

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.

Автоматизированный электропривод механизма подъема мостового крана

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
ПО ПРОГРАММЕ БАКАЛАВРИАТА  
«ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»  
ЮУрГУ–13.03.02.2020.475 ВКР**

Руководитель, к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ / Т.А. Функ /  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы,  
бакалавр группы ПЗ–576

\_\_\_\_\_ / А.А. Бобков /  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролер, к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ / Т.А. Функ /  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Челябинск 2020**

## АННОТАЦИЯ

Бобков А.А. Автоматизированный электропривод механизма подъема мостового крана. – Челябинск: ЮУрГУ, ПЗ; 2020, 76 с., 20 ил., 13 табл., библиографический список – 9 наим.

В моём проекте разработана система автоматизации мостового крана с использованием программируемого микроконтроллера, произведен выбор оборудования и двигателя согласно расчетам.

Была разработана функциональная схема в соответствии с выбранным оборудованием. Построены необходимые характеристики и диаграммы для двигателя и рабочего органа.

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2020.475.01ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
Разраб.		Бобков А.А.			Автоматизированный электропривод механизма подъема мостового крана	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.							4	63
Реценз						ЮУрГУ Кафедра «АЭП»		
Н. Контр.		Функ Т.А.						
Утверд.		Григорьев М.А.						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

АННОТАЦИЯ.....	1
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ОПИСАНИЕ МОСТОВОГО КРАНА.....	10
2 ОПИСАНИЕ РАБОТЫ МОСТОВОГО КРАНА .....	14
2.1 Описание рабочей машины	14
2.2 Основные режимы работы крановых механизмов	15
2.3 Механическая часть	16
2.4 Устройство и работа крана	17
3 ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОПРИВОДУ КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ .....	22
3.1 Системы управления крановыми электроприводами	23
4 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	24
5 НАГРУЗОЧНЫЕ ДИАГРАММЫ СКОРОСТИ РО .....	26
6 РАСЧЕТ СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОГО МОМЕНТА И МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ .....	30
7 ВЫБОР ТИПА ДВИГАТЕЛЯ .....	32
7.1 Обоснование выбора рода тока и типа электропривода	33
8 ВЫБОР РЕДУКТОРА .....	34
9 ПРИВЕДЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ МОМЕНТОВ И МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ К ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ .....	35
10 ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЯ ПО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И НАГРЕВУ .....	39
11 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА .....	43
12 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ .....	47
13 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	51
14 ЛОГИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ И ИХ ОПИСАНИЕ.....	54
15 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	56
16 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ .....	60
17 ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ.....	62

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.475.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	63
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	64

## ВВЕДЕНИЕ

Технологический процесс практически каждого современного производства связан с перемещением достаточно большого объема грузов, начиная с подачи сырья до выдачи готовой продукции. В осуществлении грузовых потоков на предприятиях и комплексной механизации процессов труда основную роль играют системы подъемно-транспортных машин и оборудования.

Подъемно-транспортная техника развивалась в соответствии с потребностями общества и обладает богатой историей. Большой толчок развитию и усовершенствованию подъемно-транспортной техники дало развитие горного дела и металлургии.

Простейшие машины люди начали применять еще в глубокой древности, о чем свидетельствуют летописи и памятники материальной культуры, В Египте, Ассирии, Вавилоне, древнем Риме и других странах для орошения земель применяли колодезные ворота «журавли» и другие подъемные устройства.

Большой вклад в развитие подъемной техники внесли русские механики и мастера, о чем свидетельствует множество примеров смелого решения задач подъема и перемещения грузов. В XV веке в мукомольном производстве начали применять транспортирующие машины. Применение подъемных машин в России известно с 1703 года (Петрозаводский чугунолитейный завод). Изумительные по техническому совершенству работы по комплексной механизации Алтайских рудников и заводов, не имевши до того времени аналогов в мировой практике, выполнил русский механик К.Д. Фролов (1768г.). оригинальный способ доставки громадного гранитного цоколя (1000т) для памятника Петру I в Петербурге (1769) был осуществлен по деревянным желобам на бронзовых шарах, накрытых сверху деревянными балками с желобами, облицованными медными листами.

Краностроение в России начало свое развитие после изобретения И.И. Ползуновым парового привода (1763 г.). Изобретенный М.О. Доливо-Добровольским электродвигатель переменного тока (1896 г.) способствовал созданию первых электрических подъемников и мостовых кранов.

Впервые в России были созданы: многоковшовый подъемник (В.Г. Кузнецовым); ленточный конвейер для транспортировки золотосодержащего песка (А. Лопатиным); пластинчатый конвейер (И. Коузовым). Д. Петров осуществил сложнейшие работы по передвижке зданий (1812).

Подъемно-транспортное машиностроение в России выпускает все необходимые для промышленности виды подъемно-транспортной техники. В современные краны закладываются следующие принципы: стандартизация, унификация и блочность конструкции. Технико-экономическим анализом устанавливаются оптимальные типы машин и их параметры, определяют число деталей и узлов, что повышает качество машин, экономичность их эксплуатации и ремонта. Мостовой кран работает в условиях повышенных вибраций, в помещениях с высокой степенью загрязненности, подвергается сильным перегрузкам при высокой частоте включений, зачастую с повышенной влажностью и высокой температурой, поэтому электрооборудование крана должно обладать повышенной надежностью, простотой и удобством управления, и безопасностью обслуживания. Перечень требований к безопасности оговаривается в нормативной документации.

На сегодняшний день значение подъемно-транспортных машин изменилось. Они вышли далеко за рамки своего первоначального назначения: сначала они были вспомогательным оборудованием и являлись связующим звеном в технологической цепи, которая обеспечивает непрерывность производства, а теперь подъемные машины стали основной частью технологического процесса. От правильного выбора машин зависит производительность предприятия.

Конструкции мостовых кранов непрерывно совершенствуются, в результате чего возникают новые задачи по расчету, проектированию, исследованию и выбору оптимальных параметров машин, обеспечивающих высокие технические показатели и качество машин.

Целями и задачами своей выпускной квалификационной работы я поставил расчет силовой части мостового крана и выполнение его автоматизации. Выполнение автоматизации крана позволяет нам добиться повышения КПД производства и обеспечить более комфортные условия труда для крановщика. Актуальность данной темы не вызывает сомнений, поскольку, каждое предприятие заинтересовано в достижении максимальной эффективности производства. Разработка данной системы позволит осуществить автоматизацию мостового крана с использованием простых и экономически выгодных устройств.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.475.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9

## 1 ОПИСАНИЕ МОСТОВОГО КРАНА

Мостовые краны широко применяются во всех отраслях промышленности во время технологических, погрузочно-разгрузочных, монтажных и складских работах. Самыми распространёнными являются краны грузоподъемностью от 5 до 320 т. Современное краностроение отличается совершенствованием конструкций, применением современных методов и средств изготовления и контроля, внедрением новых методов расчета, основанных на снижении массы кранов, повышении их надежности. Пристальное внимание уделяется вопросам стандартизации, унификации и качеству кранов.

Мостовым краном является грузоподъемная машина, которая передвигается по рельсам на расстоянии от земли (пола) и обеспечивающая перемещение груза (рис. 1.1). На данный момент мостовые краны являются одним из наиболее распространенных средств механизации современного производства, погрузочно-разгрузочных и складских работ. Перемещаясь по путям, расположенным над землей они не занимают полезной площади цеха или склада, обеспечивая в то же время обслуживание практически любой их точки.

Мостовой кран – это кран, предназначенный для работы с различными грузами и имеющие в качестве грузозахватных органов грузовые крюки. Штучные грузы, предназначенные для подъема и перемещения мостовыми кранами, навешивают на крюк при помощи стропов или специальных захватами.



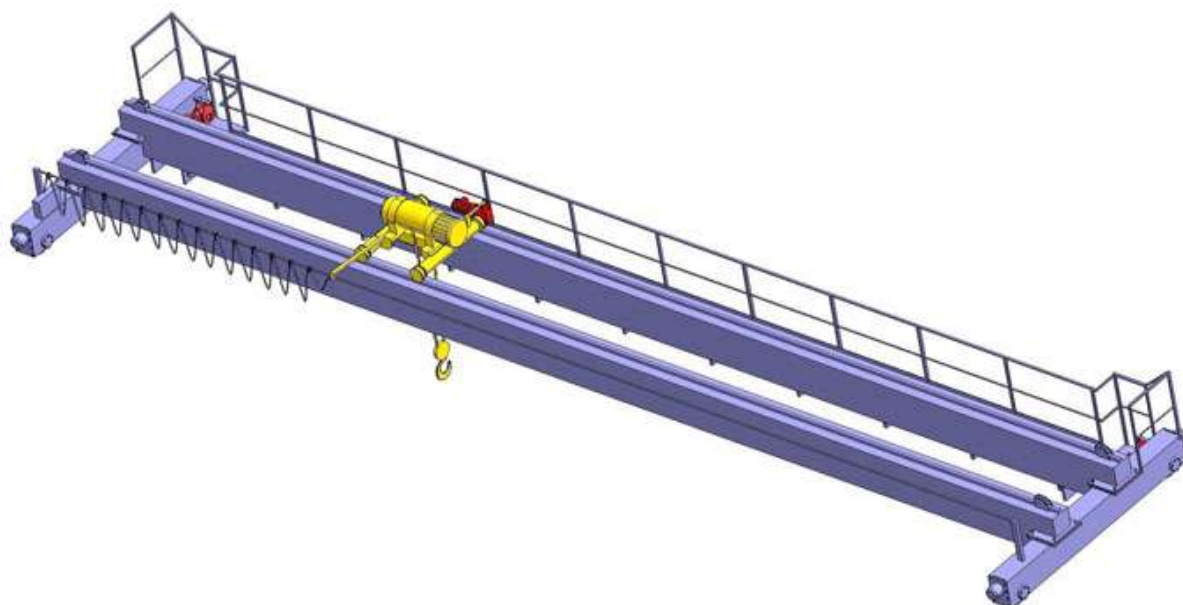


Рисунок 1.1 – Двухбалочный мостовой кран опорного типа

Мостовые краны по типу мостов подразделяются на двухбалочные и однобалочные. Двухбалочный кран (рис. 1.1) имеет две основные части: мост и тележку. Конструкция моста содержит две пролетные и две концевые балки и перекрывает рабочий пролет производственного помещения. С помощью механизмов кран движется вдоль подкранового пути. Опорная тележка этого крана состоит из рамы, одного или двух механизмов подъема груза и передвижения для перемещения ее по рельсам моста.

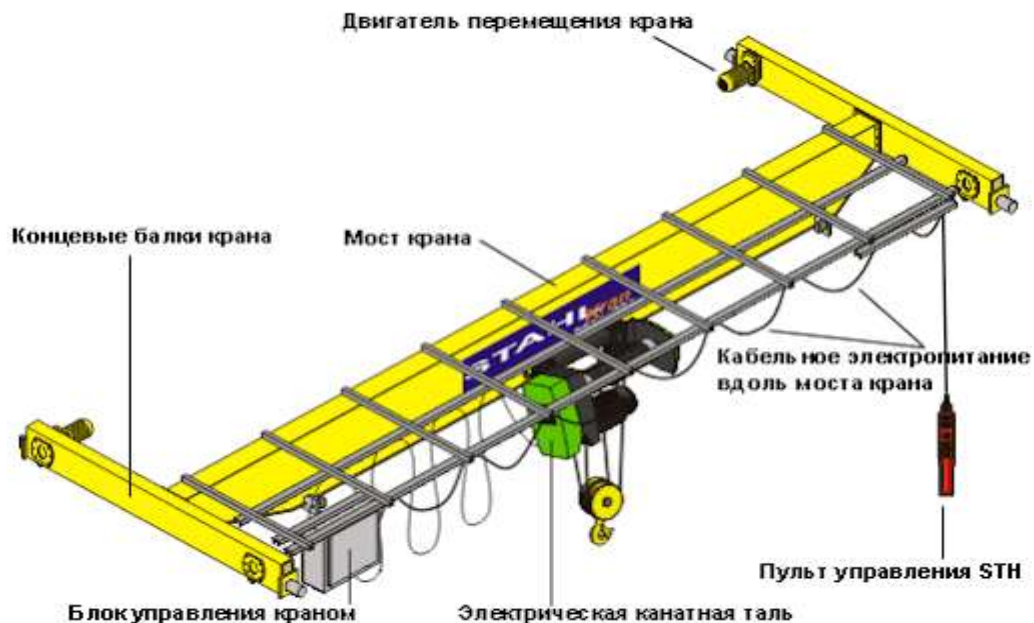


Рисунок 1.2 – Однобалочный мостовой кран опорного типа

Однобалочный мостовой кран (рис. 1.2) имеет консольную тележку, перемещающуюся по одной пролетной балке. Край снабжается двумя тележками, одна из которых опорная – с механизмом главного подъема, другая консольная – с механизмом вспомогательного подъема, что способствует повышению маневренности и лучшем использованию крана. Установка на тележке только верхних блоков позволяет снизить высоту крана, а консольное расположение блоков – обслуживать дополнительную площадь с торцевой стороны цеха или складского помещения.

Мостовые краны используют в сборочных цехах, в машинных залах, в котельных и отделениях электростанций. При работе на открытом воздухе они перемещаются по путям, уложенным на специальных эстакадах (рис. 1.3). На одних и тех же подкрановых путях могут работать несколько кранов.



Рисунок 1.3 – Крановая эстакада

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Грузы масса которых превышает грузоподъемность крана, поднимаются двумя кранами с использованием траверсы (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Траверсы грузоподъемные

Масса крана определяет не только его стоимость, но и экономические затраты на сооружение здания или эстакады, так как необходимо применять строительные конструкции соответствующих размеров. В этом плане преобладают однобалочные краны, у которых масса на 10-30% меньше, чем у двухбалочных.

Мостовые краны в основном применяются при подъеме грузов, как в помещениях, так и на воздухе. Они работают в большом диапазоне температур от  $-20\text{ C}$  до  $+40\text{ C}$ . Эксплуатация кранов не возможна в помещениях с большой влажностью, при насыщении атмосферы парами щелочей и кислот. Нельзя использовать их в пожароопасной и во взрывоопасной среде.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.475.01ПЗ

Лист

13

## 2 ОПИСАНИЕ РАБОТЫ МОСТОВОГО КРАНА

Объектом проектирования электропривода является механизм подъема. Нагрузка механизма изменяется во время цикла, включает в себя разгон до рабочей скорости, выполнение работы на этой скорости, торможение, реверс и возвращение на повышенной скорости в начальное положение. Во время работы механизма необходимо регулировать скорость и момент, ограничение предельных значений момента, ограничение ускорения рабочего органа. Возникают режимы наброса и сброса нагрузки.

### 2.1 Описание рабочей машины

Подъемный кран – грузоподъемная машина циклического действия, предназначенная для подъема и перемещения груза, который удерживается грузозахватным устройством. Он является распространенной грузоподъемной машиной. Мостовой кран (рис.2.1) состоит из моста, перемещающегося по крановым путям на ходовых колесах, которые установлены на концевых балках. Они устанавливаются на подкрановые балки, опирающиеся на выступы верхней части колонны цеха. Механизм передвижения крана установлен на мосту крана. Управление всеми механизмами происходит из кабины прикрепленной к мосту крана. Питание электродвигателей осуществляется по цеховым троллеям. Для подвода электроэнергии применяют токосъемы скользящего типа, прикрепленные к металлоконструкции крана. В современных конструкциях мостовых кранов токопровод осуществляется с помощью гибкого кабеля. Привод ходовых колес осуществляется от электродвигателя через редуктор и трансмиссионный вал. Современный грузоподъемный кран в соответствии с требованиями безопасности, должен иметь для каждого рабочего движения, следующие механизмы: механизм подъема – опускания груза, механизм передвижения крана и механизмы обслуживания зоны работы крана (передвижения тележки).

Грузоподъемные машины изготавливают для разнообразных условий использования: по степени загрузки, времени работы, интенсивности ведения операций и др.

К главным параметрам механизма подъема относят: грузоподъемность, скорость подъема крюка, режим работы, высота подъема грузозахватного устройства.

Номинальная грузоподъемность – это масса номинального груза на крюке, захватном устройстве, поднимаемого грузоподъемной машиной.

Скорость подъема крюка выбирается в зависимости от требований технологического процесса, в котором участвует грузоподъемная машина, характера работы, типа машины и ее производительности.

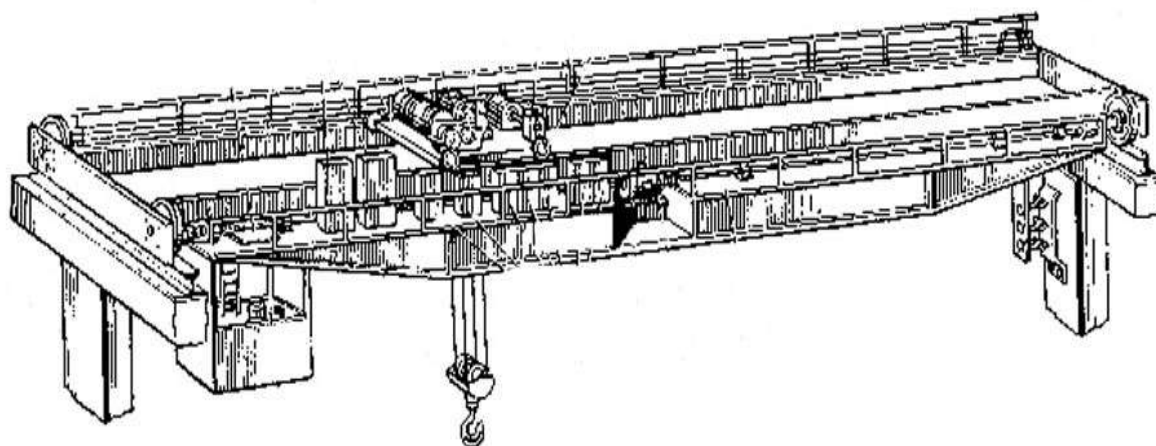


Рисунок 2.1 – Общий вид мостового крана

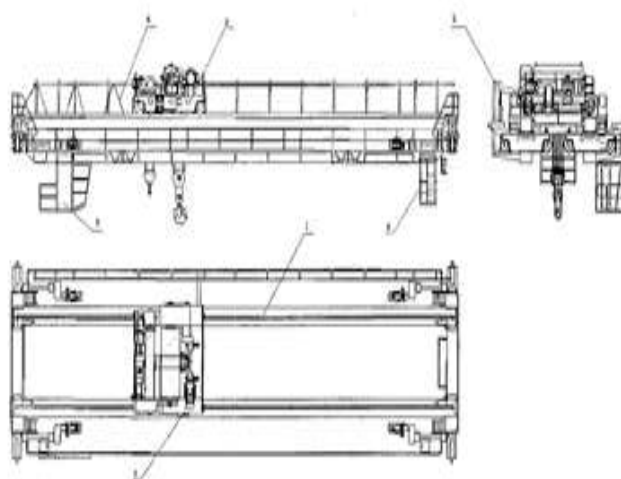
## 2.2 Основные режимы работы крановых механизмов

Режим работы крановых механизмов – основной фактор при выборе мощности приводных электродвигателей, аппаратуры и системы управления. От него зависит и конструктивное исполнение механизмов. В некоторых случаях даже однотипные краны работают в разных режимах. Неверный выбор режима при проектировании электропривода кранов ухудшает технико-экономические показатели всей установки. Выбор более легкого режима влияет на повышенный износ электрооборудования, частые поломки и простои. Поэтому необходимо выбирать оптимальный режим работы кранового механизма.

Согласно правилам устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных механизмов, устанавливается четыре номинальных режима работы: легкий (Л), средний (С), тяжелый (Т), весьма тяжелый (ВТ). Для каждого механизма крана режим работы определяется отдельно, режим работы крана в целом устанавливается по механизму главного подъема.

### 2.3 Механическая часть

Конструкция крана (рис. 2.2) включает в себя мост по рельсам которого перемещается грузовая тележка 2. Управление краном осуществляется из кабины крановщика 3, которая расположена под рабочей площадкой моста. Для обслуживания питающих крановых троллей и токоприемников предусмотрена специальная кабина для их обслуживания 4. Электрооборудование 5, которое расположено на мосту, тележке и в кабине крановщика, предназначено для управления механизмами крана. Токосвод к грузовой тележке осуществляется гибким кабелем 6, подвешенным к кареткам, перемещающимся по монорельсу. Мост крана состоит из двух полумостов, вес каждого равномерно, передается на четыре ходовых колеса.



1 - мост, 2 - грузовая тележка, 3 - кабина крановщика, 4 - кабина для обслуживания троллей, 5 -

Рисунок 2.2 – Конструкция крана

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 2.4 Устройство и работа крана

Электропривод грузоподъёмных машин описывается повторно – кратковременным режимом работы при большой частоте включения, широким диапазоном регулирования скорости и постоянно возникающих перегрузках при разгоне и торможении механизмов. Условия использования электропривода в грузоподъёмных машинах являются основой для создания серий электрических двигателей кранового исполнения. В нынешнее время крановое электрооборудование имеет в своем составе серии крановых электродвигателей переменного и постоянного тока, серии силовых и магнитных контроллеров, кнопочных постов, концевых выключателей, тормозных электромагнитов и пускотормозных резисторов и ряд других аппаратов, комплектующих разные крановые электроприводы.

Мост крана состоит из двух пролетных балок, каждая из них опирается на две концевые балки, соединённых между собой соединительной балкой, образующих жесткую раму. На концевых балках моста крана закреплены восемь ходовых колес, из которых четыре – приводные. Для выхода на площадку моста из кабины предусмотрен люк. Площадки пролетных балок оборудованы перилами и предназначены для безопасного и удобного обслуживания кабельного токоподвода тележки, электрооборудования и механизмов, которые расположены вне кабины и тележки. Концевые балки моста при монтаже крана оборудуются перилами, а площадки ограждениями. Ограничение перемещения тележки крана осуществляется специальными устройствами, расположенными на пролетных балках моста, Скребки, установленные перед колесами моста, исключают возможность попадания под колеса посторонних предметов. Механизм передвижения крана с приводными колесами выполнен с помощью четырех отдельных приводов, состоящих из электродвигателя, тормоза, быстроходного вала, редуктора, тихоходного вала, соединённого с валом приводного колеса.

Грузовая тележка состоит (рис. 2.3) из: рамы, двух механизмов подъёма с грузовыми подвесками, механизма передвижения тележки. На одном кране грузовая тележка с электромагнитом на вспомогательном подъеме, оборудуется и кабельным барабаном.

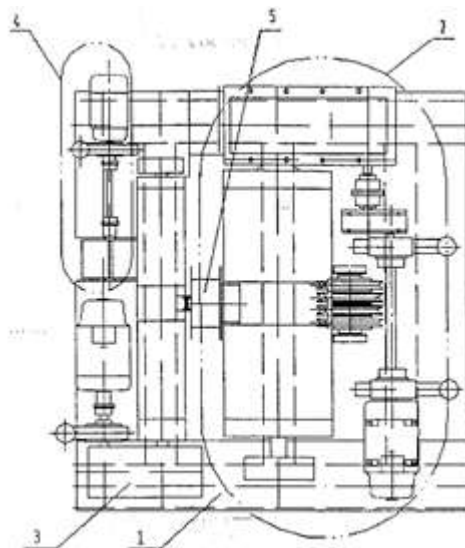


Рисунок 2.3 – Грузовая тележка. 1-рама; 2- механизм главного подъема; 3- механизм вспомогательного подъема, 4-механизм передвижения тележки; 5- кабельный барабан.

Рама тележки сварная, балочной конструкции, разъёмная для обеспечения её транспортировки железнодорожным транспортом. Соединение частей рамы выполнено при помощи накладок без применения сварки. Рама установлена на четыре ходовых колеса, два из которых приводные. Ходовые колеса крепятся к раме при помощи угловых букс. Грузовая тележка передвигается по рельсам вдоль пролётных балок моста.

Механизм главного подъёма состоит из электродвигателя, промежуточного вала, двух редукторов, двух колодочных тормозов, барабана, полиспаста, подвески. Полиспаст механизма главного подъема – пятикратный сдвоенный. Барабаны механизма подъемов получают вращение через редуктор. Опорами барабанов являются подшипники в выходном зубчатом вале редуктора и подшипники в опоре барабана. При помощи шпилек с пружинными шайбами и гайками, на поверхности барабана накладками, закрепляются концы каната.



Задняя опора барабана представляет собой корпус, который может поворачиваться относительно шарнира. Механизм вспомогательного подъема состоит из электродвигателя, вала, редуктора, колодочного тормоза, барабана, сдвоенного полиспаста и подвески. Полиспаст механизма вспомогательного подъема – двукратный сдвоенный. На поверхности барабана накладками закрепляются концы каната. Задняя опора барабана состоит из корпуса, который может поворачиваться относительно шарнира.

Тележка опирается на четыре колеса, два из которых приводные. Механизм передвижения тележки состоит из электродвигателя, колодочного тормоза, быстроходного вала, вертикального редуктора, двух промежуточных валов с муфтами и двух приводных колёс. Приводные колеса тележки состоят из колеса, насаженного на вал. Вал колеса вращается на подшипниках качения.

Кабина управления закрытого типа остеклена, имеет тепло и шумоизоляцию, оснащена кондиционером, электрообогревателем и пультом управления. Пульт управления предназначен для управления всеми механизмами крана.

В конструкции крана предусмотрены: свободный доступ для обслуживания механизмов и электрооборудования; безопасность обслуживания, ремонта, монтажа механизмов и их сборочных единиц; места для строповки сборочных единиц крана при монтаже и ремонте; система лестниц и площадок, которые нужны для технического обслуживания и ремонта механизмов и электрооборудования.

В крановом электроприводе широко применяются различные системы тиристорного регулирования и дистанционного управления по радиоканалу или одному проводу.

Режим работы грузоподъемных машин цикличен. Цикл состоит из перемещения груза по заданной траектории и возврата в начальное положение для нового цикла.

## Циклограмма работы мостового крана

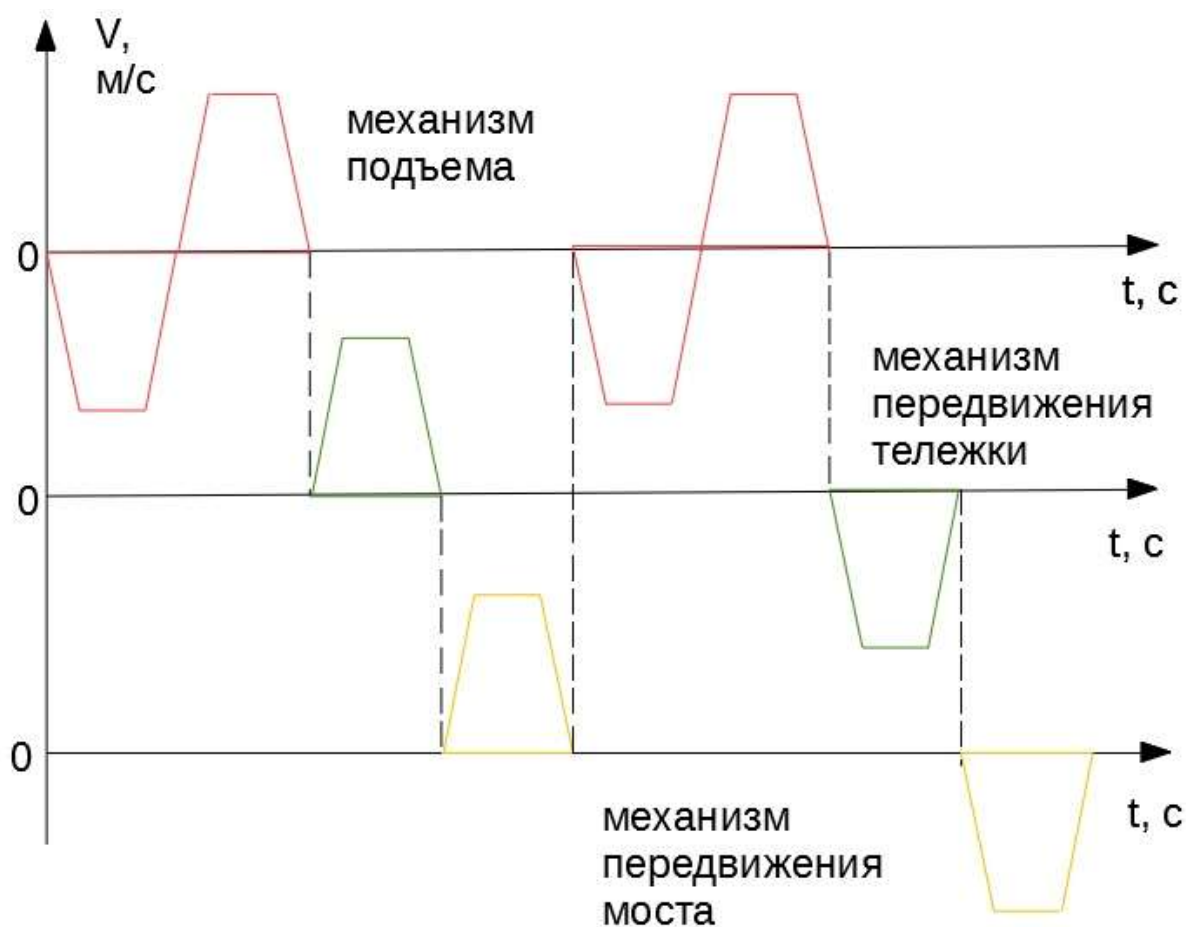


Рисунок 2.4 – Циклограмма работы мостового крана

Цикл работы системы состоит из перемещения груза с места загрузки до места выгрузки по выбранной траектории и возвращения в исходное положение для начала нового цикла. В исходном положении кран располагается над необходимыми заготовками в цеху. Процесс работы начинается с включения двигателя механизма подъема. Происходит опускание траверсы, захват груза и его подъем. После этого двигатель механизма подъема отключается. Включаются двигатели тележки и происходит перемещение груза из крайнего левого в крайнее правое положение, при этом тележка движется по специальным рельсам. Затем происходит отключение двигателей тележки и включение двигателей механизма передвижения моста. Происходит перемещение моста по крановым путям до места назначения.

После этого происходит срабатывание механизма подъема: траверса с грузом опускается, происходит отцепление груза, после этого траверса поднимается без груза. Тележка перемещается в начальное положение и мост возвращается в исходную точку. Затем происходит повторение цикла.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.475.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

### 3 ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОПРИВОДУ КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Мостовые краны, как нам известно, относятся к оборудованию с повышенным уровнем опасности. Поэтому они требуют повышенного внимания, работающего с ними персонала и строгого выполнения всех защитных мероприятий при управлении краном. Одними из основных мероприятий, я бы хотел назвать, обеспечение защиты от перегрузок используемых двигателей, защиту от коротких замыканий, нулевую защиту и т.д.

Во время эксплуатации различных электрических двигателей могут возникнуть перегрузки. На это есть ряд причин, к основным можно отнести: неисправности в механизме, подъеме груза, вес которого, превышает допустимые пределы и т.д. В таком случае возможность быстрого отключения электродвигателя является главным способом защиты механической части крана от различных повреждений.

Но в случае возникновения коротких замыканий и перегрузок свыше 200% от номинала такие средства защиты будут мало эффективны. В таких ситуациях защита двигателя обеспечивается при помощи электромагнитных реле.

Так же стоит упомянуть о защите перехода крайних положений. В конструкции мостового крана она осуществляется при помощи концевых выключателей. Эти выключатели начинают работать в том случае, если груз был поднят выше определенного в конструкции крана положения или при приближении тележки кран к крайним положениям. Так же, стоит упомянуть, что концевые выключатели могут ограничить ход грузозахватного приспособления вверх, однако не ограничивают ход вниз. Но на саму тележку мостового крана устанавливаются концевые выключатели, которые ограничивают ход тележки в обе стороны. В результате присутствия такой защиты, система позволяет предупредить крупные аварии.

Ещё одним не мене важным типом защиты в кранах является нулевая защита. Этот тип защиты необходим для исключения возможности случайного запуска двигателя, в случае исчезновения напряжения и его последующего восстановления.

В большинстве случаев для исполнения такого типа защиты предусматриваются реле напряжения. На это реле подается напряжение, в таком случае, когда положение всех контроллеров равно нулю, а их силовые контакты разомкнуты. С целью удобства обслуживания и ремонта таких аппаратов они устанавливаются на защитной панели в кабине оператора, поскольку это место считается наиболее удобным для обслуживания этих устройств. Тормозные режимы этих устройств осуществляются при помощи различных типов тормозов. В своем проекте я использовал дисковый тормоз.

### 3.1 Системы управления крановыми электроприводами

СУ крановыми электроприводами объединяются в три группы: управление исполнительными электродвигателями постоянного и переменного тока с помощью комплектных силовых коммутационных аппаратов; дистанционного управления исполнительными электродвигателями постоянного и переменного тока, получающими питание от сети и содержащими комплектные устройства коммутации силовых цепей; управления двигателями постоянного тока и асинхронными с питанием от электромагнитных и вентильных преобразователей тока, частоты и напряжения.

При работе кранов практически всегда используются асинхронные электроприводы. Приводы с использованием ДПТ с последовательным возбуждением могут позволить нам добиться возрастания скорости при понижении момента, благодаря этому, они так же являют собой хороший выбор для крановых механизмов. Особенностью данного типа электроприводов является наличие высоких регулировочных свойств, однако имеют весьма ограниченное применение.

#### 4 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

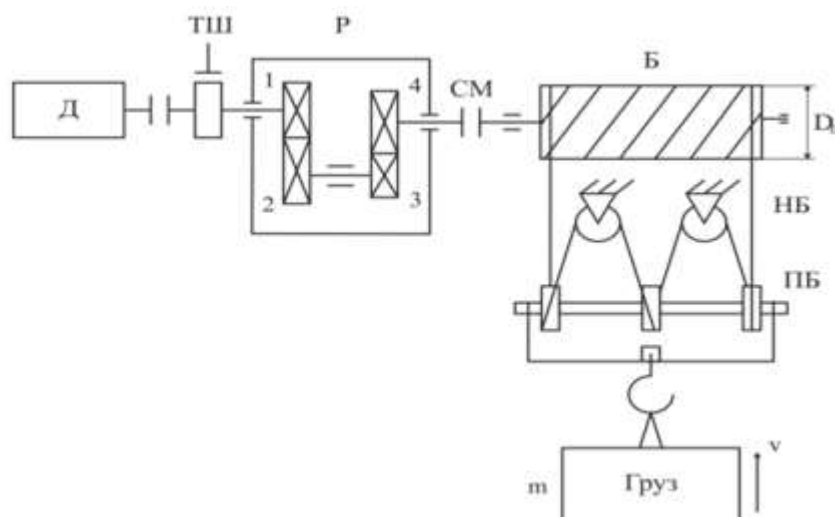


Рисунок 4.1 – Кинематическая схема

#### Исходные данные

Масса груза, т	Диаметр барабана, м	Масса барабана, кг	Высота подъема, м	Скорость подъема, м/с	Время работы, с	Число циклов, 1/час
35	0,4	100	7	0,35	100	14

#### ВЫБОР ПОДВЕСНОГО МЕХАНИЗМА

В моем дипломном проекте подвесной механизм выполнен в виде траверсы и электромагнитов.

Выбираем траверсу ДПТ 32-20, масса траверсы вместе с магнитами составляет 11,9 т.

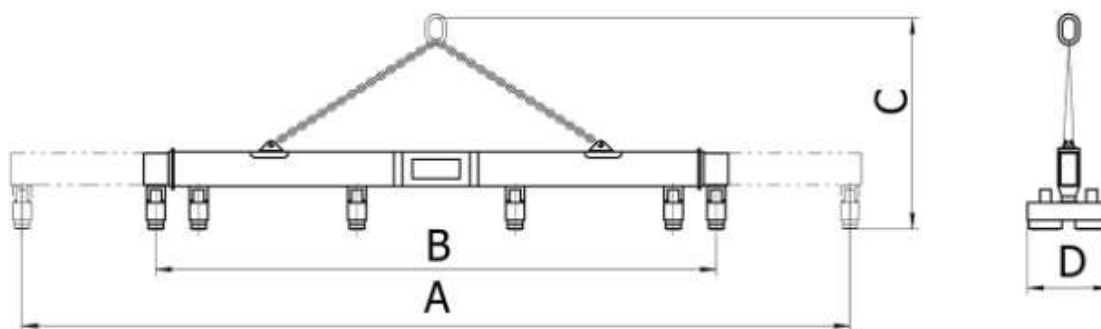


Рисунок 4.2 – Траверса

Массогабаритные характеристики траверсы представлены в таблице

Модель	Грузоподъемность, т	Кол-во грузоподъемных магнитов, шт	Габаритные размеры, м				Масса траверсы с магнитами, кг
			A	B	C	D	
ДПТ 32-20	35	5 модулей	14,9	10	1,5	1,8	11900

Траверса и её характеристики взяты с интернет ресурса: <http://dimalmag.ru/>

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.475.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

## 5 НАГРУЗОЧНЫЕ ДИАГРАММЫ СКОРОСТИ РО

Расчет  $M_{po}$  и  $P_{дв}$

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

$$t_{п} = t_{т} = \frac{V_y}{a_{доп}}$$

Путь, проходимый за время пуска (торможения) рабочей машиной:

$$\alpha_p = \alpha_t = \frac{V_y^2}{2|a_{доп}|}$$

Время установившегося режима движения со скоростью  $v_y$ :

$$t_y = \frac{\alpha - (\alpha_p + \alpha_t)}{V_y}$$

Выбор слабины каната:

$$t_p = t_t = \frac{0,35}{0,4} = 0,88 \text{ с}$$

$$a_{ПВС} = a_{ТВС} = \frac{0,35^2}{2 \cdot 0,4} = 0,15 \text{ м}$$

$$t_{УВС} = \frac{7 - (0,15 + 0,15)}{0,35} = 19 \text{ с}$$

Момент силы тяжести траверсы:

$$M_{ТЯЖ.КР.} = \frac{m_o \cdot g \cdot D_6}{2 \cdot i_{п}} = \frac{11900 \cdot 9,8 \cdot 0,4}{2 \cdot 3} = 7774,67 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент силы тяжести груза:

$$M_{ТЯЖ.ГР.} = \frac{(m + m_o) \cdot g \cdot D_6}{2 \cdot i_{п}} = \frac{(35000 + 11900) \cdot 9,8 \cdot 0,4}{2 \cdot 3} = 30641,33 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент силы трения в подшипниках барабана:

1) Без груза

$$\begin{aligned} M_{ТР.ПОДШ.} &= \frac{m_6 \cdot D_{п} \cdot \mu_{п} \cdot g}{2} + \frac{m_o \cdot D_{п} \cdot \mu_{п} \cdot g}{2 \cdot i_{п}} \\ &= \frac{100 \cdot 0,16 \cdot 0,07 \cdot 9,81}{2} + \frac{11900 \cdot 0,16 \cdot 0,07 \cdot 9,81}{2 \cdot 3} = 223,4 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$



2) С грузом

$$\begin{aligned}M_{\text{ТР.ПОДШ.ГР}} &= \frac{m_6 \cdot D_{\text{п}} \cdot \mu_{\text{п}} \cdot g}{2} + \frac{(m + m_0) \cdot D_{\text{п}} \cdot \mu_{\text{п}} \cdot g}{2 \cdot i_{\text{п}}} \\&= \frac{100 \cdot 0,16 \cdot 0,07 \cdot 9,81}{2} + \frac{(35000 + 11900) \cdot 0,16 \cdot 0,07 \cdot 9,81}{2 \cdot 3} \\&= 864,32 \text{ Н} \cdot \text{м}\end{aligned}$$

Суммарный статический момент рабочего органа при ослаблении канатов, подъеме

$$M_{\text{РОСТ1 ВС}} = M_{\text{РОСТ1 П}} = M_{\text{ТЯЖ.КР}} + M_{\text{ТР.ПОДШ}} = 7774,67 + 223,4 = 7998,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Суммарный статический момент рабочего органа при ослаблении канатов, спуске

$$M_{\text{РОСТ2 ВС}} = M_{\text{РОСТ2 П}} = M_{\text{ТЯЖ.КР}} - M_{\text{ТР.ПОДШ}} = 7774,67 - 223,4 = 7551,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Суммарный статический момент рабочего органа при подъеме груза

$$M_{\text{РОСТ1 Г}} = M_{\text{ТЯЖ.Г.}} + M_{\text{ТР.ПОДШ.ГР.}} = 30641,33 + 864,32 = 31505,65 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Суммарный статический момент рабочего органа при спуске груза

$$M_{\text{РОСТ2 Г}} = M_{\text{ТЯЖ.Г.}} - M_{\text{ТР.ПОДШ.ГР.}} = 30641,33 - 864,32 = 29777 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для определения динамического момента рабочей машины рассчитывается момент инерции рабочего органа

1) Без груза

$$J_{\text{РО}} = m_6 \cdot \frac{D_6^2}{4} + m_0 \cdot \frac{D_6^2}{4 \cdot i_{\text{п}}^2} = 100 \cdot \frac{0,4^2}{4} + 11900 \cdot \frac{0,4^2}{4 \cdot 3^2} = 56,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

2) С грузом

$$\begin{aligned}J_{\text{РОГ}} &= m_6 \cdot \frac{D_6^2}{4} + (m + m_0) \cdot \frac{D_6^2}{4 \cdot i_{\text{п}}^2} = 100 \cdot \frac{0,4^2}{4} + (35000 + 11900) \cdot \frac{0,4^2}{4 \cdot 3^2} \\&= 212,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2\end{aligned}$$

Определим динамический момент с учетом величины допустимого ускорения

1) Без учета груза

$$M_{\text{РОДИН}} = J_{\text{РО}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot i_{\text{п}}}{D_6} = 56,9 \cdot \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 3}{0,4} = 341,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2) С учетом груза

$$M_{\text{РОДИН Г}} = J_{\text{РО Г}} \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot i_{\text{п}}}{D_{\text{б}}} = 212,4 \cdot \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 3}{0,4} = 1274,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Полный момент рабочего органа

$$M_{\text{РО}} = M_{\text{РОСТ}} + M_{\text{РОДИН}}$$

Подъём груза

1) Выбор слабины канатов

Разгон

$$M_{\text{РО.РСК}} = M_{\text{РОСТ1 ВС}} + M_{\text{РОДИН}} = 7998,1 + 341,4 = 8339,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Установившийся режим

$$M_{\text{РО.РСК}} = M_{\text{РОСТ1 ВС}} = 7998,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2) Разгон с  $0,2 \cdot V_{\text{Г}}$  до  $V_{\text{Г}}$

$$M_{\text{РО Р.Г.}} = M_{\text{РОСТ1 Г}} + M_{\text{РОДИН Г}} = 31505,65 + 1274,4 = 32780 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

3) Скорость  $V_{\text{Г}}$

$$M_{\text{РО Г}} = M_{\text{РОСТ1 Г}} = 31505,65 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

4) Торможение с  $V_{\text{Г}}$  до 0

$$M_{\text{РО Т.Г.}} = M_{\text{РОСТ1 Г}} - M_{\text{РОДИН Г.}} = 31505,65 - 1274,4 = 30231,25 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

# Нагрузочные диаграммы скорости и моментов

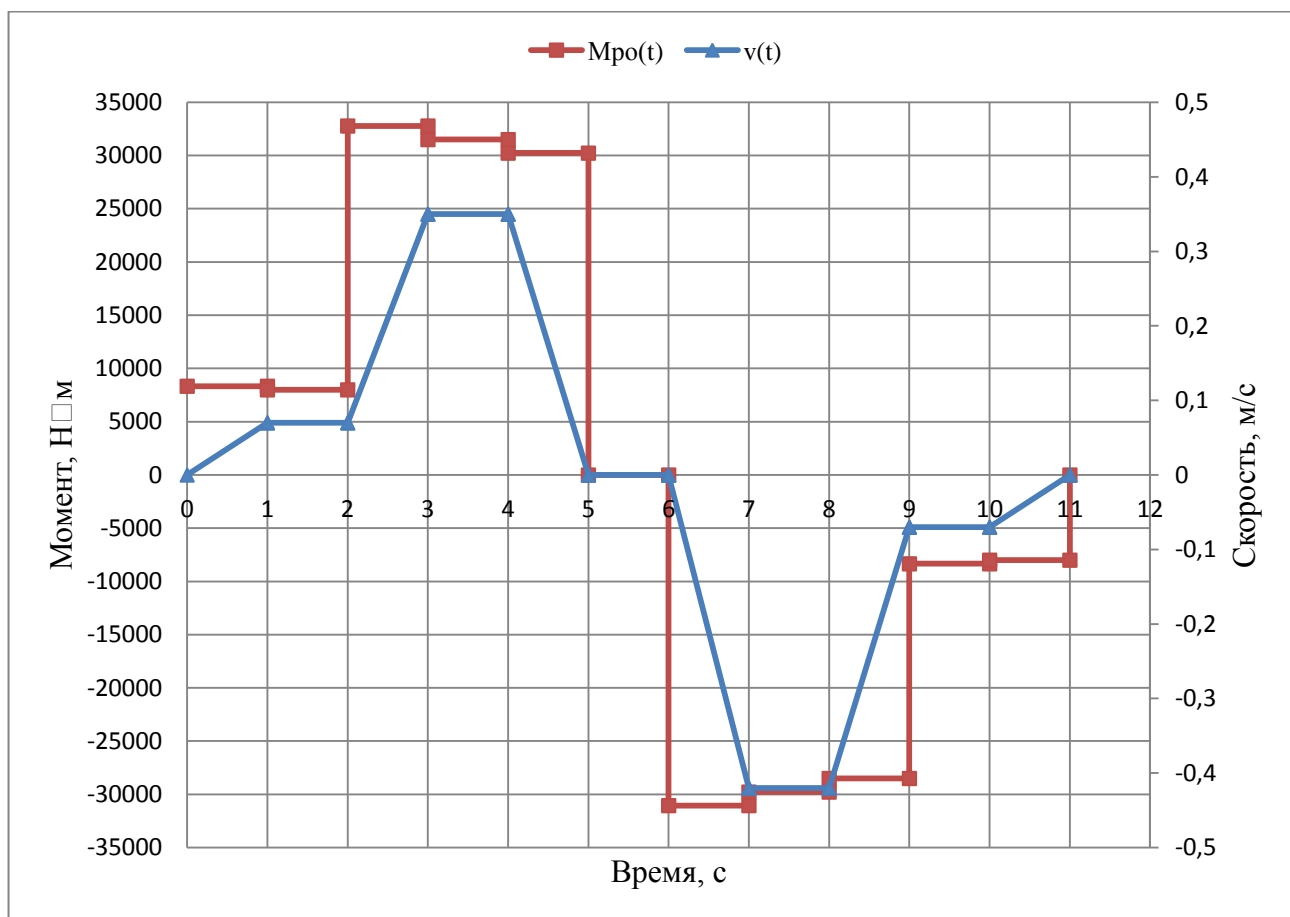


Рисунок 5.1 – Нагрузочная диаграмма

## 6 РАСЧЕТ СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОГО МОМЕНТА И МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

Рассчитываем среднеквадратичное значение момента

$$M_{\text{СР.КВ.}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m M_k^2 \cdot t_k}{\sum_{k=1}^m t_k}}$$

$$M_{\text{СР.КВ.}} = \sqrt{\frac{8339,5^2 \cdot 0,18 + 7998,1^2 \cdot 19 + 32780^2 \cdot 0,88 + 31505,65^2 \cdot 19 +}{0,18 + 19 + 0,88 + 19 +}}$$

$$= \sqrt{\frac{+30231,25^2 \cdot 0,88 + 31051^2 \cdot 1,05 + 29777^2 \cdot 16 + 28503^2 \cdot 1,05 +}{+0,88 + 1,05 + 16 + 1,05 +}} =$$

$$= \sqrt{\frac{+8339,5^2 \cdot 16 + 7998,1^2 \cdot 0,18}{+16 + 0,18}} = \sqrt{\frac{12518506 + 1215422468 +}{74,22}} =$$

$$= \sqrt{\frac{+945584922 + 18859513656 + 804257059 + 1012372831 +}{74,22}} =$$

$$= \sqrt{\frac{14186715664 + 853042059 + 1112756164 + 11514528}{74,22}} =$$

$$= \sqrt{\frac{39013697857}{74,22}} = 22927 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Рассчитаем время цикла

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{z} = \frac{3600}{14} = 257,1$$

Рассчитаем фактическую продолжительность включения

$$ПВ_{\text{факт}} = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \sum_{K=1}^m t_k \cdot 100\% = \frac{74,22}{257,1} \cdot 100\% = 29\%$$

Расчетная мощность двигателя равна

$$P_{ДВ} = k_1 \cdot M_{СР.КВ} \cdot \frac{2v_0}{D} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{факт}}{ПВ_{кат}}} = 1,4 \cdot 22927 \cdot \frac{2 \cdot 0,35}{0,4} \cdot \sqrt{\frac{29}{40}} = 47745 \text{ Вт}$$

Таблица 6.1 – Расчет нагрузочных диаграмм

	Выбор слабины канатов		Подъем груза		
	разгон	устан.	разгон	устан.	торможение
t, с	0,18	19	0,88	19	0,88
S, м	0,0039	19	0,15	19	0,15
V, м/с	-	0,07	-	0,35	-
M <sub>РО СТ</sub> , Нм	7998,1		30641,33		
J <sub>РО</sub> , кгм/с <sup>2</sup>	56,9		212,4		
M <sub>РОДИН</sub> , Нм	341,4	-	1274,4	-	1274,4
M <sub>РО</sub> , Нм	8339,5	7998,1	32780	31505,65	30231,25
M <sub>ТП</sub> , Нм	223,4	223,4	864,32	864,32	864,32
M <sub>ТК</sub> , Нм	-	-	-	-	-
M <sub>ТС</sub> , Нм	-	-	4394		

	Спуск груза			Ослабление канатов	
	разгон	устан.	торможение	разгон	устан.
t, с	1,05	16	1,05	16	0,18
S, м	-0,22	16	-0,22	16	0,0039
V, м/с	-	-0,42	-	-	-0,07
M <sub>РО СТ</sub> , Нм	7551,3			7998,1	
J <sub>РО</sub> , кгм/с <sup>2</sup>	221,4			56,9	
M <sub>РОДИН</sub> , Нм	-1274,4	-	-1274,4	341,4	-
M <sub>РО</sub> , Нм	31051	29777	28503	8339,5	7998,1
M <sub>ТП</sub> , Нм	864,32	864,32	864,32	223,4	223,4
M <sub>ТК</sub> , Нм	-	-	-	-	-
M <sub>ТС</sub> , Нм	0			-	-

## 7 ВЫБОР ТИПА ДВИГАТЕЛЯ

### 7.1 Обоснование выбора рода тока и типа электропривода

Исходя из произведенных расчетов выбираем асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором кранового исполнения АИР 250 М6. Номинальные параметры приведены в таблице 8.1:

Таблица 8.1 – Номинальные параметры двигателя АИР 250 М6

Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Напряжение якоря, В	Номинальный ток, А	$I_{\text{п}}/I_{\text{н}}$	Коэф. мощности, (cosφ)
55	1000	380	105	6,5	0,86



Рисунок 7.1 – Двигатель АИР 250 М6

## 8 ВЫБОР РЕДУКТОРА

Определим передаточное число редуктора

$$J_P = \frac{\omega_H \cdot D}{2 \cdot v_0} = \frac{n_H}{9,55} \cdot \frac{D}{2 \cdot v_0} = \frac{1000}{9,55} \cdot \frac{0,4}{2 \cdot 0,35} = 59,7$$

Выбираем редуктор NMRV 075-60-23,3-0,37, номинальные данные приведены в таблице 8.1:

Таблица 8.1 – Номинальные параметры редуктора NMRV 075-60-23,3-0,37

Передаточное число	Номинальный крутящий момент на выходном валу, Нм	Частота вращения вала двигателя, об/мин	КПД
60	97	1400	0,85



Рисунок 8.1 – Редуктор NMRV 075-60-23,3-0,37

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.475.01ПЗ

Лист

34



## 9 ПРИВЕДЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ МОМЕНТОВ И МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ К ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ

Рассчитаем установившуюся скорость двигателя

$$\omega_c = \frac{j_P \cdot v_{PO} \cdot 2}{D} = \frac{54,8 \cdot 0,35 \cdot 2}{0,4} = 95,9 \text{ рад/с}$$

Рассчитаем статические моменты рабочей машины, приведенные к валу двигателя, без учета потерь в редукторе

$$M_{\text{ПР1}} = \frac{M_{\text{РОСТ1}}}{j_P} = \frac{30641,3}{54,8} = 559,15 \text{ Нм}$$

$$M_{\text{ПР2}} = \frac{M_{\text{РОСТ2}}}{j_P} = \frac{7551,3}{54,8} = 137,8 \text{ Нм}$$

Рассчитаем статические моменты на валу с учетом потерь в редукторе, в двигательном режиме

$$M_{\text{ВС1Д}} = \frac{M_{\text{ПР1}}}{\eta_P} = \frac{559,15}{0,85} = 657,82 \text{ Нм}$$

$$M_{\text{ВС2Д}} = \frac{M_{\text{ПР2}}}{\eta_P} = \frac{137,8}{0,85} = 162,1 \text{ Нм}$$

В тормозных режимах

$$M_{\text{ВС1Т}} = M_{\text{ПР1}} \cdot \eta_P = 559,15 \cdot 0,85 = 475,28 \text{ Нм}$$

$$M_{\text{ВС2Т}} = M_{\text{ПР2}} \cdot \eta_P = 137,8 \cdot 0,85 = 117,13 \text{ Нм}$$

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

$$M_c = M_{\text{BC}} + \Delta M_X,$$

где  $\Delta M_X$  – момент потерь холостого хода двигателя.

$$\Delta M_X = (I_{1n} U_{1n} 3 \cos \varphi_n - P_n) / (3n_n / 9,55),$$

$$\Delta M_X = \frac{(105 \cdot 220 \cdot 3 \cdot 0,86 - 55000) \cdot 9,55}{3 \cdot 980} = 14,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

С учетом потерь на ХХ статический момент на валу в двигательном режиме рассчитывается по формуле:

$$M_c = M_{\text{BC}} + \Delta M_X.$$

С учетом потерь на ХХ статический момент на валу в тормозном режиме рассчитывается по формуле:

$$M_c = M_{bc} - \Delta M_X.$$

При подъеме с грузом в двигательном режиме:

$$M_{cd}^p = 657,82 + 14,9 = 672,72 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При спуске с грузом в двигательном режиме:

$$M_{cd}^b = 162,1 - 14,9 = 147,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При подъеме с грузом в тормозном режиме:

$$M_{ct}^p = 475,28 - 14,9 = 460,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При спуске с грузом в тормозном режиме:

$$M_{ct}^b = 117,13 - (-14,9) = 132,03 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

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

Суммарный приведенный момент инерции:

$$J = \delta \cdot J_{дв} + J_{пр},$$

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

$$J_{пр} = \frac{J_{PO}}{i_p^2}.$$

Найдем приведенный суммарный момент инерции:

$$J = 1,5 \cdot J_{дв} + m_1 \cdot \frac{\vartheta_p^2}{\omega_c^2},$$

где  $\omega_c$  – установившаяся скорость двигателя,  $\text{рад/с}$ .

Установившуюся скорость двигателя находим по формуле:

$$\omega_c = i_p \cdot \frac{2 \cdot \vartheta_p}{D}.$$

При подъеме с грузом с пониженной скоростью  $\vartheta_p$ :

$$\omega_c^p = \frac{2 \cdot 0,35}{0,4} \cdot 54,8 = 95,9 \text{ рад/с.}$$

При спуске с грузом с рабочей скоростью  $\vartheta_B$ :

$$\omega_c^B = \frac{2 \cdot 0,42}{0,4} \cdot 54,8 = 115,1 \text{ рад/с.}$$

Приведенный момент инерции при подъеме с грузом с пониженной скоростью  $\vartheta_p$ :

$$J^p = 1,5 \cdot 1,48 + (35000 + 11900) \frac{0,35^2}{95,9^2} = 2,84 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Приведенный момент инерции при спуске с грузом с рабочей скоростью  $\vartheta_B$ :

$$J^B = 1,5 \cdot 1,48 + (35000 + 11900) \frac{0,42^2}{115,1^2} = 2,84 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

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

Пусковой момент:

$$M_{\Pi} = M_c + M_{\text{дин}},$$

где  $M_c$  – статический момент сопротивления движению, Н·м;  $M_{\text{дин}}$  – динамический момент, Н·м.

Динамический момент рассчитываем по формуле:

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{2 \cdot a_{\text{доп}} \cdot i_p}{D}.$$

Динамический момент при подъеме с грузом:

$$M_{\text{дин}}^p = J^p \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 2,84 \cdot \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 54,8}{0,4} = 311,26 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамический момент при спуске с грузом:

$$M_{\text{дин}}^B = J^B \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 2,84 \cdot \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 54,8}{0,4} = 311,26 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент при подъеме с грузом:

$$M_{\Pi}^p = M_{\text{сд}}^p + M_{\text{дин}}^p = 672,72 + 311,26 = 983,98 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент при спуске с грузом:

$$M_{п}^B = M_{сд}^B + M_{дин}^B = 147,2 + 311,26 = 458,46 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тормозной момент:

$$|M_T| = |M_{дин}| + M_c.$$

При подъеме с грузом:

$$|M_T^P| = |M_{дин}^P| + M_{ст}^P = 311,26 - 460,4 = -149,14 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При спуске с грузом:

$$|M_T^B| = |M_{дин}^B| + M_{ст}^B = 311,26 - 132,03 = 179,23 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент меньше максимально допустимого, значит, ускорения снижать не требуется.

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

Приведем крутильную жесткость рабочего вала к валу двигателя:

$$C_{пр} = \frac{C_k}{j_p^2} = \frac{50\,000\,000}{54,8^2} = 16649,8 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}.$$

## 10 ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЯ ПО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И НАГРЕВУ

Целями предварительной проверки является уточнение нагрузочных диаграмм момента и скорости двигателя с учетом момента инерции предварительно выбранного двигателя.

Рассчитаем время переходных процессов по формуле:

$$t_i = J \cdot \frac{\omega_c}{M_{cp} - M_c},$$

где  $J$  – суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $\omega_c$  – установившаяся скорость двигателя,  $\text{рад/с}$ ;  $M_{cp}$  – средний момент двигателя,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;  $M_c$  – приведенный статический момент,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ .

Третий участок – разгон при подъеме груза:

$$t_3 = J^p \cdot \frac{\omega_c^p}{M_{\Pi}^p - M_{cd}^p} = 2,84 \cdot \frac{95,9}{983,98 - 672,72} = 0,88 \text{ с.}$$

Пятый участок – торможение при подъеме груза:

$$t_5 = J^p \cdot \frac{\omega_c^p}{M_T^p - M_{CT}^p} = 2,84 \cdot \frac{95,9}{460,4 - 149,14} = 0,88 \text{ с.}$$

Шестой участок – разгон при спуске груза:

$$t_6 = J^B \cdot \frac{\omega_c^B}{M_{\Pi}^B - M_{cd}^B} = 2,84 \cdot \frac{115,1}{458,46 - 147,2} = 1,05 \text{ с.}$$

Восьмой участок – торможение при спуске груза:

$$t_8 = J^B \cdot \frac{\omega_c^B}{M_T^B - M_{CT}^B} = 2,84 \cdot \frac{115,1}{179,23 + 132,03} = 1,05 \text{ с.}$$

Рассчитаем угол поворота вала двигателя за время переходного процесса:

$$\alpha_i = \frac{\omega_c \cdot t_i}{2}.$$

Третий участок:

$$\alpha_3 = \frac{\omega_c^p \cdot t_3}{2} = \frac{95,9 \cdot 0,88}{2} = 42,2 \text{ рад.}$$

Пятый участок:

$$\alpha_5 = \frac{\omega_c^p \cdot t_5}{2} = \frac{95,9 \cdot 0,88}{2} = 42,2 \text{ рад.}$$

Шестой участок:

$$\alpha_6 = \frac{\omega_c^B \cdot t_6}{2} = \frac{115,1 \cdot 1,05}{2} = 60,4 \text{ рад.}$$

Восьмой участок:

$$\alpha_8 = \frac{\omega_c^B \cdot t_8}{2} = \frac{115,1 \cdot 1,05}{2} = 60,4 \text{ рад.}$$

Время работы с установившейся скоростью рассчитаем по формуле:

$$t_y = \frac{\alpha - (\alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{т}})}{\omega_c},$$

где  $\alpha$  – 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 соответственно, рад.

Рассчитаем угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме:

$$\alpha = \frac{2 \cdot L \cdot i_p}{D} = \frac{2 \cdot 7 \cdot 54,8}{0,4} = 1918 \text{ рад.}$$

Рассчитаем угол поворота двигателя, приходящийся на установившиеся режимы:

$$\alpha_{\text{ур}} = \alpha - (\alpha_3 + \alpha_5) = 1918 - (42,2 + 42,2) = 1833,6 \text{ рад.}$$

При подъеме груза:

$$t_4 = \frac{\alpha_{\text{ур}}}{\omega_c^p} = \frac{1833,6}{95,9} = 19 \text{ с.}$$

При спуске груза:

$$t_7 = \frac{\alpha - (\alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{т}})}{\omega_c^B} = \frac{1918 - (60,4 + 60,4)}{115,1} = 16 \text{ с.}$$

Рассчитаем общее время работы

$$t_{\Phi} = t_3 + t_4 + t_5 + t_7 + t_8.$$

$$t_{\Phi} = 0,88 + 19 + 0,88 + 1,05 + 16 + 1,05 = 38,86 \text{ с.}$$

Полученное время меньше заданного времени работы  $t_p$  в исходных данных, проверка двигателя по производительности выполнена.

Проведем предварительную проверку двигателя по нагреву по величине среднеквадратичного момента:

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

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{983,98^2 \cdot 0,88 + 675,72^2 \cdot 19 + (-149,14)^2 \cdot 0,88 + 458,46^2 \cdot 1,05}{38,86}}$$

$$\sqrt{\frac{+147,2^2 \cdot 16 + 179,23^2 \cdot 1,05}{38,86}} = 511,02 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Фактическое значение ПВ:

$$\text{ПВ}_\phi = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\% = \frac{72,22}{257,1} \cdot 100\% = 29 \%$$

Определим момент двигателя при  $\text{ПВ}_{\text{кат}}$ , ближайшем к  $\text{ПВ}_\phi$ :

$$M_{\text{кат}} = \frac{P_{\text{кат}}}{\omega_{\text{кат}}} = \frac{55000}{\frac{2 \cdot \pi \cdot 980}{60}} = 535,93 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Допускаемый момент:

$$M_{\text{доп}} = M_{\text{кат}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{кат}}}{\text{ПВ}_\phi}};$$

$$M_{\text{доп}} = 535,93 \cdot \sqrt{\frac{40}{29}} = 629,42 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$511,02 < 629,42.$$

Двигатель проходит по нагреву. Для каждого участка проведены расчеты, и все значения занесены в таблицу 10.1.

Таблица 10.1 – Приведение моментов к валу двигателя

Участок движения	Подъем с грузом			Спуск с грузом		
	Пуск	Уст. режим	Торможение	Пуск	Уст. режим	Торможение
$v$ , м/с	–	0,35	–	–	–0,42	–
$M_{\text{рост}}$ , Н·м	30641,33			7551,3		
$J_{\text{рост}}$ , кг·м <sup>2</sup>	212,4			221,4		
$\omega_c$ , рад/с	–	95,9	–	–	-115,1	–
$M_{\text{ГР}}$ , Н·м	559,15			137,8		
$M_{\text{вс}}$ , Н·м	657,82	657,82	475,28	162,1	162,1	117,13
$M_c$ , Н·м	672,72	672,72	460,4	147,2	147,2	132,03
$J$ , кг·м <sup>2</sup>	2,84			2,84		
$M_{\text{дин}}$ , Н·м	311,26	–	-311,26	-311,26	–	311,26
$M_{\text{ср}}$ , Н·м	983,98	675,72	-149,14	458,46	147,2	179,23
$t$ , с	0,88	19	0,88	1,05	16	1,05
$\alpha$ , рад	42,2	1833,6	42,2	60,4	1797,2	60,4



## 11 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Синхронная скорость вращения  $\omega_{0H}$ :

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

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

Номинальный момент на валу  $M_H$ :

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H};$$

$$M_H = \frac{55000}{102,62} = 535,93 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальный электромагнитный момент:

$$M_{\text{эмн}} = \frac{3 \cdot U_{1H} \cdot I_{1H} \cdot \cos\varphi - 3 \cdot I_{1H}^2 \cdot r_1}{\omega_{0H}};$$

$$M_{\text{эмн}} = \frac{3 \cdot 220 \cdot 105 \cdot 0,86 - 3 \cdot 105^2 \cdot 0,07}{104,72} = 547 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальное относительное скольжение:

$$S_H = \frac{\omega_{0H} - \omega_H}{\omega_{0H}};$$

$$S_H = \frac{104,72 - 102,62}{104,72} = 0,02.$$

Критическое скольжение:

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

где  $\mu_k$  – перегрузочная способность асинхронного двигателя.

$$\mu_k = \frac{M_k}{M_H};$$

$$\mu_k = \frac{M_k}{M_H} = \frac{1125,4}{535,93} = 2,1.$$

$$S_k = 0,02 \cdot (2,1 + \sqrt{2,1^2 - 1}) = 0,08.$$

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

Таблица 11.1 – Расчетные параметры для работы в заданных точках

Расчетные параметры/ Участок работы		Скорость при					
		Подъеме с грузом			Спуске с грузом		
		3	4	5	6	7	8
Заданные точки							
$\omega_{\text{зад}}$	Рад/с		95,9			-115,1	
	О.е.		0,92			1,1	
$M_c$	Нм	675,72			147,2		
	О.е.	1,26			0,27		
Расчетные данные							
$\omega_{0\text{зад}}$	О.е.		0,9452			1,1054	
	Рад/с		98,98			115,76	
$f_1$	О.е.		0,9452			1,1054	
	Гц		47,26			55,27	
$U_1$	О.е.		0,9452			1,1054	
	В		207,94			220	

Синхронная скорость:

$$\omega_{0\text{зад}} = \omega_{\text{зад}} + \Delta\omega_{\text{ест}} = \omega_{\text{зад}} + M_{\text{зад}} \cdot S_H$$

$$\text{Участок 4: } \omega_{0\text{зад}} = 0,92 + 1,26 \cdot 0,02 = 0,9452;$$

$$\text{Участок 7: } \omega_{0\text{зад}} = 1,1 + 0,27 \cdot 0,02 = 1,1054.$$

$$\omega_{0\text{зад}} = \omega_{\text{зад}} \cdot \omega_{0H}$$

$$\text{Участок 4: } \omega_{0\text{зад}} = 0,9452 \cdot 104,72 = 98,98 \text{ рад/с};$$

$$\text{Участок 7: } \omega_{0\text{зад}} = 1,1054 \cdot 104,72 = 115,76 \text{ рад/с}.$$

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

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1H}} = \omega_{0\text{зад}}$$

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1H}$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1H}$$

Участок 4:

$$\alpha = f_1/f_{1H} = \omega_{0\text{зад}} = 0,9452;$$

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1H} = 0,9452 \cdot 50 = 47,26 \text{ Гц};$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1H} = 0,9452 \cdot 220 = 207,94 \text{ В.}$$

Участок 7:

$$\alpha = f_1/f_{1H} = \omega_{0\text{зад}} = 1,1054;$$

$$f_1 = \alpha \cdot f_{1H} = 1,1054 \cdot 50 = 55,27 \text{ Гц};$$

$$U_1 = \alpha \cdot U_{1H} = 1,1054 \cdot 220 = 220 \text{ В.}$$

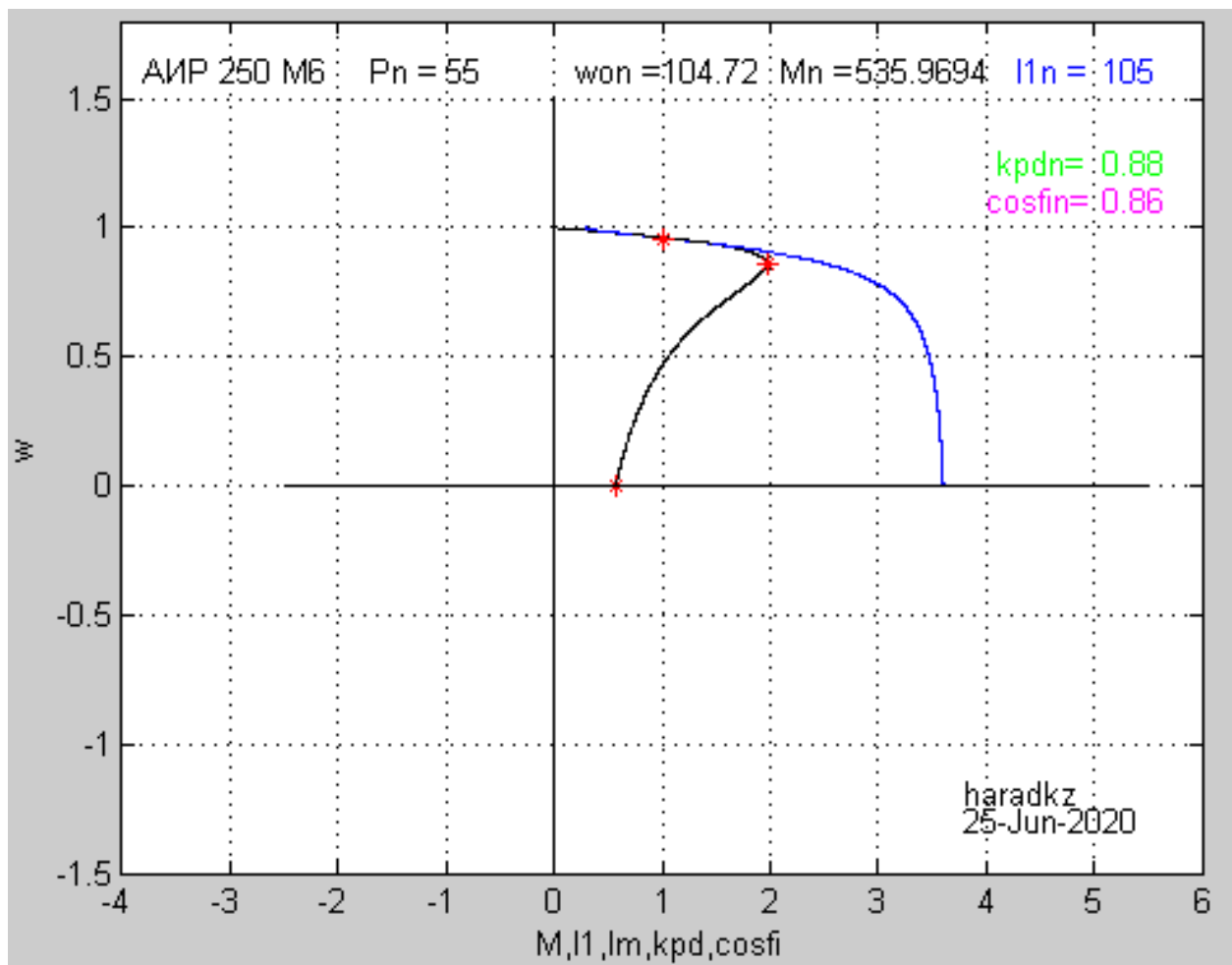


Рисунок 11.1 – Естественные статические характеристики

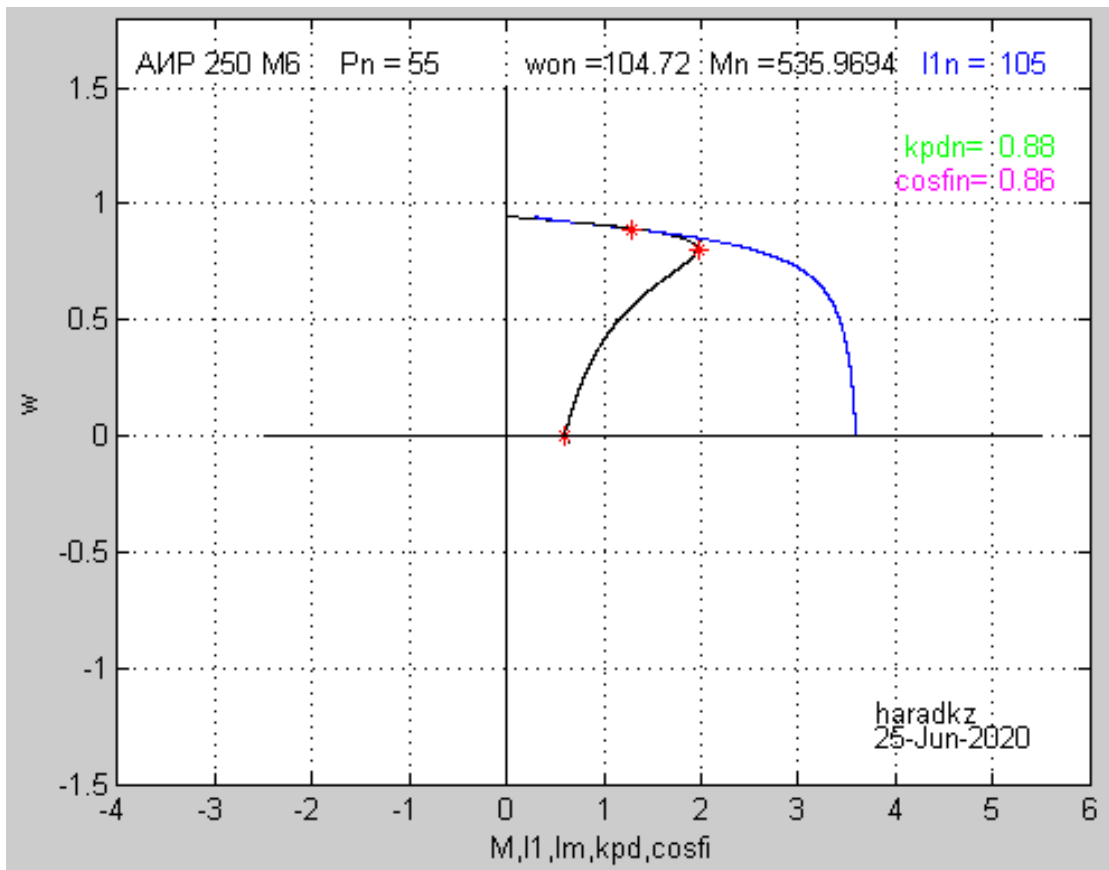


Рисунок 11.2 – Искусственные статические характеристики при подъеме груза

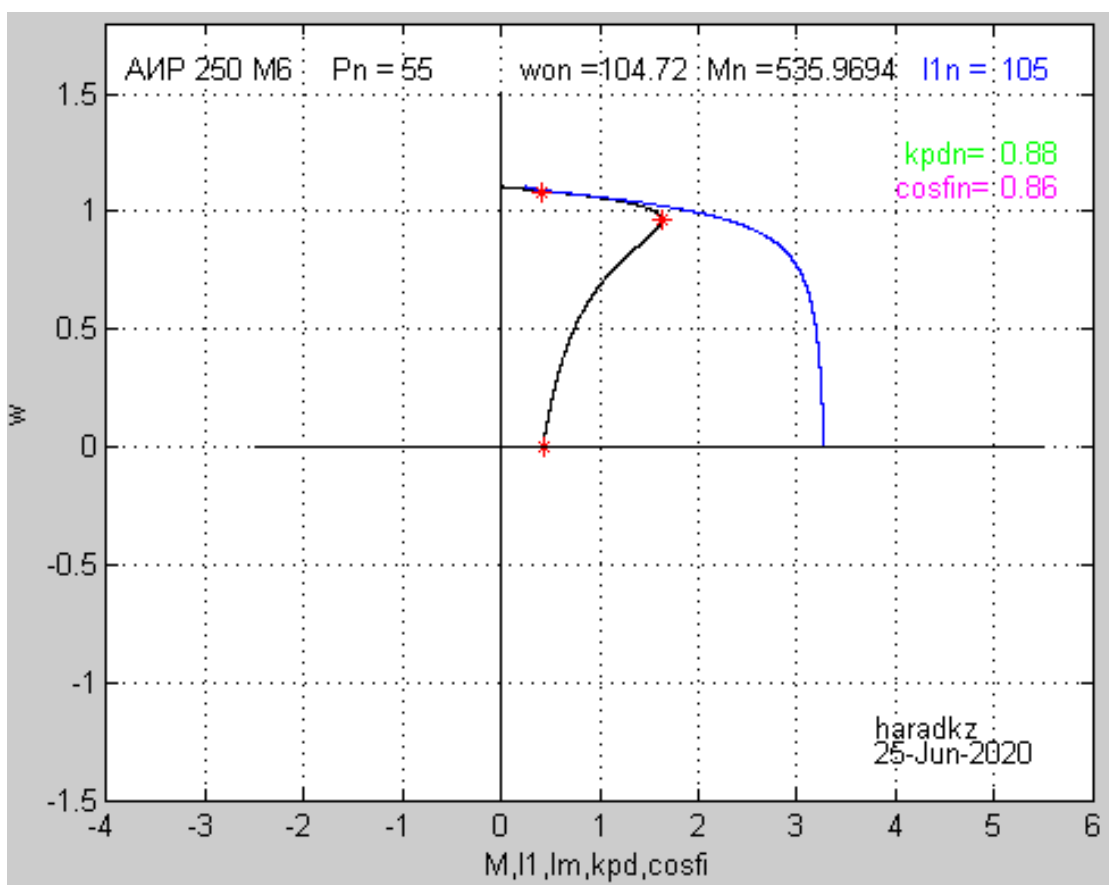


Рисунок 11.3 – Искусственные статические характеристики при спуске груза

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.475.01ПЗ

12 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ

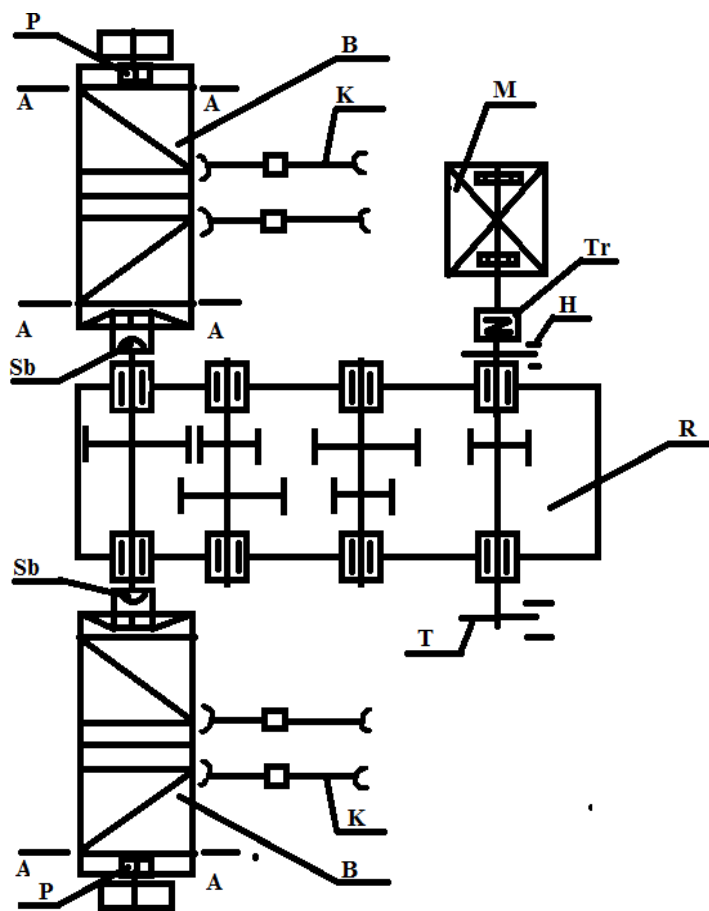
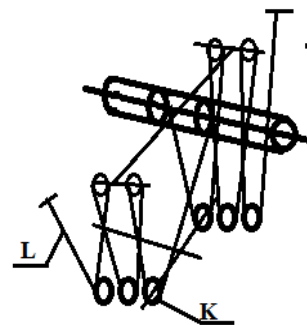


Схема запасовки канатов



- В-канатный барабан
- К-канатный блок
- Р-опорный подшипник
- К-подшипник
- Sb-ступица муфты
- Н-тормоз дисковый
- М-электродвигатель
- Р-редуктор
- L-канат
- Т-тормозной диск
- Tr-муфта с тормозным диском

Рисунок 12.1 – Кинематическая схема механизма подъема

Приведу описание данной кинематической схемы используемого мостового крана. Выбранный нами ранее электродвигатель  $M$  через известный редуктор  $R$  приводит во вращение канатный барабан  $B$  и происходит наматывание каната при подъеме и сматывание каната при спуске.

К мостовому крану цепляется магнитное подвесное устройство (магнитная траверса), по скольку траверса является магнитной, принцип её действия построен на наведении электромагнитного поля. В тот момент, когда через магниты пропускается ток, наводится электромагнитное поле и груз притягивается к траверсе.

Изначально асинхронный двигатель включается в работу на пониженной скорости, которая, как известно, составляет  $0,2 \cdot V_T$ , а после этого мы выбираем нужную нам слабину канатов. После этого мы выполняем разгон с ускорением, которое не должно превышать определенное в задании допустимое ускорение до определенной рабочей скорости, которая равна  $V_T$  и в результате этого мы сможем обеспечить подъем груза. При достижении необходимой нам высоты  $h$  асинхронный двигатель начинает тормозить при помощи накладываемого на вал используемого нами в схеме дискового тормоза. Соответственно, при необходимости удержания груза в таком состоянии, это так же осуществляется при помощи дискового тормоза.

Когда мы начинаем выполнять спуск требуемого груза, точно так же, как и при подъеме необходимо придерживаться ускорения, которое не превышает определенное в задании допустимое ускорение, но при этом асинхронный двигатель работает в тормозном режиме. В момент, когда груз уже подходит к определенному месту разгрузки (площадке) скорость спуска снова становится пониженной и будет равна  $0,2 \cdot V_T$ , в результате чего груз плавно опускается на необходимое нам место выгрузки (площадку). После этого, следующим шагом работы мостового крана является ослабление натяжения канатов, для того чтобы произошло размагничивание груза. Далее, на повышенной скорости магнитная траверса поднимается на высоту, определенную установленным датчиком высоты  $h$  и двигатель начинается тормозить.

После этого мостовой кран возвращается в свое начальное положение. Цикл работы повторяется.

Разрабатываемая мной система автоматизации должна позволить выполнять работу крана без непосредственного участия крановщика. Все функции крановщика должны сводиться к подаче питания на спроектированную систему и определения направления движения крана либо «Вверх» либо «Вниз». После этого человек в зависимости от ситуации определяет возможность начать работу с краном и выполняет пуск системы. В случае возникновения экстренной, нестандартной ситуации есть возможность отключить работу системы при помощи кнопки «Стоп», которая воздействует, непосредственно, на силовые цепи используемого электропривода. После того как крановщик нажимает кнопку «Пуск» выводится световая индикация «Привод готов» на пульте управления.

В том случае, когда нам необходимо выполнить поднятие груза, оператор переводит ручку из нулевого в первое положение «Вверх», в результате чего происходит поднятие груза, асинхронный двигатель начинает разгоняться на скорости 1 до момента перехода на установившуюся скорость и срабатывания датчика высоты «П1». Этот датчик располагается на высоте 2 метра. В результате срабатывания датчика происходит переход двигателя на установившуюся скорость 2 и продолжается движения до тех пор, пока не сработает датчик высоты «П0», расположенный на высоте 16 метров. После того как сработал этот датчик высоты асинхронный двигатель переходит на пониженную скорость 3 и продолжает своё движение до тех пор, пока не сработает датчик «П3», который отвечает за ограничение подъема. После этих операций на вал двигателя накладываемый тормоз.

В том случае, когда нам нужно выполнить опускание груза, крановщик переводит ручку из нулевого положения в положение «Вниз», что означает начало опускания груза. В этот момент асинхронный двигатель начинает разгон со скоростью 1 до тех пор, пока не сработает датчик «П0», а затем перейдя на установившуюся скорость 2 продолжает движение до срабатывания датчика «П1». 6

Когда этот датчик сработал двигатель выполняет переход на пониженную скорость 3 и движется до тех пор, пока не произойдет срабатывание датчика ограничения «П4». После этих операций асинхронный двигатель отключается и тухнет световая индикация состояния «Привод готов». При возникновении любой непредвиденной, экстренной ситуации оператор всегда может остановить двигатель путем нажатия кнопки «Стоп».

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.475.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		50



## 13 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

В моем дипломном проекте необходимо разработать такую систему автоматизации, что работа мостового крана, практически полностью будет происходить в автоматическом режиме.

Исходя из предоставленного задания, определим, что система автоматизации должна обладать следующими входными сигналами и воздействиями:

- сигнал о готовности привода;
- сигнал включения электродвигателя на подъём;
- сигнал включения электродвигателя на спуск;
- сигнал о включении скорости 2;
- сигнал о включении скорости 3;

Для того чтобы обеспечить комфорт и удобство при работе оператора на пульт управления в системе автоматизации будем выводить следующие световые индикаторы:

- сигнал о готовности привода.

В случае необходимости управления краном в ручном режиме, будем использовать пульт управления. С целью удобства выведем на этот пульт следующие кнопки:

- кнопка пуск;
- кнопка стоп;
- кнопка Вверх;
- кнопка Вниз.

Так как мы выполняем автоматизацию системы, нам необходимо знать полную информацию на всех участках работы крана и постоянно выполнять отслеживание состояния системы. Поэтому в своем проекте я использую следующие датчики:

- датчик высоты П0;
- датчик высоты П1;
- датчик ограничения подъема П3;
- датчик ограничения спуска П4;

В таблице 13.1 представлены все необходимые и используемые нами сигналы и команды системы автоматизации.

Таблица 13.1 – Сигналы и команды используемые в системе автоматизации

	<u>Наименование сигнала или команды</u>	<u>Обозначение</u>	<u>Принятое значение логической единицы</u>
	1	2	3
	<u>Входные сигналы</u>		
1	<u>Кнопка пуск</u>	<u>Пуск</u>	<u>Нажата</u>
2	<u>Кнопка Вверх</u>	<u>Вверх</u>	<u>Нажата</u>
3	<u>Кнопка Вниз</u>	<u>Вниз</u>	<u>Нажата</u>
4	<u>Скорость 2</u>	<u>Ск 2</u>	<u>Нажата</u>
5	<u>Скорость 3</u>	<u>Ск 3</u>	<u>Нажата</u>
6	<u>Кнопка Стоп</u>	<u>Стоп</u>	<u>Нажата</u>
7	<u>Тормоз</u>	<u>Т</u>	<u>Включен</u>
8	<u>Датчик П0</u>	<u>П0</u>	<u>Есть</u>
9	<u>Датчик П1</u>	<u>П1</u>	<u>Есть</u>
10	<u>Датчик П3</u>	<u>П3</u>	<u>Есть</u>
11	<u>Датчик П4</u>	<u>П4</u>	<u>Есть</u>

Продолжение таблицы 13.1

<u>Выходные сигналы</u>			
1	<u>Готовность привода</u>	<u>Гот</u>	<u>Включен</u>
2	<u>Включить электродвигатель на подъем</u>	<u>ВклП</u>	<u>Включен</u>
3	<u>Включить электродвигатель на спуск</u>	<u>ВклС</u>	<u>Включен</u>
4	<u>Включение скорости 2</u>	<u>ВклСк 2</u>	<u>Включен</u>
5	<u>Включение скорости 3</u>	<u>ВклСк 3</u>	<u>Включен</u>
6	<u>Включение тормоза</u>	<u>ОтклТ</u>	<u>Включен</u>

## 14 ЛОГИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ И ИХ ОПИСАНИЕ

Команда готовности привода «Гот» информирует оператора об исправности системы автоматизации механизма подъема. Сигнал возникает при нажатой кнопке «Пуск» и запоминается до тех пор пока не включится датчик П4 или нажатии кнопки «Стоп».

$$\text{Гот}=(\text{Пуск}+\text{Гот})*\text{П4}*\text{Стоп}$$

Команда включить электродвигатель на подъем «ВклП» формируется при наличии сигнала о готовности привода «Гот», при положении рукоятки командоаппарата «Вверх» и запоминается до тех пор, пока не появится сигнал «П0» или «Стоп».

$$\text{ВклП}=(\text{Гот}*\text{Вверх} + \text{ВклП})*\text{П0}*\text{Стоп}$$

Команда включения электродвигателя на спуск «ВклС» формируется при наличии сигнала о готовности привода «Гот», при положении рукоятки командоаппарата на спуск и запоминается до тех пор, пока не появится сигнал «П0» или «Стоп».

$$\text{ВклС}=(\text{Гот}*\text{Вниз} + \text{ВклС})*\text{П0}*\text{Стоп}$$

Команда включение скорости 2 возникает если есть сигналы на включение электродвигателя на подъём «ВклП» или включение электродвигателя на спуск «ВклС», при срабатывании датчика «П0» или «П1» и запоминается пока не появится сигнал «П0» или «П1».

$$\text{ВклСк2}=(\text{ВклП}+\text{ВклС}+\text{ВклСк2})*(\text{П0}+\text{П1})*(\text{П1}+\text{П0})$$

Команда включение скорости 3 возникает если есть сигналы на включение скорости 2 «ВклС2» и срабатывают датчики «П1» или «П0», запоминается пока не появится сигнал «П3» или «П4».

$$\text{ВклСк3}=(\text{ВклСк2}+\text{ВклСк3})*(\text{П0}+\text{П1})*(\text{П3}+\text{П4})$$

Команда отключение тормоза возникает если есть сигнал включения на спуск «ВклС» или включения на подъём «ВклП» и запоминается пока не появится сигнал датчика ограничения спуска «П4» или ограничения подъёма

«П3»

$$\text{ОтклТ}=(\text{ВклС}+\text{ВклП})*(\text{П4}+\text{П3})$$

Сигнал «Авария» формируется при перегрузке крана и имеет следующий вид, если при активном сигнале готовности происходит превышение допустимой массы груза, то при прохождении датчика «П4» произойдет отключение электропривода

$$\text{Сиг. Ав.} = \overline{\text{Гот}} \cdot (\text{П4} + \text{П0}) \cdot \overline{\text{Пуск}}$$

Сигнал «Авария» формируется при раскачивании канатов мостового крана и имеет следующий вид, если после прохождения датчика «П3» происходит раскачивание груза, то происходит срабатывание тормоза и отключение электропривода

$$\text{Сиг. Ав.} = (\text{Пуск} + \text{П3}) \cdot \text{ВклТ} \cdot \overline{\text{Гот}}$$

## 15 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В моем дипломном проекте блок управления системы автоматизации реализуется на программируемом микроконтроллере DL06 с дискретными входами постоянного тока и релейными выходами. Аппаратные программные средства контроллера позволяют обеспечить выполнение всех типовых информационных и управляющих функций: сбор технологической информации, контроль и регулирование. Объем памяти микроконтроллера позволяет реализовать все необходимые функции. Данный микроконтроллер позволяет выполнять удобное и быстрое программирование. Микроконтроллер имеет необходимое нам количество входов и выходов.



Рисунок 15.1 – Программируемый контроллер

В качестве датчиков ограничения подъема и спуска выбраны ограничители серии VM1.20–B2C5–3, их преимущества: срабатывание при любом направлении, герметичная конструкция, широкий диапазон рабочих температур. В качестве датчиков высоты подъема и спуска выбраны датчики о положении фирмы ТЕКО ВК БРПУ. Основные технические характеристики приведены в таблице 2.



Рисунок 15.2 – Датчик положения

Таблица 15.1 – Характеристики датчика ВК БРПУ

<u>Наименование характеристики</u>	<u>Единицы измерения</u>	<u>Величина</u>
<u>Номинальное напряжение питания</u>	В	10...50
<u>Ток нагрузки</u>	мА	<500
<u>Частота переключения</u>	Гц	400
<u>Степень защиты</u>		IP67
<u>Диапазон рабочих температур</u>	°С	0+60

Для того чтобы обеспечить питание выбранных датчиков, входных и выходных модулей программируемого микроконтроллера требуется выбрать блок питания. Требуемая мощность блока питания, в результате, будет определяться суммой мощностей потребителей, нагруженных на него, в таком случае для оптимального использования разрабатываемой системы должны учитывать то, что не все потребители включены одновременно. С целью упрощения выбора блока питания, а также для того чтобы обеспечить необходимый запас по мощности, блока питания был выбран по суммарной мощности всех используемых в системе потребителей. В таблице 15.2 представлен расчет мощности блока питания.

Таблица 15.2 – Расчет требуемой мощности блока питания

<u>Наименование</u> <u>потребителя</u>	<u>Потреб</u> <u>ляемый</u> <u>ток, А</u>	<u>Количество</u> <u>потребителей,</u> <u>шт.</u>	<u>Мощность</u> <u>потребителей,</u> <u>Вт</u>
<u>Датчик положения</u>	0,5	2	84
<u>Входные цепи DL06</u>	0,013	11	5.928
<u>Выходные цепи</u> <u>DL06 (максимум 2А)</u>	0,38	6	73
<u>Ограничители ВМ</u>	0,5	2	0.48
<u>Суммарная мощность потребителей</u>			163.4

По полученному, в результате, значению потребляемой мощности выбран блок питания типа БП-11/2 УХЛ4 на номинальный ток 11А и напряжение 24В.

В качестве системы управления двигателем был выбран преобразователь частоты типа преобразователь частоты Triol АТО5 – 037. В таблице 15.3 представлены основные параметры выбранного преобразователя.

Таблица 15.3 – Параметры выбранного преобразователя

<u>Наименование характеристики</u>	<u>Единицы</u> <u>измерения</u>	<u>Величина</u>
<u>Номинальное напряжение питания</u>	В	380
<u>Номинальное выпрямленное напряжение</u>	В	220
<u>Номинальный выпрямленный ток</u>	А	86

Для обеспечения включения питания всей используемой системы автоматизации и, в случае необходимости, аварийного ее отключения в моём дипломном проекте используется силовой контактор КМ1 на переменное напряжение 380В и рассчитанный на полный ток нагрузки всех потребителей системы.



Для обеспечения надежной защиты от коротких замыканий и перегрузки при работе, в моей ВКР выбран вариант защиты в виде выключателей. На цепи управления контактором К1 был выбран автоматический выключатель АП50Б-ЗМТ на номинальный ток 5 А.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.475.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		59

## 16 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Исходя из приведенного в предыдущих пунктах описания технологического процесса и описания выбранного автоматизируемого объекта, условленных заранее входных и выходных команд, с учётом выбора, удовлетворяющего условиям программируемого микроконтроллера, составлена упрощённая функциональная схема.

Система автоматизации выбранного нами элемента состоит из ряда следующих элементов:

- пульта управления;
- программируемого микроконтроллера DL06;
- блока питания;
- 2-х датчиков положения;
- 2-х датчиков ограничения (подъема и спуска);
- преобразователя частоты Triol ATO5 – 037;
- двигателя механизма подъёма АИР 250 М6;

На пульте управления расположены следующие элементы:

- командоаппарат;
- кнопка «Пуск»;
- кнопка «Стоп»;
- кнопка «вниз»;
- кнопка «вверх»;
- светодиод «привод готов».

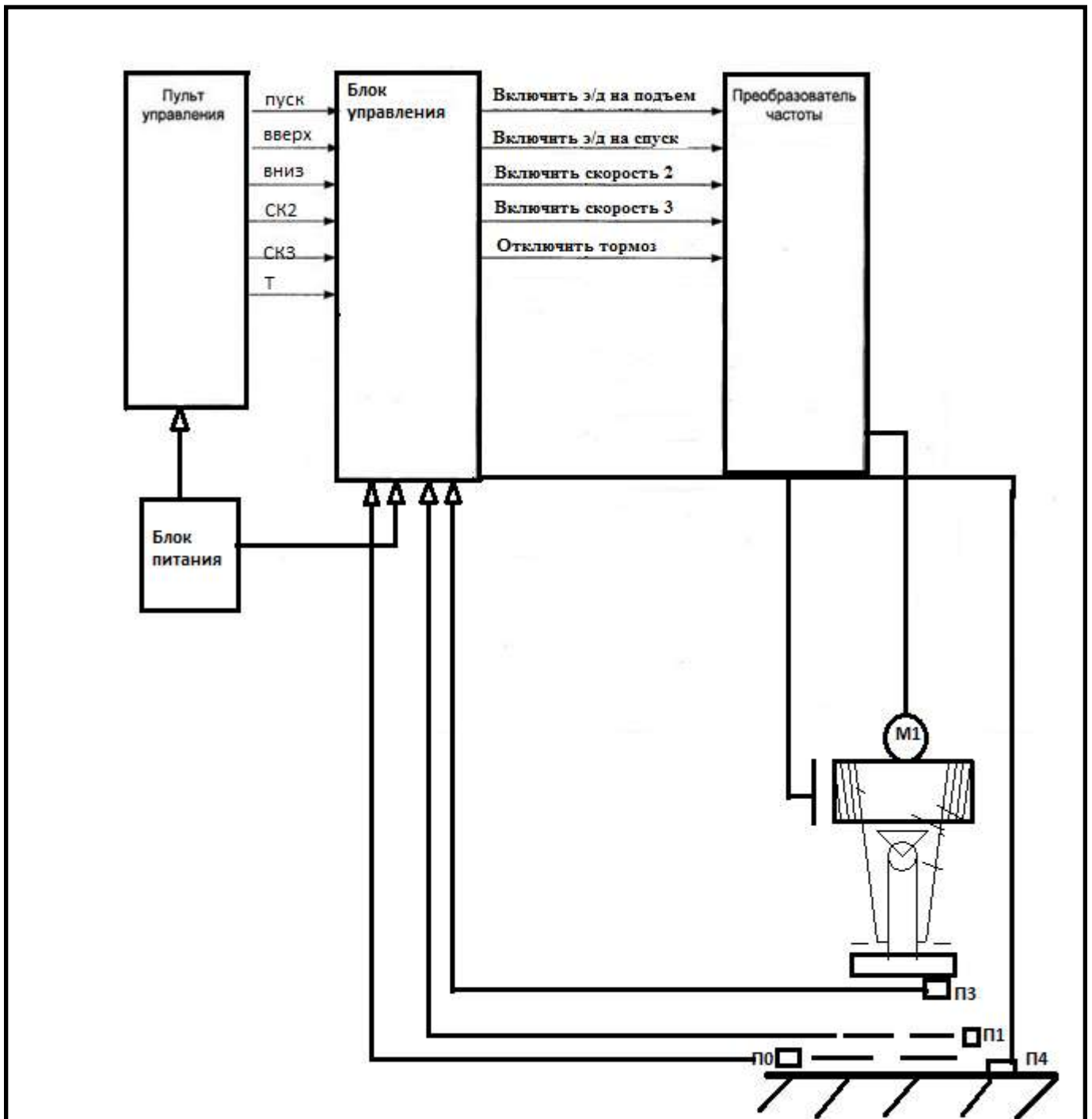


Рисунок 16.1 – Функциональная схема автоматизации

## 17 ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ

На представленной функциональной схеме основным связующим элементом является выбранный ранее микроконтроллер. Исходя из определенного количества входных и выходных сигналов определяем количество модулей ввода вывода: для дискретных входных, сигналов, в данном случае, использованы входы контроллера DL06, для дискретных выходных сигналов в представленной схеме используются выходы основного корпуса контроллера. Для обеспечения питания выбранных датчиков, входных и выходных модулей, задействованного программируемого микроконтроллера выбран блок питания БП-11/2 УХЛ4, причем рассчитанный таким образом, чтобы иметь запас по мощности. Сигналы, которые подаются с главного пульта управления и с установленных датчиков ограничения подъема(спуска) и с датчиков высоты приходят на входы программируемого микроконтроллера марки DL06, затем обработанные сигналы с релейных выходов микроконтроллера поступают на используемый преобразователь частоты Triol АТО5 – 037., который подаёт сигнал на двигатель и начинается подъем.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.475.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		62

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения моего выпускного квалификационного проекта, на основании технического задания, была построена функциональная схема мостового крана.

Было подобрано оборудование, на основании расчётов, актуальности и экономической составляющей выбранных устройств.

Была разработана система автоматизации на достаточно простом и доступном уровне обслуживания и настройки используемого объекта. Данная система проста, надёжна и сводит действия оператора к минимуму. После установки и настройки система повышает КПД производства за счёт полного контроля над ситуацией на объекте.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванченко Ф.К. Конструкция и расчет подъемно-транспортных машин.- М.: Высшая школа, 1983.- 350с.
2. Крановое электрооборудование: справочник/под ред. Ю.В. Алексеева.-М.: Энергия, 1989.- 240с., ил.
3. Парницкий А.Б., Шабашов А.П., Лысяков А.Г. Мостовые краны общего назначения.- М.: Машиностроение, 1981.- 350с., ил.
4. Рапутов Б.М. Электрооборудование кранов металлургических предприятий.- М.: Металлургия, 1990.- 272 с.
5. Справочник по кранам: в 2 т. Т.1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций/под ред. М.М. Гохберга.- М.: Машиностроение, 1988.-536с., ил.
6. Справочник по кранам: в 2 т. Т.2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов /под ред. М.М. Гохберга.- М.: Машиностроение, 1988.-559 с., ил.
7. Системы электропривода и электрооборудования мостовых кранов/под ред. Ю.Т. Калашникова.- М.: Энергоатомиздат, 1988.-312 с., ил.
8. Шабашов А.П., Лысяков А.Г. Мостовые краны общего назначения.- М.: Машиностроение, 1980.- 304 с., ил.
9. Яуре А.Г., Певзнер Е.М. Крановый электропривод: справочник.- М.: Энергоатомиздат, 1988.- 344 с.: ил.