

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

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

_____/А.Н. Шишков/

“ ____ ” _____ 2017 г.

Автоматизированный электропривод грузового лифта

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОМУ
КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ**

ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.00 ВКП

Руководитель проекта:
Доцент, к.т.н.

_____/А.Н. Шишков/

“ ____ ” _____ 2017 г.

Автор проекта
студент группы _____ П-476 _____

_____/М.Н. Крупнова/

“ ____ ” _____ 2017 г.

Нормоконтролер:
Доцент, к.т.н.

_____/Т.А. Функ/

“ ____ ” _____ 2017 г.

Челябинск 2017 г.

АННОТАЦИЯ

Крупнова М.Н. Автоматизированный электропривод грузового лифта. - Челябинск: ЮУрГУ, Э; 2017, 66 с., 17 ил., 12 табл., библиографический список - 7 наим., 1 лист чертежа ф. А3.

В данной квалификационной работе разрабатывается система электропривода грузового лифта. Данный лифт предназначен для перевозки грузов с одного уровня на другой, но также есть возможность перевозки людей, а именно рабочих.

В ходе работы выполняются несколько этапов: выбор электродвигателя, который проверяется по нагреву и перегрузочной способности, редуктор, а также построены естественные и искусственные характеристики. После чего произведен расчет переходных процессов. Для регулировки скоростей лифта с асинхронным двигателем произведен выбор преобразователя частоты.

По части автоматизации выполнен выбор главных элементов: программируемый контроллер, датчики положения, сенсорный монитор, а также звуковой элемент и индикаторы.

| | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|------------|---|--------------------------------|-------------|---------------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ | | | |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дат</i> | | | | |
| Разраб. | | Крупнова М.Н. | | | Автоматизированный электропривод грузового лифта | <i>Лит.</i> | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| Провер. | | Шишков А.Н. | | | | | 4 | 66 |
| Реценз | | | | | | ЮУрГУ Кафедра «АЭП» | | |
| Н. Контр. | | Функ Т.А. | | | | | | |
| Утверд. | | Шишков А.Н. | | | | | | |

| | |
|--|----|
| 4.2 Проверка электропривода на заданную производительность, по нагреву и перегрузочной способности двигателя | 40 |
| 4.3 Энергетические показатели электропривода | 44 |
| 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА..... | 46 |
| 5.1 Описание технологического процесса..... | 46 |
| 5.2 Требования к системе автоматизации..... | 47 |
| 5.3 Алгоритм работы системы автоматизации | 49 |
| 5.4 Выбор элементной базы автоматизации и преобразователей технологической информации | 52 |
| 5.5 Разработка функциональной схемы автоматизации | 55 |
| 5.6 Разработка принципиальной электрической схемы автоматизации ... | 60 |
| 5.7 Разработка программного обеспечения системы автоматизации..... | 61 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 65 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | 66 |

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время нельзя представить современные жилые дома, медицинские учреждения, административные здания и развлекательные комплексы без лифтов. Лифт, пожалуй, самое быстрое и надежное средство перемещения людей и груза в вертикальном положении. С технической точки зрения лифт – это устройство, которое перемещает людей и грузы в кабине с одного уровня на другой, по вертикальным направляющим, которые размещены в шахте.

Естественно, к лифтам предъявляется ряд требований, от которых зависит и их конструкция. Главные из них – это скорость движения, улучшение внешнего вида кабины, увеличение срока службы, возможность вызова кабины с любого этажа и многое другое.

Лифты, как подъемные устройства, появлялись сначала на лебедках и простых веревках, которые помогали толкать платформу механическим образом. В настоящее время, лифт – это кабина, которая крепится на платформу, а уже платформа закреплена в так называемой шахте, а привод лифтов заставляли вращаться водонагревательные гидравлические поршни. Для баланса в этой системе имеется противовес. Все лифты делят на три группы: грузовые, пассажирские и больничные. В моей квалификационной работе разрабатывается система электропривода грузового лифта. Данный лифт предназначен для перевозки грузов с одного уровня на другой, но так же есть возможность перевозки людей, а именно рабочих.

В ходе работы необходимо выполнить следующее: выбрать электродвигатель, который нужно проверить по нагреву и перегрузочной способности, редуктор, а так же построить естественную и искусственные характеристики. После чего произвести расчет переходных процессов. Для регулировки скоростей лифта с асинхронным двигателем произведу выбор преобразователя частоты.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|-------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ</i> | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 13 |

1 ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ НА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ

1.1 Цель проекта

В данной выпускной квалификационной работе речь идет о грузовом лифте. Такой лифт предназначен для подъема очень больших грузов весом до четырех тонн. Это могут быть различные станки, автомобили, строительные блоки и т.п. Целью этой работы является разработка электропривода и его автоматизация для грузового лифта складского помещения, в котором хранят контейнеры с зерном. Складское помещение имеет 2 уровня. Суть заключается в перемещении крупногабаритных и тяжелых контейнеров на второй уровень с помощью данного лифта. Общий вид представлен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Общий вид грузового лифта

1.2 Общие сведения о лифтах

Все лифты делят на три группы: грузовые, пассажирские и больничные.

Уже пассажирские делятся на лифты общественных и жилых зданий и лифты промышленных предприятий.

А грузопассажирские, на лифты для перемещения людей и грузов, от пассажирских отличаются качеством отделки кабины. Больничные лифты являются по сути пассажирскими, но из-за специальных условий работы выделены в отдельную группу.

Грузовые лифты в основном используют для перемещения тяжелых материалов, станков, промышленного оборудования и т.д. И здесь можно выделить некоторые виды:

- которые работают только с проводником; могут перемещать груз и людей, сопровождающих его; полностью соответствуют правилам безопасности;
- которые работают без проводника; только с внешним управлением; людей запрещается перевозить;
- малой грузоподъемность (до 160кг) и с площадью кабины около 0,9 м²; высота не превышает 1м;
- в которых используется монорельс — подвесной путь, который крепится в кабине;
- выжимные лифты с подъемными канатами; канаты образуют полиспат (двукратный), охватывают снизу кабину, когда усилия от канатов выжимают кабину вверх; данная система допускает освобождение от лифтового оборудования над шахтой (от лебедок, от котрблоков и блоков).

Деление лифтов по устройству лебедок: барабанного типа и у которых присутствует канатоведущий шкив.

Первый тип (Рисунок 1.2, а) характеризуется тем, что канаты (на которых крепится противовес и кабина) закреплены хорошо на барабане и при движении лифта вверх канаты с противовеса разматываются, а канаты лифта на барабан наматываются (Рисунок 1.2, а). И, наоборот, при движении в другом направлении. Главный минус данного типа, что с увеличением высоты здания, будет увеличиваться и барабан в длину, следовательно, будет увеличиваться и длина канатов. Данный тип лебедок лучше применять на зданиях малой этажности.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|-------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ</i> | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 15 |

Во втором типе (Рисунок 1.2, б) отсутствует жесткое крепление канатов на канатоведущем шкиве. Усилие, которое нужно при подъеме противовеса и кабины, получается, из-за сил трения рабочих поверхностей шкива и канатов. Таким образом, можно использовать несколько канатов, не усложняя при этом конструкции. Здесь уже высота здания не существенно влияет на конструкцию лебедок. При лифтостроении выбирают чаще всего именно данный вид лебедок.

Рассмотренные выше типы устройства лебедок относятся к лифтам электрическим, с управлением от двигателя постоянного или переменного тока. Еще существуют с управлением гидравлическим. Главное достоинство – бесшумность в работе, точность остановки и плавность движения, а так же установка при наличии одной несущей стены и отсутствие помещения (машинного) над шахтой. Очень важно, что в таких лифтах при отключении питания, есть возможность открывания дверей. Лифты с пневматически приводом имеют скорость выше, чем у гидравлических.

Так же есть разновидности лифтов по расположению привода (вверху или внизу), а соответственно, и по установке лебедок. Если привод располагается внизу, то он крепится к платформе-фундаменту, а это достаточно хорошо снижает шум, который возникает при работе от привода. Еще один плюс, это ремонт, где исключается подъем на высоту тяжелых механизмов и частей. Но есть и минусы, когда за счет увеличения длины канатов, увеличивается и нагрузка на шахту, а, соответственно, становится более сложным и строительство, так как нужно устанавливать отклоняющие блоки. Поэтому данный вид используют, если привод нельзя разместить над шахтой. Что не сказать о верхнем расположении, которое упрощает механическую часть лифта, уменьшаются перегибы у канатов, снижается нагрузка на шахту, а значит возрастает срок службы. Здесь используются канаты в 3 раза по длине меньше, чем в случае с нижним расположением. Именно поэтому, так сказать, пользуется спросом данный тип установки.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|-------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ</i> | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 16 |

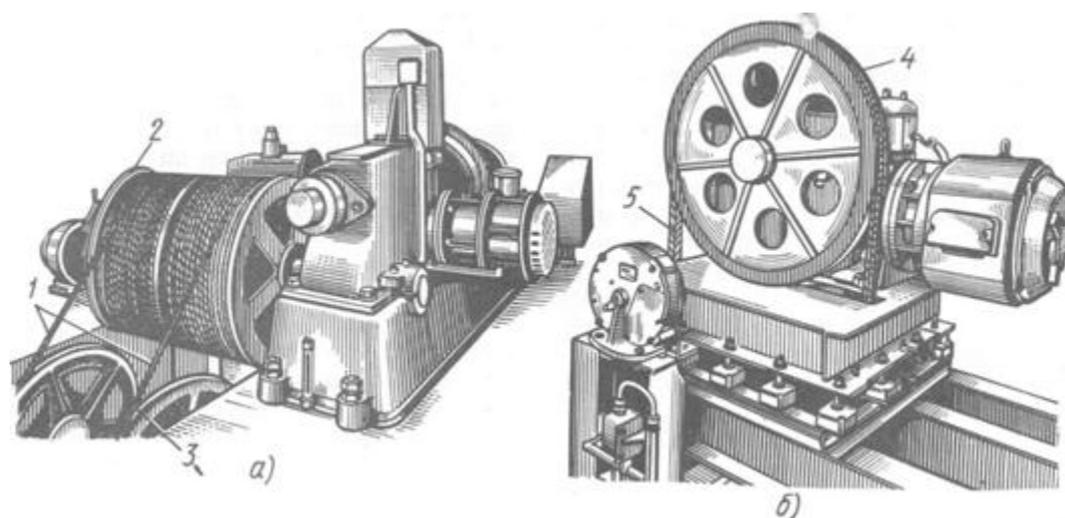


Рисунок 1.2 Лебедки: а – барабанного типа, б – с канатоведущим шкивом

Рассмотрим еще некоторые классификации. Например, лифты по типу управления делятся на: лифты с внутренним управлением, когда в кабине есть панель управления, а остановки происходят автоматически и есть лифты с наружным управлением, когда управление производит оператор. Смешанное объединяет предыдущие два типа.

По скорости движения кабины разделим на следующие группы:

- 1) тихоходные (до 1,0 м/с);
- 2) быстроходные (от 1,0 м/с до 2,0 м/с);
- 3) скоростные (от 2,0 м/с до 4,0 м/с);
- 4) высокоскоростные (свыше 4,0 м/с).

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

2 НАЗНАЧЕНИЕ И ОПИСАНИЕ ГРУЗОВОГО ЛИФТА

2.1 Описание рабочей машины и технологического процесса

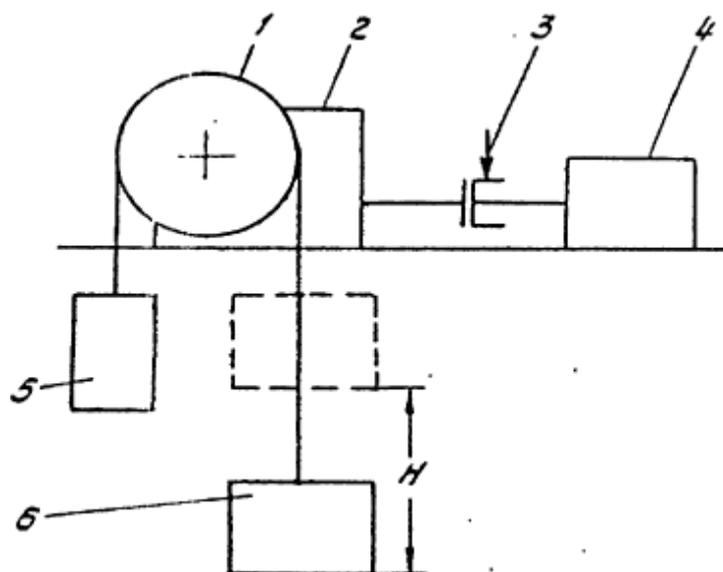


Рисунок 2.1 – Схема (кинематическая) грузового лифта:
1 – канатоведущий шкив, 2 – редуктор, 3 – тормозной шкив, 4 –
двигатель,
5 – клеть, 6 – противовес

Данный лифт перемещает груз с нижнего уровня на верхний и наоборот. Весь цикл работы – это время помещения груза в клеть, а так же выгрузка и время спуска и подъема клетки. Вниз клеть спускается как с грузом, так и без.

2.2 Технические характеристики.

В таблице 2.1. приведены технические характеристики механизма

Таблица 2.1 – Технические характеристики

| Масса, т | | | Диаметр шкива, м | Высота подъема, м | Скорость подъема, м/с | Допустимое ускорение, м/с ² | Число циклов, 1/ч | Время работы, с |
|----------|-------|------------|------------------|-------------------|-----------------------|--|-------------------|-----------------|
| груз | клеть | противовес | | | | | | |
| 4 | 6,5 | 8,5 | 0,35 | 9 | 0,25 | 0,5 | 30 | 90 |

3 ВЫБОР И РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

3.1 Расчет моментов статических сопротивлений и предварительный расчет мощности электродвигателя

В данном пункте нужно произвести расчет времени на каждом участке работы лифта.

t_n – время пуска с допустимым ускорением до установившейся скорости

t_T – время торможения от скорости, установившейся до полной остановки

$$t_n = t_m = \frac{v_y}{a}, \quad (1)$$

где v_y – скорость движения (заданная), м/с;

a – допустимое ускорение, м/с².

Подставим значения в формулу (1) и произведем расчет.

При движении вперед получим:

$$t_{n1} = t_{m1} = \frac{0,25}{0,5} = 0,5 \text{ с.}$$

Аналогично при движении назад:

$$t_{n2} = t_{m2} = \frac{0,25}{0,5} = 0,5 \text{ с.}$$

Ниже представлена формула пути, преодолеваемый рабочим органом нашей машины за время пуска и торможения:

$$L_n = L_m = \frac{v_y^2}{2 \cdot a_{доп}}. \quad (2)$$

Подставим значения в формулу (2) и произведем расчет.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ | Лист |
| | | | | | | 20 |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

При движении вверх:

$$L_{n_1} = L_{m_1} = \frac{v_y^2}{2 \cdot a_{\text{дон}}} = \frac{(0,25)^2}{2 \cdot 0,5} = 0,0625 \text{ м.}$$

Аналогично при движении вниз:

$$L_{n_2} = L_{m_2} = \frac{v_y^2}{2 \cdot a_{\text{дон}}} = \frac{(0,25)^2}{2 \cdot 0,5} = 0,0625 \text{ м.}$$

Время, которое движется лифт в установившемся режиме с заданной скоростью v_y , найдем по формуле:

$$t_y = \frac{L - (L_n + L_m)}{v_y}, \quad (3)$$

где L – высота, на которую поднимают груз, м.

Подставим значения в формулу (3) и произведем расчет.

При движении вверх:

$$t_{y1} = \frac{L - (L_n + L_m)}{v_y} = \frac{9 - (0,0625 + 0,0625)}{0,25} = 35,5 \text{ с;}$$

Аналогично при движении вниз:

$$t_{y2} = \frac{L - (L_n + L_m)}{v_y} = \frac{9 - (0,0625 + 0,0625)}{0,25} = 35,5 \text{ с.}$$

Рассчитаем время паузы:

$$t_0 = t_p - 2t_{n1} - 2t_{n2} - 2t_y = 90 - 2 \cdot 0,5 - 2 \cdot 0,5 - 2 \cdot 35,5 = 17 \text{ с.}$$

Далее производим расчет статических моментов.

Момент сил трения в подшипниках барабана найдем по формуле:

$$M_{\text{тп}} = \frac{m_{\text{тп}} \cdot d_{\text{ст}} \cdot \mu \cdot g}{2}, \quad (4)$$

где $m_{\text{тп}}$ – масса, которая опирается на подшипники (масса узлов и деталей), кг

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

μ – коэффициент трения скольжения в подшипниках;

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

Подставим значения в формулу (4) и произведем расчет.

Случай, когда лифт движется с грузом:

$$M_{\text{тп1}} = \frac{(m_{\text{г}} + m_{\text{к}} + m_{\text{п}}) \cdot d_{\text{ст}} \cdot \mu \cdot g}{2} = \frac{(4000 + 6500 + 8500) \cdot 0,0875 \cdot 0,02 \cdot 9,81}{2} = 163,09 \text{ Нм};$$

Аналогично произведем расчет, когда лифт движется без груза:

$$M_{\text{тп2}} = \frac{(m_{\text{к}} + m_{\text{п}}) \cdot d_{\text{ст}} \cdot \mu \cdot g}{2} = \frac{(6500 + 8500) \cdot 0,0875 \cdot 0,02 \cdot 9,81}{2} = 128,8 \text{ Нм}.$$

Рассчитаем моменты сил тяжести по формуле:

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

где m – масса груза, которую поднимает или опускает лифт, кг;

D – диаметр шкива, м.

Подставим значения в формулу (5) и произведем расчет:

При движении вверх:

$$M_{\text{ст1}} = \frac{(m_{\text{г}} + m_{\text{к}} - m_{\text{п}}) \cdot g \cdot D}{2} = \frac{(4000 + 6500 - 8500) \cdot 9,81 \cdot 0,35}{2} = 3434 \text{ Нм}.$$

Аналогично при движении вниз:

$$M_{\text{ст2}} = \frac{(m_{\text{п}} - m_{\text{к}}) \cdot g \cdot D}{2} = \frac{(8500 - 6500) \cdot 9,81 \cdot 0,35}{2} = 3434 \text{ Нм}.$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 22 |

Теперь рассчитаем статические моменты. Статический момент определяется суммой моментов сил трения и сил тяжести. Подставим значения и произведем расчет.

При движении вверх и аналогично при движении вниз:

$$M_{РОСТ1} = M_{СТ1} + M_{ТТ1} = 3434 + 163,09 = 3596,61 \text{ Нм};$$

$$M_{РОСТ2} = M_{СТ2} + M_{ТТ2} = 3434 + 128,8 = 3562,28 \text{ Нм}.$$

Произведем расчет динамических моментов. Для этого сперва посчитаем моменты инерции по формуле, приведенной ниже:

$$J_{PO} = J_{Ш} + m \cdot \frac{D^2}{4}. \quad (6)$$

Подставим значения в формулу (6) и произведем расчет.

При движении с грузом:

$$J_{PO1} = J_{Ш} + (m_{Г} + m_{К} + m_{П}) \cdot \frac{D^2}{4} = 0,4 + (4000 + 6500 + 8500) \cdot \frac{0,35^2}{4} = 582,28 \text{ кгм}^2;$$

Аналогично при движении без груза:

$$J_{PO2} = J_{Ш} + (m_{К} + m_{П}) \cdot \frac{D^2}{4} = 0,4 + (6500 + 8500) \cdot \frac{0,35^2}{4} = 459,78 \text{ кгм}^2.$$

Зная моменты инерции, посчитаем динамические моменты, с учетом допустимого ускорения.

При движении с грузом:

$$M_{РОДИН1} = J_{PO1} \frac{2a}{D} = 582,28 \frac{2 \cdot 0,5}{0,35} = 1663,64 \text{ Нм};$$

Аналогично при движении без груза:

$$M_{РОДИН2} = J_{PO2} \frac{2a}{D} = 459,78 \frac{2 \cdot 0,5}{0,35} = 1313,66 \text{ Нм}.$$

Для каждого участка движения лифта рассчитаем полный момент рабочей машины по формуле, представленной ниже.

$$M_{PO} = M_{POCT} + M_{РОДИН} \cdot \quad (7)$$

1 участок – разгон лифта при подъёме груза:

$$M_{PO1} = M_{POCT1} + M_{РОДИН1} = 3596,61 + 1663,64 = 5260,25 \text{ Нм};$$

2 участок – равномерное движение лифта с грузом:

$$M_{PO2} = M_{POCT1} = 3596,61 \text{ Нм};$$

3 участок – торможение лифта при подъёме груза:

$$M_{PO3} = M_{POCT1} - M_{РОДИН1} = 3596,61 - 1663,64 = 1932,97 \text{ Нм};$$

4 участок – время паузы:

$$M_{PO4} = 0 \text{ Нм};$$

5 участок – разгон лифта при опускании клетки:

$$M_{PO5} = M_{POCT2} + M_{РОДИН2} = 3562,28 + 1313,66 = 4875,94 \text{ Нм};$$

6 участок – равномерное движение лифта без груза:

$$M_{PO6} = M_{POCT2} = 3562,28 \text{ Нм};$$

7 участок – торможение лифта при опускании клетки:

$$M_{PO7} = M_{POCT2} - M_{РОДИН2} = 3562,28 - 1313,66 = 2248,62 \text{ Нм}.$$

С помощью выше посчитанных моментов, найдем среднеквадратичное значение момента по формуле, приведенной ниже.

$$M_{CPKB} = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^m M_K^2 \cdot t_K}{\sum_{K=1}^m t_K}}, \quad (8)$$

где M_K – момент на 1-7 участке, Нм ; t_K – длительность 1-7 участка, с .

Подставив значения в формулу (8), получаем:

$$M_{ср\kappa\upsilon} = \sqrt{\frac{5260,25^2 \cdot 0,5 + 3596,61^2 \cdot 35,5 + 1932,97^2 \cdot 0,5 + 4875,94^2 \cdot 0,5 + 3562,28^2 \cdot 35,5 + 2248,62^2 \cdot 0,5}{0,5 + 35,5 + 0,5 + 0,5 + 35,5 + 0,5}} =$$

$$= 3588 \text{ Нм.}$$

Определим мощность двигателя (с учетом расчетов, произведенных ниже):

$$P_{дв} = k_1 \cdot M_{ср\kappa\upsilon} \cdot \frac{2 \cdot v}{D} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\phi}}{ПВ_{кат}}} = 1,5 \cdot 3588 \cdot \frac{2 \cdot 0,25}{0,35} \cdot \sqrt{\frac{60,83}{40}} = 9481,45 \text{ Нм,} \quad (9)$$

где $k_1 = 1,3 \dots 1,5$ – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, обусловленные вращающимися элементами электропривода, то есть двигателем, редуктором, а также потери в редукторе;

D_6 – диаметр колеса тележки, м;

v_0 – основная скорость движения, м/с;

$ПВ_{\phi}$ – продолжительность включения привода (фактическое значение);

$ПВ_{кат}$ – ближайшее значение к $ПВ_{\phi}$. Каталожное значение продолжительности включения для выбранной серии электродвигателей.

Соответствующая формула для фактического значения продолжительности включения привода представлена ниже:

$$ПВ_{\phi} = \frac{1}{t_{ц}} \cdot \sum_{k=1}^m t_k \cdot 100\%. \quad (10)$$

Подставим значения в формулу (10) и произведем расчет:

$$ПВ_{\phi} = \frac{1}{120} \cdot 73 \cdot 100\% = 60,83\% .$$

Рассчитаем длительность времени работы на всех участках движения к заданному времени цикла:

$$t_{ц} = \frac{3600}{z}, \quad (11)$$

где $z = 30$ – это число циклов, которое выполняет данная машина в час.

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

Для серии краново-металлургических двигателей ряд ПВ: 15%, 25%, 40%, 60%, 100%. Выбираем меньшее ближайшее ПВ, т.е. $PV_{кат}=40\%$.

3.2 Предварительный выбор электродвигателя, определение передаточного числа и выбор редуктора

Если исходить от данных и предъявляемых требований к электроприводу, то нужно выбрать такой вариант, чтобы он удовлетворял требованиям и вместе с этим был предельно экономичным.

Двигатель, который будет выбран в данной работе, включает в себя: выбор двигателя по исполнению (конструкции), по типу, по мощности и по скорости.

Двигатель выбираем из каталога, но таким образом, чтобы величина мощности при $PV_{кат}$ была несколько меньше или равна мощности двигателя, рассчитанной по формуле (10) выше.

Для данного режима, а именно, для повторно-кратковременного, выбираем двигатель отдельной серии. Серия краново-металлургических двигателей, т.к. у них есть некоторые положительные стороны, а именно: моменты инерции снижены за счет уменьшения диаметра ротора; усилены сильнонагревающиеся части (обмотки ротора и статора), которые выдерживают токи к.з.; перегрузочная способность увеличена до 3-4 значений момента номинального.

Выбор пал на асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором: *4МТКФ (Н)160L6*. Данные двигателя приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Данные двигателя

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|-------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ</i> | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 26 |

| Обозначение | Наименование показателя | Размерность | Величина |
|-------------|------------------------------|-------------|----------|
| P_n | Мощность на валу номинальная | кВт | 11 |
| n_n | Частота вращения номинальная | об/мин | 910 |
| I_n | Ток статора номинальный | А | 29 |

Продолжение таблицы 3.1.

| Обозначение | Наименование показателя | Размерность | Величина |
|------------------|---|-------------|----------|
| $\cos \varphi_n$ | Коэффициент мощности в номинальном режиме | - | 0,76 |
| I_n | Ток пусковой | А | 148 |
| M_n | Момент пусковой | Н·м | 340 |
| M_{\max} | Момент максимальный (критический) | Н·м | 395 |
| r_1 | Сопротивление активное фазной обмотки статора | Ом | 0,35 |
| $R_{кз}$ | Сопротивление активное короткого замыкания | Ом | 1,15 |
| I_{0n} | Ток холостого хода для номинального режима | А | 20,4 |
| $X_{кз}$ | Сопротивление индуктивное короткого замыкания | Ом | 1,18 |
| K_r | Коэффициент приведения | - | 0,695 |

| | | | |
|----------|--------------------------|-------------------|------|
| | сопротивлений | | |
| $J_{дв}$ | Момент инерции двигателя | кг·м ² | 0,23 |

Теперь определим передаточное число редуктора. Зная скорость заданную (основную) и номинальную скорость, по формуле, представленной ниже, рассчитаем значение:

$$j_p = \frac{\omega_H \cdot D}{2 \cdot v_0} = \frac{n_H}{9,55} \cdot \frac{D}{2 \cdot v_0} = \frac{910}{9,55} \cdot \frac{0,35}{2 \cdot 0,25} = 66,7, \quad (12)$$

где ω_H – скорость вращения двигателя (номинальная);

D – диаметр шкива, который преобразует вращательное движение вала в поступательное;

v_0 – заданная скорость РО (основная).

Выбирая редуктор, нужно помнить, что передаточное число должно быть либо немного меньше рассчитанного значения, либо быть равным этому значению, но должны быть учтены как скорость и номинальная мощность двигателя, так и условия работы нашего механизма.

При расчете мощности редуктора примем коэффициент условий работы равным $k=1,5$, поскольку это соответствует тяжелому режиму работы редуктора.

Используя данный коэффициент, посчитаем мощность редуктора:

$$N_P = k \cdot N_M = 1,5 \cdot 7515 = 11270 \text{ Вт}, \quad (13)$$

где N_M – наибольшая мощность, которая передается рабочей машиной, Вт.

Эту наибольшую мощность рассчитаем по формуле (14):

$$N_M = M_{\text{ПОМАКС}} \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D} = 5260,25 \cdot \frac{2 \cdot 0,25}{0,35} = 7515 \text{ Вт}. \quad (14)$$

Теперь, имея мощность, выберем редуктор.

Редуктор: 1ЦЗУ-200. $i_p = 64$ – передаточное число; $\eta_p = 96\%$ – КПД.

3.3 Приведение статических моментов к валу двигателя

Придем статические моменты к валу двигателя. Воспользуемся формулой, приведенной ниже:

$$M_{PC} = \frac{M_{POCT}}{j_p}, \quad (15)$$

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

j_p – передаточное отношение выбранного редуктора.

Подставим значения в формулу (15) и произведем расчет:

При подъеме груза:

$$M_{PC1} = \frac{M_{POCT1}}{j_p} = \frac{3597}{64} = 56,197 \text{ Нм};$$

Аналогично при опускании клетки:

$$M_{PC2} = \frac{M_{POCT2}}{j_p} = \frac{3562}{64} = 55,66 \text{ Нм}.$$

Теперь посчитаем статические моменты на валу, но уже в двигательном режиме. Подставим значения в формулу (16) и произведем расчет.

С грузом:

$$M_{ДВС1} = \frac{M_{PC1}}{\eta_p} = \frac{58,54}{0,96} = 58,54 \text{ Нм}; \quad (16)$$

Без груза:

$$M_{ДВС2} = \frac{M_{PC2}}{\eta_p} = \frac{55,66}{0,96} = 57,98 \text{ Нм},$$

где η_p – КПД выбранного редуктора.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ | Лист |
| | | | | | | 29 |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Аналогично посчитаем статические моменты в тормозных режимах, воспользовавшись формулой (17). Подставим значения и произведем расчет.

С грузом:

$$M_{TBC1} = M_{PC1} \cdot \eta_P = 56,197 \cdot 0,96 = 53,95 \text{ Нм}; \quad (17)$$

Без груза:

$$M_{TBC2} = M_{PC2} \cdot \eta_P = 55,66 \cdot 0,96 = 53,43 \text{ Нм}.$$

Это связано с тем, что энергия поступает с вала двигателя и за вычетом потерь в передаче поступает на двигатель.

Приведенные статические моменты рассчитывают для каждого участка с учетом режима работы привода:

$$M_C = M_{BC} + M_{XX}, \quad (18)$$

где M_{XX} – момент потерь хх двигателя, Нм.

Принимаем M_{XX} равным 5% от номинального:

$$M_{XX} = \frac{P_H}{n_H} \cdot 9,55 \cdot 0,05 = \frac{11000}{910} \cdot 9,55 \cdot 0,05 = 5,8 \text{ Нм}. \quad (19)$$

Подставим значения формулу (18) и произведем расчет, как в двигательном режиме, так и в тормозном, учитывая момент хх.

С грузом:

$$M_{ДС1} = M_{ДВС1} + M_{XX} = 58,54 + 5,8 = 64,31 \text{ Нм}.$$

Без груза:

$$M_{ДС2} = M_{ДВС2} + M_{XX} = 57,98 + 5,8 = 63,75 \text{ Нм}.$$

Расчет в тормозном режиме представлен ниже.

С грузом:

$$M_{ТС1} = M_{TBC1} - M_{XX} = 53,95 - 5,8 = 48,18 \text{ Нм}.$$

Без груза:

$$M_{ТС2} = M_{TBC2} - M_{XX} = 53,43 - 5,8 = 47,66 \text{ Нм}.$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ | Лист |
| | | | | | | 30 |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |

Результаты подсчетов объединены в таблице 3.2.

3.4 Приведение моментов инерции и коэффициентов жесткости к валу двигателя

В данном пункте производим приведение моментов инерции к валу двигателя. Это делается для того, чтобы заменить систему на эквивалентную.

Суммарный приведенный момент инерции рассчитывается по формуле ниже:

$$J = \delta \cdot J_{д} + J_{пр}, \quad (20)$$

где $J_{пр}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции поступательно и вращательно движущихся частей системы, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$J_{д}$ – момент инерции ротора выбранного двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

δ – коэффициент, который моменты инерции других моментов системы (редуктора, шкива тормозного, муфт и т.д.). Данный коэффициент принимают равным $\delta = 1.3 \dots 1.5$.

В формуле (20) неизвестен момент инерции приведенный. Его мы найдем по формуле представленной ниже:

$$J_{пр} = \frac{J_{рО}}{j_p^2}. \quad (21)$$

Исходя из посчитанных данных, можем посчитать суммарный момент инерции приведенный. Подставляем значения в формулу (20) и рассчитаем.

Сперва при движении с грузом:

$$J_1 = 1,5 \cdot J_{дв} + J_{пр} = 1,5 \cdot J_{дв} + \frac{J_{рО}}{j_p^2} = 1,5 \cdot 0,23 + \frac{582,28}{64^2} = 0,487 \text{ кгм}^2;$$

Аналогично при движении без груза:

$$J_2 = 1,5 \cdot J_{дв} + J_{пр} = 1,5 \cdot J_{дв} + \frac{J_{рО}}{j_p^2} = 1,5 \cdot 0,23 + \frac{459,78}{64^2} = 0,457 \text{ кгм}^2.$$

Результаты подсчетов объединены в таблице 3.2.

Теперь произведем расчет тормозных и пусковых моментов двигателя, которые нам нужны соответственно для торможения и разгона

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|-------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ</i> | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 31 |

электропривода. Пусковой момент посчитаем по формуле (22), тормозной по формуле (25).

Формула пускового момента имеет вид:

$$M_{II} = M_C + M_{дин}, \quad (22)$$

где M_C – статический момент сопротивления движению, Нм;

$M_{дин}$ – динамический момент, Нм

Значение жесткости механической связи (приведенную к валу) рассчитывают по формуле (23), при этом используют крутильную жесткость.

Расчет представлен ниже:

$$C_{II} = \frac{C_K}{j_p^2} = \frac{50}{64^2} = 0,012. \quad (23)$$

Для расчета тормозного и пускового моментов нам потребуется рассчитать динамический момент. Формула для расчет под номером (24):

$$M_{дин} = J \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D}, \quad (24)$$

где a – допустимое ускорение при пуске и торможении, м/с²;

D – диаметр шкива, который преобразует вращение в поступательное движение, м;

J – момент инерции привода (приведенный), кг·м².

Итак, динамический момент при движении с грузом:

$$M_{дин1} = J_1 \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 0,487 \cdot \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 64}{0,35} = 89,08 \text{ Нм.}$$

Аналогично при движении без груза:

$$M_{дин2} = J_2 \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 0,457 \cdot \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 64}{0,35} = 83,61 \text{ Нм.}$$

Зная динамические моменты, найдем пусковой момент.

При движении с грузом:

$$M_{II} = M_{ДС1} + M_{дин1} = 64,31 + 89,08 = 153,39 \text{ Нм.}$$

Аналогично при движении без груза:

$$M_{II} = M_{ДС2} + M_{дин2} = 63,751 + 83,611 = 147,36 \text{ Нм.}$$

Теперь найдем тормозной момент.

$$|M_T| = |M_{дин}| - M_C. \quad (25)$$

При движении с грузом:

$$|M_{T1}| = |M_{дин1}| - M_{TC1} = 89,09 - 48,18 = 40,9 \text{ Нм}.$$

При движении без груза:

$$|M_{T2}| = |M_{дин2}| - M_{TC2} = 83,611 - 47,662 = 35,95 \text{ Нм}.$$

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

Расчет средних моментов при динамическом торможении, а так же при реостатном пуске представлен ниже.

При реостатном пуске с грузом средний момент двигателя равен:

$$M_{дср1} = M_{п1} = 153,4 \text{ Нм}; \quad (26)$$

Аналогичный расчет и без груза:

$$M_{дср2} = M_{п2} = 147,36 \text{ Нм};$$

При динамическом торможении с грузом средний момент равен:

$$M_{тср1} = \frac{M_{T1}}{2} = 20,45 \text{ Нм}; \quad (27)$$

Аналогичный расчет и без груза:

$$M_{тср2} = \frac{M_{T2}}{2} = 17,98 \text{ Нм}.$$

Для подсчета установившейся скорости воспользуемся формулой (28) и найдем значение:

$$\omega_c = \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot j_p = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 64}{0,35} = 91,43 \text{ рад / с}. \quad (28)$$

3.5 Предварительная проверка двигателя по производительности и нагреву

В данном пункте производится проверка двигателя с целью уточнения нагрузочных диаграмм момента. Рассчитывать время переходных процессов на каждом этапе будем по формуле (29), приведенной ниже:

$$t_i = J \cdot \frac{\omega_C}{M_{CP} - M_C}, \quad (29)$$

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

ω_C – скорость (установившаяся) двигателя, 1/с;

M_{CP} – средний момент двигателя, Нм;

M_C – статический момент (приведенный), Нм.

1 участок – разгон с грузом:

$$t_1 = J_1 \cdot \frac{\omega_C}{M_{ДСР1} - M_{ДС1}} = 0,487 \cdot \frac{91,43}{153,4 - 64,31} = 0,5 \text{ с};$$

3 участок – торможение с грузом:

$$t_3 = J_1 \cdot \frac{\omega_C}{M_{ТСР1} + M_{ТС1}} = 0,487 \cdot \frac{91,43}{20,45 + 48,18} = 0,649 \text{ с};$$

5 участок – разгон без груза:

$$t_5 = J_1 \cdot \frac{\omega_C}{M_{ДСР2} - M_{ДС2}} = 0,457 \cdot \frac{91,43}{147,36 - 63,75} = 0,5 \text{ с};$$

7 участок – торможение без груза:

$$t_7 = J_2 \cdot \frac{\omega_C}{M_{ТСР2} + M_{ТС2}} = 0,457 \cdot \frac{91,43}{17,975 + 47,66} = 0,637 \text{ с}.$$

Теперь рассчитаем угол по формуле (30), на который поворачивает вал за время переходного процесса на данном участке:

$$\alpha_i = \frac{\omega_C \cdot t_i}{2}. \quad (30)$$

Угол за 1 и 2 участки:

$$\alpha_{1,3} = \frac{\omega_C \cdot (t_1 + t_3)}{2} = \frac{91,43 \cdot (0,5 + 0,649)}{2} = 52,526 \text{ рад};$$

Угол за 5 и 7 участки:

$$\alpha_{5,7} = \frac{\omega_c \cdot (t_5 + t_7)}{2} = \frac{91,43 \cdot (0,5 + 0,637)}{2} = 51,974 \text{ рад.}$$

Расчет времени работы с установившейся скоростью:

$$t_v = \frac{\alpha_\Sigma - (\alpha_{II} + \alpha_T)}{\omega_c}, \quad (31)$$

где α_Σ – угол, на который поворачивается вал двигателя, рад;

α_{II}, α_T – угол, на который поворачивается вал за время пуска и торможения, рад.

Величина перемещения в данном режиме – это угол поворота вала двигателя. Подставим значения в формулу (32) и произведем расчет:

$$\alpha_\Sigma = 2 \cdot L \cdot \frac{j_p}{D} = 2 \cdot 9 \cdot \frac{64}{0,35} = 3291 \text{ рад.} \quad (32)$$

Время работы с установившейся скоростью при движении вверх и при движении вниз рассчитали ниже, согласно формуле (31):

$$t_{v\text{ВВЕРХ}} = \frac{\alpha_\Sigma - \alpha_{1,3}}{\omega_c} = \frac{3291 - 52,526}{91,43} = 35,425 \text{ с};$$

$$t_{v\text{ВНИЗ}} = \frac{\alpha_\Sigma - \alpha_{5,7}}{\omega_c} = \frac{3291 - 51,974}{91,43} = 35,432 \text{ с.}$$

Результаты подсчетов объединены в таблице 3.2

Фактическое время работы (суммарное) найдем, сложив все полученные времена:

$$t_\phi = 0,5 + 0,649 + 0,5 + 0,637 + 35,425 + 35,432 = 73,143 \text{ с} < t_p = 90 \text{ с.}$$

Время, которое мы получили, значительно меньше времени заданного, а значит, что двигатель по производительности проверку прошел.

Теперь сделаем проверку по нагреву. Для этого посчитаем величину среднеквадратичного момента:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 35 |

$$M_{CPKB} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \leq M_{доп}. \quad (33)$$

Подставим значения в формулу (33) и произведем расчет:

$$M_{CPKB} = \sqrt{\frac{153,39^2 \cdot 0,5 + 64,31^2 \cdot 35,425 + 20,452^2 \cdot 0,649 + 147,36^2 \cdot 0,5 + 63,75^2 \cdot 35,432 + 17,975^2 \cdot 0,637}{0,5 + 35,425 + 0,649 + 0,5 + 35,432 + 0,637}} = 48,122 \text{ Нм}.$$

Расчет допускаемого момента представлен ниже:

$$M_{доп} = M_{кат} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{кат}}{ПВ_{ф}}} = 115,44 \cdot \sqrt{\frac{40}{81,27}} = 80,988 \text{ Нм}, \quad (34)$$

где нужно привести фактическое значение ПВ, которое считается по формуле (35):

$$ПВ_{ф} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_{ц}} \cdot 100\% = \frac{73,143}{90} \cdot 100\% = 81,27\%. \quad (35)$$

Момент двигателя при $ПВ_{кат}$, ближайшем к $ПВ_{ф}$:

$$M_{кат} = \frac{P_H \cdot 9,55}{n_H} = \frac{11000 \cdot 9,55}{910} = 115,44 \text{ Нм}; \quad (36)$$

Уменьшаем допустимый момент на 15%:

$$M_{доп15} = M_{доп} \cdot 0,85 = 68,84 \text{ Нм}. \quad (37)$$

Результаты расчетов показали, что допустимый момент больше среднеквадратичного, а, следовательно, проверку по нагреву двигатель прошел успешно ($48,122 \text{ Нм} < 68,84 \text{ Нм}$).

Для удобства все результаты подсчетов сведены в единую таблицу 2.3, по которой построены нагрузочные диаграммы скорости и момента. Нагрузочные диаграммы представлены на рисунке 2.1 и 2.2.

Таблица 3.2 – Результаты расчетов

| Участок движения | Движение с грузом | | | Движение без груза | | |
|---------------------|-------------------|-----------|------------|--------------------|-----------|------------|
| | Пуск | Уст.режим | Торможение | Пуск | Уст.режим | Торможение |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| t, c | 0,5 | 35,5 | 0,5 | 0,5 | 35,5 | 0,5 |
| h, M | 0,0625 | 8,875 | 0,0625 | 0,0625 | 8,875 | 0,0625 |
| $v, m/c$ | --- | 0,25 | --- | --- | 0,25 | --- |
| $M_{рост}, Hm$ | 3596,61 | 3596,61 | 3596,61 | 3562,3 | 3562,3 | 3562,3 |
| $J_{рост}, кг·м2$ | 582,3 | 582,3 | 582,3 | 459,8 | 459,8 | 459,8 |
| $M_{рост}, Hm$ | 1663,6 | 0 | 1663,64 | 1313,7 | 0 | 1313,7 |
| $M_{рост}, Hm$ | 5260,3 | 3596,6 | 1933 | 4875,9 | 2521 | 2248,6 |
| $M_{рост}, Hm$ | 56,197 | 56,197 | 56,197 | 55,7 | 55,7 | 55,7 |
| $M_{рост}, Hm$ | 58,54 | 58,54 | 53,95 | 58 | 58 | 53,4 |
| $M_{рост}, Hm$ | 64,31 | 64,31 | 48,2 | 63,8 | 63,8 | 47,7 |
| $\omega_c, рад/c$ | --- | 91,43 | --- | --- | 91,43 | --- |
| $J_{пр}, кг·м2$ | 0,142 | 0,142 | 0,142 | 0,112 | 0,112 | 0,112 |
| $J, кг·м2$ | 0,49 | 0,49 | 0,49 | 0,46 | 0,46 | 0,46 |
| $M_{дин}, Hm$ | 89,08 | 0 | 89,08 | 83,6 | 0 | 83,6 |
| $M_{дин}, Hm$ | 153,4 | 64,31 | 40,9 | 147,4 | 63,75 | 35,95 |
| $M_{дин}, Hm$ | 153,4 | 64,31 | 20,45 | 147,4 | 63,75 | 17,98 |
| t, c | 0,5 | 35,43 | 0,649 | 0,5 | 35,43 | 0,637 |
| $\alpha, рад$ | 22,86 | 3238,5 | 29,67 | 22,86 | 3239 | 29,12 |

Полагаясь на таблицу полученных значений, построим нагрузочные диаграммы скорости и моментов.

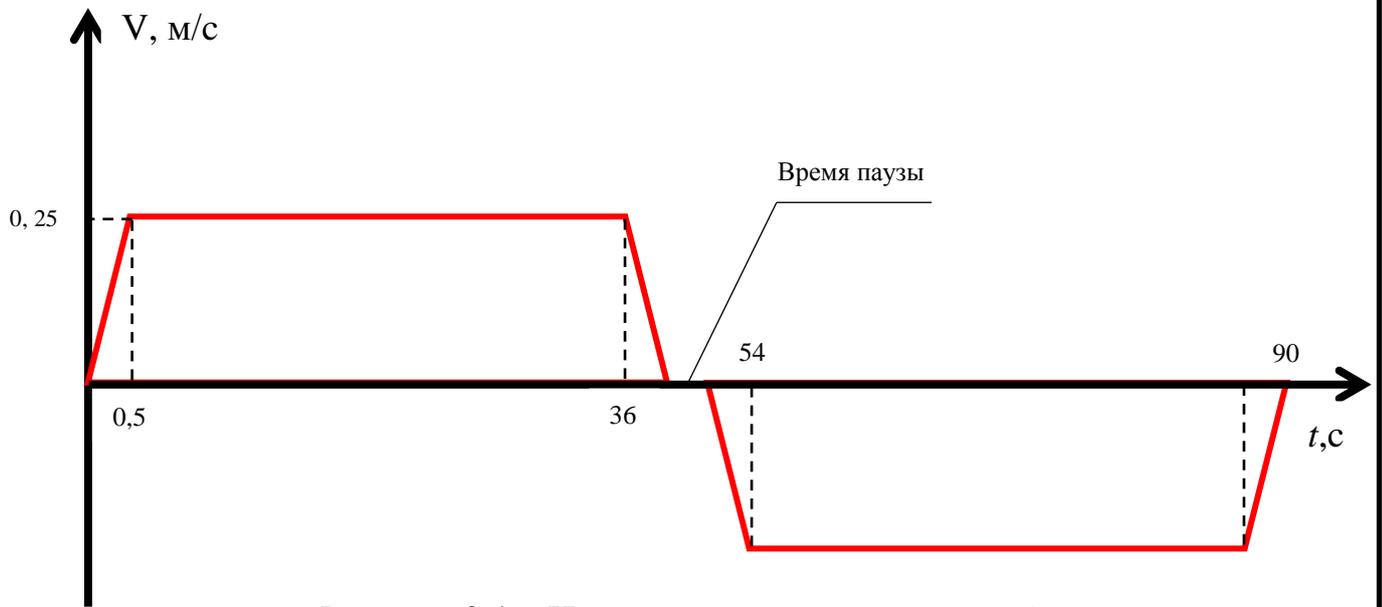


Рисунок 2.1 – Нагрузочная диаграмма $F=V(t)$

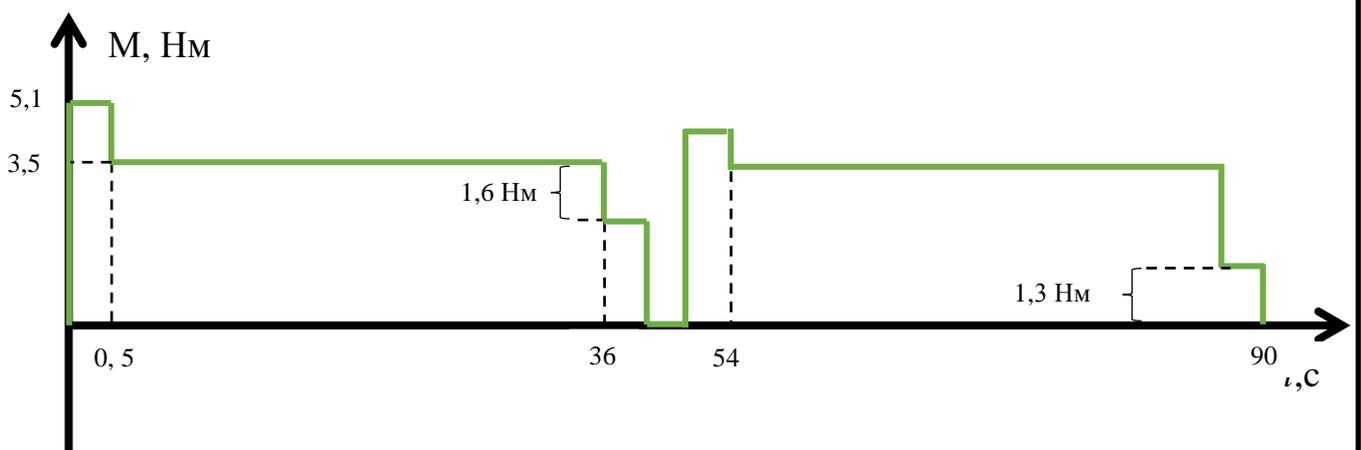


Рисунок 2.2 – Нагрузочная диаграмма $F=M(t)$

3.6 Расчёт естественных и искусственных механических характеристик электродвигателя

У нас есть ряд требований к электродвигателю, которые мы должны выполнить. Пониженные скорости при пуске и остановке должны быть точны, а так же скорости рабочего и обратного движения в установившемся режиме.

Для удобства приведем в данном пункте базовые параметры двигателя и произведем расчет синхронной скорости и номинального момента на валу.

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

$f_{1H}=50$ Гц – номинальная частота;

$I_{1H}=29$ А – номинальная частота.

Синхронная скорость вращения:

$$\omega_{OH} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{3} = 104,72 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент на валу:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{11000}{95,288} = 115,44 \text{ Нм.}$$

Для построения характеристик необходимо рассчитать напряжение на статоре и частоту, т.к. механические характеристики пройдут через данные точки в установившемся режиме при поднимании лифта с грузом, а так же при опускании вниз без груза (при опускании вниз без груза рассчитывается аналогично, расчет не приведен, только посчитанные значения занесены в таблицу 3.3).

Рассчитаем заданные точки в относительных единицах:

$$\bar{M}_{3AD} = \frac{M_{3AD}}{M_H} = \frac{64,31}{115,44} = 0,557;$$

$$\bar{\omega}_{3AD} = \frac{\omega_{3AD}}{\omega_{OH}} = \frac{91,43}{104,72} = 0,873 .$$

Найдем приращение скорости в относительных единицах:

$$\bar{\omega}_{O3AD} = \bar{\omega}_{3AD} + s_H \cdot \bar{M}_{3AD} = 0,873 + 0,09 \cdot 0,557 = 0,923.$$

Получаем частоту и напряжение в данной точке:

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1H}} = \bar{\omega}_{O3AD} = 0,923;$$

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1H} = 0,923 \cdot 50 = 46,163 \text{ Гц};$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1H} = 0,923 \cdot 220 = 203,119 \text{ В}.$$

Результаты подсчетов объединены в таблице 3.3

Таблица 3.3 – Данные для построения характеристик

| Параметры | | Движение | |
|------------------|-------|----------|-----------|
| | | с грузом | без груза |
| ω_{3AD} | рад/с | 91,43 | 91,43 |
| | о.е. | 0,873 | 0,873 |
| M_C | Нм | 64,31 | 63,75 |
| | о.е. | 0,557 | 0,552 |
| Расчетные данные | | | |
| ω_{O3AD} | о.е. | 0,923 | 0,923 |
| f_1 | Гц | 46,163 | 46,142 |
| U_1 | В | 203,119 | 203,023 |

При построение характеристик по посчитанным данным будем использовать программу *Matlab*, но прежде, в этой же программе посчитаем сопротивления статора и ротора, воспользовавшись листингом «*xrKZADf*» с сайта era.susu.ru. Эти сопротивления необходимы при построении характеристик. Далее вносим все посчитанные данные в листинг «*haradkz.m*» и получаем характеристики. Они представлены на рисунке 3.1.

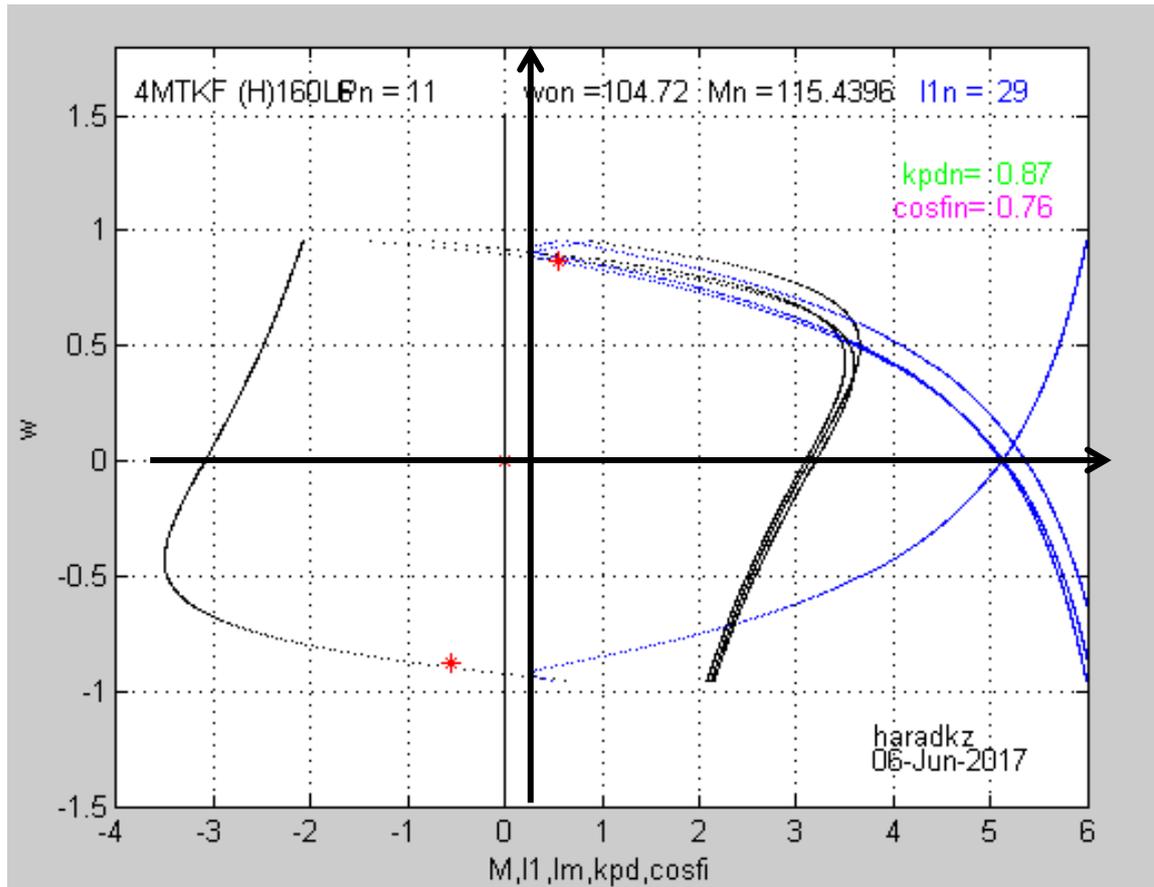


Рисунок 3.1 – Естественная и искусственные характеристики при движении с грузом и без груза, электромеханические характеристики.

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

4 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

4.1 Выбор преобразователя, построение переходных процессов электропривода

Чтобы регулировать скорость двигателя выберем преобразователь частоты.

По каталогу подходит преобразователь асинхронный транзисторный регулируемый фирмы «Триол», марка АТО6–015.

Таблица 4.1 – Технические данные АТО6–015

| | |
|---|------------------------------------|
| Питающая сеть | 3x220 В |
| Выходное напряжение | 3x (0...220 В ± 2%); |
| Выходная частота | 0...400 Гц ± 0,05%; |
| Ток перегрузки | 1,5· I _н в течение 60 с |
| КПД (без двигателя) | 0,95 |
| Коэффициент мощности (сети) | 0,95 |
| Полная мощность | 18 кВт |
| Номинальная мощность двигателя | 15 кВт |
| Номинальный ток нагрузки I _н | 30 А |

Схема управления преобразователем показана на рисунке 4.1.

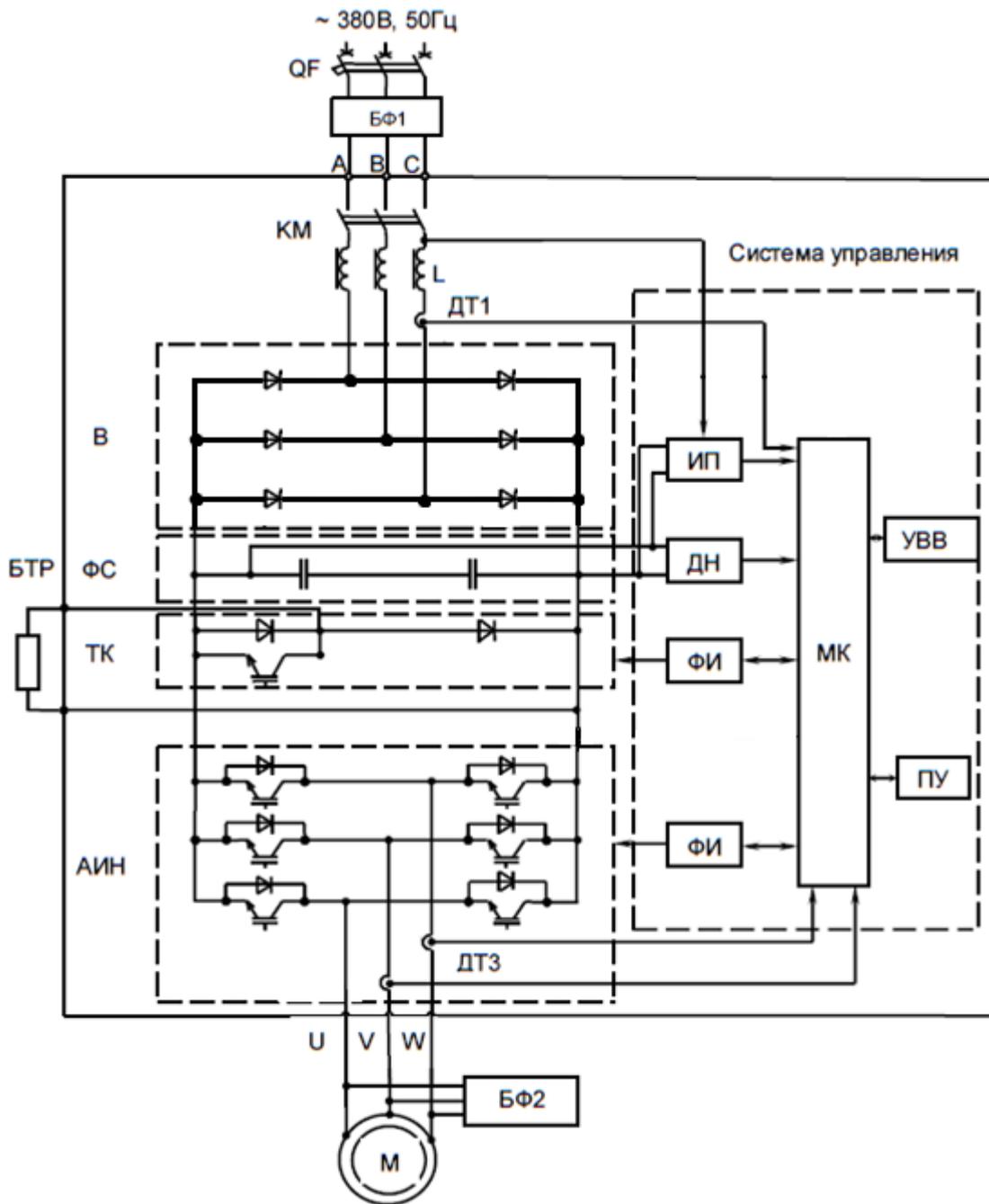


Рисунок 4.1 – Функциональная схема управления преобразователем и силовые цепи

Если мы будем изменять возмущающие и управляющие воздействия, то возникнут переходные процессы в системе.

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

Они нужны для того, чтобы сделать оценку электрических и механических перегрузок, чтобы оценить правильность выбора преобразователя, двигателя и управляющей аппаратуры, для оценки соответствия требованиям технологического процесса, а так же для оценки характера и времени протекания переходных процессов.

Переходный процесс зависит от жесткости механической передачи, от электромагнитной инерции элементов преобразователя и обмоток двигателя и от механической инерции привода.

Разные режима пуска применяют в зависимости от заданных требований. Например, пуск форсированный – это такой пуск, где момент двигателя равен максимально допустимому, а время пуска минимально. И существует нормальный пуск, при котором момент двигателя на этапах пуска не ниже момента сопротивления движения, а время пуска не ограничено. И пуск, при котором обеспечивается допустимое заданное ускорение, но происходит ограничение динамического момента двигателя.

Рассмотрены три режима пуска. Третий вариант подходит, т.к. первые два режима граничные.

При питании двигателя от индивидуального преобразователя появляется возможность плавного регулирования напряжения (частоты), поэтому переходные процессы пуска и торможения обеспечиваются формированием напряжения управления преобразователем.

Для формирования линейного закона изменения напряжения управления на вход преобразователя подключают интегральный задатчик интенсивности ЗИ. Базовая постоянная задатчика интенсивности определяется по формуле:

$$T_{ЗИ} = \frac{\omega_{OH}}{\varepsilon_O} = \frac{J \cdot \omega_{OH}}{M_H} \cdot \frac{M_H}{M_{дин}} = \frac{T_D}{\bar{M}_{дин}}, \quad (38)$$

$$T_D = J \cdot \frac{\omega_{OH}}{M_H}, \quad (39)$$

где T_d – механическая постоянная времени, с;

$\bar{M}_{дин}$ – относительное значение динамического момента двигателя.

При движении с грузом:

$$T_{3И1} = \frac{\omega_{OH}}{\varepsilon_O} = \frac{J_1 \cdot \omega_{OH}}{M_H} \cdot \frac{M_H}{M_{дин1}} = \frac{0,487 \cdot 104,72}{115,44} \cdot \frac{115,44}{89,08} = 0,573 \text{ с};$$

При движении без груза:

$$T_{3И2} = \frac{\omega_{OH}}{\varepsilon_O} = \frac{J_2 \cdot \omega_{OH}}{M_H} \cdot \frac{M_H}{M_{дин2}} = \frac{0,457 \cdot 104,72}{115,44} \cdot \frac{115,44}{83,611} = 0,573 \text{ с}.$$

Будем использовать программу *Matlab* и листинг программы «*zipchad.m*» для того, чтобы рассчитать переходные процессы пуска и торможения. Полученные переходные процессы отражены на рисунках 4.2-4.3.

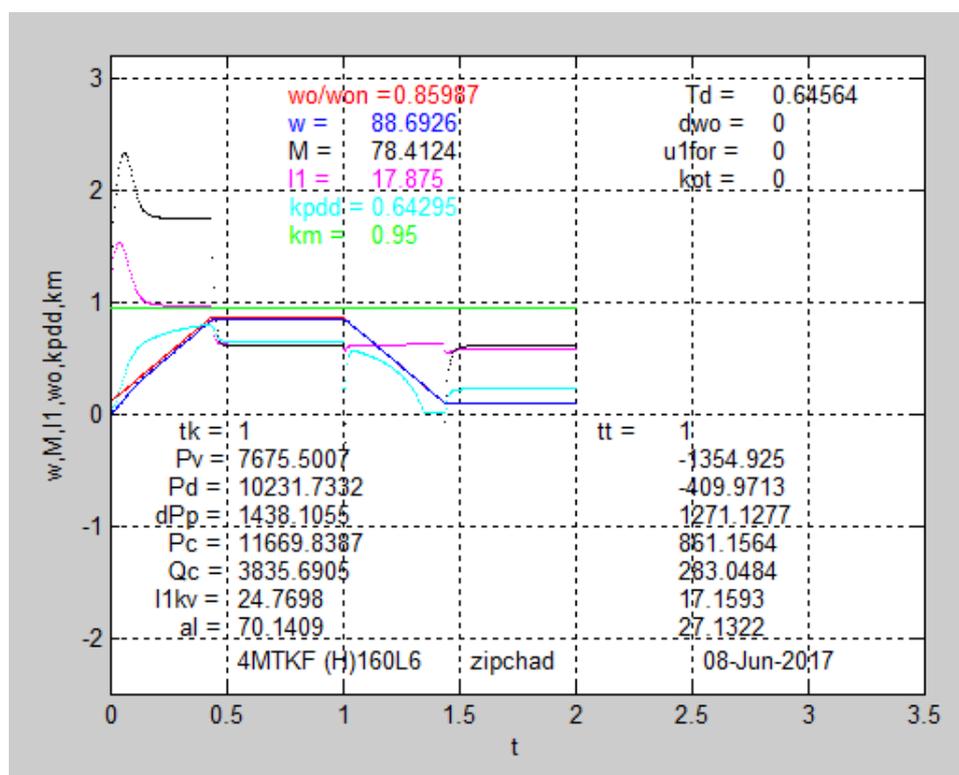


Рисунок 4.2 – Нагрузочные диаграммы при подъеме лифта с грузом

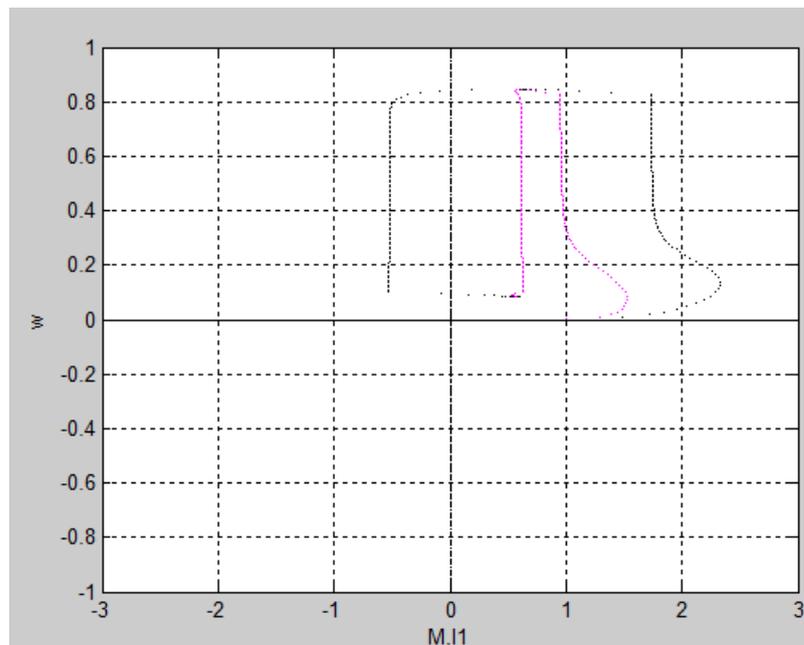


Рисунок 4.3 – Динамическая механическая характеристика при подъеме лифта с грузом

4.2 Проверка электропривода на заданную производительность, по нагреву и перегрузочной способности двигателя

После расчета нагрузочных диаграмм в программе *Matlab* «*zipchad.m*» нужно выполнить ряд дополнительных расчетов с целью получения ответов на вопросы технического задания на проектирование – соответствие результатов расчетов выданному заданию и современному состоянию электропривода, в том числе и мировому.

При проверке на перегрузочную способность изучают нагрузочные диаграммы и отмечают максимальные значения тока и момента двигателя, и сравнивают эти значения с допустимыми для выбранного двигателя и преобразователя.

Прошедшими проверку на перегрузочную способность считается асинхронный двигатель, если максимальный момент двигателя нагрузочной диаграммы меньше максимального (критического) момента двигателя.

$$M_{\text{МАКС}} = 1,25 \cdot M_H = 1,25 \cdot 115,44 = 144,3 \text{ Нм} < M_K = 395 \text{ Нм.}$$

Тиристорный преобразователь частоты, если максимальный ток двигателя не превышает максимально допустимый ток, который указан в паспорте преобразователя.

$$I_{\text{МАКС}} = 1,2 \cdot I_{1Н} = 1,2 \cdot 30 = 36 \text{ А.}$$

Система прошла проверку на перегрузочную способность.

Проведем проверку на заданную производительность.

Угол поворота вала двигателя:

$$\alpha(t) = \int_0^t \omega(t) dt. \quad (40)$$

При подъеме:

$$\alpha_{\text{П}} = 67,26 \text{ рад}; \alpha_{\text{Т}} = 25,63 \text{ рад};$$

При движении вниз:

$$\alpha_{\text{П}} = 67,86 \text{ рад}; \alpha_{\text{Т}} = 25,76 \text{ рад},$$

где $\alpha_{\text{П}}$ – угол поворота вала двигателя за время пуска tk ,

$\alpha_{\text{Т}}$ – угол поворота вала двигателя за время торможения tt .

Время работы в установившемся режиме определяют по соотношению:

$$t_y = \frac{\alpha_{\Sigma} - (\alpha_{\text{П}} + \alpha_{\text{Т}})}{\omega_c}, \quad (41)$$

где $\alpha_{\Sigma} = j_p \cdot 2 \cdot L / D = 64 \cdot 2 \cdot 9 / 0,35 = 3291 \text{ рад}$ - угловой путь, проходимый валом двигателя на участке движения.

При подъеме:

$$t_{y1} = \frac{\alpha_{\Sigma} - (\alpha_{\text{П}} + \alpha_{\text{Т}})}{\omega_c} = \frac{3291 - (67,26 + 25,63)}{90,35} = 35,4 \text{ с.}$$

При движении вниз:

$$t_{y2} = \frac{\alpha_{\Sigma} - (\alpha_{\text{П}} + \alpha_{\text{Т}})}{\omega_c} = \frac{3291 - (67,86 + 25,76)}{90,89} = 35,18 \text{ с.}$$

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:

$$t_{P\Phi AKT} = \sum(tk + tt + t_y).$$

При подъеме:

$$t_{P\Phi AKT1} = \sum(tk + tt + t_y) = 1 + 35,4 + 1 = 37,4 \text{ с.}$$

При движении вниз:

$$t_{P\Phi AKT2} = \sum(tk + tt + t_y) = 1 + 35,18 + 1 = 37,18 \text{ с.}$$

Проверка на заданную производительность состоит в сравнении рассчитанного времени работы электропривода $t_{P\Phi AKT}$ в цикле с временем t_p , заданным в техническом задании на проектирование.

$$t_{\Phi AKT} = 37,4 + 37,18 = 74,58 \text{ с} < t_p = 90 \text{ с.} \quad (42)$$

Система удовлетворяет требованиям по производительности.

Проверим выбранный двигатель по нагреву методом эквивалентного тока:

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (43)$$

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.

Среднеквадратичный ток на участке интегрирования за время tn :

$$I_{\text{СРКВ}} = \sqrt{\frac{1}{tn} \cdot \int_0^{ti} I_i^2 \cdot dt} = \sqrt{\frac{1}{tn} \cdot \sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i} \leq I_{\text{нпр}}. \quad (44)$$

Коэффициент ухудшения теплоотдачи остановленного двигателя β_0 зависит от его конструктивного исполнения и условий вентиляции.

Для двигателя *4МТКФ (Н)160L6* коэффициент $\beta_0 = 0,45 \dots 0,55$. Ухудшение условий охлаждения двигателя в переходных режимах учитывают коэффициентом ухудшения теплоотдачи β_i , которому в зависимости от скорости вращения можно присвоить значения. Нагрузочные диаграммы скорости $\omega(t)$ каждого из вариантов работы в цикле разбиваются на участки движения с разными скоростями по таблице 4.2, рассчитываются времена t_{02} , t_{08} , t_{10} работы в цикле с такими скоростями и подставляются в знаменатель формулы (42).

Таблица 4.2 – Время работы при ухудшенном охлаждении

| $\overline{\omega}$ | <0,2 | 0,2...0,8 | >0,8 |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|
| β_i | $\beta_0=0,5$ | 0,75 | 1 |
| t | $t_{02}=0,16+0,3=0,46$ | $t_{08}=0,28+0,31=0,59$ | $t_{10}=0,138+37,084=37,222$ |
| t | $t_{02}=0,15+0,28=0,43$ | $t_{08}=0,3+0,34=0,64$ | $t_{10}=0,04+37,065=37,105$ |

$$I_{\vartheta} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} = \sqrt{\frac{27,263^2 \cdot 1 + 20,264^2 \cdot 35,403 + 18,257^2 \cdot 1 + 26,57^2 \cdot 1 + 20,187^2 \cdot 35,18 + 18,2^2 \cdot 1}{0,55 \cdot (0,46 + 0,43) + 0,775 \cdot (0,59 + 0,64) + 37,222 + 37,1}} = \sqrt{\frac{30990}{75,77}} = 20,223 \text{ А.}$$

Допустимый по нагреву ток двигателя рассчитывают через каталожный ток $I_{КАТ}$ при каталожной $ПВ_{кат}$, ближайшей к фактической:

$$I_{доп} = I_{кат} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{кат}}{ПВ_{факт}}} = 29 \cdot \sqrt{\frac{40}{82,9}} = 29 \cdot 0,695 = 20,348 \text{ А.}$$

(44)

$$ПВ_{ФАКТ} = (t_{ФАКТ} / t_{Ц}) \cdot 100\% = (78,149 / 90) \cdot 100 = 86.$$

$$I_{\Sigma} = 20,223 \text{ A} < I_{\text{доп}} = 20,348 \text{ A}.$$

Двигатель прошел проверку по нагреву.

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

$$\begin{aligned} I_{\text{СРКВ}} &= \sqrt{\frac{1}{t_P} \cdot \sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i} = \\ &= \sqrt{\frac{27,263^2 \cdot 1 + 20,264^2 \cdot 35,4 + 18,26^2 \cdot 1 + 26,57^2 \cdot 1 + 20,19^2 \cdot 35,18 + 18,2^2 \cdot 1}{90}} = \\ &= 18,56 \text{ A} < I_{\text{НПП}} = 30 \text{ A}. \end{aligned}$$

(45)

Преобразователь проверку по нагреву прошел.

4.3 Энергетические показатели электропривода

Проведем расчет энергетических показателей электропривода.

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

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

Цикловый КПД представляет собой отношение произведенной механической работы за цикл $P_{\text{вк}}$ потребленной за это время электроэнергии (активной энергии) из сети P_c .

$$\eta = \frac{P_{\text{вк}}}{P_c} = \frac{\int_0^{t_{\text{ц}}} M_{\text{по}}(t) \cdot \omega_{\text{по}}(t) dt}{\int_0^{t_{\text{ц}}} P_c dt}.$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 50 |

Для расчета энергетических показателей используются результаты расчета переходных процессов в программе *Matlab «zipchad.m»*.

Энергетические показатели режима движения с грузом:

За время разгона при подъеме лифта:

КПД двигателя:

$$kpd_1 = \frac{P_{v_1}}{P_{d_1}} = \frac{6060,994}{8533,2} = 0,71.$$

КПД электропривода:

$$kpdd_1 = \frac{P_{v_1}}{P_{c_1}} = \frac{6060,994}{9249,43} = 0,655.$$

Коэффициент мощности электропривода:

$$km_1 = \frac{P_{c_1}}{(P_{c_1}^2 + Q_{c_1}^2)^{0.5}} = \frac{9249,43}{(9249,43^2 + 3040,14^2)^{0.5}} = 0,95.$$

За время торможения при подъеме лифта:

КПД двигателя:

$$kpd_3 = \frac{P_{v_1}}{P_{d_1}} = \frac{-37,54}{850,88} = 0,044.$$

Коэффициент мощности электропривода:

$$km_3 = \frac{P_{c_3}}{(P_{c_3}^2 + Q_{c_3}^2)^{0.5}} = \frac{1406,76}{(1406,76^2 + 462,38^2)^{0.5}} = 0,95.$$

КПД:

$$kpddy_1 = 0,73.$$

Коэффициент мощности:

$$kmu_1 = 0,95.$$

Средневзвешенный КПД за время движения с грузом:

$$\eta_{СРВЗВ13} = \frac{\eta dd_1 \cdot tkk + \eta dd y_1 \cdot ty_1 + \eta dd_3 \cdot tt}{tkk + t_{y1} + tt} =$$

$$= \frac{0,71 \cdot 1 + 0,73 \cdot 35,4 + 0,044 \cdot 1}{1 + 35,4 + 1} = 0,709.$$

5. АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА

5.1 Описание технологического процесса

Грузовой лифт предназначен для подъема с нижнего этажа на верхний этаж помещения и наоборот. В исходном состоянии кабина находится на нижнем этаже (рисунок 5.1). После загрузки лифта на нижнем этаже оператор вручную закрывает дверь шахты и нажимает на панели оператора кнопку отправки лифта вверх. Команда о нажатии запоминается и кабина начинает подниматься на верхний этаж. На верхнем этаже, после прибытия лифта, кратковременно включается звонок.

Для отправки подъемника на нижний этаж рабочий на этаже закрывает дверь шахты и оператор нажимает кнопку отправки лифта на нижний этаж.

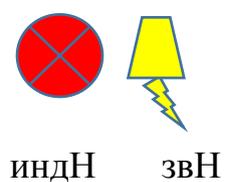
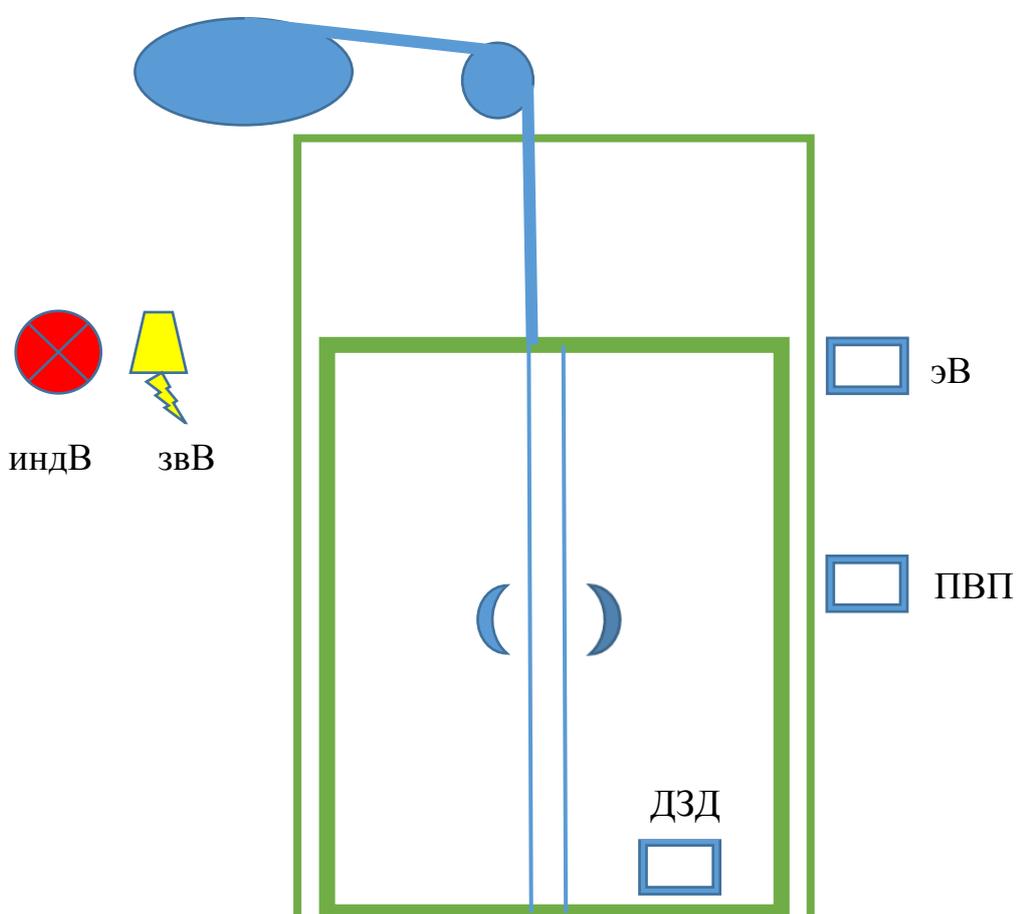
При достижении лифтом нужного этажа установлены датчики для наиболее точной и плавной остановки кабины: промежуточный датчик нижнего положения и промежуточный датчик верхнего положения.

На верхнем и нижнем этажах расположены индикаторы, которые показывают присутствие кабины на этаже.

Лифт не должен двигаться, если хотя бы одна из дверей шахты будет открыта.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|-------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ</i> | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 52 |

Для перемещения подъемника использован асинхронный короткозамкнутый двигатель мощностью 11 кВт.



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

| | |
|----------|------|
| 109.01ПЗ | Лист |
| | 53 |



Рисунок 5.1 – Функциональная схема работы лифта

5.2 Требования к системе автоматизации

Опираясь на суть технологического процесса в системе должны присутствовать рабочие узлы: двигатель, приводящий в движение кабину лифта (обозначение на схеме «М»), система управления данным двигателем (обозначение на схеме «СУД»), панель, с которой управляет оператор (обозначение на схеме «ПО») и блок оповещения оператора (обозначение на схеме «БО»).

В данной системе есть несколько режимов: ручной, автоматический и аварийный. Данные режимы подробно описаны ниже.

Кроме кнопки «Стоп» система должна останавливаться автоматическими тормозами нормально-закрытого типа. При этом коэффициент запаса торможения в приводе механизма подъема должен быть не менее 1.5.

Электропривод подъемника должен удовлетворять следующим требованиям: если произошел сбой в системе, и напряжение сети пропало и вновь восстановилось, то должен быть исключен момент самозапуска двигателя; при отключении двигателя должен срабатывать так же механический тормоз; при включении двигателя одновременно должен

сниматься механический тормоз; вся силовая цепь должна обрываться разными (двумя) выключателями.

В системе понадобятся сливные резисторы для рассеивания энергии, в случае, если двигатель находится в режиме рекуперации.

Если система в режиме «Автоматический режим», то ручное управление никак не должно влиять на работу, и, наоборот.

5.3 Алгоритм работы системы автоматизации

В таблице 5.1 отображены сокращения и их пояснения сигналов и команд, которые используются в данной системе.

Таблица 5.1 – Входные и выходные переменные

| Входные переменные | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|----------------------|-------------------|------------------|--------------|
| Датчик верхнего этажа | Датчик нижнего этажа | Промежуточный датчик верхнего этажа | Промежуточный датчик нижнего этажа | Датчик закрытия дверей шахты | Готовность привода лифта | Кнопка пуск режимов работы | Кнопка стоп режимов работы | Ручной режим | Автоматический режим | Кнопка лифт вверх | Кнопка лифт вниз | Сброс аварии |
| ДВЭ | ДНЭ | ПДВ | ПДН | ДЗД | ГотПр | Пуск | Стоп | Ручн | Автом | КнВв | КнВн | Сброс |
| Выходные переменные | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------|--|-------------------|-------------------|
| Движение кабины вверх | Движение кабины вниз | Движение кабины вниз медленно | Движение кабины вверх медленно | Индикатор на нижнем этаже | Индикатор на верхнем этаже | Звонок на нижнем этаже | Звонок на верхнем этаже | Сигнал о аварии | Сигнал о аварии, одновременно вверх и вниз | Сигнал аварии ДВЭ | Сигнал аварии ДНЭ |
| Вверх | Вниз | МВверх | МВниз | ИН | ИВ | ЗвН | ЗвВ | Авар | АварВВ | АварДВЭ | АварДНЭ |

Ниже составлены уравнения и приведены пояснения для работы всей системы.

В автоматическом режиме сигнал о готовности системы возникает, когда нажимают на кнопку «Пуск» и запоминается, пока не нажмут на кнопку «Стоп» или до возникновения аварии:

$$Гот. = Автом (Пуск + Гот.) \cdot \overline{Стоп} \cdot \overline{Ручн} \cdot \overline{Авар}.$$

Память нажатия кнопки «Вверх» возникает, если не нажата кнопка «Вниз», если нажата кнопка «Вверх», если есть сигнал с датчика нижнего этажа (ДНЭ) до возникновения сигнала с датчика верхнего этажа (ДВЭ), либо до исчезновения сигнала о готовности системы:

$$Рэв = (КнВв \cdot ДНЭ \cdot \overline{Рэн} + Рэв) Гот \cdot \overline{ДВЭ}.$$

Память нажатия кнопки «Вниз» возникает, если не нажата кнопка «Вверх», если нажата кнопка «Вниз», если есть сигнал с датчика верхнего этажа (ДВЭ) до возникновения сигнала с датчика нижнего этажа (ДНЭ), либо до исчезновения сигнала о готовности системы:

$$Рэн = (КнВн \cdot ДВЭ \cdot \overline{Рэв} + Рэн) Гот \cdot \overline{ДНЭ}.$$

Сигнал о том, что произошла авария (любая), возникает, если имеется хотя бы один из сигналов АварВВ, АварДНЭ или АварДВЭ, и если нет сигнала ГотПр. Авария сохраняется, пока не появится сигнал о сбросе аварии «СбросАвар»:

$$Авар = (\overline{ГотПр} + АварВВ + АварДВЭ + АварДНЭ + Авар) \overline{СбросАвар}.$$

Сигнал АварВВ появляется, если есть одновременно два сигнала «Вверх» и «Вниз». Авария сохраняется, пока не появится сигнал о сбросе аварии СбросАвар:

$$АварВВ = (Гот. \cdot Вверх \cdot Вниз + АварВВ) \overline{СбросАвар}.$$

Сигнал АварДВЭ возникает, если привысилось время движения кабины вверх и сохраняется, пока не появится сигнал о сбросе аварии СбросАвар:

$$АварДВЭ = (Гот. \cdot Вверх \nearrow + АварДВЭ) \overline{СбросАвар}.$$

Сигнал АварДНЭ возникает, если привысилось время движения кабины вниз и сохраняется, пока не появится сигнал о сбросе аварии СбросАвар:

$$АварДНЭ = (Гот. \cdot Вниз \nearrow + АварДНЭ) \overline{СбросАвар}.$$

Сигнал Вверх возникает, если есть сигнал о закрытых дверях кабины, если есть память о нажатии кнопки вверх или в ручном режиме, при нажатии кнопки вверх, до тех пор, пока нет сигнала с датчика верхнего этажа (ДВЭ):

$$Вверх = ДЗД \cdot Рэв + Ручн \cdot КнВв \cdot \overline{ДВЭ}.$$

Сигнал Вниз возникает, если есть сигнал о закрытых дверях кабины, если есть память о нажатии кнопки вниз или в ручном режиме, при нажатии кнопки вниз, до тех пор, пока нет сигнала с датчика нижнего этажа (ДНЭ):

$$Вниз = ДЗД \cdot Рэн + Ручн \cdot КнВн \cdot \overline{ДНЭ}.$$

Сигнал о медленном движении вниз возникает, если есть сигнал Вниз и есть сигнал с датчика промежуточного положения на нижнем этаже и сохраняется до тех пор, пока есть движение Вниз:

$$МВниз = (Вниз \cdot ПДНП + МВниз) \cdot Вниз.$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 57 |

Сигнал о медленном движении вверх возникает, если есть сигнал Вверх и есть сигнал с датчика промежуточного положения на верхнем этаже и сохраняется до тех пор, пока есть движение Вверх:

$$MV_{\text{верх}} = (V_{\text{верх}} \cdot ПДВП + MV_{\text{верх}}) \cdot V_{\text{верх}}.$$

Сигнал на индикаторе о нахождении кабины на нижнем этаже возникает, если есть сигнал с датчика нижнего этажа (ДНЭ):

$$IH = ДНЭ.$$

Сигнал на индикаторе о нахождении кабины на верхнем этаже возникает, если есть сигнал с датчика верхнего этажа (ДВЭ):

$$IV = ДВЭ.$$

Звонок раздается, когда кабина приехала на нижний этаж, при условии, что есть сигнал с ДНЭ и звонок звенит, пока сигнал с ДНЭ не превысит 3 секунды:

$$ZvH = (ДНЭ + ZvH) \cdot ДНЭ \nearrow_3.$$

Звонок раздается, когда кабина приехала на верхний этаж, при условии, что есть сигнал с ДВЭ и звонок звенит, пока сигнал с ДВЭ не превысит 3 секунды:

$$ZvB = (ДВЭ + ZvB) \cdot ДВЭ \nearrow_3.$$

5.4 Выбор элементной базы автоматизации и преобразователей технологической информации

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|------------------------------|------|
| | | | | | ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 58 |

Чтобы управлять системой нам требуется контроллер. Выбираем программируемый контроллер фирмы *OMRON*, а именно, контроллер *CPM2A-30CDR-D*. У него имеются 18 входов и 12 выходов, что нам подходит. В нашем проекте 14 входных и 12 выходных сигналов. Модули ввода вывода выбраны на постоянное напряжение питания 24В, это исключит необходимость применения нескольких блоков питания на разное напряжение. Выбранный контроллер представлен на рисунке 5.2 ниже.

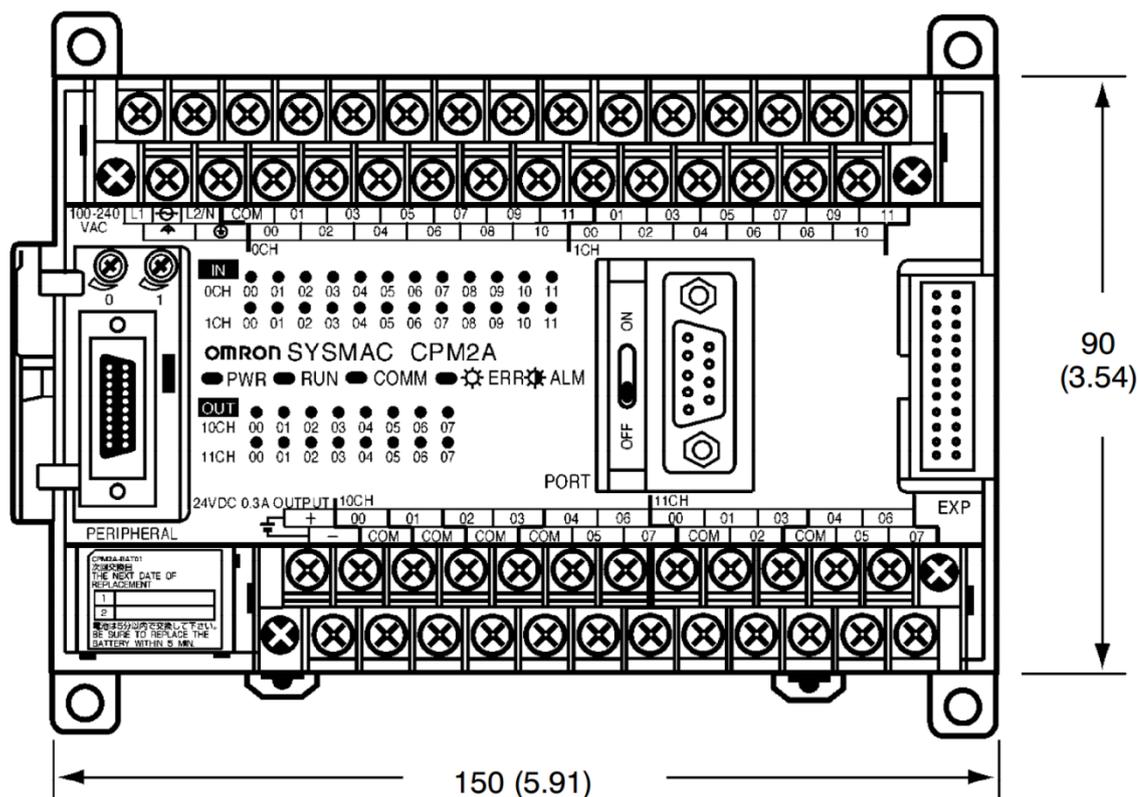


Рисунок 5.2 – программируемый контроллер *CPM2A-30CDR-D*

Так же выберем сенсорный монитор. Выбрали панель *NT21*. Данная модель обладает собственной операционной системой, широкими возможностями по программированию различных графических объектов на экране монитора. Характеристики данной панели представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Технические характеристики *NT21*

| Характеристика | Значение |
|----------------|----------|
| Напряжение | DC, 24 В |

| | | |
|-------------------------------------|--------------------|--|
| Потребляемая мощность | | 7Вт |
| Дисплей | Тип | Монохромный жидкокристаллический <i>STN LCD</i> |
| | Эффективный размер | 117x63 |
| | Разрешение | 260x140 |
| | срок службы | 50000 часов минимум |
| Сенсорная панель | Тип | резисторная матрица |
| | Количество ключей | 13x7 |
| Связь с внешними устройствами | | Последовательный порт А(9конт) Последовательный порт В(9конт) |
| Язык | | Английский |
| <i>Flash</i> -память | | 512КБ |
| количество пользовательских экранов | | 3999 |

В нашей работе необходимы датчики. Выбираем индуктивные бесконтактные выключатели *ISB AF8A-31P-10-Z-G* производства фирмы «Теко». У датчика есть чувствительная зона, при появлении там объекта он срабатывает. Соприкосновение с датчиком не требуется. Основные характеристики представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 Технические характеристики *ISBAF8A-31P-10-Z-G*

| Наименование характеристики | Единицы измерения | Величина |
|--------------------------------|-------------------|-------------|
| Номинальное напряжение питания | В | 10-30 |
| Расстояние срабатывания | мм | Не более 10 |
| Максимальный ток нагрузки | мА | 250 |



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

Рисунок 5.3 – Схема подключения датчика *ISB AF8A*

Для удобства оператора используем индикатор, а так же звонок, что сигнализирует нам о прибытии кабины грузового лифта. Индикатор используем *NTC 24 DC*, а для звонка *XVPC24B*.

Таблица 5.4 - Характеристики индикатора и звонка

| Оборудование | Маркировка | Характеристики |
|--------------|----------------|--|
| Индикатор | <i>NTC</i> | - напряжение питания DC 24В |
| Звонок | <i>XVPC24B</i> | - напряжение питания DC 24В - мощность 5 Вт |

В системе необходимы блоки питания. Блок питания выбираем по суммарной мощности потребителей. Здесь важно учесть мощность потребителей, включенных в один момент. Потребители – датчики, входные и выходные модули системы. В таблице 5.5 представлены элементы, а так же их количество в системе, которые мы должны запитать. Отсюда мы знаем суммарную мощность.

Таблица 5.5 – Расчет требуемой мощности блока питания

| Наименование потребителя | Потребляемая мощность, Вт | Количество потребителей, шт. | Общая мощность, Вт |
|----------------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------|
| Бесконтактные датчики | 6 | 6 | 36 |
| Входные цепи <i>СРМ2А-30СDR</i> | 0,156 | 16 | 2,5 |
| Выходные цепи <i>СРМ2А-30СDR</i> | 4,8 | 12 | 57,6 |

| | | | |
|---------------------------------|---|---|-------|
| Сенсорный монитор | 7 | 1 | 7 |
| Лампа | 4 | 2 | 8 |
| Звонок | 5 | 2 | 10 |
| Суммарная мощность потребителей | | | 110,1 |

Выбираем блок питания фирмы *Mean Well Enterprises*, типа *RS-120-24*. У данного блока питания номинальный ток 6,5 А, а напряжение 24 В.

В схеме имеется контактор на переменное напряжение 380В для включения и аварийного отключения системы. Так же имеются выключатели для защиты от перегрузок и коротких замыканий.

5.5 Разработка функциональной схемы автоматизации

Функциональная схема представлена на рисунке 5.6. Данная схема – результат проведенной автоматизации технологического процесса. На схеме отражены главные элементы, входные и выходные команды, хорошо показана взаимосвязь отдельных частей, главная из которых - контроллер. На схеме приняты некоторые обозначения, а именно: М – электродвигатель кабины; КП – кабина подъемника; ДШ – двери шахты; ПО – пульт оператора; ДВЭ – датчик верхнего этажа; ДНЭ – датчик нижнего этажа; ПДВ – промежуточный датчик верхнего положения; ПДН – промежуточный датчик нижнего положения; ДЗД – датчик закрытых дверей кабины.

Элементы, которые входят в систему автоматизации: панель оператора (сенсорная); программируемый контроллер *СРМ2А–40СDR–D*; датчики технологической информации; блок питания; преобразователь частоты; двигатель исполнительного механизма.

На панели оператора имеются 4 экрана: «Меню», «Автоматический режим», «Ручной режим», «Аварийный режим».

На рисунке 5.4 изображены экраны «Меню» и «Аварийный режим», а на рисунке 5.5 экраны «Ручной режим» и «Автоматический режим».

На экране «Меню» представлены три кнопки. Данные кнопки дают доступ в три разных режима. Эти кнопки имеются на каждом экране. На экране «Аварийный режим» имеются 4 сигнала, которые отражают три разных аварии системы, а так же готовность привода.

На экране «Ручной режим» имеются кнопки «Вверх» и «Вниз». Они предусмотрены для отладки работы нашего лифта. Соответствующие индикаторы показывают визуально движение. Остальные индикаторы сигнализируют о срабатывании датчиков этажа и закрытых дверей, а так же о промежуточном положении лифта. На экране «Автоматический режим» имеются индикаторы тех же датчиков, что и в «Ручной режим», плюс сигналы о готовности схемы и наличии аварии. Кнопками «Пуск» и «Стоп» мы соответственно либо запускаем работу всей системы в автоматическом режиме, либо останавливаем.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|-------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ</i> | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 63 |

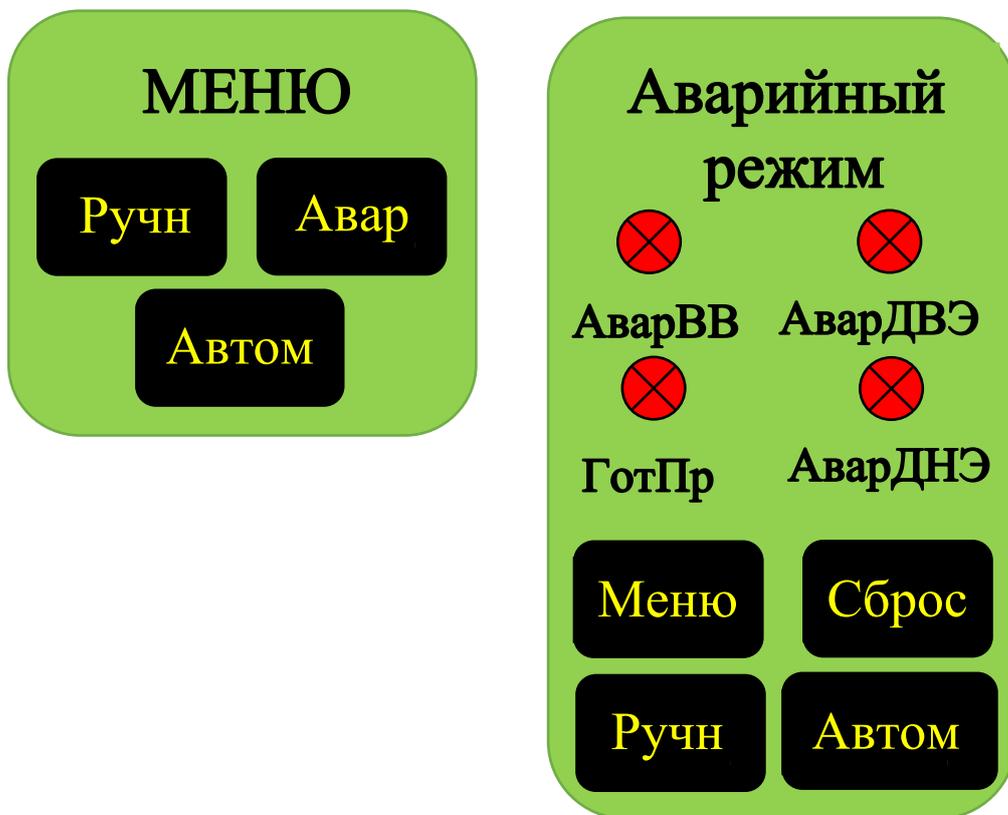


Рисунок 5.4 – Экраны «Меню» и «Аварийный режим»

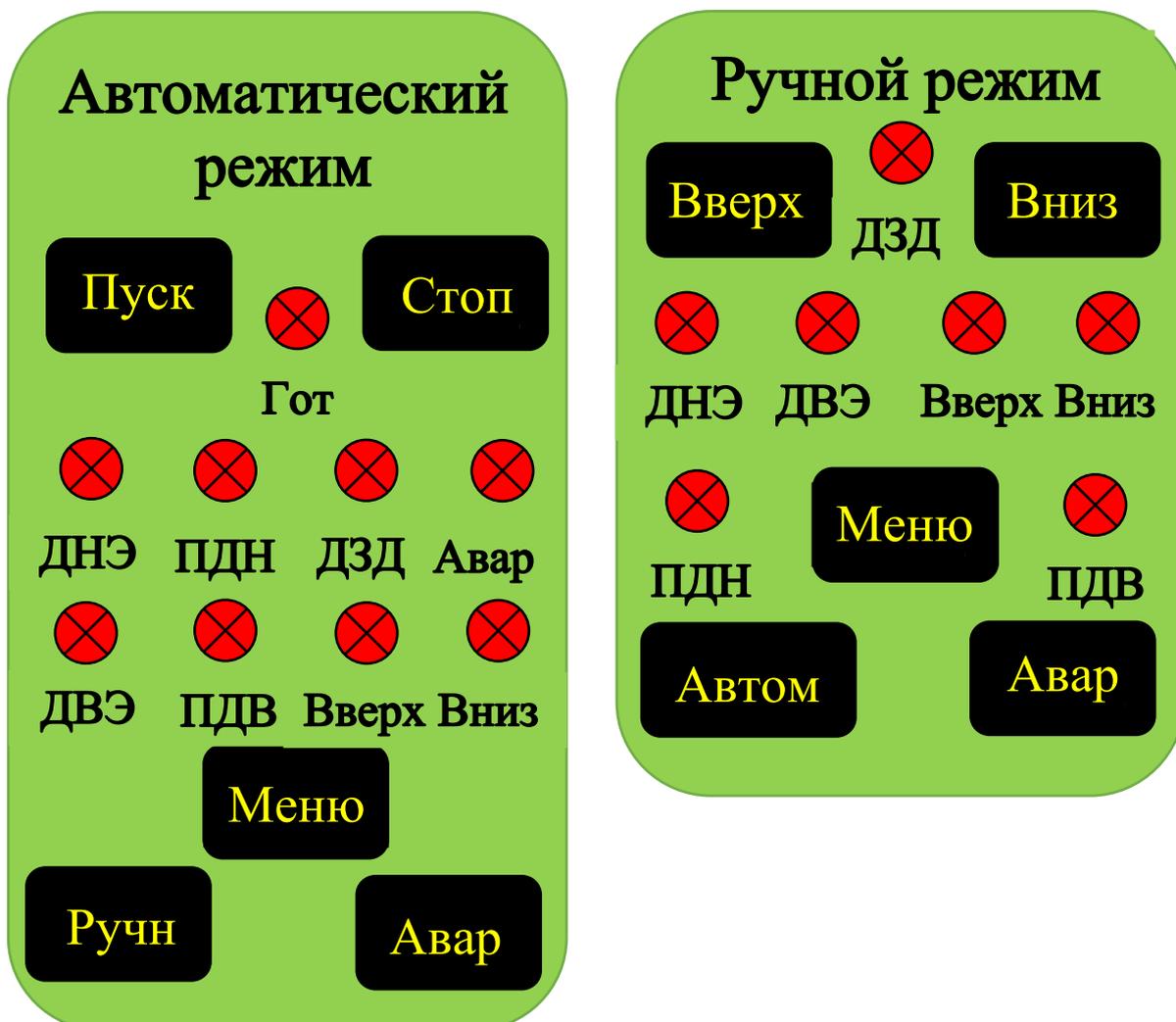


Рисунок 5.5 – Экраны «Автоматический режим» и «Ручной режим»

Общий вид функциональной схемы с учетом всех элементов представлен на рисунке 5.6.

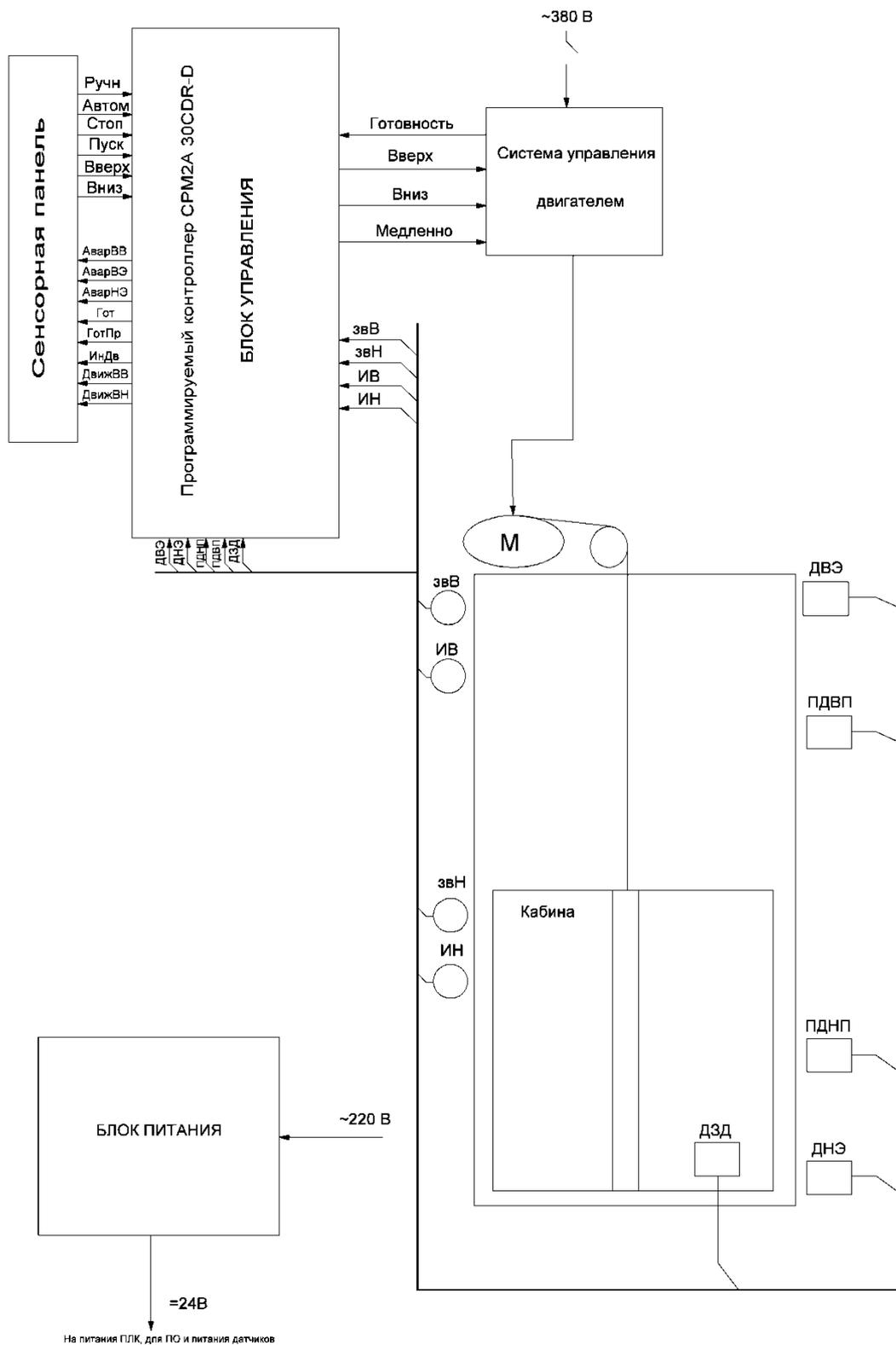


Рисунок 5.6 – Функциональная схема лифта

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

5.6 Разработка принципиальной электрической схемы автоматизации

Автоматический выключатель $QF1$ выполняет функции защиты системы от коротких замыканий.

Блок питания $G1$ с напряжением на выходе $24В$ питает основные низковольтные элементы: датчики, входные и выходные цепи контроллера $A1$, монитор $A2$.

В системе используются бесконтактные датчики $SQ1-SQ6$. В соответствии со схемой, представленной на рисунке 5.3, производится подключение информационных выходов датчиков к входам модуля ввода. Выбор датчиков описан в пункте ранее.

Асинхронный двигатель M управляется системами частотного преобразователя Триол АТО6 – 015.

Частотный преобразователь получает питание от сети трехфазного напряжения $380В$.

Управление приводами всех механизмов осуществляется через программируемый контроллер $A1$, в зависимости от режима работы, который включает и отключает привода в соответствии с входными сигналами и по заданной программе.

Монитор $NT21$ подключен к контроллеру с помощью витой пары MPI .

Чтобы система получила питание необходимо включить автомат $QF1$, затем нажатием $SB1$ включается пускатель $KM1$. Загорается лампа $HL1$. Для безопасности предусмотрена ладонная кнопка аварийного отключения $SB2$.

При подаче питания на программируемом контроллере должен загореться индикатор. На мониторе должен появиться основной экран со всеми запрограммированными кнопками и индикаторами, иначе нужно проверить блок питания или монитор.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|-------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ</i> | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 67 |

С помощью разработанной функциональной схемы (рисунок 5.6), а так же с помощью выбранной базой элементов была получена схема электрическая принципиальная, которая вынесена на отдельный лист формата А3. (ЮУрГУ – 13.03.02.2017.109.02 ПЭЗ)

5.7 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 5.6.

Таблица 5.6 – Сигналы и соответствующие адреса

| № п/п | Наименование сигнала или команды | Обозначение в описании | Адрес | Аппарат, формир. сигнал |
|-------|---|------------------------|-------|-------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Датчик нижнего этажа | ДНЭ | 00.00 | <i>SQ1</i> |
| 2 | Промежуточный датчик нижнего положения | ПДН | 00.01 | <i>SQ2</i> |
| 3 | Промежуточный датчик верхнего положения | ПДВ | 00.02 | <i>SQ3</i> |
| 4 | Датчик верхнего этажа | ДВЭ | 00.03 | <i>SQ4</i> |
| 5 | Датчик закрытия дверей | ДЗД | 00.04 | <i>SQ5</i> |
| 6 | Кнопка ручного режима | Ручн | 00.06 | <i>A1</i> |
| 7 | Кнопка автоматического режима | Автом | 00.07 | <i>A1</i> |
| 8 | Готовность привода | ГотПр | 00.08 | <i>A1</i> |
| 9 | Кнопка лифт вверх | КнВв | 00.09 | <i>A1</i> |
| 10 | Кнопка лифт вниз | КнВн | 1.0 | <i>A1</i> |
| 11 | Кнопка пуск | Пуск | 1. 1 | <i>A1</i> |

| | | | | |
|----|-------------|------|-----|----|
| 12 | Кнопка стоп | Стоп | 1.2 | AI |
|----|-------------|------|-----|----|

Продолжение таблицы 5.6

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|-------------------------------|--------|------|----|
| 13 | Кнопка сброс аварии | Сброс | 1.3 | AI |
| 14 | Звонок на нижнем этаже | ЗвН | 10.0 | AI |
| 15 | Общая авария | Авар | 10.1 | AI |
| 17 | Индикация этаж нижний | ИН | 10.2 | AI |
| 18 | Звонок этаж верхний | ЗвВ | 10.3 | AI |
| 19 | Индикация этаж верхний | ИВ | 10.4 | AI |
| 20 | Авария вверх и вниз | АврВВ | 10.5 | AI |
| 21 | Авария датчика нижнего этажа | АврДНЭ | 10.6 | AI |
| 22 | Авария датчика верхнего этажа | АврДВЭ | 10.7 | AI |
| 23 | Движение вниз | Вниз | 11.0 | AI |
| 24 | Движение вверх | Верх | 11.1 | AI |
| 25 | Движение вниз медленно | МВниз | 11.2 | AI |
| 26 | Движение вверх медленно | МВверх | 11.3 | AI |

Программа, построенная на основе полученных уравнений, представлена на рисунках 5.8 – 5.9.

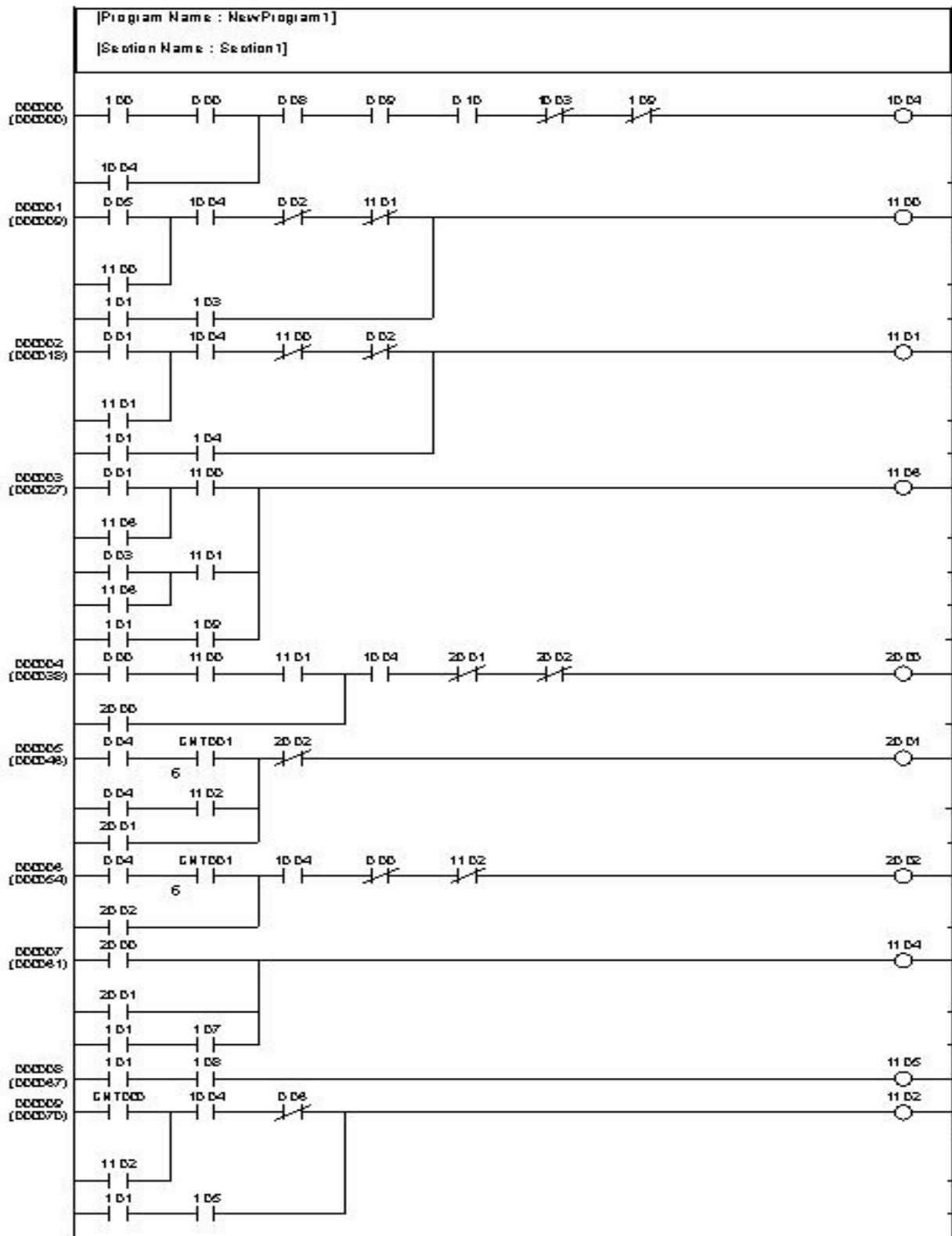


Рисунок – 5.8 Лестничная диаграмма проектирования

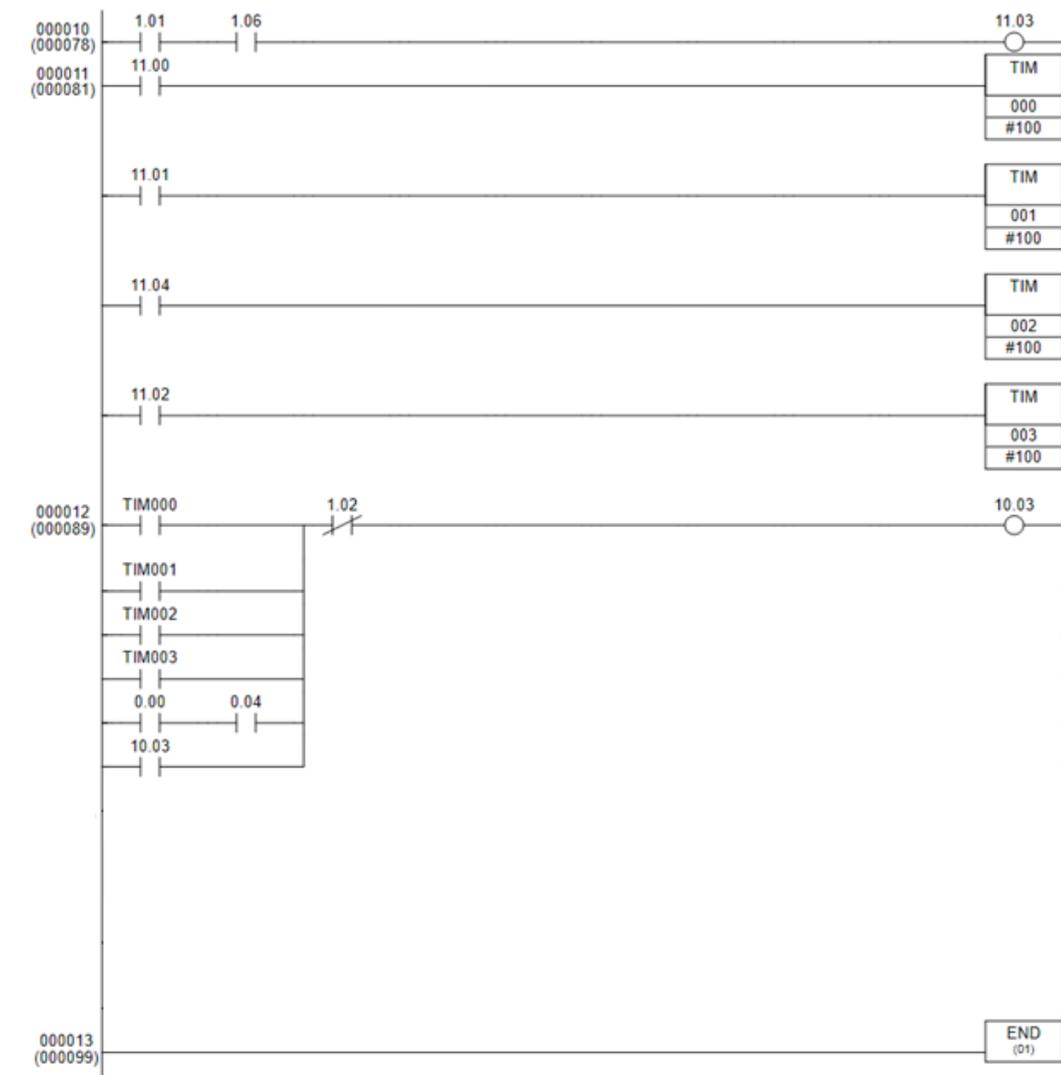


Рисунок – 5.9 Продолжение лестичных диаграмм проектирования

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

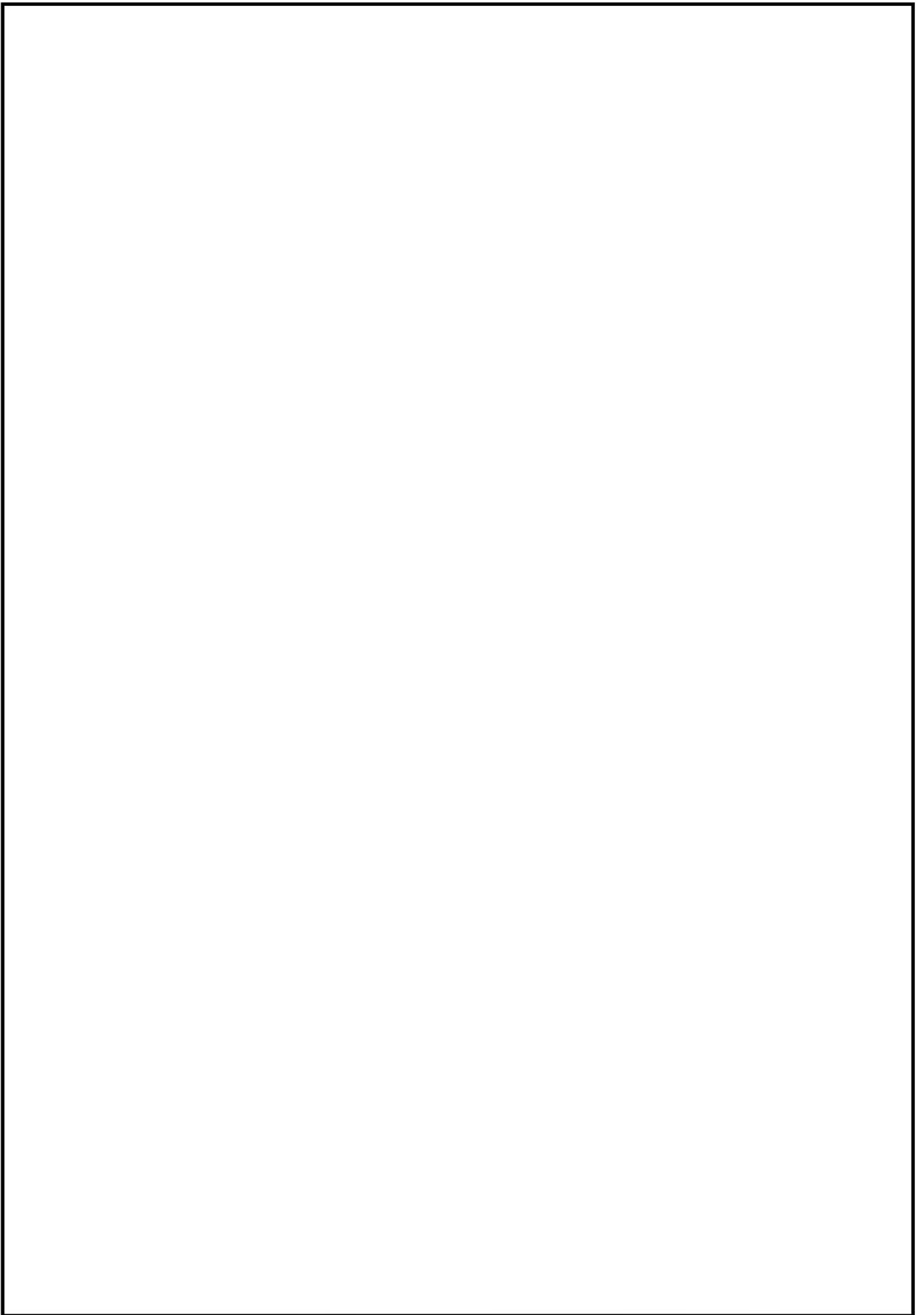
В выпускной квалификационной работе рассмотрен электропривод грузового лифта, а так же автоматизация данной системы.

Рассмотренная вначале теоретическая часть дает понять важность и актуальность данной работы. Приведено техническое задание и расчет механизма по основным положениям проектирования.

Произведен развернутый расчет мощности электродвигателя. Выбран электродвигатель с короткозамкнутым ротором крановой серии *4МТКФ (Н)160L6*, который управляется преобразователем частоты «Триол» АТО6 – 015. Выбор обоснован невысокой стоимостью преобразователя, его надёжностью, малыми габаритными размерами, простотой обслуживания. С помощью программного обеспечения “*Matlab 6.5*” получены механические естественные и искусственные характеристики, а так же рассмотрены переходные процессы пуска и торможения данной системы.

С учетом выбранного оборудования составлены функциональная и принципиальная схемы автоматизации, основным связующим звеном автоматизации является программируемый контроллер *Omron CPM2A-30CDR*. Произведен выбор элементной базы, составлена и отлажена программа для контроллера для управления грузовым лифтом.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|-------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ</i> | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 72 |



| | | | | | | |
|-----|------|----------|---------|------|-------------------------------------|------|
| | | | | | <i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.109.01ПЗ</i> | Лист |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 73 |