

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Институт открытого и дистанционного образования
Кафедра «Техника, технологии и строительство»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
к.т.н., доцент
_____ К.М. Виноградов
_____ 2021г.

Модернизация электропривода пассажирского лифта грузоподъемностью 630
кг

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–13.03.02.2021.162.00.000 ПЗ ВКР

Руководитель работы,
ст. преподаватель
_____ Т.Н. Усиевич
_____ 2021г.

Автор работы
студент группы ДО – 514
_____ Е.А. Кожевников
_____ 2021г.

Нормоконтролер,
преподаватель
_____ О.С. Микерина
_____ 2021г.

Челябинск,
2021

АННОТАЦИЯ

Кожевников, Е.А. Модернизация электропривода пассажирского лифта грузоподъемностью 630 кг – Челябинск: ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», ИОДО; 2021, __ с., __ ил., библиографический список – 6 наименований, 6 листов чертежей ф.А3.

После анализа существующего технологического процесса предложен вариант комплексной модернизации электроприводов грузового лифта с применением асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором крановой серии и управлением от преобразователей частоты.

Произведена настройка параметров преобразователя частоты в режим векторного управления с датчиком скорости.

Также выбран программируемый логический контроллер и выполнена автоматизация механизмов лифта.

					13.03.02.2021.162.00.000 ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.		Кожевников Е.А			Модернизация электропривода пассажирского лифта грузоподъемностью 630 кг	Лит.	Лист	Листов		
Провер.		Усевич Т.Н.				В	4	64		
Реценз.						ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» ИОДО Кафедра «ТТС»				
Н. Контр.		Микерина О.С.								
Утверд.		Виноградов К.М.								

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
1. Описание технологического процесса	7
1.1 Описание механизмов, рабочих органов, кинематическая схема	7
1.2 Исходные данные для проектирования	10
2. Расчет мощности электродвигателя	12
2.1 Расчет нагрузочных диаграмм скорости и моментов рабочего органа	12
2.2 Предварительный расчет мощности электродвигателя	19
2.3 Предварительный выбор электродвигателя и редуктора	22
2.4 Приведение статических моментов и моментов инерции	27
2.5 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности	34
3. Выбор основных элементов силовой цепи	40
3.1 Выбор преобразователя	40
3.2 Выбор коммутационных аппаратов	60
3.3 Шкаф управления электроприводом	63
4. Расчет статических характеристик электропривода	65
5. Расчет переходных процессов электропривода	71
6. Интегральные показатели переходных процессов	77
6.1 Проверка двигателя и преобразователя по нагреву	77
6.2 Проверка на перегрузочную способность	79
7. Автоматизация электропривода	80
7.1 Выбор ПЛК	80
7.2 Логические уравнения	80
7.3 Программирование ПЛК	81
8. Разработка электрической принципиальной схемы электропривода	85
9. Разработка функциональной схемы автоматизации электропривода	86
Заключение	89
Библиографический список	90

ВВЕДЕНИЕ

Энергосбережение сегодня - одна из важнейших задач.

Экономия энергии также включает экономию энергии за счет новых технологий. Одна из таких технологий - внедрение преобразователя частоты в электропривод.

В этой работе описывается модернизация главного привода лифта путем введения преобразователя частоты в систему управления и замены старого двухскоростного двигателя односкоростным.

Использование частотно-регулируемого привода улучшает такие параметры привода, как:

1. Энергосбережение.
2. Уменьшите уровень шума.
3. Комфортное движение подъемника (без рывков).
4. Снизить эксплуатационные расходы лифта.

Односкоростной АД из общепромышленной серии позволяет:

1. Сократить срок окупаемости.
2. Уменьшить момент инерции.
3. Снизить затраты на техническое обслуживание двигателя.

Все расчеты приведены в пояснительной записке к диплому.

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		5

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1.1 Описание механизмов лифта

На предприятии используется лифт грузоподъемностью 630 кг. Пассажирский лифт используется для передвижения между этажами промышленного здания высотой 25 м (9 этажный корпус). На рисунке 1.1. приведена кинематическая схема лифта.

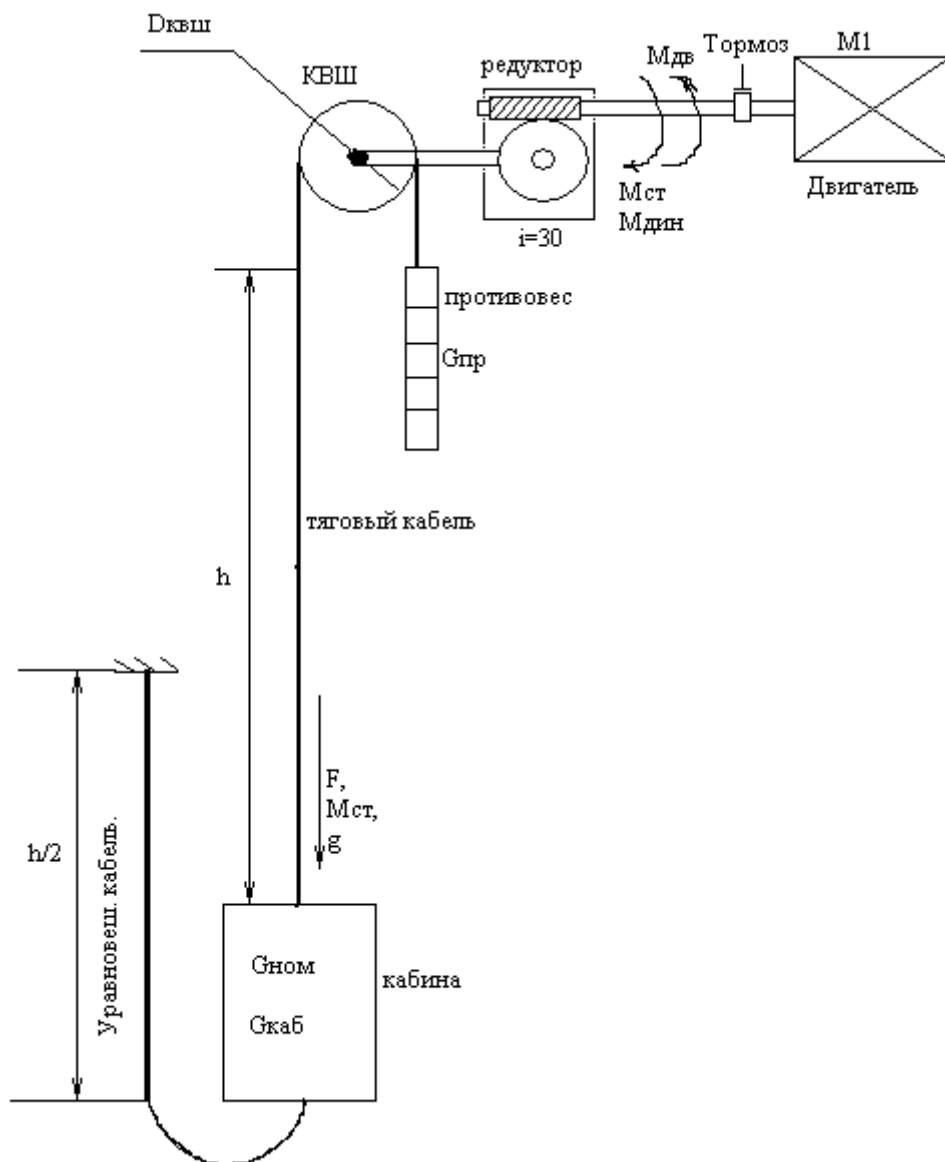


Рисунок 1.1 – Кинематическая схема лифта

Основные узлы:

- двигатель, служит для создания момента на валу КВШ;
- эл.м. тормоз, служит для создания тормозного момента;
- червячный редуктор, служит для приведения моментов на быстроходном валу двигателя к тихоходному валу КВШ;
- КВШ, канатоведущий шкив, служит для создания момента;

					Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	6

- противовес;
- тяговый канат;
- кабина;
- уравнивающий канат.

Также на кинематической схеме (рисунок 1.1) представлены взаимодействия основных узлов лифта, на которой показаны силы взаимодействия. Устройство лифта подразумевает наличие определенных компонентов вне зависимости от принципа работы лифта. Кабина пассажирского лифта закреплена на тросе, перекинутом через шкив (колесо с канавкой или ободом по окружности). На другом конце троса прикреплен противовес – груз, который уравнивает кабину. Когда кабина лифта приводится в движение электрическим двигателем, противовесы опускаются вниз и поднимают кабину (или же наоборот – кабина опускается, а противовесы поднимаются). Вал электропривода передает через редуктор вращательное движение на КВШ. Канатоведущий шкив и тяговый канат преобразуют вращательное движение в поступательное. Кабина лифта начинает подниматься. Уравнивающий канат необходим для компенсации веса тягового каната. Червячный редуктор очень прост, поэтому у него $\eta = 75\%$, а также он позволяет кабине находиться в неподвижном положении. Безопасность лифта обеспечивается тормозом, удерживающим противовес и кабину зафиксированными. Тормоз служит для останова вращения двигателя, чтобы кабина точно остановилась на уровне этажа (± 3 см), а также для удержания ее на месте.

Функциональные части лифта выполняют следующие функции:

Шахта лифта - устройство, исключаящее возможность травмирования пассажиров, ожидающих кабину на посадочных площадках, движущимися кабиной и противовесом, а также в нём установлено другое оборудование лифта;

Машинное помещение - часть шахты (или иное помещение), предназначенное для установки приводного механизма, вводного устройства, аппаратуры управления лифтом, ограничителя скорости движения;

Лебёдка главного привода - выполняет подъём и спуск кабины лифта в двух режимах - на большой и на малой скоростях;

Тяговые канаты - при помощи тяговых канатов лебёдка главного привода поднимает или опускает закрепленные на них кабину и противовес;

Подвеска - служит для крепления концов канатов к кабине и противовесу;

Ловители - предназначены для остановки кабины (противовеса) на направляющих при движении вниз, если скорость движения кабины (противовеса) превысит номинальную скорость движения лифта (противовеса);

Купе кабины - служит для размещения пассажиров и (или) груза перемещаемого лифтом;

Отводка кабины - предназначена для переключения скорости движения лифта с большой на малую путём воздействия на этажный переключатель;

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		7

Направляющие башмаки - устройства, расположенные (закреплённые) на кабине и противовесе, охватывающие своими элементами скольжения или качения направляющие, ограничивающие, таким образом, перемещение кабины и противовеса в горизонтальном направлении и позволяющие им перемещаться в вертикальном направлении;

Этажный портал - проём в ограждении шахты со стороны этажной площадки, в котором крепятся двери шахты;

Направляющие кабины - устройство, установленное в шахте, которое определяет положение кабины в шахте путём ограничения перемещения в горизонтальном направлении, и позволяют свободно перемещаться в вертикальном положении;

Направляющие противовеса - устройство, установленное в шахте, которое определяет положение противовеса в шахте путём ограничения перемещения в горизонтальном направлении, и позволяют свободно перемещаться в вертикальном положении;

Противовес - уравнивает часть полезного груза загруженной кабины для облегчения запуска лебёдки главного привода;

Буфер - предназначен для ограничения хода кабины или противовеса в случае опускания их ниже нижнего рабочего положения;

Помещение приямка - помещение внизу шахты, в котором находятся буфера и натяжное устройство ограничителя скорости;

Натяжное устройство - механическое устройство, с помощью которого происходит отключение электрических цепей питания лифта в случае обрыва каната ограничителя скорости;

Трос ограничителя скорости - одной стороной крепится к кабине лифта и проходя через устройство ограничения скорости в машинном помещении приводит его в движение со скоростью равной номинальной скорости движения и включает устройство ограничителя скорости при превышении номинальной скорости движения вниз;

Устройство ограничителя скорости - предназначено для приведения в действие механизма включения ловителей кабины (противовеса) при превышении номинальной скорости движения вниз;

Станция управления лифтом - устройство, в котором находятся предохранительные устройства, блоки, реле и контакторы, служащие для управления работой лифта.

Шахта и кабина имеют двери, которые открываются синхронно, остаются открытыми в соответствии с настройками реле времени. Когда реле срабатывает, электродвигатель привода дверей захлопывает их. Безопасность лифта обеспечивается тормозом, удерживающим противовес и кабину зафиксированными. Приямок лифта, находящийся внизу шахты, служит вместилищем буферов и натяжного устройства ограничителя скорости, который, в свою очередь канатами связан с ловителями. Блокировка кабины лифта в случае обрыва или ослабления тросов осуществляется с помощью

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		8

ловителей, которые останавливают движение. Они же выполняют функцию тормоза при превышении кабиной или противовесом заданной скорости.

Общий принцип работы лифта

Для управления движения кабины служат кнопочные аппараты, расположенные на стене внутри кабины или на стене этажной площадки здания. Электрический сигнал от кнопочного аппарата передаётся по подвесному кабелю и проводам в шахте в станцию управления лифтом на этажное реле задействованного этажа. Если кабина лифта стоит на этаже, на котором нажата кнопка, то сигнал подаётся в станцию управления, через этажное реле обратно в шахту и по проводам на этажный переключатель, центральную коробку, подвесной кабель, на кабину и на привод дверей кабины - двери открываются или закрываются. После отработки реле времени кнопки вызовов или приказов будут включены в работу. Если пассажир нажимает кнопку вызова (кабина находится на другом этаже) или кнопку приказа когда кабина находится на нём тогда сигнал передаётся в станцию управления на реле движения, реле точной остановки, реле контроля дверей и на этажное реле, оно своими контактами подаёт напряжение на контактор направления движения, который своими блок - контактами включает реле движения. Реле движения своими соответствующими контактами включает электромагнит тормоза. Одновременно с включением контактора направления включается контактор скорости движения. Контактор направления и контактор скорости движения подают напряжение на лебёдку главного привода - кабина начинает движение. На большой скорости кабина движется до тех пор, пока отводка кабины не разомкнёт контакты (через которые подпитывается контактор большой скорости) этажного переключателя нужного этажа, отключается контактор большой скорости и своими блок - контактами подаёт напряжение на катушку контактора малой скорости - включается малая скорость движения лифта. Движение лифта на малой скорости продолжается до тех пор, пока кабина не доедет до датчика точной остановки расположенного на направляющей движения кабины. По сигналу датчика точной остановки электродвигатель лебёдки главного привода и катушка приводного электромагнита тормоза отключаются от электрической сети, кабина затормаживается и удерживается тормозом в неподвижном состоянии. Одновременно подаётся питание на электродвигатель привода дверей кабины. Двери автоматически открываются совместно с дверями шахты и остаются открытыми после выхода пассажиров из кабины в течение сравнительно малого промежутка времени, задаваемого реле времени в цепи управления лифтом. Затем реле времени замыкает свои контакты и подаёт питание на электродвигатель привода дверей кабины - двери закрываются. Лифт свободен и готов к работе по вызову, о чём свидетельствуют погасшие сигнальные лампочки вызывных аппаратов, установленные на каждом посадочном этаже.

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		9

Лебедка установлена в машинном помещении лифта и предназначена для приведения в движения кабины и противовеса.

Основными составными частями лебедки являются: редуктор, тормоз, рама, двигатель, канатоведущий шкив.

Все элементы лебедки смонтированы на раме, которая опирается на перекрытия машинного помещения через амортизаторы.

Редуктор червячный цилиндрический предназначен для уменьшения частоты вращения с одновременным увеличением крутящего момента на выходном валу.

Уровень масла контролируется жезловым маслоуказателем. Слив масла производится через отверстие в нижней части корпуса, закрытое пробкой.

Тормоз колодочный, нормально-замкнутого типа предназначен для остановки и удержания в неподвижном состоянии кабины лифта при неработающем двигателе лебедки. Тормоз состоит из электромагнита, рычагов с закрепленными на них фрикционными накладками. Необходимый тормозной момент создается пружинами. Для ручного растормаживания служит выдвижная рукоятка.

Двигатель асинхронный двухскоростной с короткозамкнутым ротором. В обмотку статора вмонтированы датчики температурной защиты.

Канатоведущий шкив преобразует вращательное движение в поступательное движение тяговых канатов за счет силы трения, возникающей между канатом и ручьями шкива под действием силы тяжести кабины и противовеса.

Кабина лифта подвешена на тяговых канатах в шахте и предназначена для перевозки пассажиров.

Кабина лифта состоит из верхней балки, потолка, пола, створок дверей кабина, привода дверей и балки нижней.

На балках установлены: ловители, подвеска кабины, башмаки.

Потолок является верхней частью кабины. На потолке размещаются светильники и коробка с блоками зажимов для подключения проводов, а также кнопка деблокирования шахтных дверей, при нажатии на которую возможно движение кабины в режиме ревизии.

Для контроля натяжения канатов, на балке установлена рамка и выключатель контроля слабины канатов.

При одновременном обрыве или ослаблении всех тяговых канатов кольцо стяжное, опускаясь, через тягу штырем нажимает на рамку, которая воздействует на выключатель.

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

Ловители – клиновые, под пружинные, плавного торможения. Ловители рассчитаны на совместную работу с ограничителем скорости и являются одним из ответственных узлов, обеспечивающих безопасное пользование лифтом.

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		10

Ловители состоят из четырех одинаковых по конструкции механизмов заклинивания и механизма включения ловителей

Механизм заклинивания состоит из тормозного башмака, перемещающегося вертикально относительно колодки, приближаясь при этом к направляющей, основными элементами тормозного башмака являются пружина и клин, установленные в корпусе.

Механизм включения состоит из двух рычагов клиньев, закрепленных на валах, валы соединены между собой тягой, на которой размещена возвратная пружина, гайки регулировочные, рычаг канатом соединяет ограничитель скорости с механизмом включения ловителей.

и противовеса.

1.2 Исходные данные

В лифте использована система с индивидуальным управлением. Исходные данные приведены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Исходные данные лифта

Наименование	Тип	Масса, кг	Примечание
Кабина лифта	ЛП-0621	740	УХЛ, грузоподъемность 630 кг
Тяговый канат	ЛК-0 6*19(1+9+9)+1 о.с.	39,4кг/100м	Диаметр d=10,5 мм Длина одного элемента l=54 м Мин.разр. нагрузка 52,65 кН; Кз=15,5
Противовес	----- ---	992	Находиться сзади
Лебедка	ЛЛ-0501	-----	Передаточное число редуктора i=30 Диаметр КВШ D=650 мм Скорость подъема V=1м/с, КПД=0,75
Двигатель главного привода	5АН200S6/ 24	-----	n=920/210 об/мин P=5,6/1,3 кВт До 180 пусков/часКПД=83%
Шкаф управления лифтом	ШОК5906	-----	Используется вместе с блокомЯОК9501УХЛ4
Блок парного управления лифтами А и Б	ЯОК9501У ХЛ4	-----	Один на два шкафа управления
Электромагнитный тормоз	КМТД-100	11	M _т = 40 Нм, D _{шк} = 160 мм,

Сформулируем требования к электроприводу.

- 1) Режим работы повторно-кратковременный;
- 2) Реверсивность привода;
- 3) Плавность хода;
- 4) Точность остановки ± 3 см;
- 5) Надежность;
- 6) Экономичность;
- 7) Диапазон регулирования 5:1.

Выводы по разделу один. Описана работа пассажирского лифта, приведены исходные данные. Сформулированы требования к электроприводу.

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		12

2 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

2.1 Расчет нагрузочных диаграмм скорости и моментов

Определяем количество предполагаемых человек в кабине лифта грузоподъемностью 630 кг при высоте здания в 16 этажей и среднем весе человека 80 кг по формуле:

$$n_n = G_{ном} / G_{пас}, \quad (2.1)$$

где $G_{ном}$ – грузоподъемность $G_{ном} = 630 \cdot 9,8 = 6174 \text{ Н}$;

$G_{пас}$ – вес пассажира $G_{пас} = 80 \cdot 9,8 = 784 \text{ Н}$;

$n_n = 6174 / 784 = 7,875 \text{ н.}$

Принимаем количество предполагаемых остановок $N_o = 16$, количество человек $n_n = 8$.

$$\Delta G = G_{ном} / N_o, \quad (2.2)$$

где ΔG - изменение груза кабины, Н;

$G_{ном}$ - грузоподъемность, Н;

N_o - количество предполагаемых остановок.

$$\Delta G = 6174 / 16 = 385,875 = 386 \text{ Н.}$$

Определяем тяговое усилие кабины,поднимающейся с 1 этажа при номинальной загрузке по выражению:

$$F = G_{каб} + G_{ном} + 4 \cdot q_{т.к.} \cdot (H - h \cdot N) + q_{у.к.} \cdot (0,5 \cdot (N - 1) \cdot h) - G_{п}, \quad (2.3)$$

где $G_{ном}$ – грузоподъемность, Н;

$G_{каб}$ – вес кабины, Н;

$q_{т.к.}$ – вес 1 метра тянущего каната, Н;

H - высота шахты, м;

h –высота от пола этажа до верха кабины, м;

N – номер этажа;

$q_{у.к.}$ –вес 1 метра уравновешивающего каната, Н;

$G_{п}$ – вес противовеса, $G_{п} = G_{каб} + 0,4 \cdot G_{ном}$, Н.

$$F = 0,6 \cdot G_{ном} + 4 \cdot q_{т.к.} \cdot (H - h \cdot N) + q_{у.к.} \cdot (0,5 \cdot (N - 1) \cdot h) \quad (2.4)$$

$$F = 6174 \cdot 0,6 + 4 \cdot 3,9 \cdot (51 - 3 \cdot 1) + 22 \cdot (0,5 \cdot (1 - 1) \cdot 3) = 4453,5 \text{ Н};$$

Определяем тяговое усилие пустой кабины, опускающейся с последнего этажа:

$$F' = 4 \cdot q_{т.к.} \cdot (H - h \cdot N) + q_{у.к.} \cdot (0,5 \cdot (N - 1) \cdot h) - 0,4 \cdot G_{ном}, \quad (1.6.5)$$

где F' – тяговое усилие кабины, Н;

N – порядковый номер остановки;

h –высота от пола этажа до верха кабины, м;

$q_{у.к.}$ – вес 1 метра уравновешивающего каната, Н;

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		13

qt.к.– вес 1 метра тянущего каната, Н;

Гном– грузоподъемность, Н.

Получаем в числовом выражении:

$$F' = 4 \cdot 3,9 \cdot (51 - 3 \cdot 16) + 22 \cdot (0,5 \cdot (16-1) \cdot 3) - 6174 \cdot 0,4 = -1928 \text{ Н};$$

Теперь определяем статический момент нагрузки на валу двигателя в двигательном режиме при подъеме загруженной кабины:

$$M_{ст1} = F \cdot d / 2 \cdot i \cdot \eta, \quad (2.6)$$

где d – диаметр КВШ, м;

i– передаточное число редуктора;

η – КПД (при спуске и подъеме КПД=0,75);

F - тяговое усилие кабины.

$$M_{ст1} = 4453,5 \cdot 0,65 / 2 \cdot 30 \cdot 0,75 = 64,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Определяем статический момент на валу двигателя в двигательном режиме при спуске пустой кабины.

При спуске тяговое усилие берется со стороны противовеса:

$$M_{ст2} = - F' \cdot d / 2 \cdot i \cdot \eta, \quad (2.7)$$

где d – диаметр КВШ, м;

i– передаточное число редуктора;

η – КПД (при спуске и подъеме КПД=0,75).

F' - тяговое усилие кабины

$$M_{ст2} = - (-1928 \cdot 0,65) / 2 \cdot 30 \cdot 0,75 = 28 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определяем время рейса кабины за полный ход:

$$t_p = K_t \cdot 2 \cdot H / V_k, \quad (2.8)$$

где H – высота шахты, м;

V_k – скорость движения кабины, м/с.

K_t – коэффициент учитывающий дополнительные затраты времени при работе лифта, равен 1,2.

$$t_p = 1,2 \cdot 2 \cdot 51 / 1 = 122,4 \text{ с.}$$

Определяем полное время цикла движения кабины:

$$T = t_p + 2 \cdot N_o \cdot t' + 2 \cdot N_o \cdot t'', \quad (2.9)$$

Где N_o – количество остановок;

t' – время открытия и закрытия дверей, с;

t'' – время входа и выхода пассажиров, с;

t_p – время рейса кабины за полный ход, с;

$$T = 122,4 + 2 \cdot 16 \cdot 7 + 2 \cdot 16 \cdot 1 = 378,4 \text{ с.}$$

Определяем время движения кабины от одной станции до другой:

$$t''' = t_p / 30, \quad (2.10)$$

где t_p – время рейса кабины за полный ход, с;

30 – максимальное количество остановок за рейс;

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		14

$$t''' = 122,4 / 30 = 4,08 \text{ с.}$$

Определяем расчетную продолжительность включения двигателя:

$$ПВр = t_p \cdot 100\% / T \quad (2.11)$$

где t_p - время рейса кабины за полный ход, с;

T - полное время цикла движения кабины, с;

$$ПВр = 122,4 \cdot 100\% / 378,4 = 32,3 \%$$

Данные двухскоростного АД используемого в приводе лифта представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Параметры двухскоростного двигателя лифта

Тип	Р _{ном} , кВт	поб/мин	КПД, %	Cos φ	I _{ном} , А	M _{ном} , Н*м	$\frac{M_{пуск}}{M_{ном}}$	I _{пуск} I _{ном}	Число пусков	J, Кг*м ²	Масса, кг
5АН200S6/24	5,6	920	83	0,76	13,5	60	2,3(13 8)	5,5	180	0,46	215
	1,3	210	-	-	18,8	60	1,8 (108)	-			

Определяем максимальный момент двигателя:

$$\begin{aligned} M_{\text{макс}} &= 2,8 \cdot M_{\text{ном}}, \\ M_{\text{макс}} &= 2,8 \cdot 60 = 168 \text{ Н}\cdot\text{м}. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Определяем пусковой момент двигателя на большой скорости:

$$\begin{aligned} M_{\text{пуск}} &= 2,3 \cdot M_{\text{ном}}, \\ M_{\text{пуск}} &= 2,3 \cdot 60 = 138 \text{ Н}\cdot\text{м}. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Определяем пусковой момент двигателя на малой скорости:

$$\begin{aligned} M_{\text{пуск.м.}} &= 1,8 \cdot M_{\text{ном}}, \\ M_{\text{пуск.м.}} &= 1,8 \cdot 60 = 108 \text{ Н}\cdot\text{м}; \end{aligned} \quad (2.14)$$

Определяем массу кабины на соответствующих остановках:

$$m = F/g, \quad (2.15)$$

где F – тяговое усилие кабины с учетом канатов, Н;

g – ускорение свободного падения, Н;

m_1 – масса загруженной кабины, кг;

m_2 – масса пустой кабины, кг;

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		15

$$m_1 = F/9,8 = 454,4 \text{ кг};$$

$$m_2 = F'/9,8 = 196,7 \text{ кг};$$

Далее определяем угловую скорость вращения вала двигателя:

$$\omega_{\text{дв}} = n / 9,55, \quad (2.16)$$

где n – количество оборотов двигателя, об/мин;

$$\omega_{\text{дв}} = 920 / 9,55 = 96,3 \text{ рад/с}.$$

Теперь посчитаем момент инерции вращающихся тел и механизмов поступательного движения при пуске и при номинальной загрузке кабины:

$$J_1 = 1,2 \cdot J_{\text{дв}} + m_1 \cdot (V_k / \omega_{\text{дв}})^2, \quad (2.17)$$

где J_1 – момент инерции при номинальной загрузке кабины, кг·м²;

$J_{\text{дв}}$ – момент инерции двигателя, кг·м²;

m_1 – масса загруженной кабины на остановках, кг;

V_k – скорость движения кабины, м/с;

$\omega_{\text{дв}}$ – угловая скорость двигателя, рад.

Получаем:

$$J_1 = 1,2 \cdot 0,46 + 454,4 \cdot (1 / 96,3)^2 = 0,6 \text{ кг·м}^2;$$

Далее вычислим момент инерции при пуске пустой кабины :

$$J_2 = 1,2 \cdot J_{\text{дв}} + m_2 \cdot (V_k / \omega_{\text{дв}})^2, \quad (2.18)$$

где J_2 – момент инерции при пуске пустой кабины, кг·м²;

$J_{\text{дв}}$ – момент инерции двигателя, кг·м²;

m_2 – масса пустой кабины на остановках, кг;

V_k – скорость движения кабины, м/с;

$\omega_{\text{дв}}$ – угловая скорость двигателя, рад.

Получаем:

$$J_2 = 1,2 \cdot 0,46 + 196,7 \cdot (1 / 96,3)^2 = 0,6 \text{ кг·м}^2.$$

Поскольку суммарные моменты инерции J_1 и J_2 приблизительно равны, то время установившейся работы двигателя при подъеме или спуске, независимо от загруженности кабины одинаково.

Определим время пуска двигателя:

$$t_{\text{п}} = J_{\Sigma} \cdot n / 9,55 \cdot (M_{\text{пуск}} - M_{\text{ст}}), \quad (2.19)$$

где J_1 – момент инерции при номинальной загрузке кабины, кг·м²;

n – количество оборотов двигателя на большой скорости, об/мин;

$M_{\text{пуск}}$ – пусковой момент, Н·м;

$M_{\text{ст}}$ – статический момент, Н·м;

Получим:

$$t_{\text{п}} = 0,6 \cdot 920 / 9,55 \cdot (138 - 64,3) = 0,8 \text{ с}.$$

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		16

Определяем момент инерции при переходе с большой скорости на малую при полной загрузке кабины:

$$J_{\text{пер}} = 1,2 \cdot J_{\text{дв}} + m_1 \cdot (V_k - V_m / W_{\text{дв}} - W_m)^2, \quad (2.20)$$

где $J_{\text{пер}}$ —момент инерции при номинальной загрузке кабины, кг·м²;

$J_{\text{дв}}$ – момент инерции двигателя, кг·м²;

m_1 – масса загруженной кабины на остановках, кг;

V_k – скорость движения кабины, м/с;

$W_{\text{дв}}$ – угловая скорость двигателя, рад/с;

V_m – малая скорость движения кабины, м/с;

W_m – малая угловая скорость двигателя, рад/с;

Получаем:

$$J_{\text{пер}} = 1,2 \cdot 0,46 + 454,4 \cdot ((1-0,23) / (96,3-22))^2 = 0,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Определим теперь время перехода с большей скорости на малую при полной загрузке кабины:

$$t_{\text{пер}} = J_{\text{пер}} \cdot (n - n_m) / 9,55 \cdot (M_{\text{пуск.м.}} - M_{\text{ст}}), \quad (2.21)$$

где $J_{\text{пер}}$ — переходный момент инерции при полной загрузке кабины, кг·м²;

n – количество оборотов двигателя на большой скорости, об/мин;

n_m – количество оборотов двигателя на малой скорости, об/мин;

$M_{\text{ст}}$ — статический момент, Н·м;

$M_{\text{пуск.м.}}$ — пусковой момент двигателя при малой скорости, Н·м.

$$t_{\text{пер}} = 0,6 \cdot 710 / 9,55 \cdot (108 + 64,3) = 0,25 \text{ с.}$$

Определяем момент инерции при малой скорости и полной загрузке кабины:

$$J_m = 1,2 \cdot J_{\text{дв}} + m_1 \cdot (V_m / W_m)^2, \quad (1.6.22)$$

где J_m —момент инерции при малой скорости и полной загрузке кабины, кг·м²;

$J_{\text{дв}}$ – момент инерции двигателя, кг·м²;

m_1 – масса загруженной кабины на остановках, кг;

V_m – малая скорость движения кабины, м/с;

W_m – малая угловая скорость двигателя, рад/с;

Получаем:

$$J_m = 1,2 \cdot 0,46 + 454,4 \cdot (0,23 / 22)^2 = 0,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

Тогда время торможения на малой скорости:

$$t_{\text{т.м.}} = J_m \cdot n_m / 9,55 \cdot (M_{\text{пуск.м.}} - M_{\text{ст}}), \quad (2.23)$$

где J_m — момент инерции при номинальной загрузке кабины, кг·м²;

n_m – количество оборотов двигателя;

$M_{\text{пуск.м.}}$ — пусковой момент двигателя при малой скорости, Н·м;

$M_{\text{ст}}$ — статический момент, Н·м;

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		17

$$t_{т.м.} = 0,6 \cdot 210 / 9,55 \cdot (108 + 64,3) = 0,08 \text{ с.}$$

Определяем время установившейся работы:

$$t_{уст.} = t''' - t_{п.} - t_{пер} - t_{т.м.} - t_{м.}, \quad (2.24)$$

где $t_{уст.}$ – время установившейся работы, с;

$t_{п.}$ – время пуска двигателя, с;

$t_{пер}$ – время перехода с большой скорости на малую, с;

$t_{т.м.}$ – время торможения на малой скорости, с;

$t_{м.}$ – время движения на малой скорости, с;

Получаем для нашего лифта:

$$t_{уст.} = 4,08 - 0,8 - 0,25 - 0,08 - 1 = 1,95 \text{ с.}$$

Теперь можно построить тахограмму работы лифта. Для этого используем ранее полученные времена. Поскольку скорость кабины лифта мало зависит от загрузки, и время спуска и подъема одно и то же, то тахограмма представленная на рисунке 2 будет общей.

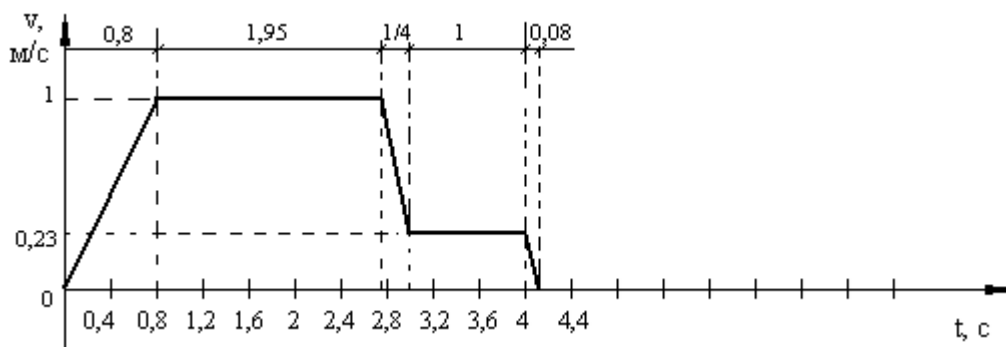


Рисунок 2.2 – Диаграмма скорости с применением двухскоростного АД

Для построения нагрузочной диаграммы двигателя определим динамические моменты (и моменты двигателя) на участках:

1. Пуск;
2. Переход с повышенной скорости на пониженную;
3. Торможение на малой скорости;

Чтобы узнать ускорение, далее определяем динамический момент при пуске:

$$M_{дин. п.} = (J_1 \cdot \omega_{дв}) / t_{п.}, \quad (2.25)$$

Где $M_{дин. п.}$ – динамический момент при пуске, Н·м;

J_1 – момент инерции при номинальной загрузке кабины, кг·м²;

$\omega_{дв}$ – угловая скорость двигателя, рад/с;

$t_{п.}$ – время пуска двигателя, с;

Получаем: $M_{дин. п.} = (0,6 \cdot 96,3) / 0,8 = 72,3 \text{ Н·м.}$

Определим теперь динамический момент при переходе с повышенной скорости на пониженную:

$$M_{\text{дин.пер.}} = (-J_{\text{пер}} \cdot W_{\text{дв. пер.}}) / t_{\text{пер}}, \quad (2.26)$$

Где $M_{\text{дин.пер.}}$ – динамический момент при переходе с большей скорости на меньшую, Н·м;

$J_{\text{пер}}$ – момент инерции при переходе с большей скорости на меньшую, кг·м²;

$W_{\text{дв. пер.}}$ – угловая скорость двигателя, рад/с;

$t_{\text{пер}}$ – время перехода с большей скорости на меньшую, с.

Получаем:

$$M_{\text{дин.пер.}} = (-0,6 \cdot 74,3) / 0,25 = -178,3 \text{ Н·м};$$

Рассчитаем тормозной момент при торможении на малой скорости:

$$M_{\text{дин.т.}} = (-J_{\text{м}} \cdot W_{\text{м}}) / t_{\text{т.м.}}, \quad (2.27)$$

Где $M_{\text{дин.т.}}$ – динамический момент при торможении, Н·м;

$J_{\text{м}}$ – момент инерции при переходе с большей скорости на меньшую, кг·м²;

$W_{\text{м}}$ – малая угловая скорость двигателя, рад/с;

$t_{\text{т.м.}}$ – время торможения, с;

Получаем:

$$M_{\text{дин.т.}} = (-0,6 \cdot 22) / 0,08 = -165 \text{ Н·м}.$$

Далее определяем моменты двигателя на этих участках в двух случаях:

1. Когда кабина загружена полностью и движется вверх;
2. Когда кабина пустая и движется вниз;

При пуске

$$M_1 = M_{\text{ст1}} + M_{\text{дин. п.}}, \quad (2.28)$$

Где M_1 – момент на валу двигателя при пуске и полностью загруженной кабине, Н·м;

$M_{\text{дин. п.}}$ – динамический момент при пуске, Н·м;

$M_{\text{ст1}}$ – статический момент на валу двигателя, Н·м;

Получаем следующий результат:

$$M_1 = 64,3 + 72,3 = 136,6 \text{ Н·м}.$$

При переходе с большей скорости на меньшую

$$M_2 = M_{\text{ст1}} + M_{\text{дин.пер.}}, \quad (2.29)$$

где M_2 – момент на валу двигателя при переходе с большей скорости на меньшую, Н·м;

$M_{\text{дин.пер.}}$ – динамический момент при переходе с большей скорости на меньшую, Н·м;

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		19

Мст1– статический момент на валу двигателя, Н·м;

Тогда получим:

$$M_2 = 64,3 - 178,3 = -114 \text{ Н·м.}$$

При торможении на малой скорости

$$M_3 = M_{ст1} + M_{дин.т.}, \quad (2.30)$$

где М3 –момент на валу двигателяпри торможении на малой скорости, Н·м;

Мдин.т.–динамический момент при торможении на малой скорости, Н·м;

Мст1– статический момент на валу двигателя, Н·м;

Получим:

$$M_3 = 64,3 - 165 = -100,7 \text{ Н·м.}$$

Для передвижения пустой кабины производим аналогичные расчеты.

Определяем момент на валу двигателя при спуске пустой кабины.

При пуске

$$M_1' = M_{ст2} + M_{дин. п.}, \quad (2.31)$$

Где М1' –момент на валу двигателя при пуске пустой кабины, Н·м;

Мдин. п.–динамический момент при пуске, Н·м;

Мст2– статический момент на валу двигателя, Н·м;

Получили:

$$M_1' = 28 + 72,3 = 100,3 \text{ Н·м.}$$

При переходе с большей скорости на меньшую:

$$M_2' = M_{ст2} + M_{дин. пер.}, \quad (2.32)$$

где М2' –момент на валу двигателя при переходе с большей скорости на меньшую, Н·м;

Мдин. пер.–динамический момент при переходе с большей скорости на меньшую, Н·м;

Мст2– статический момент на валу двигателя, Н·м;

Получили в числовом выражении:

$$M_2' = 28 - 178,3 = -150,3 \text{ Н·м.}$$

Теперь при торможении на малой скорости:

$$M_3' = M_{ст2} + M_{дин.т.}, \quad (2.33)$$

где М3' –момент на валу двигателяпри торможении на малой скорости, Н·м;

Мдин.т.–динамический момент при торможении на малой скорости, Н·м;

Получили в результате подстановки числовых значений:

$$M_3' = 28 - 165 = -137 \text{ Н·м.}$$

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		20

Переходим к построению нагрузочной диаграммы двигателя. Теперь можно построить нагрузочные диаграммы работы двигателя лифта при подъеме загруженной кабины (рисунок 3) и при спуске пустой кабины (рисунок 4). Для этого используем ранее полученные моменты и времена.

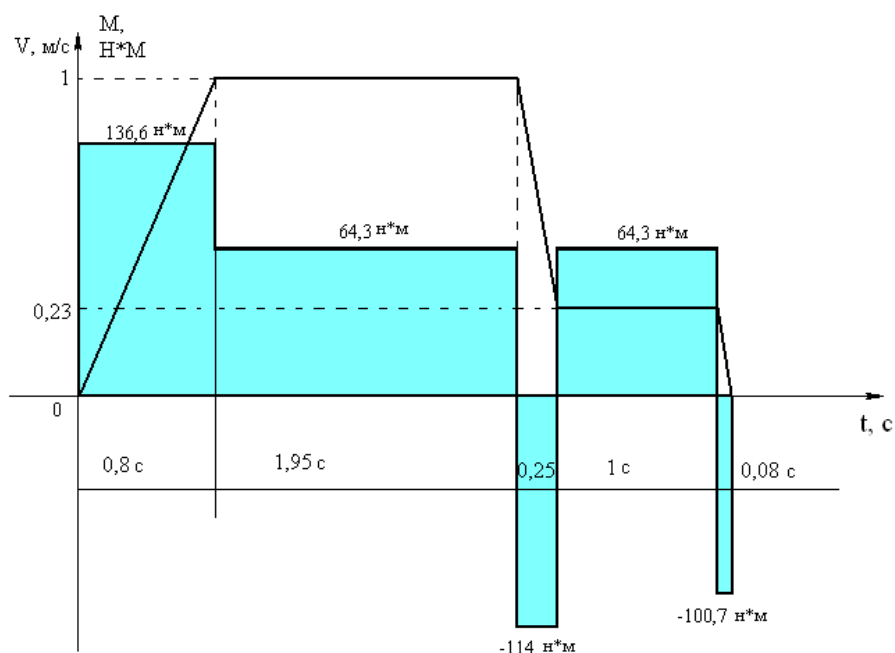


Рисунок 2.3 – Нагрузочная диаграмма скорости и моментов двигателя при подъеме загруженной кабины

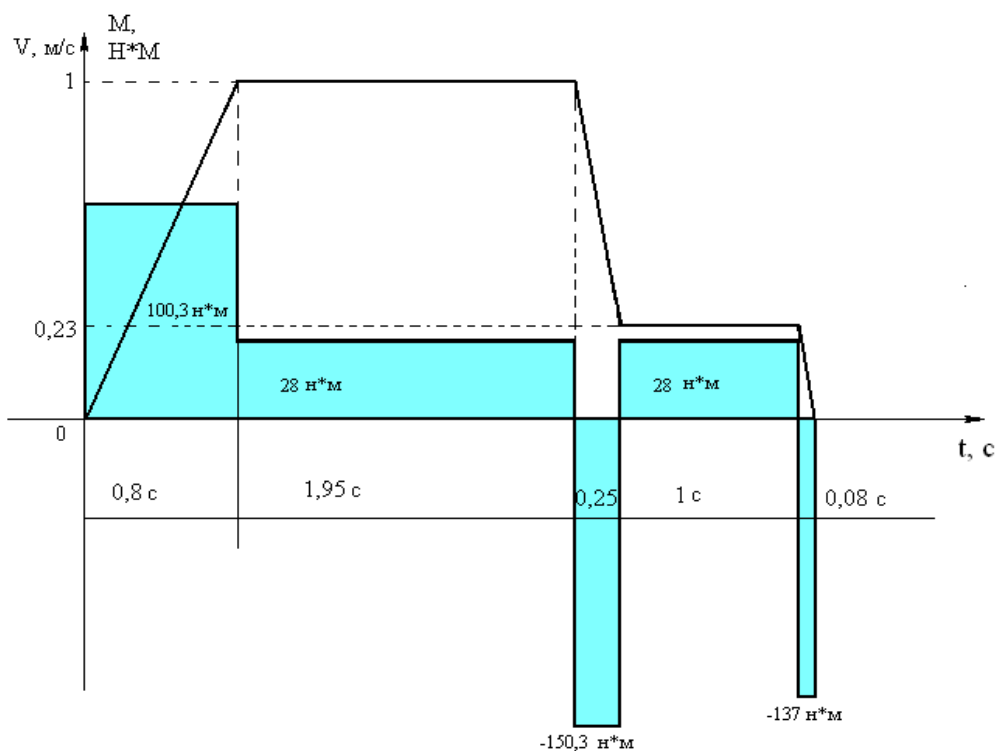


Рисунок 2.4 – Нагрузочная диаграмма скорости и моментов двигателя при спуске пустой кабины

2.2 Предварительный расчет мощности электродвигателя

Определяем эквивалентный момент на валу двигателя с учетом продолжительности включения по формуле 1.7.1:

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{M_{\text{СТ1}}^2 \cdot t''' + M_{\text{СТ2}}^2 \cdot t'''}{2 \cdot t'''}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\text{Р}}}{ПВ_{\text{НОМ}}}}, \text{Н} \cdot \text{м}, \quad (2.34)$$

где $M_{\text{СТ}}$ – статический момент на валу двигателя, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

t''' – время движения кабины от одной станции до другой, с;

$ПВ_{\text{Р}}$ – расчетная продолжительность включения двигателя;

$ПВ_{\text{НОМ}}$ – номинальная продолжительность включения двигателя.

$$M_{\text{ЭКВ}} = 44,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определяем скорость вращения двигателя:

$$n_{\text{расч}} = 60 \cdot V_{\text{К}} / i \cdot П \cdot D, \quad (2.35)$$

где $V_{\text{К}}$ – скорость движения кабины, с;

i – передаточное число редуктора;

$П$ – число $П = 3,14$;

D – диаметр КВШ, м.

Получим:

$$n_{\text{расч}} = 60 \cdot 1 \cdot 30 / 3,14 \cdot 0,65 = 882 \text{ об/ мин}.$$

Определяем мощность двигателя:

$$P = M_{\text{ЭКВ}} \cdot n / 9550, \quad (2.36)$$

где $M_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентный момент на валу, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

n – скорость вращения двигателя на большой скорости, об/мин;

Тогда предварительная мощность двигателя получается равна:

$$P = 44,2 \cdot 882 / 9550 = 4,08 \text{ кВт}$$

2.3 Предварительный выбор двигателя и редуктора

Из каталога предприятия изготовителя выбираем двигатель типа АИРМ132S6, его характеристики приведены в таблице 2.2. Крановые электродвигатели серий АМТК, МТФ, МТН, ДМТФ, 4МТН, МТКФ, МТКН, АМТКФ, а также крановые двигатели других серий предназначены для работы в электроприводах металлургических агрегатов и подъемно-транспортных механизмах всех видов и поставляются на комплектацию башенных, козловых, порталных, мостовых и других кранов.

Основные преимущества электродвигателей серии АИР, АМТКФ: надежны и удобны в эксплуатации; двигатели работают в повторно-

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		22

кратковременных или кратковременных режимах с частыми пусками и в условиях повышенной тряски и вибраций; допускают широкое регулирование частоты вращения и имеют высокие пусковые и максимальные моменты; обеспечивают работу в режимах электрического торможения, включая режим противовключения, изготовлены в России.

Основное (базовое) исполнение – асинхронный трехфазный крановый электродвигатель, предназначенный для режима работы S3 ПВ=40% по ГОСТ 183, с питанием от сети переменного тока 50 Гц напряжением 380В (220В, 660В). Климатическое исполнение и категория размещения У1, степень защиты IP54, с типовыми техническими характеристиками, соответствующими требованиям стандартов

Особенность крановых электродвигателей серии АИР — это их универсальность и многообразие. Такие установки работают не только в условиях замкнутых помещений, но и могут выполнять свои основные функции на открытом воздухе.

Таблица 2.2 – Параметры асинхронного двигателя

Тип	Рном, кВт	n об/мин	КПД, %	$\cos \varphi$	Ином, А	Мном, Н*м	$\frac{M_{пуск}}{M_{ном}}$	Ипуск Ином	Число	J Кг*м2	Масса, кг
АИРМ132S6	5,5	960	84,5	0,8	12,4	55	2	5,8	---	0,048	68,5

Степень защиты IP54, класс нагревостойкости изоляции «F», 2р=6; n = 1000 об/мин.

Для того чтобы движение лифта было комфортным для пассажиров, и для снижения динамических моментов, время на участках разгона и замедления нужно увеличить.

туст.= 1,5 с, время установившейся работы зависит от расположения шунтов.

тп. = 1,5 с, время пуска двигателя программируется в ПЧ;

тпер= 0,8с, время перехода программируется в ПЧ;

тт.м.=0,08 с, время торможения на малой скорости зависит от времени наложения тормоза, расположения шунтов и от ПЧ;

тм.= 0,6 с, время движения на малой скорости зависит от расположения шунтов;

Определяем частоту выходного напряжения от ПЧ для большой скорости вращения:

$$f_1 = f_{сети} \cdot n_{расч.} / n_{ном.} \quad , (2.37)$$

где f_1 —частота напряжения, требуемого для вращения вала двигателя с частотой 882 об/мин, Гц;

$n_{расч.}$ — расчетная частота вращения вала двигателя, об/мин;

$f_{сети}$ — частота сети, 50 Гц;

$n_{ном.}$ — номинальная частота вращения вала двигателя, об/мин;

Получаем значение частоты на выходе преобразователя:

$$f_1 = 50 \cdot 882 / 960 = 46 \text{ Гц};$$

Определяем частоту выходного напряжения от ПЧ для пониженной скорости:

$$f_2 = f_{сети} \cdot n_{мал.} / n_{ном.}, \quad (2.38)$$

где f_2 — частота напряжения, требуемого для вращения вала двигателя с частотой 192 об/мин, Гц;

$n_{мал.}$ — частота вращения вала двигателя на малой скорости, об/мин;

$f_{сети}$ — частота сети, 50 Гц;

$n_{ном.}$ — номинальная частота вращения вала двигателя, об/мин;

Получаем необходимую частоту на выходе преобразователя:

$$f_1 = 50 \cdot 192 / 960 = 10 \text{ Гц}$$

С применением ПЧ номинальная скорость лифта равна 1 м/с, а при движении на малой скорости 0,22 м/с. Так же ПЧ обеспечивает плавные переходы скорости.

Для построения тахограммы используем ранее полученные времена.

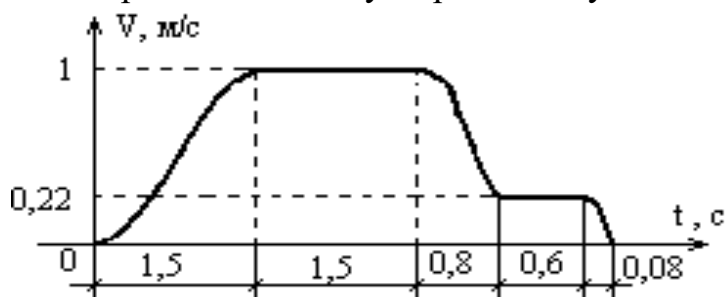


Рисунок 2.5 – Нагрузочная диаграмма скорости лифта с использованием АДКЗ и ПЧ

Редуктор и механическую передачу не изменяем.

2.4 Приведение моментов инерции

Определим моменты, скорости и моменты инерции механизма лифта, приведенные к валу двигателя.

Определяем угловую скорость двигателя:

$$\omega_{дв} = n_{расч.} / 9,55, \quad (2.39)$$

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		24

где прасч.– количество оборотов двигателя, об/мин;

$$W_{\text{дв}} = 882 / 9,55 = 92,4 \text{ рад/с};$$

Определяем момент инерции при пуске и номинальной загрузке кабины:

$$J_{\Sigma 1} = J_{\text{дв}} + m_1 \cdot (V_k / W_{\text{дв}})^2, \quad (2.40)$$

где $J_{\Sigma 1}$ – момент инерции при номинальной загрузке кабины, кг·м²;

$J_{\text{дв}}$ – момент инерции двигателя, кг·м²;

m_1 – масса загруженной кабины на остановках, Н;

V_k – скорость движения кабины, м/с;

$W_{\text{дв}}$ – угловая скорость двигателя, рад.

$$J_{\Sigma 1} = 0,048 + 454,4 \cdot (1 / 92,4)^2 = 0,1 \text{ кг·м}^2;$$

Определяем момент инерции при пуске пустой кабины:

$$J_{\Sigma 2} = J_{\text{дв}} + m_2 \cdot (V_k / W_{\text{дв}})^2, \quad (2.41)$$

где $J_{\Sigma 2}$ – момент инерции при пустой кабине, кг·м²;

$J_{\text{дв}}$ – момент инерции двигателя, кг·м²;

m_2 – масса пустой кабины на остановках, Н;

V_k – скорость движения кабины, м/с;

$W_{\text{дв}}$ – угловая скорость двигателя, рад.

$$\text{Получаем: } J_{\Sigma 2} = 0,048 + 196,7 \cdot (1 / 92,4)^2 = 0,07 \text{ кг·м}^2;$$

Определяем момент инерции при переходе с большой скорости на малую при полной загрузке кабины:

$$J_{\Sigma \text{пер.}} = J_{\text{дв}} + m_1 \cdot ((V_k - V_m) / (W_{\text{дв}} - W_m))^2, \quad (2.42)$$

Где $J_{\Sigma \text{пер.}}$ – момент инерции при переходе и номинальной загрузке кабины, кг·м²;

$J_{\text{дв}}$ – момент инерции двигателя, кг·м²;

m_1 – масса загруженной кабины на остановках, Н;

V_k – скорость движения кабины, м/с;

$W_{\text{дв}}$ – угловая скорость двигателя, рад/с;

V_m – малая скорость движения кабины, м/с;

W_m – малая угловая скорость двигателя, рад/с;

$$\text{Получаем: } J_{\Sigma \text{пер.}} = 0,048 + 454,4 \cdot ((1 - 0,22) / (92,4 - 20,1))^2 = 0,1 \text{ кг·м}^2;$$

Определяем момент инерции при переходе с большой скорости на малую при пустой кабине:

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		25

$$J_{\Sigma \text{пер.п.}} = J_{\text{дв}} + m_2 \cdot ((V_k - V_m) / (W_{\text{дв}} - W_m))^2, \quad (2.43)$$

где $J_{\Sigma \text{пер.п.}}$ – момент инерции при переходе пустой кабины, кг·м²;

$J_{\text{дв}}$ – момент инерции двигателя, кг·м²;

m_2 – масса пустой кабины на остановках, Н;

V_k – скорость движения кабины, м/с;

$W_{\text{дв}}$ – угловая скорость двигателя, рад/с;

V_m – малая скорость движения кабины, м/с;

W_m – малая угловая скорость двигателя, рад/с;

В числовом выражении получим:

$$J_{\Sigma \text{пер.п.}} = 0,048 + 196,7 \cdot ((1 - 0,22) / (92,4 - 20,1))^2 = 0,07 \text{ кг·м}^2;$$

Посчитаем момент инерции на малой скорости и полной загрузке:

$$J_{\Sigma m} = J_{\text{дв}} + m_1 \cdot (V_m / W_m)^2, \quad (2.44)$$

где $J_{\Sigma m}$ – момент инерции на малой скорости и полной загрузке кабины, кг·м²;

$J_{\text{дв}}$ – момент инерции двигателя, кг·м²;

m_1 – масса загруженной кабины на остановках, Н;

V_m – малая скорость движения кабины, м/с;

W_m – малая угловая скорость двигателя, рад/с;

$$\text{В числах получаем: } J_{\Sigma m} = 0,048 + 454,4 \cdot (0,22 / 20,1)^2 = 0,1 \text{ кг·м}^2$$

Определяем момент инерции на малой скорости при пустой кабине:

$$J_{\Sigma \text{м.п.}} = J_{\text{дв}} + m_2 \cdot (V_m / W_m)^2, \quad (2.45)$$

где $J_{\Sigma \text{м.п.}}$ – момент инерции на малой скорости при пустой кабины, кг·м²;

$J_{\text{дв}}$ – момент инерции двигателя, кг·м²;

m_2 – масса загруженной кабины на остановках, Н;

V_m – малая скорость движения кабины, м/с;

W_m – малая угловая скорость двигателя, рад/с;

Получаем в числовом выражении:

$$J_{\Sigma \text{м.п.}} = 0,048 + 196,7 \cdot (0,22 / 20,1)^2 = 0,07 \text{ кг·м}^2;$$

Для построения нагрузочной диаграммы двигателя определим динамические моменты на участках:

1. Пуск;

2. Переход с большей скорости на меньшую;

3. Торможение на малой скорости;

Определяем динамический момент при пуске загруженной кабины:

$$M_{\text{дин.п.}} = (J_{\Sigma 1} \cdot W_{\text{дв}}) / \eta_{\text{п}}, \quad (2.46)$$

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		26

где $M_{дин.п.}$ —динамический момент при пуске, Н·м;
 $J\Sigma 1$ —момент инерции при номинальной загрузке кабины, кг·м²;
 $\omega_{дв}$ – угловая скорость двигателя, рад/с;
 $t_{п}$ – время пуска двигателя, с;
Тогда в числах:

$$M_{дин.п.} = (0,1 \cdot 92,4)/1,5 = 6,16 \text{ Н·м};$$

Определяем динамический момент при пуске пустой кабины:

$$M_{дин.п.}' = (J\Sigma 2 \cdot \omega_{дв})/t_{п}, \quad (2.47)$$

где $M_{дин.п.}'$ —динамический момент при пуске, Н·м;
 $J\Sigma 2$ —момент инерции при номинальной загрузке кабины, кг·м²;
 $\omega_{дв}$ – угловая скорость двигателя, рад/с;
 $t_{п}$ – время пуска двигателя, с;
Подставляя, данные, получим: $M_{дин.п.}' = (0,07 \cdot 92,4)/1,5 = 4,3 \text{ Н·м}$.

Рассчитаем теперь динамический момент при переходе с большей скорости на меньшую загруженной кабины:

$$M_{дин.пер.} = (-J\Sigma_{пер} \cdot \omega_{дв.пер.})/t_{пер}, \quad (2.49)$$

где $M_{дин.пер.}$ —динамический момент при переходе с большей скорости на меньшую загруженной кабины, Н·м;
 $J\Sigma_{пер}$ –момент инерции при переходе с большей скорости на меньшую, кг·м²;
 $\omega_{дв.пер.}$ – угловая скорость двигателя, рад/с;
 $t_{пер}$ – время перехода с большей скорости на меньшую, с;

$$\text{Получим: } M_{дин.пер.} = (-0,1 \cdot 72,3)/0,8 = -9 \text{ Н·м}$$

Рассчитаем далее динамический момент при переходе с большей скорости на меньшую, пустой кабины:

$$M_{дин.пер.}' = (-J\Sigma_{пер.п.} \cdot \omega_{дв.пер.})/t_{пер}, \quad (2.50)$$

где $M_{дин.пер.}'$ —динамический момент при переходе с большей скорости на меньшую загруженной кабины, Н·м;
 $J\Sigma_{пер.п.}$ –момент инерции при переходе с большей скорости на меньшую пустой кабины, кг·м²;
 $\omega_{дв.пер.}$ – угловая скорость двигателя, рад/с;
 $t_{пер}$ – время перехода с большей скорости на меньшую, с;
Получим при наших данных: $M_{дин.пер.}' = (-0,07 \cdot 72,3)/0,8 = -6,3 \text{ Н·м}$;

Теперь определяем динамический момент двигателя при торможении на малой скорости загруженной кабины:

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		27

$$M_{\text{дин.т.}} = (-J_{\Sigma\text{м}} \cdot W_{\text{м}}) / t_{\text{т.м.}}, \quad (2.51)$$

где $M_{\text{дин.т.}}$ – динамический момент при торможении, Н·м;

$J_{\Sigma\text{м}}$ – момент инерции при переходе с большей скорости на меньшую загруженной кабины, кг·м²;

$W_{\text{м}}$ – малая угловая скорость двигателя, рад/с;

$t_{\text{т.м.}}$ – время торможения, с;

Получаем:

$$M_{\text{дин.т.}} = (-0,1 \cdot 20,1) / 0,08 = -25 \text{ Н·м};$$

Определяем динамический момент при торможении на малой скорости пустой кабины:

$$M_{\text{дин.т.}}' = (-J_{\Sigma\text{м.п.}} \cdot W_{\text{м}}) / t_{\text{т.м.}}, \quad (2.52)$$

где $M_{\text{дин.т.}}'$ – динамический момент при торможении, Н·м;

$J_{\Sigma\text{м.п.}}$ – момент инерции при переходе с большей скорости на меньшую пустой кабины, кг·м²;

$W_{\text{м}}$ – малая угловая скорость двигателя, рад/с;

$t_{\text{т.м.}}$ – время торможения, с;

Получаем для нашего лифта $M_{\text{дин.т.}}' = (-0,07 \cdot 20,1) / 0,08 = -17,6 \text{ Н·м};$

Далее рассчитаем пуско-тормозные режимы:

При пуске:

$$M_1 = M_{\text{ст1}} + M_{\text{дин.п.}}, \quad (2.53)$$

где M_1 – момент на валу двигателя при пуске и полностью загруженной кабине, Н·м;

$M_{\text{дин.п.}}$ – динамический момент при пуске, Н·м;

$M_{\text{ст1}}$ – статический момент на валу двигателя, Н·м;

В нашем случае: $M_1 = 64,3 + 6,16 = 70,5 \text{ Н·м};$

При переходе с большей скорости на меньшую:

$$M_2 = M_{\text{ст1}} + M_{\text{дин.пер.}}, \quad (2.54)$$

где M_2 – момент на валу двигателя при переходе с большей скорости на меньшую, Н·м;

$M_{\text{дин.пер.}}$ – динамический момент при переходе с большей скорости на меньшую, Н·м;

$M_{\text{ст1}}$ – статический момент на валу двигателя, Н·м;

В нашем случае получим: $M_2 = 64,3 - 9 = 55,3 \text{ Н·м};$

При торможении на малой скорости:

$$M_3 = M_{\text{ст1}} + M_{\text{дин.т.}}, \quad (2.55)$$

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		28

где M_3 – момент на валу двигателя при торможении на малой скорости, Н·м;

$M_{дин.т.}$ – динамический момент при торможении на малой скорости, Н·м;

$M_{ст1}$ – статический момент на валу двигателя, Н·м;

Получаем в числовом выражении: $M_3 = 64,3 - 25 = 39,3 \text{ Н·м}$;

Аналогично проведем расчеты при пустой кабине. Определяем момент на валу двигателя при спуске пустой кабины:

При пуске:

$$M_1' = M_{ст2} + M_{дин. п.}', \quad (2.56)$$

где M_1' – момент на валу двигателя при пуске пустой кабины, Н·м;

$M_{дин. п.}'$ – динамический момент при пуске, Н·м;

$M_{ст2}$ – статический момент на валу двигателя, Н·м.

Получим:

$$M_1' = 28 + 4,3 = 32,3 \text{ Н·м};$$

При переходе с большей скорости на меньшую:

$$M_2' = M_{ст2} + M_{дин.пер.}', \quad (2.57)$$

где M_2' – момент на валу двигателя при переходе с большей скорости на меньшую, Н·м;

$M_{дин.пер.}'$ – динамический момент при переходе с большей скорости на меньшую, Н·м;

$M_{ст2}$ – статический момент на валу двигателя, Н·м.

Получим:

$$M_2' = 28 - 6,3 = 21,7 \text{ Н·м};$$

При торможении на малой скорости:

$$M_3' = M_{ст2} + M_{дин.т.}', \quad (2.58)$$

где M_3' – момент на валу двигателя при торможении на малой скорости, Н·м;

$M_{дин.т.}'$ – динамический момент при торможении на малой скорости, Н·м;

$M_{ст2}$ – статический момент на валу двигателя, Н·м;

Получим для нашего лифта: $M_3' = 28 - 17,6 = 10,4 \text{ Н·м}$.

Теперь можно построить нагрузочные диаграммы работы двигателя лифта при подъеме загруженной кабины (рисунок 6) и при спуске пустой кабины (рисунок 7). Для этого используем ранее полученные моменты и времена.

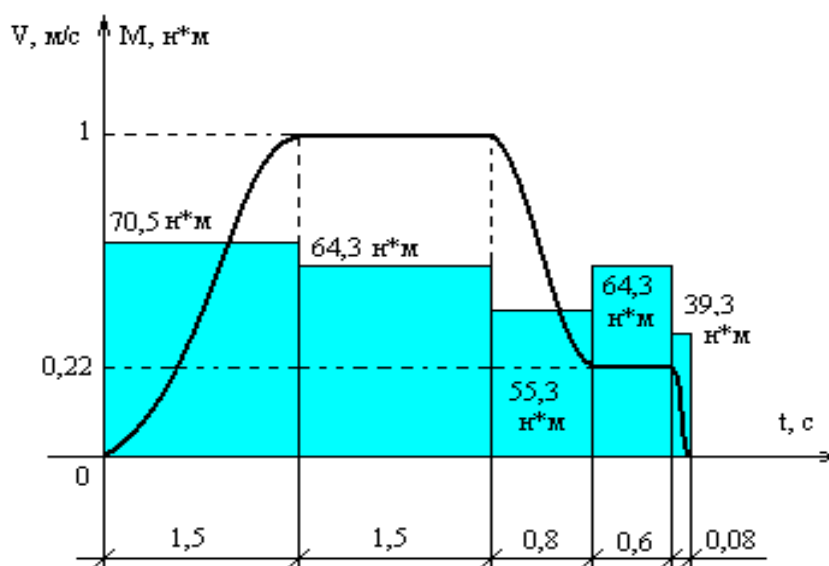


Рисунок 2.6 – Нагрузочная диаграмма скорости и момента при полной кабине

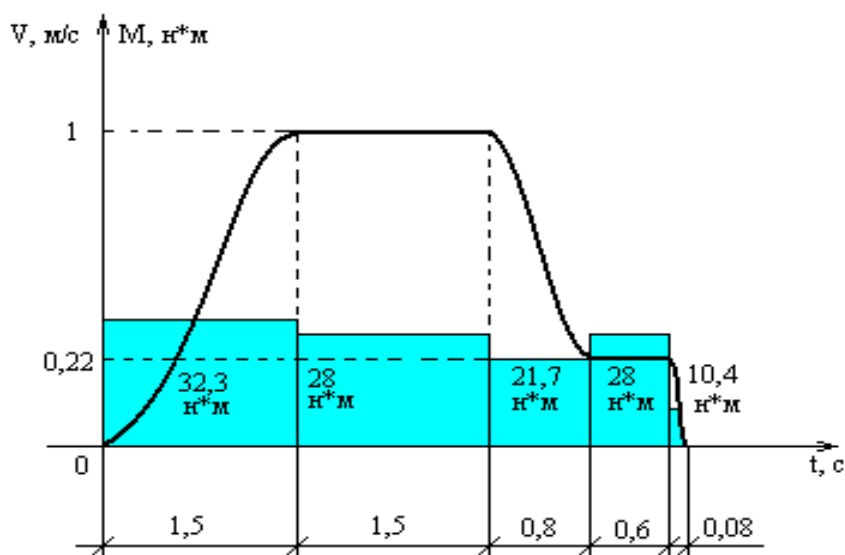


Рисунок 2.7 –Нагрузочная диаграмма скорости и момента двигателя при спуске пустой кабины

2.5 Предварительная проверка двигателя по нагреву

Двигатель по нагреву проверяем методом эквивалентного момента.

Условие выбора двигателя по нагреву:

$$M_{\text{экв}}' < M_{\text{ном}};$$

$$M_{\text{экв}}' = \sqrt{\frac{(70,5^2 + 32,3^2) \cdot 1,5 + (64,3^2 + 28^2) \cdot 1,5 + (55,3^2 + 21,7^2) \cdot 0,8 + (64,3^2 + 28^2) \cdot 0,6 + (39,3^2 + 10,4^2) \cdot 0,08}{2 \cdot 4,48}} \cdot \sqrt{\frac{32,3}{40}};$$

$$M_{\text{экв}}' = 49,9 \cdot 0,89 = 44,84 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$44,84 < 55.$$

Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

Двигатель проверку по нагреву прошел.

По перегрузочной способности находим максимальные моменты.

$$M_1 \leq M_{\text{макс}},$$

где M_1 – максимальный момент, возникающий на валу двигателя при пуске, Н·м;

$M_{\text{макс}}$ – максимальный момент двигателя, Н·м;

$$70,5 < 110.$$

Двигатель проверку по перегрузочной способности прошел.

Выводы по разделу два. Построены нагрузочные диаграммы скорости и момента. Приведены моменты и моменты инерции. Выбран двигатель асинхронный с короткозамкнутым ротором. Предварительно проверку по нагреву и перегрузочной способности прошел.

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		31

3 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ

3.1 Выбор преобразователя

Рынок частотных преобразователей достаточно большой. Как отечественные, так и зарубежные фирмы производят преобразователи частоты (ПЧ) для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

Электропривод выполнен на основе двухзвенного преобразователя частоты с транзисторным (IGBT) автономным инвертором напряжения (АИН) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) сигналов, управлением от системного микропроцессорного контроллера с развитым интерфейсом связи с внешними устройствами.

В электроприводе реализовано частотное управление асинхронным электродвигателем, заключающееся во взаимосвязанном регулировании частоты f и основной гармоники питающего напряжения.

Из каталога выбираем преобразователь частоты ПЧ, мощность которого равна или больше номинальной мощности двигателя.

Выбираем ПЧ типа ATV58HU90N4S309

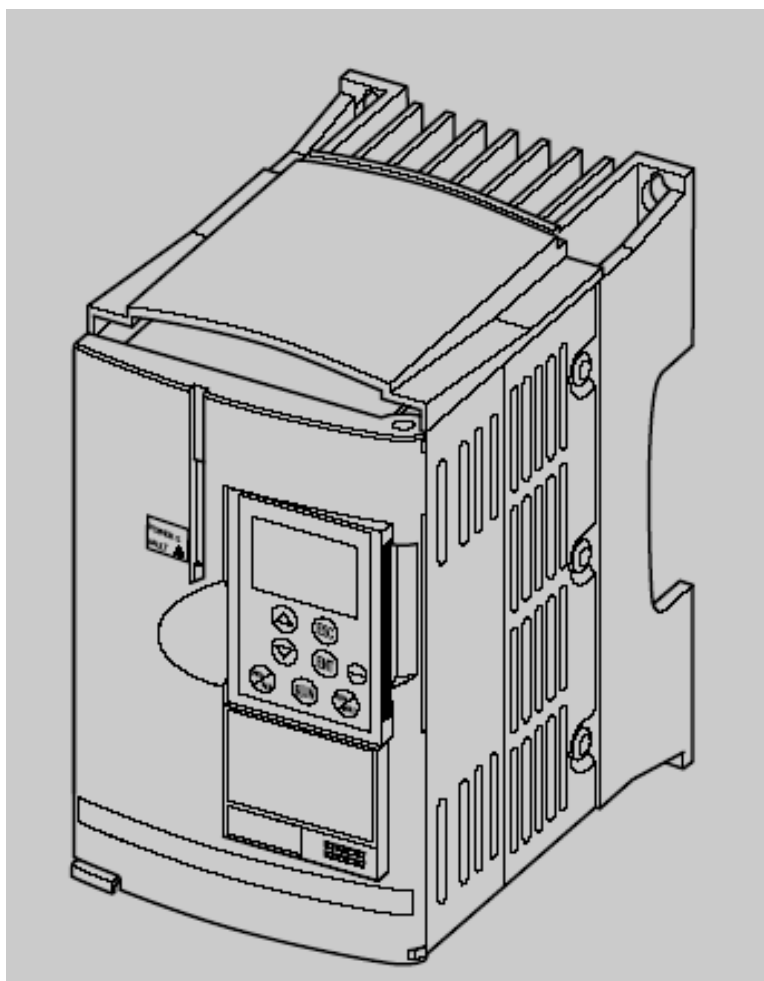


Рисунок 3.1 – Внешний вид ПЧ

Схема подключения ПЧ к двигателю показана на рисунке 3.2.

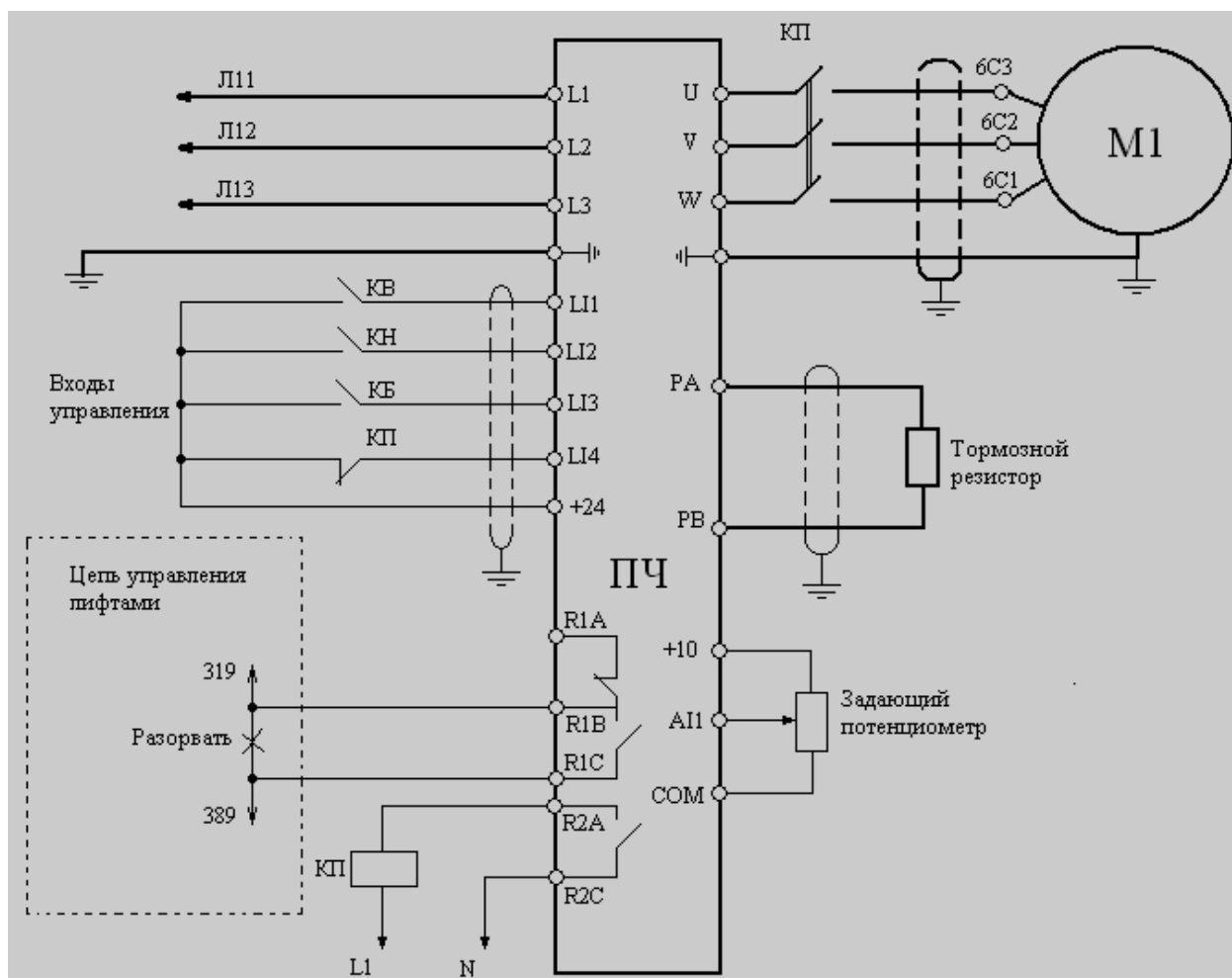


Рисунок 3.2 – Схема подключения ПЧ к сети и к двигателю

Клеммы цепей управления имеют разные входы и выходы, назначение которых показано на рисунке 3.3.

Клемма	Назначение	Электрические характеристики
R1A R1B R1C	Переключающий контакт с общей точкой (R1C) реле безопасности R1	Минимальная коммутационная способность: • 10 мА для 24 В перем. тока • 10 мА для 24 В пост. тока
R2A R2C	НО контакт программируемого реле R2	Макс. коммутационная способность при индуктивной нагрузке (COS φ 0,4 и L/R 7 мс): • 1,5 А для 250 В перем. и 30 В пост. тока
AO1	Аналоговый выход по току	Аналоговый выход по току X-Y мА, где X и Y могут программироваться Заводская настройка 0 - 20 мА Полное сопротивление 500 Ом
COM	Общая клемма для дискретных и аналоговых входов	
AI1	Аналоговый вход по напряжению	Аналоговый вход 0 + 10 В Полное сопротивление 30 кОм
+10	Питание для задающего потенциометра от 1 до 10 кОм	+10 В (- 0, + 10%) 10 мА макс. с защитой от к.з. и перегрузок
AI2	Аналоговый вход по току	Аналоговый вход по току X-Y мА, где X и Y могут программироваться Заводская настройка 4 - 20 мА Полное сопротивление 100 Ом
LI1 LI2 LI3 LI4	Дискретные входы	Программируемые дискретные входы Полное сопротивление 3,5 кОм Питание + 24 В (макс. 30 В) Состояние 0, если < 5 В, состояние 1, если > 11 В
+ 24	Питание входов	+ 24 В с защитой от к.з. и перегрузок минимум 18 В, максимум 30 В Максимальный ток 200 мА

Рисунок 3.3 – Клеммы цепей управления

Программирование ПЧ является одним из важнейших этапов при модернизации электропривода.

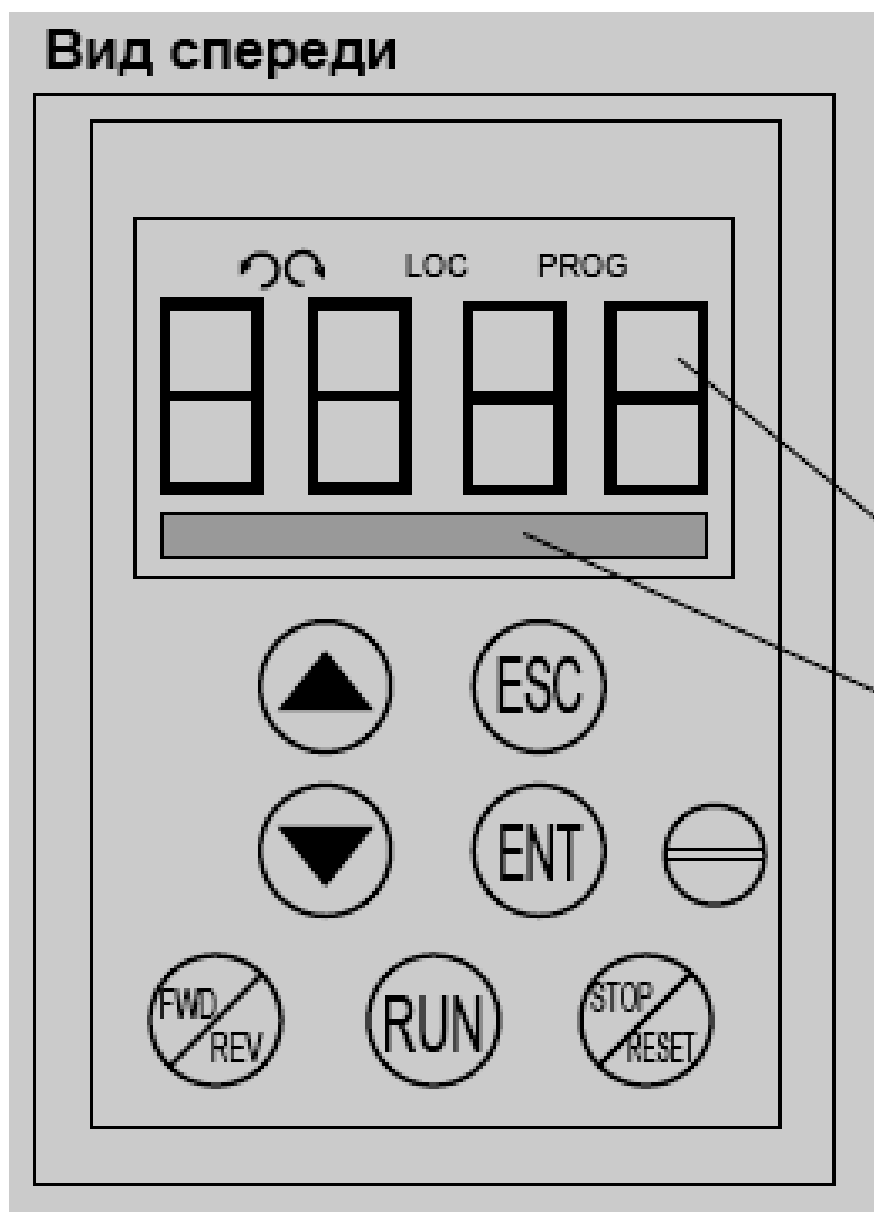


Рисунок 3.4 – Панель управления ПЧ

Здесь показаны 4-х символьный индикатор, отображение числовых значений и кодов, Шестнадцатисимвольная строка, отображение текстовых сообщений.

Корректировка параметров осуществляется следующим образом:

при помощи клавиш со стрелкой осуществляется «пролистывание» для нахождения нужного меню;

вход в меню осуществляется нажатием кнопки «Ent»;

в выбранном меню при помощи кнопок со стрелкой осуществляется «пролистывание» параметров для нахождения нужного параметра;

доступ к значению параметра осуществляется нажатием кнопки «Ent»;

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		34

выбор требуемого значения параметра происходит при помощи кнопок со стрелкой. В случае, если параметр имеет не числовое, а функциональное значение, (например, назначение логического входа) его значение отображается в виде надписи на нижней строке дисплея;

подтверждение выбранного параметра осуществляется нажатием кнопки «Ent»;

возврат в предыдущее меню происходит при помощи кнопки «Esc».

При первом включении ПЧ, появится меню «выбор языка». Выбираем английский язык (русского нет). Для этого нажимаем на кнопку ENT, далее с помощью вертикальных стрелок выбираем нужный язык, для подтверждения выбора языка нажимаем ENT.

Для ввода параметров двигателя, нужно зайти в меню «привод», выбрать вертикальными стрелками параметр, задать его значение и сохранить.

Str – выбор типа управления: векторное(разомкнутое) или замкнутое.

Выбираем векторное управление. Для этого выбираем значение «SVC» и сохраняем.

UnS –Номинальное напряжение двигателя, приведенное на заводской табличке. С помощью вертикальных стрелок выставляем значение «380» и сохраняем, нажав на кнопку ENT.

FrS –Номинальная частота напряжения питания двигателя, приведенная на заводской табличке. Выставляем значение «50» и сохраняем.

nCr–Номинальный ток двигателя, приведенный на заводской табличке. Выставляем значение «1.00 In» и сохраняем.

In соответствует номинальному току преобразователя.

nSP –Номинальная частота вращения двигателя, приведенная на заводской табличке. Выставляем значение «960» и сохраняем.

COS –CosPhi двигателя, приведенный на заводской табличке. Выставляем значение «0,8» и сохраняем.

tUn–Позволяет произвести автоподстройку управления двигателем после установки данного параметра на «YES». По завершению автоподстройки параметр автоматически переключается на «DONE» или на «no» в случае неисправности. Выбираем значение «YES» и сохраняем.

tFr –Максимальная выходная частота. Выставляем значение «46» и сохраняем.

Stt –Способ остановки:По команде остановки активизируется выбранный способ до достижения порогового значения

FFt – (Настроечное меню). Ниже этой уставки осуществляется остановка на выбеге.

STN: С заданным темпом

FST: Быстрая остановка

NST: Остановка на выбеге

DCI: Динамическое торможение

Параметры появляются в зависимости от настройки другого параметра или наличия дополнительной карты. Выбираем значение «STN» и сохраняем.

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		35

Для настройки параметров разгона и замедления, с помощью кнопок в виде вертикальных стрелок находим меню «лифт», нажимаем на ENT и заходим в него. Далее выбираем те параметры, значения которых нужно изменить.

ACC –Время разгона. Определяется для разгона двигателя от нулевой до ном. частоты (FrS). Выбираем значение «1,50 с» и сохраняем.

dEC –Время замедления. Определяется для торможения двигателя от номинальной (FrS) до нулевой частоты. Выбираем значение «1,00 с» и сохраняем.

HSP –Верхняя скорость. Выбираем значение «tFr» и сохраняем.

FLG –Контур регулирования частоты: позволяет адаптировать скорость протекания переходных процессов в зависимости от кинематики механизма.

Для механизмов с большим моментом сопротивления нагрузки или значительным моментом инерции с быстрым циклом увеличивайте постепенно коэффициент. По умолчанию значение «20».

StA– Позволяет адаптировать достижение установившегося режима после переходного процесса по скорости в зависимости от кинематики механизма. Увеличивайте постепенно устойчивость для уменьшения перерегулирования по скорости. По умолчанию значение «20».

SP2 –2-я заданная скорость. Выставляем значение «10 Hz» и сохраняем.

dbS –Выдержка времени установления тока при замыкании контакторов двигателя.

- Если нет входа LI, назначенного на "о.с. контактора" (Lix = RCA), то это время соответствует запаздыванию при установлении тока в двигателе. Если этот параметр назначен на слишком малое значение или на non и на выходе преобразователя используются контакторы, то ПЧ может заблокироваться по неисправности "OPF".

- Если LI назначен на "о.с. контактора", то возможны два случая:

- dbS ≠ non, это время соответствует максимальной выдержке, настроенной т.о., чтобы видеть переход этого LI в 0. Если LI не перешел в 0, то по истечении этого времени ПЧ заблокируется по неисправности "FCA", сбрасываемой при снятии команды пуска.

- dbS = non, ПЧ ожидает неопределенное время перехода в 0 входа LI, назначенного на RCA, прежде чем запустить двигатель. После срабатывания изменение состояния дискретного входа не влияет на привод, т.е. контроль состояния контакторов не активен. Выставляем значение «0,2» и сохраняем.

trC–Время отключения и/или контроля контакторов двигателя.

Выставляем значение «0,2» и сохраняем.

USC – Коэффициент, используемый с параметром rFr (выходная частота напряжения, прикладываемого к двигателю), позволяющий отображать скорость механизма с помощью параметра USP в меню контроля.

USP = rFr x USC. Выставляем значение «0,022» и сохраняем.

r2 –Позволяет выбрать функции, назначенные на релейный выход в соответствии с перечнем, который меняется в зависимости от назначения параметра «USr» . Выбираем значение «ОСС» и сохраняем.

USr –Позволяет выбрать уровень доступа.

Standard: доступны наиболее часто используемые функции для применений ипользователь получает подсказки для настройки некоторых параметров.

Expert: нет запрета по доступу к функциям и подсказкам

Выбираем значение «Expert» и сохраняем.

Для того, чтобы назначить на входы управления функции, надо выбрать тип управления. Тип управления выбираем в меню «управление», назначение дискретных входов выбираем в меню «назначение входов-выходов».В связи с особенностями схемы управления лифтом, выбираем двухпроводноеуправление. На рисунке 12 показан принцип работы двухпроводного управления.

tCC – Конфигурирование типа управления через клеммник: 2-х или 3-х проводное. выбираем значение «2W» и сохраняем.

LI1 – с помощью вертикальных стрелок выбираем значение «FW» и сохраняем.

LI2 – с помощью вертикальных стрелок выбираем значение «RV» и сохраняем.

LI3– с помощью вертикальных стрелок выбираем значение «PS2» и сохраняем.

LI4 – с помощью вертикальных стрелок выбираем значение «RCA» и сохраняем.

Меню «Контроль» доступно только для чтения, оно отображает все основные параметры двигателя в реальном времени.

Тормозной резистор обеспечивает работу преобразователя частоты Altivar 58 при торможении до полной остановки или во время снижения скорости путем рассеивания тормозной энергии.

3.2 Выбор коммутационной аппаратуры

Выбор коммутационной аппаратуры предполагает:

- 1) выбор пускателя КП;
- 2) выбор промежуточных реле КМ, КБ, КВ, КН;

Сформируем требования к пускателю:

- 1) Напряжение питания катушки $U_{пит.}=210 - 250 \text{ В}$, 50Гц.
- 2) Наличие 1-го нормально замкнутого контакта.
- 3) Номинальный ток контактов больше номинального тока двигателя.

Выбираем пускатель типа ПМЛ – 2110. Его характеристики приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Характеристики пускателя ПМЛ – 2110

Тип	Номинальный ток контактов	Номинальное напряжение	Класс защиты	Напряжение катушки	Наличие доп. контакта
ПМЛ-2110	А 25	кВ До 0,6	IP5 4	В ~220	1 нормально замкнутый

Выбираем промежуточные реле типа РЕП-20с, с увеличенным числом коммутаций. Характеристики реле приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристики реле РЕП-20с

Тип	Время срабатывания	Номинальное напряжение	Номинальный ток	Напряжение катушки
РЕП-20с	с не более 0.06	В До 220	А До 1	В = 110

3.3 Выбор шкафа управления

Выбираем шкаф фирмы «Rittal» с размерами 1800x800x500 мм. Сопутствующее оборудование приведено в таблице 3.3

Таблица 3.3 – Перечень элементов силового шкафа

№	Наименование	Код заказа	кол
1	Каркас шкафа 1800x800x500 (ВхШхГ)	8880500	2
2	Боковые стенки уп-2шт	8185235	1
3	Передние и задние панели цоколя высотой 100мм	8601800	2
4	Боковые панели цоколя высотой 100мм	8601050	2
5	Панели для гермовводов TS шириной 1200мм	8800120	2
6	Гермовводы 8 отв.d=13мм уп-25шт	4316000	1
7	Гермовводы 3 отв.d=21мм уп-25шт	4317000	1
8	Гермовводы 1 отв.d=47мм уп-25шт	4318000	1
9	Вентилятор	3327107	2
10	Выходной фильтр	3326207	2
11	Регулятор температуры	3110000	2

На рисунке 3.5 показан внешний вид шкафа.

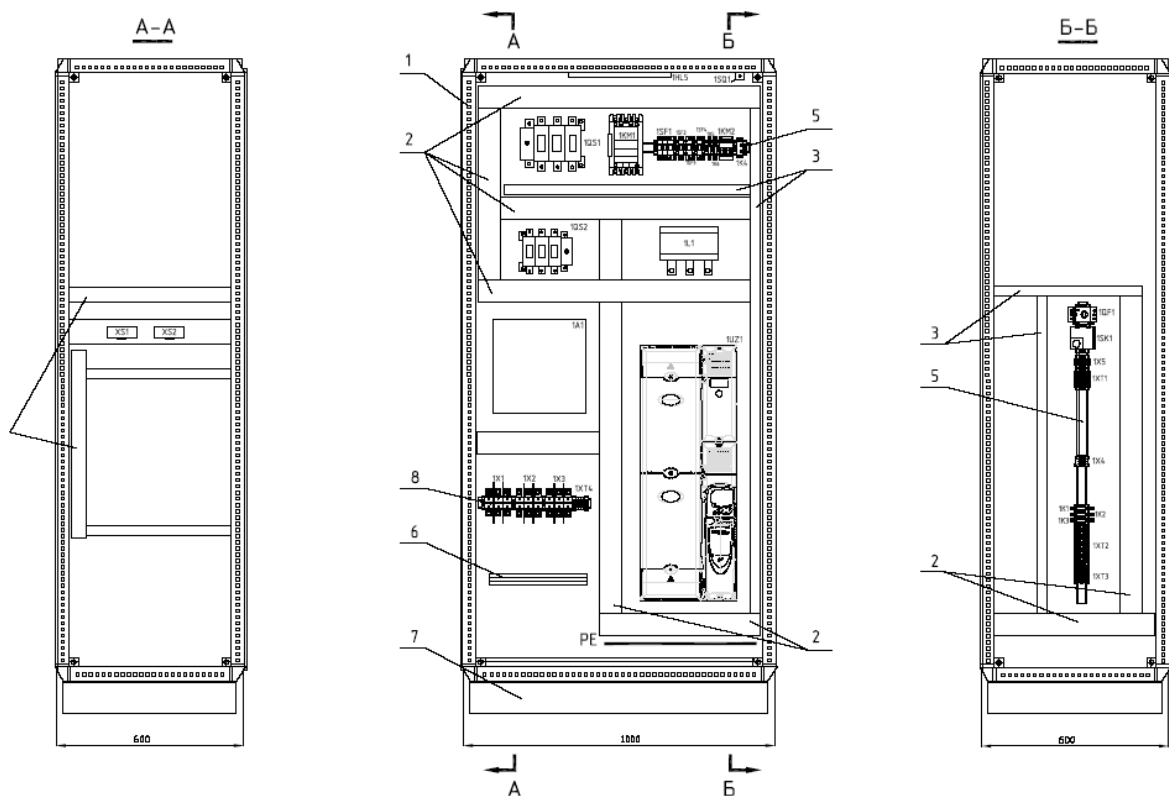


Рисунок 3.5 – Внешний вид шкафа электропривода

Выводы по разделу три. Выбран преобразователь частоты, показана его структура меню. Выбран шкаф силовой и коммутационное оборудование.

4 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Расчет параметров схем включения двигателя, обеспечивающих работу в заданных точках. Задачей является определение напряжения и частоты, при которых выполняются требования к электроприводу по обеспечению заданных скоростей движения рабочего органа (рабочей машины).

Исходными данными для расчета являются заданная скорость движения механизма, приведенная к валу двигателя, и заданный момент сопротивления движению, приведенный к валу двигателя и включающий в себя момент механических потерь холостого хода двигателя.

С помощью естественных характеристик оценивают возможности двигателя при его работе в механической системе:

- выдерживать предельные значения тока (момента), которые двигатель может развивать кратковременно;
- обеспечивать перевод двигателя в генераторный режим и др.

Естественную механическую $\omega(M)$ и электромеханические характеристики асинхронного двигателя $\omega(I_1)$, $\omega(I_2)$, $\omega(I_\mu)$ рассчитываем с помощью программы «HARAD»® на базе Т-образной схемы замещения двигателя[1].

Сопротивления цепей ротора можно рассчитать через каталожные данные двигателя:

$$\begin{aligned} r_2' &\cong \frac{M_{\dot{I}} \cdot \omega_{1\dot{I}}}{3 \cdot I_{\dot{I}}^2}, \\ r_1 &\cong \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_{1\dot{I}} \cdot M_{\dot{e}}} - \frac{r_2'}{S_{\dot{e}}}, \\ x_{\dot{e}} &\cong \sqrt{\frac{r_2'^2}{S_{\dot{e}}^2} - r_1^2}, \\ x_1 &= x_2' \cong \frac{x_{\dot{e}}}{2}, \\ x_\mu &\cong \frac{U_{1\dot{e}}}{I_{\mu\dot{I}}} - x_1 \end{aligned} \quad (4.1)$$

где r_1, x_1 - активное и реактивное сопротивления статора;

r_2', x_2' - приведенные активное и реактивное сопротивления ротора;

$I_{\mu\dot{I}}$ - ток холостого хода (ток намагничивания).

При известных сопротивлениях статора r_1 , x_1 и ротора r_2 , x_2 для расчета естественной механической характеристики используют формулу:

$$\dot{I} = \frac{2\dot{I}_e \cdot (1 + \alpha \cdot S_e)}{\frac{S_e}{S} + \frac{S}{S_e} + 2\alpha \cdot S_e}, \quad (4.2)$$

где $\alpha = 1$;

S_e - критическое скольжение.

Критическое скольжение:

$$S_e = S_1 \cdot \frac{\mu_e^2 \pm \sqrt{\mu_e^2 - 1 + S_1 \cdot (\mu_e - 1)}}{1 - S_1 \cdot (\mu_e - 1)}, \quad (4.3)$$

где $\mu_e = \frac{\dot{I}_e}{\dot{I}_1}$ - перегрузочная способность асинхронного двигателя;

S_1 - номинальное скольжение двигателя.

Максимальный момент двигателя:

$$M_e = \frac{3 \cdot U_{101}^2}{2 \cdot \omega_{11} \cdot (r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2})}, \quad (4.4)$$

Синхронная скорость вращения поля статора:

$$\omega_{11} = \frac{2 \cdot f_1 \cdot \pi}{p_1}, \quad (4.5)$$

$$\omega_{11} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 3,14}{3} = 104,7 \text{ д/с}$$

где p_1 – число пар полюсов;

f_1 – номинальная частота напряжения статора, Гц;

U_{1H} – номинальное линейное напряжение, В

МК – максимальный момент двигателя, Нм.

Номинальное относительное скольжение:

$$s_1 = \frac{\omega_{11} - \omega_1}{\omega_{11}}, \quad (4.6)$$

Номинальное относительное скольжение для двигателя подъема:

$$S_1 = \frac{104,7 - 102,1}{104,7} = 0,025$$

Максимальный момент двигателя:

$$\dot{I}_{\hat{e}} = \frac{3 \cdot U_{1\hat{d}}^2}{2 \cdot \omega_{1\hat{d}} \cdot (r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2})}, \quad (4.7)$$

Максимальный момент двигателя подъема:

$$M_{\hat{e}} = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 104,7 \cdot (0,097 + \sqrt{0,097^2 + (0,429 + 0,429)^2})} = 721,95 \text{ Ё} \cdot \text{м}$$

Критическое скольжение по для двигателя подъема по (4.3):

$$S_{\hat{e}} = 0,025 \cdot \frac{3,3^2 \pm \sqrt{3,3^2 - 1 + 0,025 \cdot (3,3 - 1)}}{1 - 2 \cdot 0,025 \cdot (3,3 - 1)} = 0,394; 0,217$$

По формуле (4.8) находится механическая характеристика:

$$\dot{I} = \frac{2 \cdot \dot{I}_{\hat{e}} \cdot (1 + \alpha \cdot S_{\hat{e}})}{\frac{S_{\hat{e}}}{S} + \frac{S}{S_{\hat{e}}} + 2\alpha \cdot S_{\hat{e}}}. \quad (4.8)$$

Далее построим электромеханические характеристики. Электромеханические характеристики – это зависимости частоты вращения ротора двигателя от тока статора, от тока ротора, от тока намагничивания.

Для расчета используем формулы профессора Шубенко. Они получены при неучете активного сопротивления статора двигателя, но используют каталожные данные.

Ток намагничивания:

$$I_{\mu\hat{d}} = I_{1\hat{d}} \cdot (\sin \varphi_{\hat{d}} - \frac{S_{\hat{d}}}{S_{\hat{e}}} \cdot \cos \varphi_{\hat{d}}), \quad (4.9)$$

для привода подъема:

$$I_{\mu\hat{d}} = 44 \cdot \left(\sqrt{1 - 0,84^2} - \frac{0,025}{0,217} \cdot 0,84 \right) = 19,6 \text{ А}$$

Ток ротора:

$$I_2 = I_{2\hat{d}} \cdot \sqrt{\frac{M \cdot S}{M_{\hat{d}} \cdot S_{\hat{d}}}}, \quad (4.10)$$

где $I_{2н}$ - номинальный ток ротора двигателя, А.

Ток статора:

$$I_1 = \sqrt{I_{\mu\hat{d}}^2 + (I_{1\hat{d}}^2 - I_{\mu\hat{d}}^2) \cdot \frac{M \cdot S}{M_{\hat{d}} \cdot S_{\hat{d}}}}, \quad (4.11)$$

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		42

На рисунках 4.1 и 4.2 приведены естественные механическая и электромеханические характеристики двигателя электропривода подъема, построенные по данным формулам.

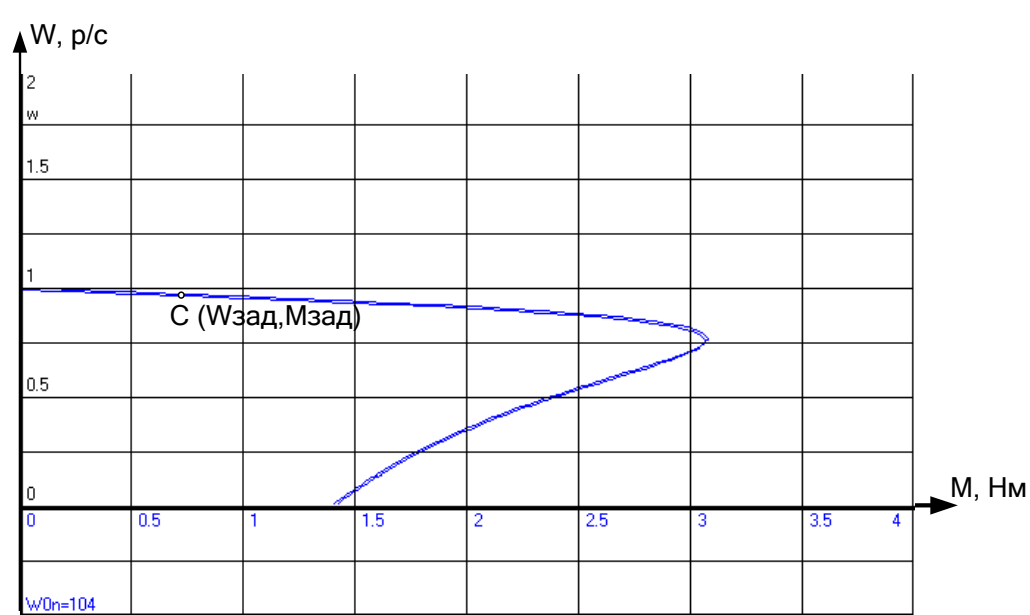


Рисунок 4.1 – Естественная механическая характеристика двигателя лифта

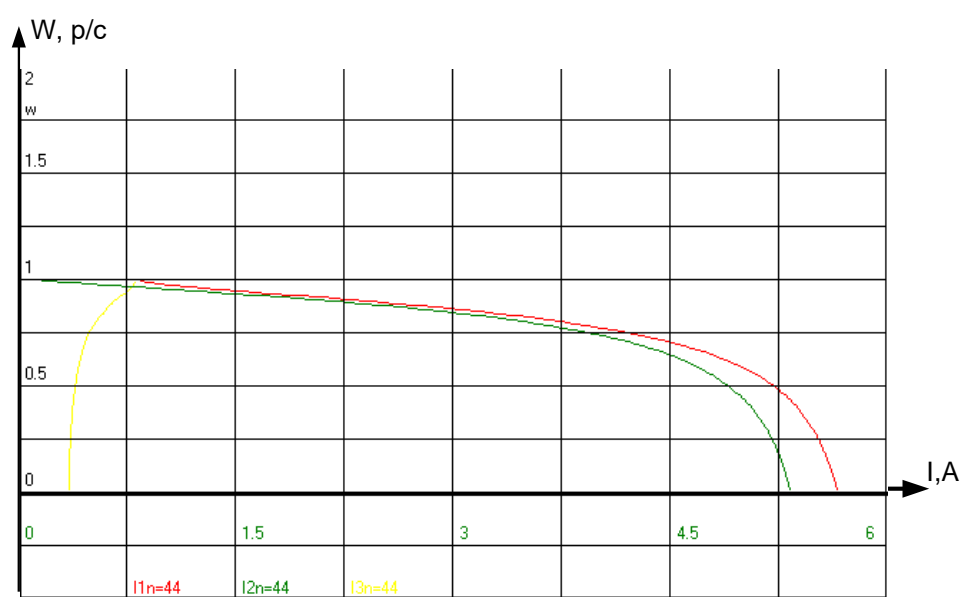


Рисунок 4.2 – Естественная электромеханическая характеристика двигателя лифта

Также были построены энергетические характеристики электродвигателя подъема (Рисунок 4.3).

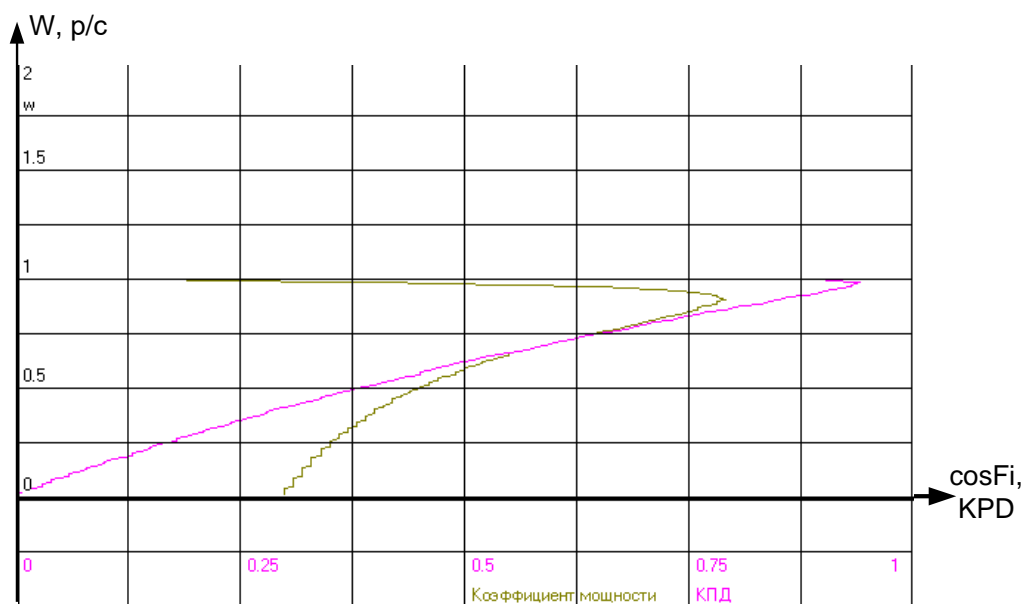


Рисунок 4.3 – Энергетическая характеристика двигателя лифта

5 РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Переходные процессы электропривода возникают при изменении управляющих и возмущающих воздействий.

В установившемся режиме нарастания скорости двигателя, когда затухают свободные составляющие переходного процесса скорость двигателя определяется моментом статической нагрузки.

Для построения переходных процессов и нагрузочных диаграмм использована программа ZIAD. Программа решает систему дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих работу системы ПЧ-АД с задатчиком интенсивности. Уравнения электромеханического преобразования приводятся в [1].

Ввод данных для расчета переходных процессов выполняется в диалоговом режиме. Параметры электроприводов каждого из механизмов крана, их номинальные данные, начальные условия вводятся в абсолютных единицах.

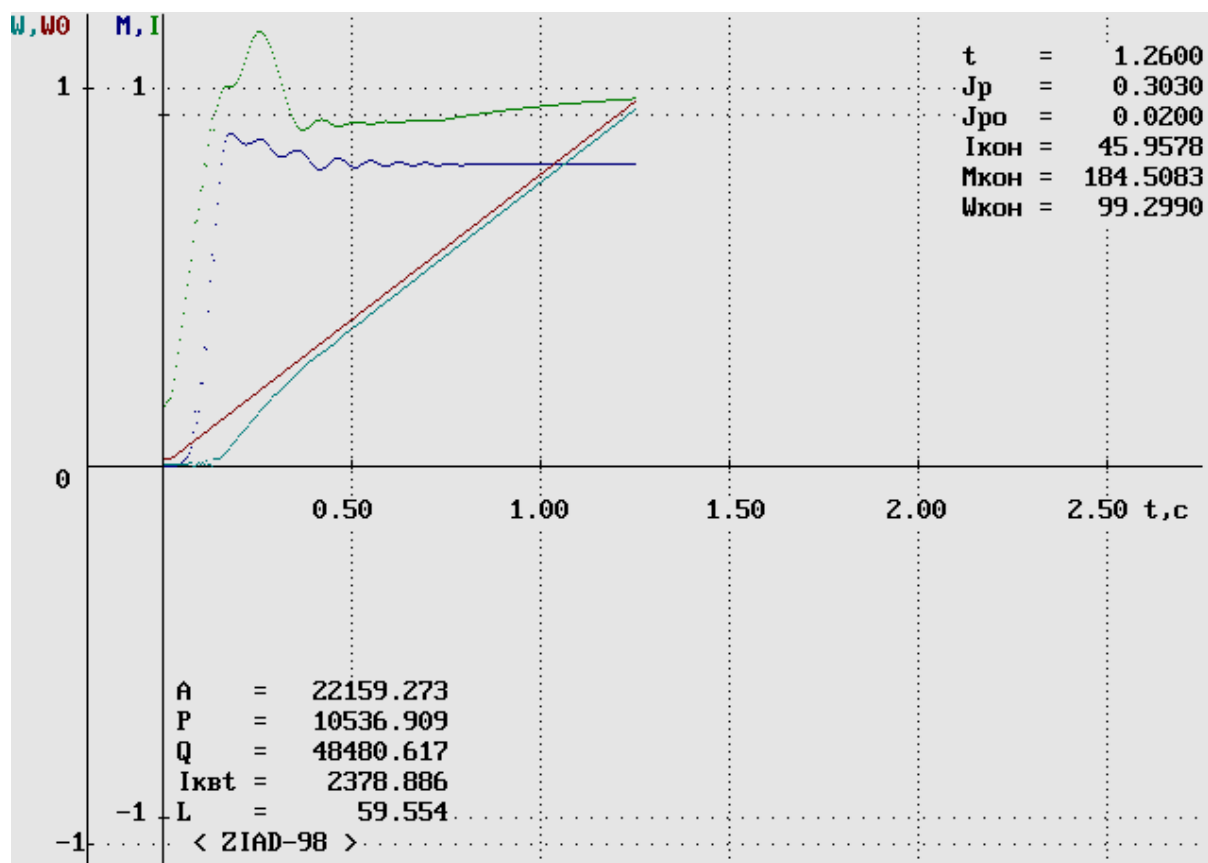


Рисунок 5.1 – Переходный процесс при пуске электропривода

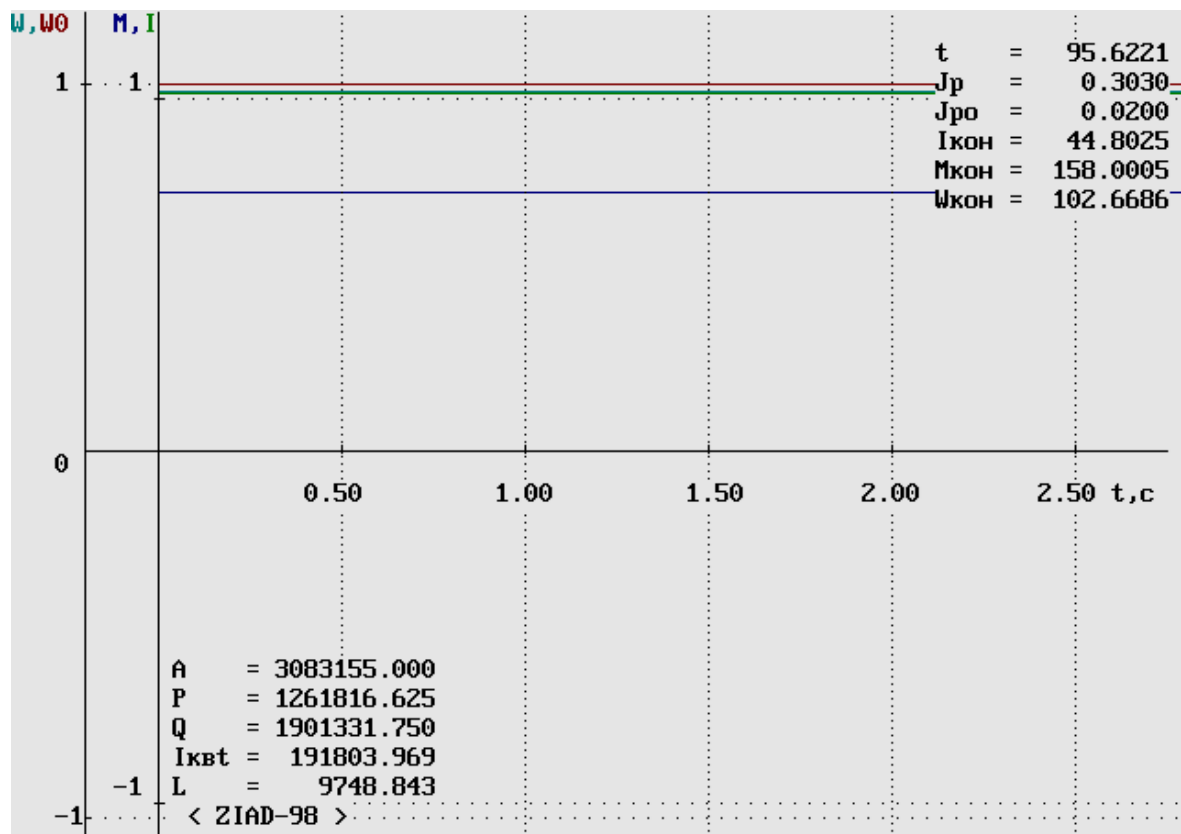


Рисунок 5.2 – Установившийся режим электропривода



Рисунок 5.3 – Переходный процесс в тормозного режима электропривода

6 ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

6.1 Проверка двигателя и преобразователя по нагреву

В прикладной программе «ZIAD» также были рассчитаны интегральные показатели переходных процессов.

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

Для расчета энергетических показателей в проекте использовались результаты расчета переходных процессов на ЭВМ, вычисляются значения механической A , активной P и реактивной Q энергий.

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

Механическая энергия за цикл:

$$A_{\text{ö}} = \sum_{\hat{e}=1}^4 \dot{A}_{\hat{e}} + \sum_{m=1}^2 \dot{A}_{\text{öñò.m}}. \quad (6.1)$$

Активная энергия из сети за цикл:

$$P_{\text{ö}} = \sum_{\hat{e}=1}^4 P_{\hat{e}} + \sum_{m=1}^2 P_{\text{öñò.m}}. \quad (6.2)$$

Реактивная энергия за цикл:

$$Q_{\text{ö}} = \sum_{\hat{e}=1}^4 Q_{\hat{e}} + \sum_{m=1}^2 Q_{\text{öñò.m}}. \quad (6.3)$$

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

$$\eta_{\text{ö}} = \frac{\dot{A}_{\text{ö}}}{\dot{D}_{\text{ö}}} \quad (6.4)$$

$$(\cos\varphi)_{\text{ö}} = \frac{\dot{D}_{\text{ö}}}{\sqrt{\dot{D}_{\text{ö}}^2 + Q_{\text{ö}}^2}}.$$

Результаты расчетов энергетических показателей электродвигателя пассажирского лифта занесены в таблицу 6.1

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		47

Таблица 6.1– Показатели переходных и установившихся режимов привода

Показатели	Единицы измерения	Пуск	Установ. режим	Торможение
A	Вт·с	21218	3079505	15532,5
P	Вт·с	12190	1320753,5	8011,75
Q	Вар·с	58467,7	1996602,75	36460,4
L	Рад (м)	56,3	9737,2	47,3
$I_{\text{кв}} \cdot t$	A ² с	2824,0	181799,5	1759,2
$t_{\text{пп}}, \text{с}$	с	1,26	95,5	1,5
$n_{\text{ср.вз}}$	%	94,5		
$\cos \varphi_{\text{ср.вз}}$	-	0,54		
	Нм	50,5	44,0	10,5
	A	12,1	11,57	10,7

Проверку электропривода по нагреву выполняют после расчета переходных процессов и построения нагрузочных диаграмм.

Проверка выбранного двигателя по нагреву выполняется методом эквивалентного тока:

$$I_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (6.5)$$

где I_i^2 – 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.

Ухудшение условий охлаждения двигателя в переходных режимах учитывают коэффициентом ухудшения теплоотдачи, который в зависимости от скорости принимает значения:

$$\begin{aligned}\beta_i &= \beta_0 = 1 \text{ и } \text{дл} \text{ } 0 \leq \omega \leq 0,2\omega_1; \\ \beta_i &= \frac{1+\beta_0}{2} = 1 \text{ и } \text{дл} \text{ } 0,2\omega_1 \leq \omega \leq 0,8\omega_1; \\ \beta_i &= 1 \text{ и } \text{дл} \text{ } 0,8\omega_1 \leq \omega;\end{aligned}\tag{6.6}$$

где $\beta_0 = 1$ для двигателей закрытых с независимой вентиляцией.

При проверке двигателя по нагреву эквивалентный ток $I_{\text{э}}$ сравнивается с допустимым током $I_{\text{доп}}$ при тех же условиях работы (при той же относительной продолжительности включения).

Допустимый ток рассчитываем через представленное в каталоге значение допускаемого тока $I_{\text{кат}}$ для каталожной ПВк=40% (ПВф=40%):

$$I_{\text{э}} = I_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{I_{\text{кат}} \cdot \hat{A}_{\text{э}}}{I_{\text{кат}} \cdot \hat{A}_{\text{о}}}},\tag{6.7}$$

Для электродвигателя подъема получаем:

Таблица 6.2 – Результаты проверки двигателя на нагрев

Наименование	ЭП лифта
$I_{\text{э}}, \text{ А}$	10,7
$I_{\text{доп}}, \text{ А}$	12,4

Выводы по разделу шесть. Рассчитаны интегральные показатели переходных процессов. Произведена проверка электродвигателя по нагреву методом эквивалентного тока. Как видим, запас небольшой есть. Двигатель работает практически в номинальном режиме.

7 АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛИФТА

7.1 Выбор программируемого логического контроллера (ПЛК)

Контроллеры SIMATIC S7-200 предназначены для решения задач управления и регулирования в небольших системах автоматизации. При этом, SIMATIC S7-200 позволяют создавать как автономные системы управления, так и системы управления, работающие в общей информационной сети. Область применения контроллеров SIMATIC S7-200 исключительно широка и простирается от простейших задач автоматизации, для решения которых в прошлом использовались простые реле и контакторы, до задач комплексной автоматизации. SIMATIC S7-200 все более интенсивно используется при создании таких систем управления, для которых в прошлом из соображений экономии необходимо было разрабатывать специальные электронные модули. Одно из самых важных преимуществ контроллеров S7-200 - возведенная в ранг принципа простота их эксплуатации. Это относится как к средствам программирования контроллеров с их несложной структурой, так и к оптимальному сочетанию программного и аппаратного обеспечения.

В данном выпускной квалификационной работе разработана система управления электроприводом пассажирского лифта на базе программируемого контроллера S7-222 фирмы "SIEMENS SIMATIC". Этот контроллер также широко применяется для управления прессами, чистящими машинами, автоматическими воротами, деревообрабатывающими станками, конвейерами, и является незаменимым при работе с системами мгновенного контроля.

7.2 Логические уравнения

Разработка алгоритма управления электроприводом лифта начинается с написания логических уравнений

$$\begin{aligned}KV3 &= (SB3 \cdot SQ1 + KV3) \cdot \overline{SQ3}; \\KV5 &= (SB5 \cdot SQ3 + KV5) \cdot \overline{SQ5}; \\KM1 &= KV3 + KV5; \\TM &= KM1;\end{aligned}\tag{7.1}$$

Циклограмма алгоритма управления движения лифта вниз (без остановок) представлена на рисунке 7.1.

На рисунке приняты следующие обозначения:

SQ5 - сигнал с конечного выключателя пятого этажа;

SQ4 - сигнал с конечного выключателя четвертого этажа;

SQ3 - сигнал с конечного выключателя третьего этажа;

SQ2 - сигнал с конечного выключателя второго этажа;

SQ1 - сигнал с конечного выключателя первого этажа;

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		50

SB1 - сигнал вызова лифта на первый этаж;
KV1 - промежуточное реле первого этажа (для запоминания сигнала SB1);
KM2 - магнитный пускатель, движение вниз;

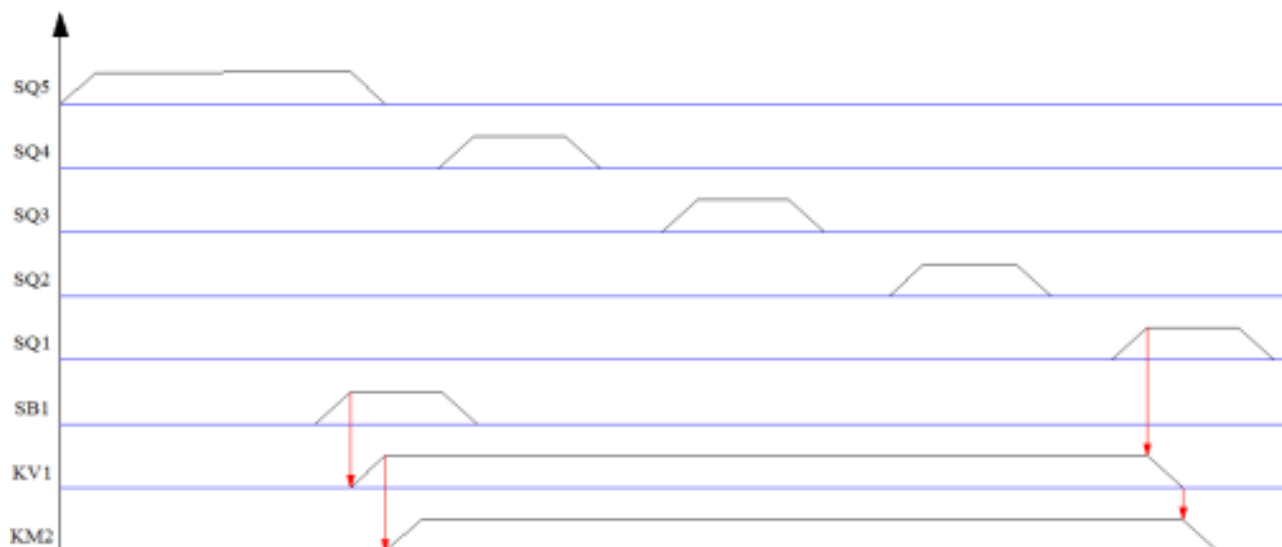


Рисунок 7.1 – Циклограмма движения вниз (без остановок)

В соответствии с рисунком 7.1 записываем уравнения:

$$\begin{aligned} KV1 &= (SB1 \cdot SQ5 + KV1) \cdot \overline{SQ1}; \\ KM2 &= KV1; \end{aligned} \quad (7.2)$$

7.3 Программирование ПЛК

Разработка программы управления для промышленного контроллера s7-200 осуществляем на языке РКС.

Составим программу управления промышленным контроллером S7-200 на языке РКС в программе “STEP7-Micro/WIN32”.

Таблица 7.1 – Символьная таблица

Имя	Адрес	Комментарий
Область памяти входов ПЛК		
SB1,SB6	E0.0	Кнопки вызова на 1 этаж
SB2,SB7	E0.1	Кнопки вызова на 2 этаж
SB3,SB8	E0.2	Кнопки вызова на 3 этаж
SB4,SB9	E0.3	Кнопки вызова на 4 этаж
SB5,SB10	E0.4	Кнопки вызова на 5 этаж
SQ1	E0.5	Этажный переключатель (1 этаж)
SQ2	E0.6	Этажный переключатель (2 этаж)
SQ3	E0.7	Этажный переключатель (3 этаж)
SQ4	E1.0	Этажный переключатель (4 этаж)
SQ5	E1.1	Этажный переключатель (5 этаж)
ЗАКР_ДВ	E1.2	Контакт закрытия дверей
СТОП	E1.3	Кнопка "СТОП"
ПЕРЕКЛЮЧ	E1.4	Переключатель постов управления
Область памяти переменных ПЛК		
KV1	V0.0	Реле вызова 1 этажа
KV2	V0.1	Реле вызова 2 этажа
KV3	V0.2	Реле вызова 3 этажа
KV4	V0.3	Реле вызова 4 этажа
KV5	V0.4	Реле вызова 5 этажа
ЗАДЕРЖКА	V0.5	Вспомогательный бит таймера выдержки
ВВЕРХ	V0.6	Бит условий движения вверх
ВНИЗ	V0.7	Бит условий движения вниз
Область памяти меркеров ПЛК		
	M0.1	Меркер этажного датчика 1 этажа
	M0.2	Меркер этажного датчика 2 этажа
	M0.3	Меркер этажного датчика 3 этажа
	M0.4	Меркер этажного датчика 4 этажа
	M0.5	Меркер этажного датчика 5 этажа
Область памяти выходов ПЛК		
KM1	Q0.0	Контактор движения вверх
KM2	Q0.1	Контактор движения вниз
K1	Q0.2	Контактор переключения постов управления
VD1_VD5	Q0.3	Индикация движения вверх
VD1_VD5	Q0.4	Индикация движения вниз
A	Q1.0	Сегмент А индикатора
B	Q1.1	Сегмент В индикатора
C	Q1.2	Сегмент С индикатора
D	Q1.3	Сегмент D индикатора

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы являлась модернизация привода пассажирского лифта. Проведя анализ электроприводов и систем управления лифтового хозяйства были сделаны выводы, о достоинствах и недостатках различных способов регулирования и обоснованны в рамках данной работы в качестве основного направления модернизации применение частотно-регулируемого электропривода, отличающегося высокими эксплуатационными показателями и значительной энергоэффективностью.

Применение частотно-регулируемого электропривода подъемного устройства (лебедки) лифта значительно повышает комфортность при движении кабины, обеспечивает бесшумность и высокую точность остановки, увеличивает долговечность механического оборудования, а также позволяет снизить расход электроэнергии на 40-60%. Повышает комфортные показатели при движении кабины лифта. Снижает эксплуатационные расходы на капитальный ремонт оборудования за счёт значительного снижения динамических нагрузок в элементах кинематической цепи. Снижение потребления электроэнергии достигается благодаря значительному (в 5-6 раз) уменьшению вращающихся маховых масс лебёдки, что исключает непроизводительные потери в переходных пуско-тормозных режимах: плавные переходные процессы позволяют снизить динамические нагрузки в элементах кинематической цепи привода лифта, что приводит к увеличению срока службы редуктора главного привода, канатоведущего шкива, тормозных колодок, электродвигателя, тяговых канатов, элементов подвески противовеса.

Применение преобразователей частоты (ПЧ) позволяет использовать АД с КЗ ротором общего применения. Момент инерции таких двигателей на порядок меньше аналогичных лифтовых двухскоростных двигателей, а стоимость значительно меньше. Применение АД с КЗ ротором общего применения позволяет уменьшить срок окупаемости модернизации.

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		53

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яновски Л., перевод И.А. Иноземцева, С.Д. Бабичев «Проектирование механического оборудования лифтов. Третье издание.» Изд. АСВ, 2005 г.
2. Обухов А. И. «Монтаж лифтов и канатных дорог» Изд. Стройиздат, 1983 г.
3. Москаленко В.В. «Электрический привод»: М.: 1991 г.
4. Цейтлин Л.С. «Электродвигатель, электрооборудование и основы управления» М: 1985 г
5. Липкин Б. Ю. «Электроснабжение промышленных предприятий и установок» Изд. Москва «высшая школа», 1990 г.
6. Руководство пользователя «Altivar 58 LiftTelemecanique» ShneiderElectric, 2004 г.
7. Дружинин Н.С., Цылбов П.П.: «Выполнение чертежей по ЕСКД»: Изд. 2-е. М.: 1975 г.
8. Браславский, И.Я. Современные тенденции применения частотно-регулируемых асинхронных электроприводов и энергосбережения / И.Я. Браславский // Электротехника. – 1998. - №8
9. Авербах, И.А. Электропривод и автоматизация промышленных установок как средство энергосбережения / И.А. Авербах, Е.И. Барац, И.Я. Браславский. – 2002. - №4
10. Ильичев, А.С. Разработка комплексного критерия качества для выбора преобразователя частоты / А.С. Ильичев, А.И. Надев, А.С. Решетов // Сборник тезисов докладов. - электротехника. – 1998. - №8
11. Кацман, М.Н. Электрические машины / М.Н. Кацман. – 3-е изд., испр. – М.: Академия, 2001. – 463с., ил.
12. Москаленко, В.В. Электрический привод / В.В. Москаленко. - М.: Высшая школа, 1991. – 430с., ил.
13. Меньков, А.В. Теоретические основы автоматизации управления / А.В. Меньков // Издательство Оникс. – 2005. – 640с.
14. Борисов А.М. Автоматизация технологических процессов и установок: учебное пособие / А.М. Борисов, А.С. Нестеров, А.Н. Горожанкин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 160 с.
15. Борисов А.М. Средства автоматизации и управления: учебное пособие / Борисов А.М., Нестеров А.С. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 207 с.
16. Борисов А.М. Программируемые устройства автоматизации: учебное пособие / Борисов А.М., Нестеров А.С., Логинова Н.А. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 186 с.

						Лист
						54
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

17. Драчев Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие к курсовому проектированию / Драчев Г.И. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 1998.-160с.
18. Драчев Г.И. Теория электропривода. Часть 1,2: Учебное пособие / Драчев Г.И. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 207 с.
19. Копылов И.П. Справочник по электрическим машинам / Копылов И.П., Клоков В.В. – М.: Энергоатомиздат, 1988. Т1. – 456 с.
20. Кравчик А.Э. Ассинхронные двигатели серии 4А / Кравчик А.Э. Шлаф М.М. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504с.
21. Системы управления электроприводов: Учебное пособие к курсовому проектированию / Ю.С. Усынин, А.Е. Бычков. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 20158. – 47 с.
22. Двигатели SEW EURODRIVE –
<http://www.seweurodrive.com/produkt/ac-motor-dre-drs-drp-drn-series.htm>
23. Источники питания Mean Well –
24. <https://meanwellpower.ru/istochnik-pitaniya-ac-dc-mean-well-rs-35-24>
25. Редукторы ПЦ-4 – <https://chelyabinsk.reductor58.ru/industrialnye-reduktory/reduktor-pts/pts-4>
26. Частотный преобразователь SINAMICS G120 –
27. https://www.saa.su/product/siemens_g120_6sl32240xe413ua0/
28. Автоматические выключатели – <https://www.schrack-technik.ru/shop/nh-razedinitel-arrow-line-razm-2-3-pol-400a-s-v-nakl-isa05312.html>
29. ГОСТ Р 50369-92. Электроприводы. Термины и определения– М.: Стандартинформ, 2005. – 17 с.
30. Автоматизированный электропривод с упругими связями/ Ю.А. Борцов, Г.Г Соколовский. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Энергоавтомиздат., 1992.-288с.
31. Теория автоматического управления: учебное пособие/ В.Ф. Дядик, С.А. Байдали, Н.С. Криницын. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 196 с.
32. Жесткова, И.Н. Справочник технолога – машиностроителя. Том 2. / И.Н. Жесткова, Н.М. Кун-Жарко, М.Я. Барская. В 4 кн. – М: Издательство машиностроение, 2001 – 941с.