

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**
Институт «Политехнический», факультет «Энергетический»
Кафедра «Автоматизированный электропривод»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

_____/А.Н. Шишков/

“ ____ ” _____ 2017 г.

Электропривод передвижения мостового крана

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОМУ
КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ (РАБОТЕ)**

ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153.00 ВКР

Руководитель проекта:
Профессор, д.т.н.

_____/М.А. Григорьев /

“ ____ ” _____ 2017 г.

Автор проекта
студент группы _____ П-476 _____

_____/М.А. Рамазанов /

“ ____ ” _____ 2017 г.

Нормоконтролер:
Доцент, к.т.н.

_____/Т.А. Функ/

“ ____ ” _____ 2017 г.

Челябинск 2017 г.

АННОТАЦИЯ

Рамазанов М.А. «Электропривод передвижения мостового крана». - Челябинск: ЮУрГУ, Э; 2017, 96 с., 11 ил., 6 табл. Библиография литературы – 26 наименований.

После анализа существующего способа управления электроприводом тележки мостового крана от магнитного котроллера (релейно- контактная система) был предложен прогрессивный способ управления от преобразователя частоты.

Целью данной работы является модернизация системы управления электропривода. Модернизация осуществляется заменой релейно-контакторной системы управления на систему с применением преобразователя частоты Unidrive SP и программируемого контроллера OMRON.

В дипломном проекте были рассчитаны параметры для данного электропривода, проведена проверка существующего двигателя по производительности и нагреву, а также параметры для преобразователя частоты. Согласно требуемому алгоритму работы на программируемом контроллере разработана программа для управления тележкой мостового крана.

					ЮУрГУ-13.03.02.2017-153ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
Разраб.		Рамазанов В.В.			Электропривод передвижения мостового крана	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.		Григорьев					4	96
Реценз					ЮУрГУ Кафедра «АЭП»			
Н. Контр.		Функ Т.А.						
Утверд.		Шишков А.Н.						

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ТЕХНОЛОГИЯ.....	7
1.1 Общие сведения.....	7
1.2 Описание конструкции кран.....	8
1.3 Описание рабочей машины и ее технологического процесса.....	10
1.4 Технологические требования к электроприводу	12
1.5 Обоснование выбора рода тока и типа электропривода	15
2 РАСЧЕТ СИЛОВОЙ ЧАСТИ.....	18
2.1 Расчет моментов статических сопротивлений и предварительный расчет двигателя.....	18
2.2 Определение передаточного числа и выбор редуктора.....	23
2.3 Расчет приведенных статических моментов системы электропривод- рабочая машина.....	24
2.4 Приведение к валу двигателя суммарного момента инерции движущихся исполнительных органов рабочей машины и связанных с ним движущихся масс.....	25
2.5 Расчет требуемых пусковых и тормозных моментов двигателя.....	26
2.6 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности.....	27
2.7 Выбор преобразователя частоты.....	31
2.8 Расчёт естественных и искусственных механических характеристик электродвигателя.....	36

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						5
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.9	Расчёт переходных процессов и построение нагрузочных диаграмм.....	43
2.10	Расчёт энергетических показателей электропривода.....	48
2.11	Поверка электропривода по производительности, проверка двигателя и преобразователя по нагреву и перегрузочной способности.....	51
3	СИНТЕХ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	54
3.1	Частотнорегулируемый асинхронный электропривод с векторным управлением.....	54
3.2	Выбор типа регуляторов и расчёты параметров.....	57
4	РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	63
4.1	Описание технологического процесса	63
4.2	Составление алгоритма системы автоматизации.....	64
4.3	Логические уравнения.....	66
4.4	Разборка функциональной схемы автоматизации.....	67
4.5	Разработка принципиальной электрической схемы автоматизации	70
4.6	Разработка программного обеспечения системы автоматизации....	72
5	БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	76
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	95
	ЛИТЕРАТУРА.....	96

ВВЕДЕНИЕ

Бурный технический прогресс в области электротехники и электроники, привёл к существенным изменениям в теории и практике электрического привода. Эти изменения прежде всего касаются создания новой элементной базы и технических средств автоматизации, быстрого расширения областей и объёмов применения регулируемого электропривода.

Более 80% электроприводов в промышленном производстве составляют асинхронные электродвигатели. Большая доля из них приходится на электродвигатели с короткозамкнутым ротором. В настоящее время всё большее распространение получают электропривода для управления электродвигателя с короткозамкнутым ротором с применением преобразователей частоты, с применением которых можно получить электропривод с широким диапазоном регулирования скорости, поддержание заданной скорости при изменении нагрузки, осуществлять плавность пуска и торможения. В данном дипломном проекте используется преобразователь частоты типа Unidrive SP.

В настоящее время вопрос об автоматизации систем стоит на очень высоком уровне, то есть его решают большинство производителей различных товаров. Это связано в первую очередь с экономическим эффектом роста производительности и качества выпускаемого товара.

За рубежом системы автоматизации применяются довольно широко и производятся на высоких технологиях. В нашей стране системы автоматизации производятся не в таком количестве, которого необходимо всех потребностей производителя. Поэтому зачастую используют зарубежные, наиболее доступные системы автоматизации.

В данном дипломном проекте используется одна из известных зарубежных разработок контроллер OMRON.

Система позволяет упростить работу оператора, сократить время на поиски неисправностей.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						7
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 ТЕХНОЛОГИЯ

1.1 Общие сведения.

Грузоподъемные машины предназначены для вертикального, горизонтального и комбинированного перемещения грузов. По назначению и конструкции различаются на краны: мостовые, башенные, козловые, порталные, полупортальные. Мостовые краны нашли широкое применение в цехах машиностроительных, металлургических и других заводах; башенные и порталные краны в строительстве.

Конструкция крана и вид применяемого на нём грузозахватывающего устройства определяется видом производственного процесса. Мостовые краны бывают крюковые, грейферные, магнитные, клещевые, ковшовые.

Электрооборудование кранов часто работает с большим числом включений в час, при большой запылённости, высокой влажности, при резких колебания температуры, в труднодоступных для осмотра местах.

В связи с этим применяется специальное крановое оборудование, отличающееся повышенной надёжностью. На кранах обычно устанавливается электрооборудование переменного тока с напряжением 220, 380, 500 В и постоянного тока с напряжением 220, 440 В. Для электрического монтажа кранов применяются медные провода сечением 2,5 мм², по условиям механической прочности.

Во всех отраслях промышленности, на транспорте и строительстве для подъема и перемещения грузов используют грузоподъемные краны, мощность электроприводов которых находится в интервале от сотен ватт до тысячи киловатт.

Одним из основных параметров грузоподъемных кранов является номинальная грузоподъемность, т.е. наибольшая масса поднимаемого им перемещаемого груза, а также скоростью вертикального и горизонтального перемещения груза. Грузоподъемность непосредственно не характеризует

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						8
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

параметры электропривода, поскольку даже при очень большой грузоподъёмности мощность электропривода может быть не высокой, однако увеличение грузоподъёмности кранов связано с повышением надёжности тормозных устройств и общей надёжности электропривода. При определённой грузоподъёмности мощность привода каждого из механизмов крана прямо пропорциональна скорости перемещения.

Грузоподъёмные краны характеризуется числом законченных циклов перемещений номинального груза по усреднённой траектории за единицу времени, например за час.

Грузоподъёмные машины, не имеющие чётких регулярно повторяющихся усреднённых траекторий движения грузов, характеризуется усреднённым за смену числом включений каждого из механизмов за час, а также относительной продолжительности включения механизмов и их электроприводов. Для различных систем электроприводов и различных условий эксплуатации крана существуют предельные значения скоростей. Общая тенденция развития грузоподъёмных машин является повышение их производительности путём увеличения средних скоростей движения. В тоже время повышение требований к точности остановке груза неизбежно приводит к снижению установочных скоростей. Это означает что постоянно увеличивается соотношение между минимальной установочной скоростью и максимальной установленной скоростью каждого из механизмов крана т.е. диапазон регулирования скоростей.

1.2 Описание конструкции крана

Мост крана представляет собой металлическую конструкцию, служащую для передвижения по ней тележки, которая в свою очередь служит для подъёма и спуска грузов.

Мост крана передвигается на ходовых колёсах приводимых в движение электродвигателем установленного на мосту. Движение на колёса передаётся от одного электродвигателя через редуктор и трансмиссионный вал.

				<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
					9
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Мост двигается по крановым путям расположенных на выступах стен. На концах крановых путей предусмотрены пружинные, деревянные или буфера обеспечивающие плановые снижения скорости моста, а также стальные отключающие линейки, которые приводят в действие конечные выключатели, которые в свою очередь срабатывают и отключают двигатель моста.

Тележка установлена на мосту и передвигается вдоль него. На ней располагается механизм передвижения и механизм подъёма и спуска груза.

В механизм передвижения тележки входят: электродвигатель, редуктор, тормозная установка, ведущие колёса.

К механизмам подъёма относятся: электродвигатель, редуктор, контактный барабан, тормозное устройство, конечные выключатели подъёма. Питание моста и тележки осуществляется при помощи токосъёмников. В таблице 1 приведены технические данные тележки крана.

Таблица 1.1-Технические данные тележки крана

№ п./п.	обозначение	Наименование показателя	Размерность	Численные значения
1	$Q_{ном}$	Грузоподъемность	т	5
2	$D_{кт}$	Диаметр колеса тележки	м	0,2
3	V_T	Скорость передвижения тележки	м/с	0,66
4		Режим работы	-	средний
5	$D_{ст}$	Диаметр ступицы колеса тележки	м	0,08
6	m_T	Масса тележки	т	2
7	J_p	Передаточное число редуктора	-	14,6
8	η_T	КПД механизма хода тележки	-	0,96
9	a_t	Ускорения механизма тележки	м/с ²	0,8
10	N_T	Число включений в час	-	24
11	L	Пролет крана	м	13

Продолжение таблицы 1.1

12	t_p	Суммарное время работы	с	42
13	Z	Число циклов работы в час	-	12

1.3 Описание рабочей машины и её технологического процесса

В технологическом процессе производства мостовой кран требуется для транспортирования контейнеров с продуктом. Контейнер с участка комплектации продукции переносится до транспортного участка. На транспортном участке контейнеры загружаются на автотранспорт. На рисунке 1 представлена тахограмма цикла работы тележки крана.

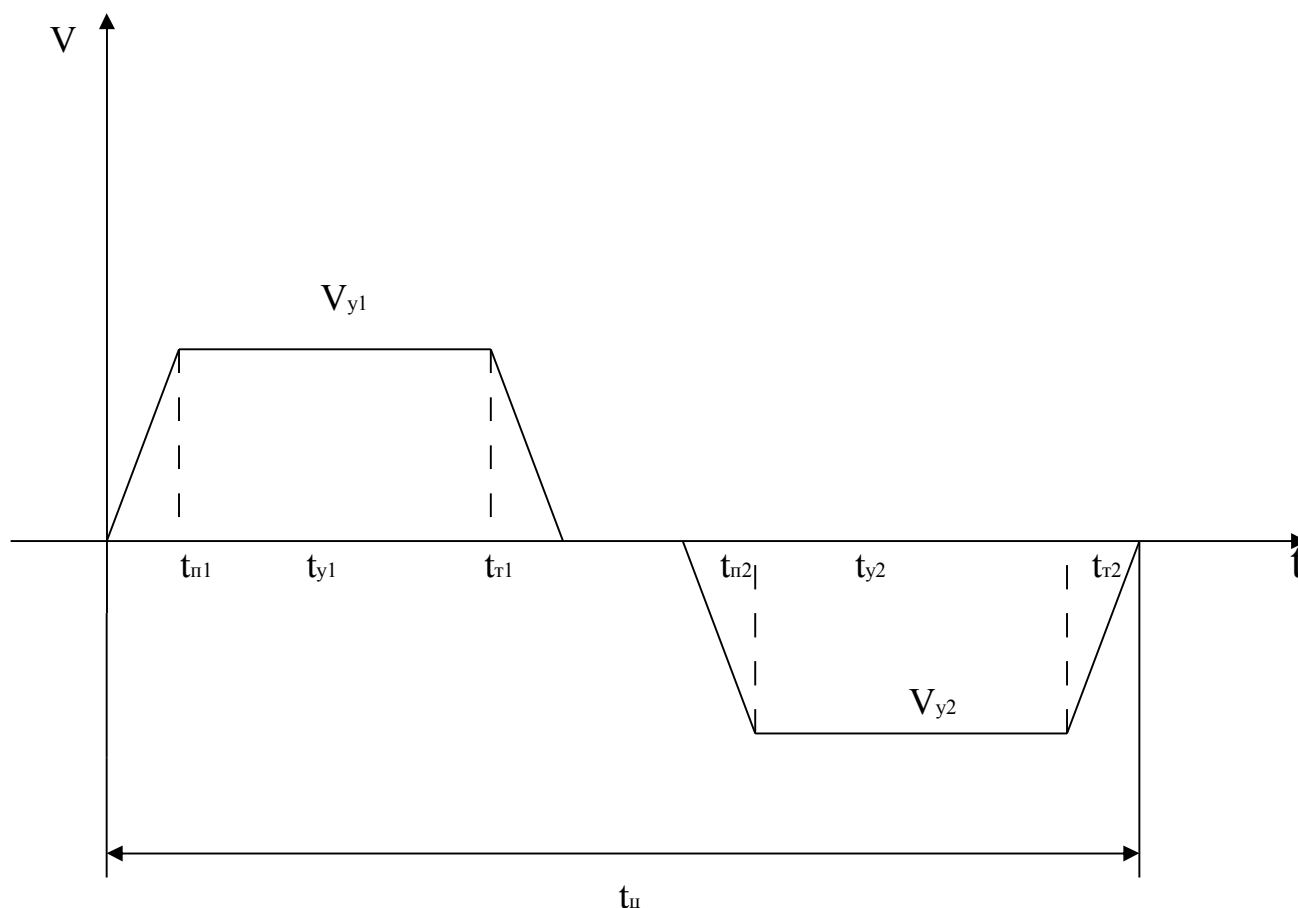
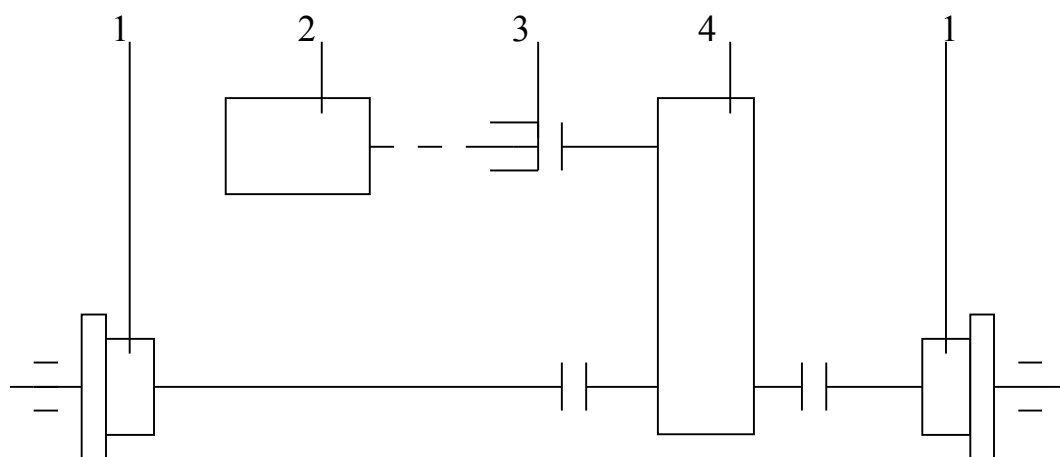


Рисунок 1.1 – Тахограмма цикла работы тележки крана

Тележка мостового крана выполняет операцию перемещения поднятого контейнера с площадки загрузки на площадку выгрузки. На площадке загрузки контейнер зацепляется, механизм подъёма обеспечивает подъём груза. Включается двигатель тележки, осуществляется перемещение тележки с контейнером с установившейся скоростью V_y . По прибытии к площадке выгрузки двигатель затормаживается, тележка останавливается в заданном месте, переместившись на длину L . Происходит опускание контейнера, его отцепляют, пустой крюк поднимается. Включается двигатель для движения в обратную сторону с установившейся скоростью V_{y2} , тележка возвращается на площадку загрузки, пройдя вновь расстояние L . Таким образом, тележка совершает возвратно – поступательное движение на длину L от одного крайнего положения до другого. В цикл работы тележки входит время пауз, когда тележка стоит, производится зацепление груза, его подъём, опускание, расцепление и опускание пустого крюка. На рисунке 2 представлена кинематическая схема передвижения тележки.



- 1 – ходовые колёса;
- 2 – электродвигатель;
- 3 – тормозной шкив;
- 4 – редуктор.

Рисунок 1.2 -Кинематическая схема передвижения тележки

1.4 Технологические требования к электроприводу

При выборе системы электропривода необходимо учитывать совокупность требований предъявляемых к электроприводу.

Основными требованиями, которые должны быть, безусловно, выполнены при проектировании электропривода, являются требования технологические:

- должна быть обеспечена производительность механизма, в связи, с чем тяжёлые грузы целесообразно перемещать с меньшей скоростью (0,66м/с), а ненагруженную тележку с большей (0,77м/с). Понижение скорости также необходимо для осуществления точной остановки транспортируемых грузов с целью ограничения ударов при их посадки и облегчает работу оператора, так как не требует многократного повторения пусков для снижения скорости привода перед остановкой механизма;
- перемещение рабочего органа (тележки) должно выполняться в пределах заданного времени;
- ускорение рабочей машины не должно превышать заданного (допустимого) значения (0,8м/с²). Ограничение ускорения до допустимых пределов при минимальной длительности переходных процессов. Первое условие связано с ослаблением ударов в механических передачах при выборе зазора, с предотвращением пробуксовки ходовых колёс тележки и моста, с уменьшением раскачивания подвешенного на канатах груза при интенсивном разгоне и резком торможении механизмов в передвижения. Второе условие необходимо для повышения производительности крана;
- отклонение скорости в установившемся режиме не должно превышать заданного значения;
- по требованию рабочей машины электропривод должен обеспечивать реверс;

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						13
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- величина эквивалентного тока (момента) должна быть в пределах 0.85 – 1 её допустимого значения;
- преобразователь и двигатель должны выдерживать возникающие кратковременные перегрузки;
- экономичность системы электропривода должна быть максимальной, обеспечивающей минимум капитальных затрат и минимум потерь энергии;
- для защиты электродвигателей и проводов кранов при коротком замыкании предусматривается токовая защита. Тепловая защита на кранах не применяется, т.к. при повторно - кратковременном режиме работы она может вызвать ложные отключения;
- обязательно должна применяться нулевая защита. Необходима установка конечных выключателей для автоматического отключения двигателей механизмов крана при подходе их к недопустимым крайним положениям;
- на случай выхода крановщика из кабины на мост для безопасности обслуживания предусматриваются автоматические выключатели, снимающие напряжение с контактных проводов крана при открывании дверей или люка кабины;
- на механизмах подъёма и передвижения кранов устанавливаются тормоза, автоматически отключающиеся при включении двигателя и включающиеся при отключении;
- все металлические конструкции крана, которые могут оказаться под напряжением из-за порчи изоляции, должны быть заземлены через подкрановые пути;
- пульт управления должен быть расположен в таком месте, чтобы крановщик мог наблюдать за грузозахватным органом и грузом в течение полного цикла работы крана и должен состоять из устройств управления для всех рабочих движений механизмов крана и операторской панели, обеспечивающей отображение состояния всех основных элементов

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

- системы и регистрацию необходимой информации. На пульте управления краном необходимо предусмотреть орган включения звукового сигнала;
- конструктивные элементы ЭО и СУ, устанавливаемые на кране, должно иметь степень защиты не ниже IP54;
 - требования к электроснабжению: электропитание электрооборудования крана должно осуществляться от источника надежного питания переменного тока ЗАС N+PE напряжением 380В ($\pm 10\%$), частотой 50Гц ($\pm 0,1$ Гц) с глухозаземленной нейтралью. Качество электроэнергии должно соответствовать ПУЭ и ГОСТ 13109;
 - применяемые преобразователи должны быть сертифицированы для использования в подъемно-транспортном оборудовании;
 - выбор мощностей преобразовательных устройств должен быть обоснован и согласован;
 - номинальные характеристики преобразовательных устройств соответствуют динамическим и статическим характеристикам двигателей. Гарантируется надежная эксплуатация при колебании напряжения сети $\pm 10\%$, во всех режимах работы. Работа систем управления гарантируется при колебаниях напряжения $\pm 10-15\%$;
 - все входящее в преобразователи оборудование должно быть термически и динамически устойчиво во всех аварийных режимах;
 - способ утилизации возвратной электроэнергии должен быть обоснован и согласован с заказчиком;
 - преобразовательные устройства должны иметь следующие устройства защиты:
 - защиту от внутренних коротких замыканий;
 - максимально-токовую защиту;
 - защиту от внутренних неисправностей элементов схемы и несоответствия режимов;
 - защиту от «провалов» напряжения;

				<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
					15
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

- защиту от токов короткого замыкания и от перегруза;
- защиту от перенапряжений внешней сети, внутренних перенапряжений;

На пульте должны быть установлены:

командоконтроллеры (джойстики), которые осуществляют управление

- приводами;
- ключ-марка;
- грибовидная кнопка «Стоп» красного цвета, фиксирующаяся в выключенном положении;
- кнопка звукового сигнала;
- контроль готовности приводов;
- контроль включения линейного контактора;
- устройство звуковой сигнализации;
- световая индикация.

Пульт управления должен предусматривать работу оператора сидя. На пульте должна быть установлена панель оператора, обеспечивающая выдачу сведений о работе систем крана, настройку регулировочных параметров, проведение действий, необходимых для сервисны аварийных процедур.

Органы управления приводами подъемов должны предусматривать работу правой рукой, а приводов передвижения главной и вспомогательной грузовых тележек и крана – левой рукой.

1.5 Обоснование выбора рода тока и типа электропривода

Основным видом регулируемого электропривода в настоящее время является электропривод постоянного тока. Вместе с тем в последнее десятилетие расширяется применение регулируемых электроприводов переменного тока, которые имеют ряд определенных преимуществ.

				<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
					16
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Прежде всего, электроприводы на базе электродвигателей переменного тока оказываются более выгодными в эксплуатации. Отсутствие коллектора и требующего постоянного внимания щеточно-контактного узла позволяет резко снизить объёмы и периодичность, а следовательно и стоимость технического обслуживания электроприводов переменного тока. Бесконтактное исполнение электродвигателей переменного тока позволяет беспрепятственно и эффективно применять их в случаях, когда использование электродвигателей постоянного тока весьма стеснено из-за тяжёлых условий работы (металлургия, транспортные средства) или даже невозможно.

Далее, электродвигатели переменного тока имеет меньшую стоимость, чем электродвигатель постоянного тока. Коллектор электрических машин постоянного тока содержит много медных пластин, разделенных прослойками слюды, и требует тщательного изготовления. Электрические машины переменного тока имеют более простую конструкцию и технологию изготовления. Например, асинхронные короткозамкнутые электродвигатели, часто выполняются с алюминиевой литой обмоткой на роторе, которая не изолируется от пластин сердечника ротора. Такой двигатель имеет малый момент инерции ротора, может долго работать при повышенных температурах и угловых скоростях вращения.

При проектировании электродвигателей постоянного тока приходится учитывать ограничения по допустимым току и напряжению на якоре. В результате невозможно выполнить электрические машины постоянного тока выше так называемой предельной мощности. В электрических машинах переменного тока эти ограничения отсутствуют, что позволяет иметь агрегаты большой единичной мощности, на прокатных станах перейти от дорогих двух и трёхъякорных электрических машин к одноякорным, на экскаваторах добиться больших ускорений при внезапном стопорении ковша, металлообработке получить сверхвысокую чистоту поверхности при обработке деталей с угловой скоростью вращения до 50...100 тысяч об/мин.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						17
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Выбор рода тока и типа электропривода целесообразно производить на основе рассмотрения и сравнения технико-экономических показателей ряда вариантов, удовлетворяющих техническим требованиям данной рабочей машины.

На основании исходных данных и требований, предъявляемых к электроприводу, необходимо выбрать вариант электропривода, способный полностью выполнить требования и быть одновременно максимально экономичным.

"Правило устройства электроустановок" [7] рекомендуют начинать процесс выбора рода тока с двигателя переменного тока.

Двигатели переменного тока проще по конструкции, стоимость их ниже, обслуживание тоже требует меньших затрат.

Для регулируемого привода задача выбора типа привода решается сложнее. В зависимости от диапазона и плавности регулирования скорости, требований к качеству переходных процессов могут быть применены как системы реостатного регулирования скорости, так и системы с индивидуальными преобразователями. Конкурентными по своим свойствам являются приводы с частотным и частотно – токовым управлением.

Преимущества приводов с асинхронными двигателями: простота конструкции и повышенная надёжность двигателей, возможность их изготовления в поточном производстве.

Существующий асинхронный электродвигатель удовлетворяет начальным условиям выбора рода тока и типа электродвигателя. Асинхронный двигатель из краново-металлургической серии с фазным ротором на переменном токе должен подходить для привода крановой установки, так как полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к электроприводу в данном технологическом процессе.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						18
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 РАСЧЕТ СИЛОВОЙ ЧАСТИ

2.1 Расчёт моментов статических сопротивлений и предварительный расчёт мощности двигателя

На базе исходных значений данных рабочей машины рассчитывается и строится зависимость скорости рабочей машины от времени $V(t)$.

Полученные зависимости $V(t)$ представляют собой графическое задание на проектирование электропривода и на завершающем этапе проектирования позволяет оценить качество выполнения технологических требований. Кроме того, они используются для построения графиков статических и динамических моментов рабочей машины.

При движении в грузовом режиме (основном технологическом режиме данной рабочей машины) принимают $V > 0$. При движении в порожном (возвратном) режиме соответственно $V < 0$. С учётом указанных знаков скорости принимают знаки ускорения "а" при пуске и торможении в грузовом и порожнем режимах.

Расчёт времени и пути при пуске и торможении

$$t_{\text{п}} = t_{\text{т}} = V_y/a, \quad (2.1)$$

где $t_{\text{п}}$ - время пуска до установившейся скорости с допустимым ускорением, с;

$t_{\text{т}}$ – время торможения от установившейся скорости до остановки, с;

V_y – установившаяся скорость, м/с;

a – допустимое ускорение, м/с².

$$t_{\text{п1}} = t_{\text{т1}} = V_{y1}/a = 0,67/0,8 = 0,79\text{с}$$

$$\alpha_{\text{п}} = \alpha_{\text{т}} = V_y^2/2*a, \quad (2.2)$$

где $\alpha_{\text{п}}$, $\alpha_{\text{т}}$ – путь, проходимый за время пуска и торможения рабочей машины, м;

$$\alpha_{\text{п}} = \alpha_{\text{т}} = 0,63^2/0,8 = 0,24\text{м}$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						19
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$t_y = \alpha - (\alpha_n + \alpha_T) / V_y, \quad (2.3)$$

где α – длина пути за время цикла, м.

$$t_{y1} = 13 - (0,24 + 0,24) / 0,63 = 19,9 \text{ с}$$

$$t_{n1} = t_{r2} = 0,77 / 0,8 = 0,96 \text{ с};$$

$$\alpha_{n2} = \alpha_{r2} = 0,77^2 / 2 * 0,8 = 0,37 \text{ м};$$

$$t_{y2} = 13 - (0,37 + 0,37) / 0,77 = 15,9 \text{ с}.$$

$$t_{\phi} = t_{n1} + t_{y1} + t_{r1} + t_{n2} + t_{y2} + t_{r2}, \quad (2.4)$$

где t_{ϕ} – суммарное время работы за цикл, с

$$t_{\phi} = 0,79 + 19,9 + 0,79 + 0,96 + 15,9 + 0,96 = 39,4 \text{ с}.$$

Момент сил трения в подшипниках

$$M_{тп} = m_l * g * d_{ш} * \mu_n / 2, \quad (2.5)$$

Где m_l – масса деталей и узлов опирающихся на подшипники, кг;

$d_{ш}$ – диаметр шейки вала или оси, м;

μ_n – коэффициент трения скольжения в подшипниках,

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение силы тяжести;

$$M_{тп1} = 7 * 10^3 * 80 * 10^3 * 0,02 * 9,8 / 2 = 54,8 \text{ Нм};$$

$$M_{тп2} = 2 * 10^3 * 80 * 10^3 * 0,02 * 9,8 = 15,7 \text{ Нм};$$

Момент сил трения качения

$$M_{тк} = m * f * g, \quad (2.6)$$

Где m – масса движущегося тела, масса деталей, опирающихся на узел качения;

$f = 0,6 * 10^{-3}$ – коэффициент трения качения ;

$$M_{тк1} = 7 * 10^3 * 0,6 * 10^{-3} * 9,8 = 41,2 \text{ Нм};$$

$$M_{тк2} = 2 \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 10^3 \cdot 9,8 = 11,8 \text{ Нм};$$

Момент сил трения учитывающий, трение реборд колес о рельсы

$$M_{рост} = K_p \cdot (M_{тп} + M_{тк}), \quad (2.7)$$

где $K_p = 1,3$ - коэффициент, учитывающий трение реборд колес о рельсы;

$$M_{рост1} = 1,3 \cdot (54,8 + 41,2) = 124,8 \text{ Нм};$$

$$M_{рост2} = 1,3 \cdot (915,7 + 11,8) = 35,8 \text{ Нм};$$

Для определения динамических моментов рабочей машины рассчитываются моменты инерции рабочей машины (рабочего органа)

$$J_{ро} = (m_1 + m) \cdot D^2 / 4, \quad (2.8)$$

где D - диаметр колеса находящийся на выходном валу редуктора и преобразующего вращение вала в поступательное движение рабочей машины, м.

$$J_{ро1} = (2 + 5) \cdot 10^3 \cdot 0,2^2 / 4 = 70 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_{ро2} = 5 \cdot 10^3 \cdot 0,2^2 / 4 = 50 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При заданной величине допустимого ускорения, для каждого режима работы рабочей машины определяются динамические моменты:

$$M_{родин} = J_{ро} \cdot 2 \cdot a / D; \quad (2.9)$$

$$M_{родинп1} = 70 \cdot 2 \cdot 0,8 / 0,2 = 560 \text{ Нм};$$

$$M_{родинт1} = 70 \cdot 2 \cdot (-0,8) / 0,2 = -560 \text{ Нм};$$

$$M_{родинп2} = 50 \cdot 2 \cdot 0,8 / 0,2 = 400 \text{ Нм};$$

$$M_{родинт2} = 50 \cdot 2 \cdot 0,8 / 0,2 = -400 \text{ Нм}.$$

Полный момент рабочей машины:

$$M_{ро} = M_{рост} + M_{родин}; \quad (2.10)$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						21
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$M_{po1} = 124,8 + 560 = 684,8 \text{ Нм};$$

$$M_{po1} = 124,8 + 0 = 124,8 \text{ Нм};$$

$$M_{po1} = 124,8 - 560 = -435,2 \text{ Нм};$$

$$M_{po2} = 35,8 + 400 = 435,8 \text{ Нм};$$

$$M_{po2} = 35,8 + 0 = 35,8 \text{ Нм};$$

$$M_{po1} = 35,8 - 400 = -364,5 \text{ Нм}.$$

На основании построенной нагрузочной диаграммы момента рабочей машины рисунок 2.1, можно рассчитать среднеквадратичное значение момента, в котором учтены не только статические нагрузки, но и часть динамических нагрузок.

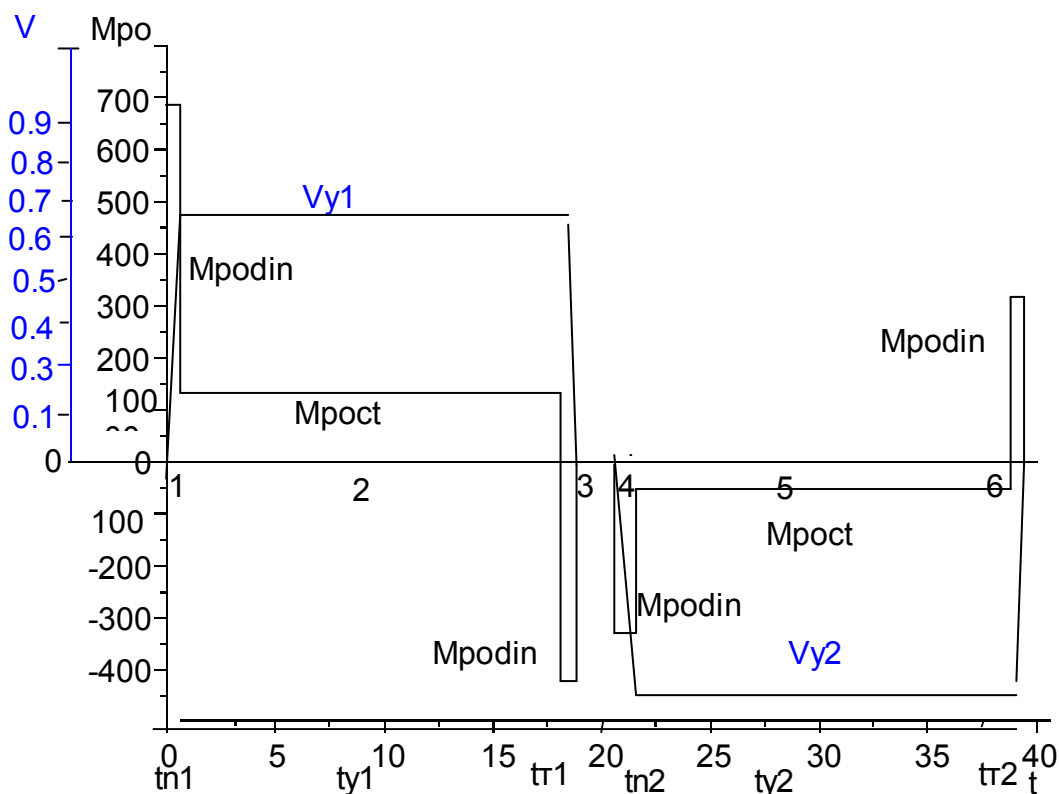


Рисунок 2.1-Нагрузочные диаграммы скорости и моментов рабочей машины

$$M_{сркв} = \sqrt{\sum M_k^2 * t_k / \sum t_k}, \quad (2.11)$$

где, M_k – момент двигателя на k -м участке, где под участком понимается промежуток времени, в течение которого происходит разгон или торможение, или работа с постоянной скоростью;

t_k – длительность k -го участка;

$$M_{сркв} = \sqrt{(684,8^2 * 0,79 + 124,9^2 * 19,9 + 435,2^2 * 0,79 + 435,8^2 * 0,96 + 35,8^2 * 15,9 + 364,2^2 * 0,96) / (0,79 + 19,9 + 0,79 + 0,96 + 15,9 + 0,96)} = 171,9 \text{ Нм.}$$

При этом мощность двигателя может быть определена по формуле:

$$P_{дв} = K_1 * M_{сркв} * 2 * V_0 / D * \sqrt{ПВф / Пвкат}, \quad (2.12)$$

Где K_1 – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, обусловленные вращающимися элементами электропривода (двигатель, редуктор), а также потери мощности в редукторе. Величина K_1 зависит от отношения времени переходных процессов к времени установившегося движения электропривода, а также от отношения максимальных моментов рабочей машины к статическим моментам.

Примем $K_1 = 1,3$;

V_0 – основная скорость движения, м/с;

D – диаметр шестерни выходного вала редуктора, м;

$ПВф$ – фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого электропривода;

$Пвкат$ – ближайшее к $ПВф$ каталожное значение относительной продолжительности включения проектируемого электропривода.

Фактическое значение относительной продолжительности включения $ПВф$ рассчитывается по длительности времени работы t_k на всех m участках движения и заданному времени цикла.

$$t_{ц} = 3600 / Z = 150, \quad (2.13)$$

где $Z = 24$ – число циклов работы машины в час.

				<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
					23
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

$$ПВф = 1/t_{ц} * \sum_{k=1}^m t_{к} = 1/150 * 39,4 * 100\% = 26\%. \quad (2.14)$$

Ближайшее каталожное значение ПВф = 25%.

$$Р_{дв} = 1,3 * 171,9 * 2 * 0,63 / 0,2 * \sqrt{26/25} = 1430 \text{ Вт.}$$

Существующий асинхронный двигатель по мощности подходит.

Данные существующего асинхронного двигателя с фазным ротором:

Номинальная мощность на валу $P_n = 2,2 \text{ кВт}$;

Номинальная скорость, $n_n = 890 \text{ об/мин}$;

Номинальный ток статора, $I_{n1} = 7,6 \text{ А}$;

Коэффициент мощности в номинальной режиме, $\cos \varphi = 0.76$;

Номинальный ток ротора, $I_{n2} = 11 \text{ А}$;

Максимальный критический момент, $M_{кр} = 55 \text{ Нм}$;

Активное сопротивление фазной обмотки статора, $r_1 = 2.97 \text{ Ом}$;

Активное сопротивление фазной обмотки ротора, $r_2 = 0.565 \text{ Ом}$;

Коэффициент мощности в номинальном режиме, $\cos \varphi = 0.76$;

Индуктивное сопротивление фазной обмотки статора, $X_1 = 3,11 \text{ Ом}$;

Приведенное индуктивное сопротивление фазной обмотки статора,
 $X_2 = 3,95 \text{ Ом}$;

Момент инерции двигателя, $J_{дв} = 0,035 \text{ кг*м}^2$.

2.2 Определение передаточного числа и выбор редуктора

Передаточное число редуктора определяется по номинальной скорости вращения выбранного двигателя W_n и основной скорости движения исполнительного органа V_o по формуле

$$J_p = W_n * D / 2 * V_o, \quad (2.15)$$

где D – диаметр колеса, находящийся на выходном валу редуктора m ,

W_n – угловая скорость вращения, рад/с,

				<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
					24
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

$$\omega_n = 93,1 \text{ рад/с,}$$

$$J_p = 93,1 * 0,2/2 * 0,63 = 14,7.$$

Проверка показала, что существующий редуктор выбран правильно. Выбранный редуктор должен иметь передаточное число равное или несколько меньшее расчетного.

Данные существующего редуктора ВК – 350:

$$\text{Передаточное число, } J_p = 14,67;$$

$$\text{Скорость на валу, } \omega = 1000 \text{ об/мин;}$$

$$\text{Мощность подводимая к валу, при ПВ = 25\%, } P = 3500 \text{ Вт.}$$

2.3 Расчет приведенных статических моментов системы электропривод – рабочая машина.

Статические моменты рабочей машины, приведенные к валу двигателя.

$$M_{pc} = M_{рост} / J_p \quad (2.16)$$

$$M_{pc \text{ п}} = 124,8/14,67 = 8,9 \text{ Нм;}$$

$$M_{pc \text{ т}} = 35,8/14,67 = 2,55 \text{ Нм.}$$

С учетом потерь в редукторе

Статические моменты в двигательном режиме.

$$M_{вс} = M_{pc} / \eta \quad (2.17)$$

$$M_{вс \text{ п}} = 8,9/0,96 = 9,2 \text{ Нм;}$$

$$M_{вс \text{ т}} = 2,55/0,96 = 2,6 \text{ Нм.}$$

При работе электропривода в тормозных режимах потери в редукторе вызывают уменьшение нагрузки двигателя, при этом моменты на валу:

$$M_{вс} = M_{pc} * \eta \quad (2.18)$$

$$M_{вс \text{ п}} = 7,55 * 0,96 = 8,55 \text{ Нм;}$$

$$M_{вс \text{ т}} = 2,55 * 0,96 = 2,44 \text{ Нм.}$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						25
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приведенный статический момент системы электропривод – рабочая машина $M_c = M_{вс}$, (2.19)

$$M_{сп1} = 9,2 \text{ Нм};$$

$$M_{ст1} = 8,55 \text{ Нм};$$

$$M_{сп2} = 2,6 \text{ Нм};$$

$$M_{ст2} = 2,44 \text{ Нм};$$

2.4 Приведение к валу двигателя суммарного момента инерции движущихся исполнительных органов рабочей машины и связанных с ним движущихся масс

$$J_{пр} = J_{ро} / j_{р}^2$$

где, $J_{пр}$ – приведенный к валу двигателя суммарный момент инерции движущихся исполнительных органов рабочей машины и связанных с ними движущихся масс.

$$J_{пр1} = 70/14,67^2 = 0,35 \text{ кг*м}^2;$$

$$J_{пр2} = 50/14,67^2 = 0,25 \text{ кг*м}^2.$$

Суммарный приведенный момент инерции

$$J = \delta * J_{д} + J_{пр}, \quad (2.21)$$

где $J_{д} = 0,035 \text{ кг*м}^2$ – момент инерции ротора двигателя;

$\delta = 1,3$ – коэффициент учитывающий момент инерции остальных элементов передачи.

$$J_1 = 1,3 * 0,035 + 0,35 = 0,39 \text{ кг/м}^2;$$

$$J_2 = 1,3 * 0,035 + 0,56 = 0,29 \text{ кг/м}^2.$$

				<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
					26
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Для учета влияния упругостей в механизме определяем приведенную к валу двигателя жесткость упругой механической связи $C_{пр}$, через значение крутильной жесткости рабочего вала (упругой муфты).

$$C_{пр} = C_k / J_p^2$$

$$C_k = 7 \cdot 10^6; \quad (2.22)$$

$$C_{пр} = 3 / 14,67^2 = 13939,9 \text{ Нм/рад.}$$

Для каждого участка работы электропривода определяем значение установившейся скорости двигателя.

$$\omega_c = 2 \cdot V_0 \cdot J_p / D \quad (2.23)$$

$$\omega_{c1} = 2 \cdot 0,63 \cdot 14,67 / 0,2 = 88,2 \text{ рад/с;}$$

$$\omega_{c2} = 2 \cdot 0,8 \cdot 14,67 / 0,2 = 107,8 \text{ рад/с.}$$

2.5 Расчет требуемых пусковых и тормозных моментов двигателя.

Момент динамический, при котором обеспечивается разгон и торможение электропривода с заданным допустимым ускорением.

$$M_{дин} = J \cdot 2a \cdot J_p / D \quad (2.24)$$

$$M_{динп1} = 0,39 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 14,67 / 0,2 = 39,2 \text{ Нм;}$$

$$M_{динт1} = M_{динп1} = -39,2 \text{ Нм;}$$

$$M_{динп2} = 0,29 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 14,67 / 0,2 = 32,5 \text{ Нм;}$$

$$M_{динт2} = M_{динп2} = -32,5 \text{ Нм.}$$

$$M_{п} = M_c + M_{дин} \quad (2.25)$$

$$M_{п1} = M_{c1} + M_{динп1} = 9,2 + 39,2 = 48,4 \text{ Нм;}$$

$$M_{п2} = 2,6 + 32,5 = 35,1 \text{ Нм.}$$

				<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись		Дата

$$M_T = M_c - M_{\text{дин}} \quad (2.26)$$

$$M_{T1} = 39,2 - 8,55 = 30,6 \text{ Нм};$$

$$M_{T2} = 32,5 - 2,44 = 30 \text{ Нм}.$$

Так как $M_{\text{доп.уск}}$ меньше допустимого момента двигателя, то ускорение снижать не требуется ($48,4 < 55$).

Для приближенного расчета времени переходного процесса оценивают средний момент двигателя $M_{\text{ср}}$. При питании от преобразователя частоты с задатчиком интенсивности средний момент двигателя можно принять равным моменту, допустимому по ускорению:

$$\text{- при пуске } M_{\text{ср}} = M_{\text{п}}, \quad (2.27)$$

$$M_{\text{срп1}} = 48,4 \text{ Нм};$$

$$M_{\text{срп2}} = 35,1 \text{ Нм}.$$

$$\text{- при торможении } M_{\text{ср}} = M_{\text{т}} \quad (2.28)$$

$$M_{\text{срт1}} = 30,6 \text{ Нм};$$

$$M_{\text{срт2}} = 30 \text{ Нм}.$$

2.6 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности.

Используя выбранные выше значения пусковых и тормозных моментов, скоростей установившихся режимов и возможности выбранной схемы управления двигателем, рассчитаем:

- время переходных процессов

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						28
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$t_i = J * \omega_c / (M_{cp} - M_c); \quad (2.29)$$

$$t_{п1} = 0,39 * 88,2 / (48,4 - 9,2) = 0,87 \text{ с};$$

$$t_{т1} = 0,39 * 88,2 / (30,6 - 8,55) = 1,08 \text{ с};$$

$$t_{п2} = 0,29 * 107,8 / (35,1 - 2,6) = 0,96 \text{ с};$$

$$t_{т2} = 0,29 * 107,8 / (30 - 2,44) = 1,13 \text{ с}.$$

Угол поворота вала двигателя за время переходного процесса

$$\alpha = W_c * t / 2; \quad (2.30)$$

$$\alpha_{п1} = 88,2 * 0,87 / 2 = 38,4 \text{ рад};$$

$$\alpha_{т1} = 88,2 * 1,08 / 2 = 47,6 \text{ рад};$$

$$\alpha_{п2} = 107,8 * 0,96 / 2 = 51,7 \text{ рад};$$

$$\alpha_{т2} = 107,8 * 1,13 / 2 = 44,2 \text{ рад}.$$

Время работы с установившейся скоростью

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

где α – угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме.

$\alpha_{п}, \alpha_{т}$ – угол поворота вала за время пуска и торможения.

$$\alpha = 2 * L * J_p / 0,2. \quad (2.32)$$

$$\alpha_{общ} = 2 * 13 * 14,67 / 0,2 = 1820 \text{ рад}.$$

$$t_{y1} = 1820 - (38,4 + 47,6) / 88,2 = 19,4 \text{ с};$$

$$t_{y2} = 1820 - (51,7 + 44,2) / 107,8 = 16,8 \text{ с}.$$

$$t_{\phi} = t_{п1} + t_{y1} + t_{т1} + t_{п2} + t_{y2} + t_{т2} = 0,87 + 19,4 + 1,08 + 0,96 + 16,8 + 1,13 = 40,2 \text{ с}.$$

				<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
					29
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Проверка двигателя по производительности заключается в сравнении суммарного фактического времени работы электропривода в цикле t_{ϕ} с заданным значением времени работы t_p . Задание по производительности выполнено, т.к.

$$t_{\phi} = 40,2\text{с} < t_p = 42\text{с}.$$

Предварительная проверка двигателя по нагреву осуществляется по величине среднеквадратичного момента.

$$M_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum M_i^2 * t_i}{\sum t_i}} < M_{\text{доп}}; \quad (2.33)$$

$$M_{\text{сркв}} = \frac{\sqrt{48.4 * 0.87 + 30.6 * 1.08 + 35.1 * 0.96 + 30 * 1.13}}{40.2}$$

$$M_{\text{сркв}} = 11,6\text{Нм};$$

$$M_{\text{доп}} = M_{\text{кат}} * \sqrt{\frac{ПВ_{\text{кат}}}{ПВ_{\phi}}} = 55 * \sqrt{25/26} = 52.7 \text{ Нм}; \quad (2.34)$$

$$ПВ_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_y} * 100\% = 40,2/150 * 100\% = 26 \%; \quad (2.35)$$

т.к. $M_{\text{сркв}} = 11,6 \text{ Нм} \leq M_{\text{доп}} = 52,7 \text{ Нм}$, двигатель проверку по нагреву прошел, данные предварительных расчетов нагрузочных диаграмм представлены в таблице 2.1.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

Таблица 2.1 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

Участок движения	Движение с грузом			Движение без груза		
	пуск	уст.режим	тормож	пуск	уст реж	тормож
t,с	0,87	19,4	1,08	0,96	16,8	1,13
α ,м	0,24	13	0,24	0,37	13	0,37
V,м/с	-	0,66	-	-	0,77	-
Mрост,Нм	124,8	124,8	124,8	35,8	35,8	35,8
Jро,кгм ²	70	0	70	50	0	50
Mродин,Нм	560	0	-560	400	0	-400
Mро,Нм	684,8	124,8	-435,2	435,8	35,8	-364,2
Mрс,Нм	8,91	8,91	8,91	2,55	2,55	2,55
Mвс,Нм	9,2	9,2	8,55	2,6	2,6	2,44
Mс,Н*м	9,2	9,2	8,55	2,6	2,6	2,44
ω ,рад/с	-	88,2	-	-	107,4	-
Jпр,кг*м ²	0,35	0	0,35	0,25	0	0,25
J,кг*м ²	0,39	0	0,39	0,29	0	0,29
Mдин,Н*м	39,2	-	-39,2	32,5	-	-32,5
Mдоп.уск,Нм	48,4	-	-30,6	35,1	-	-30
Mср,Н*м	48,4	-	30,6	35,1	-	30
t,с	0,87	19,4	1,08	0,96	15,8	1,13
α ,рад	38,4	1820	47,6	51,7	1820	44,2

2.7 Выбор преобразователя частоты

При выборе рода тока и типа электропривода было принято решение о системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель (в дальнейшем просто ПЧ – АД). Выбор системы определил главное направление дальнейших расчётов: электродвигатель получает питание от индивидуального преобразователя частоты.

Питание двигателей переменного тока может выполняться от тиристорных и транзисторных преобразователей частоты как с непосредственной связью НПЧ, состоящих из нескольких управляемых выпрямителей, подключённых к сети переменного тока, так и от двухзвенных преобразователей с автономными инверторами ПЧИ, осуществляющие преобразование напряжения питающей сети последовательно в напряжение постоянного тока, а затем в трёхфазное напряжение регулируемой частоты.

Выбор типа преобразователя зависит от частоты питающей сети, требуемого диапазона изменения частоты на выходе преобразователя, определяемого диапазона изменения скорости вращения двигателя, от мощности двигателя, диапазона изменения нагрузки на валу двигателя, наличия и отсутствия реверса, режимов работы двигателя.

При сетевой частоте 50 Гц и выходных частотах 25...12,5 Гц и ниже для любого типа привода целесообразно использовать преобразователь с непосредственной связью.

При выходных частота 50 Гц и ниже или выше 50 Гц используются преобразователи с автономными инверторами напряжения АИН или тока АИТ. Применение АИТ целесообразно в приводах, работающих с поддержанием заданной величины момента.

Выбор преобразователей осуществляется по справочникам, каталогам электротехнической промышленности основе номинальных данных предварительно выбранного двигателя:

$$U_{нпч} \geq U_{нл}; \quad (2.35)$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						32
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$I_{нпч} \geq I_{н1}, \quad (2.36)$$

где $U_{нл}$, $I_{н1}$ – соответственно номинальное линейное напряжение и фазный ток статора двигателя;

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

Для электродвигателя типа МТФН 112L6 согласно (2.35) и (2.36) выбираем преобразователь частоты фирмы Control Techniques модели Unidrive SP 1405, характеристики которого представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Общие характеристики преобразователя частоты Unidrive SP

Unidrive SP 1405		Характеристики
1	2	3
Выходные	Номинальная мощность	4 кВт
	Номинальный выходной ток	8,8 А
Источник питания	Напряжение и номинальная частота	3x380 В при 50/60 Гц
	Допустимые колебания напряжения	+ 10%, - 15%
	Допустимые колебания частоты	±5%
Характеристи	Метод регулирования	Синусоидальное ШИМ-регулирование АЧХ
	Диапазон регулирования скорости	1:40

Продолжение таблицы 2.2

Точность регулирования скорости	$\pm 2 - 3\%$ ($25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$)
Точность частоты (параметры температуры)	Цифровые уставки: $\pm 0,01\%$ ($-10^{\circ}\text{C} - +40^{\circ}\text{C}$) Аналоговые уставки: $\pm 0,1\%$ ($25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$)
Разрешение регулирования частоты	Цифровые уставки: 0,01 Гц Аналоговые уставки: 0,05 Гц/50 Гц (10 бит без знака)
Предельная мощность и максимальный ток	120% от номинального выходного тока в течение минуты
Основные функции управления	Перезапуск при кратковременном сбое питания, поиск скорости, обнаружение перегрузки по моменту, изменение времени ускорения/замедления, синусоидальное ускорение, автонастройка, включение/выключение вентилятора, коррекция вращающего момента, возможность скачкообразного изменения частоты, верхний и нижний пределы уставок частоты, торможение постоянным током при запуске и останове, торможение при большом скольжении, ПИД-регулирование (с функцией ожидания), регулирование энерго-сбережения, восстановление при сбое и копирование функций.

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ

Лист

34

	2	3
	Защита двигателя	Защита при помощи электронно-теплового реле перегрузки
Защитные функции	Защита плавким предохранителем	Остановка при перегорании предохранителя
	Защита от перегрузки	120% от номинального выходного тока в течение минуты
	Защита от перегрузок по напряжению	Регулятор класса 400 В
	Защита от понижения напряжения	Регулятор класса 400 В
	Перезапуск при кратковременном прекращении подачи питания	Остановка на 15 мс и больше. При выборе функции для кратковременного прекращения подачи питания работа может продолжаться, если питание восстанавливается в течение 2 с.
	Перегрев радиатора	Защита при помощи термистора
	Предотвращение глушения двигателя	Предотвращение глушения двигателя при ускорении, замедлении и в рабочем режиме
	Индикатор заряда	Светится, когда напряжение постоянного тока в главной цепи около 50 В или выше.

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

ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ

Лист

35

2		3
		В помещении (не должно быть агрессивных газов, пыли и т.п.)
Рабочая температура окружающей среды		0°C - + 50°C -15°C – питание необходимо включать и отключать пока привод не прогреется до 0°C
Рабочая влажность окружающей среды		95% макс. (без конденсации при 40°C)
Температура хранения		-40°C - + 70°C (кратковременное хранение) -40°C - + 50°C (долгосрочное хранение)
Высота над уровнем моря		0-3000 м *
Вибрация	синусоидальная	Пиковое ускорение 10 м/с ² при 9-200 Гц Пиковое ускорение 15 м/с ² при 200-500 Гц
	случайная	Пиковое ускорение 1 м/с ² при 20 - 50 Гц -3 Дб/октава при 20-200 Гц

* - При высоте от 1000 м до 3000 м максимальный выходной ток снижается на 1% на 100 м.

				<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>		Лист
						36
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.8 Расчёт естественных и искусственных механических характеристик электродвигателя

Расчет естественной характеристики двигателя

С помощью естественной характеристики оценивают возможности двигателя при его работе в механической системе:

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

Расчет естественной характеристики двигателя выполняют аналитическим и графоаналитическим методами.

Существенно облегчает расчет применение программы HARAD, которая позволяет рассчитать механическую $\omega(M)$, электромеханические $\omega(I_1, I_2, I_\mu)$, энергетические $\eta(\omega, M)$, $\cos \varphi(\omega, M)$ характеристики асинхронного двигателя. Характеристики рассчитываются для заданных значений частоты и напряжения (или тока) на базе Т-образной схемы замещения двигателя. В программе использована универсальная кривая намагничивания двигателей типа MTF (МТН). Программа позволяет вывести на экран результаты нескольких расчетов (при разных напряжениях, токах статора – при питании от источника тока, частоте питающей сети и т.п.), что позволяет совместить на одном графике механические характеристики при различных параметрах сети, электромеханические характеристики, энергетические характеристики и сравнивать их.

Исходными данными для расчёта статических характеристик являются каталожные данные электродвигателя и другого оборудования, установленного в его силовой цепи.

Расчёт естественной характеристики выполняется с помощью программы <HARAD>, для этого используются следующие данные.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						37
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Синхронная скорость

$\omega_{0H} = 104,6$ рад/с.

Номинальный ток статора

$I_{H} = 7,6$ А.

Номинальный момент

$M_{H} = 23,6$ Н*м.

Активное сопротивление статора

$r_1 = 2,97$ Ом.

Индуктивное сопротивление статора

$x_1 = 3,11$ Ом.

Приведённое активное сопротивление ротора

$r'_2 = 0,565$ Ом.

Приведённое индуктивное сопротивление ротора

$x'_2 = 3,95$ Ом.

Также вводится частота f_1 , напряжение фазное U_1 , диапазон рассчитываемых скоростей от минимальной, до максимальной.

Естественная характеристика построенная с помощью программы <HARAD> представлена на рис. 2.2.

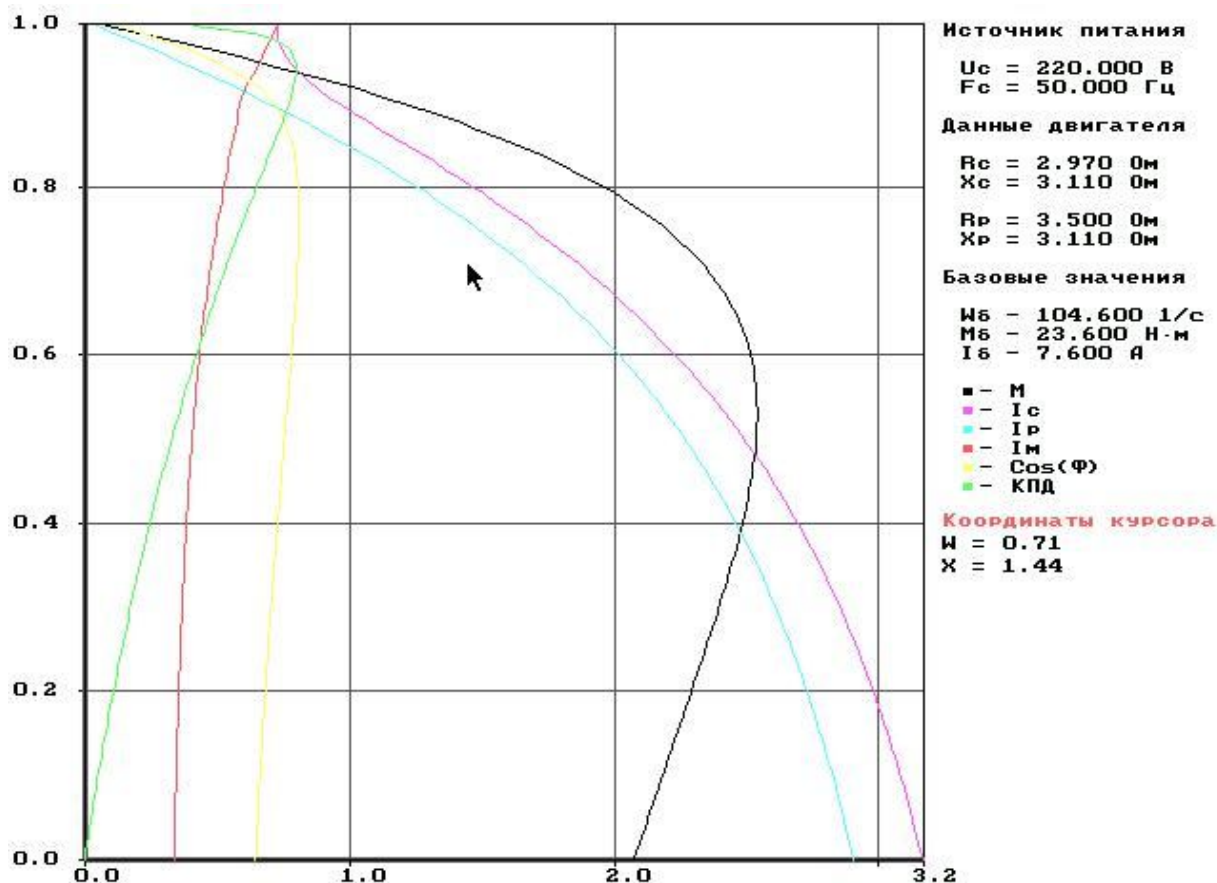


Рисунок 2.2 – Естественная, механическая, электромеханическая и энергетические характеристики.

Расчёт искусственных характеристик также выполняется с помощью программы <HARAD>.

Для работы двигателя необходимо при изменении частоты поддерживать перегрузочную способность двигателя, что обеспечивается регулированием напряжения на статоре по закону $U_1 / f_1 = \text{const}$. Эти особенности учитываются при расчёте частоты и напряжения.

Регулирование осуществляемое по закону $U_1 / f_1 = \text{const}$, позволяет использовать приём параллельного переноса естественной механической характеристики, при этом естественная характеристика перемещается вдоль оси скорости ω и устанавливается в заданной точке.

Для построения искусственной характеристики, определяется отклонение скорости $\Delta\omega_e$ от синхронной на естественной характеристике, при заданном моменте $M_{зад}$. Определяется синхронная скорость, соответствующая заданной точке,

$$\omega_{зад} = \omega_{зад} + \Delta\omega_e, \quad (2.37)$$

где, $\Delta\omega_e$ – отклонение скорости от синхронной в заданной точке.

Частота напряжения в заданной точке

$$f_{1за} = (\omega_{зад} / \omega_{он}) * f_{1н}, \quad (2.38)$$

где $f_{1н} = 50$ Гц – номинальная частота напряжения на статоре;

$\omega_{он}$ – синхронная частота вращения двигателя при номинальной частоте $f_{1н}$.

Напряжение на статоре определяем по формуле

$$U_{1з} := \sqrt{\frac{2 \cdot M_k \cdot \alpha \cdot \omega_{он} \cdot [r_1 + \sqrt{r_1^2 + (\alpha \cdot x_k)^2}]}{3}}, \quad (2.39)$$

где α – относительное значение частоты напряжения на статоре.

Для обеспечения перегрузочной способности двигателя $M_k = (2...3)M_{зад}$.

Синхронная скорость двигателя зависит от частоты питающей сети f_1 и числа пар полюсов

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f / p \quad (2.40)$$

На естественной характеристики (рис.2.1) откладываем точку с заданными моментами $M_{зад1} = M_{с1} = 8,91 \text{ Н*м}$, $M_{зад2} = M_{с2} = 2,55 \text{ Н*м}$ и определяем отклонение скорости от синхронной при заданных моментах, $\Delta\omega_{e1} = 3,1 \text{ рад/с}$, $\Delta\omega_{e2} = 1,1 \text{ рад/с}$.

Определяем синхронную скорость, соответствующую заданной точке

$$\omega_{зад1} = \omega_{ад} + \Delta\omega_e = 88,4 + 3,1 = 91,5 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{зад2} = \omega_{ад} + \Delta\omega_e = 107,4 + 1,1 = 108,5 \text{ рад/с}.$$

Определяем частоту напряжения на статоре в заданных точках

$$f_{1зад} = \omega_{зад1} / \omega_{0н} * f_{1н} = 91,5 / 7104,6 * 50 = 43,7 \text{ Гц};$$

$$f_{2зад} = \omega_{зад2} / \omega_{0н} * f_{1н} = 108,5 / 7104,6 * 50 = 51,8 \text{ Гц}.$$

По формуле (2.39) определяем напряжение на статоре

$$U_{1зад1} = 192,2 \text{ В};$$

$$U_{1зад2} = 227,9 \text{ В}.$$

С помощью программы <HARAD> строится механическая характеристика по предварительно рассчитанным значениям частоты $f_{1зад}$, $f_{2зад}$ и напряжения $U_{1зад1}$, $U_{1зад2}$ и наносятся заданные точки $M_{зад}$ ($\omega_{зад}$), построенные характеристики должны пройти через заданные точки.

Для того чтобы электродвигатель работал в заданных точках $M_{зад1} = 8,91 \text{ Н*м}$, $\omega_{зад1} = 88,4 \text{ рад/с}$ и $M_{зад2} = 2,55 \text{ Н*м}$, $\omega_{зад2} = 107,4 \text{ рад/с}$, после корректировки необходимо чтобы на статора двигателя подавалось напряжение $U_{1зад1} = 193 \text{ В}$, $U_{1зад2} = 226 \text{ В}$, частота напряжения $f_{1зад} = 43,7 \text{ Гц}$, $f_2 = 51,8 \text{ Гц}$.

На рис. 2.3 показаны механические характеристики работы двигателя в заданных точках.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						40
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

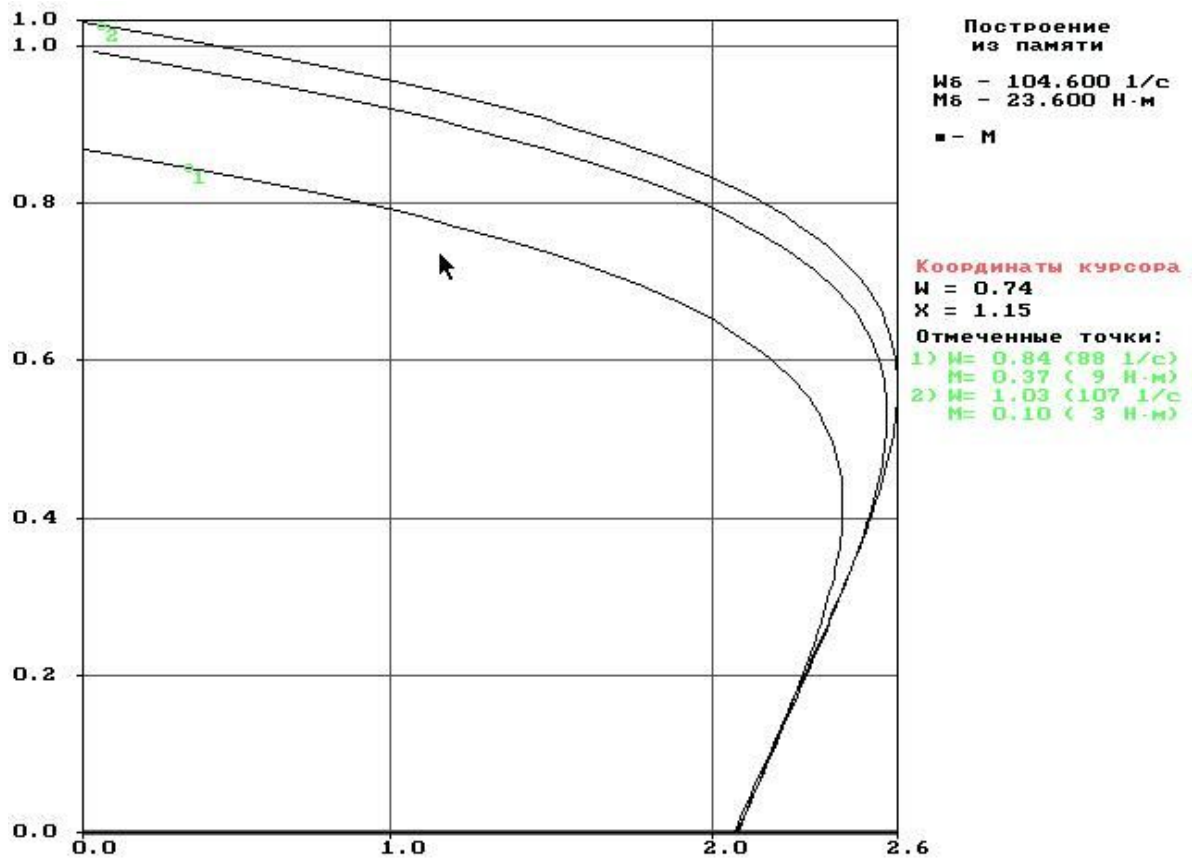


Рисунок 2.3 – Механические характеристики работы двигателя в заданных точках

Электромеханические преобразования энергии обеспечивают преобразования энергии на зажимах двигателя (U, I) в механическую (M, ω) на роторе двигателя.

Математическое описание асинхронного двигателя с учётом взаимного расположения обмоток статора и ротора, множество связей между ними, блоков произведения и нелинейности достаточно сложно. В практике электропривода находят применение методы, в которых математическое описание упрощается за счёт различных допущений. Представление двигателя в виде эквивалентной двухфазной машины позволяет несколько упростить математическое описание и структурную схему асинхронного двигателя. Переход к упрощённой структурной схеме на основании записи уравнения момента двигателя $M(s)$ в частных

производных по напряжению питания, частоте и скорости оставляет нелинейные коэффициенты усиления.

Для рассмотрения переходных процессов на рабочем участке механической характеристики возможно применение более простого соотношения между моментом и скоростью двигателя по формуле Пинчука. И. С.:

$$(T_{\text{э}} * p + 1) * M = \beta * (\omega_0 - \omega), \quad (2.41)$$

где $\beta = 2 * M_{\text{к}} / (\omega_{0\text{н}} * S_{\text{к}})$ – модуль жёсткости линеаризованной механической характеристики;

$T_{\text{э}} = 1 / \omega_{0\text{элн}} * S_{\text{к}} = 1 / 2 * \pi * f * S_{\text{к}} = 0,054$ с – электромагнитная постоянная времени;

$S_{\text{к}}$ – критическое скольжение.

Значение β для линеаризованной характеристик, проходящей через номинальную точку ($M_{\text{н}}$, $\omega_{\text{н}}$) определяется по формуле:

$$\beta = M_{\text{н}} / \omega_{0\text{н}} - \omega_{\text{н}} = 23,6 / 104,6 - 93 = 2,03. \quad (2.42)$$

Электрическое преобразование энергии выполняет преобразователь частоты. Преобразователь электрической энергии используется в качестве регулятора мощности, обеспечивая подачу на зажимы двигателя заданного напряжения и частоты в зависимости от требования к электроприводу как в установившемся, так и в переходном процессе.

Выходное напряжение и частота преобразователей формируются на их входе с помощью входных устройств. В настоящее время преобразователи укомплектованы задатчиками интенсивности ЗИ, обеспечивающие формирование линейного закона изменения напряжения управления

Наиболее часто используются задатчики интенсивности интегральный и пропорционально-интегральный. В выбранном преобразователе частоты используется пропорционально-интегральный (ПИ) задатчик интенсивности, у которого снижено время пуска и торможения. Определяем постоянную времени задатчика интенсивности по формуле:

$$T_{зи} = \omega_{он} / \xi_0 = J * \omega_{он} / M_n * M_n / M_{дин} = T_d / M_{дин} \quad (2.43)$$

$$T_d = J * \omega_{он} / M_n \quad (2.44)$$

где T_d – механическая постоянная времени, с;

$M_{дин}$ – относительное значение динамического момента.

$$T_{зи} = T_d / M_{дин} = 1,72 / 1,66 = 0,78 \text{ с.}$$

$$T_d = J * \omega_{он} / M_n = 0,39 * 104,6 / 123,6 = 1,72 \text{ с.}$$

Значения момента инерции и динамического момента рассчитаны ранее и взяты из таблицы 2.1. При различных моментах инерции постоянная времени задатчика интенсивности $T_{зи} = \text{const}$. Значение $T_{зи}$ рассчитывается по любому сочетанию J и $M_{дин}$.

В установившемся режиме нарастание скорости двигателя, когда затухают свободные составляющие переходного процесса,

$$d\omega / dt = d\omega_0 / dt = \xi_0 = \text{const},$$

а величина установившегося значения динамического момента двигателя

$$M_{дин} = J * \xi_0.$$

2.9 Расчёт переходных процессов и построение нагрузочных диаграмм.

Переходные процессы электропровода возникают при изменении управляющих и возмущающих воздействий.

При пуске электропроводов по системе управляемый преобразователь двигатель ПЧ-АД, к которым относятся системы, преобразователь частоты – асинхронный двигатель, производится изменение управляющего воздействия, обуславливающее соответствующее изменение частоты питания статорной обмотки двигателя. При торможении таких электропроводов управляющее воздействие снижается, при этом происходит снижение напряжения или частоты.

Управляющим воздействием в электропроводах по системе ПЧ-АД является задающее напряжение. При изменении знака (полярности) задающего напряжения изменяется 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.

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 электропровода, дают возможность проверить выбранный двигатель по условиям заданной производительности, по нагреву, кратковременной перегрузке и условиям пуска. Они используются также для проверки по нагреву для проверки по допускаемым нагрузкам – преобразователя частоты.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						44
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Расчёт переходного процесса и построение нагрузочных диаграмм электропривода системы ПЧ – АД производится с помощью программы <ZIAD>. Расчёт переходного процесса производится без учёта упругости передачи (податливость упругого элемента $1/C_{пр} = 0$) момент холостого хода $M_x = 0$. На рис. 2.4 и 2.5 представлены нагрузочные диаграммы электропривода для каждого этапа работы: рис. 2.4 (стр. 46) – движение с грузом, рис. 2.5 (стр. 47) – движение без груза, данные полученные в результате расчёта по программе <ZIAD> сведены в таблице 2.4.

Для расчёта переходных процессов и построения нагрузочных диаграмм в программе <ZIAD> пользуются данными приведёнными в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Параметры расчёта, вводимые в программу <ZIAD>.

1	Число пар полюсов.	p_n	3
2	Номинальный ток статора, А.	$I_{1н}$	7,6
3	Номинальный момент, Н*м.	$M_{н}$	23,6
4	Номинальное фазное напряжение, В.	$U_{1н}$	220
5	Активное сопротивление статора, Ом.	r_1	2,97
6	Активное приведённое сопротивление ротора, Ом.	r'_2	3,56
7	Индуктивное сопротивление рассеяния статора, Ом.	x_1	3,11
8	Индуктивное приведённое сопротивление рассеяния ротора, Ом.	x'_2	3,95
9	Момент статический реактивный, Н*м.	M_c	8,91/2,55
10	КПД передачи.	$\eta_{п}$	0,96
11	Момент холостого хода, Н*м.	M_x	0
12	Момент инерции ротора с учётом момента инерции передачи, кг*м ²	$\delta * J_{дв}$	0,045
13	Приведённый момент инерции рабочего органа, кг*м ² .	$J_{пр}$	0,39 / 0,29
14	Податливость упругого элемента, рад/(Н*м)	$1/C_{пр}$	0

Продолжение таблицы 2.3

15	Начальная синхронная скорость, рад/с.	$\omega_{нач}$	0 (88,2/107,4)
16	Конечная синхронная скорость, рад/с.	$\omega_{кон}$	88,2/7107,4(0)
17	Постоянная задатчика интенсивности, с.	$T_{зи}$	1,03
18	Скачок синхронной скорости (ПИ - задатчик), рад/с.	$\Delta\omega$	10,99
19	Минимальная частота преобразователя, Гц.	$f_{1мин}$	1
20	Максимальное значение средней выпрямленной ЭДС управляемого выпрямителя преобразователя частоты, В.	$E_{до}$	513
21	Потери мощности преобразователя в номинальном режиме, Вт.	$\Delta P_{пч}$	343,4
22	Закон регулирования напряжения, коэффициент связи между напряжением и частотой.	$U_1/f = const.$	4,4
23	Шаг интегрирования.	h	0,001

В табл.2.3 значения момента статического, приведённого момента инерции, начальной и конечной синхронной скоростей представленные значения в числителе для этапа работы с грузом, в знаменателе – для этапа работы без груза, в скобках указаны значения при торможении.

Максимальное значение средневывпрямленной ЭДС:

$$E_{до} = 1.35 * U_{лн} = 1,35 * 380 = 513 \text{ В}, \quad (2.41)$$

расчёт приведён для трёхфазной мостовой схемы, т.к выпрямитель стоящий в преобразователе собран по трёхфазной мостовой схеме.

Потери мощности в преобразователе вычисляются по формуле:

$$\Delta P_{пч} = \sqrt{3} * U_{1н} * I_{1н} * \cos\phi_n * (1 - \eta_n), \quad (2.42)$$

где $U_{1н}$, $I_{1н}$ – номинальные фазные значения напряжения и тока преобразователя, $\cos\phi_n$, η_n – коэффициент полезного действия и КПД преобразователя.

$$\Delta P_{пч} = \sqrt{3} * 380 * 11 * 0,95 * (1 - 0,95) = 343,4 \text{ Вт.}$$

При пуске двигателя пропорциональный канал задатчика интенсивности ЗИ обеспечивает подачу скачка синхронной скорости $\Delta\omega_0$ и напряжения U_1 , затем интегральный канал ЗИ обеспечивает линейное нарастание ω_0 и U_1 . При достижении интегральным каналом заданных значений $\omega_{0\text{дн}}$ скачок $\Delta\omega_0$ снимается, и устанавливается заданное значение $\omega_{0\text{дн}}$.

При торможении сначала скачком снижается $\Delta\omega_0$, затем по линейному закону снижаются ω_0 и U_1 до величин $\omega_{0\text{дн}}$ и $U_{1\text{мин}}$, соответствующих минимальной частоте ПЧ $f_{1\text{мин}}$. Дальнейший процесс торможения выполняется по характеристике с частотой $f_{1\text{мин}}$.

На рис.2.4 и 2.5 представлены переходные процессы для этапа движения с грузом и без груза.

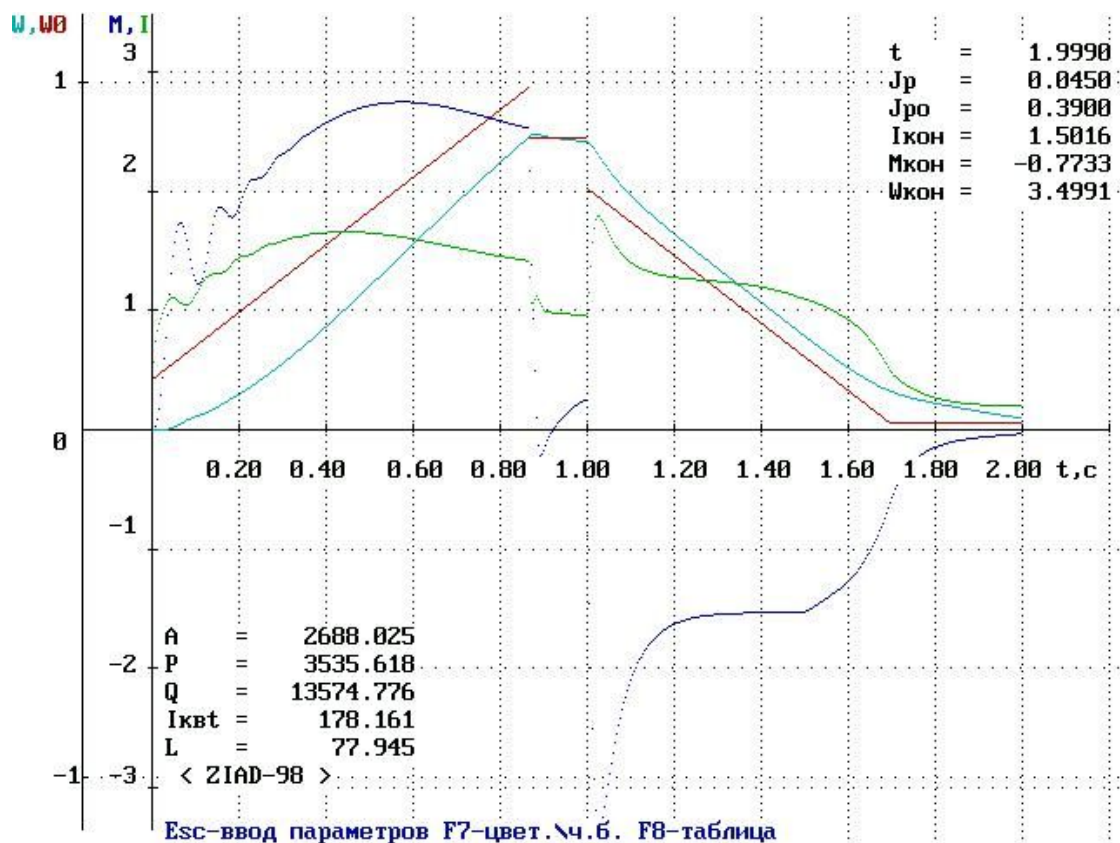


Рисунок 2.4 – Переходные процессы пуска и торможения с грузом

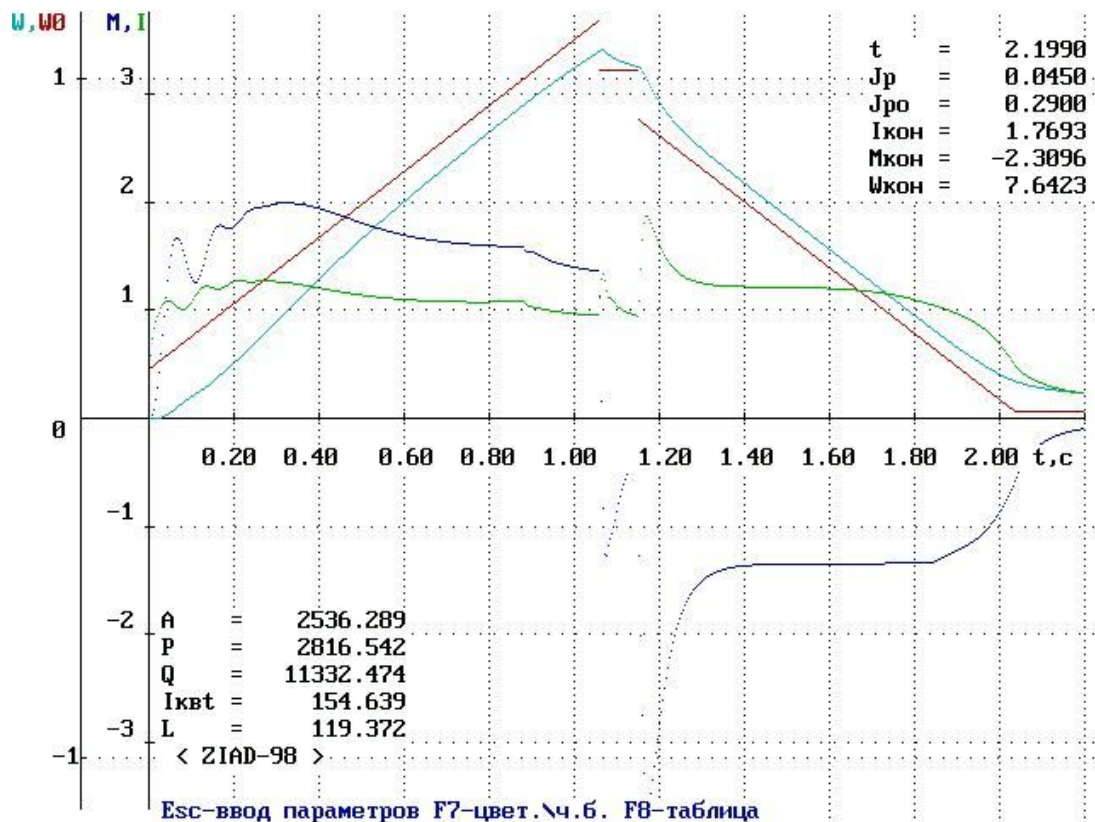


Рисунок 2.5 – Переходные процессы пуска и торможения без груза

Время работы в установившемся режиме определяется по соотношению

$$t_y = \alpha - (\alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{т}}) / \omega_{\text{с}}, \quad (2.43)$$

где α – угловой путь, проходимый двигателем на рассматриваемом этапе движения,

$\alpha_{\text{п}}$ и $\alpha_{\text{т}}$ – угловой путь, проходимый двигателем в режиме пуска и торможения, значения берутся из расчёта переходного процесса и построенной нагрузочной диаграммы. ($\alpha = 1820$ рад, рассчитан в пункте 2),

$\omega_{\text{с}}$ – скорость вращения двигателя в установившемся режиме соответствующая статическому моменту на рассматриваемом этапе работы.

Время работы в установившемся режиме:

для этапа работы с грузом

$$t_y = 1820 - (43,3+34,6) / 88,2 = 19,7 \text{ с.}$$

для этапа работы без груза

$$t_y = 1820 - (68,7+50,3) / 107,8 = 15,8 \text{ с.}$$

Определяем значение среднеквадратичного тока в установившемся режиме для каждого этапа работы

$$I_{ср} = I^2 t_y \cdot t_y, \quad (2.44)$$

где I_y - значение тока в установившемся режиме, соответствующий статическому моменту на рассматриваемом участке.

Среднеквадратичный ток в установившемся режиме

- для этапа работы с грузом

$$I_{ср} = I^2 t_y \cdot t_y = 7,2^2 \cdot 19,7 = 1021,2 \text{ А}^2 \cdot \text{с}$$

- для этапа работы без груза

$$I_{ср} = I^2 t_y \cdot t_y = 7,2^2 \cdot 15,8 = 796,4 \text{ А}^2 \cdot \text{с}$$

2.10 Расчёт энергетических показателей электропривода

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

Для электропривода, работающего в повторно – кратковременном режиме работы, универсальной оценкой энергетических показателей является их средневзвешенные значения за цикл работы (цикловые значения). Мгновенные значения КПД и $\cos \phi$ могут характеризовать экономичность работы электропривода только в установившемся режиме работы.

Расчёт энергетических показателей в установившемся режиме производится по соответствующим значениям статического момента, скорости в установившемся режиме.

Механическая энергия в установившемся режиме

$$A = M_c * \omega_c * t_y \quad (2.45)$$

- для этапа работы с грузом

$$A = 9,2 * 88,2 * 19,7 = 15985,3 \text{ Вт.}$$

-для этапа работы без груза

$$A = 2,6 * 107,4 * 15,8 = 4411,9 \text{ Вт.}$$

Активная энергия в установившемся режиме

$$P = 3 * U_1 * (I_{1y} * \cos\varphi) * t_y \quad (2.46)$$

- для этапа работы с грузом

$$P = 3 * 192,2 * 7,2 * 19,7 * 0,3 * = 24535 \text{ Вт.}$$

- для этапа без груза

$$P = 3 * 227,9 * 7,1 * 15,8 * 0,18 = 13805 \text{ Вт.}$$

Реактивная энергия в установившемся режиме

$$Q = 3 * U_1 * (I_{1y} * \sin\varphi) * t_y \quad (2.47)$$

- для этапа с грузом

$$Q = 3 * 192,2 * 7,2 * 0,92 * 19,7 = 75242 \text{ Вар}$$

-для этапа без груза

$$Q = 3 * 227,9 * 7,1 * 0,97 * 15,8 = 74396 \text{ Вар}$$

Определяем значения энергии за весь цикл работы

Механическая энергия

$$A_{\Sigma} = A_{\text{уст.реж.1}} + A_{\text{уст.реж.2}} + A_{\Sigma}(p_1 + t_1) + A_{\Sigma}(p_2 + t_2) = 15985,3 + 4411,9 + 2688 + 2536,2 = 25560,7 \text{ Вт.}$$

Активная энергия

$$P_{\text{ц}} = P_{\text{уст1}} + P_{\text{уст2}} + P_{\Sigma}(p1+t1) + P_{\Sigma}(p2+t2) = 24535 + 13805 + 3535,6 + 2816,5 = 44692,1 \text{ Вт.}$$

Реактивная энергия

$$Q_{\text{ц}} = Q_{\text{уст.реж1}} + Q_{\text{уст.реж2}} + Q_{\Sigma}(p1+t1) + Q_{\Sigma}(p2+t2) = 75396 + 74242 + 13574,7 + 11332,4 = 174544,1 \text{ Вар.}$$

Определяем цикловые значения КПД и $\cos\varphi$

$$\eta_{\text{ц}} = A_{\text{ц}} / P_{\text{ц}} = 0,57 \quad (2.48)$$

$$(\cos\varphi)_{\text{ц}} = P_{\text{ц}} / \sqrt{P_{\text{ц}}^2 + Q_{\text{ц}}^2} = 0,237. \quad (2.49)$$

Энергетические показатели для пускового, установившегося режима и режима торможения представлены в таблице 2.4. Данные значения определяют энергетические показатели двигателя, так как в преобразователе частоты с неуправляемым выпрямителем при работе в двигательном режиме напряжение и ток совпадают по фазе, а энергия запасённая в двигателе не отдаётся в сеть, а расходуется на сопротивлении. Поэтому можно представить, что $\eta_{\text{ц}} \approx 1$, $\cos\varphi \approx 1$. По данным значениям определили КПД_{дв} ($\eta_{\text{цдв}}$) и коэффициента мощности ($\cos\varphi_{\text{дв}}$) за весь цикл работы.

Полученные значения среднеквадратичного тока, энергии (механической, активной и реактивной), а также цикловые значения заносятся в табл.2.4

				<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
					51
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Таблица 2.4 – Расчетные данные переходных процессов

Показатель	Единица измерения	Движение с грузом			Движение без груза			Σ за цикл
		Пуск1	Уст. режим	Σ(п1+т1)	Пуск2	Уст. режим	Σ(п2+т2)	
A	Вт с	4061	15985	2688,8	4396,6	1333	2536	25560
P	Вт с	3349	24535	3535,6	5607	2897	2816	44692
Q	Вар с	10605	75242	13574,7	19084	74396	11332	174544
L	Рад (м)	43,3	1742,1	77,9	48	1701	119	1820
Ikв*t	A ² с	108	1021,2	178,1	545	796,4	154,6	-
t	с	1,0	19,7	2,0	1	15,8	2,15	39,65
ωкон	Рад/с	86,7	86,7	-	107,3	107,3	-	-
Mкон	H*м	8,7	8,7	0	2,58	2,58	0	-
Iкон	A	7,2	7,2	0	19,48	19,48	0	-

2.11 Проверка электропривода по производительности, проверка двигателя и преобразователя по нагреву и по перегрузочной способности.

Проверка на заданную производительность состоит в сравнении рассчитанного времени работы электропривода с заданным временем.

Расчетное время работы электропривода составляет $t_{\phi} = 39,65$ с (табл.2.4), заданное время работы должно составлять не более $t_p = 42$ с.

$$t_{\phi} = 39,65 < t_p = 42 \text{ с.}$$

Условие выполняется.

Проверка выбранного двигателя по нагреву следует выполнять, как правило, методом эквивалентного тока:

$$I := \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} \quad (2.50)$$

$$I_{\text{э}} \leq I_{\text{доп}},$$

где I_i – среднеквадратичное значение тока на i – м участке;

Δt_i – длительность i – го участка работы;

β_i – коэффициент ухудшения теплоотдачи двигателя;

$I_{\text{доп}}$ – допустимый по нагреву ток.

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

$$\beta_i = \beta_0 \text{ при } 0 \leq \omega \leq 0,2 \cdot \omega_n;$$

$$\beta_i = 1 + \beta_0 / 2 \text{ при } 0,2 \cdot \omega_n \leq \omega \leq 0,8 \cdot \omega_n;$$

$$\beta_i = 1 \text{ при } \omega \geq 0,8 \cdot \omega_n.$$

Коэффициент ухудшения теплоотдачи остановленного двигателя зависит от его конструктивного исполнения и условий вентиляции. Выбранный электродвигатель МТФН – 112 имеет закрытое исполнение с самовентиляцией с коэффициентом $\beta_0 = 0,45 \dots 0,55$.

В режиме пуска когда двигатель разгоняется до значения скорости $0,2 \cdot \omega_n$, время разгона составляет для работы с грузом 0,17 с, для этапа без груза 0,15 с, время разгона двигателя до значения скорости $0,8 \cdot \omega_n$ составляет с грузом 0,6 с, без груза 0,5 с. В режиме торможения время остановки до скорости $0,8 \cdot \omega_n$ составляет 0,35 с. с грузом 0,5 с, без груза 0,34с; до скорости $0,2 \cdot \omega_n$ с грузом 0,4с., без груза 0,55с. . В установившемся режиме время берётся из табл.2.4.

При скорости до $0,2 \cdot \omega_n$ $\beta_i = 0.55$, при скорости до $0,8 \cdot \omega_n$ $\beta_i = 0.755$, в установившемся режиме $\beta_i = 1$.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

По формуле (2.50) определяем значение эквивалентного тока

$$I_{\text{э}} = \sqrt{1021,2 + 178,1 + 796,4 + 154,6 / 0,17 * 0,55 + 0,6 * 0,75 + 0,48 * 1 + 0,35 * 0,75 + 0,4 * 0,55 + 0,15 * 0,55 + 0,5 * 0,75 + 0,61 * 1 + 0,34 * 0,75 + 0,55 * 0,55} = 7,11 \text{ А.}$$

Определяем значение допустимого по нагреву тока

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{н}} * \sqrt{\text{ПВф} / \text{ПВкат}} = 7,6 * \sqrt{25/26} = 7,45 \text{ А.}, \quad (2.51)$$

$$I_{\text{э}} = 7,11 \text{ А} < I_{\text{доп}} = 7,45 \text{ А.}$$

Выбранный двигатель проходит по допустимому нагреву тока.

Определяем выбранный нами преобразователь частоты по перегрузочной способности и нагреву.

В каталожных данных на выбранный преобразователь частоты говорится, что он должен выдерживать ток перегрузки в течении 60 с 120 % от номинального значения, допустимый ток преобразователя $I_{\text{доп}} = 33 \text{ А}$.

Эквивалентное значение тока преобразователя

$$I := \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_{\text{ср}k} v \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}} \quad (2.52)$$

Данные среднеквадратичного тока, суммарное значение времени для каждого участка работы берётся из табл.2.4.

$$I := \sqrt{\frac{1021 + 178 + 796,4 + 154,6}{39,65}} = 7,36 \text{ А}$$

Преобразователь проходит по нагреву и току перегруза.

				<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>		Лист
						54
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

3.1 Частотнорегулируемый асинхронный электропривод с векторным управлением

Появление микропроцессорных средств позволило вычислять переменные состояния электропривода, недоступные для прямого измерения и реализовать законы управления, более сложные, но более эффективные. В качестве примера можно указать на частотно регулируемый асинхронный электропривод с векторным регулированием момента и вычислением с использованием модели двигателя тех переменных состояния, которые трудно доступны для прямого измерения.

Асинхронный двигатель М рисунок 3 получает питание от преобразователя частоты ПЧ, который содержит неуправляемый выпрямитель, L – C фильтр, подключенные к автономному инвертору напряжения, выполненному на транзисторах по трёхфазной мостовой схеме.

Регулирование электромагнитного момента производится регуляторами $P_{T\omega}$ активный I_{ω} и $P_{T\mu}$ реактивной I_{μ} составляющих тока статора. Измерение этих составляющих осуществляется косвенным путём с помощью модели асинхронного двигателя («Модель АД»), на вход которой поступают мгновенные значения фазных токов I_a, I_b, I_c , напряжение U_a, U_b, U_c , и угловой скорости n двигателя. На выходе модели представлены величины скольжения s , составляющих токов I_{ω}, I_{μ} .

Управление движением электропривода производится по традиционной схеме подчинённого регулирования скорости с задатчиком интенсивности ЗИ, ПИ – регулятором скорости РС с блоком ограничения БО, двумя параллельно работающими каналами регулирования токов I_{ω}, I_{μ} со своими регуляторами $P_{T\omega}$ и $P_{T\mu}$, преобразователем координат ПК, который вектор желаемого тока статора, полученный регуляторами тока в двухфазной системе координат, преобразуют в трёхфазную систему переменных по числу фаз асинхронного двигателя.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						55
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

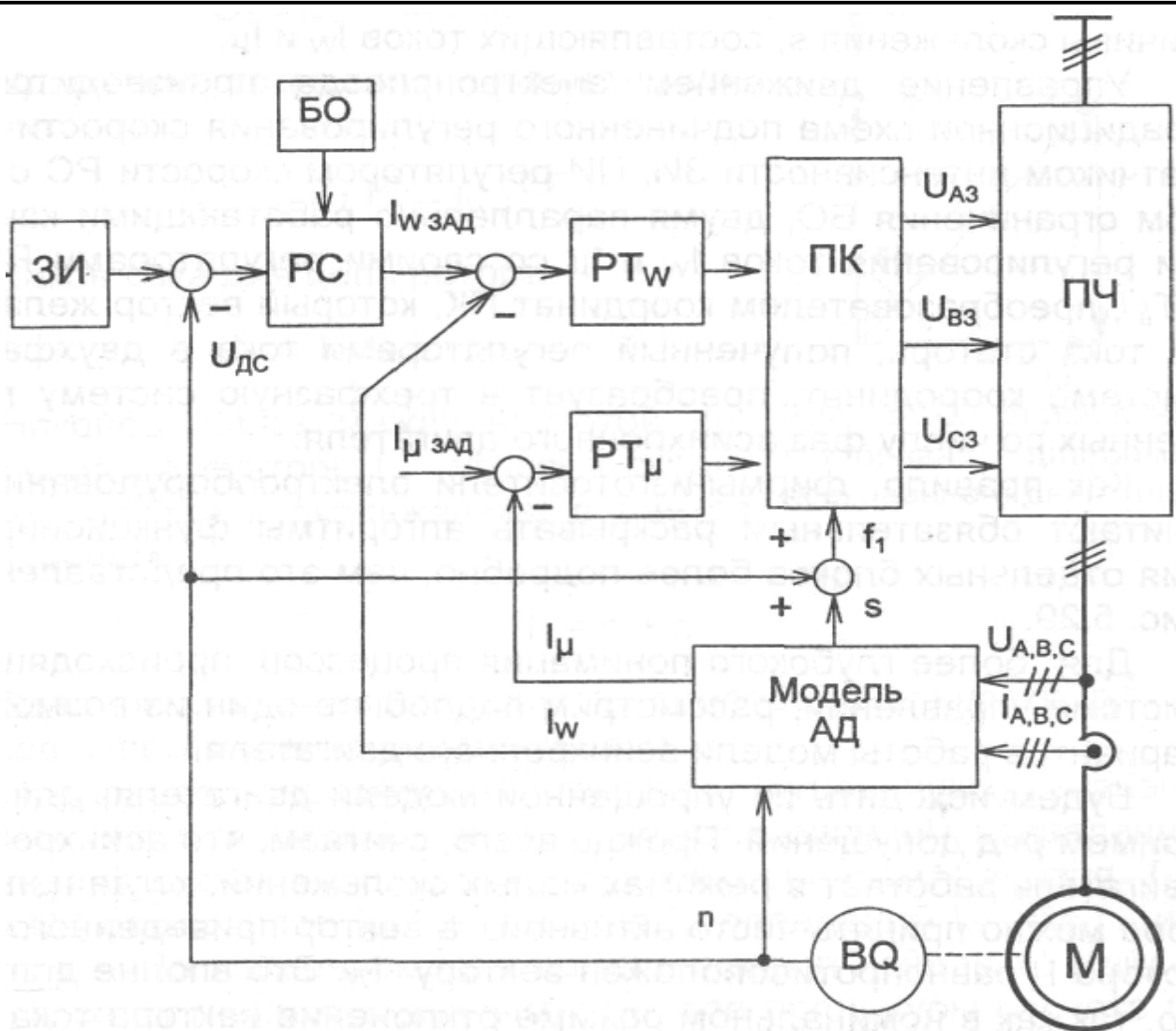


Рисунок 3.1 - Функциональная схема асинхронного частотнорегулируемого электропривода с векторным управлением

Будем исходить из упрощённой модели двигателя, для чего примем ряд допущений. Прежде всего, считаем, что асинхронный двигатель работает в режимах малых скольжений, когда цепь ротора можно принять чисто активной, а вектор приведённого тока ротора I_2' равнопротивоположен вектору I_w . Это вполне допустимо, так как в номинальном режиме отклонение вектора тока I_2 от ЭДС ротора E_2 не превышает 10...15 градусов. Далее, не будем учитывать падение напряжения в обмотке статора (примем $I_1 Z_1 \approx 0$), тогда можно принять ортогональность векторов напряжения на статоре и тока намагничивая ($U_1 \perp I_\mu$).

Уравнение, описывающие состояние двигателя, с учётом принятых допущений выглядят следующим образом.

Уравнение связи между напряжением на статоре и током намагничивания:

$$U_1 \approx E_1 = k_1 \cdot f_1 \cdot I_\mu.$$

Уравнение токов в асинхронном двигателе:

$$I_2' \approx I_w = (I_1^2 - I_\mu^2)^{1/2}.$$

Закон Ома для цепи ротора:

$$I_2' \approx k_2 \cdot I_\mu \cdot s / r_2.$$

Связь между частотой напряжения на статоре f_1 , угловой скоростью n ротора и скольжением s даётся уравнением:

$$f_1 = n + s.$$

Процедура определения текущих значений скольжения s и токов I_w и I_μ с использованием приведённых уравнений может выглядеть следующим образом. Задавая f_1 и зная U_1 , определяем I_μ . По I_μ и зная I_1 , определим I_w . По I_μ и I_w найдём s . По найденному s и измеренному n найдём f_1 . Найденное f_1 сопоставим с заданным в начале процедуры расчёта f_1 и повторим процедуру счёта до тех пор, пока, ошибка не уменьшится до допустимой величины.

На схеме датчиками тока и напряжения измеряются текущие значения фазных токов и напряжений. Необходимо установить связь между мгновенными значениями этих токов и напряжений и векторами U_1 и I_1 .

Безболезненное упрощение модели АД возможно потому, что в основном соотношении $f_c = f_p + f_s$ частота напряжения на статоре не подвержена влиянию возмущений (момента статической нагрузки и колебаний напряжения сети) и очень стабильно связана с величиной сигнала задания частоты инвертора, а частота скольжения f_s составляет лишь единицы процентов. Это позволяет весьма точно определять в модели АД величину угловой скорости ротора.

Когда установка тахогенератора нежелательна, с помощью модели АД можно вычислять скорость вращения двигателя и замыкать контур регулирования скорости по её оценки.

Векторное регулирование момента асинхронного двигателя обеспечивает точное поддержание электромагнитного момента и устойчивую работу электропривода во всём диапазоне скоростей, включая режим работы на упор и ползучие скорости. Этим оно выгодно отличается от скалярного регулирования.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						57
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3.2 Выбор типа регуляторов и расчёты параметров

3.2.1 Настройка контура регулирования тока двигателя КРТ

Вид передаточной функции и параметры регуляторов выдираются так, чтобы выполнить заданные требования к настраиваемому контуру регулирования.

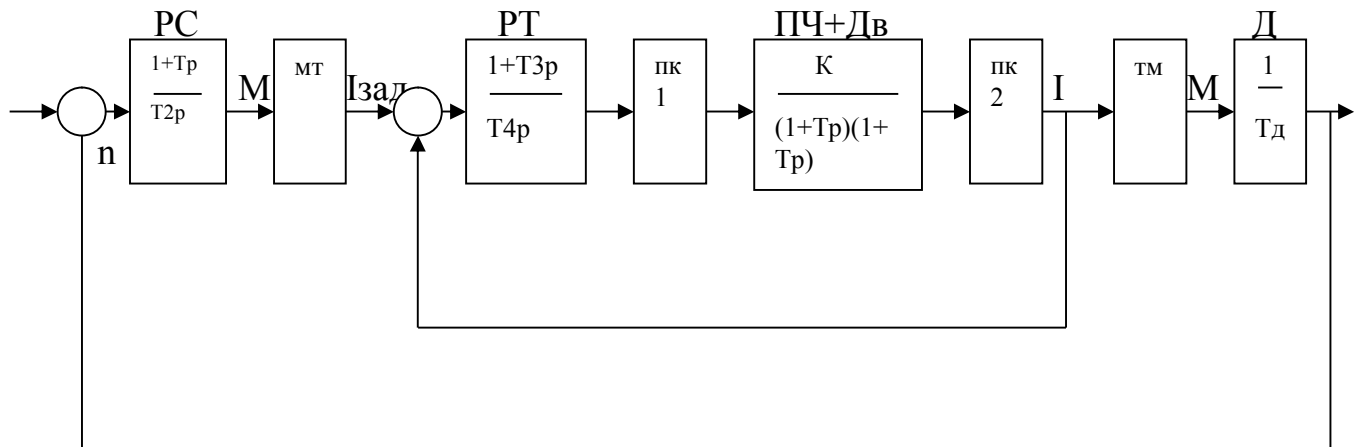
При настройке контура регулирования тока стремятся к достижению максимально высокого его быстродействия, чтобы не допустить в переходном процессе опасных выбросов тока при резком приложении чрезмерной статической нагрузки. Высокое быстродействие КРТ полезно также при настройке внешнего контура регулирования скорости, так как в этом случае в наибольшем диапазоне частот свойства звеньев, охваченных обратной связью потока, аппроксимируется безинерционным звеном.

Настройка контура регулирования тока включает в себя, во-первых, выбор структуры (типа передаточной функции) регулятора тока РТ и, во-вторых, расчёт величины параметров РТ.

При выборе структуры регулятора РТ исходим из функционального назначения КРТ. Прежде всего, КРТ ограничивает ток двигателя при перегрузках электропривода. Так как в реальных условиях нельзя исключить приложения чрезмерной нагрузки с высоким темпом, то для надёжного ограничения тока в переходном режиме необходимо предусмотреть высокое быстродействие КРТ. Поэтому в РТ следует ввести пропорциональный канал. Высокого быстродействия КРТ требуют также и условия его работы как местный корректирующей обратной связи при настройке внешнего контура регулирования скорости КРС. Однако часто пропорциональный регулятор тока, сообщая контуру регулирования высокое быстродействие оставляет большую статическую погрешность регулирования. Это препятствует максимальному использованию двигателя по току во всём диапазоне скоростей. Поэтому обычно применяют пропорционально-интегральный регулятор тока, обеспечивая тем самым и высокое быстродействие и минимум статической погрешности в КРТ.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						58
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для выбора параметров РТ воспользуемся структурной схемой приведённой на рисунке 3.2.



РС-регулятор скорости;

МТ-преобразователь момента в ток;

ПК1,ПК2-преобразователи координат;

ПЧ+АД-преобразователь частоты и двигатель;

ТМ-преобразователь тока в момент;

РТ-регулятор тока;

Д-учитывается механическая энергия привода. Здесь Тд-постоянная времени разгона привода, равная времени разгона привода до скорости n_0 под действием номинального динамического момента.

Рисунок 3.2-Структурная схема асинхронного частотнорегулируемого электропривода с векторным управлением

Преобразуем структурную схему.

Передаточная функция звеньев ПЧ+АД,ПК1,ПК2 будет равна:

$$W = K_{\Sigma} / ((1+T_{p1}) * (1+T_{p2})) \quad (3.1)$$

Структурная схема будет выглядеть следующим образом:

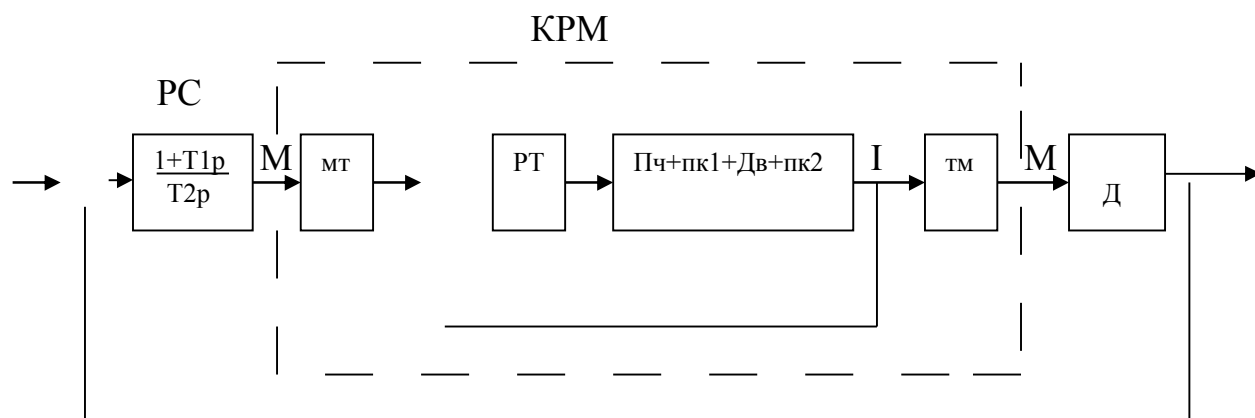


Рисунок 3.3 - Преобразованная структурная схема

Регулятор тока РТ в системе относительных единиц имеет передаточную функцию:

$$W_{РТ}(p) = 1 + T_3 \cdot p / 1 + T_4 \cdot p = 1 + T_3 \cdot p / T_3 \cdot p + K_{РТ}; \quad (3.2)$$

Выберем по правилу оптимума параметры регулятора тока. Величина эквивалентной постоянной времени интегрирования КРТ выберем на основании выражения:

$$T_{РТ} = (2 \dots 4) \cdot (T_{п1} + T_{п2}); \quad (3.3)$$

Примем $T_{РТ} = 0,003\text{с}$, тогда $T_{п1} + T_{п2} = T_{РТ} / (2 \dots 4) = 0,0015\text{с}$.

Постоянная времени интегрального канала T_4 равна :

$$T_4 = T_{РТ} = 0,003\text{с}.$$

Постоянная времени интегрального канала T_3 равна:

$$T_3 = (2 \dots 4) \cdot T_{РТ} = 0,012; \quad (3.4)$$

$$K_{РТ} = T_3 / T_4 = 0,012 / 0,003 = 4.$$

На рисунке 3.4 представлена ЛАЧХ контура регулирования тока КРТ.

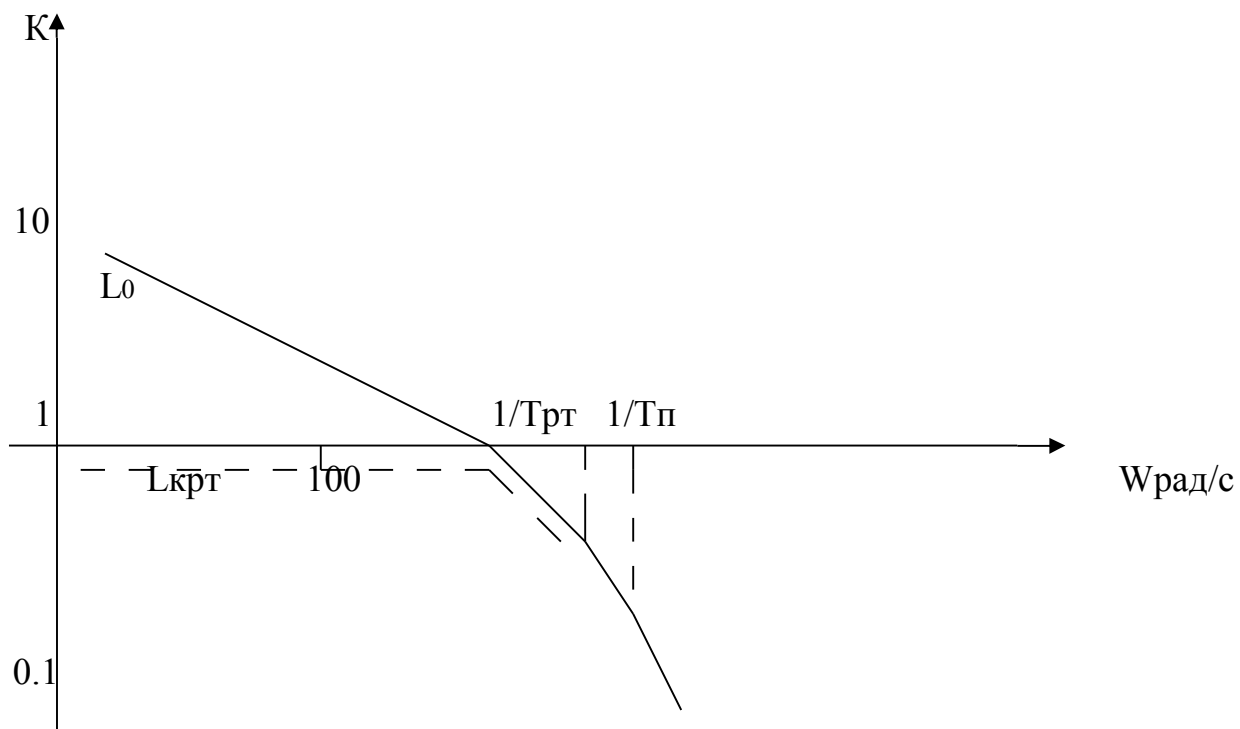


Рисунок 3.4- ЛАЧХ контура регулирования тока КРТ.

Здесь кривая L_0 соответствует последовательно включенным РТ и П, а кривая $L_{крт}$ является ЛАЧХ замкнутого КРТ.

3.2.2 Настройка контура регулирования скорости КРС

При настройке контура регулирования скорости КРС поддержания заданного значения скорости независимо от приложенных возмущений и достижения требуемых по качеству процессов пуска и торможения электропривода решаются проще и качественнее для быстродействующих КРС. Но предельное быстродействие КРС ограничено условиями его устойчивости и влиянием обратных пульсаций напряжения тахогенератор.

Требования достижения заданной статической точности регулирования определяют выбор необходимого типа регулятора скорости – пропорционального или пропорционально- интегрального. Если статическая погрешность в КРС с пропорциональным регулятором менее допустимого значения то следует его

применить как более простой. В противоположном случае необходимо применять пропорционально-интегральный регулятор скорости.

В качестве регулятора скорости возьмем ПИ-регулятор.

Передаточную функцию регулятора скорости можно записать:

$$W_{pc} = (1 + T_2 * p) / T_1 * p = K_{pc} + 1 / T_1 * p. \quad (3.5)$$

Идея выбора параметров этого регулятора состоит в том, чтобы в районе частоты среза ω_c заставит работать пропорциональный канал в регуляторе, а интегральному каналу оставить только район низких частот. Воспользуемся правилом симметричного оптимума, которое предлагает отодвинуть вправо частоту сопряжения интегрального и пропорционального каналов в регуляторе скорости в соответствие с выражением:

$$W_{сопр} = 1 / T_2 = \omega_c / (2 \dots 4). \quad (3.6)$$

При выборных параметрах РС наблюдается равная (в 2...4 раза) протяжённость единичного наклона на амплитудной характеристики разомкнутого КРС как влево (до частоты $\omega_{сопр}$), так и вправо (до частоты ω_T) от частоты среза ω_c КРС.

Расчетная постоянная времени КРС будет равна:

$$T_{pc} = (2 \dots 4) * T_{рт} = 0,03c. \quad (3.7)$$

Постоянная времени T_1 равна:

$$T_1 = (2 \dots 4) * T_{pc} = (2 \dots 4) * 0,03 = 0,12c, \text{ тогда } T_2 = T_1 / K_{pc}; \quad (3.8)$$

$$K_{pc} = T_d / T_{pc} = 1,72 / 0,03 = 57,3; \quad (3.9)$$

$$T_2 = 0,12 / 57,3 = 0,002c.$$

На рисунке 3.5 представлена ЛАЧХ контура регулирования скорости.

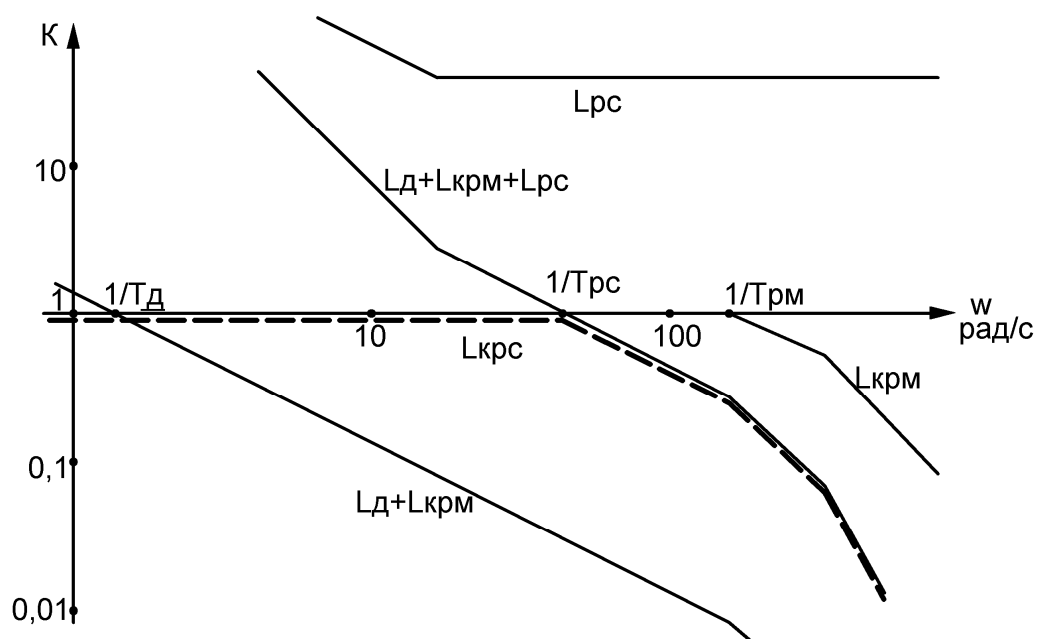


Рисунок 3.5- ЛАЧХ контура регулирования скорости КРС.

Здесь кривая $L_{крт}$ соответствует аппроксимированной ЛАЧХ контура регулирования тока, L_{pc} – корректирующего звена, $L_{д+L_{крт}}$ – сумме ЛАЧХ звеньев Д и КРТ, $L_{д+L_{крт}+L_{pc}}$ – ЛАЧХ разомкнутого контура регулирования скорости, а $L_{крс}$ – замкнутого КРС.

4 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

4.1 Описание технологического процесса

В технологическом процессе производства мостовой кран требуется для транспортирования контейнеров с продуктом. Контейнер с участка комплектации продукции переносится до транспортного участка. На транспортном участке контейнеры загружаются на автотранспорт.

Работа технологического процесса по перемещению тележки в ручном режиме должна разрешаться только при закрытых проходах в ограждении объекта (дверь кабины крановщика, двери люка, двери калитки). После внезапного кратковременного исчезновения питающего напряжения включение системы в работу вновь осуществляется только оператором. Для экстренного отключения системы в аварийных ситуациях предусмотрен соответствующий аппарат (ладонная кнопка «СтопА», воздействующая на линейный контактор).

На пульте управления оператор нажимает кнопку «Пуск», загораются лампы: «Контактор вкл.» и «Готовность привода». Для перемещения тележки вперед ручка командоаппарата переводится в положение «Вперед 1» при этом тележка начинает движение вперед с медленной скоростью, для увеличения скорости ручка переводится в положение «Скорость 2». Для передвижения назад ручка переводится в положение «Назад 1», при этом тележка начинает движение назад с медленной скоростью, для увеличения скорости ручка переводится в положение «Скорость 2».

При подходе тележки к крайним положениям срабатывают датчики снижения скорости и тележка на медленной скорости продолжает движение пока не доедет до конечных выключателей крайних положений. При срабатывании конечных выключателей обесточивается преобразователь частоты, накладывается тормоз на двигатель и тележка останавливается, гаснет лампа «Готовность привода». Для движения в обратную сторону ручка командоаппарата переводится в положение «0 положение», при этом подается питание на преобразователь,

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						64
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

загорается лампа «Готовность привода» и ручка переводится в положение «Вперед 1» или «Назад 1».

На пульте оператора находится кнопка подачи звукового сигнала для предупреждения об опасности.

4.2 Составление алгоритма системы автоматизации

В представленном задании на проектирование система автоматизации тележки мостового крана должна обеспечивать работу двигателя с заданным ускорением в заданных режимах. Система управления должна обеспечивать движение тележки вперед и назад, а также защиту преобразователя, двигателя, контроллера. В системе предусматривается сигнализация аварийных режимов.

4.2.1 Из представленного описания технологического процесса и требований к системе управления (пункт 1.4) и последовательности работы механизмов следует, что система автоматизации должна формировать выходные команды:

- включение электродвигателя вперед;
- включение электродвигателя назад;
- бит скорости 1(изменение скорости);
- разрешение;
- готовность привода.

В действующей системе для привода тележки используется электродвигатель переменного тока.

4.2.2 Кроме команд исполнительным механизмом необходимо задействовать сигналы на индикацию и сигнализацию о состоянии системы, для удобства эксплуатации и устранения неполадок в системе. На пульт управления выводятся следующие сигналы:

- сигнал «Готовность привода»;

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						65
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- звуковой предупредительный сигнал;
- сигнал включения главного контактора.

4.2.3 Для управления механизмом тележки крана, введён местный пульт управления. С него оператор осуществляет работу в ручном режиме и с помощью ручки командоаппарата может задавать следующие входные сигналы:

- вперед скорость 1;
- назад скорость 1;
- скорость 2.

Кроме этого на пульте управления находится кнопки «Пуск» и «Аварийное отключение».

В таблице 4.1 представлены сигналы и команды, используемые для реализации системы автоматики.

Таблица 4.1- Сигналы и команды, используемые в системе автоматизации

Наименование сигнала или команды	Обозначение	Принятое значение логической единицы
1	2	3
Входные сигналы		
Снижение скорости вперед	Сниж. В	Есть
Снижение скорости назад	Сниж. Н	Есть
0 положение	0 полож.	Есть
Вперед скорость 1	Впер.С 1	Есть
Назад скорость 1	Наз.С 1	Есть
Скорость 2	Скор 2	Есть
Готовность преобразователя частоты	Гот.ПЧ	Есть
Автомат БЗП	Авт.БЗП	Включен
Автомат тормоза	Авт.торм.	Включен
Линейный контактор	Лин.кон.	Включен
Тормоз вкючен	Торм.вкл.	Включен
Тепловое реле	Тепл.реле	Нет

Продолжение таблицы 4.1

Выходные сигналы		
Вперед	Вперед	Есть
Назад	Назад	Есть
Бит скорости 1	Бит С1	Есть
Разрешение	Разр.	Есть
Готовность привода	ГП	Есть

4.3 Логические уравнения

Для выходных переменных запишем логические уравнения.

4.3.1 Сигнал готовность привода «ГП», информирует оператора, о возможности работы, системы автоматизации, механизма передвижения тележки крана. Он возникает при постановке ручки переключателя командоаппарата в нулевое положение «0полож.», наличии сигналов о включенном питании: преобразователя частоты «Лин.конт.», блока защиты «Авт.БЗП», тормоза двигателя «Авт.торм», наличия сигнала готовности ПЧ «Гот.ПЧ» и отсутствия сигнала с теплового реле КК1 «Тепл.реле». Сигнал готовность привода «ГП» сохраняется до тех пор, пока не исчезнет какой либо из сигналов: «Лин.конт.», «Авт.БЗП», «Авт.торм», «Гот.ПЧ», или не появится сигнал с теплового реле КК1 «Тепл.реле».

$$ГП = (0полож.+ГП) * Гот.ПЧ * Авт.торм * Авт.БЗП * Лин.кон. * \overline{Тепл.реле}$$

4.3.2 Сигнал «Разрешение» является командой на разрешение работы преобразователя частоты(ПЧ). Он возникает при наличии сигнала готовность привода «ГП», положении ручки командоаппарата «Вперед скорость 1» или «Назад скорость 1» или наличии сигнала промежуточной переменной «Пром.пер».

$$Разр = ГП * (Впер.С1+Наз.С1+Пром.пер)$$

4.3.3 Команда вперед «Вперед» возникает при наличии сигнала «Впер.С 1», наличии сигнала готовность привода «ГП» и отсутствии сигнала назад «Назад».

$$Вперед = ГП * Впер.С1 * \overline{Назад}$$

4.3.4 Команда назад «Назад» возникает при положении командоаппарата

«Наз.С 1», наличии сигнала готовность привода «ГП» и отсутствии сигнала «Вперед».

$$\text{Назад} = \text{ГП} * \text{Наз.С1} * \overline{\text{Вперед}}$$

4.3.5 Команда бит скорости 1 «Бит.С1» является командой на увеличение скорости. Команда возникает при положении ручки командоаппарата в скорость 2 «Скор.2», наличия сигнала готовность привода «ГП», отсутствии сигнала «Вперед» или наличия сигнала снижение скорости вперед «Сниж. В», отсутствии сигнала «Назад» или наличия сигнала снижение скорости назад «Сниж. Н».

$$\text{Бит.С1} = \text{Скор.2} * \text{ГП} * (\text{Сниж.В} + \overline{\text{Вперед}}) * (\text{Сниж.Н} + \overline{\text{Назад}})$$

4.3.6 Команда промежуточная переменная «Пром.пер» возникает когда есть сигнал «Торм.вкл», команда запоминается до тех пор пока не исчезнет сигнал «Торм.вкл» с выдержкой времени на включение.

$$\text{Пром.пер} = (\text{Торм.вкл.} + \text{Пром.пер}) \overline{\text{Торм.вкл}} \uparrow$$

4.4 Разборка функциональной схемы автоматизации

4.4.1 На основе описания технологического процесса, содержательного описания автоматизируемого объекта, определенных входных и выходных команд, с учетом выбора программируемого контроллера составлена схема электрическая принципиальная, представленная на чертеже ЗИЭФ 524с 24.00.00.00 Э2.

Система автоматизации состоит из следующих элементов:

- пульт управления ПУ;
- программируемый контроллер А1;
- блок питания БП1;
- схема нулевой защиты, при исчезновении питания;
- датчик технологической информации SQ4 – SQ7;
- преобразователь частоты Unidrive SP;
- двигатель механизма передвижения тележки М1;

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						68
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- тормоз M2;
- контроллер OMRON.

4.4.2 На пульте управления расположены следующие элементы:

а) элементы управления:

- командоаппарат;
- кнопка «Пуск», «SB1»;
- кнопка «Авар.откл», «SB2»;

б) элементы сигнализации:

- лампа включения силового контактора «HL1»;
- лампа готовности привода «Гот.привода» «HL2».

На принципиальной схеме показана взаимосвязь отдельных элементов системы автоматизации. Основным связующим звеном является программируемый контроллер. По количеству входных и выходных сигналов определено количество модулей ввода и вывода: для 5 дискретных сигналов используется 1 модуль вывода, для 12 дискретных входных сигналов используется 1 модуль ввода.

4.4.3 Выбор элементной базы и преобразователей технологической информации

В данной системе автоматизации, блок управления системы реализован на программируемом контроллере фирмы OMRON. Аппаратные программные средства контроллера, позволяют обеспечить выполнение всех типовых информационных и управляющих функций: сбор технологической информации, контроль и регулирование в соответствии с логическими уравнениями, изображение и передачу информации.

				<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись		Дата

Модули ввода – вывода выбраны на постоянное напряжение питания 24В, это повысит безопасность работы с элементами системы, исключит необходимость применения нескольких блоков питания на разное напряжение.

Из номенклатуры комплекса [6] OMRON семейство CJ1 выбраны следующие модули:

- модуль ЦПУ, CJ1M-CDU21;
- модули ввода, CJW-ID211 (16точек, -24В, до 7мА);
- модули вывода, CJW-OC201 (8 точек-24В, до 8А);
- блок питания CJ1W-PD025 (питание -24В, 25Вт).

Из номенклатуры комплекса [6] OMRON для ввода значений таймеров и счётчиков, а также вывода информации о состоянии объекта выбираем пульт программирования CQM1H-PRO01-E.

В качестве датчиков информации о положении тележки SQ4-SQ7, выбираем конечный выключатель ВК300.

Для обеспечения питания входных и выходных модулей программируемого контроллера необходимо выбрать блок питания. Требуемая мощность блока питания определяется суммой мощностей потребителей, нагруженных на него, причём для оптимального использования необходимо учитывать, что не все потребители включены одновременно. Для упрощения выбора, а также для обеспечения запаса, мощность блока питания выбирается по суммарной мощности всех потребителей. В таблице 4.2 представлен расчёт требуемой мощности блока питания.

По полученному значению суммарной мощности выбираем блок питания типа CJ1W-PD025 (питание -24В, 25Вт).на номинальный ток 5А(5 В =), 0,8 А (24 В =).

Для передачи входных команд на системы управления двигателем используются промежуточные реле переменного тока.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						70
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 4.2 – Расчет блока питания

Модуль	Модель	Количество	Потребляемый ток при 5 В =	Потребляемый ток при 24 В =
Модуль ЦПУ	CJ1M-CDU21	1	0,64 А	-
Модуль ввода	CJW-ID211	1	0,08 А	-
Модуль вывода	CJW-OC201	1	0,11 А	$0,096 \cdot 5 = 0,48$ А
Мощность			4,15 Вт	11,5 Вт
Суммарная мощность				15,65 Вт

Для включения питания всей системы автоматизации и аварийного ее отключения используется силовой контактор КМ1 на переменное напряжение 380 В и рассчитанный на полный ток нагрузки всех потребителей системы.

Для защиты от коротких замыканий и перегрузке при работе, в проекте предусмотрены защиты в виде автоматических выключателей.

4.5 Разработка принципиальной электрической схемы автоматизации

4.5.1 В соответствии с функциональной схемой системы автоматизации и выбранной элементной базой составлена принципиальная схема. Перечень элементов, используемых в схеме, приведен в приложении.

Автоматические выключатели SF1-SF4, QF1-QF3 выполняют функцию защиты от коротких замыканий.

Блок питания G1 с напряжением на выходе 24В запитывает основные низковольтные элементы: входные и выходные цепи модулей ввода/вывода контроллера А1. Выбор блока питания G1 описан в пункте 4.4.3.

Для получения информации о положении тележки в системе используются конечные выключатели SQ4- SQ7.

Реле переменного напряжения К1-К6 во входных цепях модулей ввода осуществляют передачу входных команд на контроллер и служат для гальванической развязки.

Двигатель переменного тока М1, управляется преобразователем частоты Unidrive SP 1405.

Преобразователь частоты получает питание от сети трехфазного переменного напряжения 380В.

Элементы пульта управления лампа HL2, командоаппарат SA2 получают питание от понижающего трансформатора Т1 380/220,50Гц.

Кнопки SB1, SB2, контактор КМ1, лампа HL1, подключены непосредственно к автомату SF1. По требованиям ПУЭ используется размыкающийся контакт кнопки «СтопА».

4.5.2 Система получает питание после включения пускателя КМ1, то есть нажата кнопка SB1. Аварийное отключение осуществляется нажатием на кнопку SB2 в цепи пускателя. От самопроизвольного включения при исчезновении и последующем появлении питания, обеспечивается защитой нулевой блокировки. В соответствии с требованиями безопасности, для обслуживающего и технологического персонала, предусмотрена кнопка аварийного отключения SB2 грибкового типа.

Управление приводом механизма осуществляется через программируемый контроллер, в зависимости от режима работы, который включает и отключает привод в соответствии с входными сигналами и по заданной программе.

Начальный пуск производить в следующем порядке:

- установить на ПУ ручку переключателя режима работы командоаппарата в положение «0положение»;
- установить на ПУ ключ-бирку SA1 в положение «РАЗР»,
- на ПУ нажать кнопку SB1 «ПУСК», на ПУ должна загореться лампа «Готовность привода»;

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						72
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- установить на ПУ переключатель управления SA2 в положение «Вперед», если управление производится вперед;
- установить на ПУ переключатель управления в положение «Назад», если управление производится назад, при этом тележка начинает движение с медленной скоростью;
- для увеличения скорости тележки установить на ПУ переключатель управления в положение «Скорость2».

При необходимости остановки работы механизмов в любом режиме оператору необходимо нажать кнопку «SB2» или перевести ключ «SA2» в положение «0 положение».

При возникновении некоторых аварийных ситуаций управление приводом тележки сбрасывается. После устранения неисправности необходимо произвести начальный пуск.

4.6 Разработка программного обеспечения системы автоматизации

Перед составлением программы необходимо определить адреса входных и выходных переменных в соответствии с их подключением к программируемому устройству, а также задать адреса промежуточных переменных и используемых таймеров

Таблица 4.3- Адресация переменных

Наименование сигнала, команды	Обозначение в содержательном описании	Аппарат формирующий сигнал	Адрес
1	2	3	4
Входные сигналы			
Снижение скорости вперед	Сниж. В	K1.1	0.00
Снижение скорости назад	Сниж. Н	K2.1	0.01
0 положение	0 полож.	SA2	0.02
Вперед скорость 1	Впер.С 1	SA2	0.03

Продолжение таблицы 4.3

Назад скорость 1	Наз.С 1	SA2	0.04
Скорость 2	Скор 2	SA2	0.05
Готовность преобразователя частоты	Гот.ПЧ	K10.1	0.06
Автомат БЗП	Авт.БЗП	QF2.1	0.07
Автомат тормоза	Авт.торм.	QF3.1	0.08
Линейный контактор	Лин.кон.	KM2.1	0.09
Тормоз включен	Торм.вкл.	KM3.1	0.10
Тепловое реле	Тепл.реле	KK1.1	0.11
Выходные сигналы			
Вперед	Вперед	-	1.00
Назад	Назад	-	1.01
Бит скорости 1	Бит С1	-	1.02
Разрешение	Разр.	-	1.03
Готовность привода	ГП	K8	1.05

С учетом принятой адресации, составленные при разработке алгоритма автоматизации, уравнения (п.4.3) сведены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4- Уравнения с учетом адресации

Обознач.	Уравнения
ГП	$(0.02+1.05) * 0.06 * 0.08 * 0.07 * 0.09 * \overline{0.11}$
Разр.	$1.05 * (0.03 + 0.04 + 1.20)$
Вперед	$1.05 * 0.03 * \overline{1.01}$
Назад	$1.05 * 0.04 * \overline{1.00}$

Продолжение таблицы 4.4

Бит С1	$1.05 * 0.05 * (\overline{0.00} + \overline{1.00}) * (\overline{0.01} + \overline{1.01})$
--------	---

Программа, методом релейно-контактной схемы на основе полученных уравнений, представлена на рисунке 4.1. страница 75.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						75
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

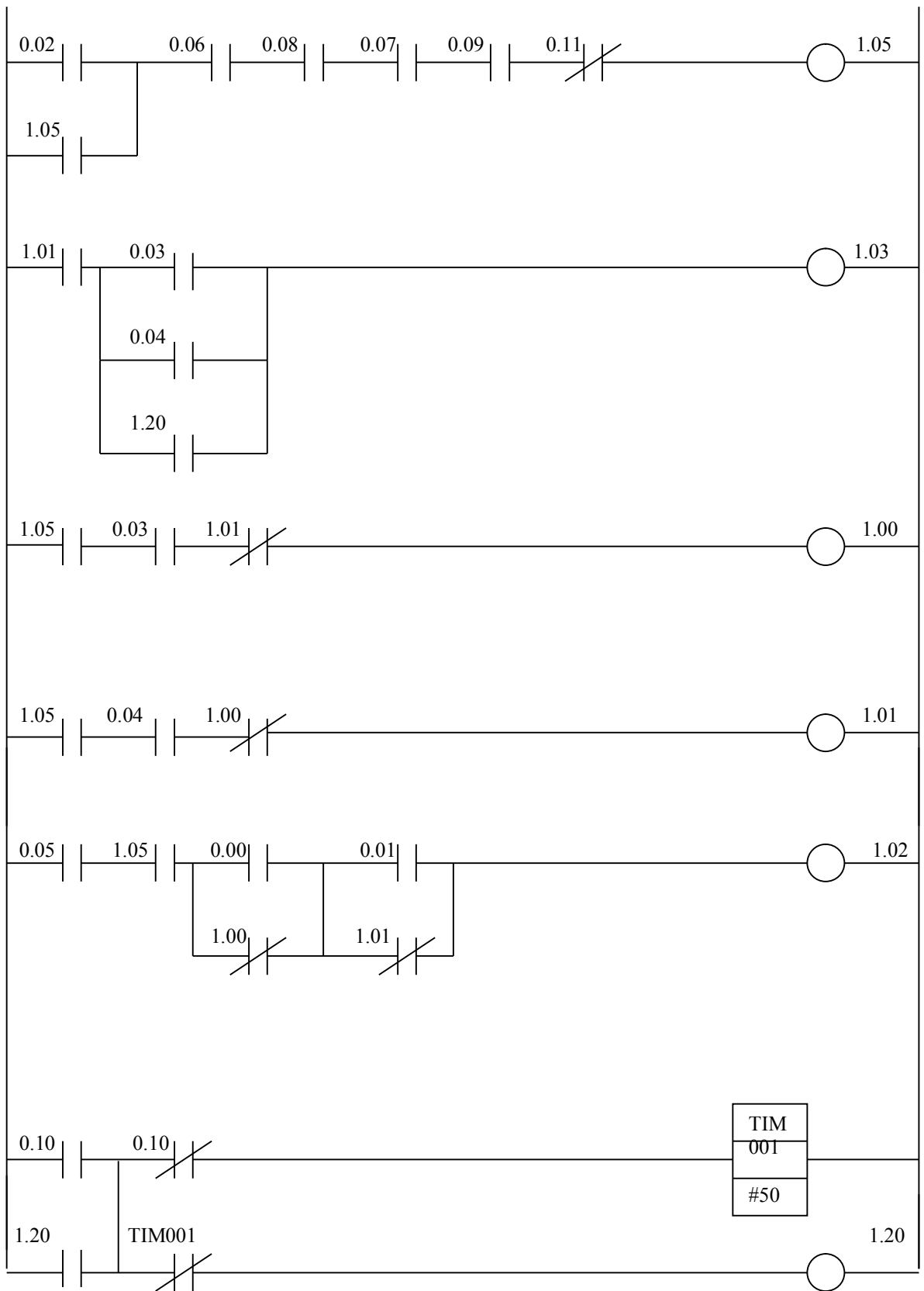


Рисунок 4.1- Программа, методом релейно-контактной схемы

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

ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ

5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

5.1 В данном дипломном проекте было произведено изменение системы управления механизмом передвижения тележки мостового крана.

В этом разделе учтены все положения об устройстве грузоподъемных кранов, их эксплуатации и ремонте предусмотрены «Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» Госгортехнадзора, «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) и «Правилами технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий» (ПТЭ).

5.2 В свободном пространстве под крышей здания на подкрановых рельсовых путях установлен электрический мостовой грузоподъемный кран, перемещающий различные материалы по технологической цепи.

Для приведение в действие механизмов крана используются двигатели переменного тока на напряжение 380 В. Управление механизмами крана производится после включения вводного автомата QF1. Питание крана осуществляется от сети с глухозаземленной нейтралью напряжением 380 В по магистрали через магистральный рубильник. Для электроснабжения крана служит троллейный крановый токоподвод.

Передвижные подъемные краны в процессе эксплуатации подвержены воздействию вибраций и ударов, в результате чего возможность повреждения электрокабелей и проводов на кранах гораздо выше чем в электроприводах стационарных установок. При работе крана возможны перегрузки их механизмов в результате превышения паспортной грузоподъемности, неисправностей цепей управления, заклинивания механизмов, неотключения тормоза.

Учитывая все выше изложенное, можно выделить основные факторы, связанные с эксплуатацией крана, воздействие которых на работника может вызвать его заболевание или травму, т.е. вредных и опасных производственных факторов.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						77
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Согласно ГОСТ 12.0.003 – 74 из приведенного перечня опасных и вредных производственных факторов для условий эксплуатации крана можно составить следующий список:

- движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования;
- повышенная запыленность;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума;
- повышенное напряжение в электрической цепи, замыкание которого может произойти через тело человека;
- отсутствие или недостаток естественного света;
- опасные факторы пожара;

5.3 Исключение или уменьшение до безопасных нормативов воздействия на работающих вредных или опасных производственных факторов обеспечит безопасные условия труда при эксплуатации станка. Кроме этого необходимо по ГОСТ 12.0.004 – 79 на предприятии организовать обучение работающих методам безопасного труда, обеспечить всех работающих средствами индивидуальной и коллективной защиты.

5.3.1 Для обучения работающих организована система инструктажей:

- вводный – при приемке на работу;
- первичный – непосредственно на рабочем месте по инструкциям по охране труда;
- повторный - для всех работающих 1 раз в полгода с разбором несчастных случаев и напоминанием правил охраны труда;
- внеплановый – при изменении технологического процесса, при нарушении и при перерыве в работе более 30 дней;
- текущий – для электротехнического персонала перед выполнением ремонтов или наладки станка по наряду – допуску;

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						78
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5.3.2 Работа крана и оборудования цеха сопровождается выделением шума. Уровень шума в непосредственной близости от электродвигателя не превышает 83 дБ в соответствии с ГОСТ 12.1.003 – 83.

Расположение и соединение частей оборудования крана выполнены с учетом удобства и безопасности наблюдения за ним при выполнении сборочных работ, проведения осмотра, испытаний и обслуживания.

5.3.3 Существенное влияние на условия работы оказывает состояние температуры воздуха в рабочей зоне. Для данного цеха, где на каждого работающего приходится площади пола до 100 м² по ГОСТ 12.1.005 – 88 допускается в холодный и переходный периоды года понижение температуры против нормированной до 10⁰ С.

Для работ средней тяжести допустимые нормы:

- температуры 17 ÷ 23⁰С;
- относительная влажность не более 75%;
- скорость движения воздуха 0,3 м\с ;

Диапазон температуры вне рабочих мест составляет 13 ÷ 24⁰С;

Согласно требованиям ГН 2.2.5.552-96 для воздуха рабочей зоны механического цеха допускается содержание пыли от 1 до 5 мг \м³. Для обеспечения этого в цехе используются установки улавливания и механической очистки воздуха от пыли.

5.3.4 Для естественного и искусственного освещения зрительные работы характеризуются следующими свойствами и параметрами:

- характеристика зрительной работы – средней точности;
- наименьший размер объекта различения – 0,5÷1 мм;
- разряд зрительной работы - 4;
- подразряд зрительной работы – а ;
- контрастность объекта с фоном – малая;

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						79
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- характеристика фона – темный;

Согласно СНиП 23-05-95 освещенность рабочего места должна быть 750 лк. Для искусственного освещения используются наиболее экономичные газоразрядные лампы.

5.4 Безопасность при подъёме и перевозке грузов

5.4.1 Перемещение грузов в цехе выполняется механизированным способом мостовыми кранами, что соответствует ГОСТ 12.3.020 – 80 ССБТ. Это снижает возможность возникновения опасной ситуации при которой может произойти авария или несчастный случай.

При перемещении грузов работающие обеспечиваются рукавицами, специальными крючками для разворачивания длинномерных грузов, а также касками согласно требования ГОСТ 17047 – 71 и ГОСТ 12.4.011 – 75.

Места проведения работ должны быть ограждены и оснащены знаками безопасности по ГОСТ 12.4.026-76.

Для безопасного производства работ надзор за краном ведут два лица: одно за механизмом крана, другое за перемещением грузов.

Для правильной организации перемещения грузов в цехе необходимо определить места разгрузки. Порядок складирования и хранения материалов, изделий, приборов и оборудования регламентирован СНиП III-4-80.

При наличии площадей, удобных для разгрузки, на полу обозначается краской граница разгрузочной площадки. Нельзя ставить грузы на местах, где проходят трубные или кабельные каналы, а также по трассам электрических кабелей, нельзя загромождать распределительные щиты и пожарные гидранты.

Крупные детали и ящики необходимо ставить на прокладки с тем, чтобы было возможно легче завести и удалить чалочные канаты.

Высота штабелей грузов не разрешается выше 1,8 м, между каждым рядом деталей или ящиков должны быть прокладки. Ширина проходов между штабелями должна быть не менее 1 м.

				<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
					80
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

При подъеме на кран обе руки крановщика должны быть свободными, чтобы держаться за поручни; инструмент или запасные части должны находиться в сумке, надетой через плечо. Если на кран необходимо поднять материалы, смазочные масла, ветошь и т. п., то из кабины опускают веревку, а к ней подвязывают груз и поднимают его в кабину руками.

При значительных весах грузов — при подъеме тормоза, электродвигателя или другого оборудования после ремонта или для замены применяют ручную таль, обеспечив безопасность места подъема его ограждением. Естественно, что оборудование кранов большой грузоподъемности невозможно или трудно поднять ручной талью, тогда устанавливают на время ремонта электротельфер или применяют другое грузоподъемное приспособление.

Нельзя подниматься по лестнице на кран вдвоем. Когда один поднимается, то другой ожидает внизу и начинает подъем только тогда, когда первый ушел с лестницы на площадку. Вход на кран разрешается только с посадочной площадки. Категорически запрещается переход с одного крана на другой при сближении кранов во время работы, а также выход на подкрановые пути. Перед началом движения всегда надо дать звуковой сигнал, и только после сигнала включить контроллер на первое положение.

Крановщик перед началом смены осматривает все механизмы крана, и только тогда, когда он убедится в полной исправности их, можно начинать работу. Перед включением главного рубильника надо осмотреть подкрановые пути и убедиться в отсутствии на них людей и посторонних предметов.

Выход на галерею подкрановых путей или на мост для осмотра и ремонта разрешается при условии отключения главного рубильника крана.

Настил крана, пол кабины должны быть чистыми. Пролитое или вытекшее из редуктора масло представляет большую опасность: человек, ступивший в масло, может поскользнуться и упасть в пролет, где ходит тележка. Масло необходимо немедленно удалить, засыпав его сначала опилками или песком, масляное пятно окончательно вытереть ветошью.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						81
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Чистка и смазка механизмов на ходу, всякое исправление и закрепление болтов, гаек, шплинтов и т. п. категорически запрещаются. Все находящиеся в движении части: зубчатые колеса, трансмиссионные валы, соединительные муфты и т. п. должны быть закрыты кожухами, которые можно легко снять для осмотра и ремонта.

Во время работы запрещается находиться у движущихся механизмов на мосту крана, но иногда для определения качества работы при испытании механизма на мосту крана может находиться слесарь или электрик.

Нельзя возить груз над людьми, а над оборудованием его надо поднимать на 0,5 м, чтобы не задеть его.

При подъеме груза надо внимательно следить за тем, чтобы канат, раскачиваясь, не мог задеть за главные троллеи, что повлечет за собой короткое замыкание их через канат на землю, повреждение возникающей электрической дугой каната и непригодность его к дальнейшей работе. Канаты и стропы должны соответствовать ГОСТ 1050-74, ГОСТ 25573-82, ГОСТ 7668-80.

Нельзя пользоваться конечными выключателями для остановки механизма. Эти выключатели должны останавливать механизм только в тех случаях, когда крановщик по тем или иным причинам не отключил своевременно механизм (правила по кранам и СТ СЭВ 725-77).

На кране одним из опасных факторов является наличие вращающихся частей оборудования. Вращающиеся части электрических машин закрыты ограждениями. На двигателях установлены таблички в соответствии с ГОСТ 12.4.027 – 76 информирующие о направлении вращения двигателей и кожухи вентиляторов окрашены в красный цвет.

5.5 Электробезопасность

5.5.1 Электрооборудование кабины управления.

Состав электрооборудования кабины управления:

- Пульт управления

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						82
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- Система освещения
- Система поддержания климатических условий

5.5.2 Кабина управления должна быть оборудована системами для подогрева и охлаждения воздуха, обеспечивающими комфортные условия для оператора, в соответствии с гигиеническими требованиями к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4.548-96.

5.5.3 Требования к пульту управления:

- пульт управления должен предусматривать работу оператора сидя;
- на пульте должна быть установлена панель оператора, обеспечивающая выдачу сведений о работе систем крана, настройку регулировочных параметров, проведение действий, необходимых для сервисных и аварийных процедур;
- органы управления приводами подъемов должны предусматривать работу правой рукой, а приводов передвижения главной и вспомогательной грузовых тележек и крана – левой рукой;
- рукоятки органов управления должны иметь легкую фиксацию в точках, соответствующих 4 ступени регулирования, и самовозврат в «нулевое» положение;
- привод каждого механизма должен иметь свой орган управления.

На пульте должны быть установлены:

- командоконтроллеры (джойстики), которые осуществляют управление приводами;
- ключ-марка;
- грибовидная кнопка «Стоп» красного цвета, фиксирующаяся в выключенном положении;
- кнопка звукового сигнала;
- контроль готовности приводов;
- контроль включения линейного контактора;
- устройство звуковой сигнализации (для информации крановщику о нештатной ситуации);

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

-световая индикация (если она установлена) и устройство проверки ее работоспособности;

Все требования должны соответствовать ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ, ГОСТ 12.4.026-78 ССБТ.

Пульт управления должен быть расположен в таком месте, чтобы крановщик мог наблюдать за грузозахватным органом и грузом в течение полного цикла работы крана и должен состоять из устройств управления для всех рабочих движений механизмов крана и операторской панели, обеспечивающей отображение состояния всех основных элементов системы и регистрацию необходимой информации. На пульте управления краном необходимо предусмотреть орган включения звукового сигнала.

Аппараты пульта управления, направление перемещения рукояток и рычагов, условное обозначение направлений вызываемых движений должны соответствовать требованиям ПБ 10-382-00 и ГОСТ 27584-88.

Пульт должен быть укомплектован поворотным креслом оператора с регулировкой положения по высоте и вдоль продольной оси кабины.

Пульт управления должен быть оборудован педалью подачи звукового сигнала.

5.5.4 Требования к степени защиты.

Конструктивные элементы электрооборудования и стемы управления, устанавливаемые на кране, должно иметь степень защиты не ниже IP54.

Требования к электроснабжению:

- электропитание электрооборудования крана должно осуществляться от источника надежного питания переменного тока ЗАС N+PE напряжением 380В ($\pm 10\%$), частотой 50Гц ($\pm 0,1$ Гц) с глухозаземленной нейтралью. Качество электроэнергии должно соответствовать ПУЭ и ГОСТ 13109;
- исходные данные на проектирование токоподвода к крану и требования по установке элементов системы подавления помех со стороны питающей

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						84
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

сети должны быть дополнительно разработаны и согласованы с Заказчиком;

- напряжение цепей управления:

переменное 220В ($\pm 10\%$) АС (допускается 220В DC, 380В АС);
постоянное 24В DC;

- питание на электрооборудование крана должно подаваться через вводное устройство;

- электроприводы должны сохранять работоспособность (без поддержания нормируемых параметров) при кратковременном (до 60 с) снижении напряжения питания до 80% номинального значения при номинальной частоте сети и номинальной нагрузке двигателя;

- кратковременное (до 0,1 сек) пропадание одной из фаз не должно вызывать сбоев в работе приводов там, где это технически возможно;

- СУ и панель оператора должны сохранять рабочее состояние при кратковременных (менее 1сек) пропаданиях питающего напряжения.

5.5.5 Требования к токоподводам:

- токоподвод к крану троллейный закрытого типа (пять троллей, на каждой троллее не менее 2-х токосъемников);

- после троллейных токосъемников должны быть установлены нелинейная защита от высоковольтных импульсов (разрядники либо варисторы) и фильтры подавления ЭМП;

- токоподвод к грузовым тележкам должен быть выполнен гибким экранированным кабелем в виде гирлянды;

- прокладка силовых и сигнальных кабелей производится в металлических трубах (в соотв. с ПУЭ 5.4.45, 5.4.46).

Выбор и монтаж электрооборудования, электропроводки должен быть выполнен в соответствии с ГОСТ 30331.15-2001.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						85
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5.5.6 Требования к кабельной продукции.

Силовые кабели:

- допустимая температура нагрева жилы не более 90°C;
- жилы должны быть медными, многопроволочными;
- кабели должны быть гибкими;
- кабели должны быть сертифицированы и соответствовать требованиям МЭК 60502-1;
- кабели должны быть гибкими четырехжильными экранированными.

Контрольные кабели:

- допустимая температура нагрева жилы не более 70°C;
- Кабель должен быть экранированным; жилы должны быть медными многопроволочными сечением 1...2,5 мм²;
- кабели должны быть гибкими;
- кабели должны быть сертифицированы и соответствовать требованиям МЭК 60502-1;
- кабели должны быть гибкими;
- кабели с витой парой должны соответствовать МЭК 60502-1.

Кабельные принадлежности должны иметь наконечники, оконцеватели для маркировки жил кабелей и самих кабелей, фиксаторы, материалы для маркировки.

5.5.7 Требования к преобразователям частоты.

-для управления двигателями должны быть применены комплектные статические полупроводниковые преобразователи частоты, размещенные в необходимом количестве шкафов;

- применяемые преобразователи должны быть сертифицированы для использования в подъемно-транспортном оборудовании;

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						86
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

-преобразователи частоты, работающие в схеме главного и вспомогательного подъемов должны обеспечивать режим нулевой скорости при максимальной нагрузке каждого подъема (режим зависания груза без участия тормозных устройств);

- выбор мощностей преобразовательных устройств должен быть обоснован и согласован;
- номинальные характеристики преобразовательных устройств соответствуют динамическим и статическим характеристикам двигателей. Гарантируется надежная эксплуатация при колебании напряжения сети $\pm 10\%$, во всех режимах работы. Работа систем управления гарантируется при колебаниях напряжения $\pm 10-15\%$;
- все входящее в преобразователи оборудование должно быть термически и динамически устойчиво во всех аварийных режимах;
- способ утилизации возвратной электроэнергии должен быть обоснован и согласован с заказчиком.

Преобразовательные устройства должны иметь следующие устройства защиты:

- защиту от внутренних коротких замыканий;
 - максимально-токовую защиту;
 - защиту от внутренних неисправностей элементов схемы и несоответствия режимов;
 - защиту от «провалов» напряжения;
 - защиту от токов короткого замыкания и от перегруза;
 - защиту от перенапряжений внешней сети, внутренних перенапряжений;
 - защиту от нарушения воздушного охлаждения.
- частотные преобразователи должны быть оборудованы операторскими сервисными панелями, которые обеспечивают отображении информации

по диагностике неисправностей, текущих параметрах электропривода, готовности к включению, наличию питающих напряжений и пр.;

- диапазон регулирования частоты не ниже 1:10;
- статическая ошибка скорости не более 1%.

5.5.8 Требования безопасности к электрооборудованию

Электрооборудование крана, его установка, защитное заземление, изоляция, блокировка должны соответствовать требованиям «Правил устройства электроустановок» и «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и правил технической безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», ГОСТ 12.1.004-91 и ГОСТ 12.2.003-91.

Механизмы крана должны быть оборудованы тормозами, ограничителями рабочих движений – концевыми выключателями и другими блокировочными устройствами согласно ПБ 10-382-00.

Механизмы подъемов должны быть оснащены ограничителями грузоподъемности в соответствии с требованиями РД-10-118-96 «Основные требования безопасности к ограничителям грузоподъемности мостовых и козловых кранов».

ЭО и СУ должны обеспечивать:

- защиту от поражения электрическим током при прикосновении к токоведущим частям (выполнить кожухами и крышками, снятие которых возможно только при помощи инструментов);
- защиту от поражения электрическим током к нетоковедущим частям в случае, если они окажутся под напряжением;
- работу блокировок и приборов безопасности при всех режимах управления;
- отключение электродвигателей при исчезновении напряжения и исключении самопроизвольного запуска при появлении напряжения;

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						88
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- наличие заземления.
- заземление электроприемников (электродвигателей, тормозов и т.п.) должно выполняться заземляющей жилой питающего кабеля. Дополнительной мерой является присоединение корпуса электроприемника к заземленной металлоконструкции крана.
- заземляющие проводники и заземляющие устройства должны соответствовать ГОСТ 30331.10-2001.
- заземление аппаратов цепей управления, сигнализации, освещения, диагностики и т.п. следует выполнять с помощью заземляющих жил в каждом магистральном многожильном кабеле и жилы заземления в кабеле ответвления к аппарату.

На шкафах управления, съемных панелях (крышках) пультов управления, крышках шкафов соединительных и других электротехнических устройств должны быть нанесены предупредительные знаки, символы, надписи.

Электрическое сопротивление изоляции ЭО и СУ должно соответствовать значениям, указанным в технической документации на оборудование.

Контроль изоляции цепи 380 В осуществляется периодически при отключенной установке. При этом измеряется сопротивление изоляции отдельных участков сети, трансформаторов, электрических аппаратов, двигателя. Измеряются сопротивление каждой фазы относительно земли защитным аппаратом.

Нормальным сопротивлением изоляции кабеля ниже 1000 В считается 0,5 МОм, измерения производятся мегомметром на напряжение 1000 В.

Контроль изоляции сети между двигателем и тиристорным преобразователем, а также сети напряжением 380 В осуществляется постоянно, так как повреждение и пробой изоляции приводит к возникновению повышенной опасности поражения человека электрическим током. Отсчет сопротивления изоляции производят по шкале прибора. При снижении сопротивления изоляции

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

до предельно допустимого уровня 0,25 МОм прибор подает звуковой и световой сигналы.

Защитное отключение обеспечивает отключение установки при возникновении аварийных режимов.

Контроль напряжения на корпусе трансформатора, преобразователя, двигателя осуществляется с помощью схемы, реагирующей на напряжение корпуса относительно земли. В схемах этого типа датчиком служит реле напряжения, включенное между корпусом и вспомогательным заземлителем. Схема осуществляет защиту от глухих замыканий на землю и пригодна в сетях с изолированной и заземленной нейтралью

Для контроля напряжения фазы относительно земли используют схему, где датчики включены между фазами и землей и измеряют напряжение фаз относительно земли, близкие в номинальном режиме к фазовым напряжениям источника питания. При повреждении изоляции фазы напряжение этой фазы относительно земли уменьшится. Если напряжение этой фазы окажется ниже уставки, то сеть отключается. Отключение произойдет и при обрыве цепи любого реле. Таким образом осуществляется самоконтроль.

Достоинством схемы является четкое срабатывание при глухом замыкании на землю независимо от сопротивления изоляции и емкости сети, а также самоконтроль схемы.

Для защиты преобразователя от режима короткого замыкания в кабельной линии, питающей двигатель, применен автоматический выключатель, разрывающий цепь при замыкании любой из линий на землю или между собой.

При срабатывании любой из перечисленных защит обеспечена световая сигнализация, свидетельствующая о неисправности той или иной части установки.

5.5.9 Все работы в электроустановках должны проводиться при соблюдении организационных и технических мероприятий.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						90
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Организационные мероприятия по обеспечению безопасности производства работ в электроустановках являются следующие:

оформление работы нарядом или распоряжением;

оформление в наряде допуска к работе;

надзор во время работы;

оформление в наряде окончания работы;

закрытие наряда.

5.5.10 Техническими мероприятиями по обеспечению безопасности работ являются:

- отключение ремонтируемого электрооборудования и принятие мер против ошибочного его включения;

- установка временных ограждений токоведущих частей и вывешивание запрещающих плакатов “Не включать - работают люди” или “Не включать - работы на линии”;

- присоединение переносного заземления к заземляющей шине стационарного заземляющего устройства и проверка отсутствия напряжения на токоведущих частях, которые для безопасности производства работ подлежат замыканию накоротко и заземлению;

- наложение переносных заземлений на отключенные токоведущие части электропривода сразу после проверки отсутствия напряжения или включение специальных заземляющих разъединителей;

- ограждение рабочего места и вывешивание на ограждении разрешающую надпись “Работать здесь”.

Эти технические мероприятия выполняет допущенный к работе из числа оперативного ремонтного персонала с квалификационной группой не ниже III по разрешению лица, отдающего распоряжение на производство работ.

Право выдачи нарядов и распоряжений на производство работ в электроустановках представляется лицам электротехнического персонала, уполномоченным на это специальными распоряжениями главного энергетика комбината. Эти лица должны иметь квалификационную группу не ниже IV.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						91
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для предотвращения аварий работы по срочному устранению неисправностей выполняются оперативно - ремонтным персоналом без наряда. Безопасность работы в электроустановках обеспечивается применением электротехнических средств защиты.

При работе с электрическими цепями напряжением до 1000 В применяются следующие основные защитные средства:

- диэлектрические перчатки;
- измерительные оперативные штанги;
- электроизмерительные клещи;
- указатели напряжения;
- слесарно - монтажный инструмент.

К дополнительным защитным средствам в электроустановках ниже 1000 В относят галоши, резиновые коврики, изолирующие подставки.

Все электротехнические защитные средства периодически проходят проверку и на них указывается срок безопасного применения.

5.6 Пожарная безопасность

При работе крана применяются нефтепродукты, которые при определенных условиях могут загореться (машинное масло для смазки механизмов, керосин для промывки подшипников и очистки механизмов от старой смазки и т. п.). Обтирочные концы и ветошь, пропитанные маслом, могут самовоспламеняться при хранении более 8 ч. Поэтому создавать на кране запасы смазочного масла, керосина и обтирочных концов не рекомендуется, а использованные грязные концы немедленно удалять с крана. Для чистки механизмов запрещается применять бензин, ацетон и другие легковоспламеняющиеся жидкости, имеющие технологическое применение в цехах, а следует заменять их керосином. Чистку механизмов керосином надо производить только при отключенном главном рубильнике, чтобы не могло произойти электрической вспышки.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						92
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Освещение места ремонтных работ должно быть только электрическим, обычно у посадочной площадки имеется достаточное общее освещение. Применение спичек, факелов или фитилей полностью исключается. Даже пары керосина при температуре воздуха в цехе 30—35° С, что бывает летом во многих цехах, воспламеняются очень легко от спички.

Для крановщика пожар на кране особенно опасен — нет пути для отступления при развитии пожара и помощь ему трудно оказывать из-за большой высоты крана. Пожары на кранах иногда бывают из-за неисправностей электрооборудования.

Чаще всего горят обмотки тормозных электромагнитов переменного тока, перегревающиеся при неплотном соединении якоря магнита с сердечником.

Реже горят обмотки электродвигателей. Но такие пожары, имеющие малый объем и малые границы, длятся 2—3 с и гаснут сами при отключении тока.

Для тушения возникшего пожара на кране применяется сухой огнетушитель типа ОУ-2, имеющий стальной баллон с углекислым газом, сжатым до 170 атм. Стальной баллон огнетушителя емкостью 2 л испытан на давление 225 атм. Масса заряда огнетушителя 1,5 кг, полная масса огнетушителя с зарядом и кронштейном около 7 кг, время интенсивного действия огнетушителя при температуре 20° С 25—30 с. по ГОСТ 12.4.009-83 ССБ.

Нельзя допускать прямой нагрев баллона источниками теплоты, чтобы избежать повышения давления в баллоне, разрыва предохранительной мембраны и преждевременного выброса углекислого газа.

При любом воспламенении на кране крановщик обязан немедленно отключить главный рубильник и приступить к тушению огня.

Курение на кране, как в кабине так и на мосту, запрещается.

Пожарная безопасность может быть обеспечена мерами пожарной профилактики и активной пожарной защиты. Возможный источник пожара – сеть 380В.

В соответствии с правилами пожарной безопасности в Российской Федерации пожары горючих веществ и материалов в запираемом помещении или

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						93
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

на объекте, согласно ИСО № 3941 – 77, относятся к классу Е – пожары, связанные с горением электроустановок. Помещения, оборудованные стационарными установками, обеспечивают огнетушителями на 50% из расчетного количества.

Для обеспечения противопожарной безопасности проводится ряд организационно – технических и режимных мероприятий:

- назначаются ответственные за противопожарное состояние помещения;
- разрабатываются меры на случай возникновения пожара и план эвакуации сотрудников и имущества;
- не допускается загромождение помещений;
- план здания предусматривает безопасную эвакуацию людей, которые должны покинуть здание при возникновении пожара в минимальное время;
- двери, предназначенные для эвакуации, должны открываться в сторону выхода из здания;
- в помещении находятся средства тушения: пожарные краны или огнетушители.

				<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
					94
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе был проведён расчёт параметров и выбор преобразователя частоты для системы управления электроприводом тележки мостового крана. В ходе расчётов для электропривода тележки мостового крана было принято решение о сохранении существующего асинхронного электродвигателя MTF(H)–112L6, мощностью $P_n = 2.2$ кВт. В качестве системы управления электроприводом был выбран преобразователь частоты типа Unidrive SP 1405, в данном преобразователе согласно предъявляемым технологическим требованиям реализуется поддержание скорости при изменении нагрузки и плавность пуска.

В качестве системы автоматизации применяется программируемый контроллер OMRON, с помощью которого реализуется требуемый алгоритм работы. Применение данного программируемого контроллера позволяет контролировать процесс работы и сократить время на поиск неисправностей.

В разделе, рассматривающем вопросы по охране труда, были предусмотрены меры безопасности при проведении различных работ при работе с грузоподъемными механизмами.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						95
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Литература

1. Правило устройства электроустановок. -М. Энергоатомиздат, 1987 г.
2. Шалаев. Г. А. Производство агломерата. Технология. Оборудование. Автоматизация. Серия: Metallургическое оборудование. - Екатеринбург. Уральский центр ПР и рекламы – «Марат», 2004г.
3. Двигатели асинхронные трёхфазные краново-металлургической серии МТФ, МТКФ, МТН, МТКН: НК 01.30.01-82.- М. Информэлектро, 1985 г.
4. Теория электропривода: Учебное пособие к курсовому проектированию/ Г.И.Драчев.- Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2002- 137с.
5. Анфимов. М. И. Редукторы: конструкция и расчёт: Альбом. – М. Машиностроение, 1993 г.
6. Программируемый контроллер OMRON. Руководство по работе и программированию.
7. Усынин. Ю. С. Системы управления электроприводов. – Челябинск. Издательство ЮУрГУ, 2001. – 343 с.
8. Шинянский.А .В. Справочник по автоматизированному электроприводу. – М. Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
9. Средства автоматизации в металлургии. Источники питания. Блок питания БП 399. – Екатеринбург.: ЗАО УРАЛЧЕРМЕТАВТОМАТИКА ЛТД.
10. Вешеневский. С. Н. Характеристики двигателей в электроприводе. – М. «Энергия», 1977 г.
11. Москаленко. В. В. Автоматизированный электропривод. – М. Энергоатомиздат, 1986.
12. Борисов. А. М., Лях. Н. Е. Автоматизация технологических процессов. Учебное пособие: - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2001. – Часть 1. – 404 с.
13. Сетевые методы планирования и управления. Методические указания к лабораторным работам. Челябинск, ЧГТУ, 1998
14. Экономическое обоснование дипломных проектов для конструкторских специальностей. Челябинск, ЧПИ, 1983

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.13-153. ПЗ</i>	Лист
						96
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		