

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  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

Модернизация электропривода грузоподъемного механизма  
козлового крана грузоподъемностью 10 т.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ–13.03.02.2021.008 ПЗ ВКР

Руководитель работы,  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ К.М. Виноградов  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

Автор работы  
студент группы ДО – 514  
\_\_\_\_\_ К.А. Гусев  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

Нормоконтролер,  
преподаватель  
\_\_\_\_\_ О.С. Микерина  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

Челябинск, 2021

## АННОТАЦИЯ

Гусев, К.А. Модернизация электропривода грузоподъемного механизма козлового крана грузоподъемностью 10 т. – Челябинск: ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», ИОДО; 2021, 66 с., 15 ил., библиографический список – 19 наименований, 9 листов чертежей ф.А3.

В данной выпускной квалификационной работе описана модернизация электропривода грузоподъемного механизма козлового крана грузоподъемностью 10 т.

Для модернизации электропривода грузоподъемного механизма козлового крана грузоподъемностью 10 тонн

- изучены общие понятия о козловых кранах;
- изучены общие понятия об электроприводе грузоподъемного механизма козлового крана грузоподъемностью 10 тонн;
- проанализирована существующая система электропривода грузоподъемного механизма козлового крана грузоподъемностью 10 тонн;
- проанализировано оборудование, подлежащее замене.

В графической части выпускной квалификационной работы выполнены кинематическая схема, нагрузочные диаграммы механизма, статические характеристики электропривода, динамические характеристики электропривода, схема электрическая принципиальная электропривода, внешний вид шкафа управления, настройка (программирование) преобразователя частоты, функциональная схема автоматизации, программа для ПЛК.

					13.03.02.2021.375 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Гусев К.А.			Модернизация электропривода грузоподъемного механизма козлового крана грузоподъемностью 10 т.	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Виноградов К.М.					4	
<i>Реценз.</i>						ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» ИОДО Кафедра «ТТС» гр.ДО-514		
<i>Н. Контр.</i>		Микерина О.С.						
<i>Утверд.</i>		Виноградов К.М.						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА .....	8
1.1 Описание механизмов, рабочих органов, кинематическая схема .....	8
1.2 Исходные данные для проектирования .....	13
2 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ .....	18
2.1 Расчет нагрузочных диаграмм скорости и моментов рабочего органа...	18
2.2 Предварительный расчет мощности электродвигателя.....	20
2.3 Предварительный выбор электродвигателя и редуктора.....	22
2.4 Приведение статических моментов и моментов инерции.....	25
2.5 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности	26
3 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ.....	29
3.1 Выбор преобразователя.....	29
3.2 Выбор коммутационных аппаратов.....	30
3.3 Шкаф управления электроприводом.....	34
4 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	39
5 РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	45
6 ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	47
6.1 Проверка двигателя и преобразователя по нагреву .....	47
6.2 Проверка на перегрузочную способность.....	47
7 АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	49
7.1 Выбор ПЛК.....	49
7.2 Логические уравнения.....	51
7.3 Программирование ПЛК.....	52
8 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	58
9. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	61
Заключение.....	65
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	66

					13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

## ВВЕДЕНИЕ

Крановое электрооборудование является одним из основных средств комплексной механизации всех отраслей народного хозяйства. Подавляющее большинство грузоподъемных машин изготавливаемых отечественной промышленностью, имеет привод основных рабочих механизмов, и поэтому действия этих машин в значительной степени зависит от качественных показателей используемого кранового оборудования.

В настоящее время крановое электрооборудование имеет в своём составе серии крановых электродвигателей переменного и постоянного тока, серии силовых и магнитных контроллеров, командо-контроллеров, кнопочных постов, конечных выключателей, тормозных электромагнитов и электрогидравлических толкателей, пускотормозных резисторов и ряд других аппаратов, комплектующих разные крановые электроприводы. В крановом электроприводе начали довольно широко применять различные системы тиристорного регулирования и дистанционного управления по радио каналу или одному проводу.

Согласно статистике Ростехнадзора РФ, на сегодняшний день порядка 75% электрических козловых грузоподъемных кранов выработало свой ресурс по всем нормативным срокам и, как следствие, нуждается в полнокомплектном ремонте или замене.

Электропривод большинства грузоподъемных машин характеризуется повторно – кратковременном режимом работы при большей частоте включения, широком диапазоне регулирования скорости и постоянно возникающих значительных перегрузках при разгоне и торможении механизмов. Особые условия использования электропривода в грузоподъемных машинах явились основой для создания специальных серий электрических двигателей и аппаратов кранового исполнения.

В настоящее время крановое электрооборудование имеет в своём составе серии крановых электродвигателей переменного и постоянного тока, серии силовых и магнитных контроллеров, командоконтроллеров, кнопочных постов, конечных выключателей, тормозных электромагнитов и электрогидравлических толкателей, пускотормозных резисторов и ряд других аппаратов, комплектующих разные крановые электроприводы.

В крановом электроприводе начали довольно широко применять различные системы тиристорного регулирования и дистанционного управления по радио каналу или одному проводу.

В настоящее время грузоподъемные машины выпускаются большим числом заводов. Эти машины используются во многих отраслях народного хозяйства в металлургии, строительстве, при добыче полезных ископаемых, машиностроении, транспорте, и в других отраслях.

Модернизация электропривода грузоподъемного механизма козлового крана предусматривает выполнение работ, направленных на восстановление и

										13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							5

улучшение характеристик оборудования, путем модификации основных и вспомогательных узлов. В результате удастся повысить производительность, функциональность, продлить срок службы, адаптировать технику к новым условиям эксплуатации.

Своевременно проведенная модернизация электропривода грузоподъемного механизма козлового крана позволит предотвратить аварийные остановки и незапланированные простои, снизить затраты на техническое обслуживание. Все эти факторы обуславливают актуальность выбранной темы.

Цель модернизации заключается в устранении недостатков грузоподъемной машины, появившихся в результате морального износа ряда элементов устройства; переводе оборудования на иной тип привода в целях экономии энергозатрат; замене элементов электропривода грузоподъемного механизма козлового крана в целях уменьшения затрат на техническое обслуживание оборудования; модернизации в целях соблюдения норм техники безопасности на предприятии.

Задачи модернизации:

- выбрать современное электрооборудование, которое поможет решить проблему повышения надёжности работы крана;
- определить возможность установки современного оборудования на козловом кране.

Вместе с тем, условия транспортировки оборудования, демонтаж существующего и монтаж нового нередко вызывают серьезные затруднения и требуют серьезных финансовых вложений. Альтернативой может стать либо капитально-восстановительный ремонт, либо реконструкция и модернизация крана с использованием частотного регулирования. Таким образом, данная тема является достаточно актуальной.

Цель работы – модернизация электропривода грузоподъемного механизма козлового крана грузоподъемностью 10 тонн.

Задачи работы:

- изучить общие понятия о козловых кранах;
- изучить общие понятия об электроприводе грузоподъемного механизма козлового крана грузоподъемностью 10 тонн;
- проанализировать существующую систему электропривода грузоподъемного механизма козлового крана грузоподъемностью 10 тонн;
- проанализировать оборудование, подлежащее замене.

Объект работы – электропривод грузоподъемного механизма козлового крана грузоподъемностью 10 тонн.

Предмет работы – электропривод грузоподъемного механизма козлового крана грузоподъемностью 10 тонн.

Результаты работы рекомендуется использовать при модернизации электропривода грузоподъемного механизма козлового крана грузоподъемностью 10 тонн на АО «Катавский цемент».

					13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

В настоящее время к промышленным предприятиям предъявляют высокие требования по качеству, особенно надежности и долговечности, что зависит не только от совершенства ее конструкции, но и в значительной степени от качества обработки деталей и их сборки. Знание технологических методов обработки позволяет создавать более совершенные конструкции машин и приборов, обеспечивая одновременно экономическую целесообразность их изготовления.

										Лист
										7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2021.375 ПЗ					

# 1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

## 1.1 Описание механизмов, рабочих органов, кинематическая схема

Крановое электрооборудование является одним из основных средств комплексной механизации всех отраслей народного хозяйства. Подавляющее большинство грузоподъемных машин изготавливаемых отечественной промышленностью, имеет привод основных рабочих механизмов, и поэтому действия этих машин в значительной степени зависит от качественных показателей используемого кранового оборудования.

Перемещение грузов, связанное с грузоподъемными операциями, во всех отраслях народного хозяйства, на транспорте и в строительстве осуществляется разнообразными грузоподъемными машинами.

Грузоподъемные машины служат для погрузочно– разгрузочных работ, перемещения грузов в технологической цепи производства или строительства и выполнения ремонтно–монтажных работ с крупногабаритными агрегатами. Грузоподъемные машины с электрическими приводами имеют чрезвычайно широкий диапазон использования, что характеризуется интервалом мощностей приводов от сотен ватт до 1000 кВт. В перспективе мощности крановых механизмов может дойти до 1500 – 2500 кВт.

Козловой кран ККС–10 грузоподъемностью 10 тонн состоит из отдельных секций, удобных для разборки и сборки. По описанию стандартный кран имеет следующие части:

1) Двухконсольная секция. Длинная металлическая конструкция, состоящая из металлических перекладин. Содержит консоли и несет на себе основную нагрузку при переносе груза. Форма и длина моста может меняться, в зависимости от назначения крана.

2) Опоры секции. Изготавливаются из прочных металлоконструкций, чтобы выдерживать давление груза. Одна из вертикальных опор может быть гибкой на шарнирах, чтобы быстрее изменять положение крана и высоту стойки на наклонных поверхностях.

3) Рельсовая система. Механизм передвижения всей конструкции, расположенный в нижней части опор. В качестве линий передвижения может использоваться бетонная стяжка или выравненная земляная поверхность.

4) Тележка для груза. Устанавливается на мостовую секцию и движется по монорельсовой балке. Ее предназначение – подъем и переноска материалов с помощью системы тросов и электродвигателя, приводящего в движения колеса.

5) Кабина оператора. Центральный пост, через который осуществляется управление всем механизмом. Панорамное остекление позволяет полностью контролировать процесс погрузки и перемещать объекты с высокой точностью. Некоторые кабины не закреплены на одном месте, а могут перемещаться вместе с тележкой крана.

										13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							8

б) Питание электродвигателей. Чтобы привести все механизмы в действие, требуются кабели для напряжения 380 вольт. Они помещаются в специальную усиленную изоляцию, чтобы не отдать заряд металлической конструкции спецтехники.

7) Дополнительное оснащение. К ним можно отнести лестницу, по которой оператор забирается в кабину, а также специальные помосты на консолях, созданные для регулировки и ремонта ККС–10.

Оснащение тележки для погрузки может меняться, в зависимости от переносимых грузов. Для сыпучих материалов устанавливается специальный грейфер, а при переноске металлических предметов – сильный магнит. Для последнего требуется дополнительный кабель, на подпитку электромагнита. Все консоли и регуляторы для управления располагаются в кабине машиниста.

ККС–10 – универсальное решение для средних и больших предприятий, где требуется разгружать транспорт для последующего использования материалов, или загружать машины на продажу. Кран быстро выполняет задачи, даже если установлен небольшой лимит на вес поднимаемого груза.

Перечислим преимущества козлового крана перед другими методами транспортировки:

- легко устанавливается;
- не занимает много места;
- используются только простые и надежные механизмы;
- отличное сочетание мобильности и грузоподъемности;
- не требует больших затрат на содержание, так как работает от электричества;
- для управления нужен всего один человек;
- применяется для грузов разного вида;
- низкая стоимость из – за упрощенной конструкции.

К недостаткам конструкции относят невозможность использования техники при сильном ветре. Как и у любого крана, у КС–10 груз на тросе раскачивается при сильных порывах. Из-за этого работа по выгрузке может приостановиться. Исправить ситуацию может установка крана внутри просторного помещения.

Также неудобство заключается в металлической конструкции спецтехники. Механизм требует постоянного обслуживания и покрытия специальными антикоррозийными веществами. В противном случае каркас крана заржавеет и работа будет осложнена.

Козловой кран – кран, у которого несущие элементы конструкции опираются на крановой путь при помощи двух опорных стоек. Технические характеристики козлового крана изображены на рисунке 1.1.

										13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							9





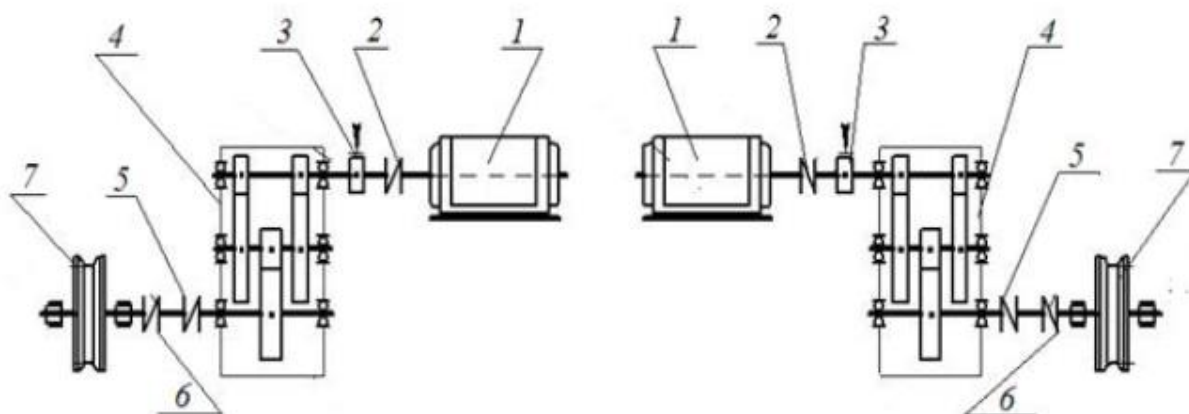


контакты выключателя разрывались при достижении крюком максимально допустимой высоты подъёма.

В механизмах передвижения кранов наибольшее распространение получил многодвигательный привод, при котором каждая концевая балка моста приводится в движение своим самостоятельным приводом, причем между приводами, расположенными на различных концевых балках, существуют связь, осуществляемой с помощью внешней системы согласования, кроме самой металлоконструкции. В итоге обеспечивается одноназначное–горизонтальное перемещение крана по рельсам.

Кинематическая схема механизма передвижения крана ККС– 10 приведены на рисунке 1.3.

Каждый из механизмов включает в себя электродвигатель 1, соединенного муфтой 2 с редуктором 4, передает движения на ведущие колеса 7. Вал приводного колеса соединен с тихоходным валом редуктора промежуточным валом 6 и зубчатой муфтой 5. На полумуфте быстроходного вала редуктора установлен тормоз 3[15].



1 – двигатель; 2 – соединительная муфта; 3 – тормоз; 4 – редуктор;  
5 – зубчатая муфта; 6 – промежуточный вал; 7 – ведущие колеса

Рисунок 1.3 – Кинематическая схема механизма передвижения крана

Механизм передвижения выполняется в виде одноколёсных или балансирных тележек, соединяемых с основанием стоек опор или ходовых балок, на которые попарно опираются две стойки.

Преимущества индивидуального привода заключаются в компактности всего механизма передвижения, меньших маховых моментах электродвигателей, в сокращении времени пуска. Обычно для кранового электропривода используются как двигатели переменного, так и постоянного тока специального назначения. Но с модернизацией электроприводов, применение двигателей на постоянном токе

сталось позади. Сегодня массовое распространение получили асинхронные электродвигатели с фазным и короткозамкнутым роторами [6].

Крановые электродвигатели проектируют для эксплуатации в повторно–кратковременном режиме, который характеризуется продолжительностью включения 15, 25, 40 и 60 % при продолжительности цикла не более 10 мин. Основным номинальным режимом крановых двигателей переменного тока является повторно–кратковременном режим ПВ = 40%.

Следовательно, для выбора системы электроприводов стоит обращать внимание на группы классификации механизмов параметрические требования тоннажности [6].

Кинематические схемы приводных опорных тележек кранов имеют принципиальное конструктивное сходство.

## 1.2 Исходные данные для проектирования

Козловой кран ККС – 10 является подъемным механизмом, применяемым на всевозможных открытых складах, погрузочных площадках и в ангарах–хранилищах.

Козловой кран ККС – 10 незаменим в тех случаях, когда использование другой погрузочной техники не представляется возможным. Конструкция не занимает много места, при этом охватывает большие площади. ККС – 10 незаменим на участках, где требуется работать с крупногабаритными грузами.

Козловой кран ККС использует:

- на железнодорожных предприятиях;
- в грузовом порту;
- на лесозаготовках;
- в возведении крупногабаритных комплексов;
- на стройплощадках;
- на заводах железобетонных изделий;
- на складах открытого типа;
- на больших территориях;
- в промышленных цехах в качестве погрузочного средства;
- для работы с гидротехническими системами.

ККС представляет собой специализированный подъемный механизм для работы на участках открытого и закрытого типов, его используют в ангарах. Козловой кран часто задействуют на конвейерных производствах. Конструкции такого типа отличаются мобильностью. Это неприхотливое оборудование обладает высокой продуктивностью, имеет продолжительный срок эксплуатации до 20 и более лет.

Основные параметры и характеристики козлового кран ККС – 10 приведены в таблице 1.1.

										13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							13



грузовой тележкой посредством пальцев; приваривают последний отрезок монорельса и стыки зачищают.

Тележка должна одновременно опираться всеми катками как на монорельс, так и на направляющие. Это проверяют пробным прокатыванием тележки по балке. Если обнаружены зазоры, необходимо отрегулировать опорные катки установкой дополнительных шайб между распорными трубками и щеками тележек. Поддерживающие катки регулируют установкой прокладок под их кронштейн. Нормальное положение монорельсовых тележек фиксируют приваркой двух заготовок из угловой стали к щекам на уровне верхнего ряда стяжных шпилек.

К поперечным швеллерам рамы подвешивают кабину и закрепляют ее болтами и накладками. На правой консоли устанавливают два кронштейна, между которыми подвешивают ремонтные площадки. На площадки устанавливают лестницы, которые приваривают к элементам фермы. На монорельсовой балке монтируют кабельные тележки и подвешивают гибкий кабель. Гирлянда кабеля на участках должна образовывать кольца длиной 4 – 5 м.

Ходовые тележки отсоединяют от верхних секций опор и совместно с блоками полиспаста разводят в новое положение, канаты полиспаста распускают.

Кран ККС– 10 монтируется с помощью полиспастов с тяговым усилием 50 кН без использования других грузоподъемных механизмов. Процесс монтажа выполняется в указанной ниже последовательности.

Несущая ферма в сборе располагается перпендикулярно к оси кранового пути на высоте 0,8 м от головок рельсов. Верхние секции стоек опор шарнирно присоединяются к несущей ферме, соединяясь своими нижними концами с опорными фланцами ходовых тележек, установленных на рельсы кранового пути. Крюковые обоймы блоков полиспаста присоединяются к ходовым тележкам обеих опор.

После этого с помощью лебедки и полиспаста производится стягивание ходовых тележек обеих опор, в результате чего несущая ферма поднимается на высоту около 5 метров. Под несущую ферму у опор выкладываются две клетки из шпал, полиспаст освобождается, ходовые тележки отсоединяются от опор. Верхние секции стоек по фланцевым соединениям соединяются с нижними, концы которых присоединяются к опорным фланцам ходовых тележек. Ходовые тележки вторично соединяются полиспастом, после чего происходит окончательный подъем моста на проектную отметку [11].

На рисунке 1.4 показан монтаж крана ККС– 10 с габаритными размерами.

										13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							15







## 2 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Для большинства крановых механизмов условия работы не могут быть заранее заданы. Условия, определяющие выбор электрооборудования, в том числе и двигателей, сводятся к понятию режима работы. В это понятие входят: полная продолжительность включений, продолжительность включения при регулировании числа пусков, коэффициент усредненной статистической нагрузки, годовое и суточное использование крана, степень его ответственности, температурные условия эксплуатации и другие параметры.

Отнесение электрооборудования крана к тому или иному режиму работы является исходным при расчете всех элементов кранового оборудования, а соответствие указанного режима фактическому является неперенным условием надежности работы крана.

При выборе двигателей для кранового оборудования наиболее сложным считается расчет мощности по условиям теплового режима работы. Специфические способности крановых машин характеризуются повышенными, постоянными потерями и изменяющимися условиями вентиляции при регулировании, что приводит к большим погрешностям при расчете теплового режима работы двигателя по общепринятым методам эквивалентного тока или момента. Эти методы являются достоверными только тогда, когда фактическая продолжительность включения равна номинальной, а число включений и энергия постоянных потерь в цикле соответствует номинальным расчетным параметрам.

### 2.1 Расчет нагрузочных диаграмм скорости и моментов рабочего органа

Как правило, нагрузочные диаграммы электропривода строятся на основании расчетов переходных режимов. Однако, если точность в определении длительности переходных процессов и характера изменения момента электродвигателя не имеет существенного значения, то нагрузочную диаграмму можно построить упрощенным методом.

В этом случае действительное изменение тока или момента при пуске и торможении по экспоненциальным кривым заменяют прямоугольным графиком, то есть предполагают, что в переходных режимах ток и момент остаются неизменными и равными их среднему значению. Если статический момент постоянен, то при принятых допущениях ускорение электропривода в процессах торможения и разгона остается постоянным, а скорость будет изменяться по линейному закону.

Статические моменты на входном валу редуктора при холостом и рабочем пробеге,  $M_c$ , Н × м, определяем по формуле

$$M_c = \frac{k_1 \cdot G \cdot (\mu \cdot r + f)}{i \cdot \eta}, \quad (2.1)$$

					13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

где  $k_l = 1,25$  – коэффициент, учитывающий трение реборды колеса тележки о рельс;

$G$  – сила тяжести перемещаемого груза, кг;

$\mu = 0,015 \div 0,15$  – коэффициент трения в опорах ходовых колес;

$r$  – радиус цапфы;

$f$  – коэффициент трения качения ходовых колес по рельсам;

$i$  – передаточное число редуктора;

$\eta$  – КПД редуктора.

$$M_{c.x.x} = \frac{1,25 \cdot 157000 \cdot (0,075 \cdot 0,045 + 0,0008)}{21,81 \cdot 0,73} \cdot 4 = 205,84 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c.p.x.} = \frac{1,25 \cdot (157000 + 147000) \cdot (0,075 \cdot 0,045 + 0,0008)}{21,81 \cdot 0,8} \cdot 4 = 363,70 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Строим нагрузочную диаграмму механизма и показываем на рисунке 2.1.

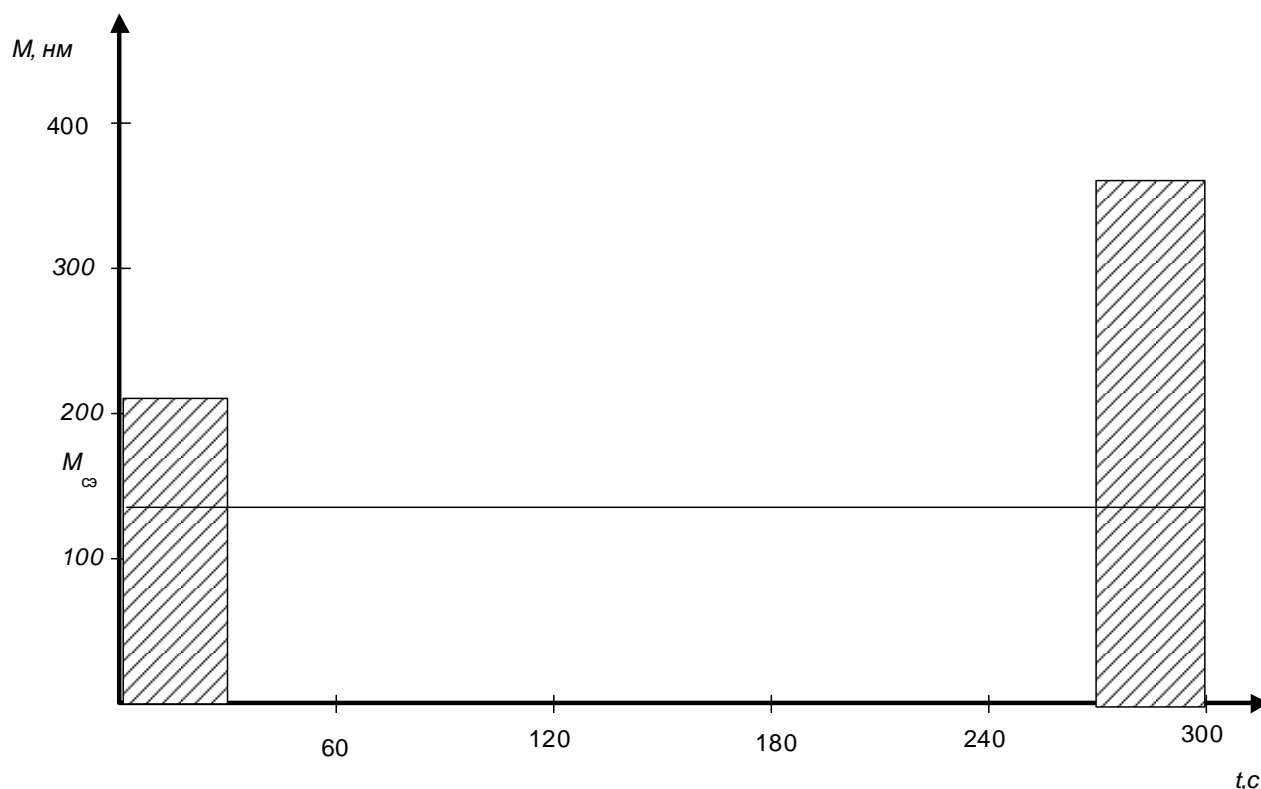


Рисунок 2.1 – Нагрузочная диаграмма механизма



$$P_c = \frac{10^3(m_t + m_0) \cdot 9,81 \cdot v_r}{1000 \cdot \eta_n}, \quad (2.2)$$

где  $m_t$  – масса поднимаемого груза, т;  
 $m_0$  – масса грузозахватного устройства, т;  
 $v_r$  – скорость подъёма, м/с;  
 $\eta_n$  – коэффициент полезного действия механизма.

$$P_c = \frac{10^3(10 + 0,7) \cdot 9,81 \cdot 0,18}{1000 \cdot 0,9} = 20,99 \text{ кВт}$$

Рассчитываем предварительную мощность электродвигателя и выбор его по каталогу.

Предварительная мощность электродвигателя,  $P_{г \text{ пред}}$ , Вт, определяется по формуле

$$P_{г \text{ пред}} = K \cdot P_c, \quad (2.3)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий цикличность работы механизма равна 0,8

$$P_{г \text{ пред}} = 0,8 \cdot 23,62 = 18,896 \text{ кВт}$$

Ориентировочная продолжительность включения  $PВор$ , %, определяется по формуле

$$PВор = \frac{k_i \cdot t_p}{t_u} \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

где  $PВор$  – ориентировочная продолжительность включения, %;

$k_i$  – количество операций в течении одного цикла  $k_i = 4$ ;

$t_p$  – время одной операции (подъёма или спуска), с;

$t_u$  – время цикла, с.

$$t_p = \frac{H}{V_r}, \quad (2.5)$$

где  $H$  – высота подъёма, м.

Число циклов в час,  $t_u$ , определяется по формуле

										Лист
										21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.02.2021.375 ПЗ

$$t_y = \frac{3600}{N_c}, \quad (2.6)$$

где  $N_c$  – число циклов в час.

$$t_y = \frac{3600}{9} = 400$$

$$t_p = \frac{10}{0,18} = 55,5$$

$$P_{Вор} = \frac{4 \cdot 55,5}{400} \cdot 100\% = 55\%$$

Находим окончательно предварительную мощность электродвигателя при каталожной продолжительностью включения. Электродвигатели, предназначенные для работы в повторно–кратковременном режиме, выпускают с каталожной продолжительностью включения равной 10; 15; 25; 40; 60.

$$P_{\text{пред.}} = P'_{\text{пред.}} = 18,09 \text{ кВт}$$

Крановые электродвигатели обеих групп изготавливаются с односкоростными и двухскоростными режимами работы [1, с. 114].

### 2.3 Предварительный выбор электродвигателя и редуктора

Частотой вращения,  $n_n$ , об/мин, электродвигателя задаёмся по каталогу. По значениям  $P_{\text{пред.}}$  и  $n_n$  по каталогу выбираем двигатель типа МТФ, МТН или НМТ соблюдая условие, что номинальная мощность должна быть равна или несколько больше (до 20%) предварительной  $P_{\text{пред.}}$ , т.е.  $P_N \geq P_{\text{пред.}}$ .

Традиционно крановые электродвигатели типа МТФ, 4МТФ, МТН, ДМТКН, МТКН применяются для работы на крановых электроприводах, общепромышленных агрегатах и подъемно–башенных механизмах, лебедках, а так же поставляются для комплектации различных видов кранов. Сегодня крановые электродвигатели пользуются высоким спросом на рынке электротехнической продукции.

Основным, а точнее базовым исполнением принято считать асинхронный трехфазный крановый электродвигатель, рассчитанный на питание от промышленной сети напряжения 220 / 380В с частотой 50 Гц со степенью защиты IP54.

										13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							22

На сегодняшний день крановые электродвигатели можно разделить на две основные группы:

- крановые трехфазные электродвигатели с фазным ротором;
- крановые трехфазные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.

Согласно условию изложенного выше выбираем электродвигатель по каталогу типа МТФ–211–6.

Асинхронные трехфазные электродвигатели МТФ 211–6, а также другие аналогичные крановые двигатели серий используются для работы в электроприводах металлургических агрегатов и подъемно–транспортных механизмах всех видов и поставляются на комплектацию башенных, козловых, порталных, мостовых и других кранов.

Базовое исполнение – повторно–кратковременный режим работы S3 ПВ = 40%, с питанием от сети переменного тока 50 Гц напряжением 380В (220 В, 660 В). Климатическое исполнение и категория размещения У1, степень защиты IP54. Изготавливаются в чугунном корпусе.

Двигатель МТФ–211–6 паспортные данные которого заносим в таблицу 2.2.

Крановые электродвигатели обеих групп изготавливаются с односкоростными и двухскоростным режимом работы [1,с. 114] показано в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технические данные двигателя

Тип двигателя	РН, кВт	$n_n$ , об/мин	$\cos\varphi_n$	$\eta_n$ , %	$M_{max}$ , Н·м	J, кг·м <sup>2</sup>	Масса, кг
Двигатель МТФ–211–6	7,5	940	0,80	79,4	76,2	0,5	140

Редуктор для крана – это разновидность понижающих редукторных механизмов, которые устанавливаются на крановую технику или агрегаты, функционирующие в крановом режиме. Предназначены эти агрегаты для перемещения крана или его тележки по специальным крановым путям. Выбор типа кранового редуктора зависит от конструкции крана или подъемного механизма.

Характеристики редукторного механизма для крана должны отвечать конструкции подъемного агрегата. При этом, количество оборотов входного вала на любом виде редуктора должна быть не более 1700 оборотов в минуту.

Перед выбором редуктора и его монтажом необходимо обратить внимание на следующие показатели:

1. Тип приводного механизма и особенности его работы.
2. Габариты и типоразмер привода.
3. Тип нагрузки, для которой предназначен привод: смена скоростей, наличие реверса, вибраций, ударов.

#### 4. Количество оборотов выходного вала.

При определении характеристик, рекомендуется учесть дополнительные показатели для привода. Они включают:

1. Способность работать в непрерывном режиме или с остановками.
2. Возможность валов вращаться в одном или обоих направлениях.
3. Характеристики электродвигателя, который установлен на приводе.
4. Количество пусков и остановок за определенный промежуток времени
5. Длительность эксплуатации привода.
6. Период нормальной работы под нагрузкой.
7. Условия окружающей среды, в которой рекомендуется монтаж агрегата.

Под каждый тип крана и условия эксплуатации подбирается необходимый вид редукторного привода

Передаточное число редуктора определяется по номинальной скорости вращения выбранного двигателя  $\omega_n$  и основной скорости движения исполнительного органа,  $U_p$ , определяется по формуле

$$U_p = \frac{\pi \times D \times n_n}{\omega_{0n} \times V_n}, \quad (2.7)$$

где  $D$  – диаметр колеса, находящегося на выходном валу редуктора и преобразующего вращение вала в поступательное движение исполнительного органа рабочей машины, м;

$n_n$  – частота вращения вала электродвигателя, соединяемого с редуктором, об/мин.

$$U_p = \frac{3,14 \times 0,32 \times 940}{60 \times 0,64} = 24,59$$

Выбранный редуктор должен иметь передаточное число равное или несколько меньшее расчетного значения. При передаточном числе, превышающем расчетное значение, скорость на валу рабочего органа не достигнет заданного значения, что приведет к снижению производительности рабочей машины. Режим работы редуктора для рассматриваемых рабочих машин принимается – тяжелый.

Выбираем редуктор типа РЦД–350.

Редуктор РЦД–350 (горизонтальный) двухступенчатый, общего назначения, используется для повышения крутящего момента и снижения частоты вращения. Данный редуктор может работать при постоянных или переменных нагрузках, как в непрерывном режиме, так и циклично. Механизм поддерживает вращение валов в любую сторону. КПД редуктора РЦД–350 достигает 97%.

Технические характеристики редуктора РЦД–350 показаны в таблице 2.3.

									Лист
									24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Таблица 2.3 – Технические характеристики редуктора

Наименование технических характеристик	Типоразмер редуктора
Передаточные числа	10
Допускаемая радиальная консольная нагрузка на валу быстроходная, Н	1800
Допускаемая радиальная консольная нагрузка на валу тихоходная, Н	10000
Номинальный крутящий момент, Н.м	505
КПД	0,98
Вес	175
Режим работы	Повторно– кратковременный S3

#### 2.4 Приведение статических моментов и моментов инерции

Определяем суммарный момент инерции механизма с электродвигателем, приведенный к валу электродвигателя,  $J_{общ}$ , кг × м, по формуле

$$J_{общ} = 1,3 \times ДВ + \frac{91 \times (q+1.3) \times v_n}{n \times m_n}, \quad (2.8)$$

где  $J_{общ}$  – суммарный момент инерции механизма с электродвигателем, кг × м;

$$J_{общ} = 1,3 \times 1.25 + \frac{91 \times (146 + 1.3) \times 0.125}{1 \times 955} = 1.62 \text{ кг} \times \text{м}$$

Определяем расчетное число пусков в час до наибольшей скорости

$$N_p = 0,6 \times N, \quad (2.9)$$

где  $N = 150$  вкл/час – число включений в час для режима работы 4М.

$$N_p = 0,6 \times 150 = 90 \text{ вкл} / \text{час}$$

Приведенное число разгонов по номинальной скорости определяется по формуле



$$N_p = N_p \frac{I_{обц}}{1,2 \times \Delta v}, \quad (2.10)$$

$$N_p = 90 \times \frac{1,626}{1,2 \times 1,25} = 98 \frac{\text{вкл}}{\text{час}}$$

По кривой эквивалентности для нашей системы находим эквивалентный КПД электропривода экв = 0,65.

Определяем величины расчетной установленной мощности двигателя по параметрам среднеквадратичной цикловой нагрузки

$$P_p = \frac{K_p \times K_{и} \times K_3 \times \text{экв} \times K_{н} \times P_{ст}}{K_0 \times (1,25 \times \text{экв} - 0,2 \times \text{экв})}, \quad (2.11)$$

где 0,25 – относительная продолжительность включения механизма для группы 4М;

0,4 номинальная относительная продолжительность включения;

$K_{н} = 1$  – коэффициент дополнительных потерь при повышенном рабочем напряжении сверх номинального значения;

$K_0 = 0,8$  – коэффициент условий охлаждения двигателей с самовентиляцией.

$$P_p = \frac{1,1 \times 0,7 \times 0,65 \times 1 \times 1,39}{0,8 \times (1,25 \times 0,65 - 0,2 \times 0,65)} = 10,42 \text{ кВт}$$

Так как  $P_{н}$  больше чем  $P_p$ , то есть 15 кВт > 10,42 кВт – двигатель выбран верно.

## 2.5 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности

Проверка электродвигателя по нагреву производится как при проектировании электроприводов, так и при их эксплуатации.

Электрический двигатель при своей работе может нагреваться лишь до определенной, допустимой температуры, определяемой в первую очередь нагревостойкостью применяемых изоляционных материалов его обмоток. Соблюдение установленных заводом изготовителем ограничений по допустимой температуре нагрева, что заложено в номинальные (паспортные) данные двигателя, обеспечивает нормативный срок его службы в пределах 15 – 20 лет. Превышение допустимой температуры ведет к преждевременному старению

										Лист
										26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.02.2021.375 ПЗ

изоляции обмоток и сокращению срока службы электрических двигателей. Так, для изоляции класса А превышение допустимой температуры нагрева на 8 – 10 °С сокращает срок ее службы вдвое.

В современных двигателях применяются несколько классов изоляции, допустимая (нормативная) температура нагрева которых составляет: для класса А – до 105 °С, Е – до 120 °С, В – до 130 °С, F – до 155 °С, Н – до 180 °С, С – свыше 180 °С.

Основными классами изоляции, применяемыми в настоящее время при изготовлении электрических двигателей, являются классы В, F и Н.

Сущность проверки двигателя по нагреву состоит в сопоставлении допустимой для него температуры с той, которую он имеет при работе. Очевидно, что если рабочая температура двигателя не превышает допустимую, то двигатель работает в допустимом тепловом режиме, и наоборот.

Упрощенная нагрузочная диаграмма электропривода используется для проверки двигателя по нагреву и перегрузочной способности. Электропривод работает в циклическом режиме с переменной нагрузкой. Для проверки двигателя по нагреву используем метод эквивалентного момента. Условием правильного выбора двигателя по нагреву будет согласно формуле

$$M_{\text{э}} \leq M_{\text{ном}}, \quad (2.12)$$

где  $M_{\text{э}}$  – эквивалентного момент, Н × м;

$M_{\text{ном}}$  – номинальный момент, Н × м.

В повторно – кратковременном режиме эквивалентный момент определяется только для рабочих участков.

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n t_{p,i} \cdot M_{p,i}^2}{\alpha_0 \cdot \sum_{i=1}^m t_{n,m,i} + \sum_{i=1}^N t_{y,i}}}, \quad (2.13)$$

где  $M_{p,i}$  – момент на  $i$ - м интервале, Н × м;

$t_{p,i}$  – продолжительность работы на  $i$ - м интервале – число рабочих интервалов в цикле, – количество интервалов спуска и торможения, – количество интервалов установившегося движения,

$t_{n,t,i}$  – продолжительность пуска (торможения) на  $i$ - м интервале, с;

$\alpha_0$  – коэффициент, учитывающий ухудшение охлаждения при пуске (торможении),

$t_{y,i}$  – продолжительность установившегося движения на  $i$ - м интервале, с.

$$M_{\gamma} = \sqrt{\frac{1.75(1752.81^2 + 1077.2^2 + 512.2^2 + 1187.81^2) + 43.64(1415^2 + 850^2) + 3.7(-353.7^2 + 276.14^2 + 403.3^2 + (-226.7^2))}{0.7 \cdot 2 \cdot (1.75 + 3.7) + 2 \cdot (43.64 + 24)}} = 912.2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\gamma} = 912,2 \dot{I} \cdot i \quad (2.14)$$

$$\alpha_o = \frac{1 + \beta_o}{2} = \frac{1 + 0,4}{2} = 0,7 \quad (2.15)$$

где  $\beta_o$  – коэффициент ухудшения условий охлаждения самовентилируемого двигателя при отключении

Этот эквивалентный момент найден при ПВ = 40%, пересчитаем его на ПВ = 100%:

$$M_{\gamma}(\text{ПВ} = 100\%) = M_{\gamma}(\text{ПВ} = 40\%) \cdot \sqrt{\frac{40}{100}} = 576.9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{55000}{62.48} = 880 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

По приближенной нагрузочной диаграмме также проверяется двигатель по перегрузочной способности, т.к. максимальный момент в нагрузочной диаграмме равен 1752, следовательно

$$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = \frac{1752}{880} = 1,99 < \lambda_m = 2,0$$

Следовательно, двигатель по перегрузочной способности подходит.

Вывод по разделу два.

Выполнен расчет нагрузочных диаграмм скорости и моментов рабочего органа. Выполнен предварительный расчет мощности электродвигателя, произведен предварительный выбор электродвигателя и редуктора. Приведены статические моменты и моментов инерции. Выполнена предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности.

										Лист
										28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.02.2021.375 ПЗ

### 3 ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОЙ ЦЕПИ

Силовая цепь, выбранного нами преобразователя частоты имеет следующий состав:

- выпрямитель – в качестве элементов выпрямителя используются диоды;
- инвертор – в качестве ключей инвертора используется комплект IGBT транзисторов с возвратными диодами, регулирование частоты на выходе инвертора осуществляется путем изменения частоты переключения ключей инвертора, а регулирование величины напряжения на выходе инвертора осуществляется за счет широтно– импульсной модуляции;
- блок торможения – используется для резистивного частотного торможения;
- LC– фильтр – для фильтрации напряжения;
- анодные реакторы – используются для фильтрации коммутационных помех и ограничения скорости нарастания тока короткого замыкания.
- цепи защиты от перенапряжений;
- токоограничивающее сопротивление.

#### 3.1 Выбор преобразователя

Для кранового частотно – регулируемого электропривода требуются преобразователи частоты, специально адаптированные к применению в грузоподъемных кранах и обладающие необходимыми функциональными возможностями:

- функция управления тормозом предназначена для выдачи сигнала на открытие тормоза при достижении двигателем необходимого момента и сигнала на наложение тормоза при снижении скорости до минимального уровня.
- Для корректировки снятия тормоза может использоваться функция весоизмерения:
- функция подъема с повышенной скоростью. Максимальная скорость подъема определяется автоматически в зависимости от массы груза;
- функция ограничения момента электродвигателя с формированием желаемой механической характеристики в двигательном и генераторном режимах;
- функция формирования заданного темпа разгона и торможения;
- функция торможения электропривода с использованием тормозного резистора или блока рекуперации.

Экономический эффект от внедрения модулей рекуперации увеличивается: с увеличением мощности электроприводов, при резких торможениях инерционных механизмов, а также при опускании груза на большую глубину (лифты, шахтные подъемники). Учитывая сложившееся мнение о низкой эффективности рекуперации для систем с током потребления до 100 А, а также относительно

										Лист
										29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.02.2021.375 ПЗ

высокую стоимость модулей рекуперации и сложность внедрения, принято решение использовать тормозной резистор.

### 3.2 Выбор коммутационных аппаратов

Безаварийная работа кранов в значительной мере зависит от надежности работы аппаратов управления электрическим приводом. Эти аппараты служат для включения (выключения) электродвигателей и тормозов, изменения направления вращения двигателей, ограничения перемещения крана и крановых механизмов в заданных пределах, защиты от поражения током обслуживающего персонала, создания условий удобного управления и максимальной производительности грузоподъемной машины.

Большинство электрических аппаратов изготавливают серийно в климатическом исполнении У (умеренный климат), ХЛ (холодный климат), Т (тропический климат), согласно ГОСТ 15150 – 69 имеют несколько групп размещения: первая – для работы на открытом воздухе, вторая – для наружного использования с защитой кожухом, третья – для работы в помещениях.

Некоторые аппараты комплектуются из отдельных узлов и деталей на краностроительных заводах. Каждый аппарат обозначается символом, причем буквы, как правило, указывают на наименование аппаратов и их исполнение, а цифры – на их характеристику, например МО – 300У2 – магнит однофазный на 300 включений в час для умеренного климата второй группы размещения. Кроме этого, каждый аппарат имеет номер технических условий или ГОСТ и присвоенный ему каталожный номер, которые определяют технические требования и показатели назначения аппаратов. По каталожному номеру осуществляют выбор и заказ аппарата в территориальных снабженческих организациях.

Для обеспечения безаварийной работы козловые краны снабжают приборами и устройствами безопасности:

- концевыми выключателями;
- буферными устройствами;
- ограничителями грузоподъемности или массоизмерительными устройствами, указывающими массу поднимаемого груза;
- блокировочными устройствами; устройствами, предотвращающими столкновение кранов, которые работают на одних крановых путях;
- приспособлениями для исключения выпадения строп из зева грузовых крюков;
- звуковой и световой сигнализацией и средствами коллективной защиты от поражения электрическим током;
- ключ маркой.

Концевые выключатели применяют для автоматического отключения от электрической сети приводного электродвигателя механизма подъема груза при подходе крюковой подвески к главным балкам моста, а также при подходе к концевым упорам крана или грузовой тележки при номинальной скорости

					13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

передвижения более 32 м / мин. После остановки механизма концевой выключатель не должен препятствовать движению механизма в обратном направлении.

Буферные устройства предназначены для смягчения возможного удара мостового крана или его тележки об упоры, а также кранов один о другой. Буфер содержит упругий элемент, который поглощает кинетическую энергию поступательно движущихся масс крана или тележки в момент соударения.

Ограничитель грузоподъемности служит для отключения приводного электродвигателя механизма подъема груза, если масса поднимаемого груза превышает паспортную грузоподъемность крана на 25%.

Для определения массы транспортируемого груза краном применяют массоизмерительное устройство.

Электрические и электромеханические устройства блокировки служат для повышения безопасности управления козловым краном. К числу таких блокировок относятся: механическая блокировка вводного рубильника ключ маркой, электромеханическая блокировка двери кабины, потолочного люка, нулевая блокировка.

Для выбора аппаратов защиты определяем номинальный ток двигателей грузозахватного механизма,  $I_n$ , А, определяем по формуле

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi \times \eta}, \quad (3.1)$$

где  $I_n$  – номинальный ток двигателей, А;

$P$  – мощность двигателей, Вт;

$U$  – напряжение, В;

$\eta$  – КПД;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности.

$$I_n = \frac{100000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,89 \times 0,69} = 247 \text{ А}$$

Выберем автоматический выключатель.

Все параметры автоматов должны соответствовать их работе как в обычном, так и в аварийном режимах, а конструктивное исполнение – условиям размещения.

Номинальный ток автомата должен быть не ниже тока продолжительного режима установки, а сам аппарат не должен отключаться при предусмотренных технологических перегрузках.

Защита установки от перегрузок по току будет обеспечена, если номинальный ток автомата с тепловым расцепителем будет равен или несколько больше номинального тока защищаемого объекта.

Уставки тепловой и максимальной токовой защит электродвигателей должны соответствовать уровням соответствующих токов двигателей. Максимальная токовая защита не должна срабатывать при пуске двигателя, для чего ее ток уставки выбирается по соотношению и определяем по формуле

$$I_y \geq (1,5 \div 2,2) \times I_{\text{пуск}}, \quad (3.2)$$

где  $I_y$  – ток уставки, А.

Защита от перегрузки (тепловая защита) считается эффективной при следующем соотношении ее тока уставки и номинального тока двигателя определяем по формуле

$$I_T \geq 1,25 \times I_n, \quad (3.3)$$

где  $I_T$  – ток перегрузки, А.

Определяем для двигателя

$$I_T \geq 1,25 \times 247 = 309 \text{ А}$$

Ток уставки электромагнитного расцепителя определяем по формуле

$$I_s \geq 1,25 \times I_n \times \frac{I_n}{I_n}, \quad (3.4)$$

где  $I_s$  – ток уставки электромагнитного расцепителя, А.

$$I_{T1} \geq 1,25 \times I_n, \quad (3.5)$$

Для двигателя  $I_{T1} = 1,25 \times 247 = 308,75 \text{ А}$ .

Данные автоматического выключателя размещаем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Технические данные автоматического выключателя

Тип	I, А	Данные расцепителя		
		Вид	$I_T$ , А	$I_s$ , А
A3710	630	Комбинированный	400	1600







соответствовать требованиям эргономики, обеспечивать высокопроизводительную работу машиниста. Удобство управления, хорошая обзорность подкранового пространства предусмотрены в кабинах современных кранов.

Когда аппараты в силу своей громоздкости не могут быть размещены в кабине, их выносят в отдельные шкафы, расположенные рядом с кабиной или на мосту крана. В последнем случае мост крана и кабину машиниста соединяет удобная галерея.

В кабине машиниста обычно размещают пульт управления, защитную панель, щит с автоматическими или пакетными выключателями прожекторов, трансформаторы отопления и внутреннего освещения, пусковые и сигнальные кнопки, штепсели ремонтного освещения. Способ размещения аппаратов управления в кабине рассматриваемых кранов зависит от типа контроллера и конструкции кабины.

Управление электроприводами осуществляется от двух аппаратов управления (АУ) типа «Джойстик» и блока логического контроллера (БЛК).

В соответствии с выходными сигналами аппаратов управления и блока БЛК шкаф ШТР обеспечивает поочерёдное управление электроприводами: ГП, ВП, Пов, Ст, ЛГ, ПГ, а так же одновременное в следующих сочетаниях: ГП– Пов; ГП– Ст; ВП–Пов; ВП–Ст; Ст–Пов – в стреловом исполнении и ГП–ВП; ГППов – в башенном исполнении, а также одновременное управление двумя электроприводами механизмов передвижения ЛГиПГ.

ШТР обеспечивает разгон и торможение исполнительных электродвигателей в электроприводах ГП, ВП, Ст, Пов, ЛГ, ПГ в соответствии с темпом нарастания и спада управляющих сигналов с АУ. Время нарастания и спада аналогового сигнала задания выбирается при настройке и может меняться от 0,5 до 3 секунд (выбирается конкретное значение при испытаниях).

ШТР обеспечивает регулирование скорости в электроприводах: Пов, ЛГ, ПГ, (ГП, ВП, Ст в направлении «подъём») до 0.5 номинальной скорости с дальнейшим плавным разгоном до установившейся скорости, соответствующей полностью открытым тиристорам.

Регулирование скорости в электроприводах ГП, ВП, Ст в направлении «спуск» обеспечивается в диапазоне до 0,5 от номинальной скорости электродвигателя с дальнейшим разгоном до полной скорости по команде с АУ и БЛК и переходом электропривода в режим рекуперативного торможения.

Спуск порожнего крюка и «лёгких» грузов обеспечивается в двигательном режиме со скоростью близкой к номинальной.

ШТР обеспечивает электрическое торможение исполнительных электродвигателей в режиме противовключения по команде с АУ и БЛК.

В состав ШТР входит два комплекта регулятора скорости. Оба регулятора скорости полностью идентичны как по построению, так и по программному обеспечению.

										13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							35

Первый комплект регулятора скорости РС1 обеспечивает регулирование скорости исполнительного электродвигателя ГП мощностью 30 кВт и исполнительного электродвигателя ВП, ЛГ – 22 кВт., исполнительного электродвигателя Ст – 11 кВт.

Каждый регулятор скорости включает два 3-х фазных силовых тиристорных блока, обеспечивающих регулирование скорости исполнительного электродвигателя и вывод его на естественную механическую характеристику. Силовые блоки взаимозаменяемые.

ШТР в системе энергопитания крана обеспечивает изменение тормозного тока в пределах от 5А до 50А при изменении частоты генератора от (52+0,5) Гц до (54+0,5) Гц при работе на трехфазную нагрузку с сопротивлением 4 Ома на фазу и фазном напряжении 220 В.

Запаздывание в срабатывании тормозного тока при изменении частоты генератора менее 0,1 секунды (фактическое время 0,04...0,06 сек.).

Разрешение работы регулятора тормозного тока осуществляется при наличии сигнала 1КВН или 2КВН.

ШТР сохраняет работоспособность при следующих условиях:

- напряжение питания 3x380 В ±10%, 50 ± 2 Гц от сети;
- напряжение питания силовой цепи при работе от генератора БГ 60–3x400В, 50 ± 2 Гц;
- напряжение питания цепей управления 220В ±10%, 50 ± 2 Гц, мощностью 50 ВА;
- устойчивость к воздействию климатических факторов по ГОСТ 15150– 69 – У2;
- диапазон температур °С
- рабочих от – 40 °С до + 45 °С
- хранения от – 50 °С до + 50 °С – допустимые вибрационные нагрузки не более:
- максимальное ускорение 5, g ;
- в диапазоне частоты 50 до 200 Гц;
- ударные нагрузки, не более 10 g ;
- степень защиты – IP54.

ШТР сохраняет работоспособность при напряжении питания силовой цепи в диапазоне от 300 до 440 В и цепей управления в диапазоне от 290 до 440 В после воздействия на него атмосферных конденсированных осадков (иней и росы), а так же влажной тепловой среды в течение 4-х суток при температуре + 40 ± 2 °С и относительной влажности 95 ± 3 %.

Наружные поверхности всех составных частей ШТР устойчивы к моющим средствам, топливу и маслу.

Все регуляторы размещены в шкафу с размерами 800 х 650 х 250 (В х Ш х Г). Составляющие регуляторов закреплены на плите 1.

										Лист
										36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.02.2021.375 ПЗ

Панель управления обеспечивает два режима работы регулятора:

- режим регулирования скорости (РС);
- режим выхода на естественную характеристику двигателя (РВ).

Каждый силовой модуль включает в себя два силовых модуля привода 3, закрепленных на радиаторе 4. Для защиты от коммутационных перенапряжений на каждом силовом модуле предусмотрены платы 5 с защитными РС–цепями и варисторами. На этих же платах расположены светодиоды индикации состояния.

Панель ПУ08.112 привода 1 управляет силовым модулем режима регулирования скорости БС РС1 и силовым модулем режима выхода на естественную механическую характеристику двигателя БС РВ1 (типа БСТ08–80), которые расположены на радиаторе слева.

Каждый силовой модуль включает в себя два модуля тиристоров 3, закрепленных на радиаторе 4. Для защиты от коммутационных перенапряжений на каждом силовом модуле предусмотрены платы 5 с защитными РС–цепями и варисторами. На этих же платах расположены светодиоды индикации состояния тиристоров (открыто/закрыто) при работе регулятора. Подключение силовых цепей от резисторов и двигателя к регулятору осуществляется непосредственно к клеммам силового блока после установки шкафа на месте его постоянной эксплуатации. Подключение цепей управления осуществляется через клеммник 6.

Силовой модуль БС РС1 обеспечивает плавное регулирование скорости электродвигателя, а БС РВ1 – выход электродвигателя на естественную механическую характеристику, т.е. на работу с максимальной скоростью.

«Второй комплект» аналогичен «первому комплекту». Панель управления второго комплекта подключается к внешним цепям через клеммник 7.

Соединительные провода первого и второго приводов уложены в кабельные каналы 8.

«Третий комплект» – регулятор тормозного тока конструктивно расположен следующим образом: панель 11 управления ПУ08.111– РТТ закреплена на плите 1, а силовой блок БС РТТ (БСТ08–40) на нижней части правого радиатора 10. Подводящие провода (силовые и информационные) подсоединены к клеммнику 9.

Внешний вид шкафа (с открытой дверью) показываем на рисунке 3.1.

										Лист
										37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.02.2021.375 ПЗ



#### 4 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Расчет статических характеристик электропривода понимается построение электромеханических или механических характеристик.

Исходными данными для расчёта механических характеристик являются паспортные данные двигателя асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Двигатель МТФ–211–6

$U = 380 / 22 \text{ В}$

$f = 50 \text{ Гц}$

ПВ = 40 %

$P_{\text{ном}} = 750 \text{ Вт}$

$n_{\text{ном}} = 940 \text{ об/ мин}$

$\lambda_{\text{м}} = 2,5$

$I_{\text{сн}} = 34,7 \text{ А}$

$R_{\text{с}} = 0,534 \text{ Ом}$

$X_1 = 0,529 \text{ Ом}$

$X_2 = 0,182 \text{ Ом}$

$R_2 = 0,219 \text{ Ом}$

$K = 4,54$

$U_{1\phi} = 22 \text{ В}$

Определяем скорость идеального холостого хода,  $\omega_0$ , рад/с, по формуле

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p}, \quad (4.1)$$

где  $\omega_0$  – скорость идеального холостого хода, рад/с;

$f_1$  – частота переменного тока, Гц;

$p$  – число пар полюсов.

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{3} = 104,6 \text{ рад/с}$$

Рассчитываем приведённые значения сопротивлений обмотки ротора и индуктивное сопротивление короткого замыкания. Приведённые значения сопротивлений обмотки ротора,  $x_2'$ , определяем по формуле

$$x_2' = x_2 \cdot k^2, \quad (4.2)$$

где  $x_2'$  – индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, Ом;

									Лист
									39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.02.2021.375 ПЗ

$\kappa$  – коэффициент приведения.

$$x'_2 = 0,182 \cdot 4,54^2 = 3,75 \text{ Ом}$$

Приведенное активное сопротивление,  $R'_2$ , Ом, определяем по формуле

$$R'_2 = R_2 \cdot \kappa^2, \quad (4.3)$$

где  $R_2$  – активное сопротивление ротора, Ом

$$R'_2 = 0,219 \cdot 2,37^2 = 1,23 \text{ Ом}$$

определяем по формуле

$$x_\kappa = x_1 + x'_2, \quad (4.4)$$

$$x_\kappa = x_1 + x'_2 = 0,271 + 1,3 = 1,6 \text{ Ом}$$

Определим характерные точки характеристики  $I'_2(S)$ , А, определяем по формуле

$$I_{\text{к.з.}} = I_{\text{пуск}} = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(R_c + R'_2) + x_\kappa^2}}, \quad (4.5)$$

$$I_{\text{к.з.}} = I_{\text{пуск}} = \frac{22}{\sqrt{(0,534 + 1,23) + 1,6^2}} = 10,6 \text{ А}$$

Ток короткого замыкания равен пусковому току  $I_{\text{к.з.}} = I_{\text{пуск}}$ , А, определяем по формуле

$$I_{\text{к.з.}} = I_{\text{пуск}} = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(R_c + R'_2) + x_\kappa^2}}, \text{ А} \quad (4.6)$$

$$I_{\text{к.з.}} = I_{\text{пуск}} = \frac{22}{\sqrt{(0,534 + 1,23) + 1,6^2}} = 10,6 \text{ А}$$

Скольжение,  $S$ , определяем по формуле

$$S = -\frac{R'_2}{R_c} = -\frac{1,23}{0,219} = -5,6 \quad (4.7)$$

					13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

$$S = -\frac{1.23}{0.219} = -5,6$$

Максимальный ток,  $I_{\max}$ , А, определяем по формуле

$$I_{\max} = \frac{U_{1\phi}}{x_{\kappa}}, \quad (4.8)$$

$$I_{\max} = \frac{22}{1.6} = 13,75 \text{ А}$$

Ток бесконечности  $I_{\infty}$ , А, определяется по формуле

$$I_{\infty} = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{R_c^2 + x_{\kappa}^2}}, \quad (4.9)$$

$$I_{\infty} = \frac{22}{\sqrt{0.219^2 + 1.6^2}} = 13,75 \text{ А}$$

Приведенный ток,  $I_2'$ , А, определяем по формуле

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_c + \frac{R_p}{S}\right)^2 + X_{\kappa}^2}}, \quad (4.10)$$

$$I_2' = \frac{22}{\sqrt{\left(0.219 + \frac{0.08}{-5.6}\right)^2 + 1.6^2}} = 7,2 \text{ А}$$

Для расчёта механической характеристики определяем координаты точек номинального режима и критического момента

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{НОМ}}}{30}, \quad (4.11)$$

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{3.14 \cdot 690}{30} = 98,4 \text{ рад/с}$$

						13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			41



Номинальное скольжение  $S_{НОМ}$ , %, определяем по формуле

$$S_{НОМ} = \frac{(\omega_0 - \omega_{НОМ})}{\omega_0}, \quad (4.12)$$

$$S_{НОМ} = \frac{(104,6 - 98,4)}{104,6} = 0,06$$

Номинальный момент,  $M_{НОМ}$ , Н × м, определяем по формуле

$$M_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\omega_{НОМ}}, \quad (4.13)$$

$$M_{НОМ} = \frac{750}{98,4} = 7,6 \text{ Н} \times \text{м}$$

Критический момент,  $M_{к}$ , Н × м определяем по формуле

$$M_{к} = \lambda_{м} \cdot M_{НОМ}, \text{ Н} \times \text{м} \quad (4.14)$$

$$M_{к} = 2,5 \cdot 7,6 = 19 \text{ Н} \times \text{м}$$

Величину критического скольжения  $S_{к}$ , %, определяем по формуле

$$S_{к} = \frac{R'_2}{\sqrt{R_c^2 + x_{к}^2}} = \frac{1,23}{\sqrt{0,534^2 + 1,6^2}} = 0,73 \quad (4.15)$$

Ускорение,  $a$ , определяем по формуле

$$a = \frac{R_c}{R'_2}, \quad (4.16)$$

$$a = \frac{0,534}{1,23} = 0,43$$

Рассчитываем момент для построения механической характеристики  $M$ , Н × м, по формуле

					13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$M = 2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot S_k) / (S / S_k + S_k / S + 2 \cdot a \cdot S_k) \quad (4.17)$$

$$M = 2 \cdot 19 \cdot (1 + 0.43 \cdot 0.73) / (S / 0.73 + 0.73 / S + 2 \cdot 0.43 \cdot 0.73) = 38(S / 0.73 + 0.73 / S + 0.63)$$

Для удобства построения механической характеристики воспользуемся программой Excel. Заносим в программу Excel данные для построения механической характеристики, изменяя величину скольжения заполняем таблицу и строим диаграмму.

На рисунке 4.1 показан расчет механической характеристики в программе Excel.

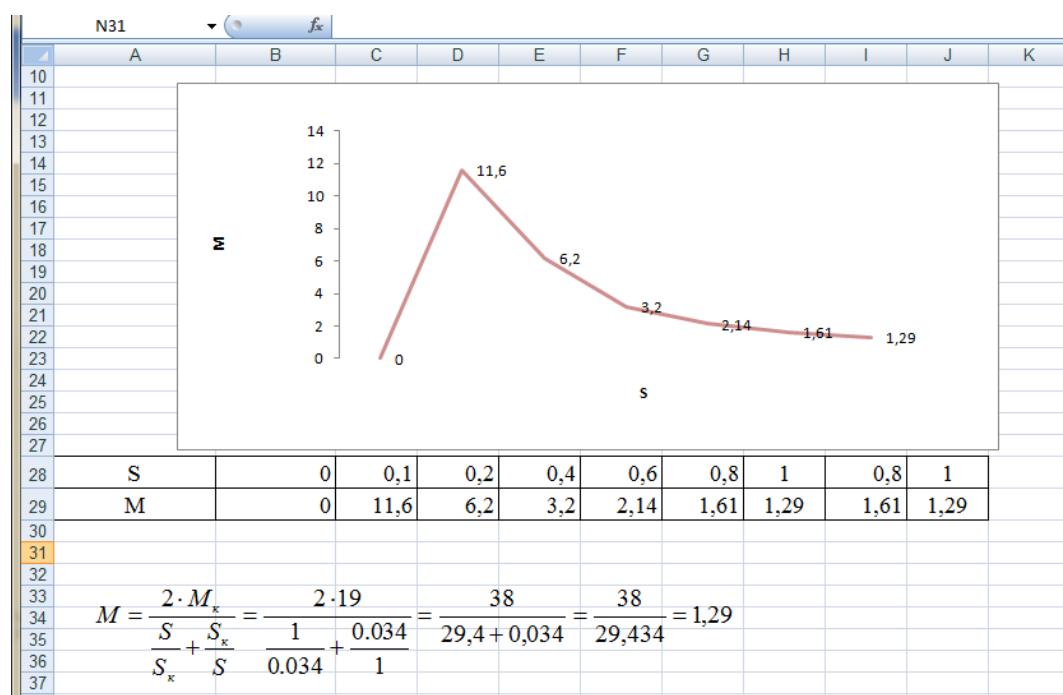


Рисунок 4.1 – Расчет механической характеристики в программе Excel

Данные расчета заносим в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Данные расчета механической характеристики

S	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
M	0	11,6	6,2	3,2	2,14	1,61	1,29

Далее по рассчитанным параметрам строим естественную и искусственную характеристики.

Механические характеристики двигателя изображены на рисунке 4.2

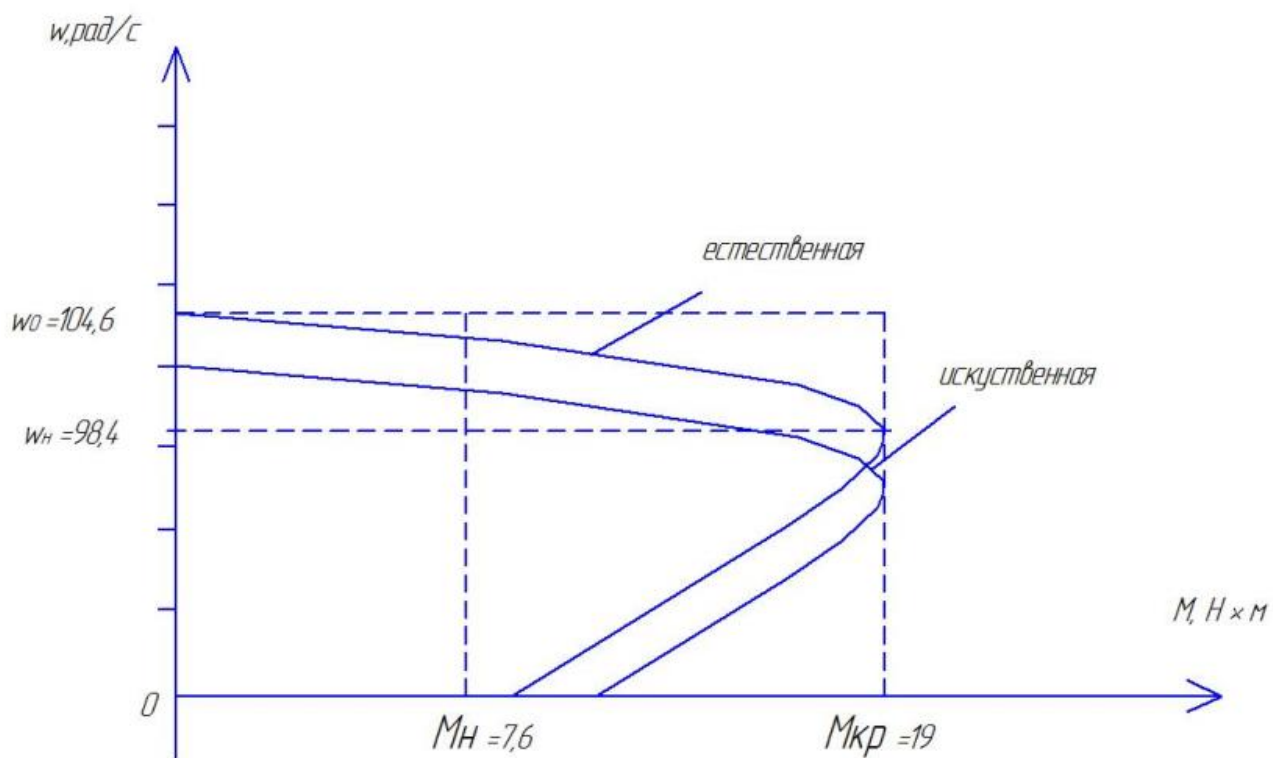


Рисунок 4.2 – Механические характеристики двигателя

Вывод по разделу четыре.

Выполнен расчет механических характеристик двигателя.

## 5 РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Переходные процессы электропривода возникают при изменении управляющих и возмущающих воздействий.

При пуске электроприводов по системе управляемый преобразователь – двигатель (УП–Д), к которым относятся системы ТП–Д, преобразователь частоты – асинхронный двигатель и др., производится изменение (увеличение) управляющего воздействия, обуславливающее соответствующее изменение напряжения на якорной обмотке двигателя постоянного тока или частоты питания статорной обмотки двигателя.

При торможении таких электроприводов управляющее воздействие снижается, при этом происходит снижение напряжения или частоты.

Управляющим воздействием в электроприводах по системе УП–Д является задающее напряжение. При изменении знака (полярности) задающего напряжения изменяется полярность напряжения на якорной обмотке или порядок следования фаз напряжения на статорной обмотке, вызывая реверсирование двигателя.

Переходные процессы возникают также при изменениях возмущающих воздействий, в частности – при изменениях по величине или направлению действия (знаку) момента статических сопротивлений.

Если двигатель получает питание от цеховой сети и управление осуществляется релейно– контакторной системой, процессы пуска и торможения обеспечиваются введением в силовую цепь двигателя добавочных сопротивлений. Изменение сопротивлений в цепи двигателя обычно выполняется с помощью электромагнитных контакторов, включение и отключение которых производят автоматически реле тока, времени, скорости, настроенные на требуемые значения координат электропривода, или вручную оператором.

Расчёт переходных режимов необходим для:

- определения времени и характера их протекания;
- оценки их соответствия требованиям технологического процесса рабочего органа;
- оценки механических и электрических перегрузок;
- правильного выбора мощности двигателей, преобразователей и аппаратуры управления.

Нагрузочные диаграммы, построенные для переходных и установившихся режимов работы электропривода, дают возможность проверить выбранный двигатель по условиям заданной производительности, по нагреву, кратковременной перегрузке и условиям пуска. Они используются также для проверки по нагреву пусковых и тормозных резисторов, для проверки по допускаемым нагрузкам – тиристорных преобразователей.

На характер переходного процесса оказывают существенное влияние механическая инерция электропривода, жесткость механической передачи, электромагнитная инерция обмоток двигателя и элементов преобразователя. Для

										13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							45

анализа влияния этих факторов на вид нагрузочных диаграмм для одного переходного процесса – пуска при грузовом движении – рассчитываются переходные процессы:

- без учёта упругости передачи и электромагнитной инерции (механический процесс жёсткой системы);
- с учётом упругости передачи (механический процесс упругой системы);
- с учётом электромагнитной инерции (электромеханический процесс);
- с учётом электромагнитной инерции и упругости передачи.

Расчёт нагрузочных диаграмм для всего цикла работы (два пуска и два торможения) выполняется с учётом электромагнитной инерции [12].

На рисунке 5.1 изображены нагрузочные диаграммы механизма

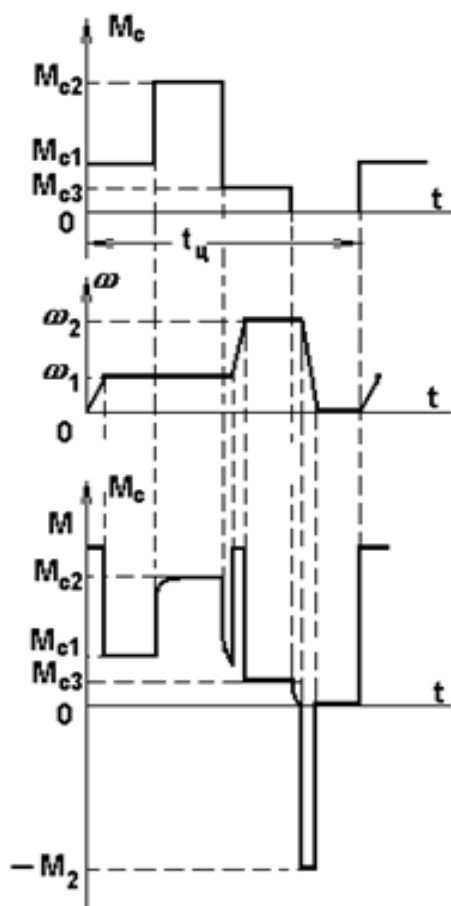


Рисунок 5.1 – Нагрузочные диаграммы механизма

Вывод по разделу пять.

Выполнено описание переходных процессов электропривода.

## 6 ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

### 6.1 Проверка двигателя и преобразователя по нагреву

Выбрав двигатель подходящей мощности и нужных оборотов по каталогу производителя, убедившись, что значения его номинальных напряжения и тока соответствуют вашей сети, подобрав тип крепления и условия вентиляции именно для вашего оборудования, убедившись, что исполнение корпуса подходит для условий окружающей среды, двигатель необходимо проверить. И проверяют двигатель не просто на работоспособность, а на перегрузку, на нагрев, на условия пуска в установленном виде.

При повторно – кратковременном режиме работы мощность выбранного двигателя по условиям нагревания проверяется по соотношению по формуле

$$P_n \geq P'_s, \quad (6.1)$$

Приведенная мощность  $P'_s$ , к Вт, определяется по формуле

$$P'_s = \sqrt{\frac{P_n^2 t_n + P_s^2 t_p}{0,75 t_n + t_p + 0,5 t_o}}, \quad (6.2)$$

где  $P_n$  – фиктивная пусковая мощность,  $P_n = P_n i_n$ , кВт;

$t_n, t_p$  – продолжительность пуска электродвигателя и работы, с;

$I_n, I_p$  – соответственно пусковой и рабочий ток электродвигателя, А.

Определяем пусковой ток,  $I_n$ , А, по формуле

$$I_n = I_n \cdot i_n, \quad (6.3)$$

где  $I_n$  – номинальный ток электродвигателя, А.

Если эквивалентные мощность, момент или ток, превысят номинал данного двигателя, то перегрев будет недопустимым, а значит необходимо будет выбрать двигатель большей номинальной мощности, после чего повторить проверку на перегрев с учетом реальных ПВ.

### 6.2 Проверка на перегрузочную способность

Исходя из известной нагрузочной диаграммы (зависимость момента на валу от времени), проверяют двигатель на перегрузку по следующим условиям

$$M_{max} \geq M_{ctax}, \quad (6.4)$$

						13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			47

где  $M_{max}$  – максимальный момент двигателя, Н × м;  
 $M_{cmax}$  – максимальный момент нагрузки, Н × м.

$$M_{max} = \lambda_m \times M_H , \quad (6.5)$$

где  $\lambda_m$  – максимальный момент перегрузки;  
 $M_H$  – номинальный момент двигателя, Н × м;

Проверку по условиям пуска выполняют исходя из следующих условий,  
 $M_{п}$ , Н × м, и определяется по формуле

$$M_{п} \geq M_{cmax} , \quad (6.6)$$

где  $M_{п}$  – пусковой момент двигателя, Н × м;  
 $M_{cmax}$  – максимальный момент нагрузки при пуске, Н × м.

$$M_{п} = K \times M_H , \quad (6.7)$$

где  $K$  – кратность пускового момента двигателя.  
 $M_H$  – номинальный момент двигателя, Н × м;

Вывод по разделу шесть.

Выполнено описание интегральных показателей переходных процессов:  
выполнена проверка двигателя и преобразователя по нагреву, проверка на  
перегрузочную способность.

## 7 АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 7.1 Выбор ПЛК

Для АСУ выбираем программируемый логический контроллер (ПЛК) марки Schneider Electric Modicon M340. Выбор данного ПЛК обосновывается рядом причин:

- во – первых ПЛК Modicon M340 является модульным, т.е. имеется возможность набирать необходимое количество модулей входных и выходных сигналов;
- во – вторых данное ПЛК является надежным и быстродействующим;
- в – третьих программное обеспечение ПЛК Modicon M340 отличается удобством в написании пользовательских программ, что существенно упрощает и ускоряет процесс внедрения АСУ.

На рисунке 7.1 изображен ПЛК Modicon M340.



Рисунок 7.1 – ПЛК Modicon M340

В конструкцию ПЛК Modicon M340 входят следующие модули:

- модуль питания;
- модуль центрального процессора;
- модули входных и выходных сигналов;
- сетевые модули.

Все модули размещаются на специальном сборном конструктиве, называемом шасси, оборудованном общими шинами связи и питания. Имеются несколько вариантов модулей питания, центрального процессора, модулей ввода/вывода и сетевых модулей, имеется также несколько вариантов шасси, варианты отличаются по своим характеристикам.

Для разрабатываемой АСУ необходимо произвести выбор отдельных модулей и шасси из каталогов с характеристиками, подходящими для данной АСУ.





## 7.2 Логические уравнения

Необходимость формирования команд, передаваемых двоичными сигналами, возникает при изменении последовательности выполнения технологических операций, остановке агрегатов в случае обнаружения нарушений их работоспособности вследствие поломки или отсутствия сырья, возникновении аварийной ситуации, необходимости защиты от неправильного или несанкционированного включения технологического оборудования и так далее.

Кроме того, аналогичные по форме командные сигналы должны формироваться (оператором или соответствующими датчиками) в случае обнаружения нарушения технологического процесса, например сигналы, запрещающие включение оборудования и оповещающие об этом обслуживающий персонал.

Для автоматизации работы системы необходимо иметь информацию о состоянии объекта или его положении. Поэтому необходимо иметь следующие датчики:

- датчики о закрытии калиток выхода на подкрановые пути;
- датчик о закрытии калитки на посадочной;
- датчик о поднятии лестницы;
- датчик о том, что закрыты двери электропомещения;
- датчик о закрытии люка кабины машиниста.

Кроме этого необходимо иметь информацию о состоянии:

- преобразователя частоты;
- термистора;
- блока управления тормозами;
- тормозного резистора.

Предлагаем расшифровку обозначений принятых переменных и логические функции для выходных и промежуточных переменных.

Составляем логические уравнения.

Разрешение работы (РБ):

$$РБ = \text{Вых.ПП1} \times \text{ВыхПП2} \times \text{КП} \times \text{ЛК} \times \text{Дэл} \times \text{Лст}$$

Разрешение контакторов (РК):

$$РК = РБ \times \text{КнАвар} \times (\text{Сх} + \text{РК})$$

Сборка схемы (Сх.):

$$\text{Сх} = \text{Сиг.готБЗП} \times \text{Сиг.готБУТ} \times \text{Сиг.готКМ}$$

										Лист
										51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2021.375 ПЗ					

Проверка работы ПЧ (РПЧ):

$$РПЧ = СХ \times \text{Сиг.готПЧ} \times \text{ГотТР} \times РБ$$

Готовность (Гот):

$$\text{Гот} = РПЧ \times \text{Термистор}$$

Лампа готовности (Лгот):

$$\text{Лгот} = (\text{Гот} + \overline{\text{Авар.влево}} + \overline{\text{Авар.вправо}})$$

Разрешение на движение (РД):

$$РД = \text{Гот} \times (\text{Вправо} + \text{Влево}) \times (\text{Авар.вправо} + \text{Дл}) \times (\text{Авар.влево} + \text{Дп})$$

Движение вправо (Пр)

$$\text{Дп} = \text{Гот} \times \overline{\text{Вправо}} \times \text{Дл} \times \text{Авар.вправо}$$

Движение влево (Дл):

$$\text{Дл} = \text{Гот} \times \overline{\text{Влево}} \times \text{Дп} \times \text{Авар.влево}$$

### 7.3 Программирование ПЛК

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) – это технические средства, используемые для автоматизации технологических процессов. Это электронное специализированное устройство, работающее в реальном масштабе времени.

ПЛК можно запрограммировать в цифровом виде и, таким образом, очень легко адаптировать к требованиям конкретного технологического процесса. В связи с растущими требованиями к современным машинам и производственным процессам решения с использованием ПЛК в области автоматизации стали неотъемлемой частью повседневного промышленного производства.

Основным режимом работы ПЛК выступает его длительное автономное использование, зачастую в неблагоприятных условиях окружающей среды, без серьезного обслуживания и без вмешательства человека. ПЛК обычно применяются для управления последовательными процессами, используя входы и выходы для определения состояния объекта и выдачи управляющих воздействий.

Программируемые логические контроллеры - идеальное решение для индивидуального управления различными приложениями, машинами, системами и процессами или управления мощностью с помощью цифровых технологий.



Только индивидуально программируемые устройства для управления, контроля и регулирования производительности производственных машин могут удовлетворить высокие требования современной промышленности.

ПЛК обычно можно установить непосредственно на производственной машине. Это экономит необходимое пространство. Помимо возможности удаленного управления ПЛК, одним из его самых больших преимуществ является коммуникационная способность.

Для обеспечения питания датчиков, программируемого контроллера необходимо выбрать блок питания. Требуемая мощность блока питания определяется суммой мощностей потребителей, нагруженных на него, причем для оптимального использования необходимо учитывать то, что не все потребители включены одновременно.

Для упрощения выбора, а также для обеспечения запаса, мощность блока питания выбирается по суммарной мощности всех потребителей. Так же необходимо выполнить расчет требуемой мощности блока питания. В таблице 7.2 показан расчет мощности блока питания.

Таблица 7.2 – Расчет мощности блока питания

Наименование потребителя	Потребляемый ток	Количество потребителей, шт.	Мощность потребления, Вт
Индуктивный датчик	250 мА	1	6
Оптический датчик	100 мА	6	14,4
ПЛК	-	1	макс 40
Выходы ПЛК	1 А	16	96
Входы ПЛК	8,5 мА	20	1,428
Светодиоды	10 мА	3	0,72
Суммарная мощность потребителей			170

По полученному значению суммарной потребляемой мощности выбран источник питания PID – 250 В на номинальный ток 9,4 А, с напряжением на 24 В и максимальной выходной мощностью 250 Вт.

Перед составлением программы необходимо определить адреса входных и выходных переменных в соответствии с их подключением к программируемому устройству, а также задать адреса промежуточных переменных. Информацию об адресации сигналов показываем в таблице 7.3.









## 8 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Типовая крановая электрическая схема состоит из отдельных её элементов: защита, электропривод передвижения моста, электропривод грузовой тележки, электропривод грузозахватный приспособлений, вспомогательный цепи. Электрическая схема козлового крана является наиболее простой и показана на рисунке 8.1.

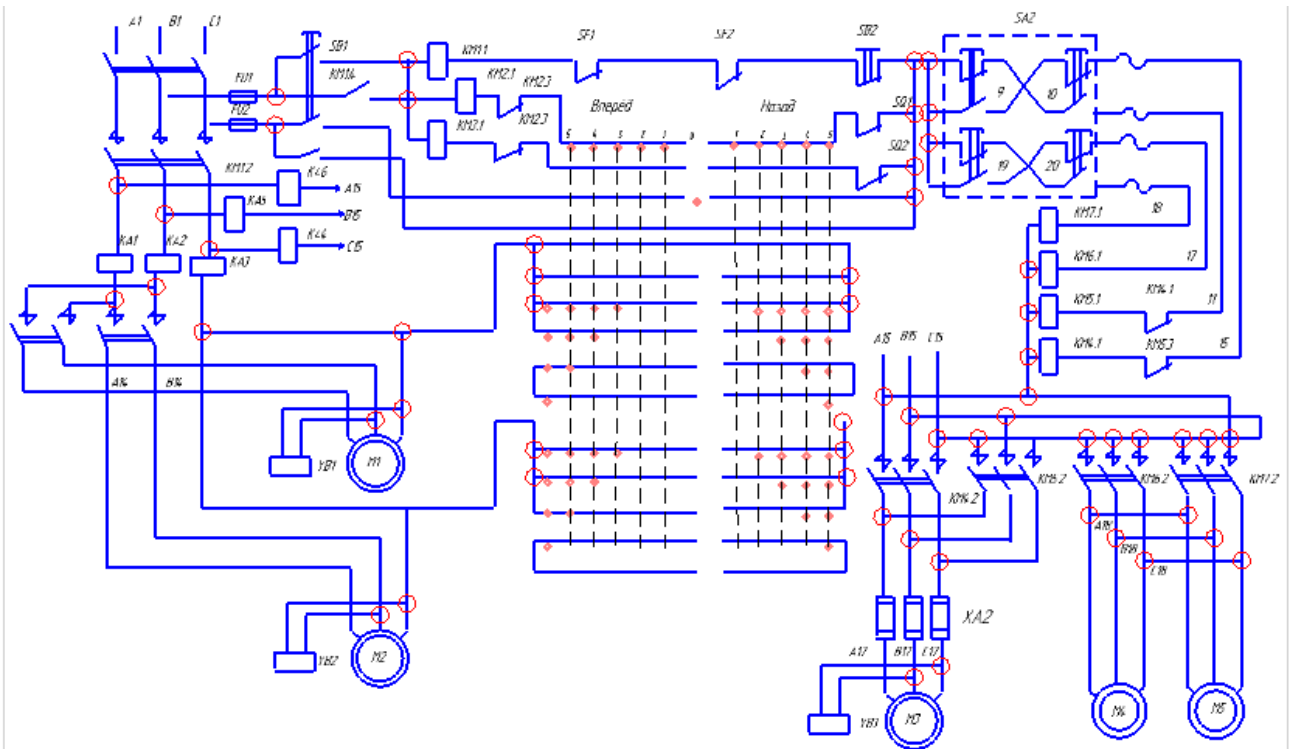


Рисунок 8.1 – Электрическая схема козлового крана

Электрическая схема козлового крана грузоподъемностью 10 тонн состоит из следующих элементов

- A1, B1, C1 – вводное устройство (рубильник);
- QS1 – выключатель;
- FU1, FU2 – плавкие предохранители;
- SB1 – кнопка управления;
- KM1. 1, KM 1.2 – контакты;
- KM 1.3, KM 1.4 – блок-контакты контактора;
- KA1 ...KA6 – токовые реле;
- A14, A15, B14, B15, C13, C15 – цепи управления;
- KM2.1 – пускатель;
- KM2.2, KM2.3, KM3.3 – контакты;
- KM3. 1, KM3.2 – катушки;



управления реверсивными магнитными пускателями подъема и передвижения электротали (тележки).

При нажатии кнопки «вверх» включается цепь управления Р 11 – 12 – Л15 с катушкой КМ4.1 и контактора, происходит подъем крюка. При одновременном нажатии обеих кнопок поста цепи катушек размыкаются, подъем прекращается. Прекращение подъема происходит и при снятии пальца с кнопки «вверх». Для удобства работы на кнопочном пульте расположена кнопка аварийного выключателя SB2, которая размыкает цепи катушек реверсивного пускателя КМ2.1, КМ3.1 и линейного контактора КМ1.1. Два механических, расцепителя SF1 и SF2 предохраняют двери защитной панели и кабины от самопроизвольного открытия во время работы козлового крана.

На позиции 1 контроллера SA1 в цепь роторных обмоток вводится полный комплект сопротивлений. Далее переводят рукоятку контроллера в позицию 2, при этом часть пускового сопротивления выводится, двигатели развивают некоторую скорость. Переводя рукоятку контроллера последовательно на позиции 3 – 5, выводят остальные секции пусковых сопротивлений из цепи роторных обмоток и соединяют их накоротко. Двигатели работают на естественной характеристике, развивая максимальную скорость передвижения крана.

При вращении рукоятки от нулевого положения в левую сторону включается катушка КМ2.1 реверсивного пускателя «назад» с одновременным отключением катушки КМ3. 1, контактами КМ2.2 и КМ2.3 переключаются полюсы статорных обмоток двигателей, в результате чего кран движется назад. Тормозные магниты YB1 и YB2 включены в силовую цепь двигателей и не имеют дополнительных командоаппаратов. Торможение крана происходит на нулевой позиции контроллера в момент прекращения подачи напряжения на статорные обмотки ротора.

Электрические двигатели М1, М2, М3, М4 и М5 включаются и реверсируются магнитными пускателями КМ4.2, КМ5.2, КМ6.2, КМ7.2, управляемыми из кабины машиниста (крановщика) с помощью кнопочного поста SA3 кнопками «подъем», «спуск», «вперед», «назад». К встроенному в грузовой барабан электродвигателю подъема груза напряжение подается посредством кольцевого токоъемника ХА2.

Электрические схемы токовой защиты, электропривода передвижения крана, электропривода грузовой тележки, освещения и сигнализации, приборов безопасности, монтажа электрооборудования приведены в Руководстве по эксплуатации используемых по назначению моделей козловых кранов.

Вывод по разделу восемь.

Разработана электрическая принципиальная схема электропривода козлового крана грузоподъемностью 10 тонн.

										Лист
										60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2021.375 ПЗ					

## 9 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Традиционная система плавного пуска обеспечивает снижение пускового тока на заданном уровне (не более 2...3  $I_n$ ). При этом резко уменьшаются электродинамические усилия в обмотках и связанное с ними механическое разрушение изоляции обмоток. Снижение пусковых моментов благоприятно и для механической части привода.

С развитием микропроцессорной техники происходит переход от релейно – контакторных систем управления к полупроводниковым преобразователям постоянного и переменного тока: тиристорным преобразователем (далее ТП) для электродвигателей постоянного тока и преобразователей частоты (далее ПЧ) для асинхронных электродвигателей.

ПЧ предназначен для плавного разгона, регулирования частоты вращения и плавной остановки ротора асинхронных и синхронных электродвигателей. ПЧ позволяет реверсировать направление вращения ротора без применения реверсивного контактора.

Фирмы, производящие ПЧ – Siemens, Schneider Electric, ABB, Control Techniques.

При выборе частотного преобразователя необходимо знать мощность электродвигателя переменного напряжения. Мощность должна быть сопоставима с мощностью преобразователя частоты. Это применимо для электродвигателей где скорость вращения от 1500 до 3000 оборотов в минуту. При использовании двигателей с другими показателями выходной ток частотного преобразователя не должен быть меньше, чем ток двигателя, лучше брать частотный регулятор с большим током.

Достоинства частотного преобразователя:

- удобная конструкция, не большие габариты и масса; монтаж на стенку или на DIN – рейку;
- осуществляет вольт-частотный способ управления электродвигателем, с широким диапазоном изменения зависимостей;
- частота ШИМ регулируется в диапазоне от 3 до 10 кГц;
- автоматическая стабилизация напряжения на электродвигателе (AV);
- встроенный тормозной ключ - динамическое торможение электродвигателя и торможение постоянным током;
- встроенный PLC (программируемый логический контроллер), осуществляющий: работу по циклограмме с использованием 8-ми предустановленных частот вращения, изменением направления вращения и времени работы в каждом положении;
- автоматический рестарт после кратковременной остановки подачи электропитания;
- автоматический режим выбора наименьшего времени разгона и торможения;

										13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							61

- синхронизация с работающим электродвигателем;
- перегрузка на 150% в течение 60 секунд.

Электрическая схема подключения частотного преобразователя показана на рисунке 9.1.

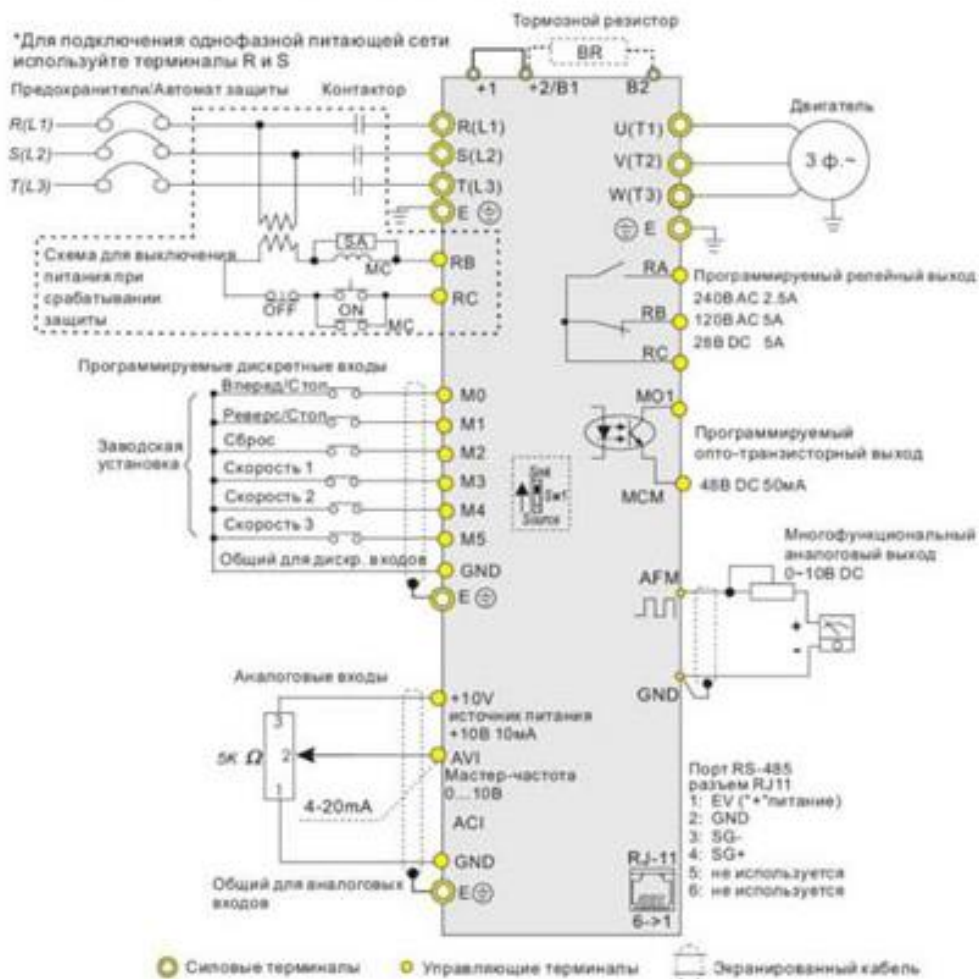


Рисунок 9.1 – Электрическая схема подключения частотного преобразователя

На рисунке 9.2 представлена функциональная схема преобразователя частоты (далее ПЧ) с графиком.



В комплект ПЧ входят:

- дискретные входы/выходы;
- аналоговые входы/выходы;
- релейные выходы;
- панель управления (настройка ПЧ, управление ПЧ и отображение заданной скорости, выходной частоты, тока и напряжения двигателя, выходной мощности, момента, состояния дискретных входов, общее время работы преобразователя);
- ПИД-регулятор;
- сетевой интерфейс (для связи с информационной сетью или внешними устройствами).

Управление ПЧ осуществляется через сервисную панель, персональный компьютер, джойстики (командоконтроллеры), ПЛК. ПЧ оснащен комплектом защит от:

- перегрузки двигателя и ПЧ;
- коротких замыканий двигателя и ПЧ;
- обрыва фазы со стороны двигателя и сети;
- межфазного замыкания со стороны двигателя и сети;
- перенапряжения и падения напряжения;
- отклонении напряжения питания;
- замыкания на «землю».

ПЧ обладает набором функций:

- возможность питания от однофазной сети;
- ступенчатое и бесступенчатое регулирование;
- реализация различных законов разгона-торможения;
- работа с рекуператором или с тормозными резисторами;
- управление тормозом;
- управляемый останов, торможение постоянным током;
- подключение энкодера, резольвера, термистора;
- мультikonфигурация и мультидвигатель (оба режима несовместимы);
- ограничение перенапряжения двигателя;
- предотвращения резонанса;
- подхват работающего двигателя;
- дополнительные карты (ввода/вывода, встроенного ПЛК) [7].

Вывод по разделу девять.

Разработана функциональная схема автоматизации электропривода.

									Лист
									64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.02.2021.375 ПЗ

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе по теме: Модернизация электропривода грузоподъемного механизма козлового крана грузоподъемностью 10 т.

В ходе модернизации, обновляя узлы, улучшают конструкцию кранов. Модернизация мостовых грузоподъемных кранов предполагает замену устаревших или несовершенных узлов кранов более новыми. В ряде случаев модернизация электропривода грузоподъемного механизма козлового крана ограничивается тем, что лишь какие-то части узлов грузоподъемных кранов удаляются, добавляются, либо заменяются более современными, с улучшенными характеристиками.

Во многих случаях для осуществления модернизации грузоподъемных кранов используют поломку и ремонт оборудования мостовых и козловых грузоподъемных кранов, а значит и связанные с этим временные простои. Целесообразно также согласовать модернизацию козловых грузоподъемных кранов и проведение капитальных ремонтов, которые, как правило, останавливают работу грузоподъемных кранов на довольно значительный срок.

В результате модернизации механизма передвижения крана была решена проблема несинхронности движения сторон крана, металлоемкость привода уменьшилась примерно в 2 раза. Так же уменьшились капитальные вложения, затраты на электроэнергию, в результате чего возникает экономический эффект. Заменен электропривод постоянного тока на более прогрессивный электропривод переменного тока.

Цель выпускной квалификационной работы достигнута путем решения поставленных задач.

										Лист
										65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2021.375 ПЗ					



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Алиев, И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию. – М.: Высшая школа, 2008. – 255 с.
- 2 Астанский, А.Ю. и др. Экономика, организация и планирование производства.– М.: Стройиздат, 2002. – 479 с.
- 3 Балашов, В.П. – Грузоподъемные и транспортирующие машины на заводах строительных материалов, 1987г. – 384 с
- 4 Деменков, Н.П. Языки программирования промышленных контроллеров. Учебное пособие – Изд– во М Г Т У им. Н.Э. Баумана, 2004. – 172 с.
- 5 Кацман, М.М. Электрический привод. – М.: Высшая школа, 2013. –384 с.
- 6 Ковчин, С. А., Сабинин, Ю. А. Теория электропривода: Учебник для вузов. – СПб,: Энергоатомиздат. Санкт–Петербургское отд–ние, 1994. – 496 с: ил.
- 7 Мишин, А.В., Сорокин, П.А. Программирование контроллеров грузоподъемных машин: Методические указания. – М.: М ГУПС (МИИТ), 2015. – 42 с.
- 8 Неклепаев, Б.Н., Крючков, И.П. Электрическая часть электростанций подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 256 с.
- 9 Рапутов, Б.М. Электрооборудование кранов. – М.: Металлургия, 1990, – 276 с.
- 10 Сибикин, Ю. Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок – М.: Высшая школа, 2004. – 240 с.
- 11 Справочник по кранам: Под ред. М.М. Тохберга. – М.: Машиностроение 1988. – 536 с.
- 12 Степанов, И.Н. Экономика строительства. – М.: ЮРАИТ, 2001. – 619с.
- 13 Удут, Л.С., Мальцева, О.П., Кояин Н.В.. Проектирование и исследо– вание автоматизированных электроприводов. Ч. 7. Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учебное пособие –Томск: Изд– во ТПУ, 2007. –164 с
- 14 Ушаков, Н.С. Мостовые электрические краны. – Л.: Машиностроение, 2000. – 352 с.
- 15 Чиликин, М.Г., Сандлер, А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
- 16 Яуре, А.Г., Певзнер, Е.М. Крановый электропривод. Справочник.– М.: Энергоатомиздат, 2002. – 344 с.
- 17 ПБ 10–382–00 Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов
- 18 Проектирование электроприводов крановых механизмов. Техниче– ская коллекция Schneider Electric. Выпуск No 12, февраль 2009.
- 19 <https://atlant-kran.ru/gosty.html>

					13.03.02.2021.375 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66