

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

**Заведующий кафедрой
автоматизированного электропривода,
д.т.н., профессор**

_____ / М.А. Григорьев /
« ____ » _____ 2020 г.

Электропривод для грузового лифта

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ПО ПРОГРАММЕ БАКАЛАВРИАТА
«ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»
ЮУрГУ–13.03.02.2020.370 ВКР**

Руководитель, д.т.н. профессор
_____ / В.Л. Кодкин /

« ____ » _____ 2020 г.

**Автор работы,
бакалавр группы ПЗ–576**

_____ / Р.Р. Фазылов /

« ____ » _____ 2020 г.

Нормоконтролер, к.т.н., доцент

_____ / Т.А. Функ /

« ____ » _____ 2020 г.

Челябинск 2020

АННОТАЦИЯ

Фазылов Р.Р. Электропривод для грузового лифта. – Челябинск: ЮУрГУ, Э; 2020, 72 с., 24 ил., 14 табл., библиографический список – 7 наим., 1 лист чертежей ф. А3

В данной выпускной квалификационной работе разрабатывается система электропривода грузового лифта. Данный лифт предназначен для перевозки йогурта с одного уровня на другой.

В ходе работы выполняются несколько этапов: выбор электродвигателя, который проверяется по нагреву и перегрузочной способности, редуктор, а также построение естественных и искусственных характеристик. После чего произведется 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, источник питания. Построены функциональная и принципиальная схемы.

					ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
Разраб.		Фазылов Р.Р.			Электропривод для грузового лифта	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.		Кодкин В.Л.					4	72
Реценз						ЮУрГУ Кафедра «АЭП»		
Н. Контр.		Функ Т.А.						
Утверд.		Григорьев М.А.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС И ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОПРИВОДУ	7
2 РАСЧЕТ, ВЫБОР И ПРОВЕРКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	13
3 ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	31
4 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ	36
5 ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	39
6 АВТОМАТИЗАЦИЯ ГРУЗОВОГО ЛИФТА	48
7 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМАМИ ОБЪЕКТА.....	56
8 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ	60
9 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗАЦИИ	63
10 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ.....	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	68
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	69

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

ВВЕДЕНИЕ

Лифты являются механизмами вертикального перемещения, предназначенными для транспортировки пассажиров и грузов в жилых, производственных и административных зданиях. Они отличаются общедоступностью пользования, комфортабельностью и безусловной безопасностью. Все основные операции при передвижении, замедлении, точной остановке, открывании и закрывании дверей выполняются электроприводом.

Одним из возможных путей технического усовершенствования электропривода лифта является применение электроприводов на базе электродвигателей переменного тока и систем с частотным управлением.

Система электропривода, рассматриваемая в этой работе при сравнительно низкой стоимости, относительной простоте и небольших массогабаритных показателях, обладают высокой надёжностью и широкими техническими возможностями, что в целом создаёт необходимые предпосылки для её использования в качестве электропривода лифта.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС И ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОПРИВОДУ

1.1 Назначение грузового лифта

В ходе выпускной квалификационной работы речь пойдет о грузовом лифте. 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).

Целью данной работы является разработка электропривода и его автоматизация для грузового лифта производства йогурта. Производственное здание имеет 4 уровня: 0 этаж (подвал) – склад готовой продукции, 1 этаж – зона выгрузки для дальнейшей транспортировки готовой продукции, 2 и 3 этажи – помещения, в которых размещено производство йогурта. Внешний вид грузового лифта представлен на рисунке 1.1.

Лифт работает по следующей технологии:

1. На 2 (или 3) этаже к площадке перед лифтом погрузчик привозит партию готовой продукции (2 этаж – йогурт с клубникой, 3 этаж – йогурт с черникой).

2. Склад готовой продукции получает сигнал с этажа о необходимости забрать груз.
3. Грузовой лифт начинает движение с нижнего этажа (подвала) на один из верхних этажей (2 или 3, в зависимости от наличия груза).
4. При приближении к нужному этажу кабина лифта замедляется для точной остановки на этаже.
5. После загрузки кабины йогуртом (грузом) лифт начинает движение до нижнего этажа (подвала), где перед остановкой переходит на пониженную скорость (для сохранения целостности продукции) и останавливается
6. Грузовой лифт ожидает очередную команду из производственных помещений.



Рисунок 1.1 – Внешний вид грузового лифта

1.2 Описание технологического процесса

Несмотря на большое разнообразие конструктивных вариантов пассажирских и грузовых лифтов, основным оборудованием для них являются кабина, подъемная лебедка, канаты, направляющие, противовес, ограничитель скорости, буфера или упоры, двигатель, электромеханическое тормозное устройство и аппараты управления. Все оборудование лифта располагается в

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ

Лист

8

шахте и в помещениях выше и ниже нее. Различают лифты с нижним и верхним расположением электропривода. В современных лифтах преимущественно применяют схемы с верхним расположением привода. При верхнем расположении оборудования лифта установка имеет более высокий к. п. д., меньший износ канатов, так как сокращается число их перегибов на отводных блоках. Для данного варианта меньше нагрузки на строительные конструкции здания, установка имеет несколько меньшую первоначальную стоимость, чем при нижнем расположении привода.

Грузовой лифт установлен в многоэтажном производственном помещении, служит для транспортировки продукции между этажами.

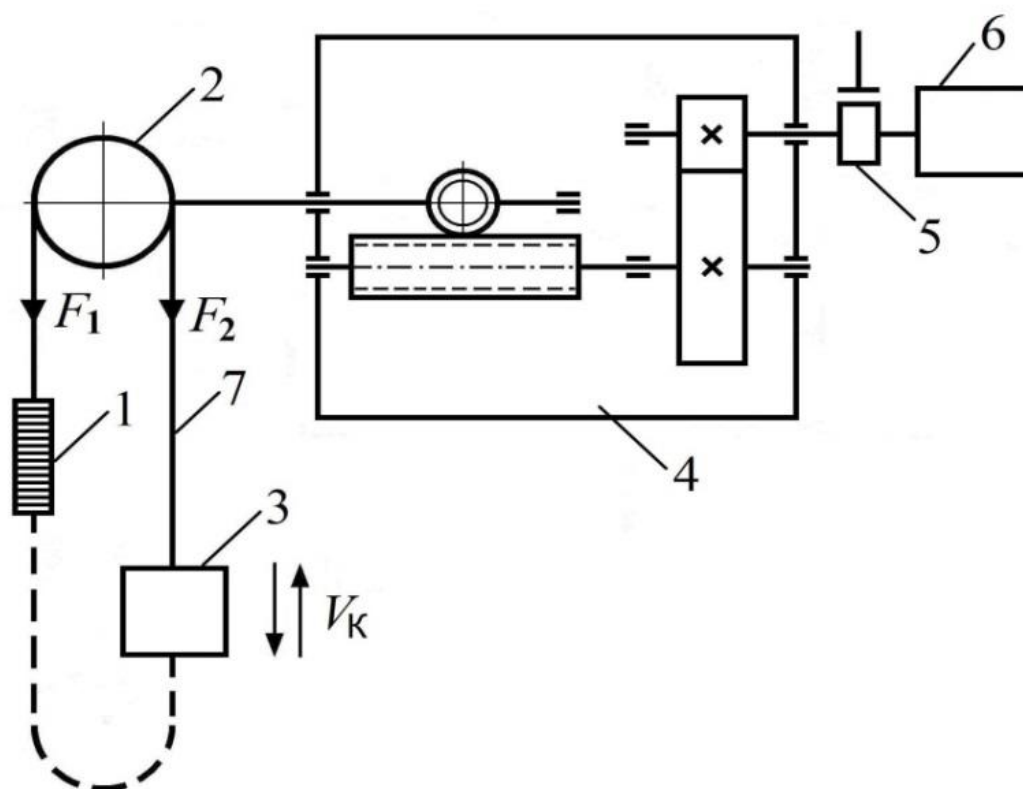


Рисунок 1.2 - Кинематическая схема лифта

1 - противовес; 2 - канатоведущий шкив; 3 - кабина лифта; 4 - редуктор;
5 - тормозной шкив; 6 - двигатель; 7 - канат.

Тяговое усилие от двигателя 6 к кабине 3 подъемника передается обычно посредством двухконцевой лебёдки с канатоведущим шкивом 2, на котором канат 7 располагается в полукруглых дорожках на поверхности шкива в

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

несколько заходов. Связь между шкивом и главным канатом осуществляется за счёт трения, а не жёстким креплением как на барабанных лебёдках, которые не применяются на лифтах в связи с повышенными габаритами при большой длине навиваемого каната.

В процессе работы лифта кабина 3 перемещается в шахте вдоль направляющих, которые охватываются роликами. Противовес 1, уравнивающий определённую часть веса гружёной кабины, также движется вдоль своих направляющих. При подходе к заданному этажу лифт переходит на пониженную скорость и останавливается в точной остановке. Питание к двигателю дверей подводится гибким кабелем.

Высокие требования безопасности пользования лифтом вызывают необходимость применения специального механического оборудования, действующего при различного рода повреждениях и авариях. На валу двигателя имеется электромеханическое устройство, затормаживающее привод при снятии напряжения с двигателя, как при нормальной работе, так и при аварийных режимах.

Двигатель лифта связан со шкивом трения через редуктор. В соответствии с этим электропривод будет редукторный.

1.3 Формирование требований к электроприводу

Технические требования к проектированию электроприводов лифтов определяются «Правилами устройства и безопасной эксплуатации лифтов», которое устанавливает нормы, направленные на обеспечение безопасности.

Разработать электропривод для грузового лифта, который бы обеспечивал выполнение его технологических требований:

1. Режим работы повторно – кратковременный;
2. Привод реверсивный;
3. Обеспечение плавного пуска и торможения, чтобы ускорение и замедление не превышали установленные нормы;
4. Точная остановка кабины в соответствии с требованиями.

Таблица 1.1 - Технологические параметры электропривода лифта

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
$m_{Г}$	Масса груза	т	2,5
$m_{П}$	Масса клетки	т	4
$m_{К}$	Масса противовеса	т	5,2
D	Диаметр шкива	м	0,3
h	Высота подъёма	м	12
v_2	Скорость подъёма	м/с	0,2
z	Число циклов	1/ч	24
$a_{доп}$	Допустимое ускорение	м/с ²	0,5
$d_{СТ}$	Диаметр ступицы шкива	м	0,075
$\mu_{П}$	Коэффициент трения скольжения	–	0,015
$J_{Ш}$	Момент инерции тормозного шкива	кгм ²	0,4
$v_{П}$	Пониженная скорость	м/с ²	0,04
$C_{К}$	Крутильная жесткость	МН·м/рад	50
$k_{ТР}$	Коэффициент, учитывающий трение кабины при движении по направляющим	–	1,3
$m_{Г}$	Масса груза	т	2,5

При расчётах систем электропривода предполагается, что электрооборудование эксплуатируется на высоте не более 800 м над уровнем моря в условиях умеренного климата в сухом отапливаемом помещении (климатические условия и категория размещения У4 или УХЛ4 по ГОСТ 15150-

69), при отсутствии в атмосфере токопроводящей пыли и коррозионно-активных веществ, а также при практическом отсутствии вибрационных нагрузок (группа эксплуатации М1 по ГОСТ 17516-70), степень защищенности электрооборудования и электродвигателей от внешних воздействий должна быть не менее чем IP23 по ГОСТ 14294-72, 14494-72.

1.4 Обоснование выбора типа электропривода

Для современных регулируемых электроприводов лифтов, а также приводов лебёдок и подъёмников, основными требованиями являются высокая точность и плавность регулирования скорости при условии хорошего качества переходных процессов. Двигатели постоянного тока во многих случаях удовлетворяют этим требованиям, однако их использование часто оказывается нежелательным из-за наличия механического коммутатора, который требует постоянного ухода.

Асинхронные двигатели получили в промышленности весьма широкое применение благодаря ряду существенных преимуществ по сравнению с другими типами двигателей. Асинхронный двигатель прост и надёжен в эксплуатации, значительно меньше по габаритам и весу двигателей постоянного тока.

Один из самых надёжных способов регулирования скорости асинхронных двигателей - преобразование частоты питающего напряжения с помощью преобразователя частоты.

На основании выше изложенного для электропривода лифта оптимальным является асинхронный электропривод с частотным управлением.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

2 РАСЧЕТ, ВЫБОР И ПРОВЕРКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

2.1 Расчет моментов статических сопротивлений и предварительный расчет мощности электродвигателя

Расчет времени на каждом участке работы лифта.

Время пуска $t_{п}$, $t_{т}$ до заданной скорости движения лифта при рабочем ходе:

$$t_{п} = t_{т} = \frac{v_p}{a_{доп}}, \quad (1)$$

где v_p - заданная скорость движения, м/с;

$a_{доп}$ - допустимое ускорение, м/с².

Время пуска и торможения при движении от склада до производственного помещения:

$$t_{п1} = t_{т1} = \frac{v_p}{a_{доп}} = \frac{0,2}{0,5} = 0,4 \text{ с.}$$

Время пуска и торможения при движении лифта от производственного помещения до склада:

$$t_{п2} = t_{т2} = \frac{v_p}{a_{доп}} = \frac{0,2}{0,5} = 0,4 \text{ с.}$$

Время при торможении с установленной до пониженной скорости:

$$t_{т1.1} = \frac{v_p - v_{п}}{a_{доп}} = \frac{0,2 - 0,2 \cdot 0,2}{0,5} = 0,32 \text{ с.}$$

Время при торможении с пониженной скорости до полного торможения:

$$t_{т1.2} = \frac{v_p}{a_{доп}} = \frac{0,2 \cdot 0,2}{0,5} = 0,08 \text{ с.}$$

Путь, проходимый рабочей машиной за время пуска и торможения:

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

Путь, пройденный за время пуска, при движении к производственному помещению:

$$L_{п1} = L_{т1} = \frac{v_p^2}{2 \cdot a_{доп}} = \frac{0,2^2}{2 \cdot 0,5} = 0,04 \text{ м.}$$

Путь, пройденный за время торможения, с установленной скоростью до пониженной, при движении к производственному помещению:

$$L_{Т1.1} = \frac{(v_p - v_{п})^2}{2 \cdot a_{доп}} = \frac{(0,2 - 0,04)^2}{2 \cdot 0,5} = 0,026 \text{ м.}$$

Путь, пройденный за время торможения, с пониженной скорости до полного торможения, при движении к производственному помещению:

$$L_{Т1.2} = \frac{v_{п}^2}{2 \cdot a_{доп}} = \frac{0,04^2}{2 \cdot 0,5} = 0,0016 \text{ м.}$$

Путь, пройденный за время пуска при движении к складу:

$$L_{п2} = L_{Т2} = \frac{v_p^2}{2 \cdot a_{доп}} = \frac{0,2^2}{2 \cdot 0,5} = 0,04 \text{ м.}$$

Путь, пройденный за время торможения, с установленной скоростью до пониженной, при движении к складу:

$$L_{Т2.1} = \frac{(v_p - v_{п})^2}{2 \cdot a_{доп}} = \frac{(0,2 - 0,04)^2}{2 \cdot 0,5} = 0,026 \text{ м.}$$

Путь, пройденный за время торможения, с пониженной скорости до полного торможения, при движении к складу:

$$L_{Т2.2} = \frac{v_{п}^2}{2 \cdot a_{доп}} = \frac{0,04^2}{2 \cdot 0,5} = 0,0016 \text{ м.}$$

Время установившегося режима движения:

$$t_y = \frac{L - (L_{п} + L_{Т})}{V_p}. \quad (3)$$

Время установившегося режима при движении к производственному помещению, складу:

$$t_{y1} = t_{y2} = \frac{L - (L_{п} + L_{Т})}{V_p} = \frac{12 - (0,026 + 0,0016)}{0,2} = 59,86 \text{ с.}$$

Рассчитаем статические моменты рабочей машины.

Момент сил трения в подшипниках:

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

где $m_{\text{ТП}}$ - масса деталей и узлов, опирающихся на подшипники, кг;

$d_{\text{СТ}}$ - диаметр шейки вала или оси, м;

μ - коэффициент трения скольжения в подшипниках;

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

При движении лифта к производственному помещению:

$$M_{\text{под1}} = \frac{(m_{\text{П}} + m_{\text{К}}) \cdot d_{\text{СТ}} \cdot \mu \cdot g}{2};$$
$$M_{\text{под1}} = \frac{(4000 + 5200) \cdot 0,075 \cdot 0,015 \cdot 9,81}{2} = 50,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении лифта на склад:

$$M_{\text{под2}} = \frac{(m_{\text{Г}} + m_{\text{П}} + m_{\text{К}}) \cdot d_{\text{СТ}} \cdot \mu \cdot g}{2};$$
$$M_{\text{под}} = \frac{(2500 + 4000 + 5200) \cdot 0,075 \cdot 0,015 \cdot 9,81}{2} = 64,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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 .

При движении вверх без груза до производственного помещения:

$$M_{\text{СТ1}} = \frac{(m_{\text{П}} - m_{\text{К}}) \cdot g \cdot D}{2}$$
$$M_{\text{СТ1}} = \frac{(5200 - 4000) \cdot 9,81 \cdot 0,3}{2} = 1765,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении вниз с грузом до склада:

$$M_{\text{СТ2}} = \frac{(m_{\text{Г}} + m_{\text{К}} - m_{\text{П}}) \cdot g \cdot D}{2},$$
$$M_{\text{СТ2}} = \frac{(2500 + 4000 - 5200) \cdot 9,81 \cdot 0,3}{2} = 1913 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Суммарный момент сил трения (с учетом трения кабины при движении по направляющим):

$$M_{\text{РК}} = k_{\text{ТР}} \cdot (M_{\text{под}} + M_{\text{СТ}}) \quad (6)$$

При движении кабины вверх:

$$M_{pk1} = M_{рост1} = 1,3 \cdot (50,7 + 1765,8) = 2361,45 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении кабины вниз:

$$M_{pk2} = M_{рост2} = 1,3 \cdot (64,5 + 1913) = 2570,75 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Суммарный статический момент рабочего органа:

Определим момент инерции рабочего органа по формуле:

$$J_{po} = J_{ш} + m_{po} \cdot \frac{D_k^2}{4}, \quad (7)$$

где $J_{ш}$ - момент инерции тормозного шкива;

m_{po} - масса поступательно движущихся частей, кг;

D_k - диаметр колеса, м.

При движении без груза:

$$J_{po1} = J_{ш} + (m_k + m_{п}) \cdot \frac{D^2}{4} = 0,4 + (4000 + 5200) \cdot \frac{0,3^2}{4} = 207,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При движении с грузом:

$$J_{po2} = J_{ш} + (m_k + m_{п} + m_{г}) \cdot \frac{D^2}{4};$$
$$J_{po2} = 0,4 + (2500 + 4000 + 5200) \cdot \frac{0,3^2}{4} = 263,65 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При заданной величине допустимого ускорения определим динамические моменты лифта при движении.

$$M_{родин} = J_{po} \cdot \frac{2 \cdot a_{доп}}{D}, \quad (8)$$

где J_{po} - момент инерции рабочего органа, $\frac{\text{кг}^2}{\text{м}}$;

$a_{доп}$ - среднее ускорение $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$;

D_k - диаметр колеса.

При движении клетки вверх (без груза):

$$M_{родин1} = J_{po1} \cdot \frac{2 \cdot a_{доп}}{D} = 207,4 \cdot \frac{2 \cdot 0,5}{0,3} = 691,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении клетки вниз (с грузом):

$$M_{\text{родин2}} = J_{\text{ро2}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}}}{D} = 263,65 \cdot \frac{2 \cdot 0,5}{0,3} = 878,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Полный момент рабочей машины найдём по формуле:

$$M_{\text{ро}} = M_{\text{рост}} + M_{\text{родин}}; \quad (9)$$

Первый участок – разгон лифта без груза:

$$M_{\text{ро1}} = M_{\text{рост1}} + M_{\text{родин1}} = 2361,45 + 691,3 = 3052,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Второй участок – движение лифта без груза с установившейся скоростью:

$$M_{\text{ро2}} = M_{\text{рост1}} = 2361,45 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Третий участок – торможение лифта без груза с установившейся скорости до пониженной:

$$M_{\text{ро3}} = M_{\text{рост1}} - M_{\text{родин1}} = 2361,45 - 691,3 = 1670,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Четвертый участок – движение лифта без груза на пониженной скорости:

$$M_{\text{ро4}} = M_{\text{рост1}} = 2361,45 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пятый участок – торможение лифта без груза с пониженной скорости до остановки:

$$M_{\text{ро5}} = M_{\text{рост1}} - M_{\text{родин1}} = 2361,45 - 691,3 = 1670,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Шестой участок – разгон лифта с грузом:

$$M_{\text{ро6}} = M_{\text{рост2}} + M_{\text{родин2}} = 2570,75 + 878,8 = 3449,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Седьмой участок – движение лифта с установившейся скоростью с грузом:

$$M_{\text{ро7}} = M_{\text{рост2}} = 2570,75 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Восьмой участок – торможение лифта с грузом с установившейся скорости до пониженной:

$$M_{\text{ро8}} = M_{\text{рост2}} - M_{\text{родин2}} = 2570,75 - 878,8 = 1691,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Девятый участок - равномерное движение лифта с грузом на пониженной скорости:

$$M_{\text{ро9}} = M_{\text{рост2}} = 2570,75 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Десятый участок - торможение лифта с грузом до остановки:

$$M_{\text{ро10}} = M_{\text{рост2}} - M_{\text{родин2}} = 2570,75 - 878,8 = 1691,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

На рисунке 2.1 изобразим диаграммы скорости и моментов в зависимости от времени, а в таблице 2.1 для каждого участка запишем величины моментов, скоростей, моментов инерции и пройденного пути.

Таблица 2.1 - Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

Участок движения		Движение вверх					Движение вниз				
Расчетные данные	Обозначение	Пуск	Уст. режим	Торм. до п.с.	Уст. режим при п.с.	Торм до остан.	Пуск	Уст. режим	Торм до п.с.	Уст. режим при п.с.	Торм до остан.
Скорость, м/с	V_{po}	-	0,2	-	0,04	-	-	0,2	-	0,04	-
Время работы, с	t_{po}	0,4	58,86	0,026	0,32	0,08	0,4	58,86	0,026	0,32	0,08
Путь, м	L_{po}	0,04	11,97	0,026	0,016	0,0016	0,04	11,97	0,026	0,016	0,0016
Стат. момент, Нм	$M_{рост}$	2361,45					2570,75				
Дин. момент, Нм	$M_{родин}$	691,3					878,8				
Сумм. момент, Нм	M_{po}	3052,7	2361,45	1670,1	2361,45	1670,1	3449,3	2570,75	1691,9	2570,75	1691,9

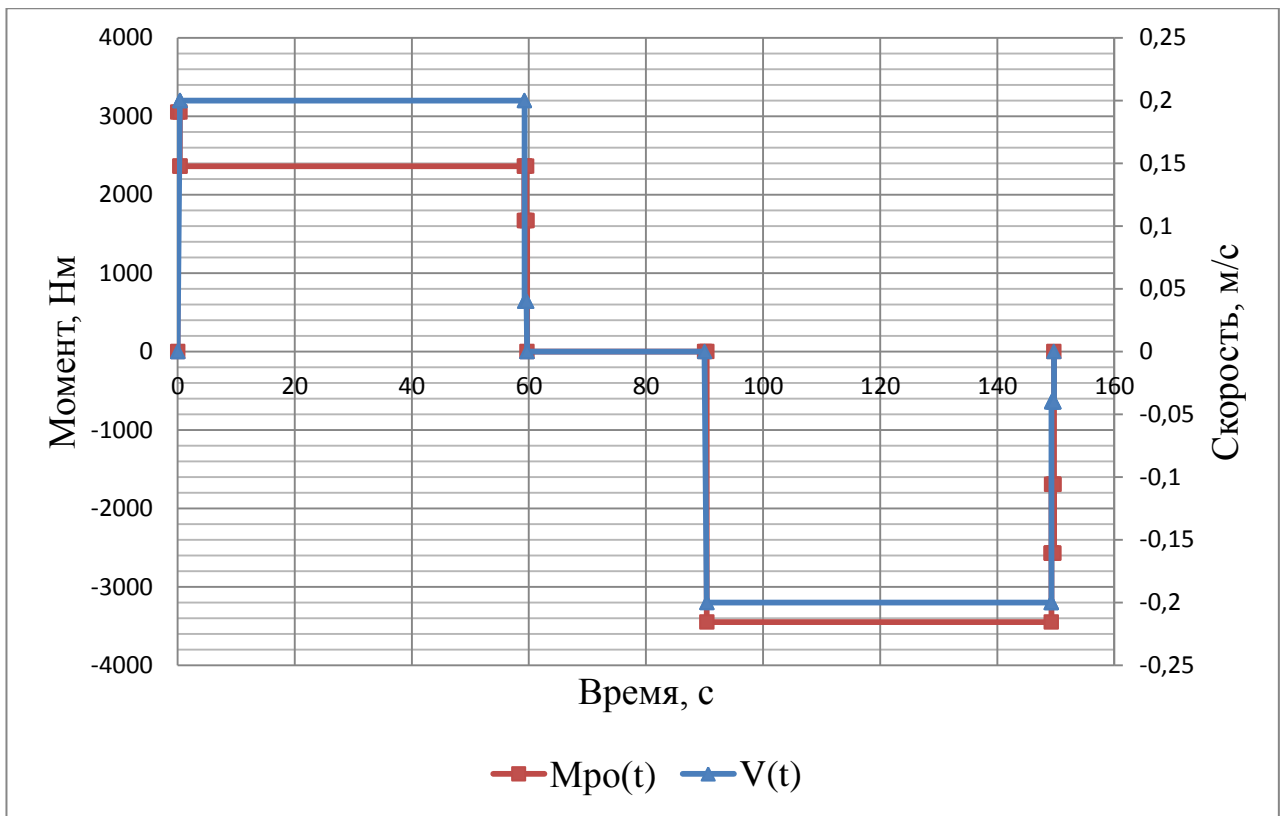


Рисунок 2.1 – Нагрузочная диаграмма скорости и момента рабочего органа

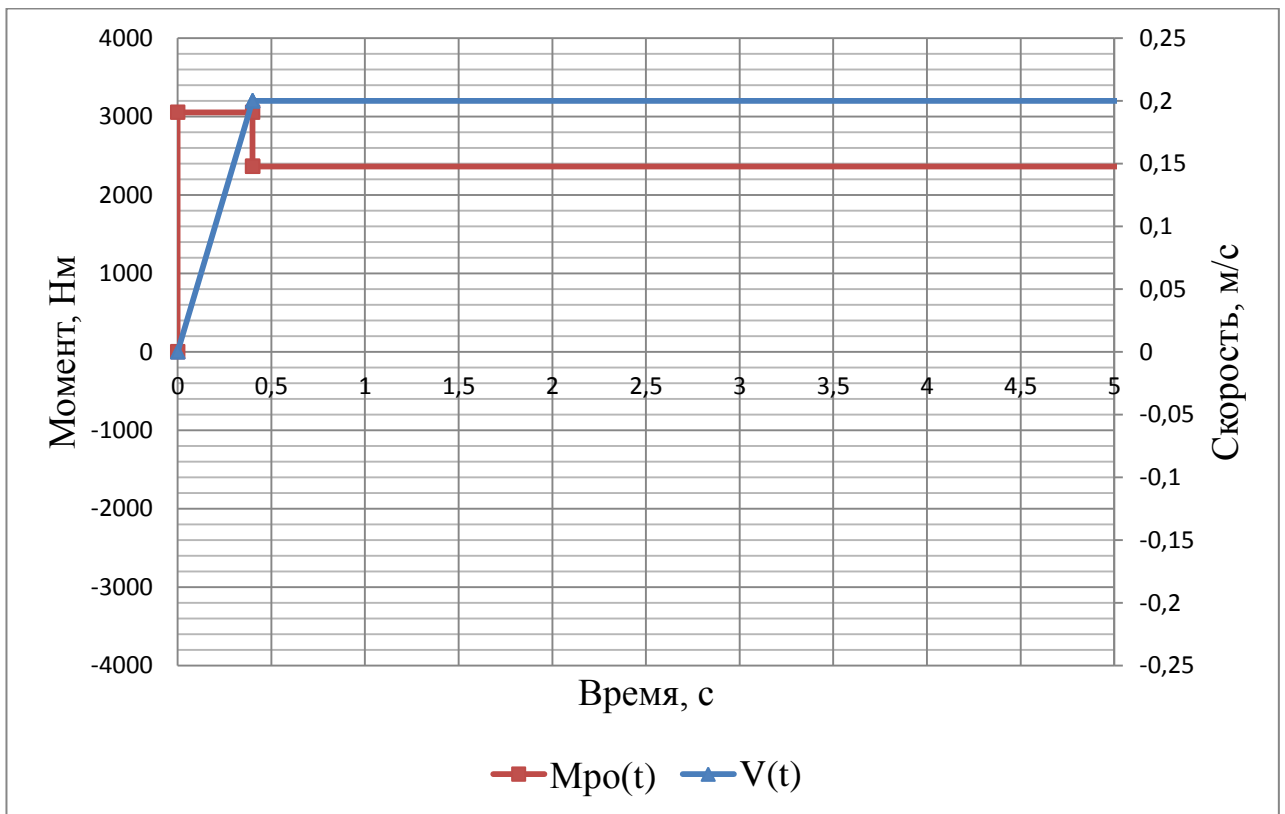


Рисунок 2.2 – Нагрузочная диаграмма скорости и момента рабочего органа при пуске

По рассчитанным значениям моментов на каждом участке можно найти среднеквадратичное значение момента:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m M_k^2 \cdot t_k}{\sum_{k=1}^m t_k}}, \quad (10)$$

где M_k - момент на k-ом участке, Нм; t_k - длительность k-го участка, с.

Получаем значение момента:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{3052,7^2 \cdot 0,4 + 2361,45^2 \cdot 58,86 + \dots + 1691,9^2 \cdot 0,08}{0,4 + 58,86 + \dots + 0,08}} = 3488,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тогда мощность двигателя определяется по формуле:

$$P_{\text{дв}} = k_1 \cdot M_{\text{сркв}} \cdot \frac{2 \cdot V_p}{D_k} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{факт}}}{\text{ПВ}_{\text{кат}}}}, \quad (11)$$

где $k_1=1,3$ - коэффициент, учитывающий трение кабины при движении по направляющим; D – диаметр колеса, м; V_M - основная скорость движения, м/с;

$\text{ПВ}_{\text{факт}}$ – фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого привода;

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

$$\text{ПВ}_{\text{факт}} = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \cdot \sum_{k=1}^m t_k \cdot 100\%. \quad (12)$$

Время работы цикла:

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{z} = \frac{3600}{24} = 150 \text{ с.}$$

$$\text{ПВ}_{\text{факт}} = \frac{(0,4 + 24,6 + \dots + 0,08)}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\% = 79,58 \%$$

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

$$P_{\text{дв}} = 1,3 \cdot 3488,6 \cdot \frac{2 \cdot 0,2}{0,3} \cdot \sqrt{\frac{79,58}{100}} = 5,39 \text{ кВт.}$$

Из асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором выбираем двигатель краново-металлургической серии 4МТКФ(Н)132L6. Каталожные данные двигателя сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Данные электродвигателя 4МТКФ(Н)132L6

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
P_n	Номинальная мощность на валу	кВт	5,5
n_n	Номинальная частота вращения	об/мин	900
I_{1n}	Номинальный ток статора	А	13,6
$\cos \varphi_n$	Коэффициент мощности в номинальном режиме	-	0,75
I_n	Пусковой ток	А	57
M_n	Пусковой момент	Нм	145
M_{\max}	Максимальный (критический) момент	Нм	155
r_1	Активное сопротивление фазной обмотки статора	Ом	1,07
I_0	Ток холостого хода в номинальном режиме	Ом	8
$R_{кз}$	Активное сопротивление короткого замыкания	Ом	3,36
$X_{кз}$	Индуктивное сопротивление короткого замыкания	Ом	2,87
kr	Коэффициент приведения сопротивлений	-	1,97
$J_{\text{об}}$	Момент инерции двигателя	кгм ²	0,09

2.2 Выбор редуктора

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

$$j_p = \omega_n \cdot \frac{D_k}{2 \cdot V_p}, \quad (13)$$

где ω_n – номинальная скорость вращения двигателя, рад/с.

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_n}{60} = 94,25 \text{ рад/с.}$$

D_k – диаметр колеса, преобразующего вращательное движение вала в поступательное, м; V_M – основная скорость рабочего органа, м/с.

В соответствии с формулой 13 имеем:

$$j_p = 94,25 \cdot \frac{0,3}{2 \cdot 0,2} = 70,7.$$

Выберем редуктор, исходя из того, что передаточное число должно быть равным или несколько меньшим рассчитанного, при этом должны быть учтены условия работы механизма, максимальный момент, мощность и скорость двигателя. По полученной мощности и передаточному числу выбираем редуктор. Характеристики редуктора КЦ-2-750 представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Характеристики редуктора КЦ-2-750

Обозначения	Наименования показателя	Размерность	Значение
M	Номинальный крутящий момент	Нм	6700
η_p	Коэффициент полезного действия	%	96
j_p	Передаточное число	-	71

2.3 Приведение статических моментов и моментов инерции к валу двигателя

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

$$M_{pc} = \frac{M_{рост}}{j_p}, \quad (14)$$

где $M_{рост}$ - статический момент рабочей машины, Н·м; j_p - передаточное отношение выбранного редуктора.

При подъёме лифта:

$$M_{pc1} = \frac{M_{рост1}}{j_p} = \frac{2361,5}{71} = 33,26 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При спуске лифта:

$$M_{pc2} = \frac{M_{рост2}}{j_p} = \frac{2570,75}{71} = 36,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тогда статический момент на валу двигателя в двигательном режиме:

$$M_{двс} = \frac{M_{pc}}{\eta_p}, \quad (15)$$

где η_p - коэффициент полезного действия выбранного редуктора.

При подъеме:

$$M_{двс1} = \frac{M_{pc1}}{\eta_p} = \frac{33,26}{0,96} = 34,65 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При спуске:

$$M_{двс2} = \frac{M_{pc2}}{\eta_p} = \frac{36,2}{0,96} = 37,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

В тормозных режимах момент рассчитывается по формуле:

$$M_{твс} = M_{pc1} \cdot \eta_p. \quad (16)$$

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

При подъеме:

$$M_{твс1} = M_{pc1} \cdot \eta_p = 33,26 \cdot 0,96 = 31,93 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При спуске:

$$M_{\text{ТВС2}} = M_{\text{рс2}} \cdot \eta_p = 36,2 \cdot 0,96 = 34,75 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

$$M_c = M_{\text{вс}} + M_{\text{хх}}, \quad (17)$$

где $M_{\text{хх}}$ – момент потерь холостого хода двигателя, Н·м.

$$\Delta M_x = \frac{(3 \cdot I_{1n} \cdot U_{1n} \cdot \cos \varphi_n - P_n) \cdot 9,55}{3 \cdot n_n}; \quad (18)$$

$$\Delta M_x = \frac{(3 \cdot 13,6 \cdot 220 \cdot 0,75 - 5500) \cdot 9,55}{3 \cdot 900} = 4,36 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Двигательный режим.

При движении вверх:

$$M_{\text{дс1}} = M_{\text{двс1}} + M_{\text{хх}} = 34,65 + 4,36 = 39 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении вниз:

$$M_{\text{дс2}} = M_{\text{двс2}} + M_{\text{хх}} = 37,7 + 4,36 = 42 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тормозной режим.

При движении вверх:

$$M_{\text{тс1}} = M_{\text{твс1}} + M_{\text{хх}} = 31,93 + 4,36 = 36,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении вниз:

$$M_{\text{тс2}} = M_{\text{твс2}} + M_{\text{хх}} = 34,75 + 4,36 = 39,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

Суммарный приведенный момент инерции:

$$J = \delta \cdot J_d + J_{\text{пр}}, \quad (19)$$

где $J_{\text{пр}}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции поступательно и вращательно движущихся частей системы, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; J_d – момент инерции ротора выбранного двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; δ – коэффициент, учитывающий момент инерции остальных моментов электропривода: тормозного шкива, муфт, редуктора, и т.д. ($\delta = 1.3 \dots 1.5$).

Приведенный момент инерции рабочей машины к валу двигателя:

$$J_{\text{пр}} = \frac{J_{\text{ро}}}{j_p^2} \quad (20)$$

Суммарный приведенный момент инерции при движении с грузом согласно формуле:

При движении без груза:

$$J_1 = 1,5 \cdot J_{\text{дв}} + J_{\text{пр}} = 1,5 \cdot J_{\text{дв}} + \frac{J_{\text{ро}}}{j_p^2} = 1,5 \cdot 0,09 + \frac{207,4}{71^2} = 0,176 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При движении с грузом:

$$J_2 = 1,5 \cdot J_{\text{дв}} + J_{\text{пр}} = 1,5 \cdot J_{\text{дв}} + \frac{J_{\text{ро}}}{j_p^2} = 1,5 \cdot 0,09 + \frac{263,65}{71^2} = 0,187 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

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

Пусковой момент:

$$M_{\text{п}} = M_{\text{с}} + M_{\text{дин}}, \quad (21)$$

где $M_{\text{с}}$ - статический момент сопротивления движению, Нм; $M_{\text{дин}}$ - динамический момент, Нм.

Динамический момент рассчитываем по формуле:

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot j_p}{D}, \quad (22)$$

где $a_{\text{доп}}$ - 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 вверх:

$$M_{\text{дин1}} = J_1 \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot j_p}{D} = 0,176 \cdot \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 71}{0,3} = 41,65 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении вниз:

$$M_{\text{дин2}} = J_2 \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot j_p}{D} = 0,187 \cdot \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 71}{0,3} = 44,26 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент при движении вверх:

$$M_{п1} = M_{дс1} + M_{дин1} = 39 + 41,65 = 80,65 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент при движении вниз:

$$M_{п2} = M_{дс2} + M_{дин2} = 42 + 44,26 = 86,26 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тормозной момент

$$|M_{т}| = |M_{дин}| - M_{с}. \quad (23)$$

При движении вверх:

$$|M_{т1}| = |M_{дин1}| - M_{тс1} = 41,65 - 36,3 = 5,35 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При движении вниз:

$$|M_{т2}| = |M_{дин2}| - M_{тс2} = 44,26 - 39,1 = 5,16 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

Установившуюся скорость двигателя находим по формуле:

$$\omega_{с} = \frac{2 \cdot \vartheta_{р}}{D} \cdot j_{р} = \frac{2 \cdot 0,2}{0,3} \cdot 71 = 94,6 \text{ рад/с}.$$

Установившуюся пониженную скорость двигателя находим по формуле:

$$\omega_{п} = \frac{2 \cdot \vartheta_{п}}{D} \cdot j_{р} = \frac{2 \cdot 0,04}{0,3} \cdot 71 = 18,9 \text{ рад/с}.$$

2.4 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности

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

Рассчитаем время переходных процессов для каждого участка по формуле:

$$t_i = J \frac{\omega_c}{M_{cp} - M_c}, \quad (24)$$

где J – приведенный момент инерции системы к валу двигателя, кг·м²; ω_c – установившаяся скорость двигателя, рад/с; M_{cp} – средний момент двигателя, Н·м; M_c – приведенный статический момент, Н·м.

Первый участок – разгон без груза:

$$t_1 = J_1 \frac{\omega_c}{M_{дср1} - M_{дс1}} = 0,176 \frac{94,6}{80,65 - 39} = 0,4 \text{ с.}$$

Третий участок – торможение без груза до пониженной скорости:

$$t_3 = J_1 \frac{\omega_c - \omega_{п}}{M_{тср1} + M_{тс1}} = 0,176 \frac{94,6 - 18,9}{5,35 + 36,3} = 0,32 \text{ с.}$$

Пятый участок – торможение без груза до остановки:

$$t_5 = J_1 \frac{\omega_{п}}{M_{тср1} + M_{тс1}} = 0,176 \frac{18,9}{5,35 + 36,3} = 0,08 \text{ с.}$$

Шестой участок – разгон с грузом:

$$t_6 = J_2 \frac{\omega_c}{M_{дср2} - M_{дс2}} = 0,187 \frac{94,6}{86,26 - 42} = 0,4 \text{ с.}$$

Восьмой участок – торможение без груза до пониженной скорости:

$$t_8 = J_2 \cdot \frac{\omega_c - \omega_{п}}{M_{тср2} + M_{тс2}} = 0,187 \frac{94,6 - 18,9}{39,1 + 5,16} = 0,32 \text{ с.}$$

Десятый участок – торможение без груза до остановки:

$$t_{10} = J_2 \cdot \frac{\omega_{п}}{M_{тср2} + M_{тс2}} = 0,187 \frac{18,9}{39,1 + 5,16} = 0,08 \text{ с.}$$

Угол поворота вала двигателя за время переходного процесса:

					<i>Лист</i>
					27
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ</i>

$$\alpha_i = \frac{\omega_c \cdot t_i}{2}. \quad (25)$$

Угол поворота вала на соответствующих участках пути:

$$\alpha_1 = \frac{\omega_c \cdot t_1}{2} = \frac{94,6 \cdot 0,4}{2} = 18,9 \text{ рад.}$$

$$\alpha_3 = \frac{(\omega_c - \omega_{\text{п}}) \cdot t_3}{2} = \frac{(94,6 - 18,9) \cdot 0,32}{2} = 12,1 \text{ рад.}$$

$$\alpha_5 = \frac{\omega_{\text{п}} \cdot t_5}{2} = \frac{18,9 \cdot 0,08}{2} = 0,76 \text{ рад.}$$

$$\alpha_6 = \frac{\omega_c \cdot t_6}{2} = \frac{94,6 \cdot 0,4}{2} = 18,9 \text{ рад.}$$

$$\alpha_8 = \frac{(\omega_c - \omega_{\text{п}}) \cdot t_8}{2} = \frac{(94,6 - 18,9) \cdot 0,32}{2} = 12,1 \text{ рад.}$$

$$\alpha_{10} = \frac{\omega_{\text{п}} \cdot t_{10}}{2} = \frac{18,9 \cdot 0,08}{2} = 0,76 \text{ рад.}$$

Время работы с установившейся скоростью:

$$t_{\text{ув}} = \frac{\alpha_{\Sigma} - \alpha_{\text{п}} - \alpha_{\text{т}}}{\omega_c}; \quad (26)$$

где α_{Σ} – угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме, рад; $\alpha_{\text{п}}, \alpha_{\text{т}}$ – угол поворота вала за время пуска и торможения, рад.

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

$$\alpha_{\Sigma} = 2 \cdot h \cdot \frac{j_p}{D} = 2 \cdot 12 \cdot \frac{71}{0,3} = 5680 \text{ рад.}$$

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

$$\alpha_{\text{п1}} = \alpha_{\text{п2}} = 2 \cdot (L_{\text{т1}} - L_{\text{т1.1}} - L_{\text{т1.2}}) \cdot \frac{i_p}{D};$$

$$\alpha_{\text{п1}} = \alpha_{\text{п2}} = 2 \cdot (0,04 - 0,026 - 0,0016) \cdot \frac{71}{0,3} = 5,87 \text{ рад.}$$

Время работы с установившейся скоростью при движении вверх и при движении вниз, согласно формуле:

$$t_{y1} = t_{y2} = \frac{\alpha_{\Sigma} - \alpha_1 - \alpha_3 - \alpha_{п1} - \alpha_5}{\omega_c} = \frac{5680 - 18,9 - 12,1 - 5,87 - 0,76}{94,6} = 59,6 \text{ с.}$$

В соответствии с формулой:

$$t_{п1} = t_{п2} = \frac{\alpha_{п1}}{\omega_{п}} = \frac{5,87}{18,9} = 0,32 \text{ с.}$$

Предварительная проверка двигателя по нагреву производится по величине среднеквадратичного момента:

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \leq M_{\text{доп}}; \quad (27)$$

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{80,65^2 \cdot 0,4 + 39^2 \cdot 59,6 + \dots + 5,16^2 \cdot 0,08}{120,8}} = 40,94 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Момент двигателя при ПВ_{кат}, ближайшем к ПВ_ф:

$$M_{\text{КАТ}} = \frac{P_H \cdot 9,55}{n_H} = \frac{5500 \cdot 9,55}{900} = 58,36 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Фактическое значение ПВ:

$$\text{ПВ}_{\phi} = \frac{t_{\phi}}{t_c} \cdot 100\% = \frac{120,8}{150} \cdot 100\% = 80,53 \text{ \%}.$$

Допускаемый момент:

$$M_{\text{доп}} = M_{\text{КАТ}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{КАТ}}}{\text{ПВ}_{\phi}}} = 58,36 \cdot \sqrt{\frac{100}{80,53}} = 65 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Среднеквадратичный момент меньше допустимого ($40,94 \text{ Н} \cdot \text{м} < 65 \text{ Н} \cdot \text{м}$), следовательно, двигатель проходит по нагреву.

Таблица 2.4 – Результаты расчетов

Участок движения		Рабочий ход					Обр. ход							
Расч. дан.	Обозначение	П	у	с	к	Уст. режим до п.с.	Уст. режим п.с.	Торможение	П	у	с	к	Уст. режим п.с.	Торможение
Скорость РО, м/с	$V_{ро}$	-	0,2	-	0,04	-	-	0,2	-	0,04	-			
Момент стат. РО, Нм	$M_{рост}$	2361,45					2570,75							
Момент ин. РО, кгм ²	$J_{рост}$	207,4					263,65							
Скорость двиг., рад/с	ω_c	-	94,6	-	18,9	-	-	94,6	-	18,9	-			
Стат. момент на валу, Нм	$M_{рс}$	33,26					36,2							
Момент ин. ЭП, кгм ²	J	0,176					0,187							
Дин. момент, Нм	$M_{дин}$	41,65	-	-41,65	-	-41,65	44,26	-	-44,26	-	-44,26	-	44,26	
Момент двиг, доп. по ускор., Нм	$M_{доп}$	80,65	39	5,35	39	5,35	86,26	42	5,16	42	5,16			
Время работы, с	t_b	0,4	59,6	0,32	0,32	0,08	0,4	59,6	0,32	0,32	0,08			
Угол пов.вала, двиг., рад	α_b	18,9	5642,4	12,1	5,87	0,76	18,9	5642,4	12,1	5,87	0,76			

3 ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Задачей расчета является обеспечение технологических задач, заложенных в требования к электроприводу:

- рабочие скорости рабочего и обратного хода должны быть обеспечены;
- ускорение электропривода не должно превышать допустимых значений.

Синхронная скорость вращения ω_{0H} :

$$\omega_{0H} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{3} = 104,72. \quad (28)$$

где p – число пар полюсов; f_{1H} – номинальная частота напряжения статора, Гц.

Номинальный момент на валу M_H :

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}; \quad (29)$$
$$M_H = \frac{5500}{94,25} = 58,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальный электромагнитный момент:

$$M_{\text{эмн}} = \frac{3 \cdot U_{1H} I_{1H} \cdot \cos\varphi - 3 \cdot I_{1H}^2 \cdot r_1}{\omega_{0H}}; \quad (30)$$
$$M_{\text{эмн}} = \frac{3 \cdot 220 \cdot 13,6 \cdot 0,75 - 3 \cdot 13,6^2 \cdot 1,07}{104,72} = 58,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальное относительное скольжение:

$$S_H = \frac{\omega_{0H} - \omega_H}{\omega_{0H}}; \quad (31)$$
$$S_H = \frac{104,72 - 94,25}{104,72} = 0,1.$$

Критическое скольжение:

$$S_k = S_H \cdot (\mu_k + \sqrt{\mu_k^2 - 1}), \quad (32)$$

где μ_k – перегрузочная способность асинхронного двигателя.

$$\mu_k = \frac{M_k}{M_H}; \quad (33)$$

$$\mu_k = \frac{M_k}{M_H} = \frac{155}{58,4} = 2,65.$$

$$S_k = 0,1 \cdot \left(2,65 + \sqrt{2,65^2 - 1} \right) = 0,51.$$

Для построения естественной и электромеханической характеристики рассчитаем напряжение и на статоре и частоту, так как характеристики будут проходить через эти точки в установившихся режимах подъема и спуска лифта с грузом и без соответственно.

Таблица 6 – Расчетные параметры для работы в заданных точках

Расчетные параметры/ Участок работы		Участок работы									
		С грузом					Без груза				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Заданные точки											
$\omega_{зад}$	Рад/с		94,6		18,9			94,6		18,9	
	О.е.		0,903		0,18			0,903		0,18	
$M_{зад}$ на валу	Нм	33,26					36,2				
	О.е.	0,569					0,62				
Расчетные данные											
$\omega_{0зад}$	О.е.		0,96		0,237			0,965		0,242	
	Рад/с		100,5		24,82			101		25,34	
f_1	О.е.		0,96		0,237			0,965		0,242	
	Гц		48		11,85			48,25		12,1	
U_1	О.е.		0,96		0,237			0,965		0,242	
	В		211,2		52,14			212,3		53,24	

При движении вверх в установившемся режиме:

$$\overline{M_{зад1}} = \frac{M_{зад1}}{M_H} = \frac{33,26}{58,4} = 0,569. \quad (34)$$

При движении вниз в установившемся режиме:

$$\overline{M_{зад2}} = \frac{M_{зад2}}{M_H} = \frac{36,2}{58,4} = 0,62. \quad (35)$$

При движении вверх/вниз в установившемся режиме с нормальной скоростью:

$$\overline{\omega_{зад1}} = \frac{\omega_{зад1}}{\omega_{он}} = \frac{94,6}{104,7} = 0,903. \quad (36)$$

При движении вверх/вниз в установившемся режиме с пониженной скоростью:

$$\overline{\omega_{зад2}} = \frac{\omega_{зад2}}{\omega_{он}} = \frac{18,9}{104,7} = 0,18. \quad (37)$$

Синхронная скорость:

$$\omega_{0зад} = \omega_{зад} + \Delta\omega_{ест} = \omega_{зад} + M_{зад} \cdot S_H. \quad (38)$$

$$\text{Участок 2: } \omega_{0зад} = 0,903 + 0,569 \cdot 0,1 = 0,96.$$

$$\text{Участок 4: } \omega_{0зад} = 0,18 + 0,569 \cdot 0,1 = 0,237.$$

$$\text{Участок 7: } \omega_{0зад} = 0,903 + 0,62 \cdot 0,1 = 0,965.$$

$$\text{Участок 9: } \omega_{0зад} = 0,18 + 0,62 \cdot 0,1 = 0,242.$$

$$\omega_{0зад} = \overline{\omega_{зад}} \cdot \omega_{он}. \quad (39)$$

$$\text{Участок 2: } \omega_{0зад} = 0,96 \cdot 104,72 = 100,5 \text{ рад/с.}$$

$$\text{Участок 4: } \omega_{0зад} = 0,237 \cdot 104,72 = 24,82 \text{ рад/с.}$$

$$\text{Участок 7: } \omega_{0зад} = 0,965 \cdot 104,72 = 101 \text{ рад/с.}$$

$$\text{Участок 9: } \omega_{0зад} = 0,242 \cdot 104,72 = 25,34 \text{ рад/с.}$$

Частота и напряжение на статоре при $U_1/f_1 = \text{const}$:

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1H}} = \omega_{0зад}. \quad (40)$$

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1H}. \quad (41)$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1H}. \quad (42)$$

Участок 2:

$$\alpha = f_1/f_{1H} = \omega_{0зад} = 0,96;$$

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1H} = 0,96 \cdot 50 = 48 \text{ Гц};$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1H} = 0,96 \cdot 220 = 211,2 \text{ В.}$$

Участок 4:

$$\alpha = f1/f1_{н} = \omega_{зад} = 0,237;$$
$$f1 = \alpha \cdot f1_{н} = 0,237 \cdot 50 = 11,85 \text{ Гц};$$
$$U1 = \alpha \cdot U1_{н} = 0,237 \cdot 220 = 52,14 \text{ В}.$$

Участок 7:

$$\alpha = f1/f1_{н} = \omega_{зад} = 0,965;$$
$$f1 = \alpha \cdot f1_{н} = 0,965 \cdot 50 = 48,25 \text{ Гц};$$
$$U1 = \alpha \cdot U1_{н} = 0,965 \cdot 220 = 212,3 \text{ В}.$$

Участок 8:

$$\alpha = f1/f1_{н} = \omega_{зад} = 0,242;$$
$$f1 = \alpha \cdot f1_{н} = 0,242 \cdot 50 = 12,1 \text{ Гц};$$
$$U1 = \alpha \cdot U1_{н} = 0,242 \cdot 220 = 53,24 \text{ В}.$$

Ниже на рисунках 3.1, 3.2 и 3.3 представлены статические характеристики, построенные с помощью программы haradkz в среде Matlab.

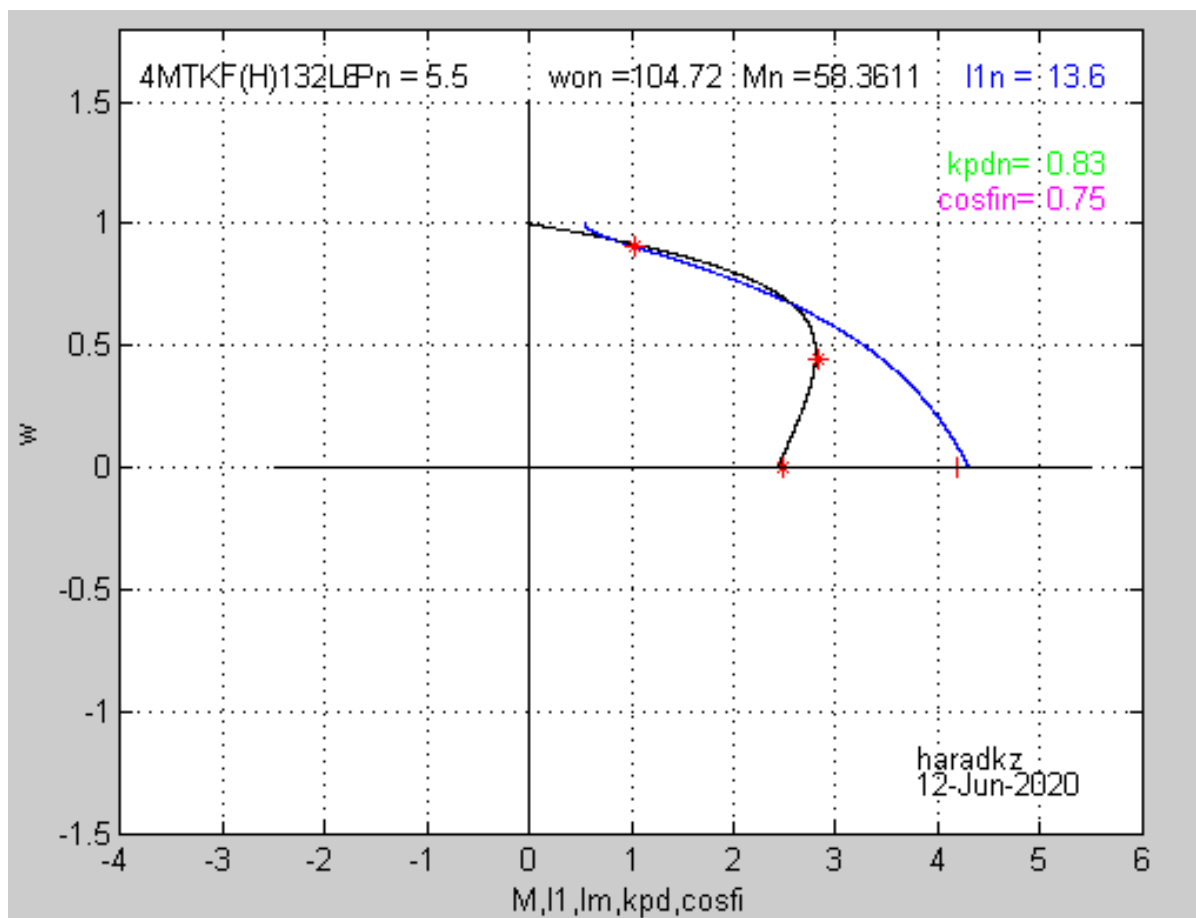


Рисунок 3.1 – Естественная характеристика

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

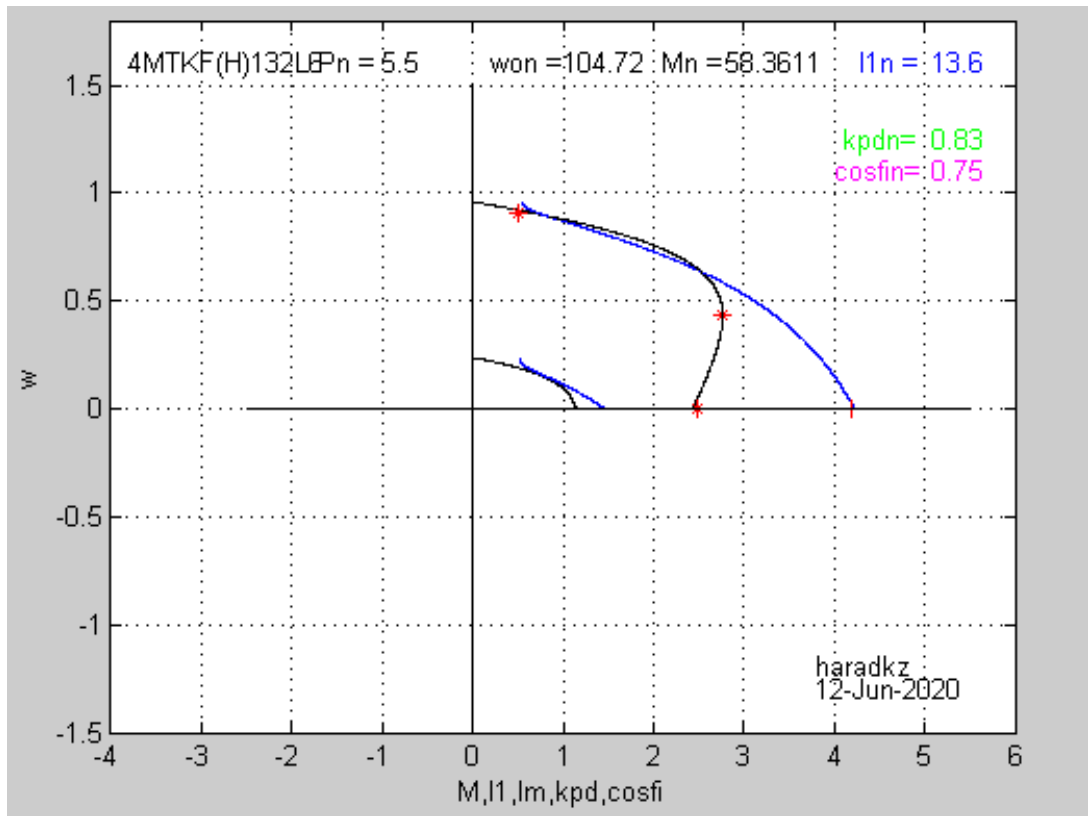


Рисунок 3.2 – Искусственная характеристика с грузом

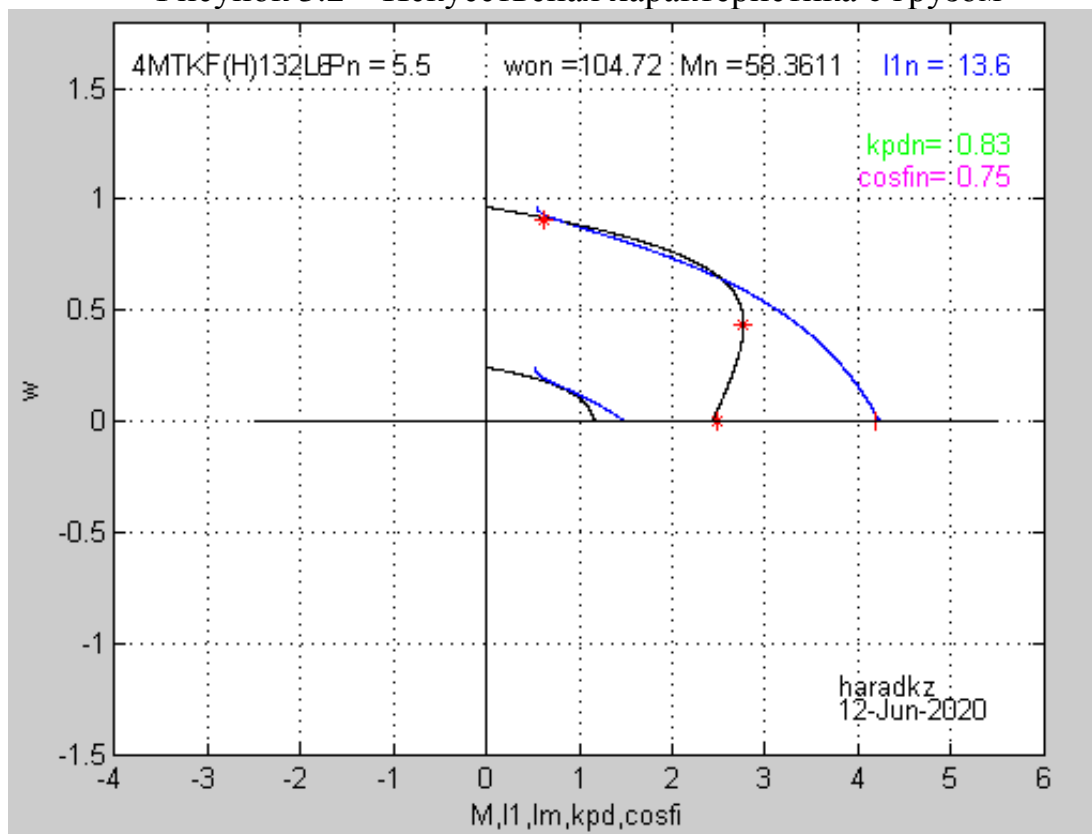


Рисунок 3.3 – Искусственная характеристика без груза

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ

Лист

35

4 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Выбор преобразователя осуществляется на основании номинальных данных предварительно выбранного двигателя:

$$U_{\text{нпч}} \geq U_{\text{нл}}; \quad (43)$$

$$I_{\text{нпч}} \geq I_{\text{н}}; \quad (44)$$

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

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

Установим преобразователь частоты фирмы «ВЕСПЕР» специальной лифтовой серии ЕЗ-9100. Его основные технические характеристики сведены в таблицу 4.1.

Отличительные особенности преобразователя:

- Максимальный стартовый момент 150 % на частоте 1 Гц;
- Режим энергосбережения;
- Встроенный ПИД-регулятор;
- Встроенный тормозной прерыватель;
- Режим автоматической настройки на двигатель без вращения;
- Управление скоростью с помощью встроенного потенциометра;
- Многофункциональные дискретные и аналоговые входы/выходы для

расширенных применений.

Таблица 4.1 – Характеристики преобразователя ЕЗ-9100-010Н

Наименование параметра	Значение
Напряжение питания, В	Трехфазное ~380-480
Максимальная мощность, кВт	7,5
Номинальный ток нагрузки, А	18
Выходная частота, Гц	0,5...500
Класс защиты	IP 20

Также необходима установка автоматического выключателя, его выбор осуществляется по следующим параметрам:

$$U_{AB} \geq U_H ; \quad (45)$$

$$I_{AB} \geq I_H. \quad (46)$$

Исходя из этих условий выберем автоматический выключатель фирмы Scheider Electric типа A0255 C60N 24351, у которого $I_{AB} = 20 \text{ A}$, $U_{AB} = 220 \text{ В}$.

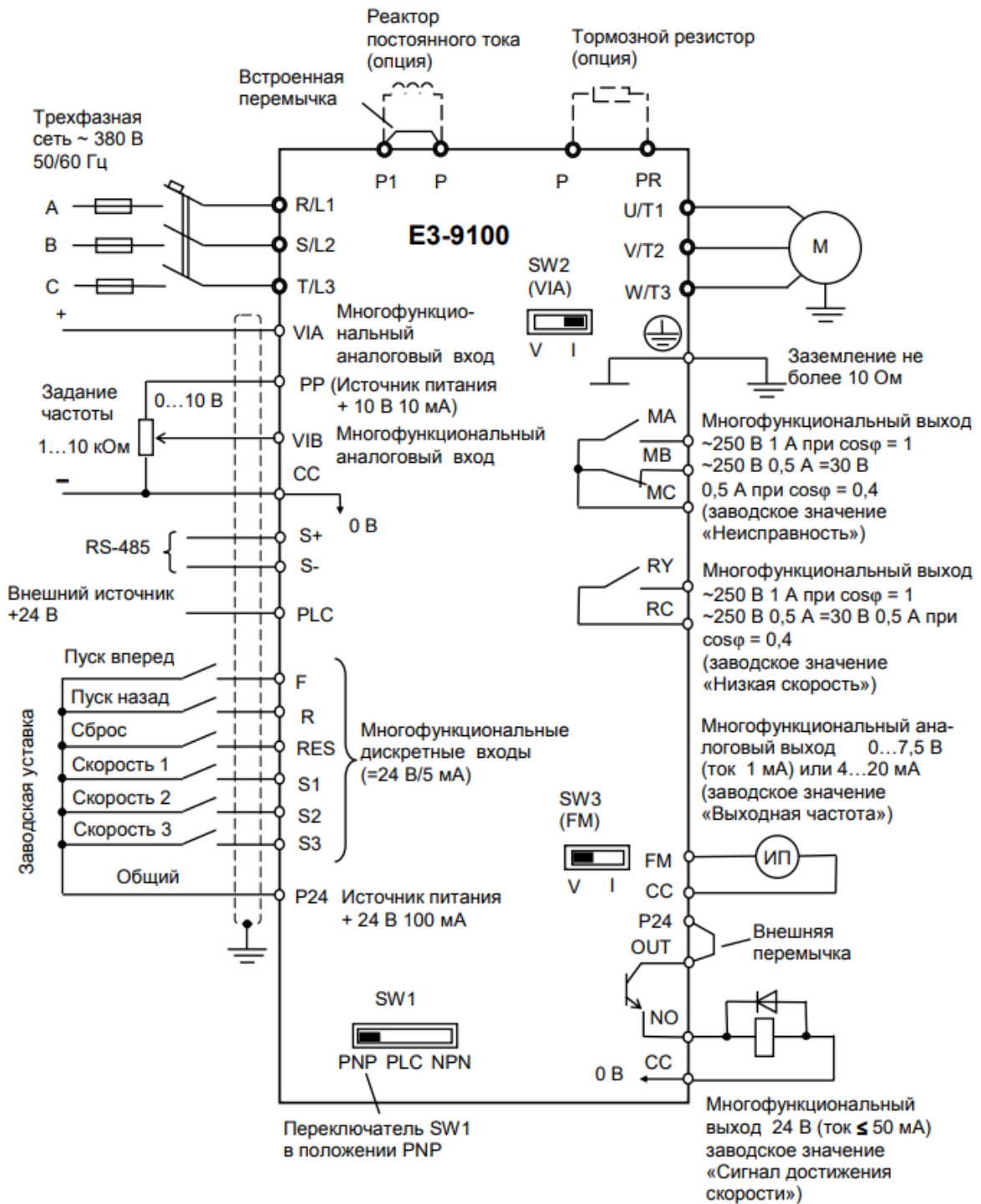


Рисунок 4.1 – Схема подключения E3-9100

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Рассчитаем ток:

$$I_{\text{потр}} = \frac{k \cdot n \cdot M}{9,55 \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \cos\varphi \cdot U \cdot \sqrt{3}}, \quad (47)$$

где k – коэффициент искажения тока. Значения данного коэффициента варьируются от 0,95 до 1,05 и не имеют размерности; $n = 900$ об/мин – частота вращения выбранного двигателя; M – момент нагрузки на валу двигателя, Н·м; $\eta_{\text{дв}}$ – КПД двигателя; $\cos\varphi = 0,75$ – коэффициент мощности из спецификации на двигатель; $U = 380$ В – линейное напряжение.

$$I_{\text{потр}} = \frac{1 \cdot 900 \cdot 86,26}{9,55 \cdot 0,76 \cdot 0,75 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} = \frac{77634}{2983,3} = 26,02 \text{ А.}$$

Согласно таблице 2.4 данная величина тока возникает при пуске лифта с грузом при движении вниз (на склад) на время равное 0,4 с. Выбранный нами преобразователь имеет перегрузочную способность в 150% от номинального выходного тока в течение 1 минуты. Исходя из этого условия:

$$I_{\text{потр}} < 1,5 I_{\text{нпч}};$$

$$I_{\text{потр}} < 1,5 \cdot 18$$

$$26,02 < 27.$$

Значит ПЧ проходит проверку по перегрузочной способности.

5 ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

5.1 Расчет постоянной задатчика интенсивности

При питании двигателя от индивидуального преобразователя появляется возможность плавного регулирования напряжения, поэтому переходные процессы пуска и торможения обеспечиваются формированием напряжения управления преобразователем. В разомкнутой системе преобразователь - двигатель чаще всего применяют линейное нарастание напряжения управления, что определяет линейное нарастание напряжения питания двигателя.

Для формирования линейного закона изменения напряжения управления на вход преобразователя подключают интегральный задатчик интенсивности ЗИ, выходное напряжение которого при подаче на его вход скачка задающего напряжения $U_{ЗАД}$ изменяется по линейному закону. При достижении величины $U_{ЗАД}$ нарастание напряжения на выходе ЗИ прекращается. Выходное напряжение ЗИ, таким образом, является управляющим напряжением преобразователя, а величина $U_{ЗАД}$ определяется величиной базовой постоянной времени ЗИ $T_{И}$ численно равной времени достижения выходного напряжения преобразователя от 0 до базового значения $U_{Н}$.

Базовая постоянная задатчика интенсивности:

$$T_{ЗИ} = \frac{J \cdot \omega_{ОН}}{M_{ДИН}} \quad (48)$$

Рассчитаем величину постоянной задатчика интенсивности для участков, на которых происходит пуск/торможение.

1) Участок 1. Пуск с грузом:

$$T_{ЗИ} = \frac{0,176 \cdot 104,72}{41,65} = 0,44.$$

2) Участок 3. Торможение с грузом до пониженной скорости:

$$T_{ЗИ} = \frac{0,176 \cdot 104,72}{41,65} = 0,44.$$

3) Участок 5. Торможение с грузом до полной остановки:

$$T_{зи} = \frac{0,176 \cdot 104,72}{41,65} = 0,44.$$

4) Участок 6. Пуск без груза:

$$T_{зи} = \frac{0,187 \cdot 104,72}{44,26} = 0,44.$$

5) Участок 8. Торможение без груза до пониженной скорости:

$$T_{зи} = \frac{0,187 \cdot 104,72}{44,26} = 0,44.$$

6) Участок 10. Торможение без груза до полной остановки:

$$T_{зи} = \frac{0,187 \cdot 104,72}{44,26} = 0,44.$$

5.2 Расчет и построение переходных процессов

Расчет и построение характеристик переходных процессов двигателя производится с помощью программы zipchad.m в программе Matlab.

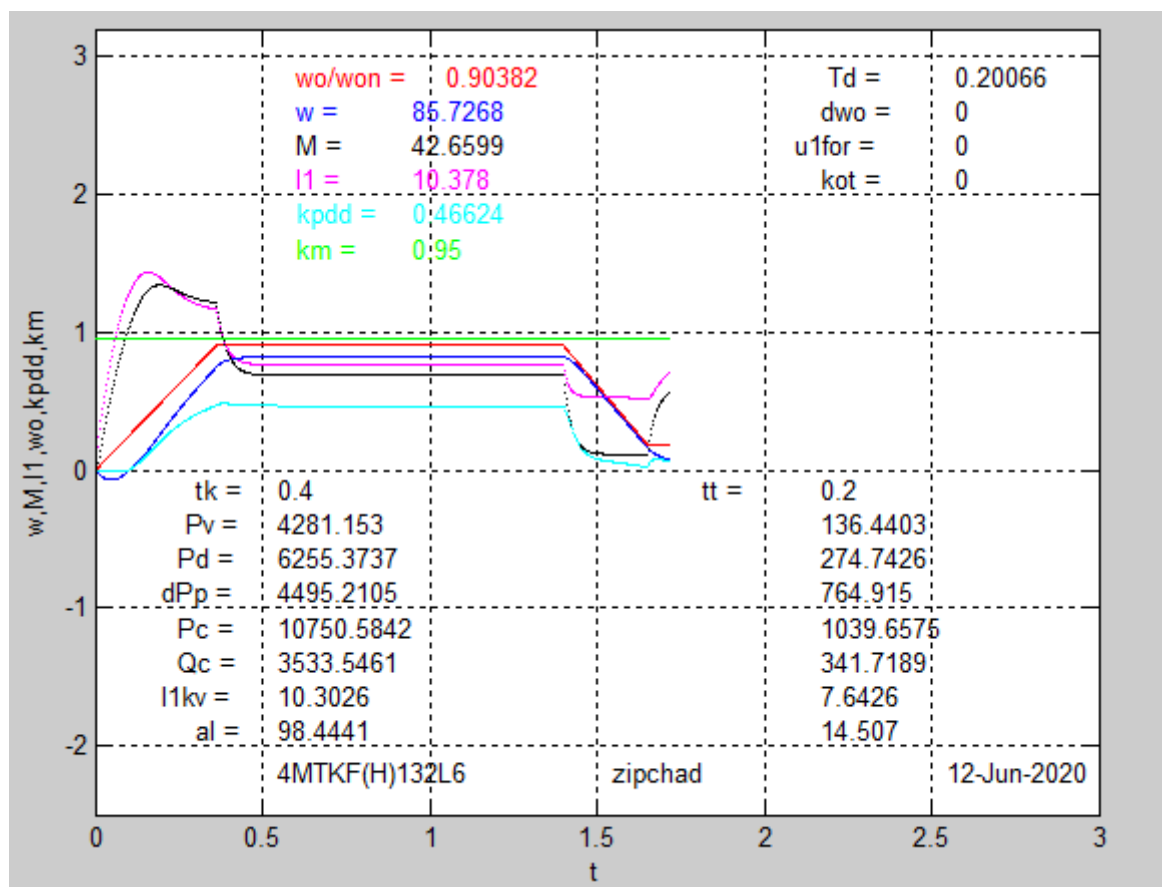


Рисунок 5.1 – Переходные процессы пуска и торможения без груза ($0-V_p, V_p - V_n$)

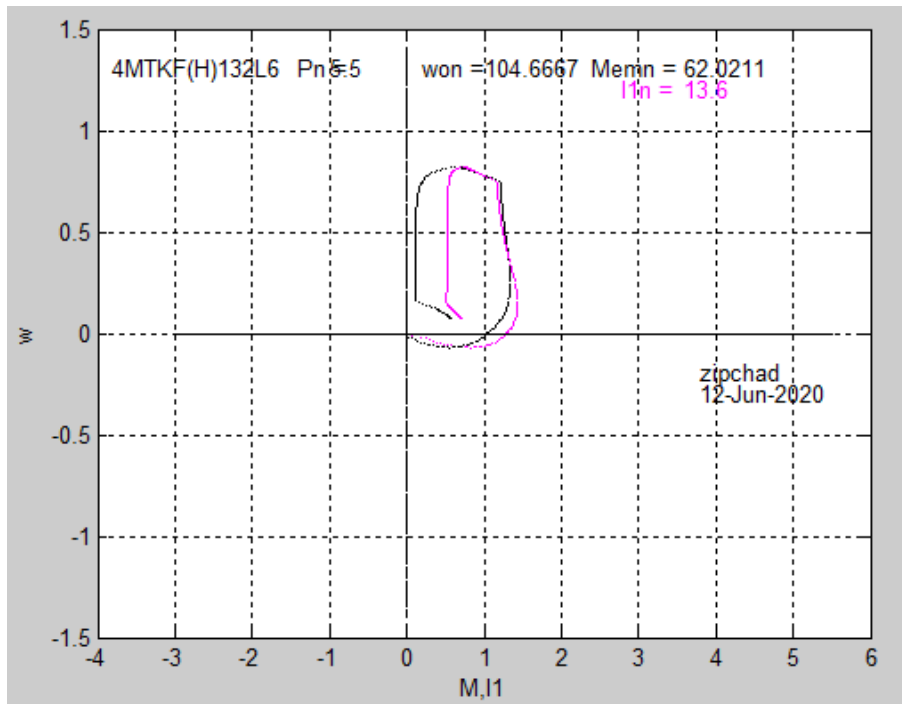


Рисунок 5.2 – Зависимость $\omega_{он}$ от M, I при движении без груза ($0 - V_p, V_p - V_n$)

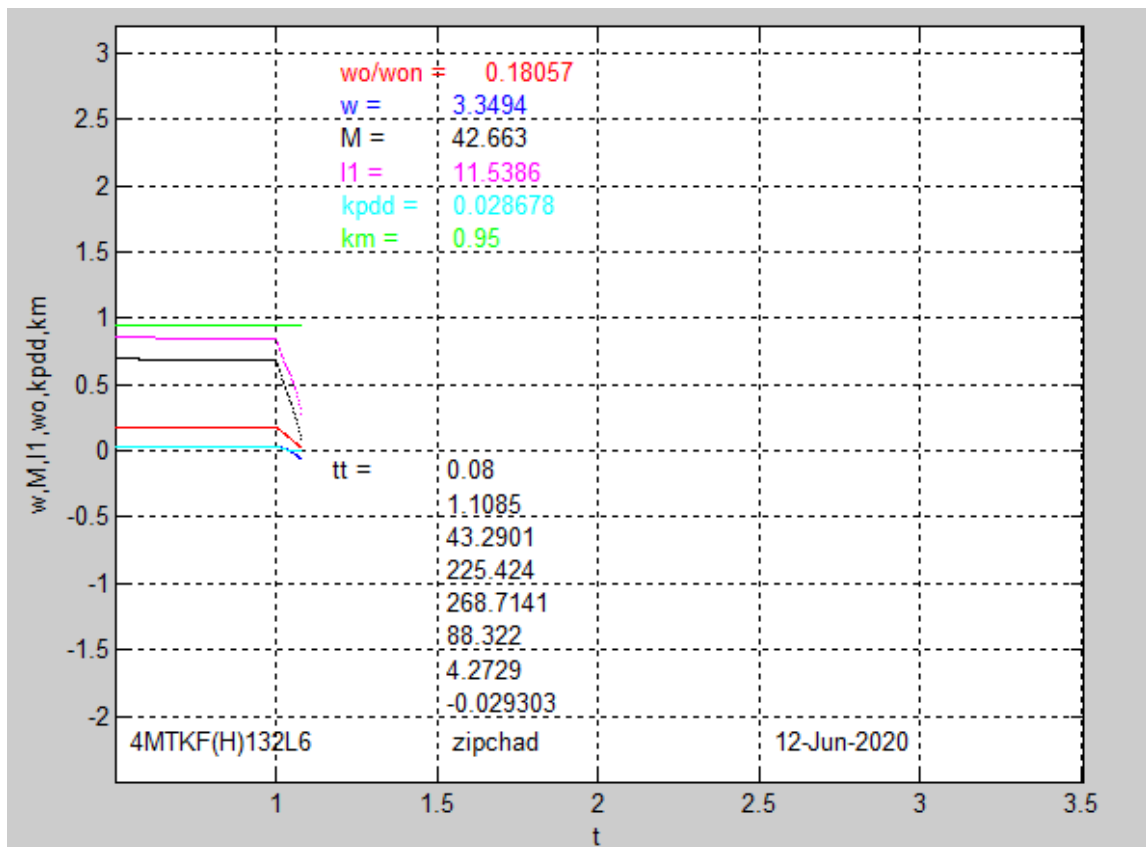


Рисунок 5.3 – Переходные процессы пуска и торможения без груза на пониженной скорости ($V_n - 0$)

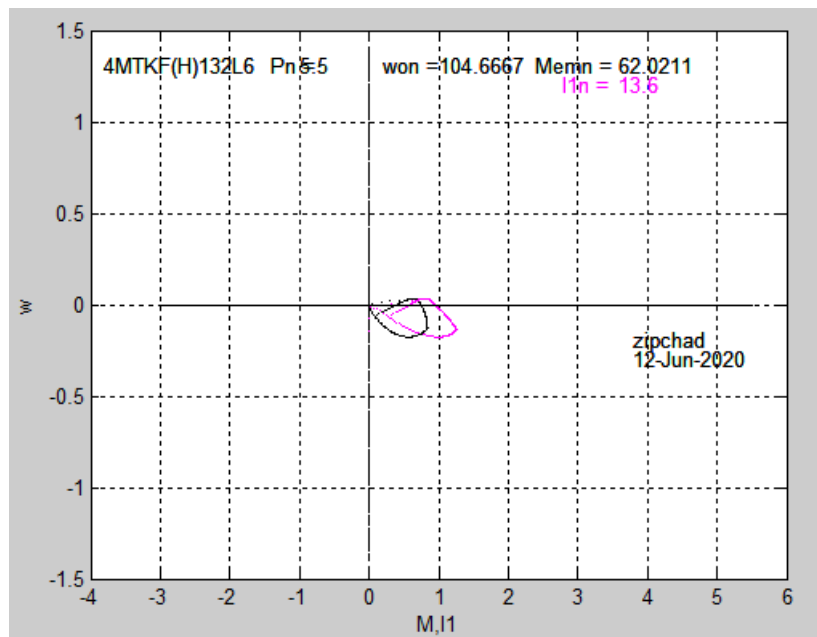


Рисунок 5.4 – Зависимость $\omega_{\text{он}}$ от M, I при движении без груза на пониженной скорости ($V_n - 0$)

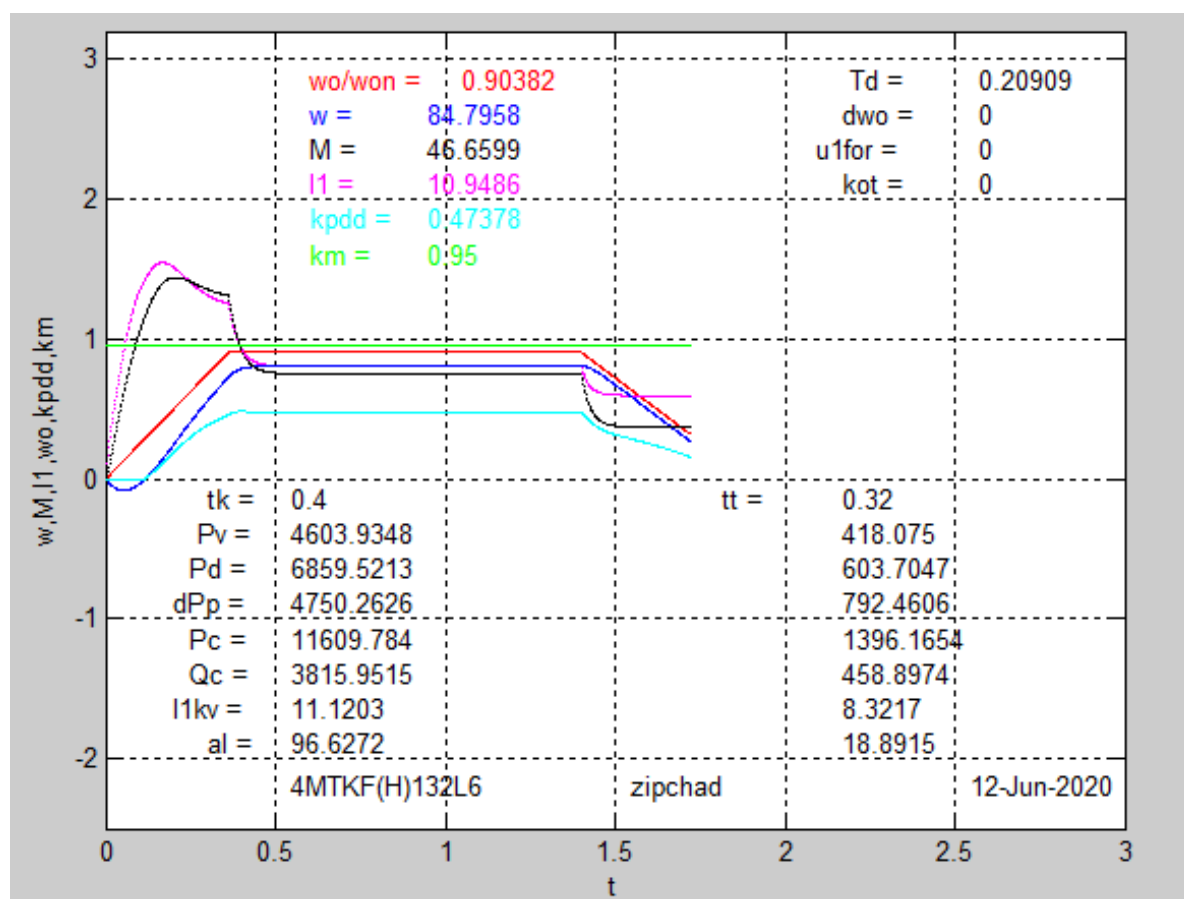


Рисунок 5.5 – Переходные процессы пуска и торможения с грузом ($0 - V_p, V_p - V_n$)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ

Лист

42

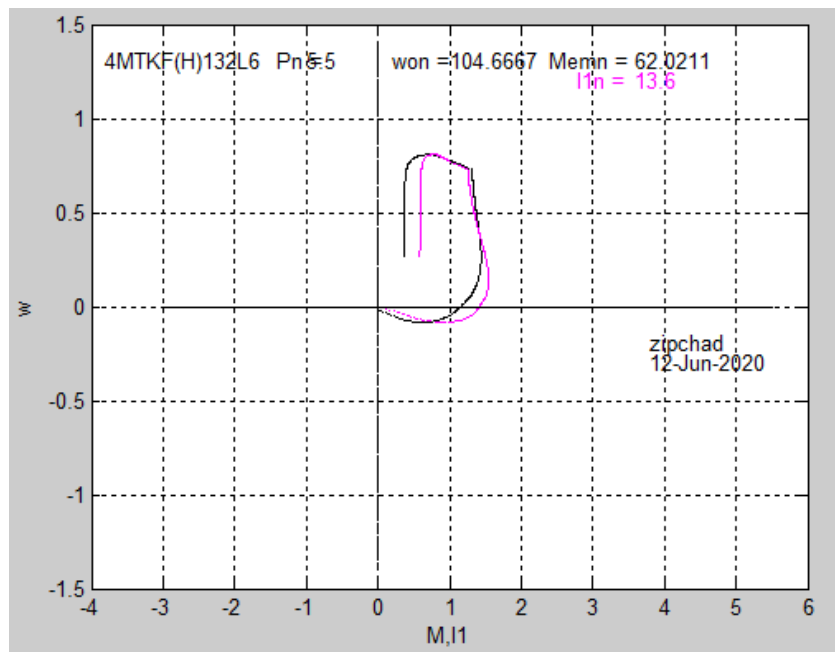


Рисунок 5.6 – Зависимость $\omega_{он}$ от M, I при движении с грузом ($0 - V_p, V_p - V_n$)

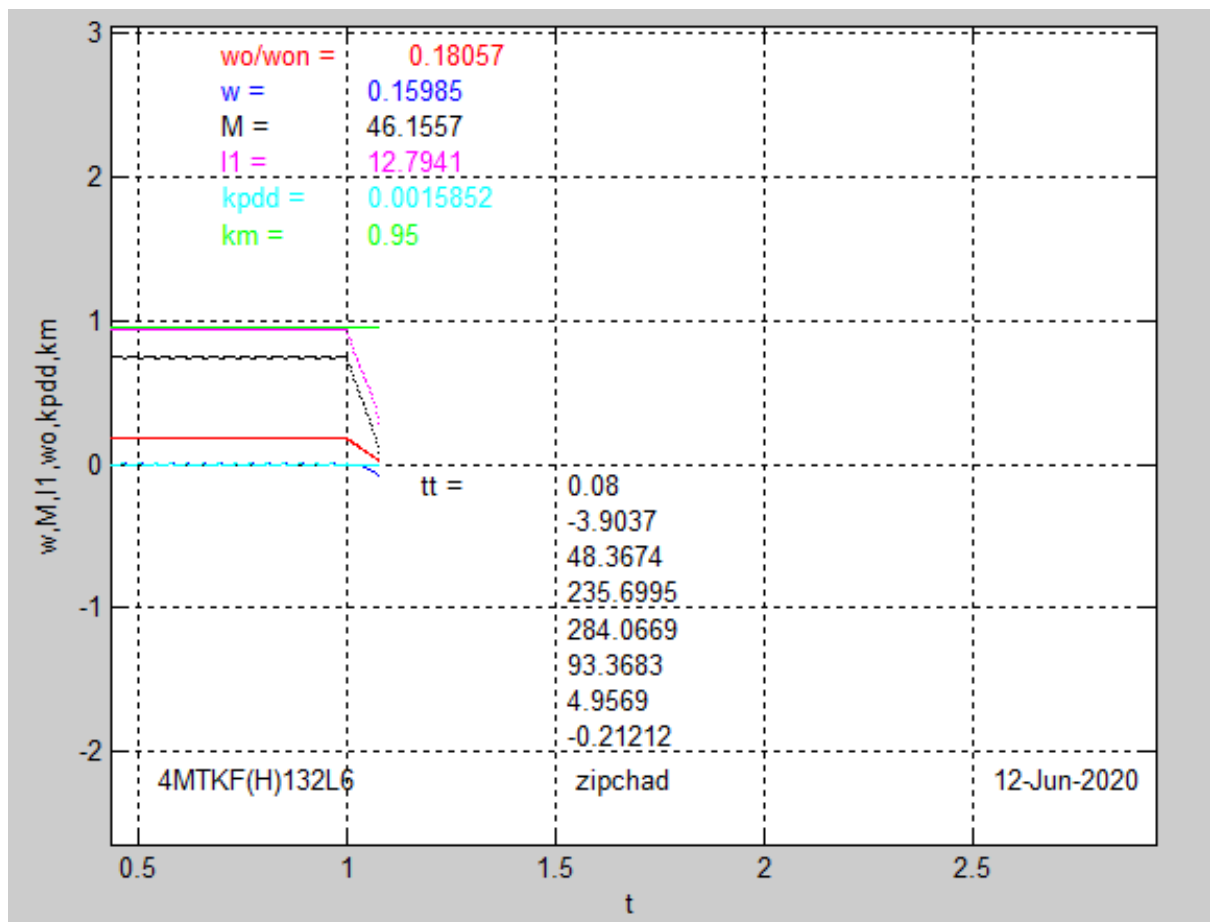


Рисунок 5.7 – Переходные процессы пуска и торможения с грузом на пониженной скорости ($V_n - 0$)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ

Лист

43

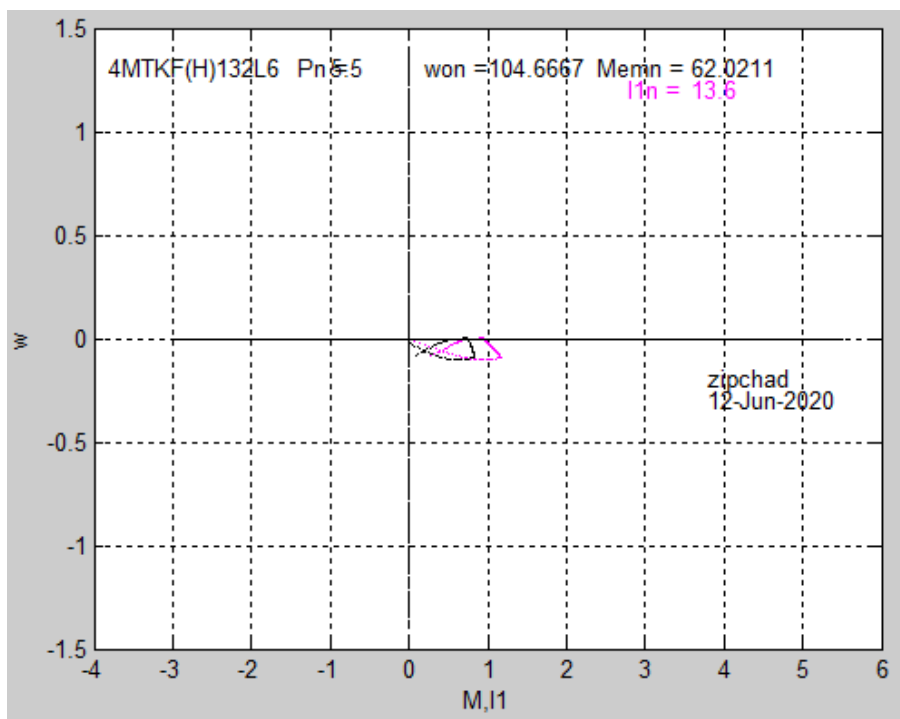


Рисунок 5.8 – Зависимость $\omega_{он}$ от M, I при движении с грузом на пониженной скорости ($V_n = 0$)

5.3 Проверка на перегрузочную способность

Выбранные двигатель и преобразователь напряжения выполняют требования перегрузочной способности, т.к. нагрузочные диаграммы показывают, что максимальные значения тока и момента двигателя не превышают допустимые.

5.4 Проверка по нагреву двигателя и преобразователя

Эквивалентный ток:

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (49)$$

где I_i - среднеквадратичное значение тока на i -ом 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 Δt_k :

$$I_{kv} = \sqrt{\int_0^{t_i} I_i^2 \cdot dt} = \sqrt{\sum_{k=1}^i I_i^2 \cdot \Delta t_k}. \quad (50)$$

На рисунках 5.1, 5.3, 5.5, 5.7 приведены значения среднеквадратичного тока I_{kv} за время пуска t_k , за время торможения t_t для одного участка движения.

Коэффициент ухудшения теплоотдачи остановленного двигателя β_0 зависит от его конструктивного исполнения и условий вентиляции. Примерные значения β_0 приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Значения коэффициента ухудшения теплоотдачи β_0

Исполнение двигателя	β_0
Закрытый с независимой вентиляцией	1
Закрытый без принудительного охлаждения	От 0,95 до 0,98
Закрытый самовентилируемый	От 0,45 до 0,55
Защищенный самовентилируемый	От 0,25 до 0,35

Ухудшение условий охлаждения двигателя в переходных режимах учитывается коэффициентом ухудшения теплоотдачи β_i , которому, в зависимости от скорости вращения, можно присвоить значения из таблицы 5.2.

Таблица 5.2 – Рекомендуемые значения коэффициента ухудшения условий охлаждения двигателя

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

Рассчитаем эквивалентный ток:

$$I_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{10,3^2 \cdot 0,4 + 7,6^2 \cdot 0,32 + 4,2^2 \cdot 0,08 + 11,1^2 \cdot 0,4 + 8,3^2 \cdot 0,32}{(0,4 + 0,32 + 0,08 + 0,4 + 0,32 + 0,08) \cdot 1} + \frac{4,9^2 \cdot 0,08}{(0,4 + 0,32 + 0,08 + 0,4 + 0,32 + 0,08) \cdot 1}} = 9,2 \text{ А.}$$

Допустимый по нагреву ток двигателя:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{КАТ}}}{ПВ_{\text{ФАКТ}}}} = 13,6 \cdot \sqrt{\frac{0,8053}{1,00}} = 12,2 \text{ А.} \quad (51)$$

$I_{\Theta} < (0,85 \dots 0,9)I_{\text{доп}}$, следовательно, двигатель проходит проверку по нагреву.

5.5 Проверка по нагреву преобразователя

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

$$I_{\text{ср кв}} = \sqrt{\frac{1}{t_p} \cdot \sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}. \quad (52)$$

На рисунках 5.1, 5.3, 5.5, 5.7 приведены значения среднеквадратичного тока I_{KV} за время пуска t_k , за время торможения t_t и за время установившегося режима.

$$I_{\text{ср кв}} = \sqrt{\frac{10,3^2 \cdot 0,4 + 7,6^2 \cdot 0,32 + 4,2^2 \cdot 0,08 + 11,1^2 \cdot 0,4 + 8,3^2 \cdot 0,32}{120,8} + \frac{4,9^2 \cdot 0,08}{120,8}} = 1,06 \text{ А.}$$

$I_{\text{ср кв}} < I_{\text{НПР}}$, следовательно, выбранный преобразователь выполняет условия по нагреву.

5.6 Расчет энергетических показателей электропривода

Для оценки циклового КПД следует брать отрезки времени, началу и концу которых соответствует одинаковая энергия, запасенная в элементах привода. Для механизмов, приведенных в данном пособии, таким отрезком является цикл работы, когда механизм возвращается в исходное положение.

Для расчета энергетических показателей используем ранее полученные с помощью ЭВМ данные, а именно рисунки 5.1, 5.3, 5.5, 5.7. Тогда получим следующие выражения для различных видов энергии.

Механическая энергия за цикл:

$$P_{\text{вц}} = 4281,153 + 1364,4 + 110 + 4603,93 + 4180,7 - 39 = 14,5 \text{ кВт.}$$

Активная энергия из сети за цикл:

$$P_{\text{сц}} = 10750,5 + 1039,6 + 268,7 + 11609,7 + 1396,1 + 284 = 25,3 \text{ кВт.}$$

Реактивная энергия за цикл:

$$Q_{\text{сц}} = 3533,54 + 3417,1 + 883,2 + 3815,95 + 4588,9 + 933,6 = 17,1 \text{ кВт.}$$

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

$$\eta_{\text{ц}} = \frac{P_{\text{вц}}}{P_{\text{сц}}} = \frac{14,5}{25,3} = 0,57. \quad (53)$$

$$(\cos \varphi)_{\text{ц}} = \frac{P_{\text{сц}}}{\sqrt{P_{\text{сц}}^2 + Q_{\text{сц}}^2}} = \frac{25,3}{\sqrt{25,3^2 + 17,1^2}} = 0,8. \quad (54)$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		47

6 АВТОМАТИЗАЦИЯ ГРУЗОВОГО ЛИФТА

6.1 Описание технологического процесса

Грузовой лифт предназначен для подъема с нижнего этажа (подвала) на первый, второй или третий этаж помещения и наоборот. В исходном состоянии кабина находится на нижнем этаже (рисунок 6.1). После загрузки лифта на нижнем этаже оператор вручную закрывает дверь шахты и нажимает на панели оператора кнопку нужного этажа. Команда о нажатии запоминается, и кабина начинает подниматься на нужный этаж. На этом этаже, после прибытия лифта, кратковременно включается звонок.

На рисунке 6.1 представлена схема размещения оборудования лифта. Лебёдка и шкаф управления располагаются в лифтовом помещении, закрытом от проникновения посторонних лиц.

При нажатии кнопки вызывного аппарата в электроаппаратуру управления лифтом подается электрический импульс (вызов). Если кабина находится на остановке, с которой поступил вызов, открываются двери кабины и шахты на данной остановке. Если кабина в другом месте, подается команда на её движение.

При подходе кабины к требуемой посадочной площадке система управления лифтом по сигналу датчиков точной остановки переключает электродвигатель лебёдки на работу с пониженной частотой вращения ротора. Скорость движения кабины снижается, подаётся команда на остановку, и в момент, когда порог кабины совмещается с уровнем порога двери шахты, кабина останавливается, вступает в действие тормоз, включается в работу привод дверей, и двери кабины и шахты открываются.

При нажатии кнопки приказа на панели управления, расположенной в кабине, закрываются двери шахты и кабина отправляется на посадочную площадку, кнопка приказа которой нажата.

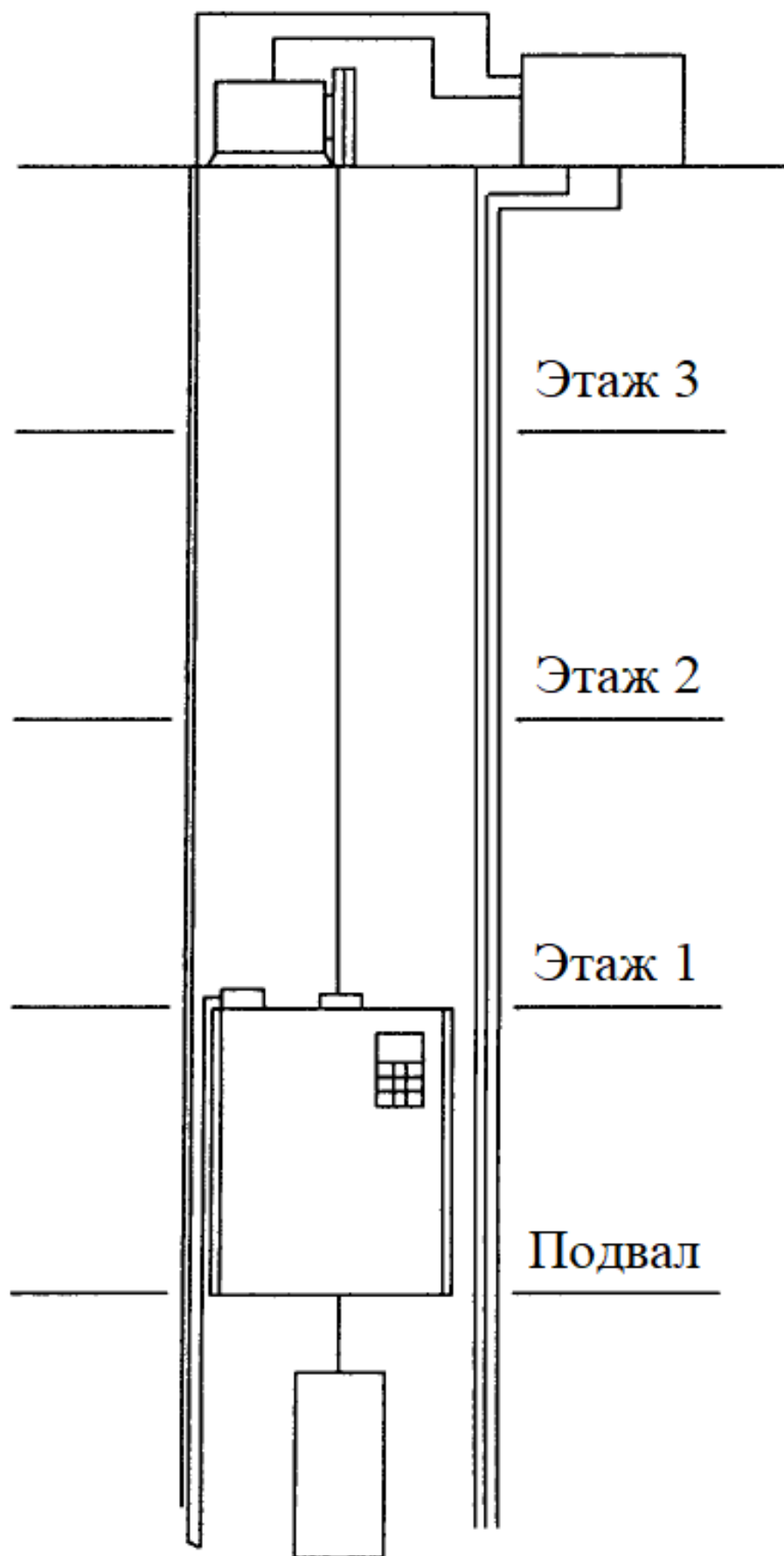


Рисунок 6.1 – Схема работы лифта

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ

Лист

49

6.2 Составление списка сигналов

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

6.2.2 Система автоматизации должна формировать следующие выходные команды:

- включение привода кабины лифта для движения вверх (КЛВ);
- включение привода кабины лифта для медленного движения вверх (КВМ);
- включение привода кабины лифта для движения вниз (КЛН);
- включение привода кабины лифта для медленного движения вниз (КНМ);
- включение звукового сигнала 1 этажа (ЗС1);
- включение звукового сигнала 2 этажа (ЗС2);
- включение звукового сигнала 3 этажа (ЗС3).

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

- сигнал «Питания» (Пит);
- сигнал «Авария» (Авария);
- сигнал «Неисправность привода кабины лифта» (АврКЛ);
- сигнал «Неисправность датчиков» (АврД).

6.2.4 Для управления системой автоматизации используется пульт оператора, (изображенный на рисунке 6.2), представляющий собой панель с блоками кнопок, формирующих следующие выходные сигналы:

- сигнал «Питание» (кнПит);
- сигнал «Ручной режим» (РучР);
- сигнал «Автоматический режим» (АвтР);
- сигнал «Сброс Аварии» (СбросА);
- сигнал «Подвал» (кнП);

- сигнал «1 этаж» (кнЭ1);
- сигнал «2 этаж» (кнЭ2);
- сигнал «3 этаж» (кнЭ3);
- сигнал «Кабина вверх» (кнКЛВ);
- сигнал «Кабина вниз» (кнКЛН);
- сигнал «Звуковой сигнал 1» (кнЗС1);
- сигнал «Звуковой сигнал 2» (кнЗС2);
- сигнал «Звуковой сигнал 3» (кнЗС3).

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

- датчик, сигнализирующий о крайнем верхнем положении кабины (КВ);
- датчик, сигнализирующий о крайнем нижнем положении кабины (КН);
- датчик, сигнализирующий о том, что кабина находится в подвале (Д0);
- датчик, сигнализирующий о том, что кабина находится на 1 этаже (Д1);
- датчик, сигнализирующий о том, что кабина находится на 2 этаже (Д2);
- датчик, сигнализирующий о том, что кабина находится на 3 этаже (Д3);
- датчик, сигнализирующий о том, что кабине необходимо перейти на пониженную скорость для остановки в подвале (ДП0);
- датчик, сигнализирующий о том, что кабине необходимо перейти на пониженную скорость для остановки на 1 этаже (ДП1);
- датчик, сигнализирующий о том, что кабине необходимо перейти на пониженную скорость для остановки на 2 этаже (ДП2);
- датчик, сигнализирующий о том, что кабине необходимо перейти на пониженную скорость для остановки на 3 этаже (ДП3);
- датчик, сигнализирующий о том, что двери шахты закрыты (ДШЗ);
- датчик, сигнализирующий о том, что двери шахты открыты (ДШО).

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

Таблица 6.1 – Сигналы и команды, используемые в системе автоматизации

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Входные сигналы пульта управления и выходные контроллера	Пит	Лампа индикации «Питания»	Есть
	Авария	Лампа индикации «Авария»	Есть
	АврКЛ	Лампа индикации «Неисправность привода кабины лифта»	Есть
	АврД	Лампа индикации «Неисправность датчиков»	Есть
Выходные сигналы пульта управления	кнПит	Ключ–бирка «Питание»	Ключ повернут
	Автр	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	Правое положение
	Ручр	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	Левое положение
	СбросА	Кнопка «Сброс аварии»	Нажата
	кнП	Кнопка «Подвал»	Нажата
	кнЭ1	Кнопка «1 этаж»	Нажата
	кнЭ2	Кнопка «2 этаж»	Нажата
	кнЭ3	Кнопка «3 этаж»	Нажата
	кнКЛВ	Кнопка «Кабина вверх»	Нажата
	кнКЛН	Кнопка «Кабина вниз»	Нажата
	кнЗС1	Кнопка «Звуковой сигнал 1»	Нажата
кнЗС2	Кнопка «Звуковой сигнал 2»	Нажата	

Продолжение таблицы 6.1

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
	кнЗСЗ	Кнопка «Звуковой сигнал 3»	Нажата
Выходные сигналы контроллера	КЛВ	включение привода кабины лифта для движения вверх	Есть
	КВМ	включение привода кабины лифта для медленного движения вверх	Есть
	КЛН	включение привода кабины лифта для движения вниз	Есть
	КНМ	включение привода кабины лифта для медленного движения вниз	Есть
	ЗС1	включение звукового сигнала 1 этажа	Есть
	ЗС2	включение звукового сигнала 2 этажа	Есть
	ЗС3	включение звукового сигнала 3 этажа	Есть
Входные сигналы контроллера	КВ	датчик, сигнализирующий о крайнем верхнем положении кабины	Есть
	КН	датчик, сигнализирующий о крайнем нижнем положении кабины	Есть
	Д0	датчик, сигнализирующий о том, что кабина находится в подвале	Есть
	Д1	датчик, сигнализирующий о том, что кабина находится на 1 этаже	Есть
	Д2	датчик, сигнализирующий о том, что кабина находится на 2 этаже	Есть
	Д3	датчик, сигнализирующий о том, что кабина находится на 3 этаже	Есть

Продолжение таблицы 6.1

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
	ДПО	датчик, сигнализирующий о том, что кабине необходимо перейти на пониженную скорость для остановки в подвале	Есть
	ДП1	датчик, сигнализирующий о том, что кабине необходимо перейти на пониженную скорость для остановки на 1 этаже	Есть
	ДП2	датчик, сигнализирующий о том, что кабине необходимо перейти на пониженную скорость для остановки на 2 этаже	Есть
	ДП3	датчик, сигнализирующий о том, что кабине необходимо перейти на пониженную скорость для остановки на 3 этаже	Есть
	ДШЗ	датчик, сигнализирующий о том, что двери шахты закрыты	Есть
	ДШО	датчик, сигнализирующий о том, что двери шахты открыты	Есть

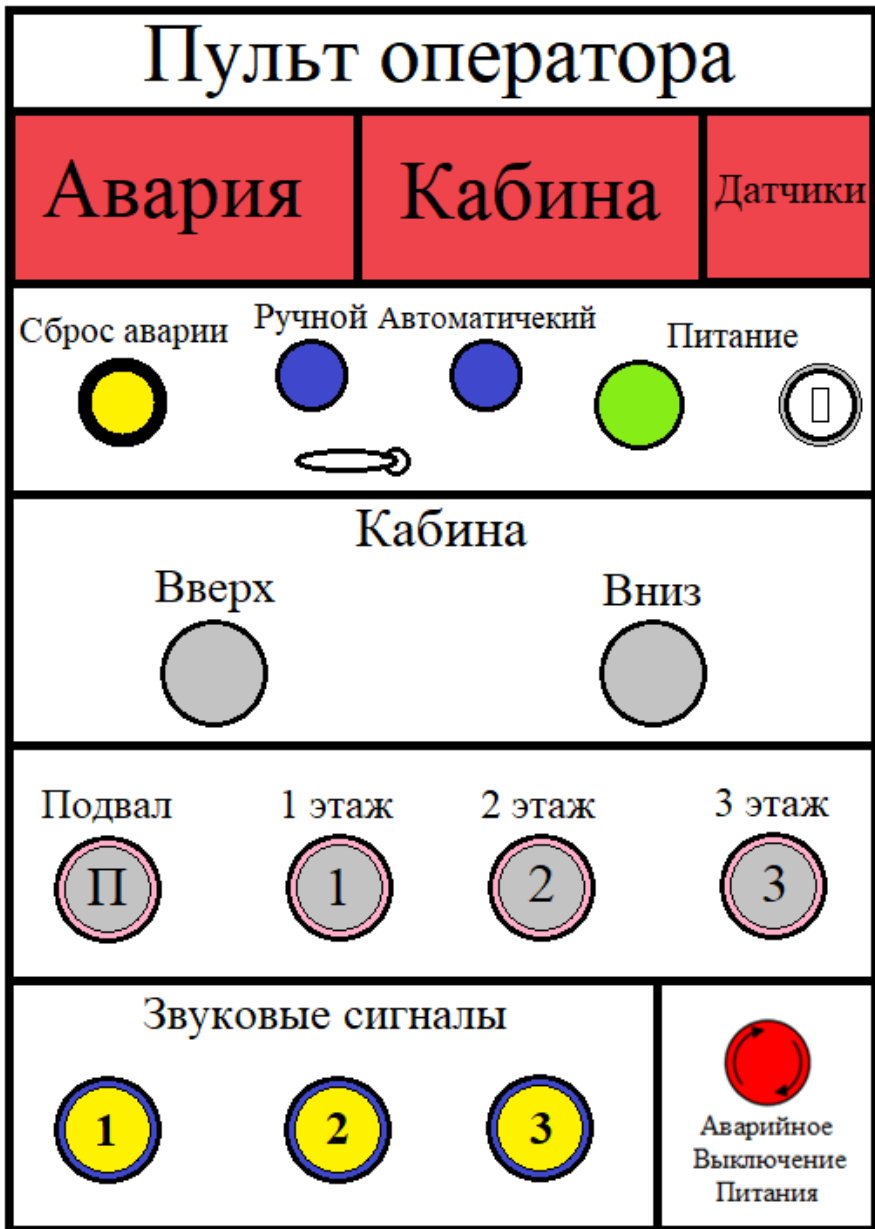


Рисунок 6.2 – Пульт управления грузовым лифтом

7 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМАМИ ОБЪЕКТА

Программу для контроллера разделим условно–функционально на три блока: «блок управления кабиной», «блок управления звуковыми сигналами» и «блок индикации».

7.1 Блок управления кабиной

7.1.1 Движение кабины вверх

Сигнал на включение привода кабины для движения вверх возникает в автоматическом режиме при наличии промежуточных сигналов «КЛВ1», «КЛВ2» или «КЛВ3», если двери шахты закрыты, и кабина не достигла крайнего верхнего положения, в отсутствие сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода кабины для движения вверх возникает при нажатой кнопке «Кабина вверх» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$\text{КЛВ} = ((\text{КЛВ1} + \text{КЛВ2} + \text{КЛВ3}) \cdot \overline{\text{КВ}} \cdot \text{ДШЗ} \cdot \text{АвтР} + \text{кнКЛВ} \cdot \text{РучР}) \cdot \overline{\text{Авария}}.$$

Промежуточный сигнал «В1» возникает, если кабина находится в подвале и была нажата кнопка «1 этаж», и сохраняется пока не возникнет промежуточный сигнал «КВМ1»:

$$\text{КЛВ1} = (\text{Д0} \cdot \text{кнЭ1} + \text{В1}) \cdot \overline{\text{КВМ1}}.$$

Промежуточный сигнал «В2» возникает, если кабина находится в подвале и была нажата кнопка «2 этаж», и сохраняется пока не возникнет промежуточный сигнал «КВМ2»:

$$\text{КЛВ2} = (\text{Д0} \cdot \text{кнЭ2} + \text{В2}) \cdot \overline{\text{КВМ2}}.$$

Промежуточный сигнал «В3» возникает, если кабина находится в подвале и была нажата кнопка «3 этаж», и сохраняется пока не возникнет промежуточный сигнал «КВМ3»:

$$\text{КЛВ3} = (\text{Д0} \cdot \text{кнЭ3} + \text{В3}) \cdot \overline{\text{КВМ3}}.$$

7.1.2 Медленное движение кабины вверх

Сигнал на включение привода кабины для медленного движения вверх возникает в автоматическом режиме при наличии промежуточного сигнала «КВМ1», «КВМ2» или «КВМ3», если кабина не движется вниз и не достигла крайнего верхнего положения, в отсутствие сигнала «Авария»:

$$КВМ = (КВМ1 + КВМ2 + КВМ3) \cdot \overline{КЛН} \cdot \overline{КВ} \cdot АвтР \cdot \overline{Авария}.$$

Промежуточный сигнал «КВМ1» возникает при наличии сигнала с датчика «ДП1», если кабина не движется на 2 или 3 этаж, и сохраняется пока кабина не достигнет 1 этажа:

$$КВМ1 = (ДП1 \cdot \overline{КЛВ2} \cdot \overline{КЛВ3} + КВМ1) \cdot \overline{Д1}.$$

Промежуточный сигнал «КВМ2» возникает при наличии сигнала с датчика «ДП2», если кабина не движется на 1 или 3 этаж, и сохраняется пока кабина не достигнет 2 этажа:

$$КВМ2 = (ДП2 \cdot \overline{КЛВ1} \cdot \overline{КЛВ3} + КВМ2) \cdot \overline{Д2}.$$

Промежуточный сигнал «КВМ3» возникает при наличии сигнала с датчика «ДП3», если кабина не движется на 1 или 2 этаж, и сохраняется пока кабина не достигнет 3 этажа:

$$КВМ3 = (ДП3 \cdot \overline{КЛВ1} \cdot \overline{КЛВ2} + КВМ3) \cdot \overline{Д3}.$$

7.1.3 Движение кабины вниз

Сигнал на включение привода кабины для движения вниз возникает в автоматическом режиме при наличии промежуточных сигналов «КЛН1», «КЛН2» или «КЛН3», если двери шахты закрыты, и кабина не достигла крайнего нижнего положения, в отсутствие сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода кабины для движения вниз возникает при нажатой кнопке «Кабина вниз» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$КЛН = ((КЛН1 + КЛН2 + КЛН3) \cdot \overline{КН} \cdot ДШЗ \cdot АвтР + кнКЛН \cdot РучР) \cdot \overline{Авария}.$$

Промежуточный сигнал «КЛН1» возникает, если кабина находится на 1 этаже и была нажата кнопка «Подвал», и сохраняется пока не возникнет промежуточный сигнал «КНМ»:

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		57

$$КЛН1 = (Д1 \cdot кнП + КЛН1) \cdot \overline{КНМ}.$$

Промежуточный сигнал «КЛН2» возникает, если кабина находится на 2 этаже и была нажата кнопка «Подвал», и сохраняется пока не возникнет промежуточный сигнал «КНМ»:

$$КЛН2 = (Д2 \cdot кнП + КЛН2) \cdot \overline{КНМ}.$$

Промежуточный сигнал «КЛН3» возникает, если кабина находится на 3 этаже и была нажата кнопка «Подвал», и сохраняется пока не возникнет промежуточный сигнал «КНМ»:

$$КЛН3 = (Д3 \cdot кнП + КЛН3) \cdot \overline{КНМ}.$$

7.1.4 Медленное движение кабины вниз

Сигнал на включение привода кабины для медленного движения вниз возникает в автоматическом режиме при сигнале с датчика перехода на пониженную скорость для остановки в подвале, если кабина не движется вверх и не достигла крайнего нижнего положения до тех пор, пока кабина не достигнет подвала, в отсутствие сигнала «Авария»:

$$КНМ = (ДПО + КНМ) \cdot \overline{Д0} \cdot \overline{В} \cdot \overline{КН} \cdot АвтР \cdot \overline{Авария}.$$

7.2 Блок управления звуковыми сигналами

7.2.1 Звуковой сигнал 1 этажа

Сигнал на включение звукового сигнала 1 этажа возникает на Зс в автоматическом режиме если двери шахты открыты, и кабина находится на 1 этаже, в отсутствие сигнала «Авария»:

$$ЗС1 = (Д1 \cdot ДШО + ЗС1) \cdot \overline{ЗС1}^{\uparrow ЗС} \cdot АвтР \cdot \overline{Авария}.$$

7.2.2 Звуковой сигнал 2 этажа

Сигнал на включение звукового сигнала 2 этажа возникает на Зс в автоматическом режиме если двери шахты открыты, и кабина находится на 2 этаже, в отсутствие сигнала «Авария»:

$$ЗС2 = (Д2 \cdot ДШО + ЗС2) \cdot \overline{ЗС2}^{\uparrow ЗС} \cdot АвтР \cdot \overline{Авария}.$$

7.2.3 Звуковой сигнал 3 этажа

Сигнал на включение звукового сигнала 3 этажа возникает на Зс в автоматическом режиме если двери шахты открыты, и кабина находится на 3 этаже, в отсутствие сигнала «Авария»:

$$ЗСЗ = (ДЗ \cdot ДШО + ЗСЗ) \cdot \overline{ЗСЗ}^{\uparrow ЗС} \cdot АвтР \cdot \overline{Авария}.$$

7.3 Блок индикации

7.3.1 Сигнал «Авария»

Сигнал аварии возникает при неисправности механизмов и датчиков, в отсутствии нажатой кнопки «Сброс Аварии»:

$$Авария = (АврКЛ + АврПД + АврПТ + АврД + Авария) \cdot \overline{СбросА}.$$

7.3.2 Сигнал «Неисправность датчиков»

Сигнал неисправности датчиков возникает при непредусмотренной алгоритмом комбинации сигналов с датчиков технологической информации, в отсутствии нажатой кнопки «Сброс Аварии»:

$$АврД = (КВ \cdot КН + Д0 \cdot Д1 + Д0 \cdot Д2 + Д0 \cdot Д3 + ДШЗ \cdot ДШО + ДПО \cdot ДП1 + ДПО \cdot ДП2 + ДПО \cdot ДП3 + АврД) \cdot \overline{СбросА}.$$

8 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

8.1 На основе описания технологического процесса, автоматизируемого объекта, определенных входных и выходных команд составлена схема электрическая функциональная, представленная на рисунках 8.1 и 8.2.

8.2 В рассматриваемой системе автоматизации можно выделить следующие функциональные элементы:

- пульт управления (ПУ);
- блок управления (БУ);
- системы управления двигателями (СУД);
- приводной двигатель (М1) кабины;
- динамики звуковой сигнализации (ВА1, ВА2, ВА3);
- датчики технологической информации (Д0, Д1, Д2 и т.д.);
- блок питания (БП).

8.3 На функциональной схеме показана взаимосвязь отдельных элементов системы автоматизации.

8.4 На пульте управления предусмотрены:

- индикационные светодиодные лампы с целью индикации состояния системы (режима работы): «Питание», «Автоматический», «Ручной», «Авария», «Неисправность привода кабины лифта» и «Неисправность датчиков»;
- кнопки управления работой приводов в автоматическом режиме: «Подвал», «1 этаж», «2 этаж», «3 этаж», и кнопки управления приводами в ручном режиме «Кабина вверх», «Кабина вниз», «Звуковой сигнал 1», «Звуковой сигнал 2», «Звуковой сигнал 3», а также кнопка «Сброс аварии»;
- переключатель положений автоматического и ручного режима работы.

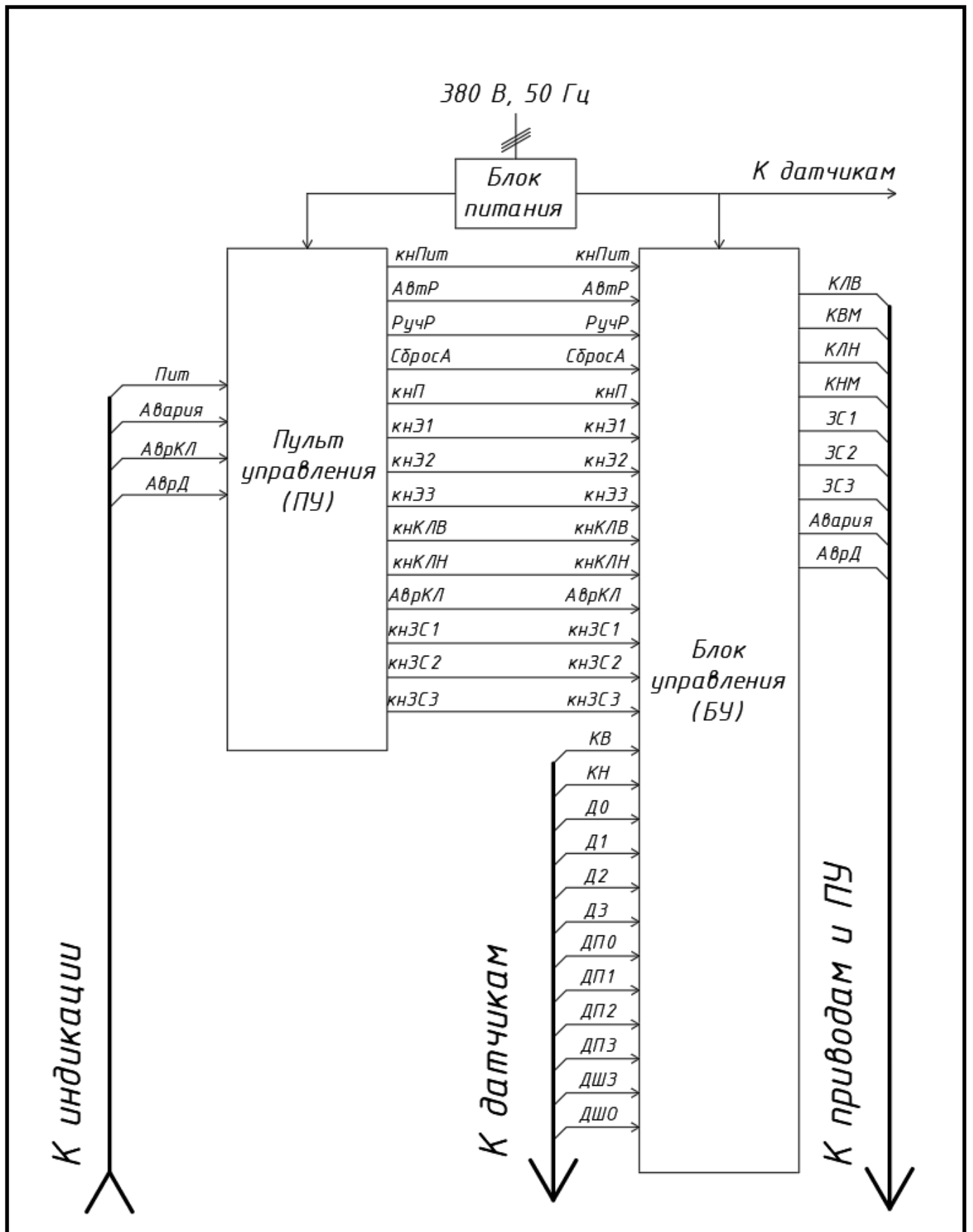


Рисунок 8.1 – Пульт и блок управления грузового лифта

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ

Лист

61

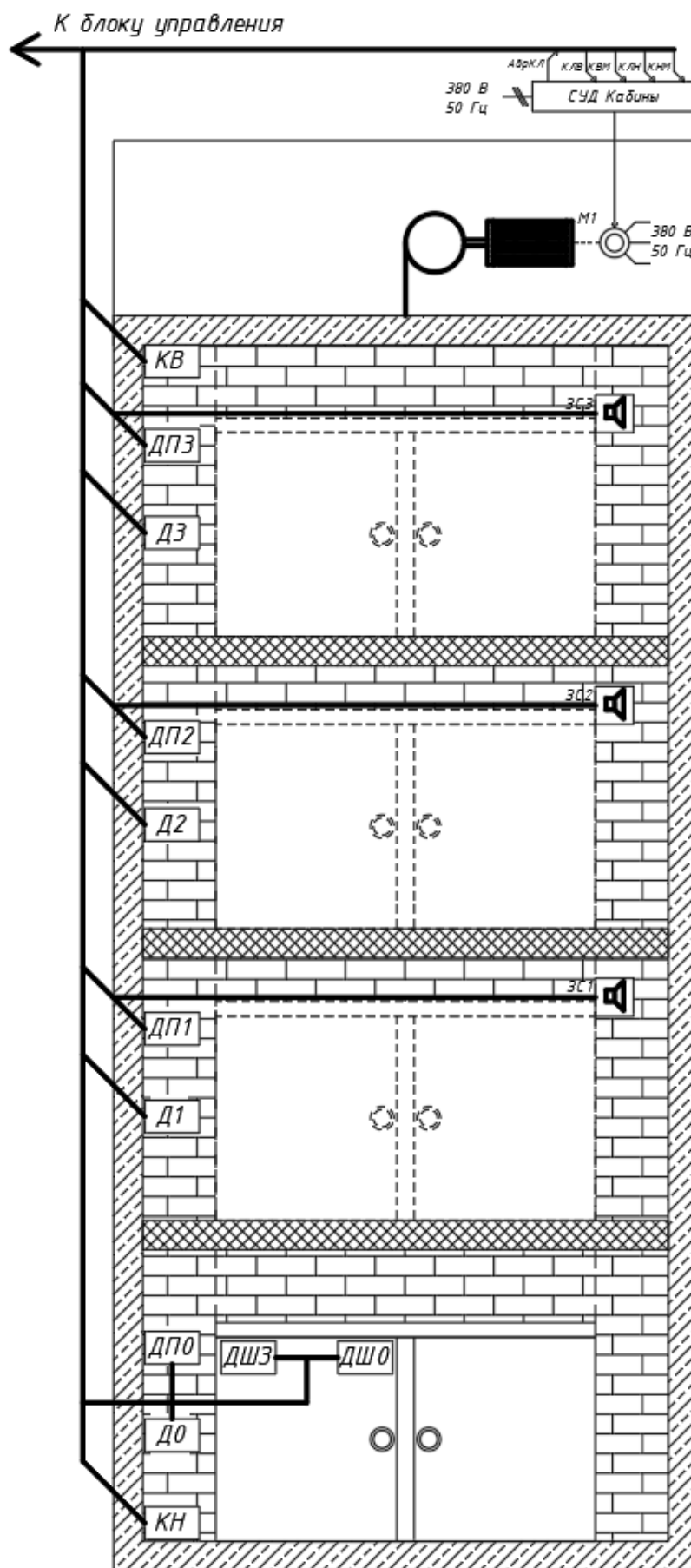


Рисунок 8.2 – Функциональная схема грузового лифта

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ

Лист

62

9 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

9.1 Выбор блока управления

В ходе проектирования системы автоматизации грузового лифта, программируемому контроллеру необходимо иметь 25 входных и 9 выходных сигналов. Для нашей системы автоматизации подходит универсальный контроллер фирмы OMRON CPM2A-60CDR-D, предназначенный для небольших систем.

Контроллер включает в себя фиксированное количество точек ввода/вывода (36 входных и 24 выходных сигналов) и поддерживает дополнительные модули расширения для дальнейшей модернизации системы.

Основные достоинства ПЛК:

- Функция часов реального времени;
- От 20 до 60 дискретных входов/выходов + съемные клеммные блоки;
- Встроенный счетный вход на частоту до 20 кГц, два импульсных выхода с частотой импульсов 10 кГц;
- Два встроенных полностью открытых порта связи;
- Модули расширения для дискретного, аналогового и удаленного ввода/вывода;
- Все модели CPM2A имеют интерфейс RS-232, что дает возможность оперативно подключаться к панели оператора;
- Возможность организовать позиционирование благодаря наличию импульсных входов/выходов;
- Сменный клеммный блок обеспечивает удобство подключения;
- Унифицированные модули расширения с моделью CPM1A.



Рисунок 9.1 – Внешний вид контроллера CPM2A-60CDR-D

9.2 Выбор датчиков технологической информации

Для определения положений кабины и дверей лифта выберем оптический датчик E3ZM-B61-C фирмы «OMRON». Датчик состоит из излучателя и приемника, встроенных в корпус. Сигнал поступает с датчика при прерывании оптического излучения между излучателем и катафотом.

Таблица 9.1 – Технические параметры оптического датчика E3ZM-B61-C

Наименование параметра	Размерность	Значение
Напряжение питания	В	12...24 DC
Номинальный ток	мА	100
Зона чувствительности	м	0,5
Тип выхода	—	NPN
Рабочая температура	°C	-40...+60
Степень защиты	—	IP67



Рисунок 9.2 – Внешний вид оптического датчика EZM-B61-C

9.3 Выбор блока питания

Выбор блока питания необходимо производить с учетом мощности всех потребителей, питающихся от него (контроллер, датчики и пульт управления).

Рассчитаем необходимую мощность:

$$P_{\text{Потр}} = U_{\text{контр.}} \cdot I_{\text{контр}} + 11 \cdot U_{\text{Датч}} \cdot I_{\text{Датч}}$$

$$P_{\text{Потр}} = 24 \cdot 1 + 12 \cdot 24 \cdot 0,1 = 52,8 \text{ Вт.}$$

По полученной мощности выберем блок питания RS-75-24 — AC/DC преобразователь мощностью 76 Вт, производства компании «Mean Well» серии RS. Его технические характеристики представлены в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Технические характеристики источника питания RS-75-24

Наименование параметра	Размерность	Значение
Входное напряжение	В	88...264
Выходное напряжение		24
Выходная мощность	Вт	76
Выходной ток, до	А	3,2
КПД	%	88,5

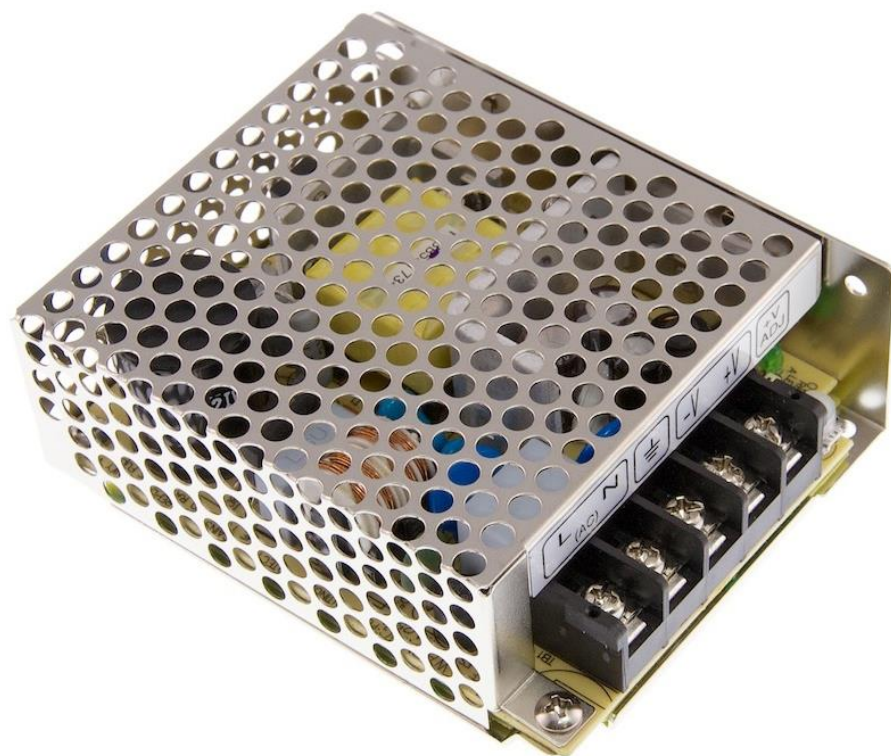


Рисунок 9.3 – Внешний вид блока питания RS-75-24

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ

10 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ

10.1 В соответствии с выбранной элементной базой и разработанной функциональной схемой системы автоматизации (рисунки 8.1 и 8.2) была составлена принципиальная схема (чертеж ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.02 ЭЗ).

10.2 Автоматический выключатель QF1 обеспечивает питание всей системы, а также осуществляет защиту от токов короткого замыкания.

С помощью контактора KM1 реализована нулевая защита двигателей, которая исключает самозапуск электродвигателей при исчезновении или резком снижении напряжения питающей сети. При повороте ключ-бирки SA1 подается питание на силовые цепи и на пульт управления, после ее отпускания происходит самоподхват. В случае нажатия кнопки SB1 силовые цепи разрываются.

Автоматический выключатель QF2 обеспечивают питание системы управления двигателем грузового лифта и защищает ее от токов короткого замыкания.

10.3 Блок питания G1 с выходным напряжением 24 В подает питание на основные низковольтные элементы пульта управления A1, контроллер A2 и датчики SQ1-SQ12.

10.4 Пульт A1 обеспечивает управление всем технологическим процессом в ручном и автоматическом режиме, а также индикацию сигналов готовности и аварийных режимов.

10.5 Автоматизация технологического процесса реализуется программируемым контроллером A2. Входные сигналы поступают с пульта управления A1, датчиков технологической информации SQ1-SQ12 и преобразователя UZ1, а выходные сигналы подаются на преобразователь частоты UZ1 и индикацию пульта управления HL2-HL6.

10.6 В данной системе автоматизации для фиксации положений механизмов используются датчики SQ1-SQ12. Выходы датчиков подключены к контроллеру A2.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		67

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был спроектирован электропривод грузового лифта. После расчётов нагрузок и приведению их к валу двигателя был выбран асинхронный электродвигатель серии 4МТКФ(Н)132L6.

Двигатель был проверен по нагреву и по перегрузке. Далее была рассчитана нагрузочная диаграмма двигателя.

Для управления электроприводом был выбран частотный преобразователь лифтовой серии ЕЗ-9100-010Н фирмы «ВЕСПЕР».

После расчёт электропривода было приведено описание автоматизации технологического процесса, по которому составлен список сигналов и разработан алгоритм работы системы автоматизации.

Заключительным этапом являлся синтез функциональной и принципиальной схем, в соответствие с выбранным оборудованием.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.370.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		68

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключев, В. И. Теория электропривода: Учебник для вузов / В. И. Ключев. - Москва: ЭнергоАтомИздат, 2001. - 704 с.
2. Шрейнер, Р. Т. Электромеханические и тепловые режимы асинхронных двигателей в системах частотного управления. Учебное пособие для ВУЗов. / Р. Т. Шрейнер, А. В. Костылев, В. К. Кривовяз. - Екатеринбург, 2008. - 361 с.
3. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием, учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г. Г. Соколовский. - Москва: Изд. центр Академия, 2006. - 272 с
4. Ильинский, Н. Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н. Ф. Ильинский, В. В. Москаленко - Москва: Изд. центр Академия, 2008 - 208 с.
5. Москаленко, В. В. Электрический привод: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. В. Москаленко - Москва: Изд. центр Академия, 2007 - 368 с.
6. Онищенко, Г. Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок / Г. Б. Онищенко, М. И. Аксенов, В. П. Грехов - Москва: РАСХН, 2001 - 520 с.
7. Кравчик, А. Э. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская - Москва: Энергоиздат, 1982 - 504 с.

