = L_{\text{т1}} = 1,225 \text{ м.}$$

При торможении до пониженной скорости при движении вверх (подъеме):

$$L_{\tau 1.1} = \frac{(v_y - v_{\text{п}})^2}{2 \cdot a_{\text{доп}}} = \frac{(0,7 - 0,07)^2}{2 \cdot 0,2} = 0,992 \text{ м.}$$

При торможении с пониженной скоростью при движении вверх (подъеме):

$$L_{\tau 1.2} = \frac{v_{\text{п}}^2}{2 \cdot a_{\text{доп}}} = \frac{0,07^2}{2 \cdot 0,2} = 0,01225 \text{ м.}$$

При торможении до пониженной скорости при движении вниз (спуске):

$$L_{\tau 2.1} = L_{\tau 1.1} = 0,992 \text{ м.}$$

При торможении с пониженной скорости при движении вниз (спуске):

$$L_{\tau 2.2} = L_{\tau 1.2} = 0,01225 \text{ м.}$$

Время установившегося режима движения со скоростью  $v_y = v_{\text{п}} = v_0$ :

$$t_y = \frac{L - (L_{\text{п}} + L_{\text{т}})}{v_y}, \quad (3.4)$$

где  $L$  – пройденный путь, м.

В соответствии с формулой 3 для движения вверх (подъеме):

$$t_{y1} = \frac{L - (L_{\text{п}} + L_{\text{т}})}{v_y} = \frac{16 - (1,225 + 1,225)}{0,7} = 19,357 \text{ с.}$$

Для движения вниз (спуске):

$$t_{y2} = t_{y1} = 19,357 \text{ с.}$$

Для движения вверх (подъеме) при пониженной скорости:

$$t_{п1} = \frac{L_{т1} - (L_{т1.1} + L_{т1.2})}{v_{пон}} = \frac{1,225 - (0,992 + 0,01225)}{0,07} = 3,154 \text{ с.}$$

Найдём время работы:

$$t_p = 2 \cdot (t_{п1} + t_{y1} + t_{т1.1} + t_{п1} + t_{т1.2}) = 2 \cdot (3,5 + 19,357 + 3,15 + 3,5 + 0,35) = 59,714 \text{ с.}$$

Произведем расчет статических моментов рабочей машины.

Передвигаемая масса при движении тележки с грузом:

$$m_{тп} = m_{т} + m_{г} = 1 + 0,7 = 1,7 \text{ т.} \quad (3.5)$$

Момент сил трения в подшипниках барабана:

$$M_{тп} = \frac{m_{тп} \cdot d_{ст} \cdot \mu \cdot g}{2}, \quad (3.6)$$

где  $m_{тп}$  – масса деталей и узлов, опирающихся на подшипники, кг;

$d_{ст}$  – диаметр шейки вала или оси, м;

$\mu$  – коэффициент трения скольжения в подшипниках;

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

В соответствии с формулой 5 момент сил трения в подшипниках барабана при движении тележки:

$$M_{тп} = \frac{1700 \cdot 0,15 \cdot 0,05 \cdot 9,81}{2} = 62,538 \text{ Нм.}$$

Момент силы тяжести:

$$M_{с.т} = \frac{m \cdot g \cdot D}{2}, \quad (3.7)$$

где  $m$  – масса поднимаемого или опускаемого груза, кг;

$D$  – диаметр шкива, м.

В соответствии с формулой 6 момент силы тяжести при движении тележки:

$$M_{с.т} = \frac{(m_{г} + m_{т}) \cdot g \cdot D}{2} = \frac{(1000 + 700) \cdot 9,81 \cdot 0,65}{2} = 5420,025 \text{ Нм};$$

– при движении тележки вниз (спуске):

$$M_{с.т2} = M_{с.т1} = 5420,025 \text{ Нм.}$$

Момент сил трения качения:

$$M_{тк} = m \cdot f \cdot g, \quad (3.8)$$

где  $m$  – масса поднимаемого или опускаемого груза, кг;

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

$f = 1,5 \text{ мм}$  – коэффициент трения качения

– при движении тележки вверх (подъеме) по формуле 7:

$$M_{тк1} = (m_{г} + m_{т}) \cdot f \cdot g = (1000 + 700) \cdot 1,5 \cdot 9,81 = 25015,5 \text{ Нм.}$$

– при движении тележки вниз (спуске):

$$M_{тк1} = M_{тк2} = 25015,5 \text{ Нм.}$$

По техническому заданию необходимо обеспечить движение тележки вверх (подъем) и вниз (спуск) с грузом.

Суммарный статический момент рабочего органа с учетом трения колес о рельсы [5]:

$$M_{рост} = k_p (M_{ст} + M_{тп}) \quad (3.9)$$

где  $k_p = 1,3..1,4$  – коэффициент, учитывающий трение колес о рельсы.

Рассчитаем суммарный статический момент по формуле 8:

– при движении тележки вперед:

$$M_{рост1} = k_p (M_{с.т1} + M_{тп}) = 1,35 \cdot (5420,025 + 62,538) = 7401,461 \text{ Нм.}$$

– при движении тележки назад:

$$M_{рост2} = M_{рост1} = 7401,461 \text{ Нм.}$$

Произведем расчет динамических моментов рабочей машины.

						Лист
					ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ	21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рассчитаем момент инерции рабочего органа при движении с грузом:

$$J_{po} = J_{рт} + J_{ск} + J_{чм} + m \cdot \frac{D^2}{4} = 20 + 250 + 0,2 + 1700 \cdot \frac{0,58^2}{4} = 413,17 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При заданной величине допустимого ускорения определим динамические моменты тележки при движении:

$$M_{родин} = J_{po} \cdot \frac{2a}{D} = 413,17 \cdot \frac{2 \cdot 0,2}{0,58} = 284,95 \text{ Нм}.$$

Полный момент рабочей машины найдём по формуле:

$$M_{po} = M_{рост} + M_{родин} \quad (3.10)$$

Первый участок – разгон тележки с грузом (рассчитаем по формуле 9):

$$M_{po1} = M_{рост1} + M_{родин} = 7401,461 + 284,95 = 7686,411 \text{ Нм}.$$

Второй участок – равномерное движение тележки с грузом:

$$M_{po2} = M_{рост1} = 7401,461 \text{ Нм}.$$

Третий участок – торможение тележки с грузом до пониженной скорости:

$$M_{po3} = M_{рост1} - M_{родин} = 7401,461 - 284,95 = 7116,511 \text{ Нм}.$$

Четвертый участок – равномерное движение тележки с грузом на пониженной скорости:

$$M_{po4} = M_{рост1} = 7401,461 \text{ Нм}.$$

Пятый участок – торможение тележки с грузом до остановки:

$$M_{po5} = M_{рост1} - M_{родин} = 7401,461 - 284,95 = 7116,511 \text{ Нм}.$$

Шестой участок – время паузы:

$$M_{po6} = 0 \text{ Нм}.$$

Седьмой участок – разгон тележки с грузом:

$$M_{po7} = M_{рост2} + M_{родин} = 7401,461 + 284,95 = 7686,411 \text{ Нм}.$$

Восьмой участок – равномерное движение тележки с грузом:

$$M_{po8} = M_{рост2} = 7401,461 \text{ Нм}.$$

Девятый участок – торможение тележки с грузом до пониженной скорости:

									Лист
									22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ				

$$M_{\text{ро9}} = M_{\text{рост2}} - M_{\text{родин}} = 7401,461 - 284,95 = 7116,511 \text{ Нм.}$$

Десятый участок – равномерное движение тележки с грузом на пониженной скорости:

$$M_{\text{ро10}} = M_{\text{рост2}} = 7401,461 \text{ Нм.}$$

Одиннадцатый участок – торможение тележки с грузом до остановки:

$$M_{\text{ро11}} = M_{\text{рост2}} - M_{\text{родин}} = 7401,461 - 284,95 = 7116,511 \text{ Нм.}$$

По рассчитанным значениям моментов на каждом участке найдем среднеквадратичное значение момента:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^m M_K^2 \cdot t_K}{\sum_{K=1}^m t_K}}, \quad (3.11)$$

где  $M_K$  – момент на  $K$ -м участке, Нм;

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

Подставим рассчитанные раньше значения по формуле 10:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{7686,411^2 \cdot 3,5 + 7401,461^2 \cdot (19,357 + 3,15) + 7116,511^2(3,15 + 0,35) + 7686,411^2 \cdot 3,5 + 7401,461^2 \cdot (19,357 + 3,15) + 7116,511^2(3,15 + 0,35)}{59,714}}$$

$$= 7359,244 \text{ Нм.}$$

Тогда мощность двигателя определяется по формуле:

$$P_{\text{дв}} = \frac{1}{\eta_{\text{п}}} \cdot M_{\text{сркв}} \cdot \frac{2 \cdot v_y \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{ф}}}{\text{ПВ}_{\text{кат}}}}}{D_{\text{б}}} = \frac{1}{0,7} \cdot 7359,244 \cdot \frac{2 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{\frac{82,936}{100}}}{0,58} = 23110,36 \text{ Вт,}$$

где  $\eta_{\text{п}} = 0,7$  – КПД червячной пары;

$D_{\text{б}}$  – диаметр барабана, м;

$v_y$  – номинальная скорость движения, м/с;

$\text{ПВ}_{\text{ф}}$  – фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого привода:



$$ПВ_{\phi} = \frac{1}{t_{ц}} \cdot \sum_{k=1}^m t_k \cdot 100\% = \frac{59,714}{72} \cdot 100\% = 82,936 \%. \quad (3.12)$$

Фактическое значение ПВ рассчитаем, зная длительность времени работы  $t_k$  на всех участках движения к заданному времени цикла:

$$t_{ц} = \frac{3600}{z} = \frac{3600}{50} = 72 \text{ с}, \quad (3.13)$$

где  $z = 50$  – число циклов работы машины в час.

Для выбранного двигателя ряд ПВ: 15, 25, 40, 60, 100%. Выбираем ближайшее ПВ, то есть  $ПВ_{кат} = 100 \%$ .

Предварительные нагрузочные диаграммы приведены на рисунке 4.1.

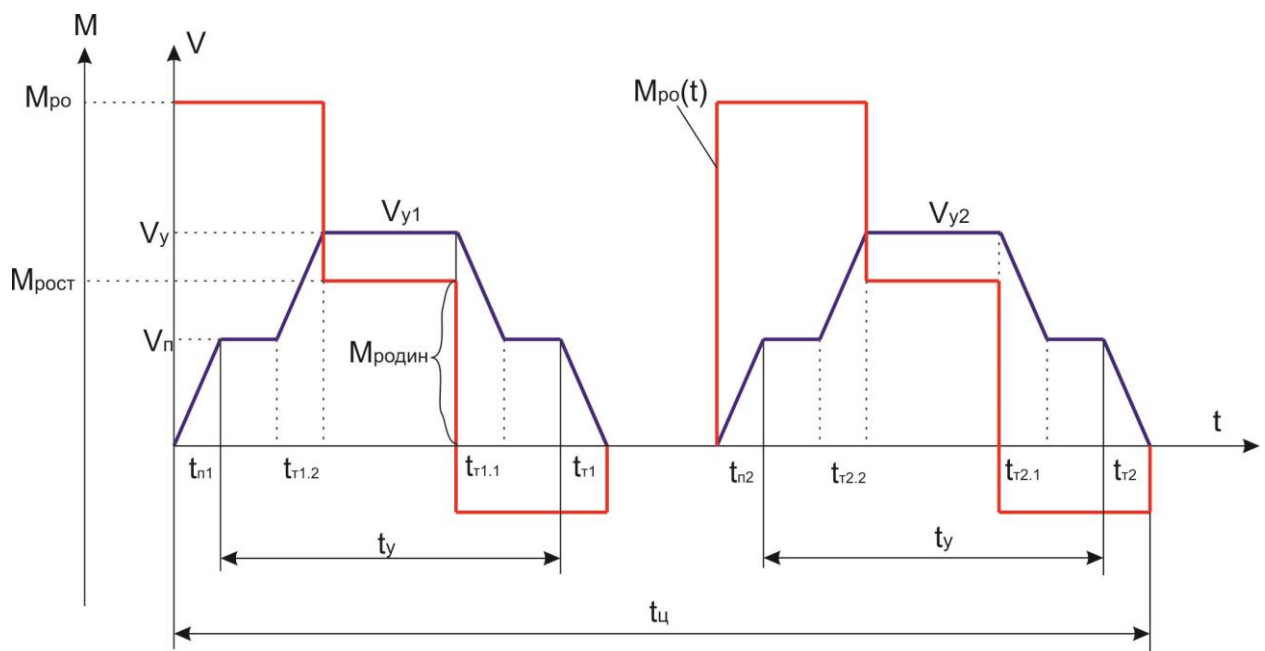


Рисунок 4.1 – Предварительные нагрузочные диаграммы

### 3.2 Предварительный выбор электродвигателя и преобразовательного агрегата

Выбор двигателя для проектируемого электропривода состоит из:

1. Выбор конструкции (исполнения) электропривода,
2. Выбор двигателя по скорости,
3. Выбор типа и мощности двигателя.

Для повторно–кратковременного режима работы с частыми пусками и торможениями следует выбирать двигатели специальных серий, предназначенных для этого режима.

Поэтому выбираем асинхронный двигатель Leroy–Sommer серии LS, особенности которого:

- Облегченный алюминиевый корпус, что позволяет снизить массу электродвигателя более чем на 25% в сравнении с массой электродвигателя в стальном или чугунном корпусе,
- Детали изготовлены из высокопрочных марок стали,
- Большой запас прочности.

Так как для привода подъемника используются 2 двигателя, то из асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором выбираем основной и резервный двигатель PLS 180L из каталога [12]. Номинальные данные двигателя при ведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Номинальные данные двигателя Leroy–Sommer PLS 180L

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Мощность на валу номинальная при ПВ=100%	$P_n$	кВт	30
Номинальная частота вращения	$n_n$	Об/мин	1450
Номинальный ток статора	$I_{1n}$	А	57,1

Продолжение таблицы 3.1

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Коэффициент мощности в номинальном режиме	$\cos \varphi_n$	–	0,85
Ток пусковой	$I_n$	А	325,47
Момент пусковой	$M_n$	Н·м	198
Момент максимальный критический	$M_{\max}$	Н·м	275,2
КПД	$\eta_n$	–	0,892

Также достоинствами выбранного двигателя являются:

- а) повышенная перегрузочная способность;
- б) большие пусковые моменты при сравнительно небольших токах;
- в) малое время разгона.

Рассчитаем номинальные данные для основного режима работы двигателя.

Приведенный номинальный ток ротора:

$$I'_{2н} = I_{1н} \cdot \cos \varphi_n = 57,1 \cdot 0,85 = 48,535 \text{ А.} \quad (3.14)$$

Номинальная скорость:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{60} = \frac{\pi \cdot 1450}{60} = 75,92 \text{ рад/с.} \quad (3.15)$$

Скорость холостого хода:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{60} = \frac{\pi \cdot 1500}{60} = 78,54 \text{ рад/с.} \quad (3.16)$$

Номинальное скольжение:

$$s_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0} = \frac{78,54 - 75,92}{78,54} = 0,03. \quad (3.17)$$

Приведенное активное сопротивление ротора с учетом вытеснения тока:

$$r'_{2} = \frac{M_n \cdot \omega_n}{3I_n^2} = \frac{198 \cdot 75,92}{3 \cdot 325,47^2} = 0,047 \text{ Ом.} \quad (3.18)$$

Для регулирования скорости двигателя выберем преобразователь частоты при условии:  $P_{пр.н} = P_{дв.н}$ ,  $I_{пр.н} > I_{дв.н}$ .

Выбран асинхронный регулируемый транзисторный электропривод Unidrive SP 40T/SP4401, характеристики которого приведены в таблице 3.2 [13].

Таблица 3.2 – Технические характеристики преобразователя Unidrive SP 40T/SP4401

Питающая сеть	3x380 В ( $\pm 10\%$ )
Частота напряжения на входе	50 (60) $\pm 5\%$
Диапазон изменения напряжения на выходе, $\%U_{\text{ВХ}}$	(1..100) В
Выходная частота	(0..650) Гц $\pm 0,05\%$
Ток перегрузки	$1,5 \cdot I_{\text{н}}$ в течение 60 с
КПД (без двигателя)	0,9
Коэффициент мощности (сети)	0,908
Полная мощность	37 кВт
Номинальная мощность двигателя	30 кВт
Номинальный ток нагрузки $I_{\text{н}}$	56 А



Рисунок 3.1 – Внешний вид преобразователя Unidrive SP

Особенности ПЧ серии Unidrive SP:

- 1) функция автонастройки позволяет создать точную модель привода, измерив моменты инерции и нагрузки без вращения вала и с вращением;

2) открытая архитектура конструкции позволяет без труда расширить функции привода с помощью подключения дополнительных модулей – модулей входов/выходов, встраиваемого контроллера, коммуникационных модулей;

3) преобразователи частоты могут работать от постоянного напряжения (48–96 В), что позволяет применять их в подъемно–транспортном оборудовании;

4) встроенный ЭМС–фильтр в корпусах с типоразмерами от первого до шестого, есть возможность подключения внешнего ЭМС фильтра;

5) имеют встроенный дроссель на звене постоянного тока;

6) возможность доступа к базовому и расширенному меню с помощью встроенной панели;

7) функция изменения частоты коммутации от 3 до 18 КГц;

8) наличие встроенного тормозного транзистора;

9) возможность подключения по шине Modbus RTU RS 485 через разъем RJ45 уже в стандартной комплектации;

10) наличие 5 аналоговых входов, 7 цифровых входов/выходов и 1 выхода защитного отключения [14].

Благодаря функциональным возможностям сферы применения Unidrive SP не ограничены, логика электропривода и его динамические характеристики позволяют использовать его в наиболее жестких условиях, причем компактные размеры делают его идеальным решением для установки как в новых, так и в модернизируемых системах.

Также Unidrive SP может работать как рекуператор, и сбрасывать генерируемую при работе приводного механизма энергию в сеть, что позволяет существенно снизить затраты предприятия [15].

#### Режимы работы Unidrive SP:

- векторный с датчиком обратной связи по скорости;
- векторный без датчика обратной связи по скорости;
- RFC (Rotor Flux Control) режим;
- Серво;
- Вольт–частотный режим;
- Рекуперация [15].

#### Перегрузочная способность:

- 150% от номинального момента в тяжелом режиме в течение 60 с;
- 175% от номинального момента в тяжелом режиме в течение 40 с.

#### ПИ/ПИД–регуляторы Unidrive SP:

- ПИД–регулятор скорости;
- ПИД–регулятор процесса;
- ПИ–регулятор момента [15].

#### Типовые применения:

- Станки для высокоскоростной обработки;
- Краны и подъемные устройства;
- Системы управления лифтов и грузоподъемников;
- Энергосберегающие насосные и вентиляционные системы;
- Ткацкие станки;
- Системы транспортировки и загрузки материалов;
- Полиграфическое производство;
- Машины для обработки пластмасс и резины;
- Производство и обработка металлов;
- Судовые механизмы [16].

### 3.3 Определение передаточного числа и выбор редуктора

Передаточное число редуктора определим по известной номинальной скорости вращения выбранного электродвигателя и по основной скорости рабочего органа:

$$i_p = \frac{\omega_n \cdot D}{2 \cdot V_y} = \frac{n_n}{9,55} \cdot \frac{D}{2 \cdot V_y} = \frac{1450}{9,55} \cdot \frac{0,58}{2 \cdot 0,7} = 63,2. \quad (3.19)$$

где  $\omega_n$  – номинальная скорость вращения двигателя;

$D$  – диаметр колеса, преобразующего вращательное движение вала в поступательное;

$V_y$  – основная скорость рабочего органа.

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

Расчетная мощность редуктора:

$$N_p = k \cdot N_M = 1,5 \cdot 18553,406 = 27830,109 \text{ Вт}. \quad (3.20)$$

где  $k$  – коэффициент условий работы (режим работы редуктора в заданном механизме является тяжелым, поэтому принимаем 1,5 для тяжелого режима работы).

Рассчитаем наибольшую мощность, передаваемую рабочей машиной:

$$N_M = M_{\text{РОМАКС}} \cdot \frac{2 \cdot v_y}{D} = 7686,411 \cdot \frac{2 \cdot 0,7}{0,58} = 18553,406 \text{ Вт}. \quad (3.21)$$

По полученной мощности выбираем редуктор Ч–63 [17]:

$i_p = 63$  – передаточное число;

$\eta_p = 0,87$  – КПД;

$M_{\text{крут}} = 128 \text{ Нм}$  – номинальный крутящий момент.

### 3.4 Приведение статических моментов к валу двигателя

После выбора электродвигателя и редуктора, а также после расчета моментов сопротивления можно привести статические моменты системы к валу двигателя:

$$M_{PC} = \frac{M_{POCT}}{i_p}, \quad (3.22)$$

где  $M_{POCT}$  – статический момент рабочей машины, Нм;

$i_p$  – передаточное число выбранного выше редуктора.

При движении с грузом вверх (по формуле 3.10):

$$M_{PC1} = \frac{M_{POCT1}}{j_p} = \frac{7401,461}{63} = 117,48 \text{ Нм.}$$

При движении с грузом вниз:

$$M_{PC2} = \frac{M_{POCT2}}{j_p} = \frac{-7232,608}{63} = -114,8 \text{ Нм.}$$

Тогда статический момент на валу двигателя в двигательном режиме:

– с грузом вверх:

$$M_{ДВС1} = \frac{M_{PC1}}{\eta_p} = \frac{74,015}{0,87} = 135,03 \text{ Нм.}$$

– с грузом вниз:

$$M_{ДВС2} = \frac{M_{PC2}}{\eta_p} = \frac{-72,326}{0,87} = -131,95 \text{ Нм,}$$

где  $\eta_p$  – коэффициент полезного действия выбранного редуктора.

В тормозных режимах момент рассчитывается по формуле:

– с грузом вверх:

$$M_{ТВС1} = M_{PC1} \cdot \eta_p = 117,48 \cdot 0,87 = 102,21 \text{ Нм.}$$

– с грузом вниз:

$$M_{ТВС2} = M_{PC2} \cdot \eta_p = (-114,8) \cdot 0,87 = -99,88 \text{ Нм.}$$



При движении с грузом вниз моменты отрицательны. Это связано с тем, что энергия поступает с вала двигателя и за вычетом потерь в передаче поступает на двигатель.

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

$$M_c = M_{вс} \pm M_{хх} \quad (3.23)$$

где  $M_{хх}$  – момент потерь холостого хода двигателя, Нм.

Принимаем  $M_{хх}$  равным 5% от номинального:

$$M_{хх} = \frac{P_H}{n_H} \cdot 9,55 \cdot 0,05 = \frac{30000}{1460} \cdot 9,55 \cdot 0,05 = 9,81 \text{ Нм.}$$

Двигательный режим:

– с грузом вверх:

$$M_{дс1} = M_{двс1} + M_{хх} = 135,03 + 9,81 = 144,84 \text{ Нм.}$$

– с грузом вниз:

$$M_{дс2} = M_{двс2} - M_{хх} = -131,95 - 9,81 = -141,76 \text{ Нм.}$$

Тормозной режим:

– с грузом вверх:

$$M_{тс1} = M_{твс1} - M_{хх} = 102,21 - 9,81 = 92,4 \text{ Нм.}$$

– с грузом вниз:

$$M_{тс2} = M_{твс2} + M_{хх} = -99,88 + 9,81 = -90,07 \text{ Нм.}$$

Результаты расчета занесены в таблицу 3.3 для каждого участка.

### 3.5 Приведение моментов инерции и коэффициентов жесткости к валу двигателя

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

Суммарный приведенный момент инерции:

$$J = \delta \cdot J_d + J_{пр}, \quad (3.24)$$

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

$$J_{пр} = \frac{J_{ро}}{i_p^2}; \quad (3.25)$$

$J_d$  – момент инерции ротора выбранного двигателя, кг·м<sup>2</sup>;

$\delta$  – коэффициент, учитывающий момент инерции остальных моментов электропривода: тормозного шкива, муфт, редуктора, и т.д. ( $\delta = 1,3..1,5$ ).

Приведенный момент инерции рабочей машины к валу двигателя:

Суммарный приведенный момент инерции рассчитаем по формуле 3.11:

$$J = 1,5 \cdot 2,55 + \frac{413,17}{63^2} = 3,9 \text{ кгм}^2.$$

Для каждого участка проведены расчеты, и все значения занесены в таблицу 4.1.

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

Пусковой момент:

$$M_{\text{п}} = M_{\text{дс}} + M_{\text{дин}}, \quad (3.26)$$

где  $M_{\text{с}}$  – статический момент сопротивления движению, Нм;

$M_{\text{дин}}$  – динамический момент, Нм.

Рассчитаем динамический момент:

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_{\text{р}}}{D}, \quad (3.27)$$

где  $a$  – допустимое ускорение при пуске и торможении, м/с<sup>2</sup>;

$D$  – диаметр шкива, преобразующей вращение в поступательное движение, м;

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

Динамический момент при движении по формуле 3.27:

$$M_{\text{дин}} = 3,9 \cdot \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 63}{0,58} = 169,4 \text{ Нм.}$$

Пусковой момент при движении с грузом вверх по формуле 3.26:

$$M_{\text{п1}} = M_{\text{дс1}} + M_{\text{дин}} = 144,48 + 169,4 = 314,24 \text{ Нм.}$$

Пусковой момент при движении с грузом вниз:

$$M_{\text{п2}} = M_{\text{дс2}} - M_{\text{дин}} = -141,76 - 169,4 = -311,16 \text{ Нм.}$$

Тормозной момент:

$$M_{\text{т}} = |M_{\text{дин}}| - M_{\text{тс}}. \quad (3.28)$$

При движении с грузом вверх (по формуле 3.28):

$$M_{\text{т1}} = |M_{\text{дин}}| - M_{\text{тс1}} = 169,4 - 92,4 = 77 \text{ Нм.}$$

При движении с грузом вниз (по формуле 3.28):

$$M_{\text{т2}} = -|M_{\text{дин}}| - M_{\text{тс2}} = -169,4 + 90,07 = -79,33 \text{ Нм.}$$

Ни на одном участке момент при торможении или разгоне не оказался выше максимального момента двигателя.

Рассчитаем средний момент двигателя при реостатном пуске с грузом:

$$M_{\text{ДСР1}} = M_{\text{П1}} = 314,24 \text{ Нм};$$

$$M_{\text{ДСР2}} = M_{\text{П2}} = -311,16 \text{ Нм.}$$

Рассчитаем средний момент двигателя при динамическом торможении с грузом:

$$M_{\text{ТСР}} = \frac{M_{\text{П}}}{2}. \quad (3.29)$$

По формуле 3.29:

$$M_{\text{ТСР1}} = \frac{M_{\text{П1}}}{2} = \frac{314,24}{2} = 157,12 \text{ Нм,}$$

$$M_{\text{ТСР2}} = \frac{M_{\text{П2}}}{2} = \frac{-311,16}{2} = -155,58 \text{ Нм.}$$

Найдем установившуюся частоту вращения двигателя:

$$\omega_c = \frac{2 \cdot v_y}{D} \cdot i_p = \frac{2 \cdot 0,7}{0,58} \cdot 63 = 152,06 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (3.30)$$

Найдем пониженную частоту вращения двигателя:

$$\omega_{\text{п}} = \frac{2 \cdot v_{\text{п}}}{D} \cdot i_p = \frac{2 \cdot 0,07}{0,58} \cdot 63 = 15,21 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (3.31)$$

### 3.6 Предварительная проверка двигателя по производительности и нагреву

Целью предварительной проверки двигателя является уточнение нагрузочных диаграмм момента, а также диаграммы скорости с учетом момента инерции выбранного двигателя.

Время переходных процессов для каждого участка:

$$t_i = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{\text{ср}} - M_c}, \quad (3.32)$$

где  $J$  – приведенный момент инерции системы к валу двигателя,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$\omega_c$  – установившаяся скорость двигателя,  $1/\text{с}$ ;

$M_{\text{ср}}$  – средний момент двигателя, Нм;

$M_c$  – приведенный статический момент, Нм.

Движение вверх:

Первый участок – разгон с грузом (по формуле 3.32):

$$t_1 = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{ДСР1} - M_{ДС1}} = 3,9 \cdot \frac{152,06}{314,24 - 144,48} = 3,49 \text{ с.}$$

Третий участок – торможение с грузом до пониженной скорости:

$$t_3 = J \cdot \frac{\omega_c - \omega_n}{M_{ТСР1} + M_{ТС1}} = 3,9 \cdot \frac{152,06 - 15,21}{157,12 + 92,4} = 2,1 \text{ с.}$$

Пятый участок – торможение с грузом до остановки:

$$t_5 = J \cdot \frac{\omega_n}{M_{ТСР1} + M_{ТС1}} = 3,9 \cdot \frac{15,21}{157,12 + 92,4} = 0,24 \text{ с.}$$

Движение вниз:

Седьмой участок – разгон с грузом:

$$t_7 = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{ДСР2} - M_{ДС2}} = 3,9 \cdot \frac{-152,06}{-311,16 + 141,76} = 3,5 \text{ с.}$$

Девятый участок – торможение с грузом до пониженной скорости:

$$t_9 = J \cdot \frac{\omega_c - \omega_n}{M_{ТСР2} + M_{ТС2}} = 3,9 \cdot \frac{152,06 - 15,21}{-155,58 - 90,07} = 2,1 \text{ с.}$$

Одиннадцатый участок – торможение с грузом до остановки:

$$t_{11} = J \cdot \frac{\omega_n}{M_{ТСР1} + M_{ТС1}} = 3,9 \cdot \frac{-15,21}{-157,12 + 92,4} = 0,24 \text{ с.}$$

Угол поворота вала двигателя за время переходного процесса:

$$\alpha_i = \frac{\omega_c \cdot t_i}{2}. \quad (3.33)$$

Угол поворота вала по формуле (3.33):

– за 1–й, 3–й и 5–й участки:

$$\alpha_{1,3,5} = \frac{152,06 \cdot 3,49 + (152,06 - 15,21) \cdot 2,1 + 15,21 \cdot 0,24}{2} = 410,86 \text{ рад;}$$

– за 7–й, 9–й и 11–й участки:

$$\alpha_{7,9,11} = \frac{-152,06 \cdot 3,5 + (-152,06 + 15,21) \cdot 2,1 - 15,21 \cdot 0,24}{2} = -411,6 \text{ рад};$$

Время работы с установившейся скоростью:

$$t_y = \frac{\alpha_\Sigma - (\alpha_n - \alpha_t)}{\omega_c}, \quad (3.34)$$

где  $\alpha_\Sigma$  – угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме, рад;

$\alpha_n, \alpha_t$  – угол поворота вала за время пуска и торможения, рад.

Угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме:

$$\alpha_\Sigma = 2 \cdot L \cdot \frac{i_p}{D} = 2 \cdot 16 \cdot \frac{63}{0,58} = 3475,86 \text{ рад.}$$

Угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в режиме пониженной скорости:

$$\begin{aligned} \alpha_{n1} = \alpha_{n2} &= 2 \cdot (L_{T1} - L_{T1.1} - L_{T1.2}) \cdot \frac{i_p}{D} = 2 \cdot (1,225 - 0,992 - 0,01225) \cdot \frac{63}{0,58} = \\ &= 47,96 \text{ рад.} \end{aligned}$$

В соответствии с формулой (3.34):

$$t_{увпер} = \frac{\alpha_\Sigma - \alpha_{1,3,5} - \alpha_{n1}}{\omega_c} = \frac{3475,86 - 410,86 - 47,96}{152,06} = 19,84 \text{ с};$$

$$t_{уназ} = \frac{\alpha_\Sigma - \alpha_{7,9,11} - \alpha_{n2}}{\omega_c} = \frac{3475,86 + 411,6 - 47,96}{152,06} = 25,25 \text{ с};$$

$$t_{п1} = \frac{\alpha_{п1}}{\omega_n} = \frac{47,96}{15,21} = 3,15;$$

$$t_{п2} = \frac{\alpha_{п2}}{\omega_n} = \frac{47,96}{15,21} = 3,15.$$

Результаты расчета сведены в Таблицу 4.1.

Суммарное фактическое время работы привода:

										Лист
										37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ					

$$t_{\phi} = 3,49 + 19,84 + 2,1 + 3,15 + 0,24 + 3,5 + 25,25 + 2,1 + 3,15 + 0,24 = 63,06 < 72 \text{ с.}$$

Полученное время меньше заданного времени работы привода, то есть требование по производительности выполнено.

Предварительная проверка двигателя по нагреву производится по величине среднеквадратичного момента:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \leq M_{\text{доп}}, \quad (3.35)$$

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{314,24^2 \cdot 3,49 + 144,48^2 \cdot (19,84 + 3,15) + 157,12^2 \cdot (2,1 + 0,24) + (-311,16)^2 \cdot 0,24 + (-141,76)^2 \cdot (25,25 + 3,15) + (-155,58)^2 \cdot (2,1 + 0,24)}{63,06}} =$$

$$= 155,91 \text{ Нм.}$$

Момент двигателя при  $P_{V_{\text{кат}}}$ , ближайшем к  $P_{V_{\phi}}$ :

$$M_{\text{КАТ}} = \frac{P_n \cdot 9,55}{n_n} = \frac{30000 \cdot 9,55}{1460} = 196,23 \text{ Нм.} \quad (3.36)$$

Фактическое значение ПВ:

$$P_{V_{\phi}} = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \cdot t_{\phi} \cdot 100\% = \frac{1}{72} \cdot 63,06 \cdot 100\% = 87,58 \%. \quad (3.37)$$

Допустимый момент:

$$M_{\text{ДОП}} = M_{\text{КАТ}} \cdot \sqrt{\frac{P_{V_{\text{кат}}}}{P_{V_{\phi}}}} = 196,23 \cdot \sqrt{\frac{100}{87,58}} = 209,68 \text{ Нм.} \quad (3.38)$$

Уменьшим допустимый момент на 15%:

$$M_{\text{ДОП.15\%}} = M_{\text{ДОП}} \cdot 0,85 = 209,68 \cdot 0,85 = 178,23 \text{ Нм.} \quad (3.39)$$

$155,91 \text{ Нм} < 209,68 \text{ Нм}$  – среднеквадратичный момент меньше допустимого. Следовательно, двигатель проходит проверку по нагреву.

Таблица 3.3 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

Участок движения	Движение с грузом вверх				
	Пуск	Установившийся режим 1	Торможение 1	Установившийся режим 2	Торможение 2
$t, c$	3,5	19,357	3,154	3,154	0,35
$L, м$	1,225	13,55	0,992	0,22075	0,01225
$V, м/с$	–	0,7	–	0,07	–
$M_{рост}, Нм$	7401,461	7401,461	7401,461	7401,461	7401,461
$J_{рост}, кг \cdot м^2$	413,17	413,17	413,17	413,17	413,17
$M_{родин}, м/с$	284,95	0	284,95	0	284,95
$M_{ро}, Нм$	7686,411	7401,461	7116,511	7401,461	7116,511
$M_{рс}, Нм$	117,48	117,48	117,48	117,48	117,48
$M_{двс}, Нм$	135,03	135,03	135,03	135,03	135,03
$M_c, Нм$	144,84	144,84	92,4	144,84	92,4
$\omega_c, рад/с$	–	152,06	–	15,21	–
$J_{пр}, кг \cdot м^2$	0,211	0,211	0,211	0,211	0,211
$J, кг \cdot м^2$	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
$M_{дин}, Нм$	169,4	0	169,4	144,48	169,4
$M_{доп.уск}, Нм$	314,24	144,48	77	144,48	77
$M_{ср}, Нм$	314,24	144,48	157,12	157,12	157,12
$t, c$	3,5	19,84	2,1	3,15	0,24
$\alpha, рад$	265,35	1508,43	143,69	23,95	1,83



Таблица 3.3 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм (окончание)

Участок движения	Движение с грузом вниз				
	Пуск	Установившийся режим 1	Торможение 1	Установившийся режим 2	Торможение 2
$t, c$	3,5	19,357	3,154	3,154	0,35
$L, м$	1,225	13,55	0,992	0,22075	0,01225
$V, м/с$	–	0,7	–	0,07	–
$M_{рост}, Нм$	–7401,461	–7401,461	–7401,461	–7401,461	–7401,461
$J_{рост}, кг \cdot м^2$	413,17	413,17	413,17	413,17	413,17
$M_{родин}, м/с$	284,95	0	284,95	0	284,95
$M_{ро}, Нм$	7686,411	7401,461	7116,511	7401,461	7116,511
$M_{рс}, Нм$	–114,8	–114,8	–114,8	–114,8	–114,8
$M_{двс}, Нм$	–131,95	–131,95	–131,95	–131,95	–131,95
$M_c, Нм$	–141,76	–141,76	–90,07	–141,76	–90,07
$\omega_c, рад/с$	–	152,06	–	15,21	–
$J_{пр}, кг \cdot м^2$	0,211	0,211	0,211	0,211	0,211
$J, кг \cdot м^2$	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
$M_{дин}, Нм$	169,4	0	169,4	0	169,4
$M_{доп.уск}, Нм$	–311,16	–141,76	–79,33	–141,76	–79,33
$M_{ср}, Нм$	–311,16	–141,76	–155,58	–155,58	–155,58
$t, c$	3,5	25,25	2,1	3,15	0,24
$\alpha, рад$	266,11	1919,76	–143,69	23,95	–1,83

### 3.7 Расчет статических характеристик электропривода

Найдем базовые величины параметров двигателя.

Номинальное фазное напряжение  $U_{1H}=220$  В;

Номинальная частота  $f_{1H}=50$  Гц;

Номинальный ток статора  $I_{1H}= 56,3$  А;

Синхронная скорость вращения :

$$\omega_{оН} = \frac{2\pi \cdot f_{1H}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157 \text{ рад/с.} \quad (3.40)$$

Номинальный момент на валу :

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{30000}{151,8} = 197,6 \text{ Нм.} \quad (3.41)$$

Рассчитаем частоту  $f_1$  и напряжение на статоре  $U_1$ , при которых механические характеристики будут проходить через точки установившегося режима.

Заданные точки (в относительных единицах):

$$\overline{M}_{зад} = \frac{M_{зад}}{M_H} = \frac{144,48}{197,6} = 0,73; \quad (3.42)$$

$$\overline{\omega}_{зад} = \frac{\omega_{зад}}{\omega_{оН}} = \frac{152,06}{157} = 0,96. \quad (3.43)$$

Приращение скорости (в относительных единицах):

$$S_H = \frac{\omega_{оН} - \omega_H}{\omega_{оН}} = \frac{157 - 151,8}{157} = 0,03; \quad (3.44)$$

$$\overline{\omega}_{0зад} = \overline{\omega}_{зад} + S_H \overline{M}_{зад} = 0,96 + 0,03 \cdot 0,73 = 0,962. \quad (3.45)$$

Значения частоты и напряжения в заданной точке:

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1H}} = \overline{\omega}_{0зад} = 0,962. \quad (3.46)$$

Частота и напряжение в заданной точке:

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1H} = 0,962 \cdot 50 = 48,1 \text{ Гц;} \quad (3.47)$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1H} = 0,962 \cdot 220 = 211,64 \text{ В.} \quad (3.48)$$

Полученные значения занесем в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Расчетные значения для построения статических характеристик

Расчетные параметры		С грузом вверх		С грузом вниз	
Заданные точки					
$\omega_{зад}$	рад/с	151,8	15,21	151,8	15,21
	отн.ед	0,96	0,097	0,96	0,097
$M_c$	Нм	144,48	141,76	144,48	141,76
	отн.ед	0,73	0,72	0,73	0,72
Расчетные данные					
$\omega_{0зад}$	отн.ед	0,962	0,112	0,962	0,112
f1	Гц	48,1	5,6	48,1	5,6
$U_1$	В	211,64	24,64	211,64	24,64

По рассчитанным данным построим характеристики двигателя в заданных точках. Все расчеты произведены в программе Matlab "haradkz.m". Характеристики представлены на рисунках 3.2 и 3.3

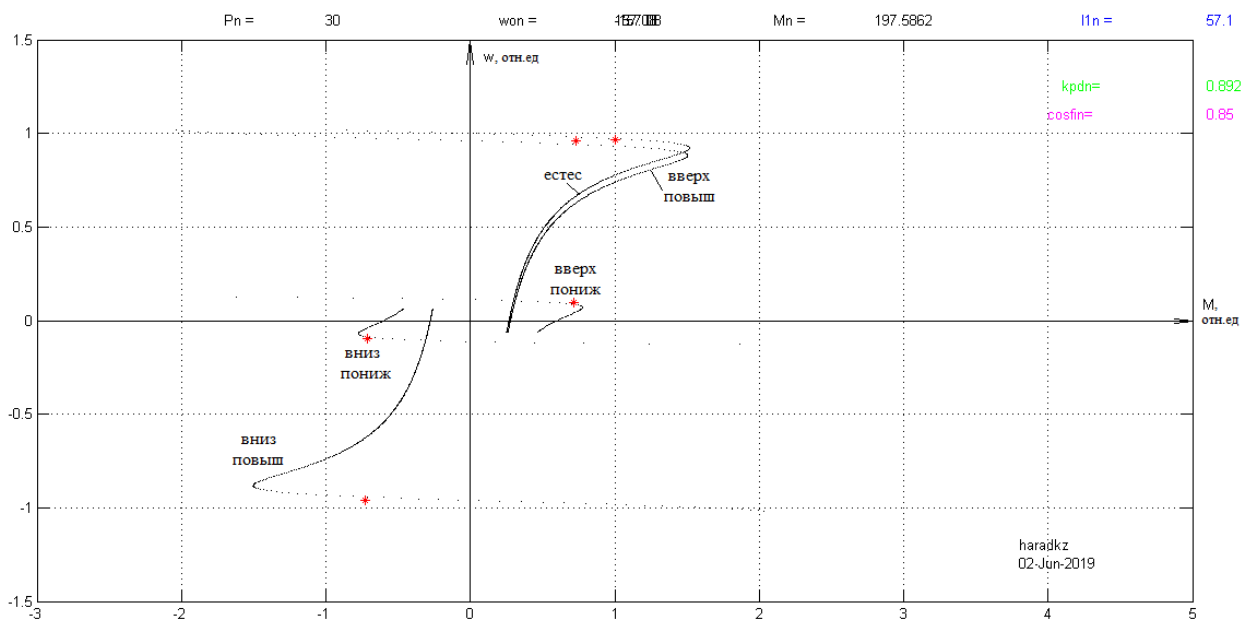


Рисунок 3.2 – Механические характеристики работы подъемника

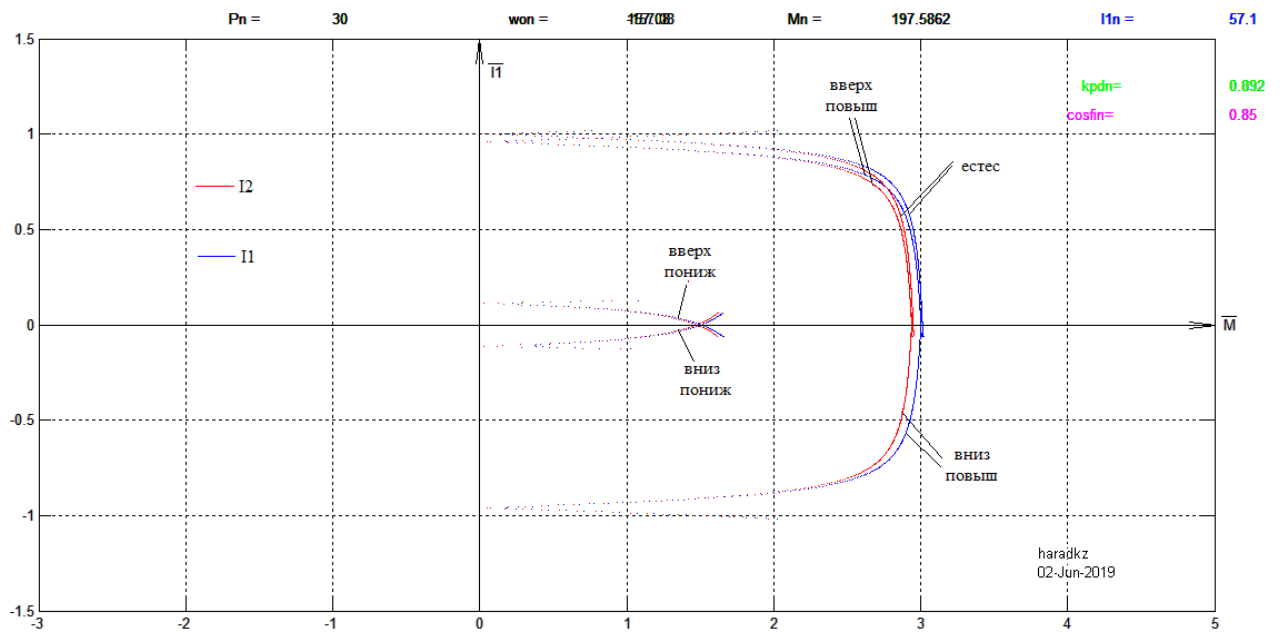


Рисунок 3.3 – Электромеханические характеристики работы подъемника

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

ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ

Лист

43

## 4 ВЫБОР И ОПИСАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

### 4.1 Выбор преобразователя

При выборе преобразователя частоты нужно учитывать следующие параметры:

- Мощность, номинальный ток и тип электродвигателя;
- Вращающий момент на валу двигателя;
- Конструктивные особенности, а именно размеры и форма частотного преобразователя, а также необходимость выноса пульта управления.

Так как в проекте используется асинхронный двигатель, то при выборе преобразователя частоты нужно руководствоваться соответствующей мощностью, однако, если необходим большой пусковой момент или минимальное время разгона, то лучше использовать преобразователь частоты на ступень выше. При работе со специальными электродвигателями нужно учитывать, в первую очередь, номинальный ток частотного преобразователя, который должен быть выше номинального тока электродвигателя.

В наиболее распространенных частотно–регулируемых электроприводах на основе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором применяются скалярное и векторное управление.

Скалярное управление имеет прямую зависимость выходного напряжения ПЧ к его выходной частоте, то есть при изменении частоты амплитуда напряжения изменяется так, что отношение максимального момента двигателя к текущему моменту нагрузки остается постоянным. Это отношение есть перегрузочная способность электродвигателя. Используя скалярное управление, есть возможность одновременно управлять группой из нескольких двигателей. Скалярное управление чаще всего применяется с диапазоном регулирования частоты вращения до 1:40.

										Лист
										44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ					

Сейчас, во многих новых моделях частотных преобразователей реализован принцип векторного управления, который позволяет улучшить точность поддержания и контроля момента и скорости на валу двигателя на определенном необходимом уровне. Векторные частотные преобразователи лучше использовать тогда, когда нагрузка изменяется на одной и той же частоте, где нет точной зависимости между скоростью вращения и моментом. При снижении нагрузки за счет снижения напряжения на двигателе, векторные частотные преобразователи позволяют минимизировать реактивный ток электродвигателя.

Помимо вышеуказанного, нужно учитывать питающее напряжение – от трехфазной промышленной сети 380 В, либо от однофазной сети 220–240 В. Последний вариант зачастую ограничивается мощностью 3,7 кВт.

Кроме функций управления на частотный преобразователь обычно возлагаются функции защиты, такие как:

- Ограничение тока при пуске/остановке, при продолжительной работе и коротком замыкании;
- Защита от перенапряжения и пониженного напряжения;
- Контроль температуры двигателя;
- Защит от перегрева радиатора и др [18].

На основе вышесказанного в п.3.2 был выбран преобразователь частоты Unidrive SP 40T/SP4401, в котором есть возможность векторного управления.

## 4.2 Виды защит в преобразователе

В выбранный преобразователь Unidrive SP встроены следующие виды защит:

- Независимая термозащита дополнительных устройств, органов управления, силовой части, тормозного резистора и двигателя;
- Интеллектуальная тепловая модель позволяет регулировать частоту включения и скорость вращения вентилятора, что позволяет повысить надежность привода и исключить перегрев;
- Восстановление после таких сбоев, как: обрыв фазы, дисбаланс, просадки напряжения;
- Встроенная защита: от короткого замыкания на выходе, короткого замыкания на землю на выходе, перегрузке по входам/выходам, обрыв кабеля энкодера и короткого замыкания в цепи энкодера;
- Удобные, высоконадежные съемные разъемы управления с защитой от неправильного соединения.

Также степень защиты выбранного преобразователя составляет IP05: защищен от капель воды и пыли [21].

										Лист
										46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ					

### 4.3 Расчет динамических характеристик (расчет частоты и напряжения двигателя в системе преобразователь–двигатель при работе в заданной точке)

#### 4.3.1 Построение переходных процессов электропривода

Для изучения переходных процессов этой системы используем готовую программу (zipchad.m) ver2012.10.25. Переходные процессы данной системы ПЧ–АД посчитаны в этой программе и приведены на рисунках 6.2 и 6.3.

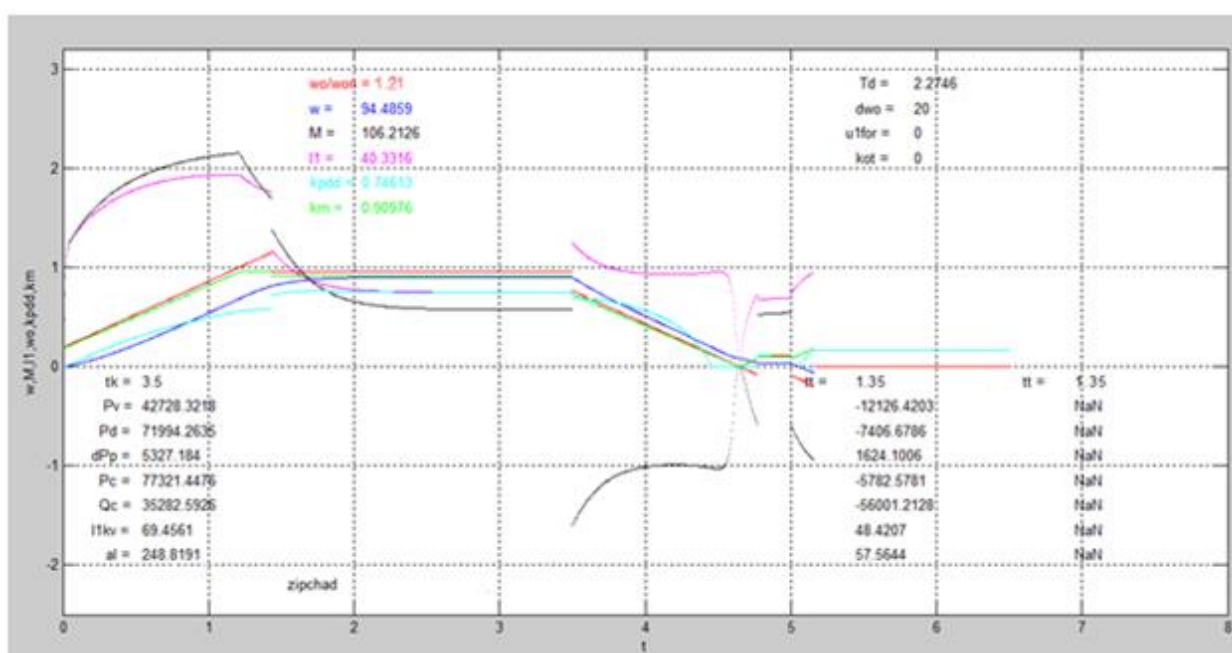


Рисунок 4.3 – Переходный процесс в системе ПЧ–АД при движении вверх

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



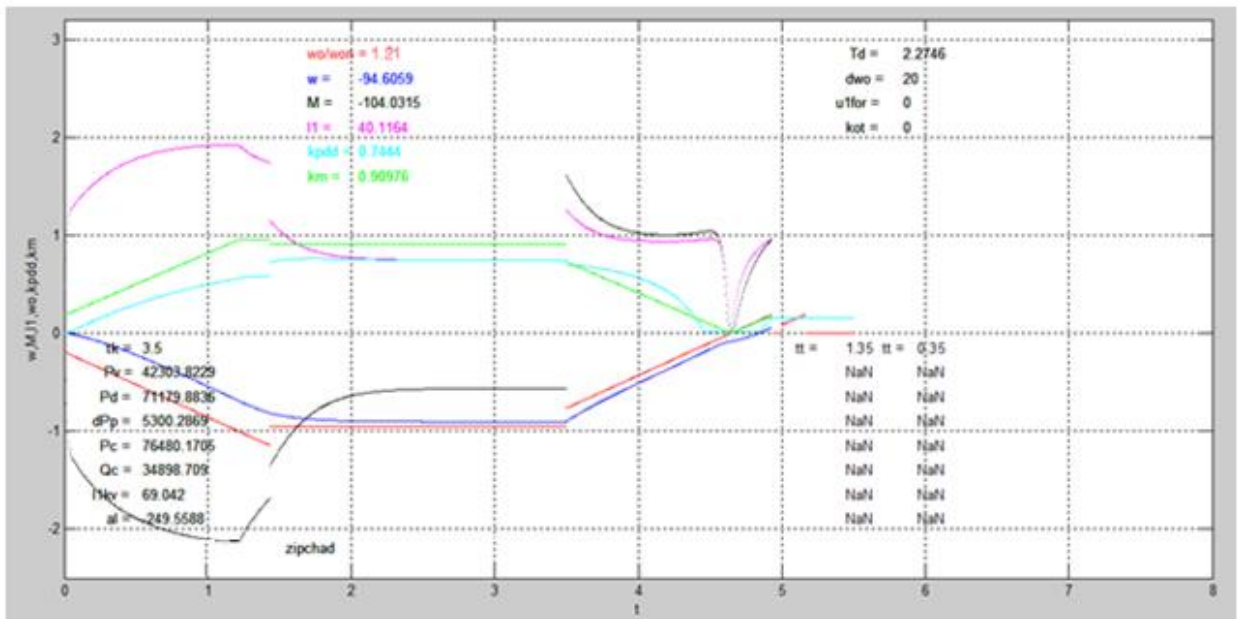


Рисунок 4.4 – Переходный процесс в системе ПЧ–АД при движении вниз

#### 4.4.2 Расчет энергетических показателей электропривода

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

Цикловый КПД представляет собой отношение произведенной механической работы за цикл  $P_v$  к потребленной за это время электроэнергии из сети  $P_c$ :

$$\eta_{ц} = \frac{P_v}{P_c} = \frac{\int_0^{t_k} M_{PO}(t) \cdot \omega_{PO}(t) dt}{\int_0^{t_k} P_c dt} \quad (4.1)$$

Механическая энергия за время переходного процесса определяется из соотношения:

$$P_v = \int_0^t M(t) \cdot \omega(t) d\omega = \sum_{i=1}^n M_i \cdot \omega_i \cdot \Delta t_i \quad (4.2)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Энергия за время цикла складывается из суммы энергий за время переходных процессов (2 пуска и 4 торможения) и за время работы в установившихся режимах.

Механическая энергия за цикл работы:

$$P_{вц} = \sum_{i=1}^4 P_{вк} + \sum_{i=1}^2 P_{уст.} \quad (4.3)$$

Реактивная энергия за цикл:

$$P_{сц} = \sum_{i=1}^4 P_{ск} + \sum_{i=1}^2 P_{с.уст.} \quad (4.4)$$

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

$$\eta_{ц} = \frac{P_{вц}}{P_{сц}}; \quad (4.5)$$

$$(\cos \varphi)_{ц} = \frac{P_{сц}}{\sqrt{P_{сц}^2 + Q_{сц}^2}}. \quad (4.6)$$

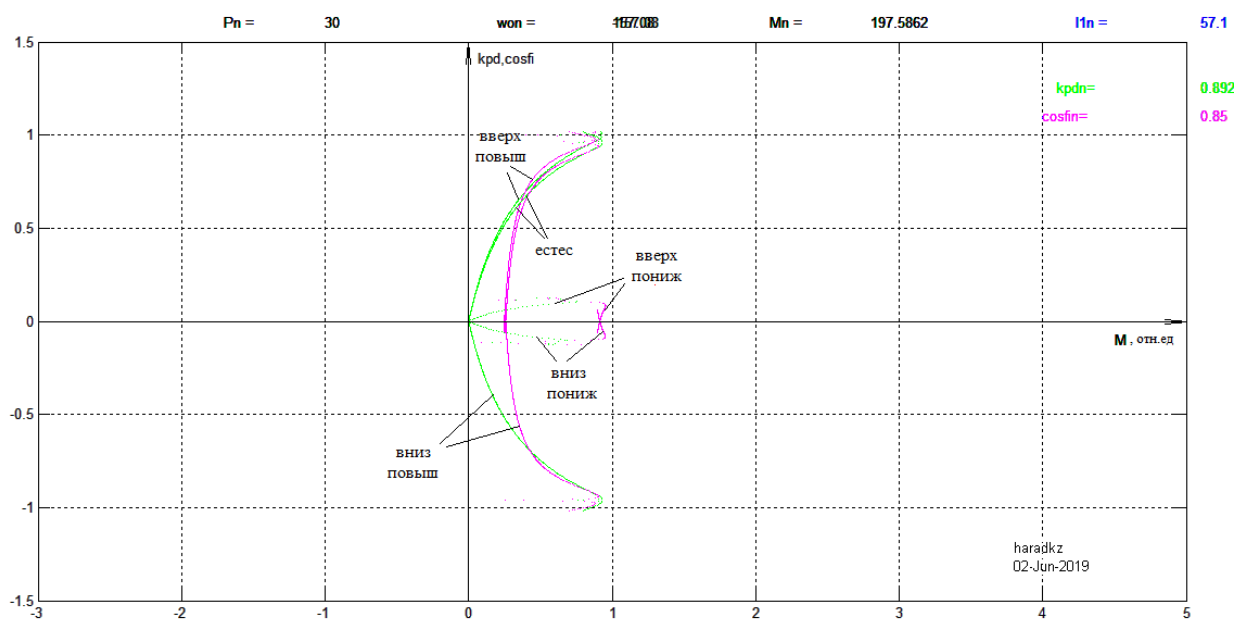


Рисунок 4.5 – Энергетические диаграммы работы подъемника

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

#### 4.4 Проверка электропривода по нагреву и перегрузочной способности

##### 4.4.1 Проверка на перегрузочную способность.

Прошедшим проверку на перегрузочную способность двигатель считается, если максимальный ток двигателя не превышает максимально допустимый ток  $(2...2,5) \cdot I_N$ . Из рисунков 4.9 и 4.10 видно, что  $I_{\text{МАКС}}=1,9 \cdot I_N$ , что удовлетворяет условию.

Остальные данные о работе электропривода получают в виде интегральных показателей.

После расчета времени переходных процессов на всех участках движения и расчета времени установившегося движения в течение цикла работы определяется фактическое время работы электропривода в цикле:

$$t_{\text{р.факт}} = \sum (t_k + t_t + t_y) = 3,5 + 19,15 + 3,6 + 3,15 + 0,39 + 3,5 + 22,69 + 3,6 + 3,15 + 0,39 = 63,12 \text{ с.} \quad (4.7)$$

Проверка на заданную производительность состоит в сравнении рассчитанного времени работы электропривода  $t_{\text{р.факт}}$  в цикле с временем  $t_p$ , заданным в техническом задании на проектирование:  $t_{\text{р.факт}} \leq t_p$  ( $63,12 < 72$  с). Полученное значение  $t_{\text{р.факт}}$  удовлетворяет условию. Значит выбранный двигатель проходит проверку на перегрузочную способность.

##### 4.4.2 Проверка по нагреву двигателя, преобразователей.

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

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (4.8)$$

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

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

$\beta_i$  – коэффициент ухудшения теплоотдачи двигателя;

$I_{\text{доп}}$  – ток, допустимый по нагреву.

									Лист
									50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ				

Коэффициент ухудшения теплоотдачи остановленного двигателя  $\beta_0$  зависит от его конструктивного исполнения и условий вентиляции. В данном случае преобразователь с естественным охлаждением, принимаем  $\beta_0=0,98$ .

Нагрузочные диаграммы скорости  $\omega(t)$  каждого из вариантов работы в цикле разбиваются на участки движения с разными скоростями по таблице 4.1, рассчитываются времена  $t_{02}, t_{08}, t_{10}$  работы в цикле с такими скоростями и подставляются в знаменатель формулы, указанной выше.

$$I_3 = \sqrt{\frac{69,46^2 \cdot 1,5 + 40,33^2 \cdot (2 + 0,25) + 48,42^2 \cdot (1,25 + 0,2) + 69^2 \cdot 1,5 + 0,98^2 \cdot (0,5 + 0,5) + 0,99^2 \cdot (0,45 + 0,45) + 40,12^2 \cdot (2 + 0,25) + 48^2 \cdot (1,25 + 0,2) + 1 \cdot (2,5 + 2,5)}{}} = 64,3 \text{ А.}$$

Допустимый по нагреву ток двигателя рассчитаем через каталожный ток  $I_{\text{кат}}$  при каталожной ПВ<sub>кат</sub>, ближайшей к фактической:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{кат}}}{\text{ПВ}_{\text{факт}}}} = 69 \cdot \sqrt{\frac{100}{81,27}} = 76,59 \text{ А.} \quad (4.9)$$

При проверке двигателя по нагреву эквивалентный ток  $I_3$  сравнивают с допустимым  $I_{\text{доп}}$ :

$$I_3 = 0,84 I_{\text{доп}} = 0,84 \cdot 76,59 = 64,3 \text{ А.} \quad (4.10)$$

Двигатель прошел проверку по нагреву.

#### 4.4.3 Проверка преобразователя по нагреву.

Выполняется сравнением среднеквадратичного тока двигателя за время работы с номинальным выходным током преобразователя:

$$I_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{1}{tp} \cdot \sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i} \leq I_{\text{н.пр.}}$$

Найдем значение среднеквадратичного тока двигателя:

$$I_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{69,46^2 \cdot 2,01 + 40,33^2 \cdot (23,94 + 2,75) + 48,42^2 \cdot (1,23 + 0,16) + 69^2 \cdot 3,1 + 40,12^2 \cdot (23,38 + 2,75) + 48^2 \cdot (1,25 + 0,16)}{72}} = 41,2 \text{ А.}$$

41,2 А < 75 А => преобразователь прошел проверку по нагреву.

#### 4.5 Настройка электропривода и диагностика состояния работы

Изначально в преобразователь частоты встроены заводские настройки, соответствующие наиболее частым случаям управления. Но в данном случае нужно произвести настройку преобразователя на соответствующую задачу. С параметров преобразователь настраивается на соответствующее приложение. При этом каждый параметр обозначается соответствующим номером, текстом параметра и специальными атрибутами (к примеру, для чтения, для записи и т.д.). Номер параметра является уникальным во всей приводной системе. Напротив, атрибут может присваиваться многократно, поэтому несколько параметров могут иметь один атрибут.

Таблица 4.1 – Установка параметров применяемого асинхронного двигателя

Код	Наименование функции	Требуемое значение
05.06	Номинальная частота двигателя, Гц	50
05.07	Номинальный ток двигателя, А	56,3
05.08	Номинальная скорость, мин <sup>-1</sup>	1460
05.09	Номинальное напряжение, В	380
05.10	Коэффициент мощности двигателя	0,69
05.11	Количество полюсов двигателя	Auto

Таблица 4.2 – Установка параметров движения

Наименование функции	Код	Требуемое значение	Примечание
Ограничение задания по максимуму, Гц	01.06	50	=05.06
Селектор задания	01.14	Pr	Клеммы
Нулевая скорость (0v000), Гц	01.21	0	
Тепловая постоянная времени	04.15	100	
Режим торможения	06.01	rP.dcI	

Таблица 4.3 – Программирование входных и выходных клемм ПЧ

Код	Клемма	Функция	Сигнал	Требуемое значение
Базовые входы и выходы				
08.29	–	Положительная логика	–	OFF
08.30	–	Выход с открытым коллектором	–	ON
08.31	24	Режим цифрового выхода	–	ON
08.32	25	Режим цифрового выхода	–	ON
08.33	28, 29	Режим цифрового выхода	–	ON
08.39	27	Запрет автовыбора функций клемм 28, 29	–	ON
08.24	28	Запуск вперед	UP	6,30
08.25	29	Запуск назад	DOWN	6,32
08.26	41	Сброс	RESET	10,33
08.27		Готовность	READY	10,01
Входы и выходы платы расширения SM-I/O Plus				
17.21	2	1–й бит скорости	DEC	1,45
17.23	4	3–й бит скорости	HS	1,47
17.24	6	Изменение времени ускорения	SELT	2,32
17.25	7	Изменение времени замедления		2,35
17.27	21	Сигнал отпускания тормоза	BRAKE	12,40
17.28	23	Работа	RUN	10,02
17.29	–	Положительная логика	–	OFF

Сохранить настройки ПЧ нужно в энергонезависимой памяти установив для параметра "00.00" значение "1000" и нажав красную кнопку сброса на панели управления ПЧ.

При появлении сигнала аварии на дисплее ПЧ следует обратиться к списку кодов аварийных отключений (приведено в руководстве пользователя к ПЧ) [36].

## 5 ВЫБОР ПРОГРАММИРУЕМОГО КОНТРОЛЛЕРА

### 5.1 Задачи, предъявляемые к контроллеру

Для того, чтобы автоматизировать одностоечный подъемник, необходимо соблюдать ряд требований к системе автоматизации данного механизма:

1. система автоматизации должна диагностировать состояние всего механизма и при отсутствии ошибок выдавать сигнал «Готовность» на привод;

2. система должна обеспечивать выявление и индикацию аварийных режимов работы световой сигнализацией;

3. система автоматизации должна обеспечивать немедленное отключение электродвигателя, если возникла аварийная ситуация;

4. система должна обеспечивать работу в автоматическом режиме подхватов и платформы только при наличии сигнала "Готовность" с привода и при исправных состояниях датчиков;

5. система должна обеспечивать в ручном режиме подхватов и платформы. Причем в данном режиме возможна работа подъемника, как в прямом, так и в обратном направлении (обеспечение реверса). В то время как в автоматическом режиме платформа движется только в одном направлении ("Вперед");

Функции оператора должны сводиться к подаче питания на все элементы системы и постановке ключа выбора режима в положение «Автоматический».

Далее оператор оценивает ситуацию, и если есть возможность начать работу в автоматическом режиме, запускает систему в работу. Если ситуация не позволяет начать работу в автоматическом режиме, он должен в ручном режиме привести оборудование к тому состоянию, из которого система может быть выведена в автоматический режим работы.







### 5.3 Характеристики выбранного контроллера

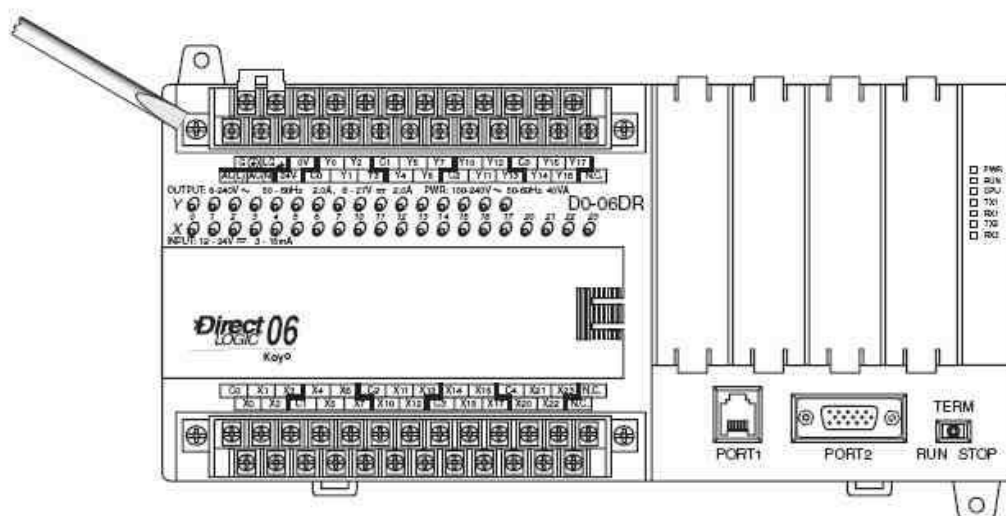


Рисунок 5.1 – Внешний вид программируемого логического контроллера DL06

Моноблочный микроконтроллер с фиксированным количеством входов/выходов (8/6) и одним слотом расширения для дополнительного модуля, предназначенный для систем управления небольшими объектами.

Возможности:

- 8 конфигураций ввода/вывода;
- Модели с питанием от постоянного тока;
- 8 входов и 6 выходов, расширение до 30 точек ввода/вывода;
- Программная память – 2Кслов;
- Память данных – 4Кслов;
- 2 коммуникационных порта;
- Встроенная поддержка протоколов: MODBUS RTU ведущий/ведомый DirectNET ведущий/ведомый, ASCII вывод;
- Поддержка Ethernet и DeviceNET ведомый (дополнительные модули);
- 129 команд, включая 4 ПИД-регулятора с автонастройкой;
- Барабанный командоаппарат по времени и по событиям;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ

Лист

57

- Высокоскоростной ввод/вывод (для входов/выходов постоянного тока);
- Система быстрого подключения модулей ZIPLink для 16-канальных дискретных модулей [23].

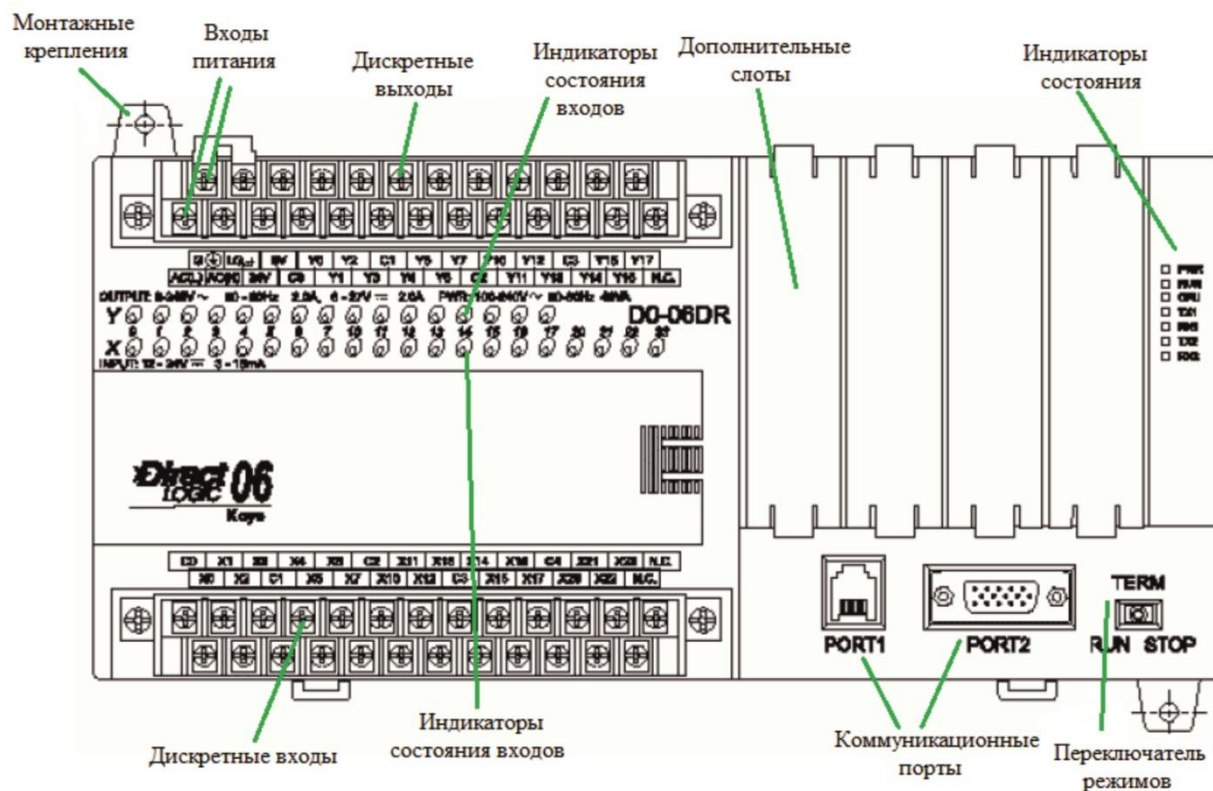


Рисунок 5.3 – Внешний вид передней модели контроллера DL06

Таблица 5.1 – Технические характеристики контроллера DL06 [37]

Количество входов, их характеристики	20 шт; =12–24В источник/потребитель; 7 кГц счетчик ввода
Количество выходов, их характеристики	16 шт =6–27В, ~6–240 В; 2А/канал
Напряжение питания	~110/220В
Дополнительный источник питания	=24В, 0,3А
Общая память	14,8 Кслов (7679 слов память программ flash, 7488 слов V-память)
Вид программирования	RLL/RLLPLUS

Контроллер D0-06DR имеет 20 входов постоянного тока и 16 релейных выходов. На рисунке 5.3 приведен пример типичного подключения типичного подключения внешних устройств. Как видно на рисунке 5.3, для подвода внешнего источника питания используются 4 клеммы. Входы объединены в 5 групп по 4 канала. Каждой группе отводится отдельный общий провод и может быть подключена как приемник или источник. В приведенном ниже примере все общие цепи соединены в одну, но можно использовать отдельные источники питания и общие цепи.

Выходы сгруппированы в четыре группы по четыре реле с нормально разомкнутыми контактами. Каждой группе отводится одна общая клемма. В приведенном примере все общие провода соединены в одной точке, но можно использовать отдельные источники питания и общие цепи. На эквивалентной схеме выходной цепи представлен один канал. Релейные контакты могут использоваться в цепях постоянного или переменного тока.

Таблица 5.1 – Характеристики входов постоянного тока

Параметр	Быстродействующие входы X0–X3	Стандартные входы постоянного тока X4–X23
Диапазон напряжения (мин.– макс.), В	=10,8–26,4	=10,8–26,4
Рабочий диапазон напряжения, В	=12–24	=12–24
Максимальное напряжение, В	=30 (максимальная частота – 7кГц)	=30
Минимальная длительность импульса	70 мкс	Нет
Напряжение включения	>10 В постоянного тока	>10 В постоянного тока
Напряжение выключения	<2В постоянного тока	<2В постоянного тока
Максимальный потребляемый ток	6 мА при =12В 13 мА при =24В	4 мА при =12В 8,5 мА при =24В
Входное сопротивление	1,8 кОм при =12–24В	2,8 кОм при =12–24В
Минимальный ток включения	>5 мА	>1 мА
Максимальный ток включения	<0,5 мА	<0,5 мА
Время срабатывания ВЫКЛ–ВКЛ	<70 мкс	2–8 мс, типично 4 мс
Время срабатывания ВКЛ–ВЫКЛ	<70 мкс	2–8 мс, типично 4 мс
Срабатывание индикаторов состояния	От логических цепей	От логических цепей
Общие	На 4 канала 1 общий вывод, 5 групп (изолированы)	





- Сигнал подхват в положении П0;
- Сигнал подхват в положении П1;
- Сигнал подхват в положении П2;
- Сигнал подхват в положении П3.

Для управления механизмами в ручном режиме, для пуска и останова системы в автоматическом режиме, введен пульт управления. С него оператор осуществляет работу в ручном режиме и может задавать следующие входные сигналы:

- Пуск автоматического режима работы;
- Сброс аварии;
- Ручной или автоматический режим;
- Вверх медленно П0–П1;
- Вверх быстро П1–П2;
- Вверх медленно П2–П3;
- Вниз медленно П3–П2;
- Вниз быстро П2–П1;
- Вниз медленно П1–П0.

Для автоматизации работы системы необходимо иметь информацию о состоянии производственного объекта. Поэтому необходимо иметь следующие датчики:

- Датчик положения П0;
- Датчик положения П1;
- Датчик положения П2;
- Датчик положения П3;
- Датчик присутствия груза;
- Датчик массы груза.

В таблице 5.4 сведены все сигналы и команды, используемые в системе автоматизации.

					<i>ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		62

Таблица 5.4 – Сигналы и команды, используемые в системе автоматизации

№	Наименование сигнала или команды	Обозначение	Принятое значение логической единицы
<b>Входные сигналы</b>			
1	Датчик П0	П0	Есть
2	Датчик П1	П1	Есть
3	Датчик П2	П2	Есть
4	Датчик П3	П3	Есть
5	Датчик присутствия груза	Гр	Есть
6	Датчик массы груза	Масса	Есть
7	Тумблер автоматический/ручной режим работы	Авт	Включена
8	Сброс аварии	Сбр.ав.	Включена
9	Движение подхватов вниз	Поднять	Включена
10	Движение подхватов вниз	Опустить	Включена
11	Стоп	Стоп	Включена
12	Готовность привода	Гот	Есть
<b>Выходные сигналы</b>			
1	Сигнал готовности схемы	ГС	Включен
2	Сигнал движения вверх	Вверх	Включен
3	Сигнал движения вниз	Вниз	Включен
4	Сигнал аварии	Авар	Включен
5	Сигнал на П0–П1 снижение скорости при движении вверх	СВ1	Включен
6	Сигнал на П2–П3 снижение скорости при движении вверх	СВ2	Включен
7	Сигнал на П3–П2 снижение скорости при движении вниз	СН1	Включен
8	Сигнал на П1–П0 снижение скорости при движении вниз	СН2	Включен

Сигнал "Авария" возникает в том случае, если:

- нет сигнала готовности с привода;
- или подан сигнал на движение вверх или вниз и нет сигнала с датчиков П0, П1, П2 и П3 в течение 8 и 20 с соответственно;
- или подан сигнал на движение вверх или вниз и есть сигнал с датчиков П0, П1, П2, П3 одновременно в течение 8 и 20 с соответственно;

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





Команда на П0–П1 снижение скорости при движении вверх возникает в автоматическом режиме только при движении "Вверх" из положения П0 и сохраняется до достижения положения П1. Этому содержательному описанию команды "СВ1" соответствует логическая функция:

$$СВ1 = Авт \cdot (П0 + СВ1) \cdot Вверх \cdot \overline{П1}.$$

Команда на П2–П3 снижение скорости при движении вверх возникает в автоматическом режиме только при движении "Вверх" из положения П2 и сохраняется до достижения положения П3. Этому содержательному описанию команды "СВ2" соответствует логическая функция:

$$СВ2 = Авт \cdot (П2 + СВ2) \cdot Вверх \cdot \overline{П3}.$$

Команда на П3–П2 снижение скорости при движении вниз возникает в автоматическом режиме только при движении "Вниз" из положения П3 и сохраняется до достижения положения П2. Этому содержательному описанию команды "СН1" соответствует логическая функция:

$$СН1 = Авт \cdot (П3 + СН1) \cdot Вниз \cdot \overline{П2}.$$

Команда на П1–П0 снижение скорости при движении вниз возникает в автоматическом режиме только при движении "Вниз" из положения П1 и сохраняется до достижения положения П0. Этому содержательному описанию команды "СН2" соответствует логическая функция:

$$СН2 = Авт \cdot (П1 + СН2) \cdot Вниз \cdot \overline{П0}.$$

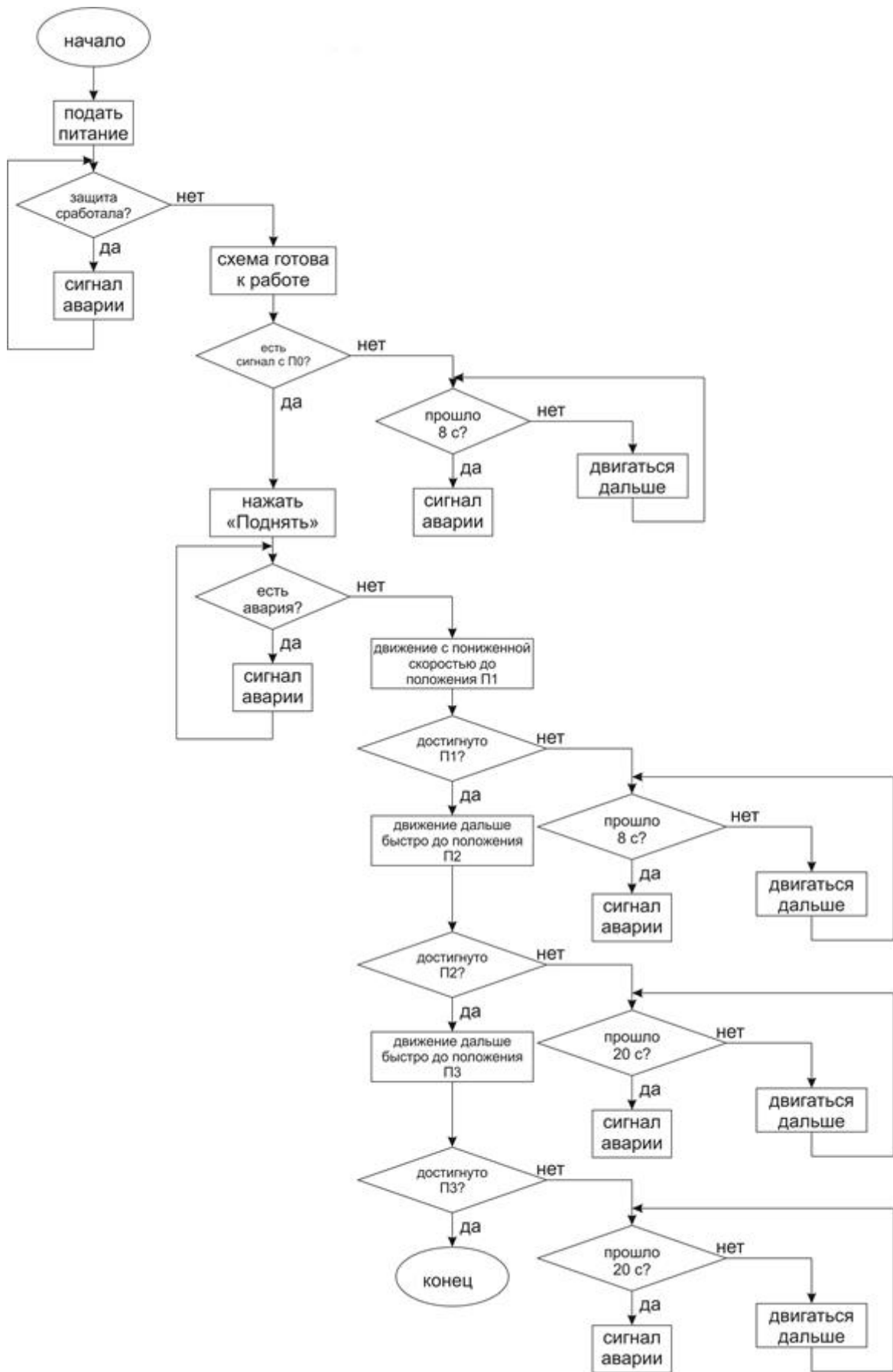
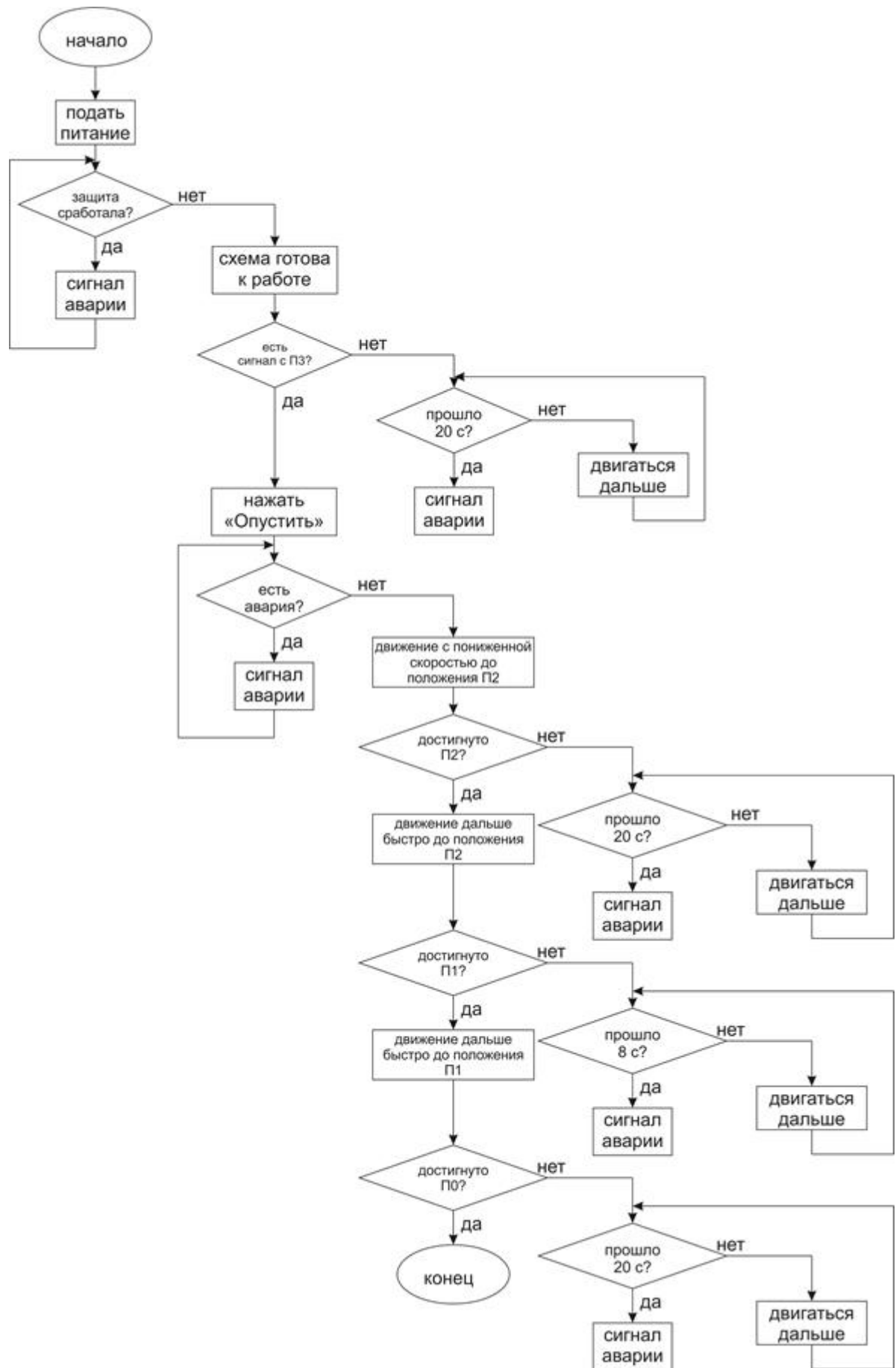


Рисунок 5.6 – Блок схема алгоритма движения вверх

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Рисунок 5.7 – Блок–схема алгоритма движения вниз

					<i>ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ</i>	Лист
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		68

### 5.4.3 Выбор элементной базы автоматизации и преобразователей технологической информации

В проекте блок управления системы автоматизации реализован на программируемом контроллере DL06 D0–06DR1 с дискретными входами постоянного тока и релейными выходами. Аппаратные программные средства контроллера позволяют обеспечить выполнение всех типовых информационных и управляющих функций: сбор технологической информации, контроль и регулирование в соответствии с логическими уравнениями.

1) в качестве датчиков информации о положении выбраны датчик фирмы ТЕКО ВК БРПУ. Датчик на объекты из черных металлов. Основные технические характеристики приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Характеристики датчика ВК БРПУ

Наименование характеристики	Единицы измерения	Величина
Номинальное напряжение питания	В	10..50
Ток нагрузки	мА	<500
Частота переключения	Гц	400
Степень защиты	–	IP 67
Диапазон рабочих температур	<sup>0</sup> С	0 .. +60

Схема подключения нагрузки представлена на рисунке 5.7



Рисунок 5.7 – Схема включения датчиков ВК БРПУ

2) для обеспечения питания датчиков, входных и выходных модулей программируемого контроллера необходимо выбрать блок питания.

3) Требуемая мощность блока питания определяется суммой мощностей потребителей, нагруженных на него, причем для оптимального использования необходимо учитывать то, что не все потребители включены одновременно. Для упрощения выбора, а также для обеспечения запаса, блока питания выбирается по суммарной мощности всех потребителей. В таблице 5.7 представлен расчет мощности блока питания.

Таблица 5.7 – Расчет требуемой мощности блока питания

Наименование потребителя	Потребляемый ток, А	Количество потребителей, шт	Мощность потребителей, Вт
Датчик положения	0,5	5	60
Входные цепи DL06	0,013	17	5,304
Выходные цепи DL06 (максимум 2А)	0,38	8	73
Светодиоды	0,01	2	0,48
Суммарная мощность потребителей			138,784

По полученному значению суммарной потребляемой мощности выбран блок питания DRP–240–24 Mean Well Enterprises на номинальный ток 10А и напряжение 24В, КПД – 0,84, мощность – 240 Вт [24].

4) для передачи выходных команд на системы управления двигателями – используются промежуточные реле переменного тока. Номинальное напряжение должно соответствовать выходному напряжению модулю вывода.

Таблица 5.8 – Характеристики промежуточного реле РП–255 [25]

Номинальное напряжение, В	24
Номинальный ток, А	1
Напряжение срабатывания, % $U_{ном}$	70

5) для включения питания всей системы автоматизации и аварийного ее отключения используется силовой контактор на переменное напряжение 380В и рассчитанный на полный ток нагрузки всех потребителей системы.







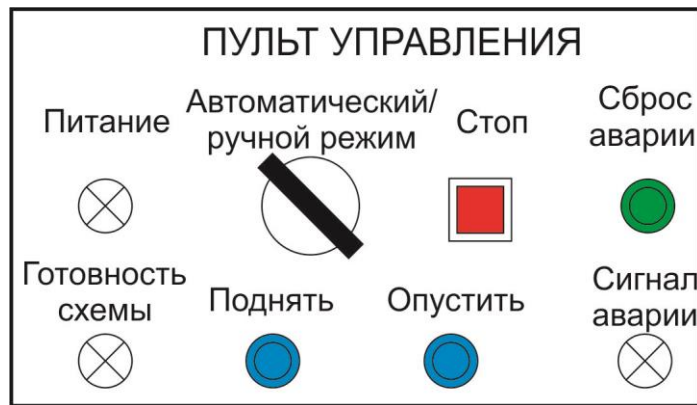


Рисунок 5.8 –Пульт управления подъемником в автоматическом и ручном режимах

## 5.5 Разработка программного обеспечения системы автоматизации

Перед составлением программы необходимо определить адреса входных и выходных переменных в соответствии с их подключением к программируемому устройству, а также задать адреса промежуточных переменных и используемых таймеров и счетчиков. Указанная информация сведена в таблицу 5.4.

Таблица 5.13 – Таблица адресов

№ п/п	Наименование сигнала или команды	Обозначение в содержательном описании	Адрес	Аппарат, формирующий сигнал
1	Датчик П0	П0	X0	SQ1
2	Датчик П1	П1	X1	SQ2
3	Датчик П2	П2	X2	SQ3
4	Датчик П3	П3	X3	SQ4
5	Датчик присутствия груза	Гр	X4	SQ5
6	Тумблер автоматический/ручной режим работы	Авт	X5	SA1
7	Готовность привода	Гот	X6	–
8	Стоп	Стоп	X7	SB1
9	Сброс аварии	Сбр.ав.	X8	SB2
10	Движение подхватов вниз	Поднять	X9	SB3
11	Движение подхватов вниз	Опустить	X10	SB4
12	Датчик массы груза	Масса	X11	SQ6
13	Сигнал готовности схемы	ГС	Y1	VD1
14	Сигнал движения вверх	Вверх	Y2	KV2
15	Сигнал движения вниз	Вниз	Y3	KV3
16	Сигнал аварии	Авар	Y4	VD2
17	Сигнал на П0–П1 снижение скорости при движении вверх	CB1	Y5	KV4
18	Сигнал на П2–П3 снижение скорости при движении вверх	CB2	Y6	KV5

Продолжение таблицы 5.13

№ п/п	Наименование сигнала или команды	Обозначение в содержательном описании	Адрес	Аппарат, формирующий сигнал
19	Сигнал на ПЗ–П2 снижение скорости при движении вниз	СН1	Y7	KV6
20	Сигнал на П1–П0 снижение скорости при движении вниз	СН2	Y8	KV7
21	Питание схемы	Пит	Y9	VD3
22	Задержанный сигнал П0	П0 <sup>†8с</sup>	T0	–
23	Задержанный сигнал П1	П1 <sup>†8с</sup>	T1	–
24	Задержанный сигнал П2	П2 <sup>†20с</sup>	T2	–
25	Задержанный сигнал П3	П3 <sup>†20с</sup>	T3	–

С учетом принятой адресации, составленные при разработке алгоритма автоматизации уравнения сведены в таблицу 5.5.

Таблица 5.14 – Уравнения в адресах контроллера

Авар	$Y4 = (\overline{X6} + (Y2 + Y3) \cdot \overline{T0} \cdot \overline{T1} \cdot \overline{T2} \cdot \overline{T3} + (Y2 + Y3) \cdot T0 \cdot T1 \cdot T2 \cdot T3 + Y4) \cdot \overline{X8}$
ГС	$Y1 = (X6 \cdot X0 + X6 \cdot X3 + Y1) \cdot \overline{Y4} \cdot \overline{X7} \cdot X5$
Вверх	$Y2 = X5 \cdot (X4 \cdot X0 \cdot \overline{X10} \cdot \overline{Y3} \cdot X11 \cdot X9 + Y2) \cdot \overline{X3} + \overline{X5} \cdot (X9 \cdot X10 + Y2) \cdot X3$
Вниз	$Y3 = X5 \cdot (X10 \cdot X4 \cdot \overline{Y2} \cdot \overline{X9} \cdot X3 \cdot X11 + Y3) \cdot \overline{X0} + \overline{X5} \cdot (X10 \cdot \overline{X9} + Y3) \cdot \overline{X0}$
СВ1	$Y5 = X5 \cdot (X0 + Y5) \cdot Y2 \cdot \overline{X1}$
СВ2	$Y6 = X5 \cdot (X2 + Y6) \cdot Y2 \cdot \overline{X3}$
СН1	$Y7 = X5 \cdot (X3 + Y7) \cdot Y3 \cdot \overline{X2}$
СН2	$Y8 = X5 \cdot (X1 + Y8) \cdot Y3 \cdot \overline{X0}$

Программа, построенная на основе полученных уравнений (таблица 5.5), представлена на рисунке 5.5. В программе использованы возможности контроллера структурного построения.

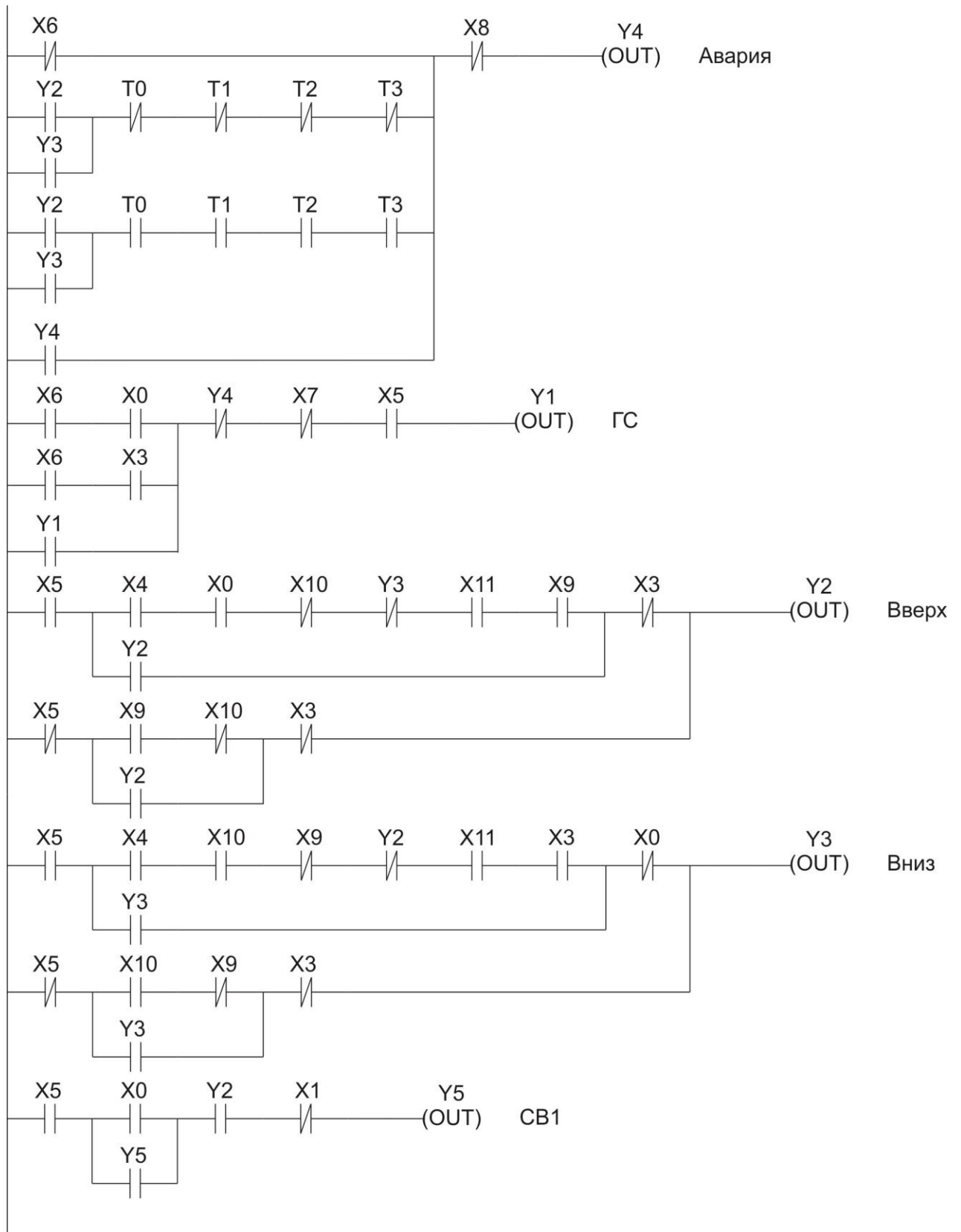


Рисунок 5.9 – Лестничная диаграмма программирования

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

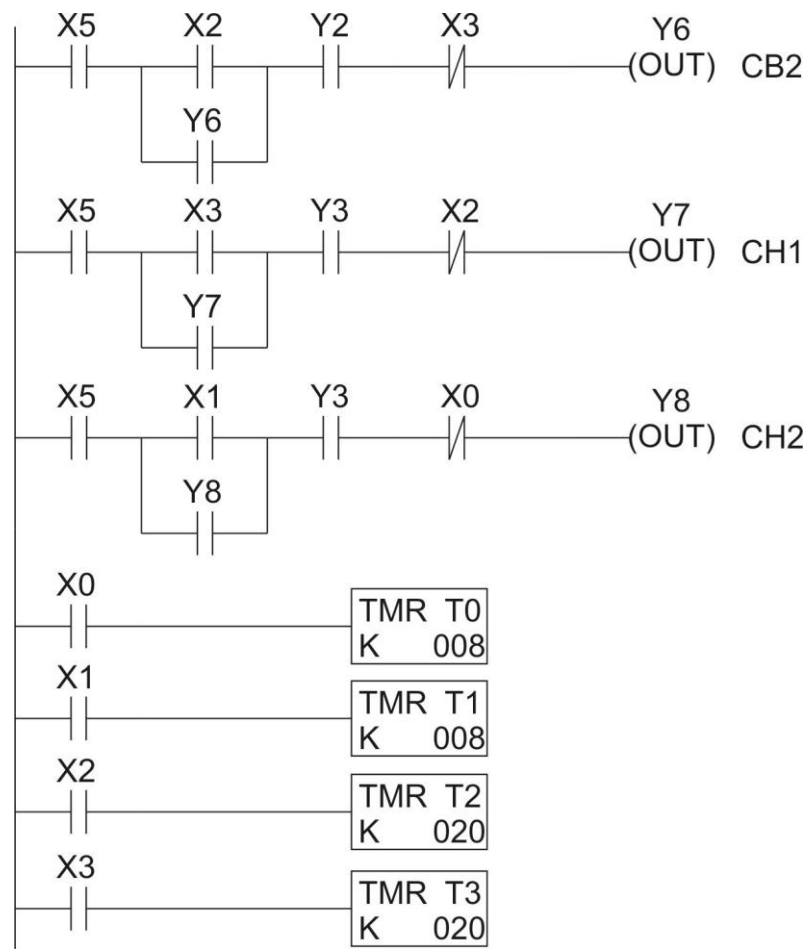


Рисунок 5.9 – Лестничная диаграмма программирования (окончание)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

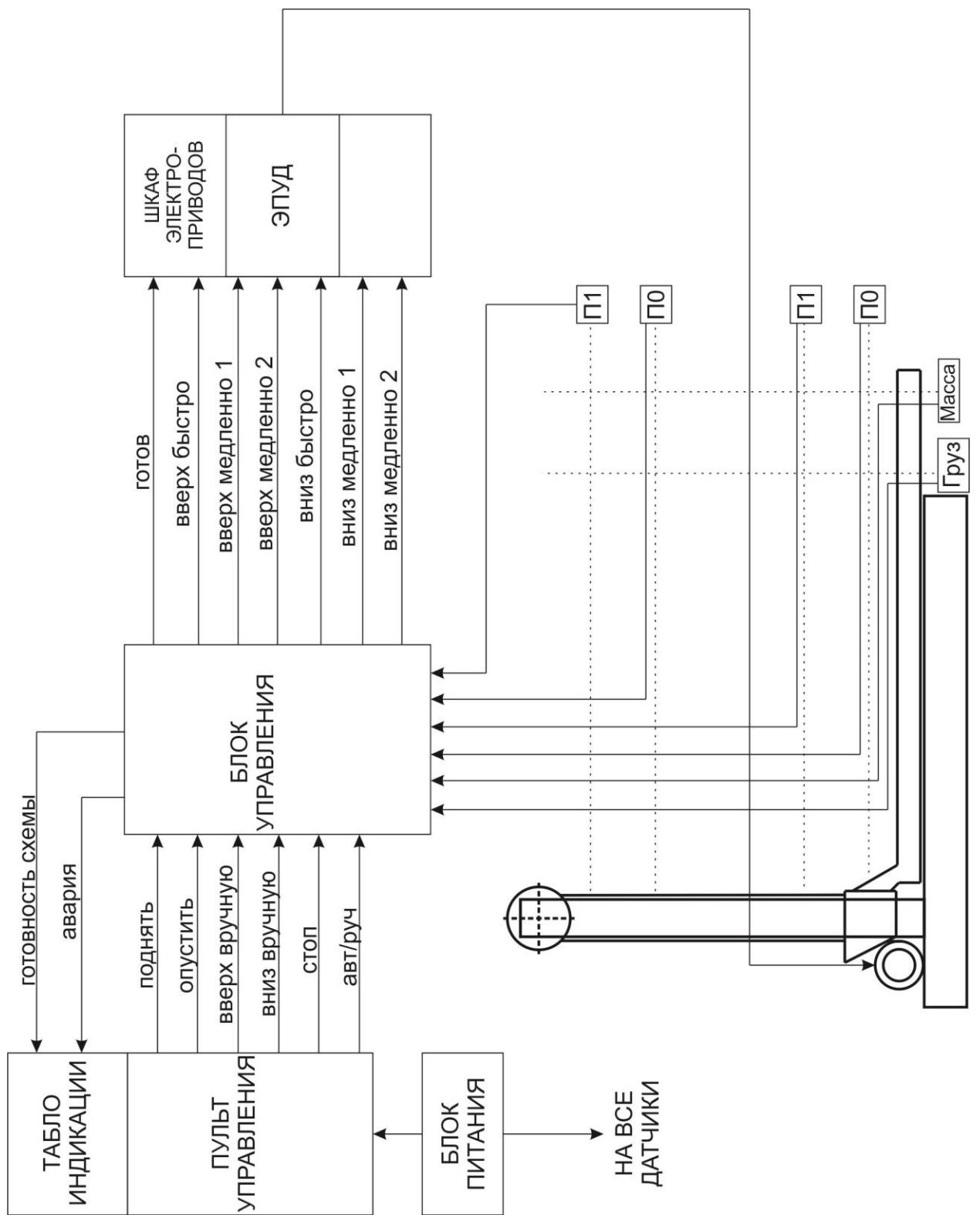


Рисунок 5.10 – Функциональная схема системы автоматизации  
одностоечного подъемника

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 6 Разработка функциональной схемы и разработка электрической принципиальной схемы

В соответствии с выбранной элементной базой системы автоматизации была составлена принципиальная схема системы автоматизации (чертеж ЮУрГУ – 140600.2015.123.00.00 ЭЗ).

### Описание принципиальной схемы

Электропривод одностоечного подъемника включает в свой состав:

а) одностоечный подъемник, работа которого осуществляется под действием асинхронного двигателя М1. Направление движение обеспечивается силовыми контакторами КМ1 и КМ2;

б) преобразователь частоты АЗ для питания двигателя М1;

в) пульт управления А1, с которого посылаются команды на соответствующее движение подхватов подъемника кнопками SB1..SB4. Режим работы (автоматический или ручной) выбирается тумблером SA1. Индикация работы обеспечивается сигнальными лампами HL1 и HL2, которые также расположены на пульте управления А1;

г) датчики SQ1..SQ6 для контроля положения подхватов;

д) программируемый логический контроллер А2;

е) блок питания G1, который обеспечивает питание датчиков SQ1..SQ6.

Система обеспечивает ручной и автоматический режим работы.

В автоматическом режиме задание движения подхватов подъемника осуществляется с программируемого логического контроллера А2 при подаче соответствующей команды с пульта управления А1 или с помощью релейно–контакторных элементов, питание которых осуществляется с фазы В.

В ручном режиме движение подхватов осуществляется по команде кнопок SB1..SB4

									Лист
									79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ				



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном дипломном проекте рассчитан электропривод и проведена автоматизация стационарного грузового мобильного одностоечного подъемника с электрическим приводом.

В качестве системы электропривода был выбран асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором фирмы *Leroy Somer* ( группа компаний Emerson) на номинальную мощность 30 кВт и преобразователь частоты *Unidrive SP* на номинальную мощность 37 кВт. Был произведен расчет статических и динамических усилий электропривода подъемника. Выбранный электродвигатель прошел проверку по перегрузочной способности в течение времени разгона и торможения.

Также была произведена автоматизация на программируемом логическом контроллере фирмы *Automation Direct*. Исходя из технологических требований и требований, предъявляемых системе автоматизации, была разработана программа функционирования подъемника. Главным условием правильного функционирования составленного алгоритма является работа подъемника согласно техническому заданию.

									Лист
									80
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ				







## ПРИЛОЖЕНИЕ А. СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

КПД – коэффициент полезного действия;

ПВ – продолжительность включения;

ПИ – пропорционально–интегральный;

ПИД – пропорционально–интегрально–дифференциальный;

ЧПУ – числовое программное управление;

ЭП – электропривод;

ЭПУД – электропривод управления двигателем.

									Лист
									84
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ				

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ

					<i>ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ</i>	Лист
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		85

ПРИЛОЖЕНИЕ В. ПЕРЕЧЕНЬ ЭЛЕМЕНТОВ

					<i>ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		86

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

					<i>ЮУрГУ–13.03.02.2019.638 01ПЗ</i>	Лист
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		87