

Министерство науки и высшего образования 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/

“ _____ ” _____ 2019 г.

Электропривод грузового лифта

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОМУ
КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ**

ЮУрГУ-13.03.02.2019.413 ВКП

Руководитель проекта:

Профессор, д.т.н.

_____ /В.Л. Кодкин/

“ _____ ” _____ 2019 г.

Автор проекта

студент группы _____

_____ /В.О. Спиридонов/

“ _____ ” _____ 2019 г.

Нормоконтролер

Доцент, к.т.н.

_____ /А.Е. Бычков/

“ _____ ” _____ 2019 г.

Челябинск
2019 г.

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 ОПИСАНИЕ МЕХАНИЗМА.....	8
1.1 Описание кинематической схемы механизма	8
1.2 Состав, устройство и работа лифта	9
1.3 Описание и работа составных частей лифта	9
2 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ.....	12
2.1 Технические данные механизма грузового лифта	12
2.2 Нагрузочные диаграммы.....	13
2.3 Выбор электродвигателя.....	20
2.4 Выбор редуктора.....	22
2.5 Приведение статических моментов	23
3 ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЯ ПО НАГРЕВУ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ	29
4 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ	34
5 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	36
6 Алгоритм автоматизации технологического	43
процесса	43
6.1 Описание процесса автоматизации	43
6.2 Разработка алгоритма автоматизации лифта.....	43
6.3 Разработка функциональной схемы системы автоматизации	49
7 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	50
8 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ	58

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

8.1 Описание схемы.....	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	59
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	60

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

ВВЕДЕНИЕ

В условиях конкуренции значительно возросли требования, предъявляемые к лифтам. Современная надежность лифтов достигается с применением современных материалов, новых технологических и конструктивных решений для улучшения эксплуатационных характеристик.

Также в современном мире существует необходимость внедрения энергосберегающих технологий.

Сейчас энергосбережение в России является одной из самых важных задач. Создание отвечающих этому качеству, лифтов является сложной технической задачей.

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 ОПИСАНИЕ МЕХАНИЗМА

1.1 Описание кинематической схемы механизма

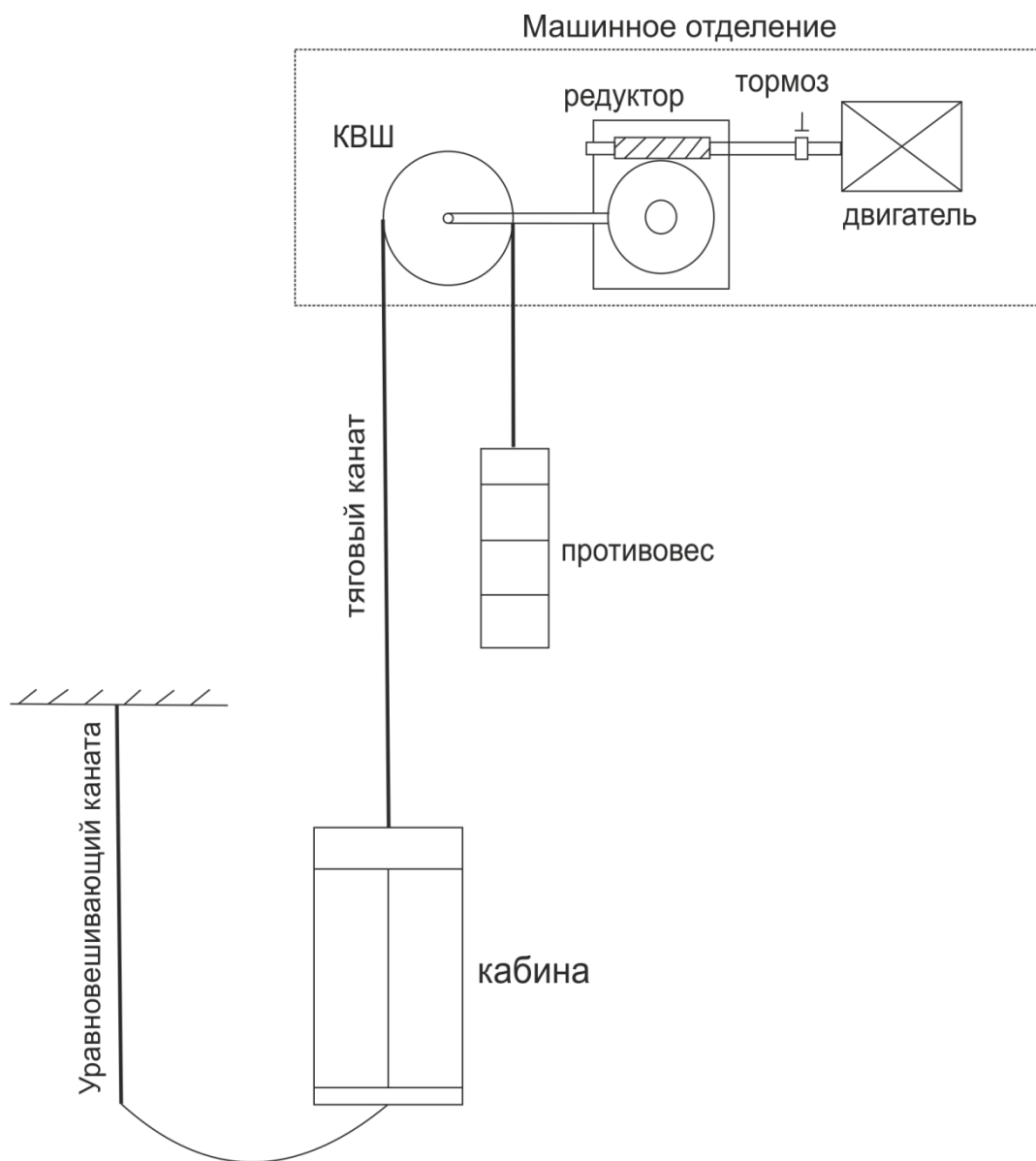


Рисунок 1.1 – Кинематическая схема лифта

Основные узлы:

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

- двигатель;
- механический тормоз;
- редуктор;
- канатоведущий шкив (КВШ);
- противовес;
- тяговый канат;
- кабина;
- уравнивающий канат.

Кинематическая схема показывает, как взаимодействуют между собой все основные системы лифта (рис. 1.1). Двигатель через редуктор передает момент на канатоведущий шкив. КВШ и тяговый канат преобразуют вращательное движение в поступательное. За счет этого кабина лифта передвигается. Механический тормоз останавливает двигатель, когда кабина находится на уровне этажа, а также удерживает ее на месте.

1.2 Состав, устройство и работа лифта

Лифт – подъемный механизм, состоящий из основных частей, находящихся в машинном отделении и шахте: подвеска и противовес, лебедка, кабина, шахта, ловитель, буфера и электрические устройства.

Перемещение грузов происходит в кабине по вертикали

Движение кабины происходит посредством лебедки и тягового каната.

Принцип работы: на каждом этаже стоят кнопки вызова кабины лифта, вызов может поступить с любого этажа, если кабина находится на этаже вызова, то открываются двери, если на другом, то подается сигнал на движение кабины. Также в кабине лифта есть кнопки приказа, которыми можно отправлять кабину на верхний или нижний этаж.

1.3 Описание и работа составных частей лифта

1) Лебедка.

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Лебедка – силовая установка, расположенная в машинном отделении установлена в машинном помещении. Лебедка служит для приведения в движение кабины.

В данной системе используется редукторная лебедка с канатоведущим шкивом.

2) Кабина. Подвеска.

Кабина служит для перевозки в ней грузов и людей, она подвешена на тяговом канате.

Подвеска предназначена для крепления тяговых канатов к кабине.

3) Ловители.

Ловители предназначены для остановки и удержания кабины на направляющих при возрастании скорости движения кабины вниз и при срабатывании ограничителя скорости.

Ловители – механическое устройство, предназначенное для остановки и удержания кабины в случае ослабления или обрыва тягового каната, а также в случае превышения скорости. Ловители – основной узел обеспечения безопасности эксплуатации лифта.

Принцип работы ловителей основан на взаимодействии шкива ограничения скорости и каната ограничения скорости, который не связан с подвеской лифта. При превышении скорости движения кабины шкив ограничителя скорости останавливает канат и кабина приводит в действие ловители.

4) Дверь кабины.

Дверь кабины обеспечивает безопасность ее использования.

Открывание и закрывание дверей кабины производится посредством электропривода, установленного в кабине.

5) Дверь шахты.

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Дверь шахты исключает доступ в шахту лифта. Дверь шахты автоматическая. Открывание и закрывание двери происходит дверью кабины.

б) Буфера кабины и противовеса.

Буфера кабины и противовеса расположены в шахте лифта. Буфера находятся ниже уровня отметки нижней остановки. Буфера предназначены для смягчения удара кабины или противовеса в случае их переспуска или падения. Буфера выполненные в виде пружин устанавливаются непосредственно на направляющие кабины, а гидравлические устанавливаются по середине нижней балки кабины.

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

2.1 Технические данные механизма грузового лифта

Таблица 2.1 – Технические данные механизма грузового лифта

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Масса груза	$m_{Г}$	т	4
Масса клетки	$m_{К}$	т	5
Масса противовеса	$m_{П}$	т	6
Диаметр шкива	D	м	0,4
Высота подъёма	h	м	8
Скорость подъёма	V_{R}	м/с	0,2
Ускорение допустимое	$a_{доп}$	м/с ²	0,5
Число циклов	z	1/ч	40
Время работы	t_{P}	с	90

Принять:

$a_{доп} = 0,5 \text{ м/с}^2$ – допустимое ускорение;

$d_{ст} = 0,25 \cdot D_{к}$ – диаметр ступицы шкива;

$\mu_n = 0,015 \dots 0,02$ – коэффициент трения скольжения;

$J_{ш} = 0,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент инерции тормозного шкива;

$v_{п} = 0,2 \cdot v_2$ – пониженная скорость;

$k_{тр} = 1,3$ – коэффициент, учитывающий трение кабины при движении

по направляющим.

2.2 Нагрузочные диаграммы

Время пуска t_n до установившейся скорости с допустимым ускорением, торможения t_m от установившейся скорости до остановки:

$$t_n = t_m = \frac{v_y}{a}, \quad (2.1)$$

где v_y – заданная скорость движения, м/с;

a – допустимое ускорение, м/с².

В соответствии с (2.1) при движении вперед:

$$t_{n1} = t_{m1} = \frac{0,2}{0,5} = 0,4 \text{ с.}$$

При движении назад:

$$t_{n2} = t_{m2} = \frac{0,2}{0,5} = 0,4 \text{ с.}$$

Путь, который машина проходит за время пуска и торможения:

$$L_n = L_m = \frac{v_y^2}{2 \cdot a_{\text{доп}}}. \quad (2.2)$$

В соответствии с (2.2) при движении вверх:

$$L_{n1} = L_{m1} = \frac{v_y^2}{2 \cdot a_{\text{доп}}} = \frac{0,2^2}{2 \cdot 0,5} = 0,04 \text{ м.}$$

При движении вниз:

$$L_{n1} = L_{m1} = \frac{v_y^2}{2 \cdot a_{\text{доп}}} = \frac{0,2^2}{2 \cdot 0,5} = 0,04 \text{ м.}$$

Время установившегося режима и движение с номинальной скоростью:

$$t_y = \frac{L - (L_n + L_m)}{v_y}, \quad (2.3)$$

где L – высота подъёма груза, м.

В соответствии с (2.3) для движения вверх:

$$t_{y1} = \frac{L - (L_n + L_m)}{v_y};$$

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$t_{y1} = \frac{8-(0,04+0,04)}{0,2} = 39,6 \text{ с.}$$

Для движения вниз:

$$t_{y2} = \frac{L - (L_n + L_m)}{v_y};$$

$$t_{y1} = \frac{8-(0,04+0,04)}{0,2} = 39,6 \text{ с.}$$

Время паузы:

$$t_0 = t_p - 2 \cdot t_{n1} - 2 \cdot t_{n2} - 2 \cdot t_y$$

$$t_0 = 85 - 2 \cdot 0,4 - 2 \cdot 0,4 - 2 \cdot 39,6 = 4,2 \text{ с.}$$

Расчёт статических моментов рабочей машины.

Момент сил трения в подшипниках барабана:

$$M_{\text{тр}} = \frac{m_{\text{тр}} \cdot d_{\text{ст}} \cdot \mu \cdot g}{2}, \quad (2.4)$$

где $m_{\text{тр}}$ – масса деталей и узлов, опирающихся на подшипники, 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.

В соответствии с (2.4) момент сил трения в подшипниках барабана:

При движении лифта с грузом:

$$M_{\text{тр1}} = \frac{(m_{\text{г}} + m_{\text{к}} + m_{\text{п}}) d_{\text{ст}} \cdot \mu \cdot g}{2};$$

$$M_{\text{тр1}} = \frac{(4000 + 5000 + 6000) 0,25 \cdot 0,45 \cdot 0,02 \cdot 9,81}{2} = 165,544 \text{ Нм.}$$

При движении лифта без груза:

$$M_{\text{тр2}} = \frac{(m_{\text{к}} + m_{\text{п}}) d_{\text{ст}} \cdot \mu \cdot g}{2}$$

$$M_{\text{тр2}} = \frac{(5000 + 6000) 0,25 \cdot 0,4 \cdot 0,02 \cdot 9,81}{2} = 121,399 \text{ Нм.}$$

Момент силы тяжести:

$$M_{ст} = \frac{m \cdot g \cdot D}{2}, \quad (2.5)$$

где m – масса поднимаемого или опускаемого груза, кг;

D – диаметр шкива, м.

В соответствии (2.5) момент силы тяжести:

При движении лифта вверх:

$$M_{ст1} = \frac{(m_{г} + m_{к} - m_{п}) g \cdot D}{2};$$
$$M_{ст1} = \frac{(4000 + 5000 - 6000) 9,81 \cdot 0,45}{2} = 6621,75 \text{ Нм.}$$

При движении лифта вниз:

$$M_{ст2} = \frac{(m_{п} - m_{к}) g \cdot D}{2};$$
$$M_{ст2} = \frac{(6000 - 5000) 9,81 \cdot 0,4}{2} = 2207 \text{ Нм.}$$

По проекту необходимо обеспечить подъем кабины лифта с грузом и движение вниз без груза.

Суммарный статический момент рабочего органа:

При движении лифта вверх:

$$M_{росм1} = M_{ст1} + M_{тп1};$$
$$M_{росм1} = 6621,75 + 165,544 = 6787,294 \text{ Нм.}$$

При движении лифта вниз:

$$M_{росм2} = M_{ст2} + M_{тп2};$$
$$M_{росм2} = 2207 + 121,399 = 2328,399 \text{ Нм.}$$

Расчёт динамических моментов рабочей машины:

Момент инерции рабочего органа:

$$J_{PO} = J_{ш} + m \cdot \frac{D^2}{4}. \quad (2.6)$$

При движении с грузом:

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$J_{po1} = J_{ш} + (m_r + m_k + m_n) \frac{D^2}{4};$$

$$J_{po1} = 0,4 + (4000 + 5000 + 6000) \frac{0,45^2}{4} = 759,775 \text{ кгм}^2.$$

При движении без груза:

$$J_{po2} = J_{ш} + (m_k + m_n) \frac{D^2}{4};$$

$$J_{po2} = 0,4 + (5000 + 6000) \frac{0,4^2}{4} = 440,4 \text{ кгм}^2.$$

Динамические моменты лифта при движении с заданным допустимым ускорением:

При движении с грузом:

$$M_{родин1} = J_{po1} \frac{2a}{D};$$

$$M_{родин1} = 759,7 \frac{2 \cdot 0,5}{0,45} = 1688 \text{ Нм.}$$

При движении без груза:

$$M_{родин2} = J_{po2} \frac{2a}{D};$$

$$M_{родин2} = 440,4 \frac{2 \cdot 0,5}{0,45} = 1238 \text{ Нм.}$$

Полный момент рабочей машины:

$$M_{po} = M_{рост} + M_{родин} \cdot \quad (2.7)$$

Участок 1 – разгон лифта при подъёме груза:

$$M_{po1} = M_{рост1} + M_{родин1};$$

$$M_{po1} = 6787,294 + 1688 = 8475,3 \text{ Нм.}$$

Участок 2 – равномерное движение лифта с грузом:

$$M_{po2} = M_{рост1};$$

$$M_{po2} = 6787,294 \text{ Нм.}$$

Участок 3 – торможение лифта при подъёме груза:

$$M_{po3} = M_{рост1} - M_{родин1};$$

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$M_{po3} = 6787,294 - 1688 = 5099,3 \text{ Нм.}$$

Участок 4 – время паузы:

$$M_{po4} = 0 \text{ Нм}$$

Участок 5 – разгон лифта при опускании клетки

$$M_{po5} = M_{рост2} + M_{родин2};$$

$$M_{po5} = 2328,4 + 1238 = 3566,4 \text{ Нм.}$$

Участок 6 – равномерное движение лифта без груза

$$M_{po6} = M_{рост2};$$

$$M_{po6} = 2328,4 \text{ Нм.}$$

Участок 7 – торможение лифта при опускании клетки

$$M_{po7} = M_{рост2} - M_{родин2};$$

$$M_{po7} = 2328,4 - 1238 = 1090 \text{ Нм.}$$

Следовательно среднеквадратичный момент:

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

где M_K – момент на k -м участке, Нм;

t_K – длительность k -го участка, с.

$$M_{сркв} = \sqrt{\frac{8476^2 \cdot 0,4 + 6787^2 \cdot 39,6 + 5099^2 \cdot 0,4 + 3567^2 \cdot 0,4 + 2329^2 \cdot 39,6 + 1090^2 \cdot 0,4}{(85-4,2)}} = 5078 \text{ Нм.}$$

Тогда мощность двигателя:

$$P_{дв} = k_1 * M_{сркв} \frac{2 \times v \times \sqrt{\frac{ПВф}{ПВкат}}}{D}; \quad (2.9)$$

$$P_{дв} = 1,5 * 5078 \frac{2 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{\frac{45}{40}}}{0,45} = 7173 \text{ Вт.}$$

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где $k_1=1.3\dots1.5$ – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, обусловленные вращающимися элементами электропривода, то есть двигателем, редуктором, а также потери в редукторе;

D_6 – диаметр шкива, м;

v_0 – заданная скорость движения, м/с;

$PВ_{\phi}$ – фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого привода.

$$PВ_{\phi} = \frac{1}{t_{ц}} \cdot \sum_{K=1}^m t_K \cdot 100\%. \quad (2.10)$$

В соответствии с (2.10):

$$PВ_{\phi} = \frac{1}{90} 40,4 * 100\% = 45\%$$

$PВ_{кат}$ – ближайшее к $PВ_{\phi}$ каталожное значение относительной продолжительности включения для электродвигателей выбранной серии. Фактическое значение $PВ$ рассчитаем, зная длительность времени работы t_K на всех участках движения к заданному времени цикла:

$$t_{\delta} = \frac{3600}{z}, \quad (2.11)$$

где $z=40$ число циклов работы машины в час.

$$t_{\delta} \frac{3600}{40} = 90 \text{ с.}$$

Для двигателей краново-металлургической серии ряд $PВ$: 15, 25, 40, 60, 100%. Выбираем ближайшее $PВ$, то есть $PВ_{кат}=40$.

Предварительные нагрузочные диаграммы приведены на рисунке 2.1.

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

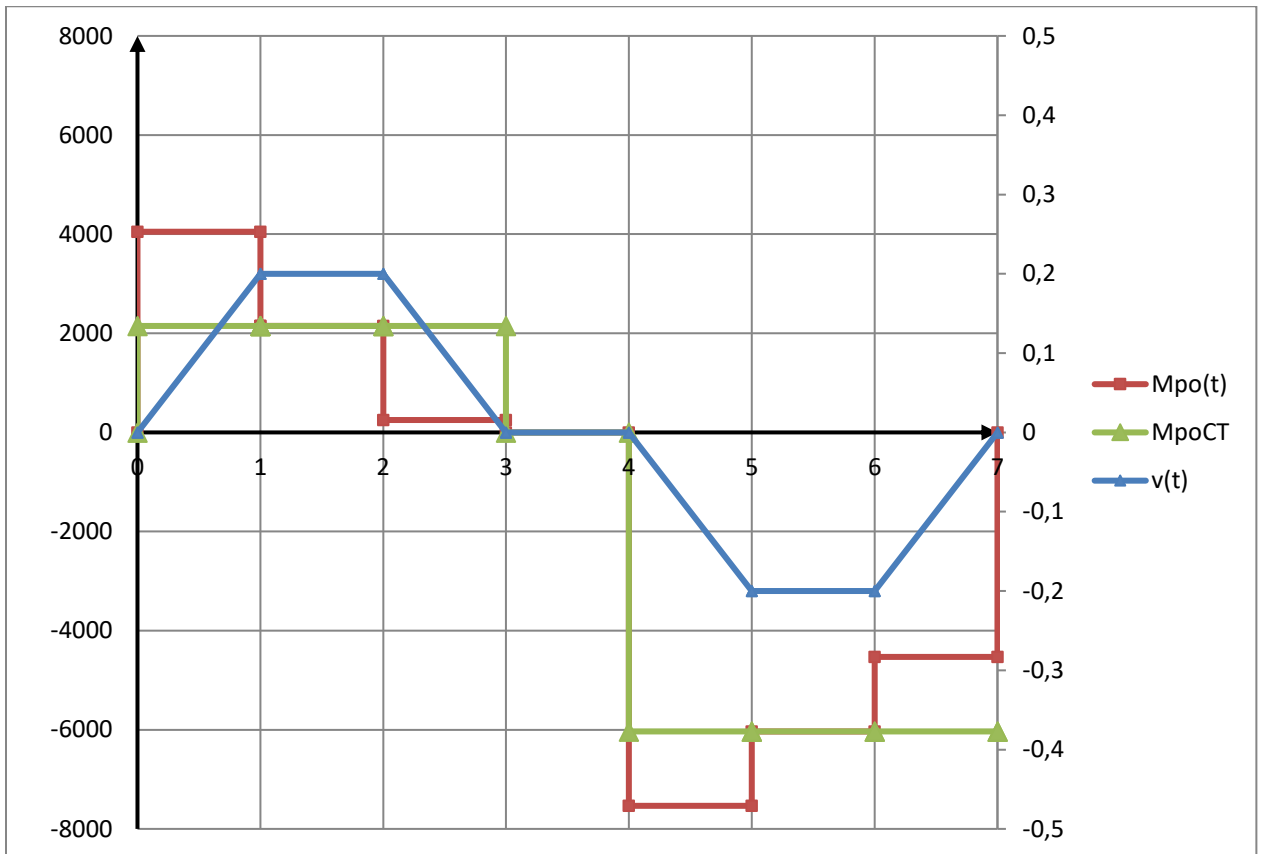


Рисунок 2.1 – Предварительные нагрузочные диаграммы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ

2.3 Выбор электродвигателя

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.

Выбор двигателя для проектируемого электропривода включает в себя:

- а) выбор конструкции (исполнения) двигателя;
- б) выбор двигателя по скорости;
- в) выбор типа и мощности двигателя.

Двигатель выбирается по каталогу таким образом, чтобы значение его мощности при ПВКАТ было бы равно или несколько больше мощности $P_{дв}$, рассчитанной по формуле (2.10).

Для повторно-кратковременного режима работы следует выбирать двигатели специальных серий, предназначенных для этого режима. Наиболее известна краново-металлургическая серия, в которой по сравнению с двигателями общепромышленной серии:

- а) усилены быстронагревающиеся части (усилены обмотки статора и ротора асинхронных двигателей – выдерживают токи короткого замыкания);
- б) за счет уменьшения диаметра ротора (якоря) снижены моменты инерции;
- в) увеличена перегрузочная способность двигателей до 3...4 значений номинального момента.

Выбираем асинхронный двигатель *МТКФ (Н)160L6*.

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 2.2 – Номинальные данные двигателя

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
P_H	Номинальная мощность на валу	кВт	11
n_H	Номинальная частота вращения	об/мин	910
I_{1H}	Номинальный ток статора	А	29
$\cos \varphi_H$	Коэффициент мощности в номинальном режиме	—	0,76
$I_{п}$	Пусковой ток	А	148
$M_{п}$	Пусковой момент	Нм	340
M_{\max}	Максимальный (критический) момент	Нм	395
r_1	Активное сопротивление фазной обмотки статора	Ом	0,35
$R_{кз}$	Активное сопротивление короткого замыкания	Ом	1,15
I_{0H}	Ток холостого хода для номинального режима	А	20,4
$X_{кз}$	Индуктивное сопротивление короткого замыкания	Ом	1,18
Kr	Коэффициент приведения сопротивлений	—	0,695
$J_{дв}$	Момент инерции двигателя	Кг * м * м	0,23

2.4 Выбор редуктора

Для выбора редуктора следует определить его передаточное число по номинальной скорости вращения двигателя и основной скорости рабочего органа:

$$j_p = \frac{\omega_n \cdot D}{2 \cdot v_0};$$
$$j_p = \frac{910}{9,55} \cdot \frac{0,45}{2 \cdot 0,2} = 100,207, \quad (2.12)$$

где ω_n - номинальная скорость вращения двигателя;

D – диаметр шкива, преобразующего вращательное движение вала в поступательное;

v_0 - основная скорость рабочего органа.

Передаточное число редуктора должно быть равным или меньше рассчитанного, также учитываются мощность и условия работы механизма.

В данном механизме режим является тяжелым, поэтому при выборе редуктора устанавливается коэффициент условий работы $k=1.5$ для тяжелого режима работы.

Тогда расчетная мощность редуктора составляет:

$$P_p = k \cdot P_M; \quad (2.3)$$

$$P_p = 1.5 \cdot 2148,4 = 3223 \text{ Вт.}$$

где P_M – наибольшая мощность, передаваемая рабочей машиной, Вт.

$$P_M = M_{\text{РОМАХ}} \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D}; \quad (2.14)$$

$$P_M = 2148,4 \cdot \frac{2 \cdot 0,2}{0,4} = 2148,4 \text{ Вт}$$

Исходя из рассчитанной мощности выбирается редуктор.

Выбрали редуктор ЦЗУ – 315Н.

$j_p = 80$ – передаточное число;

С КПД равным 97%.

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.5 Приведение статических моментов

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

$$M_{PC} = \frac{M_{POCT}}{j_p}, \quad (2.15)$$

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

j_p – передаточное отношение выбранного редуктора.

При подъёме груза:

$$M_{PC1} = \frac{M_{POCT1}}{j_p};$$
$$M_{PC1} = \frac{6787,3}{80} = 84,8 \text{ Нм.}$$

При опускании клетки:

$$M_{PC2} = \frac{M_{POCT2}}{j_p};$$
$$M_{PC2} = \frac{2328,4}{80} = 29,108 \text{ Нм.}$$

Статический момент на валу в двигательном режиме:

С грузом:

$$M_{ДВС1} = \frac{M_{PC1}}{\eta_p}; \quad (2.16)$$
$$M_{ДВС1} = \frac{84,8}{0,97} = 87 \text{ Нм.}$$

Без груза:

$$M_{ДВС2} = \frac{M_{PC2}}{\eta_p};$$
$$M_{ДВС2} = \frac{29,108}{0,97} = 30 \text{ Нм,}$$

где η_p – коэффициент полезного действия выбранного редуктора.

Статический момент тормозных режимах:

С грузом:

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$M_{\text{ТВС1}} = M_{\text{РС1}} \cdot \eta_{\text{Р}}; \quad (2.17)$$

$$M_{\text{ТВС1}} = 84,8 \cdot 0,97 = 82,3 \text{ Нм.}$$

Без груза:

$$M_{\text{ТВС2}} = M_{\text{РС2}} \cdot \eta_{\text{Р}};$$

$$M_{\text{ТВС2}} = 29,108 \cdot 0,97 = 28,2 \text{ Нм.}$$

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

$$M_{\text{С}} = M_{\text{ВС}} + M_{\text{ХХ}}, \quad (2.18)$$

где $M_{\text{ХХ}}$ – момент потерь холостого хода двигателя, Нм.

Принимаем $M_{\text{ХХ}}$ равным 5% от номинального:

$$M_{\text{ХХ}} = \frac{P_{\text{Н}}}{n_{\text{Н}}} \cdot 9,55 \cdot 0,05; \quad (2.19)$$

$$M_{\text{ХХ}} = \frac{11000}{910} \cdot 9,55 \cdot 0,05 = 5,72 \text{ Нм.}$$

Двигательный режим:

С грузом:

$$M_{\text{ДС1}} = M_{\text{ДВС1}} + M_{\text{ХХ}};$$

$$M_{\text{ДС1}} = 87 + 5,72 = 92,7 \text{ Нм.}$$

Без груза:

$$M_{\text{ДС2}} = M_{\text{ДВС2}} + M_{\text{ХХ}};$$

$$M_{\text{ДС2}} = 30 + 5,72 = 35,72 \text{ Нм.}$$

Тормозной режим:

С грузом:

$$M_{\text{ТС1}} = M_{\text{ТВС1}} - M_{\text{ХХ}};$$

$$M_{\text{ТС1}} = 82,3 - 5,72 = 76,58 \text{ Нм.}$$

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Без груза:

$$M_{TC2} = M_{TBC2} - M_{XX};$$
$$M_{TC2} = 28,2 - 5,72 = 22,48 \text{ Нм.}$$

Результаты расчета занесены в таблицу 3.1 для каждого участка.

Моменты инерции системы необходимо привести к валу двигателя для того, чтобы заменить систему на эквивалентную.

Суммарный приведенный момент инерции:

$$J = \delta \cdot J_d + J_{пр}, \quad (2.20)$$

где $J_{пр}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции поступательно и вращательно движущихся частей системы, кг·м²;

J_d – момент инерции ротора выбранного двигателя, кг·м²;

δ – 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:

$$J_{пр} = \frac{J_{PO}}{j_p^2}. \quad (2.21)$$

Суммарный приведенный момент инерции при движении с грузом:

При движении с грузом:

$$J_1 = 1,5 \cdot J_{дв} + J_{пр};$$
$$J_1 = 1,5 \cdot J_{дв} + J_{ш} + \frac{J_{PO1}}{j_p^2};$$
$$J_1 = 1,5 \cdot 0,23 + \frac{759,4}{80^2} = 0,864 \text{ кгм}^2.$$

При движении без груза:

$$J_2 = 1,5 \cdot J_{дв} + J_{пр};$$
$$J_2 = 1,5 \cdot J_{дв} + J_{ш} + \frac{J_{PO2}}{j_p^2};$$
$$J_2 = 1,5 \cdot 0,23 + \frac{440,4}{80^2} = 0,832 \text{ кгм}^2$$

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для каждого участка проведены расчеты, и все значения занесены в таблицу 3.1.

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

Пусковой момент:

$$M_{\text{п}} = M_{\text{с}} + M_{\text{дин}}, \quad (2.22)$$

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

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

Приведенную к валу двигателя жесткость упругой механической связи $C_{\text{пр}}$ определяют через значение крутильной жесткости рабочего вала:

$$C_{\text{пр}} = \frac{C_{\text{к}}}{J_{\text{р}}^2}; \quad (2.23)$$

$$C_{\text{пр}} = \frac{50}{80^2} = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ Нм/рад.} \quad (2.24)$$

Рассчитываем динамический момент:

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_{\text{р}}}{D}, \quad (2.25)$$

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

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

J – приведенный момент инерции привода, кг·м².

Динамический момент при движении с грузом:

$$M_{\text{дин1}} = J_1 \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_{\text{р}}}{D};$$

$$M_{\text{дин1}} = 0,864 \cdot \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 80}{0,45} = 153,549 \text{ Нм.}$$

При движении без груза:

$$M_{\text{дин2}} = J_2 \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_{\text{р}}}{D};$$

$$M_{\text{дин2}} = 0,832 \cdot \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 80}{0,45} = 147,92 \text{ Нм.}$$

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Пусковой момент при движении с грузом:

$$M_{П1} = M_{ДС1} + M_{ДИН1};$$

$$M_{П1} = 92,72 + 153,549 = 243,113 \text{ Нм.}$$

При движении без груза:

$$M_{П2} = M_{ДС2} + M_{ДИН2};$$

$$M_{П2} = -35,72 + 147,924 = 115,817 \text{ Нм.}$$

Тормозной момент:

$$|M_T| = |M_{ДИН}| - M_C; \quad (2.26)$$

При движении с грузом:

$$|M_{Т1}| = |M_{ДИН1}| - M_{ТС1};$$

$$|M_{Т1}| = 153,549 - 76,58 = 63,985 \text{ Нм.}$$

При движении без груза:

$$|M_{Т2}| = |M_{ДИН2}| - M_{ТС2};$$

$$|M_{Т2}| = 147,92 - (-26,136) = 180,031 \text{ Нм.}$$

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

Средний момент двигателя при реостатном пуске с грузом:

$$M_{ДСР1} = M_{П1}; \quad (2.27)$$

$$M_{ДСР1} = 243,113 \text{ Нм}$$

Средний момент двигателя при реостатном пуске без груза:

$$M_{ДСР2} = M_{П2};$$

$$M_{ДСР2} = 115,81 \text{ Нм.}$$

Средний момент двигателя при торможении с грузом:

$$M_{ТСР1} = |M_{Т1}|; \quad (2.28)$$

$$M_{ТСР1} = 63,98 \text{ Нм.}$$

Средний момент двигателя при динамическом торможении без груза:

$$M_{ТСР2} = M_{Т2};$$

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$M_{\text{ТСР2}} = 180,031 \text{ Нм.}$$

Установившаяся скорость двигателя:

$$\Omega_c = \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot j_p ; \quad (2.29)$$

$$\Omega_c = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 80}{0,45} = 71 \text{ рад/с.}$$

Пониженная:

$$\omega_c = \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot j_p ; \quad (2.30)$$

$$\omega_c = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 80}{0,45} = 14 \text{ рад/с.}$$

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЯ ПО НАГРЕВУ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

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

Времена переходных процессов для каждого участка:

$$t_i = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{CP} - M_c}, \quad (3.1)$$

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

ω_c – установившаяся скорость двигателя, 1/с;

M_{CP} – средний момент двигателя, Нм;

M_c – приведенный статический момент, Нм.

Первый участок – разгон с грузом:

$$t_1 = J_1 \cdot \frac{\omega_c}{M_{ДСР1} - M_{ДС1}};$$
$$t_1 = 0,864 \cdot \frac{71}{63 - 33,67} = 0,4 \text{ с.}$$

Третий участок – торможение с грузом:

$$t_3 = J_1 \cdot \frac{\omega_c}{M_{ТСР1} + M_{ТС1}};$$
$$t_3 = 0,864 \cdot \frac{71 - 14}{2,615 + 20,43} = 1,921 \text{ с.}$$

Пятый участок – разгон без груза:

$$t_5 = J_2 \cdot \frac{\omega_c}{M_{ДСР2} - M_{ДС2}};$$
$$t_5 = 0,832 \cdot \frac{71}{95,67 - 83,67} = 0,654 \text{ с.}$$

Седьмой участок – торможение без груза:

$$t_7 = J_2 \cdot \frac{\omega_c}{M_{ТСР2} + M_{ТС2}};$$

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$t_7 = 0,832 \cdot \frac{71}{27,7 + 67,47} = 0,5 \text{ с.}$$

Угол поворота вала двигателя за время переходного процесса:

$$\alpha_i = \frac{\omega_c \cdot t_i}{2}. \quad (3.2)$$

Угол поворота вала:

За 1 и 5 участки:

$$\alpha_{1,3} = \frac{\omega_c \cdot (t_1 + t_3)}{2};$$

$$\alpha_{1,3} = \frac{71 \cdot (0,4 + 1,921)}{2} = 82,4 \text{ рад.}$$

За 5 и 7 участки:

$$\alpha_{5,7} = \frac{\omega_c \cdot (t_5 + t_7)}{2};$$

$$\alpha_{5,7} = \frac{71 \cdot (0,654 + 0,5)}{2} = 5,5 \text{ рад.}$$

Время работы с установившейся скоростью:

$$t_v = \frac{\alpha_\Sigma - (\alpha_{II} + \alpha_T)}{\omega_c}, \quad (3.3)$$

где α_Σ – угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме, рад;

α_{II}, α_T – угол поворота вала за время пуска и торможения, рад.

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

$$\alpha_{\text{сум}} = 2 \cdot L \cdot \frac{j_p}{D}; \quad (3.4)$$

$$\alpha_{\text{сум}} = 2 \cdot 8 \cdot \frac{80}{0,45} = 2844 \text{ рад.}$$

В соответствии с (3.3):

$$t_{\text{увверх}} = \frac{\alpha_{\text{сум}} - \alpha_{1,3}}{\omega_c};$$

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$t_{\text{увверх}} = \frac{2844 - 82,4}{71} = 38,9 \text{ с.}$$

$$t_{\text{увниз}} = \frac{\alpha_{\text{сум}} - \alpha_{5,7}}{\omega_{\text{с}}};$$

$$t_{\text{увниз}} = \frac{2800 - 5,5}{71} = 39,9 \text{ с.}$$

Результаты расчета сведены в Таблицу 3.1.

Суммарное фактическое время работы привода:

$$t_{\phi} = 38,9 + 39,9 + 0,4 + 1,9 + 0,65 + 0,5 = 82,25 < t_p = 85 \text{ с.}$$

Полученное время не превышает заданного времени работы привода, то есть требование по производительности выполнено. Предварительная проверка двигателя по нагреву производится по величине среднеквадратичного момента:

$$M_{\text{СРКВ}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \leq M_{\text{ДОП}} \quad (3.5)$$

$$M_{\text{СРКВ}} =$$

$$\sqrt{\frac{243,1^2 \cdot 0,4 + 92,7^2 \cdot 38,9 + 63,98^2 \cdot 1,9 + 115,81^2 \cdot 0,65 + 76,58^2 \cdot 39,9 + 180^2 \cdot 0,5}{0,4 + 38,9 + 1,9 + 0,65 + 38,9 + 0,5}} =$$

$$= 61,421 \text{ Нм.}$$

Допускаемый момент:

$$M_{\text{ДОП}} = M_{\text{КАТ}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{КАТ}}}{\text{ПВ}_{\phi}}}; \quad (3.6)$$

$$M_{\text{ДОП}} = 115,4 \cdot \sqrt{\frac{40}{49}} = 76,367 \text{ Нм.}$$

где фактическое значение ПВ:

$$\text{ПВ}_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\%; \quad (3.7)$$

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$ПВ_{\phi} = \frac{59}{120} \cdot 100\% = 49\%.$$

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

$$M_{КАТ} = \frac{P_H \cdot 9,55}{n_H}; \quad (3.8)$$

$$M_{КАТ} = \frac{1100 \cdot 9,55}{910} = 115,4 \text{ Нм.}$$

Уменьшаем допустимый момент на 15%:

$$M_{ДОП15} = M_{доп} \cdot 0,85; \quad (3.9)$$

$$M_{ДОП15} = 76.367 \cdot 0,85 = 64,91 \text{ Нм.}$$

Среднеквадратичный момент меньше допустимого ($61,421 \text{ Нм} < 64,91 \text{ Нм}$), следовательно, двигатель проходит по нагреву.

Таблица 3.1 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

Участок движения	Движение с грузом			Движение без груза		
	Пуск	Уст.режим	Торможение	Пуск	Уст.режим	Торможение
t, с	0,4	34,7	0,4	0,4	34,7	0,4
h, м	0,04	6,92	0,04	0,04	6,92	0,04
v, м/с	–	0,2	–	–	0,2	–
$M_{РОСТ}$, Нм	6787,3	6787,3	6787,3	2328,4	2328,4	2328,4
$J_{РОСТ}$, кг·м ²	759,8	759,8	759,8	440,4	440,4	440,4
$M_{РОДИН}$, Нм	688	0	688	1238	0	1238
M_{PO} , Нм	8475,3	6787,3	5099,3	3566,4	2328,8	1090
M_{PC} , Нм	84,8	84,8	84,8	29,1	29,1	29,1
M_{BC} , Нм	87	87	87	30	30	30
M_C , Нм	92,7	92,7	92,7	35,7	35,7	35,7

Продолжение таблицы 3.1

Участок движения	Движение с грузом			Движение без груза		
	Пуск	Уст.режим	Торможение	Пуск	Уст.режим	Торможение
ω_c , рад/с	–	71	–	–	71	–
J , кг·м ²	0,076	0,076	0,076	0,06	0,06	0,06
$M_{дин}$, Нм	153,55	0	63,98	147,9	0	108,01
$M_{доп.уск.}$, Нм	243,1	92,7	63,98	115,81	76,58	108,01
$M_{ср}$, Нм	243,1	92,7	63,98	115,81	76,58	108,01
t , с	0,4	38,9	1,9	0,65	38,9	0,5

4 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Для регулирования скорости асинхронного двигателя применяются преобразователи частоты.

Условия выбора преобразователя частоты: выбор номинальной мощности преобразователя.

$P_{пр н} = P_{дв н}$ – недостаточен, необходимо $I_{пр н} > I_{дв н}$

По каталогу выбрали асинхронный регулируемый транзисторный электропривод АВВ АС880-01-038А-3, предназначенный для управления асинхронными двигателями переменного тока

Преобразователь на стороне сети преобразует трехфазный переменный ток в постоянный, который поступает в промежуточное звено постоянного тока привода. Промежуточное звено постоянного тока осуществляет питание преобразователя, к которому подключен двигатель. Преобразователь содержит шесть биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) с обратными диодами.

Схема силовых цепей преобразователя указана на рисунке 4.1.

Таблица 4.1 – Технические данные преобразователя частоты АС880-01-038А-3

Наименование технических характеристик	Размерность	Значение
Номинальный ток нагрузки, $I_{пр н}$	А	38
Номинальная мощность преобразователя, $P_{пр н}$	кВт	18,5
Диапазон регулирования выходной частоты преобразователя	Гц	0-500
Номинальное напряжение питающей сети частотой 50 Гц	В	3x380

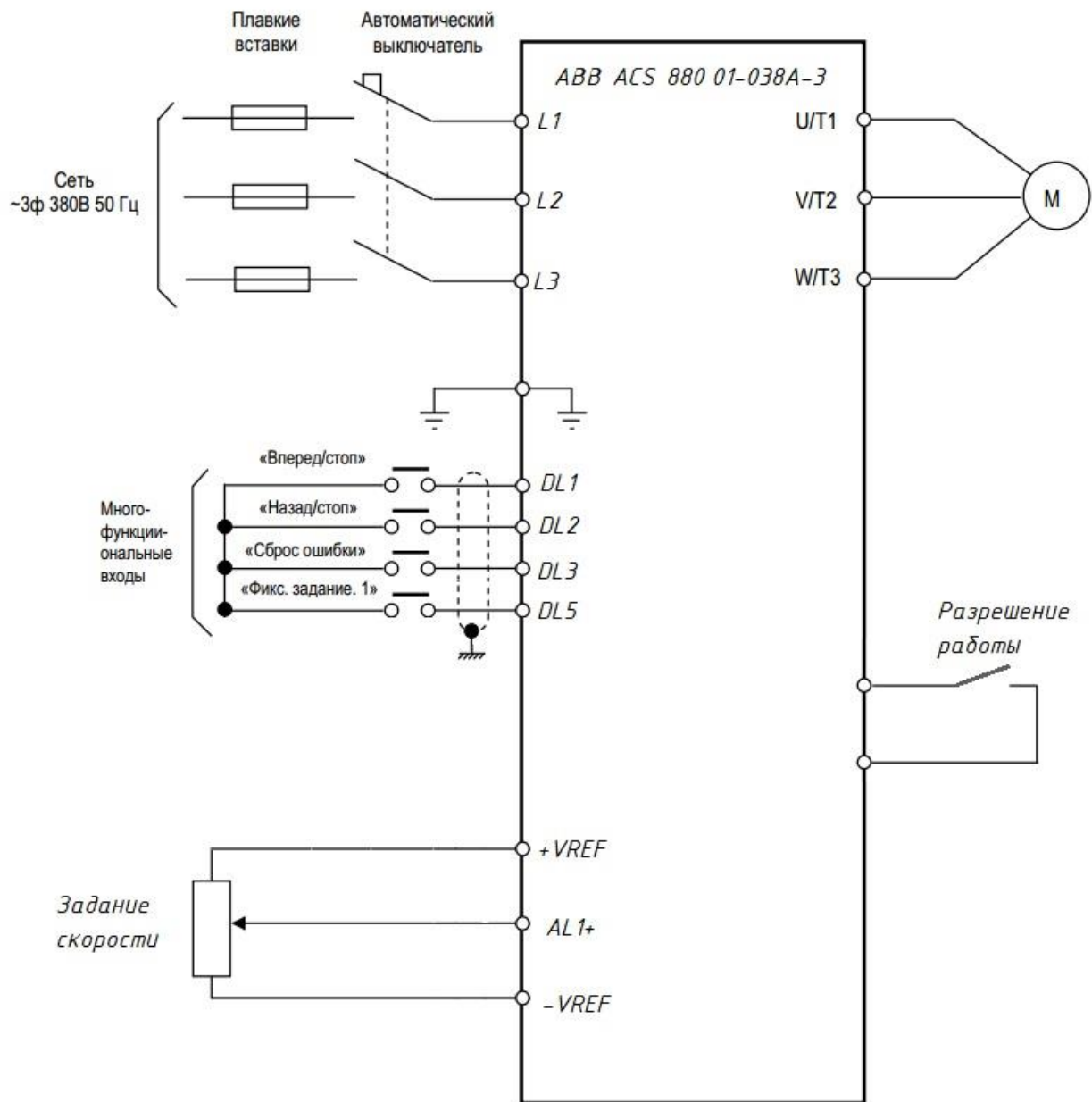


Рисунок 4.1 – Схема силовых цепей преобразователя

5 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Целью расчета является обеспечение технологических задач, заложенных в требования к электроприводу. Технологические скорости рабочего и обратного хода в установившемся режиме, пониженные скорости при пуске и остановке рабочего органа должны быть обеспечены с заданной степенью точности.

В выбранной системе электропривода ПЧ–АД требуется определить частоту f_1 и напряжение на статоре U_1 , при которых механические характеристики будут проходить через точки установившихся режимов. Напряжение на статоре определяется законом $U_1/f_1 = const$.

Кроме рабочих скоростей электропривод должен обеспечивать работу на пониженных скоростях. При разгоне электропривода нужно натянуть цепь и подойти к заготовке на пониженной скорости для исключения удара в кинематической цепи, и лишь после подхвата заготовки упорами разогнаться до рабочей скорости. Перед остановкой электропривода переход на пониженную скорость необходим для обеспечения точной остановки.

Механическая характеристика пониженной скорости проходят через заданную точку ($\omega_c = 0,2 \omega_{OH}$, M_c) и обеспечивается при пониженной частоте на выходе ПЧ.

Найдем базовые величины параметров двигателя:

Номинальное фазное напряжение $U_{1H} = 380$ В;

Номинальная частота $f_{1H} = 50$ Гц;

Номинальный ток статора $I_{1H} = 29$ А;

Предварительный расчет сопротивлений цепей:

Приведенный номинальный ток ротора

$$I'_{2H} = I_{1H} \cdot \cos \varphi_H ; \quad (5.1)$$

$$I'_{2H} = 29 \cdot 0,76 = 22,04 \text{ А.}$$

Приведенное активное сопротивление ротора для номинального

Режима:

$$r'_{2H} = \frac{P_H \cdot 10^3 \cdot \omega_{OH} \cdot S_H}{3 \cdot I'^2_{2H} \cdot \omega_H} ; \quad (5.2)$$

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$r'_{2H} = \frac{11 \cdot 10^3 \cdot 104,7 \cdot 0,09}{3 \cdot 22,04^2 \cdot 95,29} = 0,75 \text{ Ом.}$$

Приведенный ток ротора при коротком замыкании

$$I'_{2K} = I_H \cdot \cos \varphi_K ; \quad (5.3)$$

$$I'_{2K} = I_H \cdot \frac{R_{K3}}{\sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2}}$$

$$I'_{2K} = 148 \cdot \frac{1,15}{\sqrt{1,15^2 + 1,18^2}} = 103,3 \text{ А.}$$

Приведенное активное сопротивление ротора для режима короткого замыкания:

$$r'_{2K} = \frac{M_H \cdot \omega_{0H} \cdot S_H}{3 \cdot I_{2K}'^2} ; \quad (5.4)$$

$$r'_{2K} = \frac{340 \cdot 104,7 \cdot 1}{3 \cdot 103,3^2} = 1,11 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление статора и приведенное индуктивное сопротивление ротора:

$$x_1 = x_2' ; \quad (5.5)$$

$$x_1 = \frac{X_{K3}}{2} ;$$

$$x_1 = \frac{1,18}{2} = 0,59 \text{ Ом.}$$

Из-за отсутствия точной зависимости $r_2'(\omega)$ будем считать, что это прямая линия:

$$r_2'(\omega) = r_{2K}' - K \cdot \omega \quad (5.6)$$

В выражении (5.6) определим K , подставив номинальную точку:

$$K = \frac{r_{2K}' - r_{2H}'}{\omega_H} = \frac{1,11 - 0,75}{95,29} = 0,004$$

В итоге получена зависимость:

$$r_2'(\omega) = 1,11 - 0,004 \cdot \omega \quad (5.7)$$

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Учитывая выражение (5.7) построены естественные характеристики двигателя на рисунках 5.1 и 5.2.

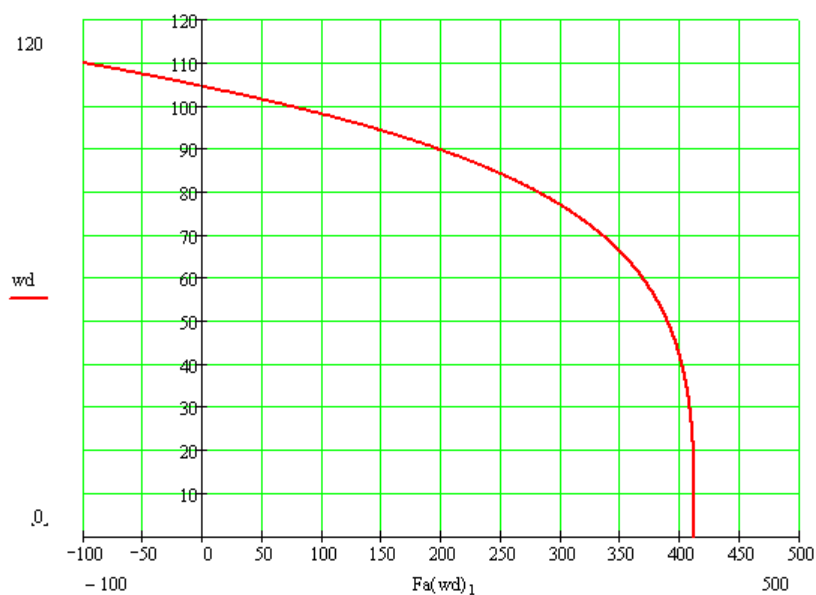


Рисунок 5.1 – Естественная механическая характеристика двигателя

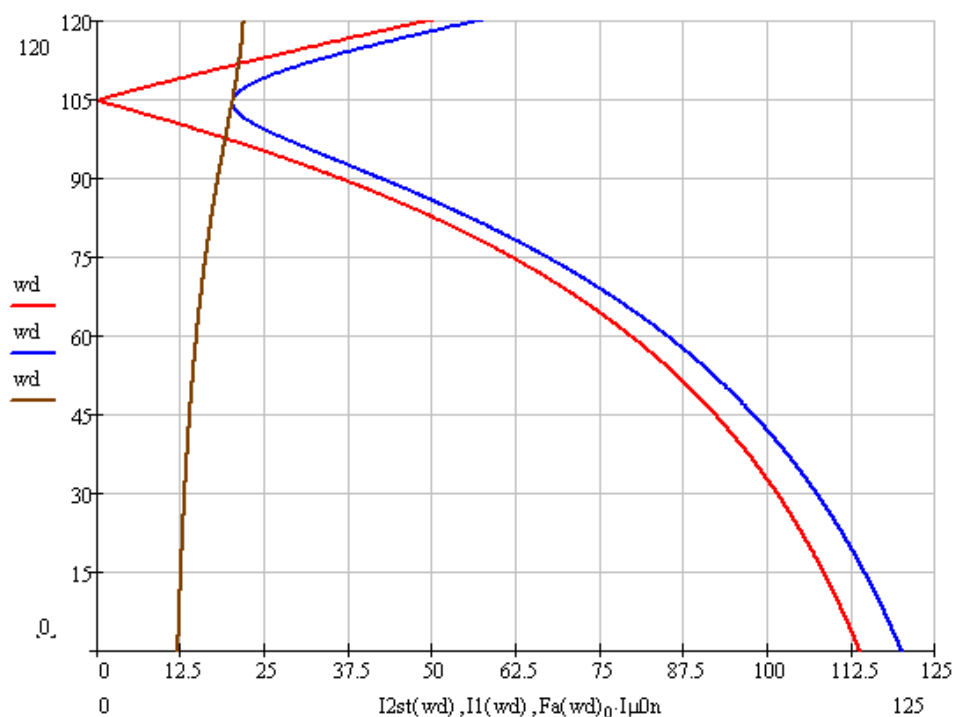


Рисунок 5.2 – Естественные электромеханические характеристики двигателя

Найдем жесткость прямолинейного участка механической характеристики:

$$\beta = \frac{P_H + M_{XX}}{\omega_{0H} - \omega_H}; \quad (5.8)$$

$$\beta = \frac{\frac{11000}{95,29} + 5,8}{104,7 - 95,29} = 12,9.$$

Найдем отклонение скорости от синхронной при заданном моменте при движении с грузом:

$$\Delta\omega_B^p = \frac{M_{дC1}}{\beta}; \quad (5.9)$$

$$\Delta\omega_B^p = \frac{79,3}{12,9} = 6,15 \text{ рад/с.}$$

при движении без груза:

$$\Delta\omega_B^B = \frac{M_{дC2}}{\beta}; \quad (5.10)$$

$$\Delta\omega_B^B = \frac{71,4}{12,9} = 5,53 \text{ рад/с.}$$

Найдем синхронную скорость, соответствующую заданной точке при движении с грузом:

$$\omega_{0зад}^p = \omega_{зад}^p + \Delta\omega_B^p; \quad (5.11)$$

$$\omega_{0зад}^p = \frac{2 \cdot v_p}{D} \cdot J_p + \Delta\omega_B^p;$$

$$\omega_{0зад}^p = \frac{2 \cdot 0,2}{0,25} \cdot 40 + 6,15 = 70,15 \text{ рад/с.}$$

при движении без груза:

$$\omega_{0зад}^B = \omega_{зад}^B + \Delta\omega_B^B; \quad (5.12)$$

$$\omega_{0зад}^B = \frac{2 \cdot v_B}{D} \cdot J_p + \Delta\omega_B^B;$$

$$\omega_{0зад}^B = \frac{2 \cdot 0,3}{0,25} \cdot 40 + 5,53 = 101,53 \text{ рад/с.}$$

Относительное значение частоты напряжения на статоре при движении с грузом:

$$\alpha^P = \frac{\omega_{0зад}^P}{\omega_{0н}}; \quad (5.13)$$

$$\alpha^P = \frac{70,15}{104,7} = 0,67.$$

при движении без груза:

$$\alpha^B = \frac{\omega_{0зад}^B}{\omega_{0н}}; \quad (5.14)$$

$$\alpha^B = \frac{101,53}{104,7} = 0,97.$$

Относительное напряжение на статоре при движении с грузом:

$$\gamma^P = \alpha^P; \quad (5.15)$$

$$\gamma^P = 0,67.$$

при движении без груза:

$$\gamma^B = \alpha^B; \quad (5.16)$$

$$\gamma^B = 0,97.$$

Строим характеристики, проходящие через заданные точки на рисунках 5.3 – 5.6.

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

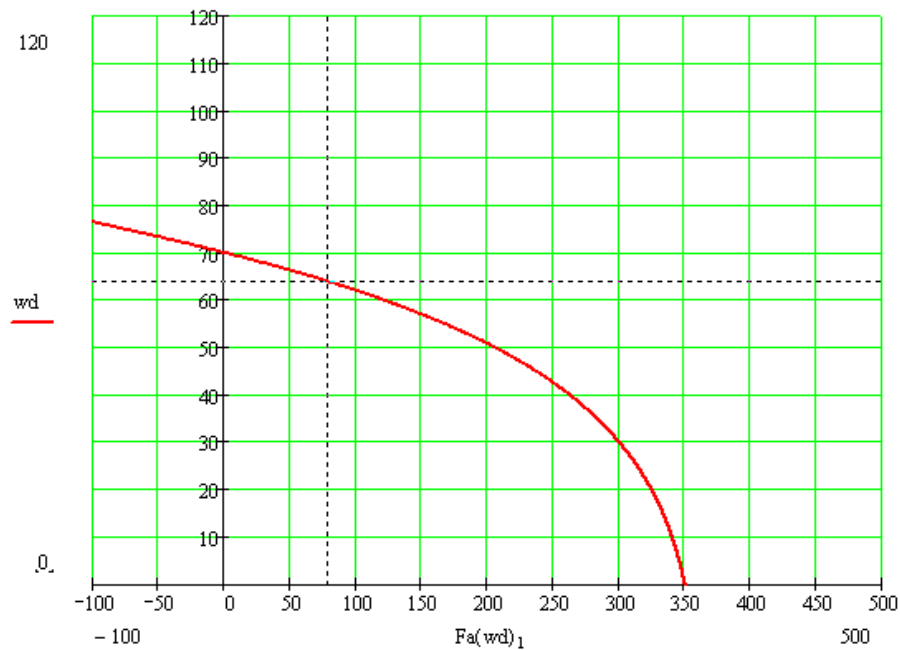


Рисунок 5.3 - Механическая характеристика, проходящая через заданную точку, при движении с грузом

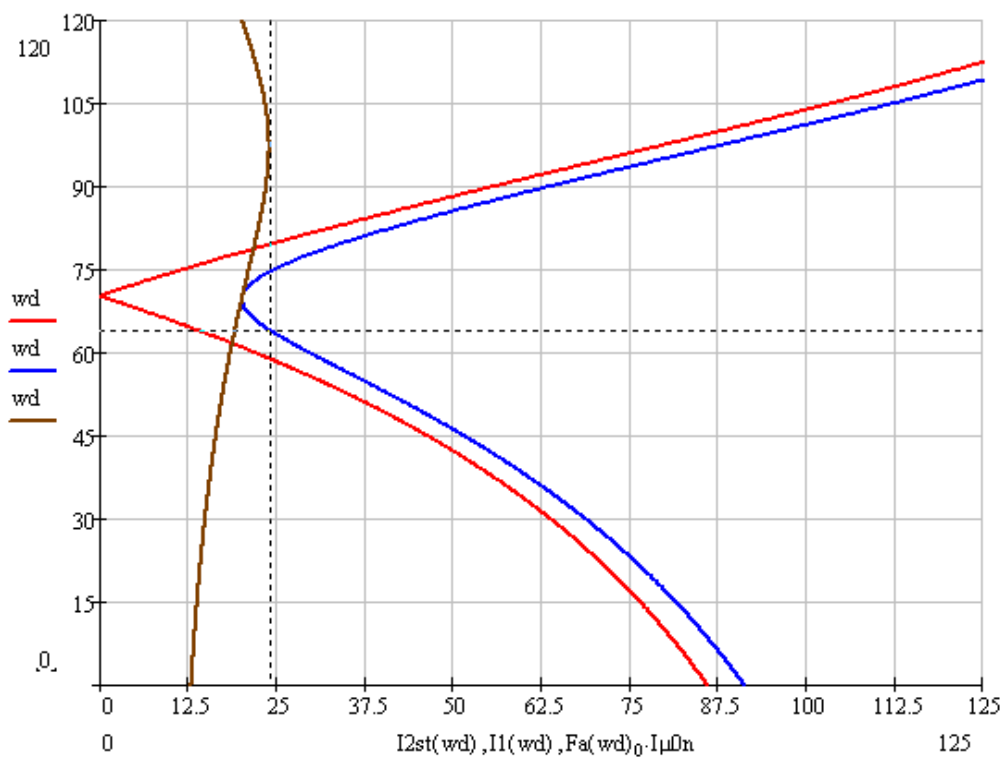


Рисунок 5.4 – Электромеханические характеристики, проходящие через заданную точку, при движении с грузом

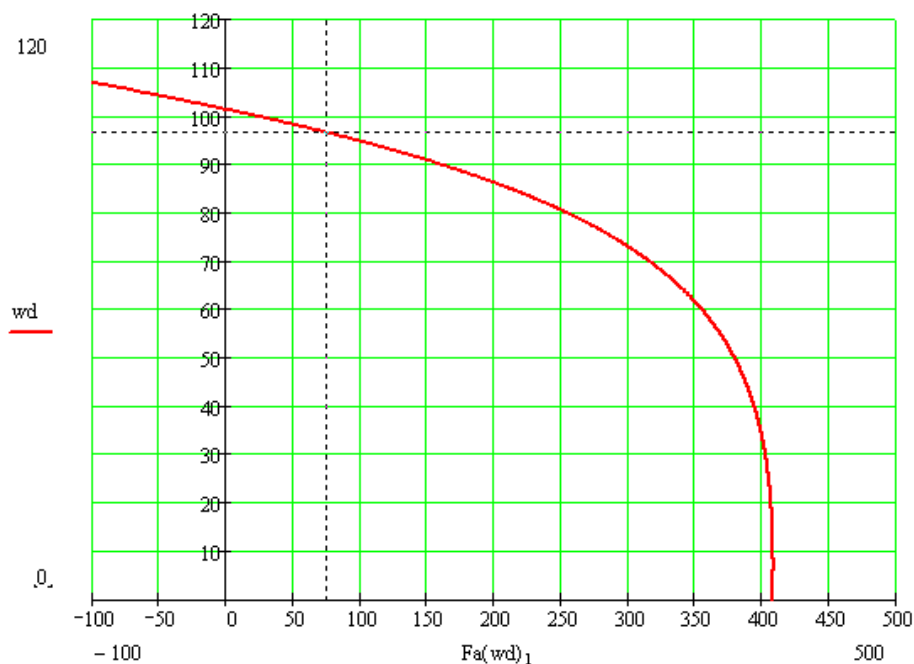


Рисунок 5.5 – Механическая характеристика, проходящая через заданную точку, при движении без груза

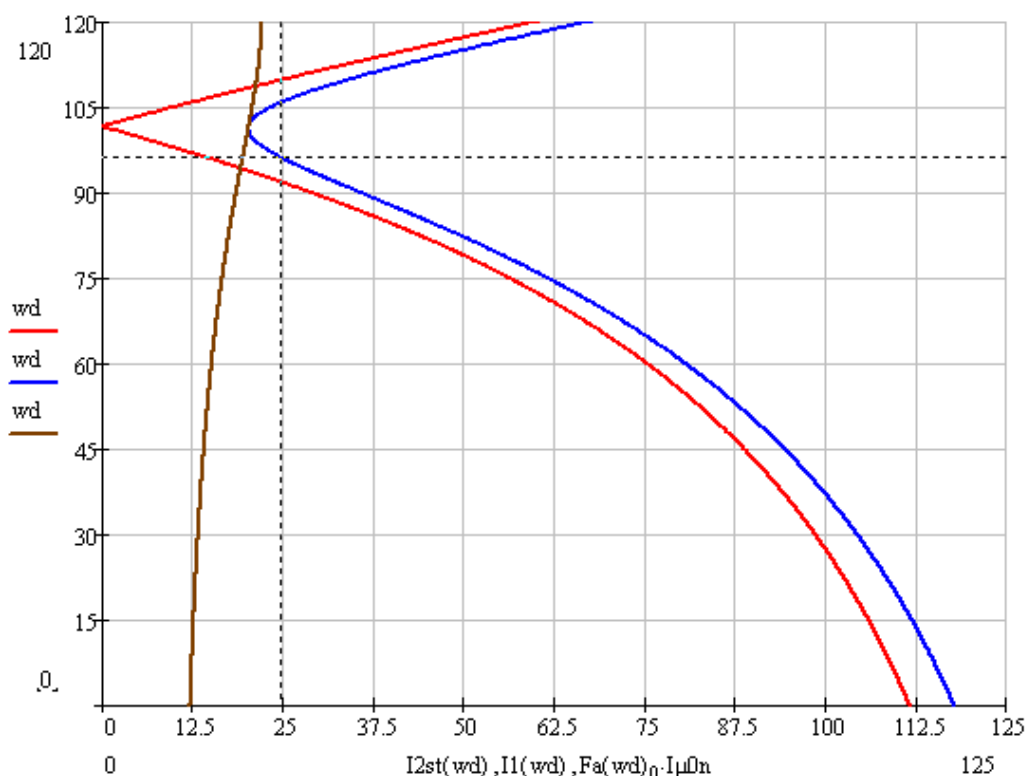


Рисунок 5.6 – Электромеханические характеристики, проходящие через заданную точку, при движении без груза.

6 АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

6.1 Описание процесса автоматизации

Лифт служит для подъема и спуска грузов на 2 этажа.

На каждом этаже стоят кнопки вызова кабины лифта, вызов может поступить с любого этажа, также в кабине лифта есть кнопки приказа, которыми можно отправлять кабину на верхний или нижний этаж.

6.2 Разработка алгоритма автоматизации лифта

Из описания процесса автоматизации следует, что в системе формируются следующие сигналы:

- движение кабины вверх;
- движение кабины вниз;
- открытие двери;
- закрытие двери.

Помимо исполнительных команд в системе необходимы сигналы на индикацию о состоянии системы. На панель оператора будут поступать следующие сигналы:

- сигнал перегрузки кабины;
- сигнал аварии.

Чтобы автоматизировать систему должно быть понимание о состоянии этой системы. Для этого вводятся следующие датчики:

- датчик 1го этажа;
- датчик 2го этажа;
- датчик контроля нагрузки;
- датчик состояния дверей;
- датчик препятствия между дверями;

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Система должна управляться также и в ручном режиме, для этого введен пульт управления, с которого оператор может задать следующие сигналы:

- пуск автоматического режима работы;
- стоп автоматического режима работы;
- пуск ручного режима работы;
- стоп ручного режима работы;
- сброс аварии;
- кнопка движения кабины вниз;
- кнопка движения кабины вверх;
- кнопка открытия дверей;
- кнопка закрытия дверей;
- рабочий стоп.

В таблице 6.1 сведены все сигналы и команды, используемые в системе автоматизации.

Таблица 6.1 – Сигналы и команды, используемые в системе автоматизации

№	Наименование сигнала или команды	Обозначение	Принятое значение логической единицы
	Входные сигналы		
1	Пуск готовности схем	Пуск	Нажата
2	Стоп готовности схем	Стоп	Не нажата
3	Готовность ПЧ	Гот _{пч}	Есть
4	Готовность СУД1	Гот _{дв1}	Есть
5	Готовность СУД2	Гот _{дв2}	Есть
6	Готовность датчиков	Гот _{дат}	Есть
7	Пуск автоматического режима	Пуск _{Авт}	Нажать

Продолжение таблицы 6.1

№	Наименование сигнала или команды	Обозначение	Принятое значение логической единицы
8	Стоп автоматического режима	Стоп _{Авт}	Нажать
9	Пуск ручного режима (Ревизия)	Пуск _{руч}	Нажать
10	Стоп ручного режима (Ревизия)	Стоп _{руч}	Нажать
11	Фотоэлектрические датчики препятствия	Препятствие	Есть
12	Датчик точной остановки 1 этажа	Э1	Есть
13	Датчик точной остановки 2 этажа	Э2	Есть
14	Датчик положение дверей 1 этажа	ДО ₁ , ДЗ ₁	Есть
15	Датчик положения дверей 2 этажа	ДО ₂ , ДЗ ₂	Есть
	Выходные сигналы		
1	Сигнал аварии	Авария	Включен
2	Сигнал перегруза	Перегруз	Включен
3	Сброс аварии	Сброс аварии	Нажать
4	Вверх	В	Вкл
5	Вниз	Н	Вкл
6	Открыть	Откр	Вкл
7	Закреть	Закр	Вкл

Составим логические уравнения:

1. Готовность. Сигнал появляется, когда есть питание во всех системах, все двери закрыты, а также нет сигнала «Авария».

$$Гот = Гот_{дат} \times Гот_{дв1} \times Гот_{дв2} \times Гот_{плк} \times Гот_{пч} \times (ДЗ_1 \times ДЗ_2 \times ДЗ_к + Гот) \times \overline{Авария} . \quad (6.1)$$

2. Сигнал автоматической работы системы. Позволяет системе работать в автоматическом режиме.

$$\text{Автомат} = \text{Гот} \times (\text{Пуск}_{\text{Авт}} \times \overline{\text{Вперед}} \times \overline{\text{Назад}} + \text{Автомат}) \times \overline{\text{Стоп}_{\text{Авт}}} \times \overline{\text{Ручной}}. \quad (6.2)$$

3. Сигнал ручного режима работы. Позволяет оператору управлять всеми системами.

$$\text{Ручной} = (\text{Пуск}_{\text{руч}} + \text{Ручной}) \times \overline{\text{Стоп}_{\text{руч}}} \times \overline{\text{Автомат}}. \quad (6.3)$$

4. «Авария». Возникает при выходе из строя элементов системы.

$$\text{Авария} = \text{Гот}_{\text{дв}} \times \text{Гот}_{\text{пч}} \times \text{Гот}_{\text{плк}} \times \text{Гот}_{\text{дат}} \times \text{В}^{\uparrow 85\text{с}} \times \text{Н}^{\uparrow 85\text{с}}. \quad (6.4)$$

5. «Вверх».

$$\text{В} = \text{Гот} \times \text{Автомат} \times (\text{Э1} \times \text{Вверх} + \text{В}) \times \overline{\text{Э2}}. \quad (6.5)$$

6. «Вниз».

$$\text{Н} = \text{Гот} \times \text{Автомат} \times (\text{Э2} \times \text{Вниз} + \text{Н}) \times \overline{\text{Э1}}. \quad (6.6)$$

7. Введем переменную «Движение кабины» (Движ):

$$\text{Движ} = \text{В} + \text{Н}. \quad (6.7)$$

8. Память кнопок вызова и приказа:

$$\text{P}_{\text{кв1}} = (\text{K}_{\text{в1}} + \text{P}_{\text{кв1}}) \times \overline{\text{Э1}}. \quad (6.8)$$

$$\text{P}_{\text{кп1}} = (\text{K}_{\text{п1}} + \text{P}_{\text{кп1}}) \times \overline{\text{Э1}}. \quad (6.9)$$

$$\text{P}_{\text{кв2}} = (\text{K}_{\text{в2}} + \text{P}_{\text{кв2}}) \times \overline{\text{Э1}}. \quad (6.10)$$

$$\text{P}_{\text{кп2}} = (\text{K}_{\text{п2}} + \text{P}_{\text{кп2}}) \times \overline{\text{Э1}}. \quad (6.11)$$

9. Открытие дверей:

$$\text{Откр1} = ((\text{P}_{\text{кв1}} + \text{P}_{\text{кп1}}) \times \text{Э1} + \text{Откр1}) \times \overline{\text{Д01}}. \quad (6.12)$$

$$\text{Откр2} = ((\text{P}_{\text{кв2}} + \text{P}_{\text{кп2}}) \times \text{Э2} + \text{Откр2}) \times \overline{\text{Д02}}. \quad (6.13)$$

10. Закрытие дверей:

$$\text{Закр1} = \text{P}_{\text{Д01}}^{\uparrow 7\text{с}} \times \overline{\text{Д31}} \times \overline{\text{Препятствие1}} \times \overline{\text{Перегруз}}. \quad (6.14)$$

$$\text{Закр2} = \text{P}_{\text{Д02}}^{\uparrow 7\text{с}} \times \overline{\text{Д32}} \times \overline{\text{Препятствие2}} \times \overline{\text{Перегруз}}. \quad (6.15)$$

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

11. Память положения дверей:

$$P_{D01} = (D01 + P_{D01}) \times \overline{D31}. \quad (6.16)$$

$$P_{D02} = (D02 + P_{D02}) \times \overline{D32}. \quad (6.17)$$

12. Сигнал перегруза лифта и препятствия в дверях.

$$\text{Препятствие1} = P_{D01}^{\uparrow 7c} \times D_{\text{препятствие}}. \quad (6.18)$$

$$\text{Препятствие2} = P_{D02}^{\uparrow 7c} \times D_{\text{препятствие}}. \quad (6.19)$$

$$\text{Препятствие1} = P_{D01}^{\uparrow 7c} \times D_{\text{контроль нагрузки}}. \quad (6.20)$$

$$\text{Препятствие1} = P_{D01}^{\uparrow 7c} \times D_{\text{контроль нагрузки}}. \quad (6.21)$$

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Алгоритм работы автоматизированной системы грузового лифта можно представить в виде блок-схемы на рисунке 6.1.

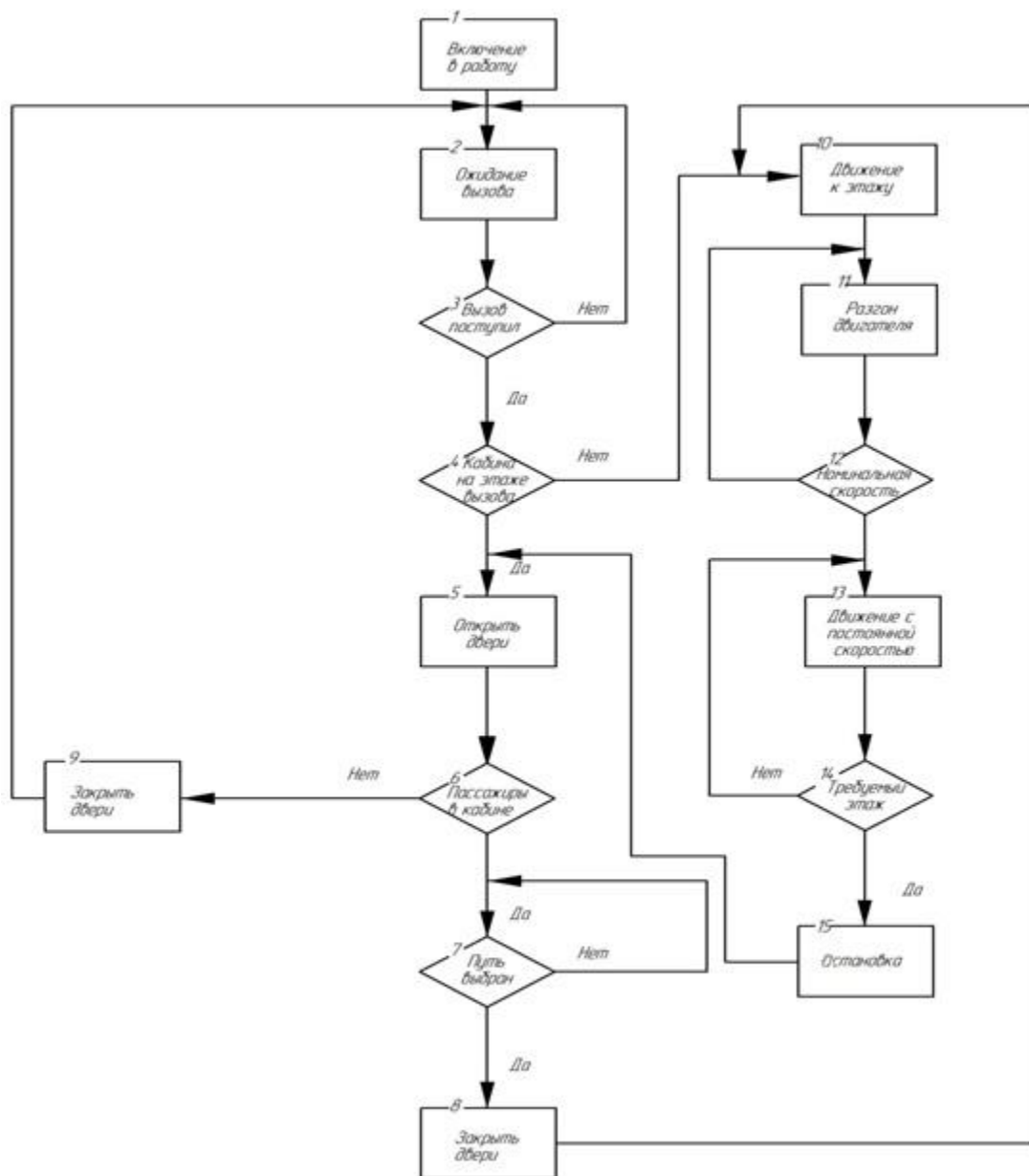


Рисунок 6.1 – Алгоритм работы автоматизации системы.

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

6.3 Разработка функциональной схемы системы автоматизации

Основываясь на алгоритме работы системы и описании технологического процесса составлена функциональная схема, которая представлена на рисунке 6.2.

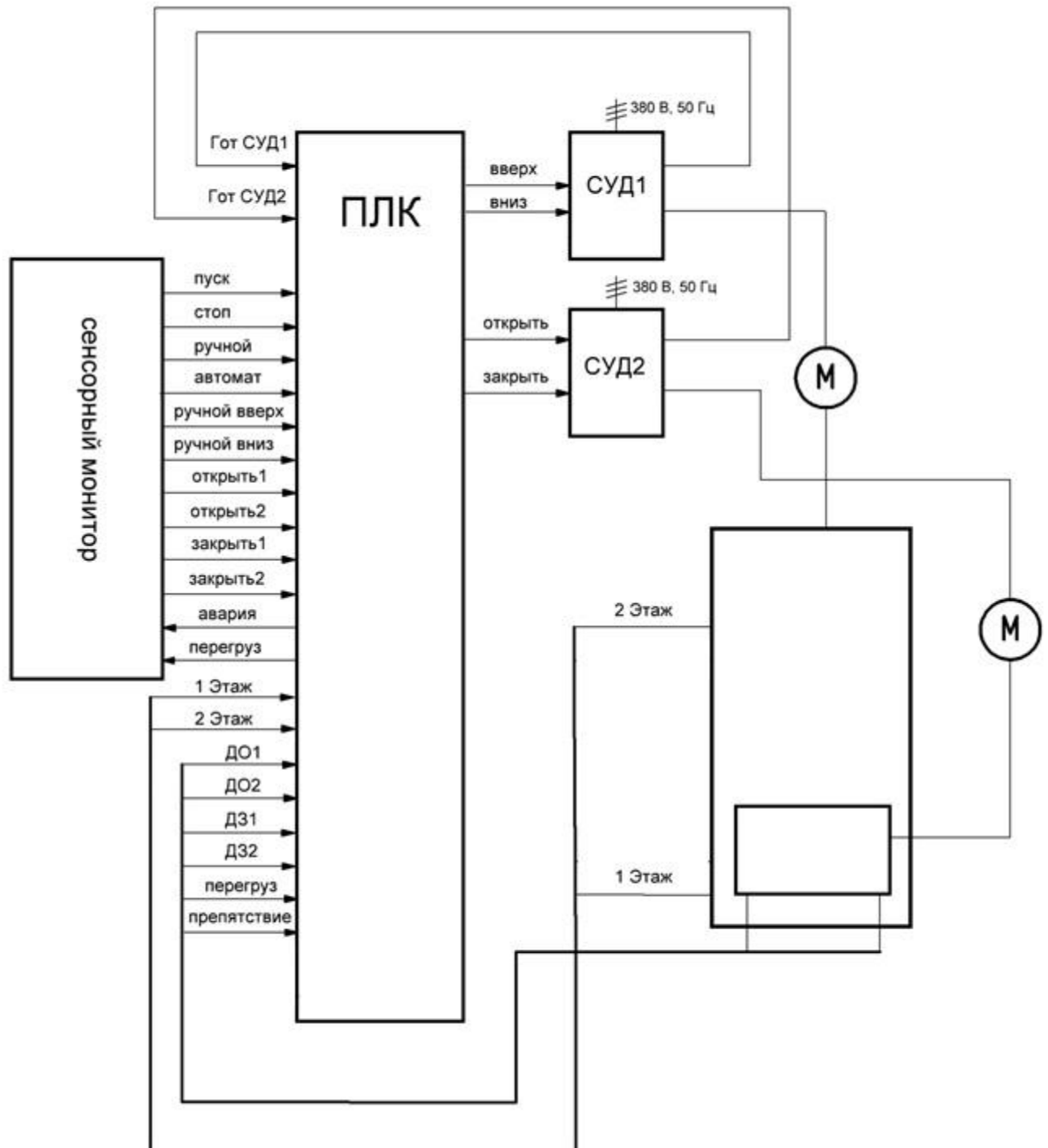


Рисунок 6.2 – Функциональная схема автоматизации грузового лифта

7 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

1) Датчик контроля перегрузки лифта.

Для безопасной эксплуатации лифта необходимо следить за его нагрузкой и не допускать перегруза, для этого необходимо установить в систему датчик контроля перегрузки лифта ДВТ-2СЛ. На рисунке 7.2 представлена схема подключения.

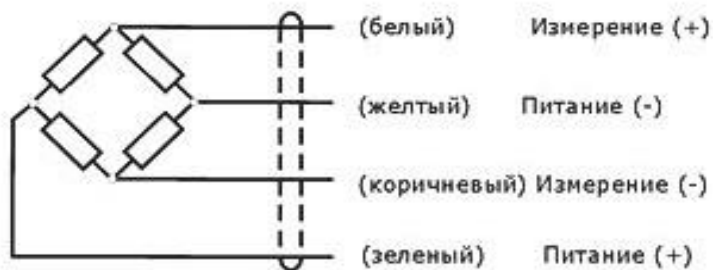


Рисунок 7.1 – Схема подключения ДВТ-2СЛ

Технические характеристики датчика представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Технические характеристики ДВТ-2СЛ

Характеристики	Значения
Номинальное усилие, кН	10 – 200
Категория точности	0,06; 0,1
Напряжение питания постоянным током, В	24
Степень защиты оболочки	IP67

Помимо датчика в комплект контроля перегрузки входит модуль МВ110-224.1ТД, преобразующий сигнал с датчика ДВТ-2СЛ и рассчитывающий нагрузку в килограммах. Схема подключения изображена на рисунке 7.2.

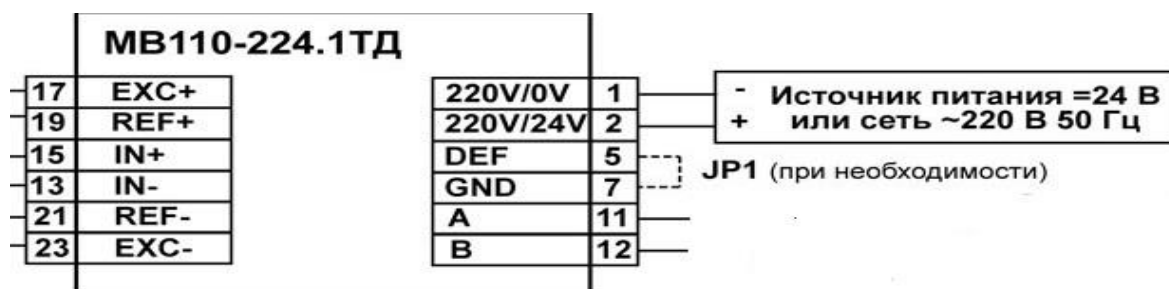


Рисунок 7.2 – Схема подключения модуля MB110-224.1ТД

2) Датчик остановки кабины КЭМ – 2А.

КЭМ–2А – управляемый магнитным полем контакт (геркон). При воздействии на геркон магнитным полем контакт замыкается и в систему управления приходит сигнал о том, что кабина на этаже. Технические характеристики КЭМ–2А представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Технические характеристики КЭМ–2А

Наименование характеристики	Величина
Род тока	постоянный
Коммутирующий элемент	сухой геркон
Максимальное коммутируемое напряжение, В	не более 180
Максимально коммутируемый ток, А	0,5
Время срабатывания, мс	1
Время отпускания, мс	0,5

3) Датчики положения дверей. Датчиком положения дверей служит концевой выключатель ВП15К21А. В комплект будет входить 2 выключателя, на которые будут воздействовать двери механически. Таким образом система будет понимать закрыты или открыты двери. Технические характеристики представлены в таблице 7.3.

4) Оптические датчики ВИКО-Б-32-М12 устанавливаются в дверном проёме для исключения возможности закрытия дверей, когда на их пути есть груз или люди. Схема подключения изображена на рисунке 7.3. Бесконтактный барьерный датчик ВИКО-Б предназначен для работы в составе систем контроля доступа в зоны, где появление посторонних предметов недопустимо. Контроль доступа обеспечивается путём ограждения контролируемой зоны световой завесой и выдачей сигнала в систему управления в момент пересечения светового луча непрозрачным объектом. Технические характеристики ВИКО-Б-32-М12 указаны в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Технические характеристики ВИКО-Б-32-М12

Характеристики	Значения
Напряжение питания, В	10...30 DC
Расстояние срабатывания, мм	0...300
Выходной ток, mA	200
Выход	NPN-транзистор
Тип переключения	светло темно
Источник света, тип света	LED, инфракрасный свет
Степень защиты	IP 54
Индикация функции выхода	LED красный

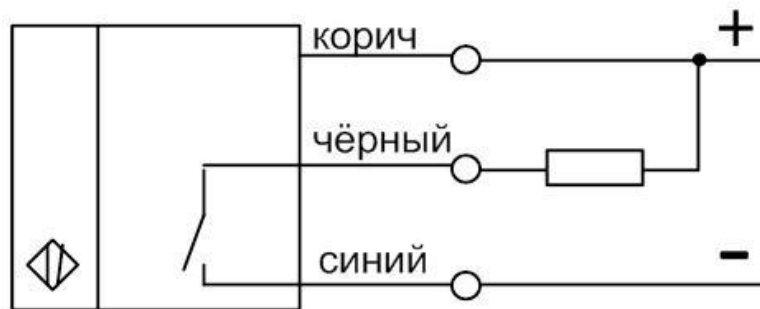


Рисунок 7.3 – Схема подключения ВИКО-Б-32-М12

5) Двигатель и преобразователь частоты механизма дверей.

Для работы дверей лифта необходим асинхронный электродвигатель АИР71А4 номинальной мощностью 0,55кВт и с номинальным током 1,7А при 380В. Для него преобразователь частоты АВВ АСS150-03Е-02А4-4 номинальной мощностью 0,75кВт и с номинальным током 2,4А.

6) Выбор программируемого логического контроллера(ПЛК).

Выберем ПЛК Siemens SIMATIC S7-300 — универсальный модульный программируемый контроллер, для решения задач автоматического управления относительно низкой и средней степени сложности.

Поскольку конструкция ПЛК модульная выбираем устройства периферии.

7) Выбор процессорного модуля.

Модуль центрального процессора служит для управления всеми узлами контроллера и выполнения программы.

Выбираем процессорный модуль CPU 314. В таблице 7.4 представлены его технические характеристики.

Таблица 7.4. Технические характеристики процессорного модуля CPU 314.

Характеристика	Значение
Заказной номер	6ES7 314-1AG14-0AB0
ОЗУ	48 Кбайт
Языки программирования	LAD/FBD/STL
Загрузочная память	MMC(макс.8 Мбайт)
Количество дискретных сигналов ввода/вывода	Максимум 1024
Количество таймеров	256(с диапазоном от 10 мс до 9990 с)
Количество счетчиков	256(с диапазоном счета от 0 до 999)

8) Выбор сигнального модуля.

Сигнальный модуль предназначен для приёма аналоговых и дискретных сигналов.

Выбираем модуль SM321 DI16xDC24V. У него 16 каналов ввода сигналов постоянного тока напряжением 24 В. Входной ток канала не превышает 90 мА.

Схема подключения сигнального модуля представлены на рисунке 7.4.

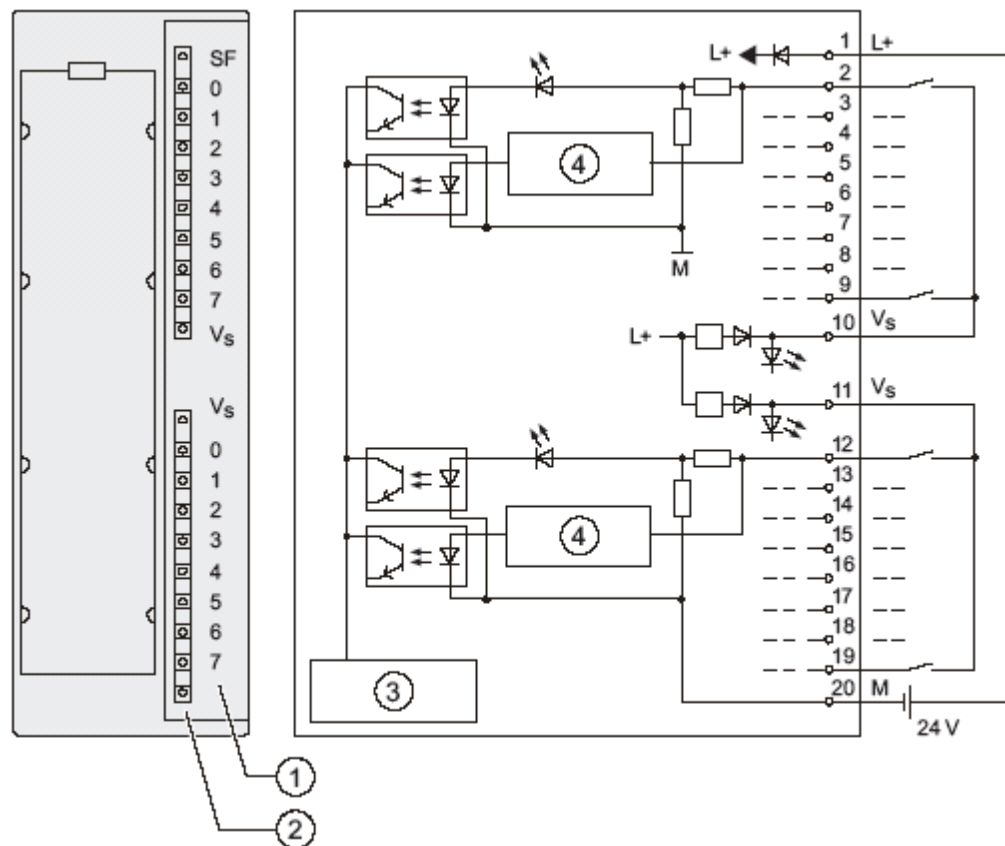
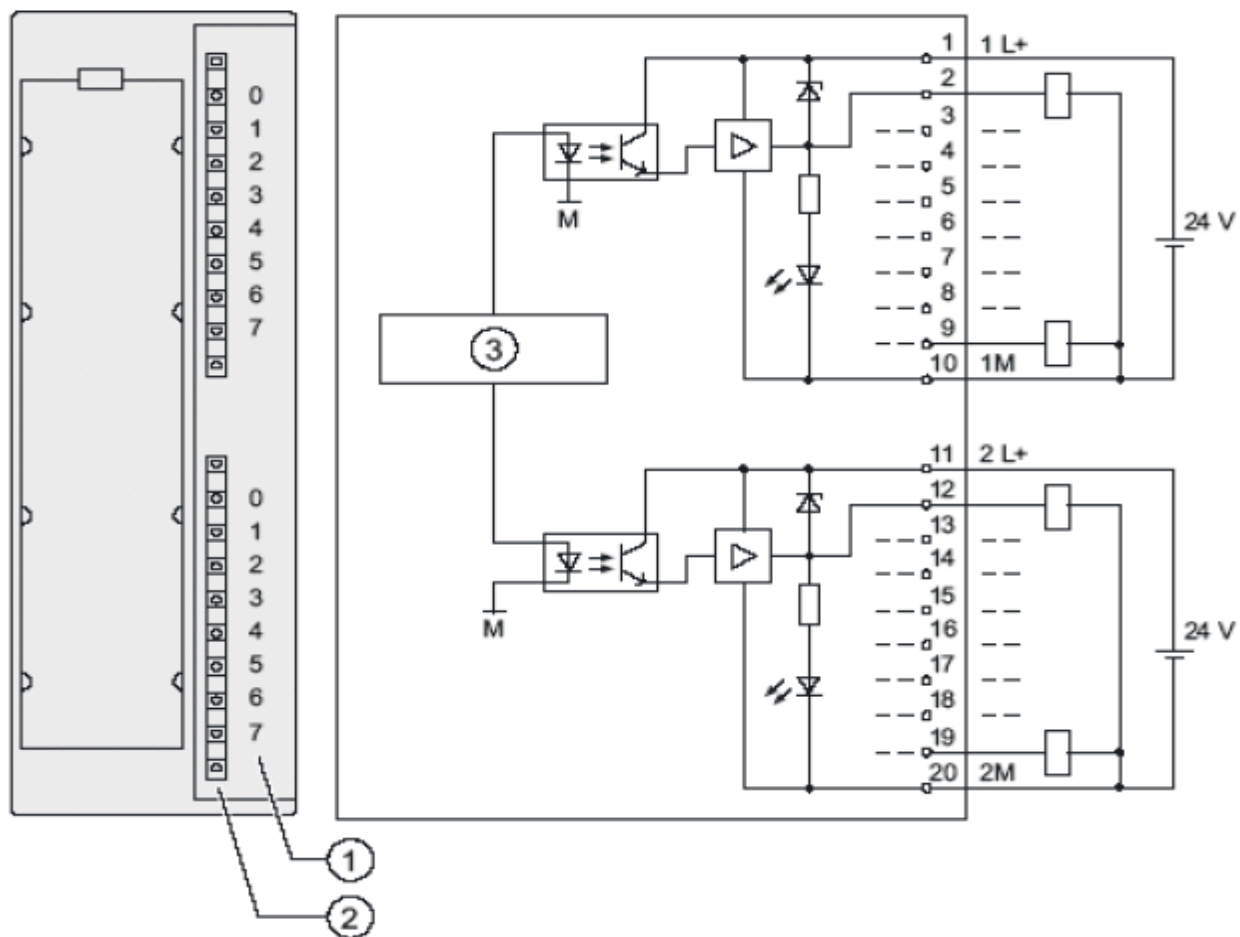


Рисунок 7.4 – Схема подключения сигнального модуля

9) Модуля вывода.

Выбираем модуль вывода дискретных сигналов SM322 DO16xDC24V/0,5
С 16 каналами вывода. Максимальный ток потребления 80 мА.



- ① Номер канала
- ② Индикаторы состояния - зеленые
- ③ Подключение к задней шине

Рисунок 7.5 – Схема подключения модуля вывода дискретных сигналов SM322 DO16xDC24V/0,5

10) Для управления процессом выбираем монитор SIEMENS TP177A. Технические характеристики показаны в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Технические характеристики SIEMENS TP177A

Характеристика	Значение
Номинальное напряжение питания, В	24
Характеристика	Значение
Потребляемая мощность, Вт	6

Продолжение таблицы 7.5

Характеристика	Значение
Тип	<i>CCFL(Cold Cathode Fluorescence Lamps)</i>
Микропроцессор	32-разрядный с RISC архитектурой
Операционная система	Microsoft Windows CE
Flash-EEPROM пользователя, кБ	512

11) Блок питания.

Выбираем блок питания PSU100M серии SITOP modular. Технические характеристики приведены в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Технические характеристики блока питания PSU100M

Наименование параметра	Значение
Номинальное входное напряжение	120 ... 230 V AC
Номинальный входной ток, А	4,6 – 2,5
Номинальное выходное напряжение, В	24
Номинальный выходной ток, А	20
Уровень защиты	IP20
Рабочая температура, °С	0 ... 70
Масса, кг	1,5

8 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

В соответствии с функциональной схемой системы автоматизации (рисунок 6.2) и выбранной элементной базой составлена принципиальная схема и перечень элементов.

8.1 Описание схемы

QF1 – автоматический выключатель, имеет защитную функцию для всей системы от короткого замыкания, QF2, QF3 предохраняют преобразователи частоты.

Блок питания G1 питает низковольтные цепи 24В: датчики, сенсорный монитор А1, контроллер А2 и модуль А3.

Датчики BQ1-BQ2 – герконовые датчики положения кабины, BP1 – датчик силы, тензометрический. BL1 – оптический датчик. В соответствии со схемой, производится подключение информационных выходов датчика к входам модуля ввода.

Управление двигателями M1–M2 осуществляется частотными преобразователями UZ1 и UZ2.

Сигнальные лампы и кнопки управления (VD1, VD2, SB1-SB13) подключены к модулю ввода/вывода.

Система получает питание после нажатия на кнопку SB14. При этом сработает контактор KM1. Кнопка SB15 отвечает за аварийное отключение системы, она находится в цепи контактора и предотвращает самопроизвольное включение.

В соответствии с требованиями безопасности для обслуживающего персонала предусмотрена кнопка аварийного отключения SB16 грибкового типа.

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы, исходя из данных технического задания, были рассчитаны статические моменты на каждом участке движения.

По рассчитанной мощности был выбран асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором *МТКФ (Н) 160L6*, а также выбран редуктор *ЦЗУ-315Н*.

Динамические и статические моменты были приведены к валу двигателя.

Далее была проведена предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности, в результате которой выяснилось, что двигатель проходит по нагреву и обеспечивает заданную производительность. По итогам дальнейшей проверки выяснилось, что выбранный нами двигатель проходит по производительности, т. к. рассчитанное суммарное время работы не превышает заданное время работы.

Был выбран преобразователь частоты *ABB ACS880-01-038A-3*. ПЧ выбирался по следующим условиям: $U_{пч} \geq U_{нл}$, $I_{пч} \geq I_{1н}$, $P_{пч} \geq P_{д}$. Каталожные данные преобразователя: $P_n = 18,5$ кВт, $I_n = 38$ А, $U_n = 380$ В.

Были построены статические характеристики электропривода для работы в заданных точках. Далее произвели расчет переходных характеристик.

На основе описания технологического процесса, последовательности работы механизма и требований к данной системе был разработан алгоритм работы системы автоматизации в виде логических уравнений. С учетом технологии работы автоматизируемого механизма, условий эксплуатации был произведен выбор элементной базы системы автоматизации.

На основе требований к системе автоматизации, алгоритма работы автоматики отдельных механизмов и выбранной элементной базы была составлена функциональная схема. Используя функциональную схему, была составлена принципиальная схема и перечень элементов к ней.

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Монтаж и эксплуатация лифтов: учебник: в 3 т. / под ред. В.С. Полковникова, – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 1973. – Т. 1. – 328 с.
- 2 Драчев, Г.И. Теория электропривода: учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2012. – 168 с.
- 3 Анфимов, М.И. Редукторы: конструкция и расчет: альбом / М.И. Анфимов.– М.: Машиностроение, 1993. – 432 с.
- 4 Двигатели асинхронные трехфазного тока крановые и металлургические серии *МТФ, МТКФ, МТН, МТКН*: Справочник / Ю.В. Алексеев, Г.И. Дружков, В.П. Ушачев и др. – М.: Информэлектро, 1982. –85 с.
- 5 Гельман, М.В. Преобразовательная техника: учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.
- 6 Драчев, Г.И. Теория электропривода: учебное пособие в 2 ч. / Г.И. Драчев. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005. – Ч.1. – 207 с; Ч.2. – 203 с.
- 7 Борисов, А.М. Автоматизация технологических процессов (технические средства, проектирование, лабораторный практикум): Учебное пособие./ Н.Е. Лях. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2001. – Ч.1. – 404 с.
- 8 Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: учеб. пособие для высш учеб. заведений /М.П. Белов, О.И. Зелеманов, А.Е. Козярук; под ред. В.А. Новикова, Л.М. Чернигова– М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 368 с.
- 9 Митин, Г.П. Условные обозначения в отечественных и зарубежных электрических схемах. – М.: Изумруд, 2003. – 224 с.
- 10 Борисов, А.М. Программируемые устройства автоматизации: учебное пособие / А.М. Борисов, А.С. Нестеров, Н.А. Логинова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 186 с.
- 11 Чип и Дип: датчики – <http://www.chipdip.ru/catalog/sensors/>.

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

12 SIMATIC S7-300 – Универсальные программируемые контроллеры –
http://dfpd.siemens.ru/products/automation/simatic/SIMATIC_S7/S7-300/.

13 Универсальные промышленные приводы АВВ серии ACS880 –
<https://new.abb.com/drives/ru/nv-privody/promyshlennye-privody/acs880>.

					ЮУрГУ–13.03.02.2019.413.01 ПЗ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		