

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

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

_____ К.М. Виноградов
« ____ » _____ 2020 г.

Модернизация электрического привода передвижения тележки
мостового крана котлов утилизаторов КУ-125,5 -6 ЦМП-2 ПАО «Комбинат
Магнезит»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 13.03.02.2020.063.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы,
преподаватель

_____ С.В. Борисов
« ____ » _____ 2020 г.

Автор
студент группы ДО-503

_____ Э.А. Гафаров
« ____ » _____ 2020 г.

Нормоконтроллер,
преподаватель

_____ О.С. Микерина
« ____ » _____ 2020г.

Челябинск 2020

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

Направление 13.03.02. Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Техники, технологий и строительства

УТВЕРЖДАЮ
Зав. Кафедрой

_____/Виноградов К.М./

2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента

Гафарова Эдуарда Абдельхаковича

Группа: ДО-503

1. Тема работы Модернизация электрического привода передвижения тележки мостового крана котлов утилизаторов КУ-125,5 -6 ЦМП-2 ПАО «Комбинат Магнезит»
утверждена приказом ректора от «24» апреля 2020 г. №627
2. Срок сдачи студентом законченной работы 03 июля 2020г.
3. Исходные данные к работе
 - 3.1 Материал преддипломной практики
 - 3.2 Справочно-техническая литература
 - 3.3 Инструкции по оборудованию

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

Аннотация

Оглавление

Введение

4.1 Сравнение зарубежных и отечественных передовых технологий и решений. Выводы по главе.

4.2 Технологический раздел. Анализ технологического существующего процесса. Разработка предлагаемого варианта технологического процесса.. Расчет режимов резания и нормирование технологического процесса. Выводы по главе.

4.3 Краткая характеристика места работы крана. Выводы по главе.

4.4 Выбор электропривода. Анализ электроприводов постоянного тока. Анализ электроприводов переменного тока. Выводы по главе.

4.5 Разработка моментов статистических сопротивлений предварительный расчет мощности электропривода. Выбор двигателя. Определение передаточного числа и предварительный выбор редуктора. Расчет приведенных моментов инерции и коэффициентов жёсткости. Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности. Выводы по главе.

4.6 Выбор преобразователя частоты. Обзор преобразователя частоты. Режим работы, Дополнительные функции. Схема соединения силовых цепей и цепей управления преобразователя частоты UnidriveSP2401. Выводы по главе.

4.7 Исследование характеристик электропривода. Расчет естественных характеристик двигателя. Расчет параметров схем включения двигателя, обеспечивающих работу в заданных точках. Расчет параметров схем включения, обеспечивающих пуск и торможение двигателя. Составление структурной схемы электропривода и расчет ее параметров. Расчет переходных процессов и построение нагрузочных диаграмм электропривода. Проверка электропривода на заданную производительность, по нагреву и перегрузочной способности двигателя и преобразователя. Вывод по главе.

4.8 Настройка электропривода. Вывод по главе.

4.9 Разработка электрической принципиальной схемы. Вывод по главе.

4.10 Экономическая часть. Вывод по главе.

4.11 Безопасность жизни деятельности. Выводы по главе.

Заключение

Библиографический список

5. Перечень графического материала

1 Электропривод перемещения тележки Вид общий	1,0 л
2 Нагрузочная диаграмма и тахограмма двигателя	1,0 л
3 Электропривод тележки схема электрическая принципиальная	1,0 л
4 Схема электрическая структурная с САУ	1,0 л
5 Электрооборудование крана, работающее через частотный преобразователь	1,0 л
6 Таблица затрат на модернизацию привода перемещения тележки мостового крана	1,0 л
7 Вывод по выпускной квалифицированной работе	1,0 л

Всего 7,0 листов

6. Консультанты по работе, с указанием относящихся к ним разделов работы

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал (консультант)	Задание принял (студент)

7. Дата выдачи задания _____

Руководитель _____ Борисов С.В.
(подпись)

Задание принял к исполнению _____ Гафаров Э.А.
(подпись студента)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении
Сравнение отечественных и зарубежных технологий	16.03.20-18.03.20	
Описание технологического процесса	19.04.20-23.04.20	
Краткая характеристика места работы крана	24.04.20-30.04.20	
Выбор типа электропривода	07.05.20-08.05.20	
Расчет моментов статистических сопротивлений и предварительный расчет мощности электропривода	11.05.20-14.05.20	
Выбор преобразователя частоты	15.05.20-19.05.20	
Исследование характеристики электропривода	20.05.20-26.05.20	
Настройка электропривода	27.05.20-02.06.20	
Разработка электрической принципиальной схемы	03.06.20-07.06.20	
Экономическая часть	08.06.20-19.06.20	
Безопасность жизни деятельности	22.06.20-28.06.20	

Зав. кафедрой _____ /К.М. Виноградов/

(подпись)

Руководитель работы _____ /С.В. Борисов/

(подпись)

Студент-дипломник _____ /Э.А. Гафаров/

(подпись)

АННОТАЦИЯ

Гафаров Э.А. Электрический привод передвижение тележки мостового крана котлов утилизаторов, ЦМП-2 – ПАО «Комбинат Магнезит». – Челябинск: ЮУрГУ, ТТС, 2020г., 80с., 23илл. табл 19, библиографический список – 17 наименований Э.А. Графическая часть 7 листов А1.

В ходе выпускной квалификационной работы была произведена модернизация электрического привода передвижения тележки мостового крана, расположенного на котлах утилизаторах ЦМП-2 – ПАО «Комбинат «Магнезит».

Выбрано электрооборудование системы управления электроприводом, включающее в себя асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором типа 4МТКФ(Н) 112LB6, преобразователь частоты UnidriveSP 2401, силовое и вспомогательное оборудование. Разработана электрическая принципиальная схема механизма передвижения тележки крана.

В экономической части дипломной работы произведен расчет затрат на проектирование и монтаж электропривода механизма передвижения тележки крана.

Приведены вопросы безопасности жизнедеятельности, в которых рассмотрены показатели надежности и безопасности при монтаже и эксплуатации электрооборудования механизма передвижения тележки мостового крана.

С помощью графического редактора Компас, выполнена графическая часть работы, презентация создана в программе PowerPoint.

					13.03.02.2020.063.00 ПЗ ВКР			
Изм.	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	Электрический привод передвижение тележки мостового крана котлов утилизаторов ЦМП-2 – ПАО «Комбинат Магнезит»	Лит.	Лист	Листов
Разработал	Исполнил	Гафаров Э.А.				вкл	6	80
Проверил		Борисов С.В.				ЮУрГУ г. Челябинск каф. ТТС		
Рецензент								
Н. контр		Микерина О.С.						
Утвердил		Виноградов К.М.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1 СРАВНЕНИЕ ЗАРУБЕЖНЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ	11
2 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	16
2.1 Общие сведения.....	17
2.2 Описание конструкции крана.....	18
2.3 Описание рабочей машины и её технологического процесса.....	20
2.4 Технологические требования к электроприводу.....	21
3 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТА РАБОТЫ КРАНА.....	24
4 ВЫБОР ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	25
4.1 Анализ электроприводов постоянного тока.....	25
4.2 Анализ электроприводов переменного тока.....	25
5 РАСЧЕТ МОМЕНТОВ СТАТИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ...	26
5.1 Выбор электродвигателя.....	30
5.2 Определение передаточного числа и предварительный выбор редуктора.....	31
5.3 Расчет приведенных статических моментов.....	32
5.4 Расчет приведенных моментов инерции и коэффициентов жесткости.....	34
5.5 Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности.....	36
6 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ.....	40
6.1 Обзор преобразователя частоты.....	40
6.2 Режимы работы.....	41
6.3 Дополнительные функции.....	41
6.4 Схема соединения силовых цепей и цепей управления преобразователя частоты UnidriveSP2401.....	43
7 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	45
7.1 Расчет естественных характеристик двигателя.....	45
7.2 Расчет параметров схем включения двигателя, обеспечивающих работу в заданных точках.....	47
7.3 Расчет параметров схем включения, обеспечивающих пуск и торможение двигателя.....	51
7.4 Составление структурной схемы электропривода и расчет ее параметров.....	52
7.5 Расчет переходных процессов и построения нагрузочных диаграмм электропривода.....	56
7.6 Проверка электропривода на заданную производительность, по нагреву и перегрузочной способности двигателя и преобразователя.....	56
8 НАСТРОЙКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	59
9 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ.....	61

10 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	63
11 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	79
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	80

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время наметилась устойчивая тенденция к применению частотно-регулируемых электроприводов в крановом хозяйстве на предприятиях и за их пределами, как в России, так и за рубежом. Это обстоятельство объясняется следующим. Использование регулируемых приводов в крановом хозяйстве позволяет значительно повысить комфортные показатели работы крана в части ускорения. В свою очередь, обеспечиваемые частотно - регулируемым приводом плавные переходные процессы приводят к значительному снижению динамических нагрузок в элементах кинематической цепи привода, что позволяет повысить надежность и долговечность работы механического оборудования крана, отпадает необходимость замены редуктора, канатоведущего барабана, тормозных колодок, электродвигателя и других элементов при модернизации кранов.

Основной причиной широкого применения регулируемого привода в крановом хозяйстве является снижение энергопотребления при работе крана на 40– 60%, которое достигается за счет значительного снижения вращающихся маховых масс лебедки главного подъема .

Применение частотно – регулируемых преобразователей позволяет использовать асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором общего назначения, а не специализированные асинхронные двигатели с фазным ротором. Маховый момент ротора таких двигателей в разы меньше аналогичных крановых асинхронных двигателей с фазным ротором, а стоимость их снижается в 3-4 раза по сравнению с крановыми двигателями, специальной серии.

Таким образом, экономический эффект от внедрения частотно– регулируемого электропривода складывается из экономии электроэнергии и снижения эксплуатационных затрат.

Срок окупаемости в зависимости от грузоподъемности и интенсивности работы крана составляет от 3 до 8 лет (меньшая цифра соответствует большей грузоподъемности и интенсивности).

Для более точной оценки экономической и технологической эффективности внедрения частотно– регулируемого электропривода предлагается оснастить таким электроприводом один из кранов и экспериментально замерить расход электроэнергии до и после внедрения, а также оценить динамические нагрузки, удобство в управлении и другие технические параметры крана. Наиболее важное значение для успешного проведения этой работы имеет правильный выбор преобразователя частоты, как по его техническим параметрам, так и по маркетинговым соображениям, с учетом опыта использования преобразователей другими предприятиями.

Стоимость предлагаемого проекта состоит из стоимости нового электрооборудования (преобразователя частоты с тормозным резистором), стоимости работ по проектированию, монтажу, настройке и наладке электропривода крана, проведения исследовательских работ по оценке его

технико-экономических показателей и экономической эффективности.

Экономический эффект от внедрения частотно– регулируемого электропривода складывается за счет снижения эксплуатационных затрат Теплосилового цеха ПАО «Комбинат» Магnezит».

Цель работы – снижение эксплуатационных затрат и экономии электроэнергии Теплосилового цеха ПАО «Комбинат» Магnezит».

Предстоит решить следующие задачи:

- сравнить передовые отечественные и зарубежные решения;
- изучить условия работы электропривода мостового крана;
- привести описание технологического процесса использования крана;
- рассчитать мощность электродвигателя;
- выбрать преобразователь частоты;
- разработать математическую модель электропривода и рассчитать характеристики;
- дать технико– экономические обоснование модернизации.

Предмет – электропривод тележки мостового крана Теплосилового цеха ПАО «Комбинат» Магnezит».

Объект – мостовой кран Теплосилового цеха ПАО «Комбинат» Магnezит».

1 СРАВНЕНИЕ ЗАРУБЕЖНЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

UNIDRIVESP 2404 – это семейство инверторов с промежуточным контуром постоянного напряжения для регулируемых электродвигателей переменного тока.

Векторное управление без датчиков позволяет инвертору определять требуемые изменения выходного напряжения и частоты для поддержания необходимой скорости вращения двигателя, обеспечивая улучшенное управление потоком сцеплением и эффективность.

Инверторы управляются микропроцессором. Специальный метод широтно-импульсной модуляции обеспечивает плавную или ступенчатую характеристику работы двигателя. Защита инвертора обеспечена различными защитными функциями.

Таблица 1.1 – Основные характеристики преобразователей

Тип преобразователя		UnidriveSP 2401	Altivar	КЕВ (Сибирь-мехатроника)	Omron
Диапазон мощностей, кВт	3 фазы 380-480 В	0.4-630 (710 для 1.0)	0.75-560	0.4-15	0.4-4
	1 фаза 200-240 В	-	-	0.1 -2.2	0.1 -2.2
Перегрузка по току Режимы нагрузки: НО: мощность ПЧ равна мощности двигателя : мощность ПЧ на ступень ниже мощности двигателя		Тяжелый режим НО. 200% - 3 сек, 150% - 60 сек Легкий режим 1_0 120%-60 сек	120%-60 сек	200% - 0.5 сек, 150% -60 сек	200% - 0.5 сек, 150%-60 сек
Пусковой момент		200% с 0.3 Гц (НО)	100%	200% с 0.5 Гц	150% с 5 Гц
Максимальная частота (Гц)		500	120	400	400
Управление	U/f - управление	•	•	•	•
	Автоматическое энергосбережение	•	•	•	•
	Автоматический подъем момента	•	•	•	•
	Векторное управление динамическим моментом	•	-	•	-
	Бездатчиковое векторное управление с расчетной ОС	•	-	-	-
	Векторное управление с обратной связью	•	-	-	-

Окончание таблица 1.1

Тип преобразователя		UnidriveSP 2401	Alti var	КЕВ (Сибирь- мехатроника)	Omro n
Управле ние	-	• (порт 2)	• (по рт 2)	•	
Клеммы дополнительного питания платы управления (1 x 380В)		ProfibusDP, CAN Open, Device Net, CC Link, T-Link	Prof ibusDP, LonWo rks.	ProfibusDP, Device Net, CC Link	-

Таблица 1.2 – Управление запуском, остановом и заданием частоты

Тип преобразователя			UnidriveSP 2401	Altivar	КЕВ (Сибирь- мехатроника)	Omron
Команды запуска	Клавиатура пульта управления	Клавиши Вперед/Назад/Стоп (FWD/REV/STOP) (Ограничение направления вращения - функция H08)	Опция (TP-G1)	Опция (TP-G1)	Опция (TP-G1)	-
		Клавиши Работа/Стоп (RUN/STOP). Направление вращения фиксировано.	•	•	•	•
		Клавиши Работа/Стоп (RUN/STOP). Направление вращения задается клеммами ПУО, РЕУ	•	•	•	
	Входные команды FWD, REV		•	•	•	•
	3-х-проводный пуск (кнопка Стоп) (команда входа HLD)		•	•	•	•
	Входные команды FWD2, REV2		-	•	-	-

Окончание таблицы 1.2

Тип преобразователя		UnidriveSP 2401	Altivar	КЕВ (Сибирь-мехатроника)	Omron
Переключение источника команд запуска	Интерфейс RS-485 (независимо от задания частоты)	•	•	•	Опция
	Полевая шина (независимо от задания частоты)	Опция	Опция	Опция	-
	Переключение на команды FWD2, REV2 (команда входа FR2/FR1)	-	•	-	-
	Переключение на управление по RS-485 или полевую шину (изменение кодов H30, y98 по интерфейсу)	•	•	•	•

Таблица 1.3–Функции управления и работы

Тип преобразователя		UnidriveSP 2401	Altivar	КЕВ (Сибирь-мехатроника)	Omron
Настройка вольт-частотной характеристики (U/f)	Максимальная частота	25.0-500 Гц	4 25.0-120 Гц	4 25.0-400 Гц.	4 25.0-400 Гц
	Базовая частота	25.0-500 Гц.	25.0-120 Гц	4 25.0-400 Гц.	4 25.0-400 Гц
	Напряжение на базовой частоте (с AVR)	160-500 В	160-500 В	80-240 В / 160-500 В	80-240 В / 160-500 В
	Напряжение на максимальной частоте (с AVR)	160-500 В		80-240 В / 160-500 В	-
	Нелинейная U/f характеристика (кол-во точек перелома характеристики)	3	1	2	1
	Выбор типа характеристики: линейная или квадратичная	•	•	•	•
	Ручной подъем момента (подъем напряжения в точке U/f-хар-ки 0 Гц)	0.0-20%	0.0-20%	0.0-20%	0.0-20%
	Автоматическое энергосбережение	•	•	•	•
	Автоматический подъем момента	•	•	•	•
	Компенсация скольжения	•	-	•	•

Продолжение таблицы 1.3

Тип преобразователя		UnidriveSP 2401	Altivar	КЕВ (Сибирь-мехатроника)	Omron	
Автоматические режимы управления:	Векторное управление динамическим моментом (оптимизация векторов напряжения и тока в функции момента)	•	-	•	-	
	Векторное управление динамическим моментом с датчиком скорости	с платой PG		с платой PG		
	Векторное управление скоростью (управление вектором тока)	без датчика скорости (расчетная ОС)	•	-	-	-
		с датчиком скорости	с платой PG		-	-
	Ограничение момента в двигательном и генераторном (тормозном) режиме	•	-	•	-	
	Автонастройка параметров двигателя (статическая или динамическая)	•	•	•	-	
	Он-лайн автонастройка (компенсация изменения параметров от температуры)		-	•	-	
Компенсация скольжения	Раздельные коэффициенты компенсации скольжения для двигательного и генераторного режимов	•	-	•	-	
	Выбор условий активации компенсации скольжения (частота ниже базовой и (или) частота выше базовой)	•	-	•	-	
	Переключение параметров компенсации скольжения во время работы	•	-	-	-	
	Ограничители момента 1 (крутящего и тормозного (генераторного))	0-300%	-	20-200%	-	
	Ограничители момента 2 (переключение командой TL2/TL1)	0-300%	-	20-200%	-	

Окончание таблицы 1.3

Тип преобразователя		UnidriveSP 2401	Altivar	КЕВ (Сибирь- мехатроника)	Omron
Огранич ение момента	Раздельное аналоговое ограничение крутящего и (или) тормозного момента (возможность переключения на ограничитель момента 1 командой TL2/TL1)	0-200%	-	-	-
	Задание ограничения крутящего и тормозного момента по интерфейсу	•	-	•	-
	Выбор условий активации ограничения момента (при ускорении/замедлении и (или) работе на постоянной скорости)	•	-	-	-
Векторно е управлен ие скорость ю	Работа на нулевой скорости	•	-	-	-
	Переключение параметров регулятора скорости (ASR) во время работы	•	-	-	-
	Команда серво-блокировка (удержание позиции)	с платой PG	-	-	-
	Управление моментом	A	-	-	-
	Автоматическое управление позиционированием (APR)	с платой PG	-	с платой PG	-
	Синхронизация валов двигателей по положению (ведущий/ведомый)	A	-	с платой PG	-

Таблица 1.4– ПИД – регулирование

Тип преобразователя		UnidriveSP 2401	Altivar	КЕВ (Сибирь- мехатроника)	Omron
ПИД- регулятор процесса (управле ние скорость ю для поддерж ания регулиру емого	Задание ПИД- регулятора	Клавиши пульта	•	•	•
		Встроенный потенциометр	-	-	-
		Внешний потенциометр	•	•	•
		Напряжение (0-10В) или ток (4-20 мА)	•	•	•
		Входные команды UP\DOWN (Больше/Меньше)	•	•	•
					-

Окончание таблица 1.4

Тип преобразователя		UnidriveSP 2401	Altivar	КЕВ (Сибирь- мехатроника)	Omron
параметр а)	Клавиши пульта	•	•	•	•
	Задание по интерфейсу RS-458 или полевой шине	•	•	•	•
	Фиксированные задания (команды SS4, SS8) (кол-во)	.(3)	•(1)	•(3)	•(1)
	Обратная связь ПИД-регулятора: аналоговый вход (0-10 В или 4-20 мА)	•	•	•	•
	Выбор нормального/инверсного управления	•	•	•	•
	Переключение между нормальным/инверсным управлением (команда входа IVS)	•	•	•	•
	Переход в спящий режим (отключение при низком расходе)	•	•	-	-
	Создание избыточного подпора перед входом в спящий режим	•	-	-	-
	Обратная связь ПИД-регулятора: аналоговый вход (0-10 В, -10 ..+10В, или 4-20 мА)	•	-	•	-
	Задание скорости (аналогично управлению скоростью)	•	-	•	-

Выбор типа частотного преобразователя

Проанализировав данные в таблицах делаем вывод, что преобразователи частоты UnidriveSP 2401 и КЕВ (Сибирь–мехатроника) более функциональные, надежнее и мало потребляют электроэнергию чем другие преобразователи.

Частотные преобразователи модели UnidriveSP 2401 и КЕВ (Сибирь–мехатроника) удовлетворяет предъявленным требованиям, но учитывая, что преобразователь КЕВ (Сибирь–мехатроника) стоит значительно дороже, то выбираем частотный преобразователь UnidriveSP 2401.

2 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАССМАТРИВАЕМОГО МОСТОВОГО КРАНА

2.1 Общие сведения

подавляющее большинство грузоподъемных машин, изготавливаемых отечественной промышленностью, имеет электрический привод механизмов, и поэтому эффективность действия и производительность этих машин в значительной степени зависят от качественных показателей используемого кранового электрооборудования. Современный крановый электропривод за последнее время претерпел существенное изменение в структуре и применяемых системах управления.

Для наиболее массовых кранов общего назначения начинают широко применяться электроприводы на основе короткозамкнутых двигателей, значительная часть кранов изготавливается с управлением с пола, а быстроходные краны для тяжелых режимов работы комплектуются различными тиристорными системами, обеспечивающими глубокое регулирование скорости, плавность пуска и торможения при постоянно повышающихся требованиях к экономии энергоресурсов.

Грузоподъемные краны предназначены для вертикального, горизонтального и комбинированного перемещения грузов. По назначению и конструкции различаются на краны: мостовые, башенные, козловые, порталные, полу порталные. 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 грузозахватного устройства определяется видом производственного процесса. Мостовые краны бывают крюковые, рейферные, магнитные, клещевые, ковшовые.

Электрооборудование кранов часто работает с большим числом включений в час, при большой запылённости, высокой влажности, при резких колебаниях 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 мм, 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. Грузоподъёмность непосредственно не характеризует 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.

2.2 Описание конструкции крана

Мост крана представляет собой металлическую конструкцию, служащую для передвижения по ней тележки, которая в свою очередь служит для подъема и спуска грузов (рисунок 2.1). Мост крана передвигается на ходовых колёсах приводимых в движение электродвигателем установленным на мосту. Движение на колёса передаётся от одного электродвигателя через редуктор и трансмиссионный вал.

Мост двигается по крановым путям расположенных на выступах стен. На концах крановых путей предусмотрены пружинные, деревянные или буфера обеспечивающие плановое 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 подъема 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 2.1 приведены технические данные тележки крана.

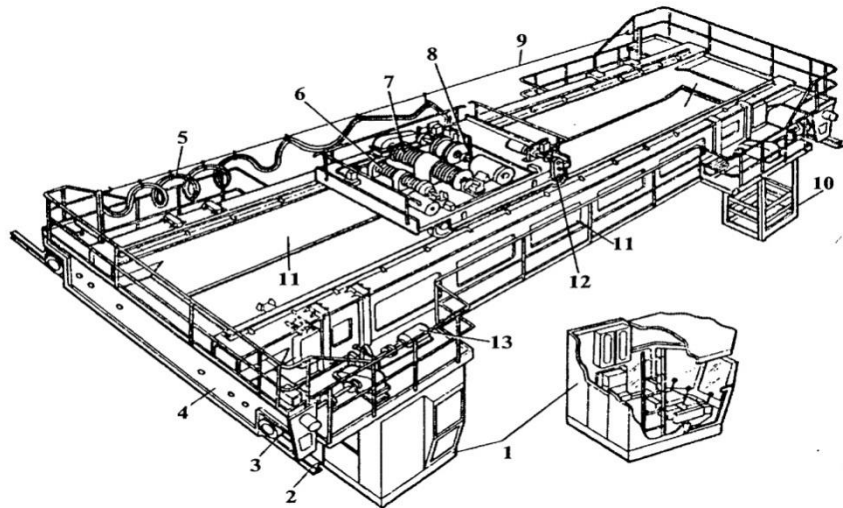


Рисунок 2.1 – Мостовой кран:

- 1) кабина машиниста (крановщика);
- 2)крановые рельсы;
- 3)ходовые колёса;
- 4)концевая балка;
- 5) гибкий кабель для токоподвода
- 6)механизмдляподъёма груза;
- 7)главный механизм подъёма груза;
- 8)крановая тележка;
- 9) проволока для подвески кабеля;
- 10)площадка для обслуживания троллей;
- 11) главная балка;
- 12)механизм передвижения тележки;
- 13)механизм передвижения моста.

Таблица 2.1 – Технические данные механизма передвижения тележки

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
m	Масса тележки	т	4
m_r	Масса груза	т	12,5
L	Длина перемещения тележки	м	5
D	Диаметр колеса	м	0,25
d_c	Диаметр ступицы	мм	60
μ	Коэффициент трения скольжения	-	0,02
f	Коэффициент трения качения	мм	0,5
C_k	Крутильная жесткость	$\frac{мН \cdot м}{рад}$	4

Окончание таблицы 2.1

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
V_p	Скорость движения с грузом	$\frac{м}{с}$	0,5
V_E	Скорость движения без груза	$\frac{м}{с}$	0,7
a	Предельное ускорение	$\frac{м}{с^2}$	0,5
Z	Число циклов в час	-	75
t_p	Суммарное время работы, не более	с	25

2.3 Описание рабочей машины и её технологического процесса

В технологическом процессе производства мостовой кран требуется для транспортирования хром руды. Хром руда с участка хранения продукции переносится в приемный бункер. Где далее попадает в дробилку. На рисунке 2.2 представлена тахограмма цикла работы тележки крана.

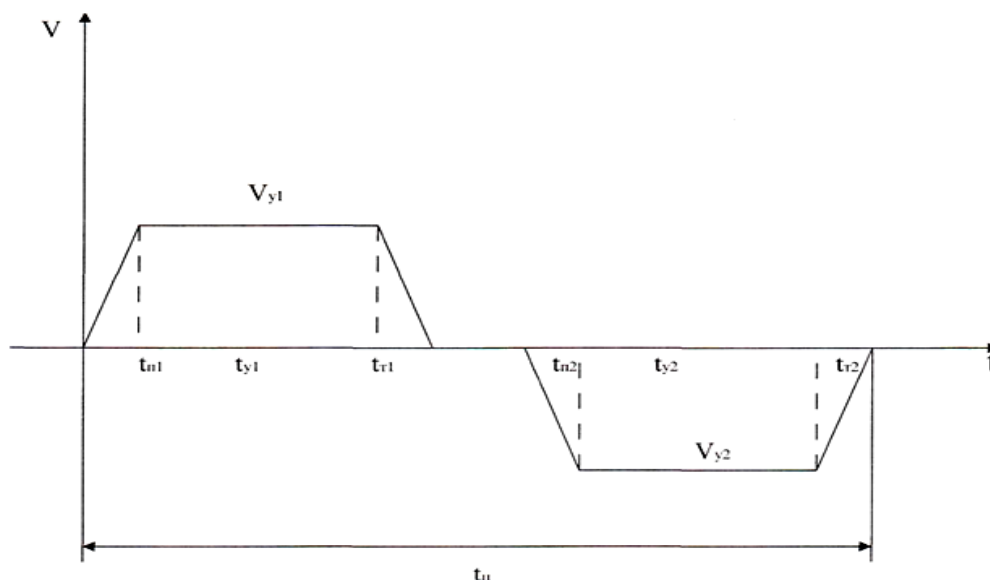


Рисунок 2.2–Тахограмма цикла работы тележки крана

Тележка мостового крана выполняет операцию перемещения поднятой хром руды с площадки загрузки на площадку выгрузки. На площадке загрузки хром руда загружается с помощью грейфера, механизм подъема обеспечивает подъем груза. Включается двигатель тележки, осуществляется перемещение тележки с хром рудой с установившейся скоростью V_{y1} . По прибытии к площадке выгрузки двигатель затормаживается, тележка останавливается в заданном месте, переместившись на длину L . Происходит опускание грейфера, и открытие его для разгрузки хром руды, пустой грейфер поднимается. Включается двигатель для

движения в обратную сторону с установившейся скоростью $V_{y2} > V_{y1}$, 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 загрузка груза, его подъём, опускание, разгрузка и опускание пустого грейфера. На рисунке 2.3 представлена кинематическая схема механизма передвижения тележки.

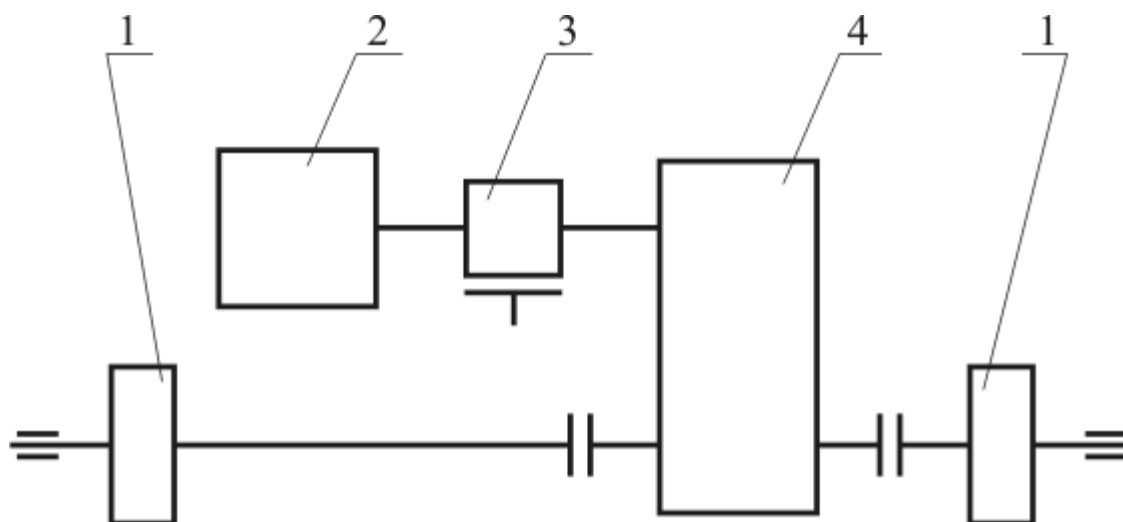


Рисунок 2.3– Кинематическая схема механизма передвижения тележки:

- 1) ходовые колеса;
- 2) электродвигатель;
- 3) тормозной шкив;
- 4) редуктор

2.4 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:

1) требования к электроснабжению: электропитание электрооборудования крана должно осуществляться от источника надежного питания переменного тока ЗАС N+PN напряжением 380В ($\pm 10\%$), частотой 50Гц ($\pm 0,1$ Гц) с глухозаземленной нейтралью. Качество электроэнергии должно соответствовать ПУЭ и ГОСТ 13109;

2) 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 аварийных процедур. Органы управления приводами подъемов должны предусматривать работу правой рукой,

а приводов передвижения главной и вспомогательной грузовых тележек и крана левой рукой.

3) должна быть обеспечена производительность механизма, в связи, с чем тяжёлые грузы целесообразно перемещать с меньшей скоростью (0,5м/с), а ненагруженную тележку с большей (0,7м/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;

4) перемещение рабочего органа (тележки) должно выполняться в пределах заданного времени;

5) ускорение рабочей машины не должно превышать заданного (допустимого) значения(0,5м/с). 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;

б) отклонение скорости в установившемся режиме не должно превышать заданного значения;

7) по требованию рабочей машины электропривод должен обеспечивать реверс;

8) величина эквивалентного тока (момента) должна быть в пределах 0,85–1 её допустимого значения;

9) преобразователь и двигатель должны выдерживать возникающие кратковременные перегрузки;

10) экономичность системы электропривода должна быть максимальной, обеспечивающей минимум капитальных затрат и минимум потерь энергии;

11) 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;

12) обязательно должна применяться нулевая защита. Необходима установка конечных выключателей для автоматического отключения двигателей механизмов крана при подходе их к недопустимым крайним положениям;

13) на случай выхода крановщика из кабины на мост для безопасности обслуживания предусматривается автоматические выключатели, снимающие напряжение с контактных проводов крана при открывании дверей или люка кабины;

14) на механизмах подъёма и передвижения кранов устанавливаются тормоза, автоматически отключающийся при включении двигателя и включающиеся при отключении;

15) все металлические конструкции крана, которые могут оказаться под

напряжением из-за порчи изоляции, должны быть заземлены через подкрановые пути;

16) 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 конструктивные элементы ЭО и СУ, устанавливаемые на кране, должно иметь степень защиты не ниже IP54;

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

18) выбор мощностей преобразовательных устройств должен быть обоснован и согласован;

19) 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 $\pm 10-15\%$;

20) все входящее в преобразователи оборудование должно быть термически и динамически устойчиво во всех аварийных режимах;

21) способ утилизации возвратной электроэнергии должен быть обоснован и согласован с заказчиком;

22) преобразовательные устройства должны иметь следующие устройства защиты:

а) защиту от внутренних коротких замыканий;

б) максимально-токовую защиту;

в) защиту от внутренних неисправностей элементов схемы и несоответствия режимов:

г) защиту от «провалов» напряжения;

д) защиту от токов короткого замыкания и от перегруза;

е) защиту от перенапряжений внешней сети, внутренних перенапряжений;

23) на пульте управления тележки должны быть установлены:

а) командоконтроллеры (джойстики), которые осуществляют управление приводами;

б) ключ-бирка;

в) грибовидная кнопка «Стоп» красного цвета, фиксирующаяся в выключенном положении;

г) кнопка звукового сигнала;

д) контроль готовности приводов;

е) устройство звуковой сигнализации;

ж) световая индикация.

3 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТА РАБОТЫ КРАНА

Теплосиловой цех – обеспечивает нужды комбината тепловой и электрической энергией, используя большей частью тепло отходящих газов после обжиговых печей цехов ЦМП-2 – 2, ЦМП-2 – 3. Установка котлов за печами позволила утилизировать тепло печей и получать дешевую тепловую энергию в виде перегретого пара. Промышленные отопительные котельные в зимний период также обеспечивают теплом цеха – потребители, их отопительные, технологические и бытовые нужды.

В его состав входят все котельные с котлами – утилизаторами, установленными за вращающимися печами ЦМП-2 – 2, ЦМП-2 – 3 и промышленные котельные, расположенные на территории комбината – 4 участка теплосилового цеха. Кроме того, вновь построенные здания ТЭЦ с 2 – мя турбогенераторами Калужского турбинного завода мощностью 12000 кВт каждый, бойлерной и деаэрационной установками, теплотрассой ТЭЦ – центральная котельная.

Выпускаемая продукция: теплоэнергия (в виде пара и горячей воды) и электроэнергия. Сырье: природный газ.

Выход из строя мостового крана может повлечь за собой отсутствия ремонтов (текущих, капитальных), что приведет к невыработке тепловой и электрической энергией для обеспечения нужд цехов комбината.

4 ВЫБОР ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

4.1 Анализ электроприводов постоянного тока

Преимущества электроприводов постоянного тока:

- а) возможность получения линейных характеристик двигателя;
- б) высокая стабильность регулировочных характеристик.

Недостатки:

- а) стоимость двигателя, затраты на осмотр и ремонт в 10 раз превышают затраты на использование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором той же мощности и скорости;
- б) необходима выпрямительная установка и трансформатор;
- в) массогабаритные показатели в 1,5...2 раза превышают показатели асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором;
- г) наличие щеточного механизма и необходимость его частого осмотра.

Электрические приводы переменного тока имеют по сравнению с электроприводами постоянного тока ряд преимуществ.

4.2 Анализ электроприводов переменного тока

Преимущества электроприводов с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором (система включает преобразователь частоты):

- а) высокий КПД во всем диапазоне регулирования – выше 0,9;
- б) возможность регулирования в широком диапазоне время торможения;
- в) возможность повышения частоты вращения выше номинальной;
- г) возможность получения S-образного закона регулирования;
- д) минимальные затраты при обслуживании электродвигателя;
- е) диапазон габаритов моделей: до 1 МВт.

Недостатки:

- а) высокая стоимость преобразователя по отношению к двигателю (в 5...6 раз);
- б) квалифицированное обслуживание.

Частотно-регулируемые приводы являются важным средством автоматизации. Как показывает мировая и отечественная практика, внедрение таких приводов обеспечивает:

- а) уменьшение энергопотребления на 30...50%;
- б) увеличение межремонтных сроков в 1,5...2 раза.

В данной выпускной работе рассмотрен вариант установки частотно-регулируемого привода с асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором.

5 РАСЧЕТ МОМЕНТОВ СТАТИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Момент сил трения в подшипниках:

$$M_1 = \frac{m_1 \cdot d_c \cdot \mu \cdot g}{2}, \quad (5.1)$$

где: m_1 – масса деталей и узлов, опирающихся на подшипники, кг;

d_c – диаметр шейки вала или оси, м;

μ – коэффициент трения скольжения в подшипниках;

$g = 9.81 \frac{M}{c^2}$ – ускорение силы тяжести.

В соответствии с формулой (5.1):

при движении тележки с грузом

$$M_{1p} = \frac{(m + m_r) \cdot d_c \cdot \mu \cdot g}{2}, \quad (5.2)$$

$$M_{1p} = \frac{(4000 + 12500) \cdot 0.06 \cdot 0.02 \cdot 9.81}{2} = 97.119 \text{ Нм};$$

при движении тележки без груза

$$M_{1e} = \frac{m \cdot d_c \cdot \mu \cdot g}{2}, \quad (5.3)$$

$$M_{1e} = \frac{4000 \cdot 0.06 \cdot 0.02 \cdot 9.81}{2} = 23.544 \text{ Нм};$$

Момент сил трения качения:

$$M_2 = m_1 \cdot f \cdot g, \quad (5.4)$$

где: m – масса деталей, опирающихся на узел качения, кг;

f – коэффициент трения качения, м.

В соответствии с формулой (5.4):

при движении тележки с грузом

$$M_{2p} = (m + m_r) \cdot f \cdot g, \quad (5.5)$$

$$M_{2p} = (4000 + 12500) \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} \cdot 9.81 = 80.93 \text{ Нм};$$

при движении тележки без груза

$$M_{2e} = m \cdot f \cdot g, \quad (5.6)$$

$$M_{2e} = 4000 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} \cdot 9.81 = 19.62 \text{ м};$$

Суммарный статический момент рабочего органа:

$$M_{\text{пост}} = k_p \cdot (M_1 + M_2), \quad (5.7)$$

где: k_p – коэффициент, учитывающий трение реборд колес о рельсы, возникающее вследствие возможного перекоса тележки.

В расчетах может быть принято $k_p = 1.3 - 1.4$

В соответствии с формулой

при движении тележки с грузом

$$M_{\text{пост}}^p = 1.4 \cdot (M_{1p} + M_{2p})$$

$$M_{\text{пост}}^p = 1.4 \cdot (97.119 + 80.93) = 249.27 \text{ Нм};$$

при движении тележки с грузом

$$M_{\text{посм}}^e = 1.4 \cdot (M_{1e} + M_{2e}), \quad (5.8)$$

$$M_{\text{посм}}^e = 1.4 \cdot (23.544 + 19.62) = 60.43 \text{ Нм};$$

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

$$t_{\text{п}} = t_{\text{т}} = \frac{v_y}{a}, \quad (5.9)$$

где: v_y – заданная скорость движения, м/с ;

a – допустимое ускорение, м/с^2 .

В соответствии с формулой (5.9) при движении вперед

$$t_{\text{np}} = t_{\text{mp}} = \frac{0.5}{0.5} = 1 \text{ с}.$$

При движении назад

$$t_{\text{не}} = t_{\text{ме}} = \frac{0.7}{0.5} = 1.4 \text{ с}.$$

Путь, проходимый рабочей машиной за время пуска:

$$\alpha_{\text{п}} = \alpha_{\text{т}} = \frac{v_y^2}{2 \cdot |a|} \quad (5.10)$$

В соответствии с формулой (5.10) при движении вперед

$$\alpha_{\text{np}} = \alpha_{\text{mp}} = \frac{0.5^2}{2 \cdot |0.5|} = 0.25 \text{ м}$$

При движении назад

$$\alpha_{\text{не}} = \alpha_{\text{ме}} = \frac{0.7^2}{2 \cdot |0.5|} = 0.49 \text{ м}.$$

Время установившегося режима движения со скоростью v_y :

$$t_y = \frac{\alpha - (\alpha_n + \alpha_m)}{v_y} \quad (5.11)$$

где: α – весь путь, проходимый рабочим органом, м.

В соответствии с формулой (5.11) для движения вперед

$$t_{\text{yp}} = \frac{L - (\alpha_{\text{np}} + \alpha_{\text{mp}})}{v_y},$$
$$t_{\text{yp}} = \frac{5 - (0.25 + 0.25)}{0.5} = 9 \text{ с}.$$

Для движения назад

$$t_{\text{ye}} = \frac{5 - (0.49 + 0.49)}{0.7} = 5.74 \text{ с}.$$

Для определения динамических моментов рабочей машины рассчитывается момент инерции рабочей машины:

$$J_{po} = m_1 \cdot \frac{D^2}{4}, \quad (5.12)$$

где: m_1 – массы поступательно движущихся частей (тележка и грузсоответственно), кг;

D – диаметр колеса, м.

В соответствии с формулой (5.7) для движения вперед

$$J_{po}^p = (m + m_r) \cdot \frac{D^2}{4}, \quad (5.13)$$

$$J_{po}^p = (4000 + 12500) \cdot \frac{0.25^2}{4} = 257.81 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

При движении назад

$$J_{po}^e = m \cdot \frac{D^2}{4}, \quad (5.14)$$

$$J_{po}^e = 4000 \cdot \frac{0.25^2}{4} = 62.5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

Зная моменты инерции, можно определить динамические моменты, так как известно допустимое ускорение при разгоне и торможении:

$$M_{родин} = J_{poi} \cdot \frac{2 \cdot a}{D}, \quad (5.15)$$

Разгон и торможение тележки с грузом

$$M_{родин}^p = J_{po}^p \cdot \frac{2 \cdot a}{D}, \quad (5.16)$$

$$M_{родин}^p = 257.81 \cdot \frac{2 \cdot 0.5}{0.25} = 1031.24 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Разгон и торможение тележки без груза

$$M_{родин}^e = J_{po}^e \cdot \frac{2 \cdot a}{D}, \quad (5.17)$$

$$M_{родин}^e = 62.5 \cdot \frac{2 \cdot 0.5}{0.25} = 250 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Полный момент рабочей машины находится по формуле (5.18):

$$M_{po} = M_{рост} + M_{родин}, \quad (5.18)$$

Первый участок – разгон тележки с грузом

$$M_{po1} = M_{рост}^p + M_{родин}^p, \quad (5.19)$$

$$M_{po1} = 249.27 + 1031.24 = 1280.51 \text{ Нм}.$$

Второй участок – равномерное движение тележки с грузом

$$M_{po2} = M_{рост}^p = 249.27 \text{ Нм}. \quad (5.20)$$

Третий участок – торможение тележки с грузом

$$M_{po3} = M_{рост}^p - M_{родин}^p = 249.27 - 1031.24 = -781.97 \text{ Нм}. \quad (5.21)$$

Четвертый участок – время паузы

$$M_{po4} = 0. \quad (5.22)$$

Пятый участок – разгон тележки без груза

$$M_{po5} = M^e_{рост} + M^e_{родин} = 60.43 + 250 = 310.43 \text{ Нм.} \quad (5.22)$$

Шестой участок – равномерное движение тележки без груза

$$M_{po6} = M^e_{рост} = 60.43 \text{ Нм.} \quad (5.23)$$

Седьмой участок – торможение тележки без груза

$$M_{po7} = M^e_{рост} - M^e_{родин} = 60.43 - 250 = -189.57 \text{ Нм.} \quad (5.24)$$

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

$$M_{сркв} = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^m M_K^2 \cdot t_K}{\sum_{K=1}^m t_K}}, \quad (5.25)$$

где: M_K – момент на K -м участке, Н·м;

t_K – длительность K -го участка, с.

По формуле (5.25) получаем значение момента:

$$M_{сркв} = \sqrt{\frac{1280.51^2 + 249.27^2 \cdot 9 + 781.97^2 + 1.4 \cdot (310.43^2 + 189.57^2) + 60.43^2 \cdot 5.74}{1 + 9 + 1 + 1.4 + 5.74 + 1.4}} = 392.91 \text{ Нм.}$$

Тогда мощность двигателя определяется по формуле:

$$P_{дв} = k_1 \cdot M_{сркв} \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\phi}}{ПВ_{кат}}} \quad (5.26)$$

где: $k_1 = 1.3 \dots 1.5$ – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, обусловленные вращающимися элементами электропривода, то есть двигателем, редуктором, а также потери в редукторе;

D – диаметр колеса тележки, м;

v_0 – основная скорость движения (скорость движения с грузом), м/с;

$ПВ_{\phi}$ – фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого привода;

$ПВ_{кат}$ – ближайшее к $ПВ_{\phi}$ каталожное значение относительной продолжительности включения для электродвигателей выбранной серии.

Фактическое значение $ПВ$ рассчитаем, зная длительность времени работы $t_{кн}$ на всех участках движения и заданному времени цикла:

$$t_{ц} = \frac{3600}{z}, \quad (5.27)$$

где: $z = 75$ – число циклов работы машины в час.

$$t_{ц} = \frac{3600}{75} = 48 \text{ с.}$$

$$ПВ_{\phi} = \frac{1}{t_{ц}} \cdot \sum_{K=1}^m t_K \quad (5.28)$$

В соответствии с формулой (5.28):

$$ПВ_{\phi} = \frac{1}{48} \cdot (1 + 9 + 1 + 1.4 + 5.74 + 1.4) = 41 \%.$$

Для двигателей краново-металлургической серии ряд $ПВ$: 15, 25, 40, 60, 100%.

Выбираем ближайшее большее ПВ, то есть $PV_{кат}=40$.

Тогда мощность двигателя (в соответствии с формулой (5.28)):

$$P_{ДВ} = k_1 \cdot M_{сркв} \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot \sqrt{\frac{PV_{\phi}}{PV_{кат}}} = 1.5 \cdot 392.91 \cdot \frac{2 \cdot 0.7}{0.25} \cdot \sqrt{\frac{0.41}{0.4}} = 3.34 \text{ кВт.}$$

Диаграмма моментов

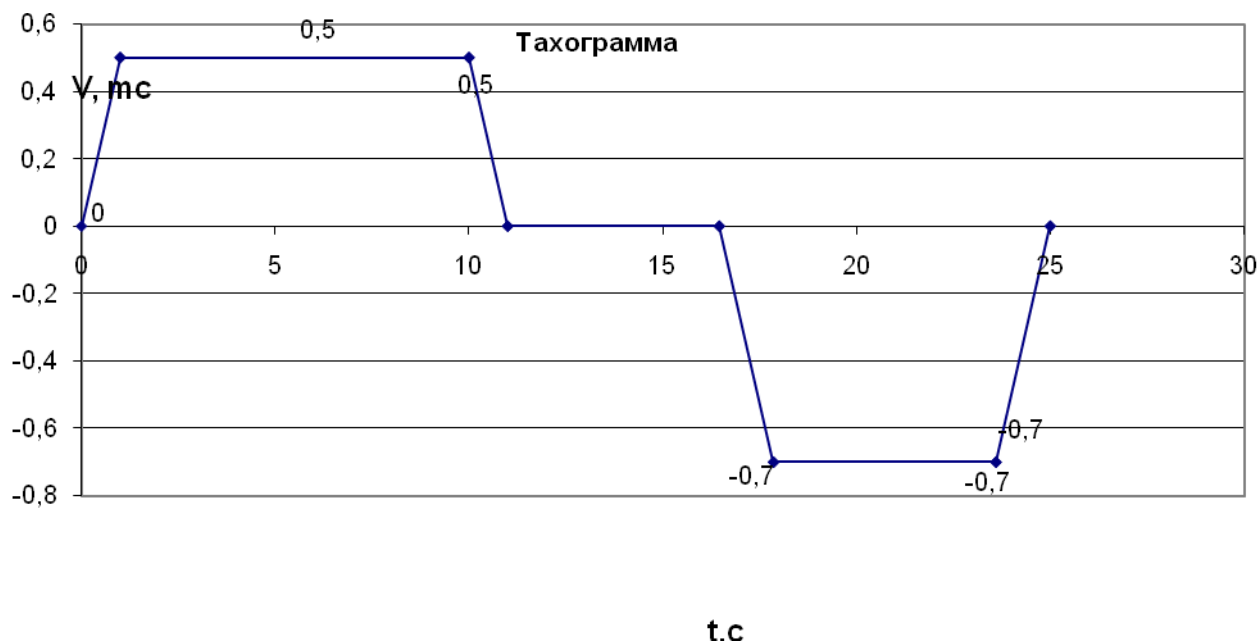
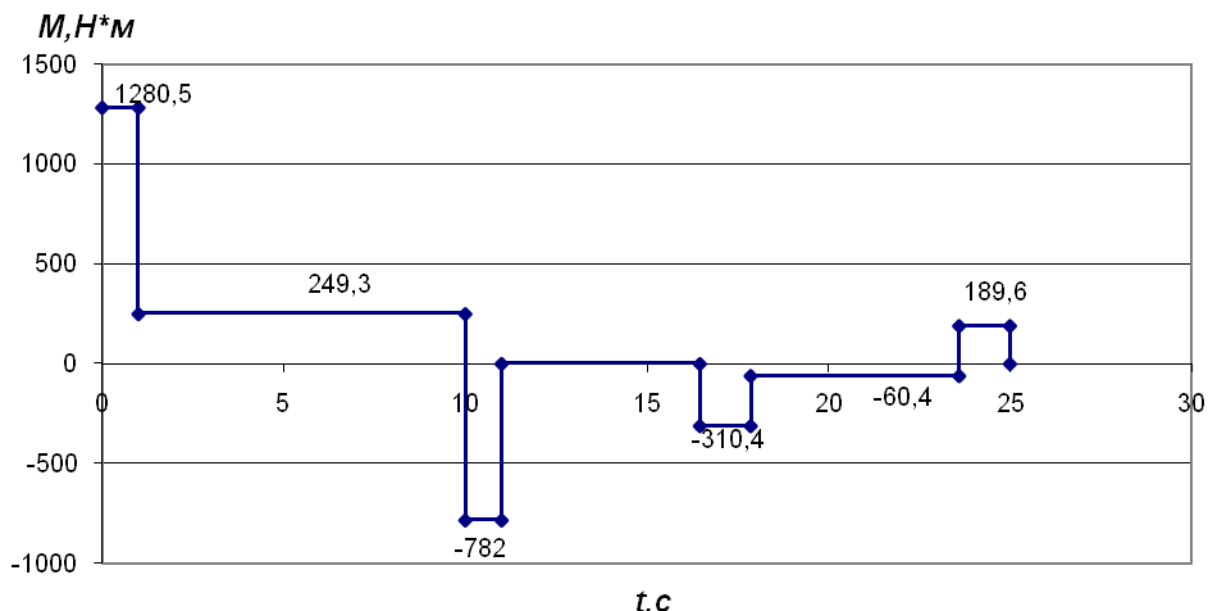


Рисунок 5.1 –Предварительные нагрузочные диаграммы

5.1 Выбор электродвигателя

Выбираем крановый электродвигатель серии 4МТКФ(Н) 112LB6 с короткозамкнутым ротором $PV=40$ из [5.1].

Таблица 5.1– Номинальные данные двигателя 4МТКФ(Н) 112LB6

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Величина
P_n	Номинальная мощность на валу	кВт	3,7
n_n	Номинальная частота вращения	об/мин	870
I_n	Номинальный ток статора	А	10,6
$\cos \varphi_n$	Коэффициент мощности в номинальном режиме	-----	0,75
I_p	Пусковой ток	А	37,2
M_p	Пусковой момент	Нм	114
M_{\max}	Максимальный (критический) момент	Нм	114
r_1	Активное сопротивление фазной обмотки статора	Ом	1,55
$R_{кз}$	Активное сопротивление короткого замыкания	Ом	5,7
$I_{он}$	Ток холостого хода для номинального режима	А	7,97
$X_{кз}$	Индуктивное сопротивление короткого замыкания	Ом	3,34
K_r	Коэффициент приведения сопротивлений	-----	2,44
$J_{дв}$	Момент инерции двигателя	Кг·м·м	0,045

5.2. Определение передаточного числа редуктора и выбор редуктора

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

$$j_p = \frac{\omega_n \cdot D}{2 \cdot v_0}, \quad (5.29)$$

где: ω_n – номинальная скорость вращения двигателя, $\frac{1}{c}$;

D – диаметр колеса, преобразующего вращательное движение вала в поступательное, м;

v_0 – основная скорость рабочего органа, $\frac{m}{c}$.

В соответствии с формулой (5.29) имеем:

$$j_p = \frac{870 \cdot 0.25}{2 \cdot 9.55 \cdot 0.7} = 16.27.$$

Выберем редуктор, исходя из того, что передаточное число должно быть равным или несколько меньшим рассчитанного, при этом должны быть учтены условия работы механизма, номинальная мощность и скорость двигателя.

Режим работы редуктора в заданном механизме является тяжелым, поэтому принимаем при выборе редуктора коэффициент условий работы $k=1.5$ для тяжелого режима работы. Тогда расчетная мощность редуктора рассчитывается по формуле (5.30):

$$N_p = k \cdot N_M \quad (5.30)$$

где: N_M – наибольшая мощность, передаваемая рабочей машиной, Вт.

$$N_M = M_{\text{ромакс}} \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D} \quad (5.31)$$

$$N_M = 1280.51 \cdot \frac{2 \cdot 0.5}{0.25} = 5122.04 \text{ Вт}.$$

В соответствии с формулой (5.30):

$$N_p = 1.5 \cdot 5122.04 = 7683.06 \text{ Вт}.$$

По полученной мощности проверяем редуктор, существующий редуктор выбран правильно.

Данные существующего редуктора Ц2 – 350 в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Характеристики редуктора Ц2-350

Момент на тихоходном валу	Мощность на быстроходном валу	Скорость	Передаточное число редуктора	КПД редуктора
$M_{\text{тих}}$, Н·м	N , кВт	n , об/мин	j	η
10000	8	1000	16	0,96

5.3 Расчет приведенных статических моментов

После выбора электродвигателя и редуктора, а также после расчета моментов сопротивления можно привести статические моменты системы к валу двигателя, воспользовавшись формулой (5.32)

$$M_{\text{PC}} = \frac{M_{\text{рост}}}{j_p}, \quad (5.32)$$

где: $M_{\text{рост}}$ – статический момент рабочей машины, Н·м;

j_p – передаточное отношение выбранного редуктора.

При движении с грузом

$$M_{\text{PC}}^p = \frac{M_{\text{рост}}}{j_p} = \frac{249.27}{16} = 15.57 \text{ Нм}.$$

При движении без груза

$$M_{pc}^e = \frac{M_{pocm}}{j_p} = \frac{60.43}{16} = 3.77 \text{ Нм.}$$

Результаты расчета занесены в таблицу 2.6 для каждого участка.
Тогда статический момент на валу двигателя:

$$M_{BC} = \frac{M_{PC}}{\eta_p} \quad (5.33)$$

где: η_p – коэффициент полезного действия выбранного редуктора.

При движении с грузом для двигательного режима

$$M_{\partial BC}^p = \frac{M_{pc}^p}{\eta_p} = \frac{15.57}{0.96} = 16.22 \text{ Нм.}$$

При движении без груза для двигательного режима

$$M_{\partial BC}^e = \frac{M_{pc}^e}{\eta_p} = \frac{3.77}{0.96} = 3.93 \text{ Нм.}$$

В тормозных режимах момент рассчитывается по формуле:

$$M_{BC} = M_{PC} \cdot \eta_p \quad (5.34)$$

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

При движении с грузом для тормозного режима

$$M_{m BC}^p = M_{pc}^p \cdot \eta_p = 15.57 \cdot 0.96 = 14.95 \text{ Нм.}$$

При движении с грузом для тормозного режима

$$M_{m BC}^e = M_{pc}^e \cdot \eta_p = 3.77 \cdot 0.96 = 3.62 \text{ Нм.}$$

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

$$M_c = M_{BC} + M_{XX} \quad , \quad (5.35)$$

где: M_{XX} – момент потерь холостого хода двигателя, Н·м.

Принимаем M_{XX} равным 5% от номинального:

$$M_{XX} = \frac{P_n}{n_n} \cdot 9.55 \cdot 0.05 = \frac{3700}{870} \cdot 9.55 \cdot 0.05 = 2.03 \text{ Нм.}$$

Двигательный режим:

при движении с грузом

$$M_{\partial c}^p = M_{\partial BC}^p + M_{XX} = 16.22 + 2.03 = 18.25 \text{ Нм.}$$

при движении без груза

$$M_{\partial c}^e = M_{\partial BC}^e + M_{XX} = 3.93 + 2.03 = 5.96 \text{ Нм.}$$

Тормозной режим:

при движении с грузом

$$M_{m c}^p = M_{m BC}^p - M_{XX} = 14.95 - 2.03 = 12.92 \text{ Нм.}$$

при движении без груза

$$M_{m c}^e = M_{m BC}^e - M_{XX} = 3.62 - 2.03 = 1.59 \text{ Нм.}$$

5.4 Расчет приведенных моментов инерции и коэффициентов жесткости

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

Суммарный приведенный момент инерции:

$$J = \delta \cdot J_D + J_{PP}, \quad (5.36)$$

где: J_{PP} – приведенный к валу двигателя момент инерции поступательно и вращательно движущихся частей системы, кг·м²;

J_D – момент инерции ротора выбранного двигателя, кг·м²;

δ – коэффициент, учитывающий момент инерции остальных моментов электропривода: тормозного шкива, муфт, редуктора, и т.д. ($\delta = 1.3 \dots 1.5$).

Приведенный момент инерции рабочей машины к валу двигателя:

$$J_{PP} = \frac{J_{PO}}{j_p^2} \quad (5.37)$$

Найдем приведенный суммарный момент инерции:

$$J \cdot \frac{\omega_c^2}{2} = J_{ДВ} \cdot \frac{\omega_c^2}{2} + J_{ТШ} \cdot \frac{\omega_c^2}{2} + J_1 \cdot \frac{\omega_c^2}{2} + J_2 \cdot \frac{\omega_2^2}{2} + J_3 \cdot \frac{\omega_3^2}{2} + J_M \cdot \frac{\omega_3^2}{2} + m_1 \cdot \frac{V^2}{2}, \quad (5.37)$$

где: J_1, J_2, J_3 – моменты инерции соответствующих зубчатых колес редуктора, кг·м²;

$J_{ТШ}$ – момент инерции тормозного шкива, кг·м²;

J_M – момент инерции соединительной муфты, кг·м²;

Имеем:

$$J = J_{ДВ} + J_{ТШ} + J_1 + J_2 \cdot \frac{\omega_2^2}{\omega_c^2} + J_3 \cdot \frac{\omega_3^2}{\omega_c^2} + J_M \cdot \frac{\omega_3^2}{\omega_c^2} + m_1 \cdot \frac{V^2}{\omega_c^2}. \quad (5.38)$$

В данной формуле принимаем:

$$\delta \cdot J_{ДВ} = J_{ДВ} + J_{ТШ} + J_1 + J_2 \cdot \frac{\omega_2^2}{\omega_c^2} + J_3 \cdot \frac{\omega_3^2}{\omega_c^2} + J_M \cdot \frac{\omega_3^2}{\omega_c^2} = 1,5 \cdot J_{ДВ} \quad (5.39)$$

Тогда:
$$J = 1,5 \cdot J_{ДВ} + m_1 \cdot \frac{V^2}{\omega_c^2}, \quad (5.40)$$

где: ω_c – установившаяся скорость двигателя, $\frac{1}{с}$;

Установившуюся скорость двигателя находим по формуле (5.41):

$$\omega_c = \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot j_p. \quad (5.41)$$

Приведенный момент инерции:

при движении с грузом

$$J_p = 1,5 \cdot J_{ДВ} + m_1 \cdot \frac{V^2}{\omega_c^2} = 1,5 \cdot J_{ДВ} + m_1 \cdot \frac{D^2}{4 \cdot j_p^2} = 1,5 \cdot 0,045 + 16500 \cdot \frac{0,25^2}{4 \cdot 16^2} = 1,07 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

при движении без груза

$$J_e = 1,5 \cdot J_{ДВ} + m_1 \cdot \frac{V^2}{\omega_c^2} = 1,5 \cdot J_{ДВ} + m_1 \cdot \frac{D^2}{4 \cdot j_p^2} = 1,5 \cdot 0,045 + 4000 \cdot \frac{0,25^2}{4 \cdot 16^2} = 0,31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Для каждого участка проведены расчеты и все значения занесены в таблицу 2.6.

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

Пусковой момент:

$$M_{\Pi} = M_C + M_{\text{дин}} \quad , \quad (5.42)$$

где: M_C – статический момент сопротивления движению, Н·м;

$M_{\text{дин}}$ – динамический момент, Н·м.

Динамический момент рассчитываем по формуле (5.43):

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} \quad , \quad (5.43)$$

где: a – допустимое ускорение при пуске и торможении, $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;

D – диаметр шестерни, преобразующей вращение в поступательное движение, м;

J – приведенный момент инерции привода, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Динамический момент:

при движении с грузом

$$M^p_{\text{дин}} = J_p \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 1.07 \cdot \frac{2 \cdot 0.5 \cdot 16}{0.25} = 68.48 \text{ Нм.}$$

при движении без груза

$$M^e_{\text{дин}} = J_e \cdot \frac{2 \cdot a \cdot j_p}{D} = 0.31 \cdot \frac{2 \cdot 0.5 \cdot 16}{0.25} = 19.84 \text{ Нм.}$$

По формуле (5.42) пусковой момент:

при движении с грузом

$$M^p_{\Pi} = M^p_{\delta C} + M^p_{\text{дин}} = 18.25 + 68.48 = 86.73 \text{ Нм.}$$

при движении без груза

$$M^e_{\Pi} = M^e_{\delta C} + M^e_{\text{дин}} = 5.96 + 19.84 = 25.8 \text{ Нм.}$$

Тормозной момент рассчитываем по формуле (5.44):

$$|M_T| = |M_{\text{дин}}| - M_C \quad . \quad (5.44)$$

при движении с грузом

$$|M^p_T| = |M^p_{\text{дин}}| - M^p_{mC} = 68.48 - 12.92 = 55.56 \text{ Нм.}$$

при движении без груза

$$|M^e_T| = |M^e_{\text{дин}}| - M^e_{mC} = 19.84 - 1.59 = 18.25 \text{ Нм.}$$

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

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

Средний момент двигателя принимаем равным моменту, допустимому по ускорению, так как питание получаем от преобразователя с задатчиком интенсивности:

Пуск: $M_{CP} = M_{II}$;

Торможение: $M_{CP} = M_T$.

Приведем крутильную жесткость рабочего вала к валу двигателя:

$$C_{ПП} = \frac{C_K}{j_p^2} = \frac{4 \cdot 10^6}{16^2} = 15625 \quad \frac{H \cdot м}{рад}$$

5.5. Предварительная проверка двигателя по нагреву и производительности

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

Рассчитаем времена переходных процессов для каждого участка по формуле (5.45):

$$t_i = J \cdot \frac{\omega_C}{M_{CP} - M_C}, \quad (5.45)$$

где: J – приведенный момент инерции системы к валу двигателя, $кг \cdot м^2$;

ω_C – установившаяся скорость двигателя, $\frac{1}{с}$;

M_{CP} – средний момент двигателя, $Н \cdot м$;

M_C – приведенный статический момент, $Н \cdot м$.

Первый участок – разгон с грузом

$$t_1 = J_p \cdot \frac{\omega^{pC}}{M_{CP}^p - M_{\delta}^{pC}} = \frac{\frac{2 \cdot v_p}{D} \cdot j_p}{M_{CP}^p - M_{\delta}^{pC}} = \frac{\frac{2 \cdot 0.5}{0.25} \cdot 16}{86.73 - 18.25} = 0.93 \text{ с.}$$

Третий участок – торможение с грузом

$$t_3 = J_p \cdot \frac{\omega^{pC}}{M_{mCP}^p - M_m^{pC}} = \frac{\frac{2 \cdot v_p}{D} \cdot j_p}{M_{mCP}^p - M_m^{pC}} = \frac{\frac{2 \cdot 0.5}{0.25} \cdot 16}{55.56 - 12.92} = 1.5 \text{ с}$$

Пятый участок – разгон без груза

$$t_5 = J_6 \cdot \frac{\omega^{6C}}{M_{\delta CP}^6 - M_{\delta}^{6C}} = \frac{\frac{2 \cdot v_6}{D} \cdot j_p}{M_{\delta CP}^6 - M_{\delta}^{6C}} = \frac{\frac{2 \cdot 0.7}{0.25} \cdot 16}{25.8 - 5.96} = 3.22 \text{ с.}$$

Седьмой участок – торможение без груза

$$t_7 = J_6 \cdot \frac{\omega^{6C}}{M_{mCP}^6 - M_m^{6C}} = \frac{\frac{2 \cdot v_6}{D} \cdot j_p}{M_{mCP}^6 - M_m^{6C}} = \frac{\frac{2 \cdot 0.7}{0.25} \cdot 16}{18.25 - 1.59} = 3.84 \text{ с.}$$

Угол поворота вала двигателя за время переходного процесса:

$$\alpha_i = \frac{\omega_C \cdot t_i}{2}. \quad (5.46)$$

Угол поворота вала:

за 1-й и 3-й участки

$$\alpha_{1,3} = \frac{\omega^{pC} \cdot (t_1 + t_3)}{2} = \frac{64 \cdot (0.93 + 1.5)}{2} = 77.76 \text{ рад.}$$

за 5-й и 7-й участки

$$\alpha_{5,7} = \frac{\omega^6_c \cdot (t_5 + t_7)}{2} = \frac{89.6 \cdot (3.22 + 3.84)}{2} = 316.29 \text{ рад.}$$

Время работы с установившейся скоростью:

$$t_y = \frac{\alpha_\Sigma - (\alpha_\Pi + \alpha_T)}{\omega_c}, \quad (5.47)$$

где: α_Σ – угол поворота вала двигателя, соответствующий величине перемещения в данном режиме, рад;

α_Π, α_T – угол поворота вала за время пуска и торможения, рад.

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

$$\alpha_\Sigma = 2 \cdot L \cdot \frac{j_p}{D} \quad (5.48)$$

В соответствии с формулой (5.48)

$$\alpha_\Sigma = 2 \cdot L \cdot \frac{j_p}{D} = 2 \cdot 5 \cdot \frac{16}{0.25} = 640 \text{ рад}$$

В соответствии с формулой (5.47)

$$t^p_y = \frac{\alpha_\Sigma - \alpha_{1,3}}{\omega^p_c} = \frac{640 - 77.76}{64} = 8.78 \text{ с.}$$

$$t^e_y = \frac{\alpha_\Sigma - \alpha_{5,7}}{\omega^e_c} = \frac{640 - 316.29}{89.6} = 3.61 \text{ с.}$$

Результаты расчета сведены в Таблицу 2.6

Суммарное фактическое время работы привода:

$$t_\phi = 0.93 + 1.5 + 3.22 + 3.84 + 8.78 + 3.61 = 21.88 \text{ с.}$$

Полученное время меньше заданного времени работы привода, то есть требование по производительности выполнено.

Предварительная проверка двигателя по нагреву производится по величине среднеквадратичного момента:

$$M_{сррк} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \leq M_{доп} \quad (5.49)$$

где допускаемый момент:

$$M_{доп} = M_{кат} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{кат}}{ПВ_\phi}}. \quad (5.50)$$

Фактическое значение: ПВ:

$$ПВ_\phi = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_u} \cdot 100\%. \quad (5.51)$$

Тогда по формуле (5.52):

$$M_{сркв} = \sqrt{\frac{86.73^2 \cdot 0.93 + 18.25^2 \cdot 8.78 + 55.56^2 \cdot 1.5 + 25.8^2 \cdot 3.22 + 5.96^2 \cdot 3.61 + 18.25^2 \cdot 3.84}{0.93 + 8.78 + 1.5 + 3.22 + 3.61 + 3.84}} = 28.76 \text{ Нм.}$$

Фактическое ПВ:

$$ПВ_{\phi} = \frac{0.93 + 8.78 + 1.5 + 3.22 + 3.61 + 3.84}{48} \cdot 100\% = 46\%.$$

Момент двигателя при $ПВ_{кат}$, ближайшем к $ПВ_{\phi}$:

$$M_{кат} = \frac{P_n}{0.105 \cdot n_n} = \frac{3700}{0.105 \cdot 880} = 40.04 \text{ Нм}$$

Допускаемый момент:

$$M_{доп} = M_{кат} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{кат}}{ПВ_{\phi}}} = 40.04 \cdot \sqrt{\frac{40}{46}} = 37.34 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Уменьшаем допустимый момент на 20%:

$$M_{доп} = 29.87 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Среднеквадратичный момент меньше допустимого, следовательно, двигатель проходит по нагреву.

Таблица 5.5 – Предварительный расчет нагрузочных диаграмм

Участок движения	Движение с грузом			Движение без груза		
	Пуск	Установившийся режим	Торможение	Пуск	Установившийся режим	Торможение
t, с	1	9	1	1,4	5,74	1,4
α , м	0,25	4,5	0,25	0,49	4,02	0,49
v, м/с	-----	0,5	-----	----	0,7	-----
$M_{рост}$, Н·м	249	249	249	60	60	60
$J_{рост}$, кг·м ²	258	258	258	62,5	62,5	62,5
$M_{родин}$, Н·м	1031	1031	1031	250	250	250
$M_{ро}$, Н·м	1280	249	-782	310	60	-190
$M_{рс}$, Н·м	15,6	15,6	15,6	3,8	3,8	3,8
$M_{вс}$, Н·м	16	16	15	3,9	3,9	3,6
M_c , Н·м	18	18	13	6	6	1,6
ω_c , рад/с	64	64	64	89,6	89,6	89,6
$J_{пр}$, кг·м ²	1	1	1	0,24	0,24	0,24
J , кг·м ²	1,07	1,07	1,07	0,31	0,31	0,31
$M_{дин}$, Н·м	68,5	68,5	68,5	20	20	20
$M_{доп.уск}$, Н·м	87	18	56	26	6	18

Окончание таблицы 5.5

Участок движения	Движение с грузом			Движение без груза		
	Пуск	Установившийся режим	Торможение	Пуск	Установившийся режим	Торможение
α , рад	30	562	48	144	324	172
M_{cp} , Н·м	87	----	56	26	----	18
t, с	0,93	8,78	1,5	3,22	3,61	3,84

Вывод: Поверочный расчёт показал, по нагреву двигатель имеет 15 % запас.

6 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Питание электродвигателей переменного тока может выполняться как от тиристорных преобразователей частоты с непосредственной связью, состоящих из нескольких управляемых тиристорных выпрямителей, подключённых к сети переменного тока, так и от двухзвенных преобразователей частоты с автономными инверторами, осуществляющими 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 диапазоном изменения скорости вращения электродвигателя, от мощности электродвигателя, диапазона изменения нагрузки на валу электродвигателя, наличие или отсутствие реверса, режимов работы электродвигателя.

При сетевой частоте 50 Гц и выходных частотах от 25 до 12,5 Гц и ниже для любого типа привода целесообразно использовать тиристорный преобразователь частоты с непосредственной связью. При выходных частотах 50 Гц и ниже или выше 50 Гц используются преобразователи частоты с автономными инверторами напряжения и с автономными инверторами тока.

Преобразователь частоты выбирается на основе данных ранее выбранного электродвигателя (таблица 3) из условий, что:

$$\begin{aligned} U_{\text{НП}} &\geq U_{\text{дв}}; \\ I_{\text{НП}} &\geq I_{\text{Ндв}}, \end{aligned} \quad (6.1)$$

где: $U_{\text{НП}}$, $I_{\text{НП}}$ – номинальное линейное напряжение и ток преобразователя частоты;

$U_{\text{НП}}$, $I_{\text{НП}}$ – номинальные линейное напряжение и фазный ток статора электродвигателя.

В качестве преобразователя частоты выбирается инвертор UNIDRIVESP2401 фирмы CONTROLTECHNIQUES [5], данные которого приведены в таблице 4

Таблица 4 – Паспортные данные преобразователя частоты

Тип	$P_{\text{н}}$, кВт	$U_{\text{вых}}$, В	$I_{\text{вых}}$, А	$f_{\text{вых}}$, Гц
UnidriveSP2401	5.5	Трёхфазное, от нуля до величины входного напряжения	13	от 0 до 1000

6.1 Обзор преобразователей частоты UNIDRIVE



Рисунок 6.1 – Преобразователь частоты UnidriveSP 2401

UNIDRIVE – это семейство инверторов с промежуточным контуром постоянного напряжения для регулируемых электродвигателей переменного тока.

Векторное управление без датчиков позволяет инвертору определять требуемые изменения выходного напряжения и частоты для поддержания необходимой скорости вращения двигателя, обеспечивая улучшенное управление потокосцеплением и эффективность.

Инверторы управляются микропроцессором. Специальный метод широтно-импульсной модуляции обеспечивает плавную или ступенчатую характеристику работы двигателя. Защита инвертора обеспечена различными защитными функциями.

6.2 Режимы работы

Unidrive может быть настроен для работы в любом из следующих режимов:

- а) Разомкнутая система (без обратной связи по скорости двигателя) используется со стандартными асинхронными двигателями.
- б) Замкнутая система с векторным управлением (с обратной связью по скорости двигателя) используется со стандартными асинхронными двигателями, оснащёнными импульсным датчиком положения ротора.
- в) Замкнутая исполнительная система (серворежим) используется только с бесщёточными двигателями переменного тока с постоянными магнитами на роторе, оснащёнными датчиками обратной связи, имеющими коммутируемые выходные сигналы.

6.3 Дополнительные функции:

- 1) Лёгкость установки, программирования и ввода в эксплуатацию;
- 2) перегрузочная способность 175% в течение 5 сек., следующая за 150% в течение 60 сек.;

- 3) высокий стартовый момент и высокая точность регулирования скорости при векторном управлении;
- 4) быстрое ограничение тока (FLK) для надёжной работы без прерывания;
- 5) диапазон рабочих температур от 0 до 50 °С;
- б) встроенный опционный радиочастотный фильтр (RFI) на инверторах с однофазным входом;
- 7) встроенный ПИД – регулятор, с использованием аналогового устройства обратной связи. Источник питания обеспечивает 5,15 В, 300 мА для датчика обратной связи;
- 8) высокий стартовый момент и его автоматическое повышение при старте;
- 9) управление выходной частотой (т.е. скоростью двигателя) может осуществляться одним из пяти способов:
 - а) цифровым заданием частоты;
 - б) аналоговым заданием частоты с высоким расширением (по входному напряжению или току);
 - в) внешним потенциометром, управляющим скоростью двигателя;
 - г) функция мотор– потенциометра;
 - д) последовательным интерфейсом.
- 10) встроенный тормоз постоянного тока;
- 11) встроенный тормозной ключ для внешнего резистора;
- 12) автоматическая компенсация нагрузки посредством управления потокосцеплением или векторное управление без датчика;
- 13) время разгона/торможения с программируемым сглаживанием;
- 14) три программируемых аналоговых входа;
- 15) два программируемых аналоговых выхода;
- 16) программное обеспечение автоматически определяет количество полюсов двигателя;
- 17) встроенный программно-управляемый терморегулируемый охлаждающий вентилятор;
- 18) компактные размеры позволяют экономить место и размещать инверторы рядом друг с другом;
- 19) восемь предварительно устанавливаемых частот/скоростей;
- 20) настраиваемый с высокой точностью сигнал задания частоты/скорости;
- 21) дистанционный выбор сигналов задания частоты/скорости;
- 22) цифровой потенциометр;
- 23) три настраиваемых диапазона пропускаемых частот;
- 24) регулирование момента в разомкнутой системе;
- 25) до восьми выбираемых и настраиваемых линейных законов пуска и торможения;
- 26) дистанционный выбор линейных законов пуска и торможения;
- 27) контур позиционирования для реализации цифрового замка (электрического вала) в замкнутой системе;
- 28) управление выходной частотой нескольких приводов (ведомых) с основного (ведущего) привода в разомкнутой системе;

- 29) работа замкнутой системы регулирования с ведущим и несколькими ведомыми приводами (система master– slave);
- 30) встроенный интерфейс для подключения энкодера и сигналов частота/направление для разомкнутой и замкнутой систем;
- 31) два программируемых компаратора;
- 32) три программируемых цифровых входа/выхода;
- 33) три программируемых цифровых входа;
- 34) журнал отключений, фиксирующий десять последних отключений;
- 35) функция ориентации вала двигателя при остановке;
- 36) три отдельных режима пуска;
- 37) программируемый триггерный предупреждающий сигнал о времени работы привода;
- 38) две программируемые логические функции;
- 39) программируемая функция суммирования в двоичном коде.

6.4 Схема соединения силовых цепей и цепей управления преобразователя частоты UnidriveSP2401

На рисунке 6.2 приведена схема соединений, сделанных для подключения преобразователя частоты переменного тока.

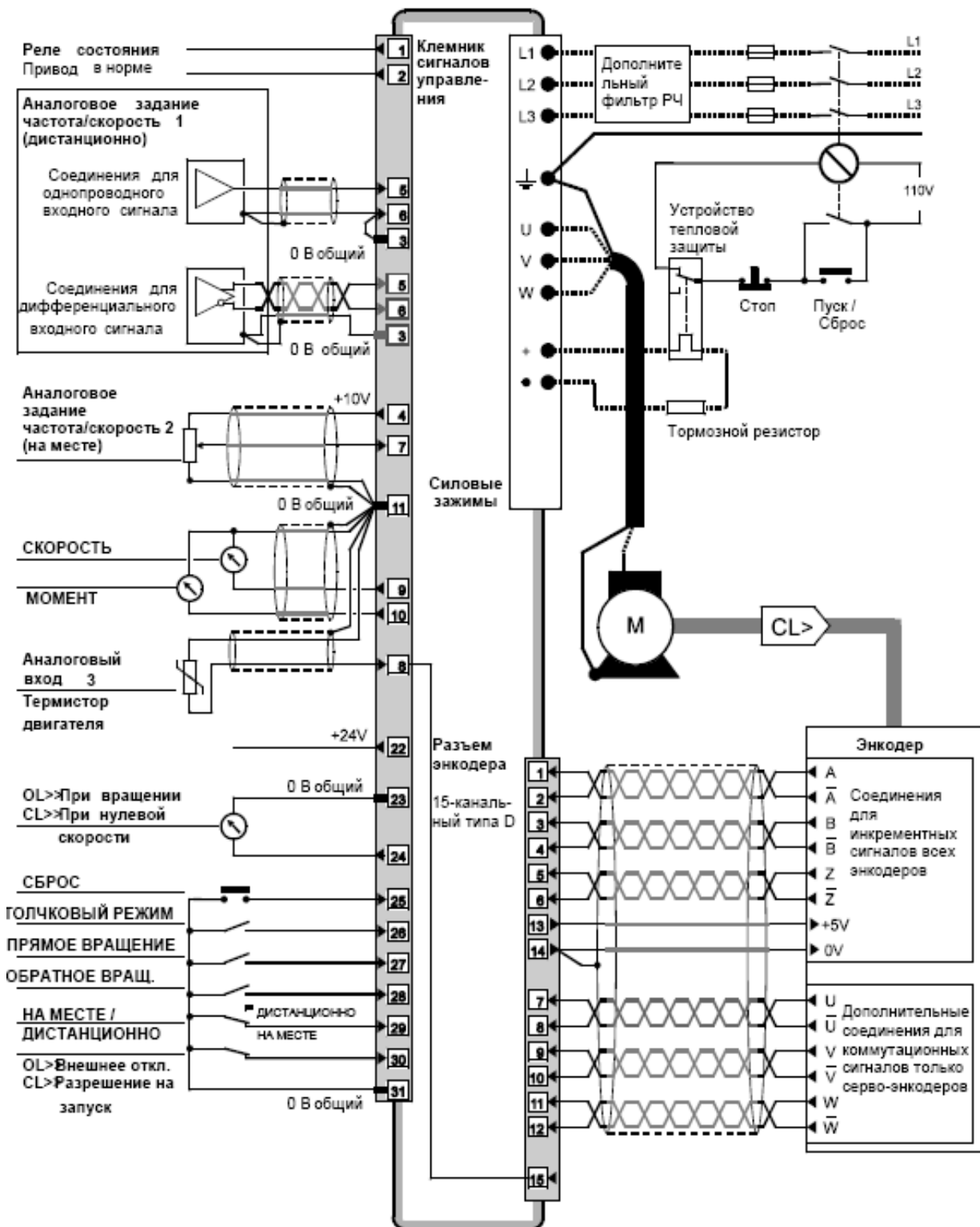


Рисунок 6.2– Схема подключения преобразователя

7 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА

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

- а) рабочие скорости рабочего и обратного хода должны быть обеспечены с заданной степенью точности;
- б) ускорение электропривода не должно превышать допустимых значений.

7.1. Расчет естественных характеристик двигателя

Предварительный расчет сопротивлений цепей:

Приведенный номинальный ток ротора:

$$I'_{2н} = I_{1н} \cdot \cos \varphi_n \quad (7.1)$$

$$I'_{2н} = 10.6 \cdot 0.75 = 7.95 \text{ А.}$$

Приведенное активное сопротивление ротора для номинального режима:

$$r'_{2н} = \frac{P_n \cdot 10^3 \cdot \omega_{он} \cdot S_n}{3 \cdot I'_{2н}{}^2 \cdot \omega_n} \quad (7.2)$$

$$r'_{2н} = \frac{3.7 \cdot 10^3 \cdot 104.7 \cdot 0.13}{3 \cdot 7.95^2 \cdot 91.1} = 2.916 \text{ Ом.}$$

Приведенный ток ротора при коротком замыкании:

$$I'_{2к} = I_n \cdot \cos \varphi_k = I_n \cdot \frac{R_{кз}}{\sqrt{R_{кз}^2 + X_{кз}^2}} \quad (7.3)$$

$$I'_{2к} = 37.2 \cdot \frac{5.7}{\sqrt{5.7^2 + 3.34^2}} = 32.1 \text{ А.}$$

Приведенное активное сопротивление ротора для режима короткого замыкания:

$$r'_{2к} = \frac{M_n \cdot \omega_{он} \cdot S_n}{3 \cdot I'_{2к}{}^2} \quad (7.4)$$

$$r'_{2к} = \frac{114 \cdot 104.7 \cdot 1}{3 \cdot 32.1^2} = 3.861 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление статора и приведенное индуктивное сопротивление ротора:

$$x_1 = x'_2 = \frac{X_{кз}}{2} \quad (7.5)$$

$$x_1 = x'_2 = \frac{3.34}{2} = 1.67 \text{ Ом.}$$

Из-за отсутствия точной зависимости $r'_2 = f(\omega)$ будем считать, что это прямая линия:

$$r'_2(\omega) = r'_{2к} - K \cdot \omega \quad (7.6)$$

В выражении (7.6) определим K , подставив номинальную точку

$$K = \frac{r'_{2к} - r'_{2н}}{\omega_n}$$

$$K = \frac{3.861 - 2.916}{91.1} = 0.01$$

В итоге получим зависимость

$$r'_2(\omega) = 3.861 - 0.01 \cdot \omega \quad (7.7)$$

Учитывая выражение (7.7) в программе Mathcad строим естественные характеристики двигателя:



Рисунок 7.1 – Естественная характеристика механического двигателя

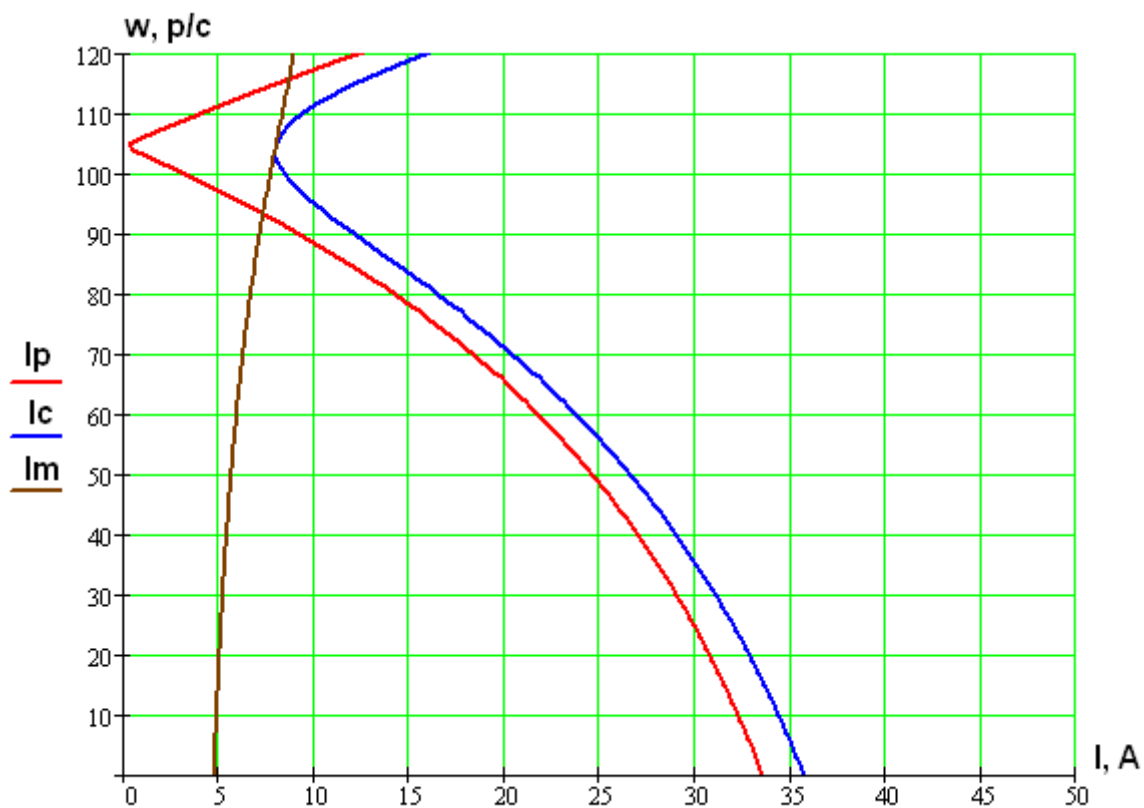


Рисунок 7.2 – Естественные электромеханические характеристики двигателя

7.2 Расчет параметров схем включения двигателя, обеспечивающих работу в заданных точках

Найдем жесткость прямолинейного участка механической характеристики:

$$\beta = \frac{P_n / \omega_n + M_{xx}}{\omega_{0n} - \omega_n} \quad (7.8)$$

$$\beta = \frac{3700 / 91.1 + 2.03}{104.7 - 91.1} = 3.136$$

Найдем отклонение скорости от синхронной при заданном моменте:
при движении с грузом

$$\Delta \omega_e^p = \frac{M_o^p c}{\beta} = \frac{18.25}{3.136} = 5.82 \text{ p/c.}$$

при движении без груза

$$\Delta \omega_e^s = \frac{M_o^s c}{\beta} = \frac{5.96}{3.136} = 1.9 \text{ p/c.}$$

Найдем синхронную скорость соответствующую заданной точке:
при движении с грузом

$$\omega_{зад}^p = \omega_{зад}^p + \Delta \omega_e^p = \frac{2 \cdot v_p}{D} \cdot j_p + \Delta \omega_e^p = \frac{2 \cdot 0.5}{0.25} \cdot 16 + 5.82 = 69.82 \text{ p/c.}$$

при движении без груза

$$\omega^e_{0зад} = \omega^e_{зад} + \Delta\omega_e^e = \frac{2 \cdot v_e}{D} \cdot j_p + \Delta\omega_e^e = \frac{2 \cdot 0.7}{0.25} \cdot 16 + 1.9 = 91.5 \text{ p/c.}$$

Относительное значение частоты напряжения на статоре:

при движении с грузом

$$\alpha^p = \frac{\omega^p_{0зад}}{\omega_{0н}} = \frac{69.82}{104.7} = 0.667$$

при движении без груза

$$\alpha^e = \frac{\omega^e_{0зад}}{\omega_{0н}} = \frac{91.5}{104.7} = 0.874$$

Обеспечение перегрузочной способности двигателя:

при движении с грузом

$$M^p_{\kappa} = 3 \cdot M^p_{\delta C} = 3 \cdot 18.25 = 54.75 \text{ Нм};$$

при движении без груза

$$M^e_{\kappa} = 3 \cdot M^p_{\delta C} = 3 \cdot 5.96 = 17.88 \text{ Нм.}$$

Напряжение на статоре определим по формуле:

при движении с грузом

$$U^p_{1зад} = \sqrt{\frac{M^p_{\kappa} \cdot 2 \cdot \omega_{он} \cdot (r_1 + \sqrt{r_1^2 + x_{\kappa}^2})}{3}} = \sqrt{\frac{54.75 \cdot 2 \cdot 104.7 \cdot (1.55 + \sqrt{1.55^2 + 3.34^2})}{3}} = 141.4 \text{ В.}$$

при движении без груза

$$U^e_{1зад} = \sqrt{\frac{M^e_{\kappa} \cdot 2 \cdot \omega_{он} \cdot (r_1 + \sqrt{r_1^2 + x_{\kappa}^2})}{3}} = \sqrt{\frac{17.88 \cdot 2 \cdot 104.7 \cdot (1.55 + \sqrt{1.55^2 + 3.34^2})}{3}} = 80.81 \text{ В.}$$

Относительное напряжение на статоре:

при движении с грузом

$$\gamma^p = \frac{U^p_{1зад}}{U_{1н}} = \frac{141.4}{220} = 0.643$$

при движении без груза

$$\gamma^e = \frac{U^e_{1зад}}{U_{1н}} = \frac{80.81}{220} = 0.367$$

В программе Mathcad строим характеристики, проходящие через заданные точки на рисунках 7.3...7.6.



Рисунок 7.3 – Механическая характеристика, проходящая через заданную точку, при движении с грузом

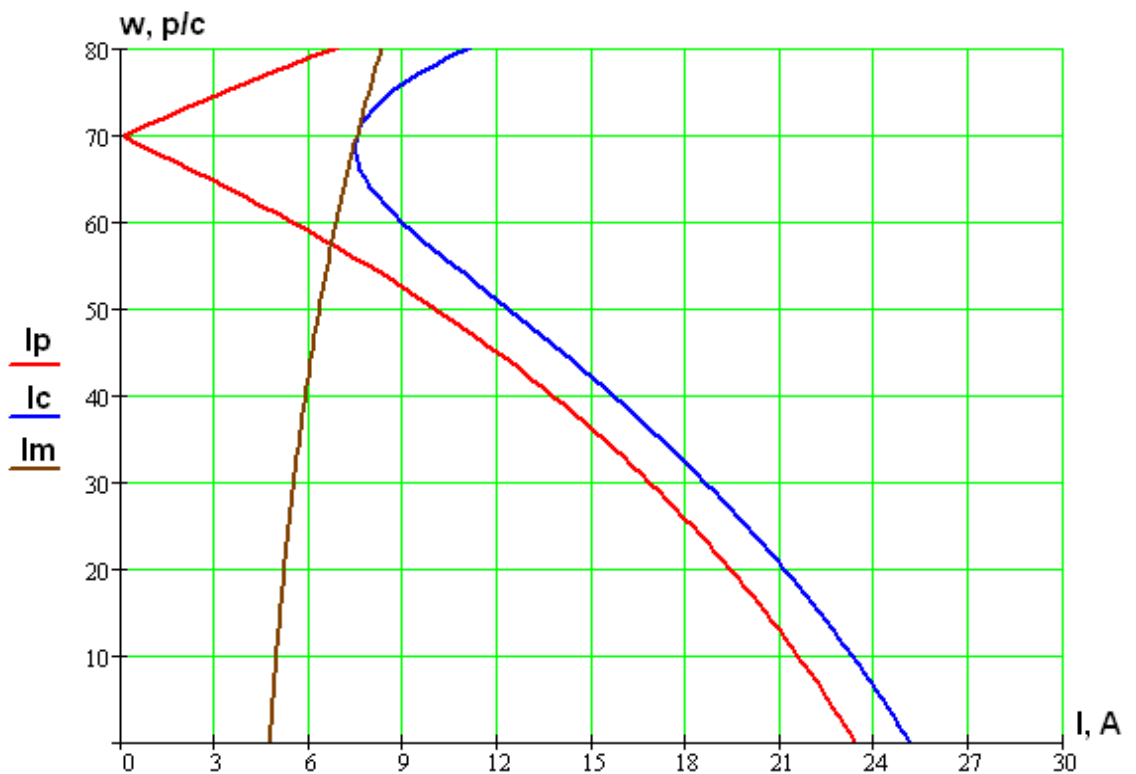


Рисунок 7.4 – Электромеханические характеристики, проходящие через заданную точку, при движении с грузом



Рисунок 7.5 – Механическая характеристика, проходящая через заданную точку, при движении без груза

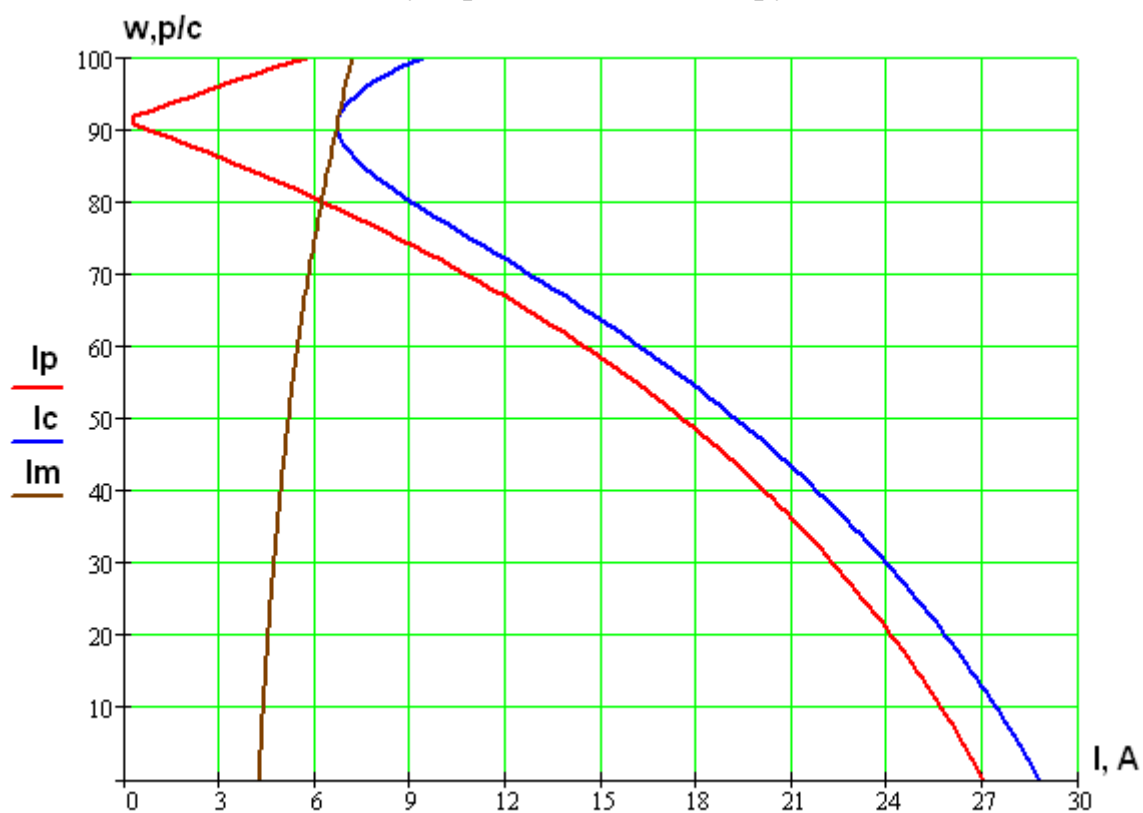


Рисунок 7.6 – Электромеханические характеристики, проходящие через заданную точку, при движении без груза

Отношение напряжений при движении с грузом пришлось изменить, для того, чтобы характеристика проходила через заданную точку: $\gamma^s = 0.78$

7.3 Расчет параметров схем включения, обеспечивающих пуск и торможение двигателя

7.3.1 Пуск и торможение в системе преобразователь – двигатель

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

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega_0}{dt} = \xi_0 = const \quad (7.9)$$

Величина установившегося значения динамического момента двигателя:

$$M_{дин} = J \cdot \xi_0. \quad (7.10)$$

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 за датчиками интенсивности ЗИ, обеспечивающие формирование линейного закона изменения напряжения управления.

Наиболее часто используются за датчики интенсивности интегральный и пропорционально–интегральный. В выбранном преобразователе частоты используется пропорционально–интегральный (ПИ) за датчик интенсивности, у которого снижено время пуска и торможения.

Темп нарастания скорости определяется величиной базовой постоянной времени ЗИ $T_{зи}$:

$$T_{зи} = \frac{\omega_{0н}}{\xi_0} = \frac{J \cdot \omega_{0н}}{M_n} \cdot \frac{M_n}{M_{дин}}; \quad (7.11)$$

$$T_{\partial} = \frac{J \cdot \omega_{0н}}{M_n}, \quad (7.12)$$

где: T_{∂} –механическая постоянная времени, с;

$\overline{M_{дин}}$ – относительное значение динамического момента двигателя

Механическая постоянная времени по (7.12):

при движении с грузом:

$$T_{\partial}^p = \frac{J \cdot \omega_{0н}}{M_n} = \frac{1.07 \cdot 870}{9.55 \cdot 40} = 2.437 \text{ с.}$$

при движении без груза:

$$T_{\delta}^{\epsilon} = \frac{J \cdot \omega_{0н}}{M_n} = \frac{0.31 \cdot 870}{9.55 \cdot 40} = 0.706 \text{ с.}$$

Постоянная времени ЗИ

при движении с грузом:

$$T_{ЗИ}^p = \frac{T_{\delta}^p \cdot M_n}{M_{\text{дин}}} = \frac{2.437 \cdot 40}{68.5} = 1.423 \text{ с.}$$

при движении без груза:

$$T_{ЗИ}^{\epsilon} = \frac{T_{\delta}^{\epsilon} \cdot M_n}{20} = \frac{0.706 \cdot 40}{20} = 1.412 \text{ с.}$$

В системе ПЧ – АД начальная пусковая характеристика определяется минимальной частотой преобразователя, а величина пускового момента существенно снижена из – за значительного влияния активного сопротивления статорной цепи двигателя.

7.4 Составление структурной схемы электропривода и расчет ее параметров

7.4.1 Структурная схема механической части электропривода

Механическая часть электропривода включает в себя движущиеся массы двигателя, передачи и рабочей машины. Структурные схемы механической части должны учитывать упругие связи и распределение моментов инерции между двигателем и рабочей машиной.

Дифференциальные уравнения, описывающие поведение двухмассовой упругой системы, без учёта диссипативных сил и зазоров в передаче, имеют вид:

$$M - M_{12} - M_{c1} = J_1 \cdot \frac{d\omega_1}{dt};$$

$$M_{12} - M_{c2} = J_2 \cdot \frac{d\omega_2}{dt};$$

$$M_{12} = c_{np} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2).$$

Продифференцировав во времени последнее уравнение, перепишем систему дифференциальных уравнений. Оставим в левой части члены уравнений, содержащие производные. Положим также, что:

$$M_{c1} = \Delta M = \Delta M_{nep} + M_x; M_{c2} = M_{pc};$$

$$J_1 = \delta J_{\delta\epsilon}; J_2 = J_{np};$$

$$\delta J_{\delta\epsilon} \cdot \frac{d\omega_1}{dt} = M - M_{12} - \Delta M;$$

$$\frac{l}{c_{np}} \cdot \frac{dM_{12}}{dt} = \omega_1 - \omega_2;$$

$$J_{np} \cdot \frac{d\omega_2}{dt} = M_{12} - M_{pc}. \quad (7.13)$$

Принимаем в качестве базовых величин номинальные данные двигателя:

$$\omega_{\bar{o}} = \omega_{0u}; M_{\bar{o}} = M_n \cdot$$

Получим систему дифференциальных уравнений во.е.

$$\delta J_{\bar{o}e} \cdot \frac{\omega_{0u}}{M_n} \cdot \frac{d\bar{\omega}_1}{dt} = \bar{M} - \bar{M}_{12} - \Delta\bar{M};$$

$$\frac{1}{C_{np}} \cdot \frac{M_n}{\omega_{0n}} \cdot \frac{d\bar{M}_{12}}{dt} = \bar{\omega}_1 - \bar{\omega}_2;$$

$$J_{np} \cdot \frac{\omega_{0n}}{M_n} \cdot \frac{d\bar{\omega}_2}{dt} = \bar{M}_{12} - \bar{M}_{pc}.$$

Структурная схема механической части построена на рисунке – 7.7.

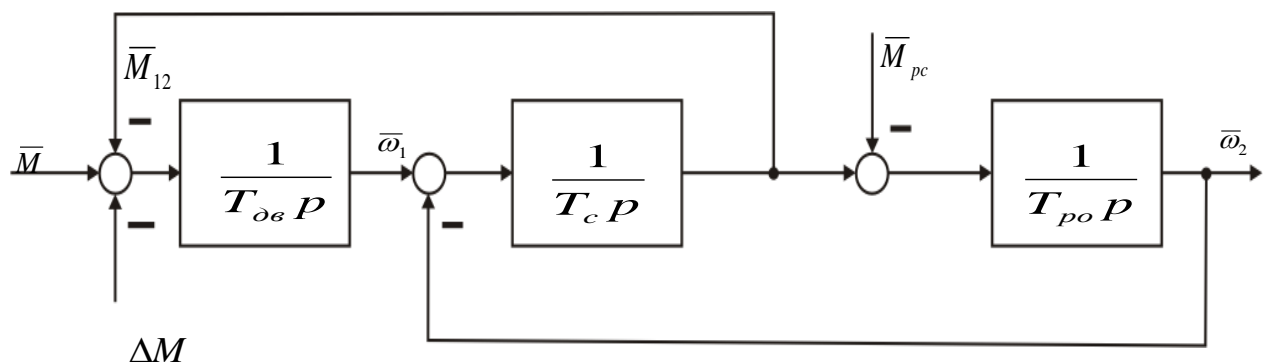


Рисунок 7.7 – Структурная схема механической части электропривода

Коэффициенты при производных представляют собой постоянные времени.

Постоянная времени двигателя:

$$T_{\bar{o}e} = \delta \cdot J_{\bar{o}e} \cdot \frac{\omega_{0n}}{M_n} = 1.5 \cdot 0.045 \cdot \frac{104.7}{40} = 0.177 \text{ с}$$

Постоянная времени упругого звена:

$$T_c = \frac{M_n}{C_{np} \cdot \omega_{0n}} = \frac{40}{15625 \cdot 104.7} = 2.4 \cdot 10^{-5} \text{ с};$$

Постоянная времени рабочего органа:

при движении с грузом

$$T^{p_{po}} = J^{p_{np}} \cdot \frac{\omega_{0n}}{M_n} = 1.07 \cdot \frac{104.7}{40} = 2.8 \text{ с.}$$

при движении без груза

$$T^{s_{po}} = J^{s_{np}} \cdot \frac{\omega_{0n}}{M_n} = 0.31 \cdot \frac{104.7}{40} = 0.81 \text{ с.}$$

7.4.2 Структурная схема асинхронного двигателя

Математическое описание асинхронного двигателя при наличии шести обмоток на статоре и роторе с учетом их взаимного расположения, множеством связей между ними достаточно сложно. В практике электропривода находят применение методы, в которых математическое описание упрощается за счет

различных допущений. Представление двигателя в виде эквивалентной двухфазной машины позволяет несколько упростить математическое описание и структурную схему асинхронного двигателя.

Для рассмотрения переходных процессов на рабочем участке механической характеристики возможно применение более простого соотношения между моментом и скоростью двигателя:

$$(T_s \cdot p + 1) \cdot M = \beta \cdot (\omega_0 - \omega), (7.14)$$

где: $\beta = \frac{M_n}{\omega_{0n} - \omega_n} = \frac{40}{104.7 - 91.1} = 2.94$ – модуль жесткости линеаризованной

механической характеристики, проходящей через номинальную точку;

$T_s = \frac{1}{\omega_{0эл} \cdot S_k}$ – электромагнитная постоянная времени;

S_k – критическое скольжение.

Перепишем выражение (7.14) в относительных единицах:

где: $\bar{\beta} = \frac{1}{S_n} = \frac{104.7}{104.7 - 91.1} = 0.13$ – жесткость механической характеристики в

относительных единицах.

Передаточная функция электромеханического преобразования в асинхронном двигателе:

$$W(p) = \frac{\bar{M}(p)}{\bar{\omega}_0(p) - \bar{\omega}(p)} = \frac{1/S_n}{T_s \cdot p + 1} \quad (7.15)$$

Структурная схема электромеханического преобразователя энергии изображена на рис. – 7.8.

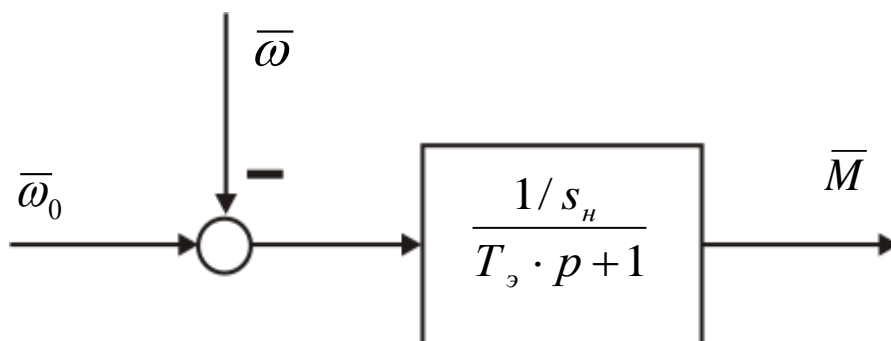


Рисунок 7.8 – Структурная схема электромеханического преобразователя энергии

7.4.3 Структурная схема преобразователя частоты

При помощи внутренних обратных связей преобразователя частоты обеспечивается поддержание заданного напряжения на выходе при изменении нагрузки и появляется возможность не учитывать падение напряжения внутри него.

Таким образом преобразователь частоты является безинерционным звеном с коэффициентом усиления $K_{тп}$ (в о.е. $K_{тп} = 1$), выходное напряжение и частота которого формируется на его входе с помощью датчика интенсивности (рисунок 7.9). Наиболее часто применяются интегральные и пропорционально-интегральные датчики интенсивности.

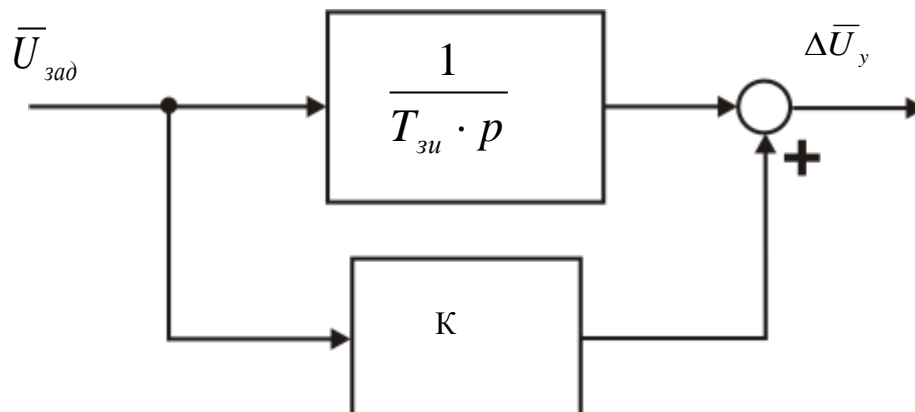


Рисунок 7.9 – Структурная схема датчика интенсивности

параметры структурной схемы:
пропорциональный канал

$$K = \frac{\Delta \omega_0}{\omega_{0н}} = \Delta \bar{\omega}_0 \quad (7.16)$$

$$\Delta U_y = K \cdot \bar{U}_{зад}$$

интегральный канал

$$\Delta U_y = U_{зад} \cdot \frac{t}{T_{зи}} \quad (7.17)$$

7.4.4 Структурная схема электропривода.

Полная структурная схема электропривода (рис. 7.10) включает в себя структурные схемы составных частей: механической части, электромеханического преобразователя энергии, электрического преобразователя и задающего устройства.

Структурная схема системы ПЧ– АД в общем виде сложна. Если допустить определенные ограничения ($\beta = \text{const}$, $M_k = \text{const}$ и др.), то можно составить структурную схему для рабочего участка механической характеристики.

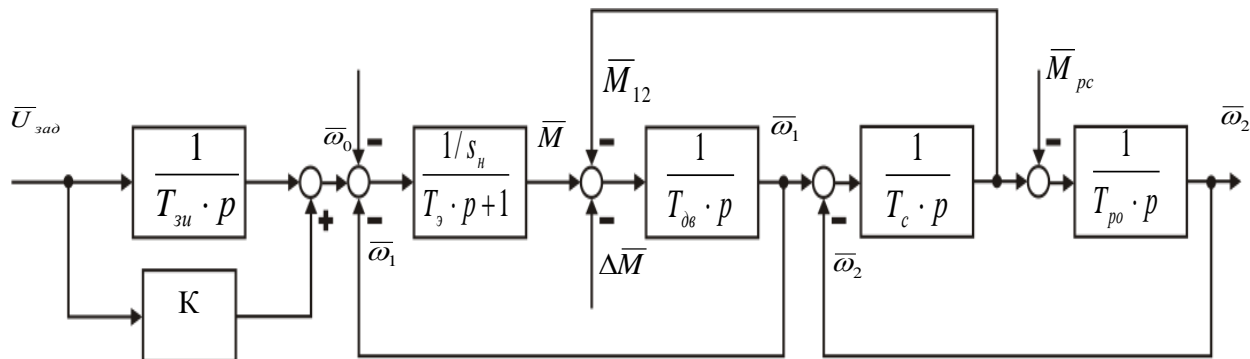


Рисунок – 7.10. Структурная схема электропривода

7.5 Расчет переходных процессов.

Рассчитываются переходные процессы для пуска при грузовом движении:

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

Расчет нагрузочных диаграмм для всего цикла работы (два пуска и два торможения) выполняется с учетом электромагнитной инерции и упругости передачи

7.6 Проверка электропривода на заданную производительность, по нагреву и перегрузочной способности двигателя и преобразователя

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

Проверку выбранного двигателя по нагреву выполняем методом эквивалентного тока

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \Delta t_i}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (7.18)$$

где: I_i – среднеквадратичное значение тока на i -ом участке;

Δt_i – длительность i -го участка работы;

β_i – коэффициент ухудшения теплоотдачи двигателя;

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

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

$$\beta_i = \beta_0 = 0.5 \text{ при } 0 \leq \omega \leq 0.2 \cdot \omega_n ;$$

$$\beta_i = \frac{1 + \beta_0}{2} = \frac{1 + 0.5}{2} = 0.75 \text{ при } 0.2 \cdot \omega_n \leq \omega \leq 0.8 \cdot \omega_n ;$$

$$\beta_i = 1 \text{ при } \omega \geq 0.8 \cdot \omega_n ,$$

где: $\beta_0 = 0,5$ для двигателей закрытых с самовентиляцией.

Тогда эквивалентный ток по (7.18)

$$I_3 = \sqrt{\frac{997}{0.82 \cdot 0.5 + 10.354 \cdot 0.75 + 0.826 \cdot 0.5 + 0.2 \cdot 0.5 + 0.9 \cdot 0.75 + 6.05 \cdot 1 + 0.9 \cdot 0.75 + 0.95 \cdot 0.5}} = 7.76 \text{ А}$$

При проверке двигателя по нагреву эквивалентный ток I_3 сравниваем с допустимым током $I_{доп}$ при тех же условиях работы (при той же относительной продолжительности включения).

Рассчитаем относительную продолжительность включения:

$$ПВ_{\phi} = \frac{1}{t_{ц}} \cdot \sum_{k=1}^m t_k \quad (7.19)$$

В соответствии с формулой (7.19):

$$ПВ_{\phi} = \frac{21}{48} = 0.44$$

Допустимый ток рассчитываем через представленное в каталоге значение допускаемого тока $I_{кат}$ для каталожной $ПВ_{к}$, ближайшей к фактической $ПВ_{\phi}$, полученной по результатам расчета нагрузочных диаграмм

$$I_{доп} = I_{кат} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{к}}{ПВ_{\phi}}} \quad (7.20)$$

$$I_{доп} = 10.6 \cdot \sqrt{\frac{40}{44}} = 10 \text{ А.}$$

Приведенным уравнением можно пользоваться для двигателей краново-металлургической серии.

При проверке двигателя по нагреву превышение эквивалентного тока над допустимым является неприемлемым.

Выбранный двигатель проходит по условиям нагрева $I_{3Б}, I_{доп}$.

Проверка двигателя на кратковременную перегрузку заключается в сравнении наибольшего значения момента двигателя с максимально допустимым значением момента выбранного двигателя:

$$M \leq M_{макс} = M_k ;$$

$$M_k = 114 \text{ Нм};$$

$$M = 57 \text{ Нм.}$$

Таким образом, выбранный двигатель проходит по условиям нагрева $I_3 < I_{доп}$ ($7.76 < 10 \text{ А}$), производительности $t_{расч} < t_3$ ($21 < 24 \text{ с}$) и перегрузочной способности $M < M_k$ ($57 < 114 \text{ Н} \cdot \text{м}$).

Проверка на перегрузку преобразователя

$$I_{макс.двиг.} < I_{макс.доп.};$$

$$I_{макс.доп} = K_{п} \cdot I_{пч} = 1.5 \cdot 13 = 19.5 \text{ А}$$

$$I_{\text{МАКС.ДВИГ}} = 10.6 \text{ А};$$

Вывод: Преобразователь проходит по перегрузке ($10.6\text{А} < 19.5 \text{ А}$) 95%.

8 НАСТРОЙКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Функциональная схема настройки преобразователя частоты представлена на рисунке 8.1.

Описание логической схемы и предварительная настройка преобразователя частоты

Установочная настройка преобразователя частоты для системы управления имеет вид замкнутой двухконтурной системы регулирования.

Сигнал задания поступает на контакт 5 преобразователя частоты и в блоке выбора сигнала задания в параметре 0,24 выбираем режим аналогового входа 1. Значение параметра 0,24 устанавливаем 4– 20 мА и на выходе блока выбора сигнала задания полезный сигнал поступает в параметр 0,5, где по умолчанию установлен «0» (внешнее управление – аналоговый сигнал частота/скорость, выбираемый контактом на месте/дистанционно).

Поступающий от контроллера сигнал управления на контакт 29 преобразователя частоты в параметре 8,27 (выбор положительной логики) обрабатывается и оценивается в параметре 8,06 (состояние цифрового входа Р6). Поступающий в параметр 8,23 (назначение) сигнал включает логический ключ параметра 0,05.

Поступающие от контроллера сигналы на контакты 27 и 28 преобразователя частоты осуществляют выбор направления вращения двигателя.

В параметрах 0,01 и 0,02 устанавливаются необходимые минимальная и максимальная скорости вращения двигателя.

В параметры 0,11 и 0,12 устанавливаются значения скорости перед рампой и после рампы соответственно, и поступают на сумматор, где суммируются с сигналом обратной связи по скорости с энкодера.

Результатом суммирования является ошибка по скорости (параметр 3,03). Эта ошибка поступает на блок коррекции регулятора скорости, где задаются коэффициенты усиления пропорциональных и интегрирующих звеньев регулятора (параметр 3,10 и 3,11).

Корректированный сигнал (параметр 3,04) поступает на вход блока регулятора тока.

Параметром 4,11 задается выбор режима регулирования момента и параметром 4,03 требуемый момент.

Параметрирование преобразователя момента производится в параметрах 5,10, 5,07 и 5,17.

Блоки выявления перегрузки и ограничения тока служат для защиты двигателя от аварийных режимов и для индикации аварийного состояния.

В преобразователе момента входной сигнал преобразуется в величину требуемого тока (параметр 4,04), которая через фильтр 4,12 поступает на сумматор, где происходит суммирование с величиной обратной связи по току (параметр 4,02).

Просуммированный сигнал поступает на вход регулятора тока, где параметрами 4,13 и 4,14 задаются необходимые коэффициенты.

С выхода регулятора тока сигнал поступает на вход блока задания параметров двигателя, где параметрами 5,06; 5,08; 5,09 и 5,11 задаются паспортные значения двигателя.

Компенсация характеристик двигателя с учётом требований технологического процесса осуществляются в блоке коррекции (параметры 5,12; 5,21; 5,24; 5,26; 5,27; 5,28; 5,29; 5,30; 5,31; 5,32 и 5,15).

Скомпенсированный сигнал (параметр 5,02) поступает в блок управления широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).

Параметрирование ШИМ производится параметрами 5,18; 5,19; 5,20.

Выходной промодулированный сигнал поступает на управление силовой ступенью преобразователя частоты, к которой подключается исполнительный асинхронный короткозамкнутый двигатель.

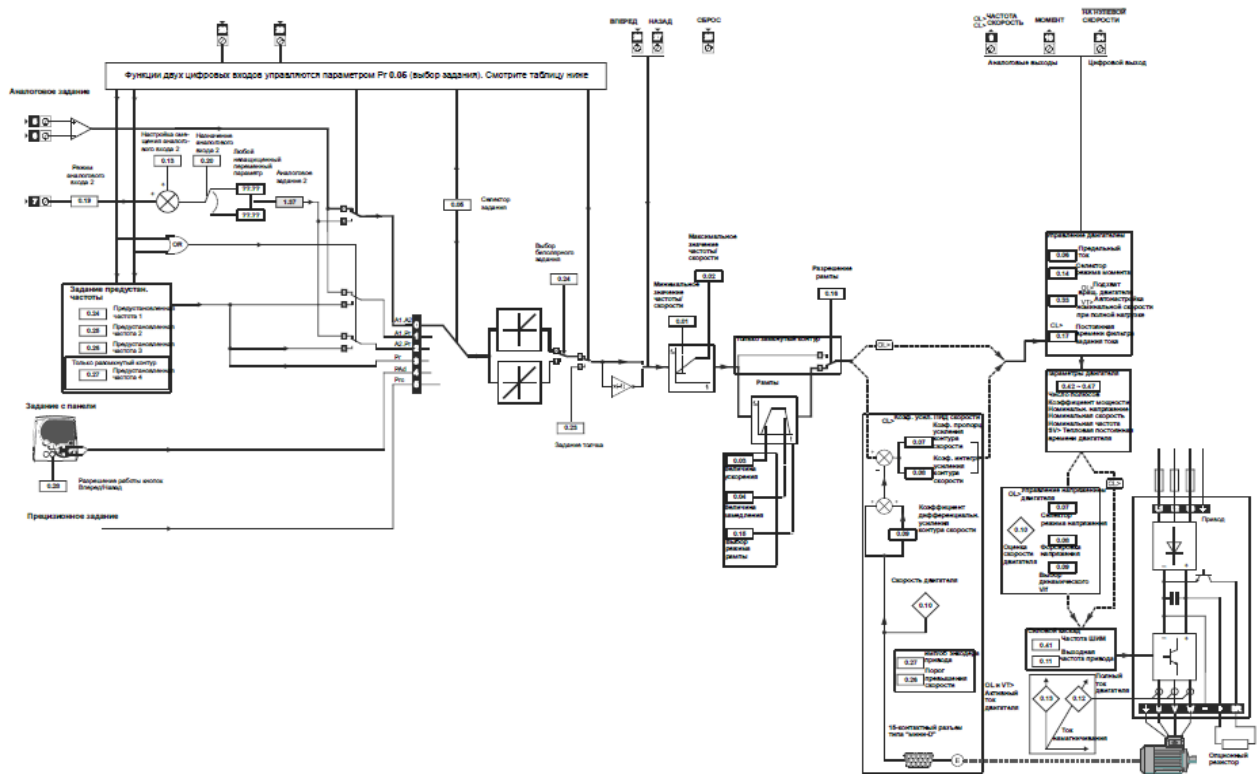


Рисунок 8.1 – Функциональная схеманастройки

9 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Для подачи энергии к механизмам крана используют троллеи. Напряжение питания 380В, частотой 50Гц поступает на клемникХТ1, на выход которого, подключены предохранители для защиты системы от короткого замыкания.

Реле А1 контролирует наличие напряжения на входе системы, правильность чередования фаз, а также диагностирует обрыв фазы, участвуя в формировании сигнала готовности для пуска электродвигателя.

На силовую часть схемы питание подается трехполюсным автоматом QF1 с номинальным током срабатывания $I_H = 16A$, на цепи управления – двухполюсным автоматом QF2, с номинальным током $I_H = 2A$. Автоматические выключатели выполнены с тепловым и электромагнитным расцепителем, обеспечивая, таким образом, тепловую защиту преобразователя частоты и защиту от короткого замыкания.

Через контактор КМ1 $I_H = 18A$, напряжение катушки 220В, питание подается на преобразователь частоты.

Входной и выходной реакторы LR1 и LR3 позволяют ограничить токи на входе преобразователя частоты, снизить влияние несимметрии питающего напряжения и компенсировать уравнивающие токи на выходе.

Преобразователь частоты UnidriveSP2401UZ служит для управления электродвигателем тележки мостового крана.

Тормозной резистор R служит для осуществления торможения двигателя.

Потенциометром RP, подключенным через клеммникХТ3, осуществляется регулирование скорости вращения электродвигателя, формируется сигнал задания на преобразователе частоты.

Для обеспечения защиты от самопроизвольного запуска при исчезновении и последующем появлении питания предусмотрена нулевая защита, выполненная на базе реле FA1– FA3.

Ключ-бирка S1 служит для разрешения работы привода и защиты против случайного включения системы.

Команда «Готовность схемы» (питание подается на катушку контактора КМ1) будет сформирована при нажатии на кнопку «Пуск» SB1 и выполнении всех следующих условий:

- на пульте оператора вставлен ключ-бирка (закрывается контакт КБ);
- закрыты: люк SQ1, дверь SQ2 и калитка SQ3;
- не сработало тепловое реле КК;
- не сработало реле А1.

Гот=КБ·SQ1·SQ2·SQ3·КК·А1·Кт·Кл·СТОП

Команда «Стоп» формируется при нажатии кнопки SB2.

Формирование команды на движение «Вперед» осуществляется при переводе командоаппарата в положение «В», отсутствии сигнала конечника крайнего положения SQ4 и отсутствие команды на движение «Назад». При движении

«Вперед» на пульте оператора горит светодиодный индикатор HL1.

Тележка вперед= $(\text{Вперед}+В) \cdot \text{Кл} \cdot \text{Авар} \cdot \overline{Н} + \text{HL1}$

Формирование команды на движение «Назад» осуществляется при переводе командоаппарата в положение «Н», отсутствии сигнала конечника крайнего положения SQ5 и отсутствии команды на движение «Вперед». При движении «Назад» на пульте оператора горит светодиодный индикатор HL2: «Тележка назад= $(\text{Назад}+Н) \cdot \text{Кп} \cdot \text{Авар} \cdot В + \text{HL2}$ »

Так же для обеспечения безопасности на пульт выносятся кнопка звонка SB3, оповещающего рабочих о приближении крана.

10 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Методы сетевого планирования применяются для оптимизации планирования и управления сложными разветвлёнными комплексами работ, требующих большого числа исполнителей, высоких затрат при ограниченных ресурсах.

Задачами экономического расчёта при дипломной работе является построение сетевого графика, расчёт экономической эффективности и планируемого срока окупаемости разработанного или модернизируемого объекта.

Сетевой график представляет собой план выполнения взаимосвязанных работ, представленных в графическом виде. Главными элементами являются события и работы. Количество работ всегда больше количества событий, поскольку многие работы выполняются параллельно, то есть в одно и то же время.

События – момент завершения какого-либо процесса или работы, результат одной или нескольких работ.

Работа – процесс, требующий определённого количества работников и времени. Всякая работа сетевого графика связывает только два события.

В таблице 10.1 приведены данные по каждой работе, и представлена ожидаемая продолжительность выполнения каждой работы.

Расчёт ожидаемой продолжительности выполнения работ произведём по формуле

$$t_{ij\text{ож}} = 0,6 \cdot t_{ij\text{мин}} + 0,4 \cdot t_{ij\text{макс}},$$

где: $t_{ij\text{мин}}$ – минимальная оценка продолжительности;

$t_{ij\text{макс}}$ – максимальная оценка продолжительности.

10.2 Расчёт параметров событий сетевого графика

Ранний срок свершения исходного (нулевого) события СГ принимается равным нулю. Ранний срок свершения данного промежуточного события рассчитывается путем сравнения сумм, состоящих из раннего срока свершения события, непосредственно предшествующего данному и длительности работы. Так как данное событие не может свершиться, пока не закончится последняя из непосредственно предшествующих ему работ, очевидно, что в качестве раннего срока свершения события принимается максимальная из сравниваемых сумм.

Расчитанный таким способом ранний срок свершения завершающего события всего СГ принимается в качестве его же позднего срока свершения. Это означает, что завершающее событие СГ никаким резервом времени не располагает.

$$t_{p\text{ij}} = \max_{ij} [t_p(i) + t(ij)]$$

Таблица 10.1 – Перечень, параметры и вероятностные характеристики работ сетевого графика

Код работ ы	Наименование работы	Продолжительность, суток		Исполнители, человек			Ожидаем аяпродол жительно стьработы , суток t ожд
		минималь ный	макси мальн ый	Руковод ители	Инже неры	лабо рант ы	
0-1	Составление технологических требований	3	7	2	1	0	5
1-2	Утверждение ТЗ.	2	4	1	1	0	3
2-3	Выполнение первоначальных расчетов	4	8	1	1	0	7
2-4	Консультации	6	10	2	1	0	8
2-5	Сбор информации и документации	28	40	2	2	0	33
3-5	Выполнение проекта	28	30	2	2	0	29
4-5	Выбор оборудования	10	12	2	2	0	11
5-6	Составление план-графика работ	6	8	1	1	0	7
6-7	Демонтаж оборудования	2	4	0	1	9	3
6-9	Заказ, покупка и получения оборудования	10	16	2	1	3	13
7-8	Изготовление кабельной линии	2	4	0	1	6	3
8-11	Монтаж силовых цепей и цепей управления	1	2	0	1	4	2
9-10	Изготовление и установка шкафа	2	4	0	1	4	3
10-11	Установка оборудования в шкаф	1	2	1	1	3	2
11-12	Установка двигателя	1	2	0	1	3	2
12-13	Подключение силовых цепей и цепей управления	1	2	0	1	3	2

Окончание таблицы 10.1

Код работы	Наименование работы	Продолжительность, суток		Исполнители, человек			Ожидаемая продолжительность работы, суток $t_{ожд}$
		минимальный	максимальный	Работодатели	Инженеры	Лаборанты	
13-14	Наладочные и регулировочные работы	1	2	2	2	1	2
14-15	Пробный и окончательный пуск привода в работу	1	2	2	2	1	2

Поздний срок свершения данного промежуточного события определяется при просмотре СГ в обратном направлении. Для этого сопоставляются разности между поздним сроком свершения события, непосредственно следующего за данным, и продолжительности работы, соединяющей соответствующее событие с данным. Так как ни одна из непосредственно следующих за данным событием работа не может начаться, пока не свершится само данное событие, очевидно, его поздний срок свершения равен минимуму из подсчитанных разностей.

$$t_{nij} = \min_{ij} [t_n(i) - t(ij)] \quad (10.1)$$

Правильность расчета поздних сроков свершения событий СГ подтверждается получением нулевого позднего срока свершения исходного события.

Резерв времени образуется у тех событий, для которых поздний срок свершения больше раннего, и он равен их разности. Если же эти сроки равны, событие резервом времени не располагает и, следовательно, лежит на критическом пути.

$$R(i) = t_n(i) - t_p(i) \quad (10.2)$$

Результаты расчета сводятся в таблицу 10.2 и изображаются на СГ.

Таблица 10.2 – Параметры событий сетевого графика

Номер события	Сроки свершения		Резерв времени, дни	Номер события	Сроки свершения		Резерв времени, дни
	ранний	поздний			ранний	поздний	
0	0	0	0	10	67	67	0
1	5	5	0	11	69	69	0
2	8	8	0	12	71	71	0
3	15	15	0	13	73	73	0
4	16	33	17	14	75	75	0
5	44	44	0	15	77	77	0

6	51	51	0
7	54	64	10
8	57	67	10
9	64	64	0

10.3 Расчёт параметров работ сетевого графика

Возможности смещения сроков начала, и окончания каждой работы определяются с помощью ранних и поздних сроков наступления событий, между которыми выполняется данная работа.

Ранний срок начала работы совпадает с ранним сроком свершения ее начального события.

$$T_{рнij} = T_{pi}. \quad (10.3)$$

Поздний срок начала работы можно получить, если из позднего срока свершения ее конечного события вычесть ее ожидаемую продолжительность.

$$T_{пнij} = T_{пj} - t_{ij}. \quad (10.4)$$

Ранний срок окончания работы $T_{роij}$ образуется прибавлением ее продолжительности к раннему сроку свершения ее начального события.

$$T_{роij} = T_{pi} + t_{ij}. \quad (10.5)$$

Поздний срок окончания работы $T_{поij}$ совпадает с поздним сроком свершения ее конечного события.

$$T_{поij} = T_{пj}. \quad (10.6)$$

Полный резерв времени $R_{пij}$ – это максимальный период времени, на который можно увеличить продолжительность данной работы, не изменяя при этом продолжительности критического пути. Он определяется по формуле:

$$R_{пij} = T_{пj} - T_{pi} - t_{ij}, \quad (10.7)$$

где: i – начальное событие данной работы;

j – конечное событие этой работы;

$T_{пj}$ и T_{pi} – поздний и ранний сроки свершения событий i и j .

Для всех работ критического пути, как не имеющих резерва времени, ранний срок начала совпадает с поздним сроком начала, а ранний срок окончания – с поздним сроком окончания.

Свободный резерв времени $R_{сij}$ – это максимальный период времени, на который можно увеличить продолжительность работы или отодвинуть ее начало, не изменяя при этом ранних сроков начала последующих работ, при условии, что начальное событие этой работы наступило в свой ранний срок. Свободный резерв времени определяется по формуле:

$$R_{сij} = T_{пj} - T_{pi} - t_{ij}. \quad (10.8)$$

Для работ, лежащих на критическом пути, никаких резервов времени нет, следовательно, коэффициент напряженности $K_{пij}$ таких работ равен единице. Если работа не лежит на критическом пути, она располагает резервами времени и ее коэффициент напряженности меньше единицы. Его величина подсчитывается как отношение суммы продолжительностей отрезков максимального пути, проходящего через данную работу, и не совпадающую с критическим путем

$t_{\max ij}^{не}$ к сумме продолжительностей отрезков критического пути, не совпадающих с максимальным путем, проходящим через эту работу $t_{кр ij}^{не}$.

$$K_{nij} = \frac{t_{\max ij}^{не}}{t_{кр ij}^{не}} \quad (10.9)$$

По сетевому графику и параметрам его событий на основе приведенных формул рассчитаны параметры работ. Результаты расчета сведены в таблице 10.3

Таблица 10.3 – параметры работы сетевого графика

Номер события	Ожидаемая продолжительность работы	Сроки начала, дн		Сроки окончания, дн		Резерв времени, дн		Коэффициент напряженности
		ранний, $T_{рнij}$	поздний, $T_{пнij}$	ранний, $T_{роij}$	поздний, $T_{поij}$	полный, $R_{пij}$	свободный, $R_{сij}$	
0-1	5	0	0	5	5	0	0	1
1-2	3	5	5	8	8	0	0	1
2-3	7	8	8	15	15	0	0	0.52
2-4	8	8	25	16	33	17	-17	1
2-5	33	8	11	41	44	3	-3	1
3-5	29	15	15	44	44	0	0	0.52
4-5	11	16	33	27	44	17	-17	1
5-6	7	44	44	51	51	0	0	1
6-7	3	51	61	54	64	10	-10	0.44
6-9	13	51	51	64	64	0	0	1
7-8	3	54	64	57	67	10	-10	0.44
8-11	2	57	67	59	69	10	-10	0.44
9-10	3	64	64	67	67	0	0	1
10-11	2	67	67	69	69	0	0	1
11-12	2	69	69	71	71	0	0	1
12-13	2	71	71	73	73	0	0	1
13-14	2	73	73	75	75	0	0	1
14-15	2	75	75	77	77	0	0	1

10.4 Расчёт трудоёмкости работ

Для упрощения расчётов трудоёмкости работы T_{ij} удобно ввести понятие приведённой к инженерной – численности работающих Γ_{ij} , для определения которой необходимо рассчитать коэффициент перерасчёта k_k численности работающих "к" –той категории к средней заработной плате ИНЖ.

Для инженеров коэффициент перерасчёта равен 1, для руководителей – 1,5, для лаборантов – 0,5.

Должностные оклады персонала приведены в таблице 5.3. Найдя приведённую численность работы Γ_{ij} , определяем приведённую к инженерным – дням

трудоёмкость работы T_{ij} умножением приведённой численности на ожидаемую продолжительность t_{ij} .

Таблица 10.4–должностные оклады персонала

Категория персонала	Месячный должностной оклад, руб/мес	Коэффициент перерасчёта кк
Руководители	22500	1,5
Инженеры	15000	1
Лаборанты	7500	0,5

10.5 Расчёт сметной стоимости работ

Сметную стоимость работы можно упрощенно подсчитать, зная ее приведенную трудоёмкость в ИНЖ – днях и среднюю стоимость одного инженерного – дня, $C_{дн}$. Последняя складывается из затрат, представленных в таблице 10.5.

Средняя заработная плата одного инженера рассчитывается делением среднемесячной заработной платы одного инженера (основной и дополнительной) на среднее число рабочих дней в месяце, установленное в законодательном порядке. Остальные статьи затрат рассчитываются по соотношениям, приведенным в таблице 10.5. Результаты расчетов вносят в таблицу 10.6.

Таблица 10.5 – Основные статьи затрат, в рублях

Наименование	Соотношение затрат	Величина
Основная заработная плата, $Z_{осн}$	Прямой расчет	15000
Дополнительная заработная плата, $Z_{доп}$	$0,1 \cdot Z_{осн}$	1500
Страховые взносы	$0,3(Z_{осн} + Z_{доп})$	4950
Накладные расходы, $Нр$	$0,45 \cdot Z_{осн}$	6750
Командировочные расходы, $Кр$	$0,2 \cdot Z_{осн}$	3000
Стоимость оборудования, $Со$	$0,5 \cdot Z_{осн}$	7500
Контрагентские услуги, $Ку$	$0,5 \cdot Z_{осн}$	7500

Средняя дневная заработная плата одного инженера:

$$Z_{срдн} = \frac{Z_{осн} + Z_{доп}}{N_{дн}} \quad (10.10)$$

$$Z_{срдн} = 750 \text{руб/дн}$$

Среднедневные прочие затраты:

$$Z_{атр} = \frac{O_{соц} + O_{п} + O_{мед} + O_{з} + C_{м} + Нр + Кр + Ку + Со}{N_{дн}} \quad (10.11)$$

$$Z_{атр} = 1755 \text{руб/дн}$$

Стоимость одного инженерного – дня: $Ст = Z_{срдн} + Затр = 2505 \text{руб/дн}$

Сметная стоимость: $Ст_{см} = \sum Ст \cdot T_{ij}$

Трудоёмкость и сметная стоимость сетевого графика приведены в таблице 10.6

Таблица 10.6 – Трудоёмкость и сметная стоимость сетевого графика

Номер события	Ожидаемая продолжительность работы	Категория персонала, чел.			Приведенная численность Инж	Приведенная трудоёмкость Инж.-дн.	Средняя заработная плата Инж, руб/дн	Средние прочие затраты, руб/дн	Стоимость одного Инж-дня, руб/дн	Сметная стоимость работы, руб
		Руководители	Инженеры	Лаборанты						
0-1	5	2	1	0	4	3	750	1755	2505	7515
1-2	3	1	1	0	2,5	3	750	1755	2505	7515
2-3	7	1	1	0	2,5	3	750	1755	2505	7515
2-4	8	2	1	0	4	3	750	1755	2505	7515
2-5	33	2	2	0	5	3	750	1755	2505	7515
3-5	29	2	2	0	5	3	750	1755	2505	7515
4-5	11	2	2	0	5	3	750	1755	2505	7515
5-6	7	1	1	0	2,5	3	750	1755	2505	7515
6-7	3	0	1	9	5,5	4	750	1755	2505	10020
6-9	13	2	1	3	4,5	4	750	1755	2505	10020
7-8	3	0	1	6	4	3	750	1755	2505	7515
8-11	2	0	1	4	3	3	750	1755	2505	7515
9-10	3	0	1	4	3	3	750	1755	2505	7515
10-11	2	1	1	3	4	3	750	1755	2505	7515
11-12	2	0	1	3	2,5	3	750	1755	2505	7515
12-13	2	0	1	3	2,5	3	750	1755	2505	7515
13-14	2	2	2	1	5,5	2	750	1755	2505	5010
14-15	2	2	2	1	5,5	2	750	1755	2505	5010
Итого(3Σ)										135270

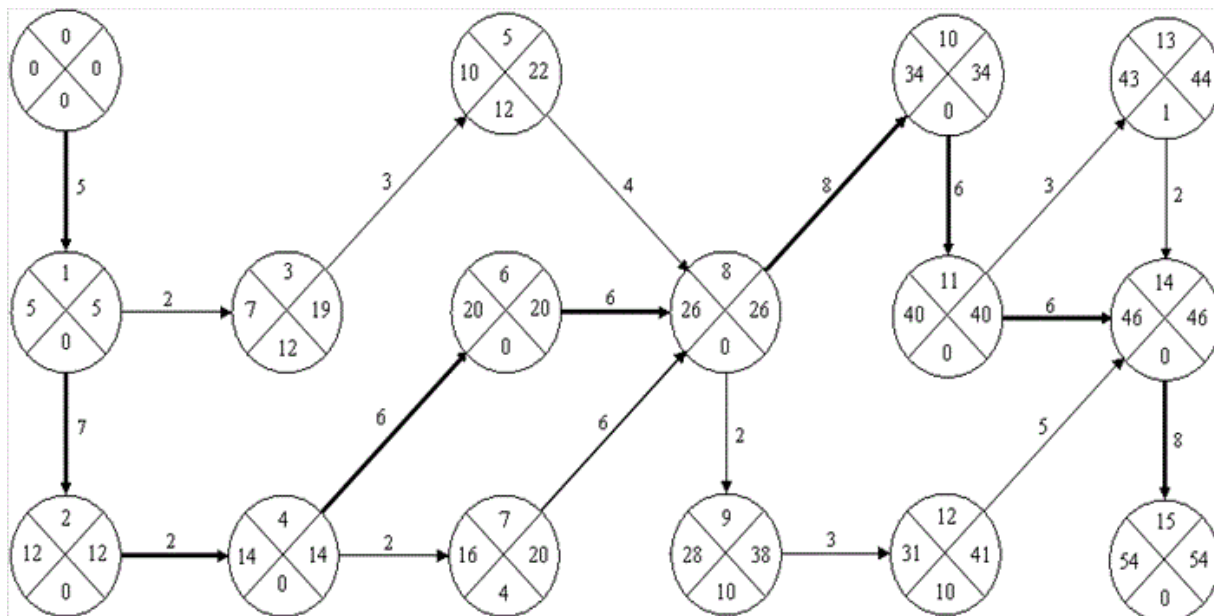


Рисунок 10.1 – Сетевой график

10.6 Расчёт экономических показателей

Таблица 10.7– стоимость оборудования

Наименование, тип, марка	Количество изделий в устройствах, штук	Цена одного изделия, рублей	Стоимость изделий в устройствах, рублей
Электродвигатель 4МТКФ(Н) 112LB6	1	33320	33320
Электропривод UnidriveSP 2401	1	75000	75000
Силовая электроаппаратура и другое оборудование	1	30000	30000
Сумма			138320
Транспортно-заготовительные расходы (+10% от суммы)			10000
ИтогоСдп			148320

Согласно таблицам 10.6 и 10.7 все затраты на разработку и внедрение проекта составили:

$$C_{\text{осн}} = C_{\text{разр}} + C_{\text{дп}} = 135270 + 148320 = 283590 \text{ руб.} \quad (10.12)$$

Затраты на з/п, установку оборудования составили 40% от затрат на внедрение проекта:

$$C_{\text{з/п}} = 0,4 \cdot C_{\text{дп}} = 0,4 \cdot 148320 = 59328 \text{ руб.} \quad (10.13)$$

Отсюда полные затраты проекта составили:

$$KB = C_{\text{осн}} + C_{\text{з/п}} = 283590 + 59328 = 342918 \text{ руб.}$$

Затраты на модернизацию привода передвижения крана представлены в таблице 10.8

Таблица 10.8– Затраты на модернизацию привода передвижения мостового крана

Наименование затрат	Стоимость, Руб.
Оборудование	148320
Затраты на разработку	135270
Оплата труда	59328
Итого	342918

Расчёт периода окупаемости проекта:

Произведём расчёт годовых затрат на проведения средних ремонтов в цехе ремонта металлургического электрооборудования:

$$Z_{\text{год}} = K_p \cdot C_p, \quad (10.14)$$

где: $K_p = 52$ – количество плановых ремонтов в год;

$C_p = 8610$ – цена проведения среднего ремонта, (руб);

$$Z_{\text{годр1}} = 52 \cdot 8610,5 = 447746 \text{ (руб/год)}.$$

При эксплуатации нового оборудования цена одного среднего ремонта составит $C_p = 2500$ рублей.

$$Z_{\text{годр2}} = 52 \cdot 2500 = 130000 \text{ (руб/год)}.$$

Годовой экономический эффект от экономии проведения ремонтов составит:

$$Э_p = Z_{\text{годр1}} - Z_{\text{годр2}} = 447746 - 130000 = 317746 \text{ (руб/год).}$$

Экономический эффект от внедрения новой системы, наблюдается в экономии энергозатрат. Так потребляемая энергия и её затраты в релейно– контакторной схеме:

$$W_{\text{п1}} = \frac{P_{\text{пр.дв}}}{\eta_{\text{рк}}} W_{\text{п2}}, \quad (10.15)$$

где: $W_{\text{п1}}$ – потребляемая энергия в системе генератор – двигатель;

$P_{\text{пр.дв}}$ –номинальная мощность приводного электродвигателя;

$\eta_{\text{рк}}$ – коэффициент полезного действия в релейно– контакторной схеме,

$\eta_{\text{рк}} = 0,75$;

$$W_{\text{п1}} = 7.5 / 0.75 = 10 \text{ кВт}$$

Затраты на потреблённую электроэнергию определяются:

$$Z_1 = W_{\text{п1}} \cdot F_D \cdot C_{\text{кВт.ч}}, \quad (10.16)$$

где: F_D –действительный годовой фонд времени работы с учётом графика работы и плановых остановок,

$$F_D = 5880 \text{ ч/год}$$

$C_{\text{кВт.ч}} = 3,2$ руб/кВт ч, стоимость одного Квт.ч. потребляемой энергии.

$$Z_1 = 10 \cdot 5880 \cdot 3.2 = 188160 \text{ (руб)}$$

Потребляемая энергия и её затраты в системе преобразователь частоты– двигатель определяются:

$$W_{\text{п2}} = \frac{P_{\text{дв}} + P_{\text{е}}}{\eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{в}}}, \quad (10.17)$$

где: $W_{\text{п2}}$ –потребляемая энергия в проектируемой системе;

$P_{\text{дв}}$ – номинальная мощность проектного электродвигателя;

$\eta_{дв}$ —коэффициент полезного действия электродвигателя, $\eta_{дв}=0,916$;

$\eta_{в}$ —коэффициент полезного действия возбудителя, $\eta_{в} = 0,95$.

$$W_{п2}=3.7/0.916 \cdot 0,95=3.84 \text{ кВт}$$

Затраты на потребляемую электроэнергию:

$$З_2=3.84 \cdot 5880 \cdot 3.2=72253 \text{ руб.}$$

Годовая экономия электроэнергии составляет:

$$W_{п1} - W_{п2} = 10 - 3.84 = 6.16 \text{ кВт.}$$

Годовой экономический эффект от экономии энергозатрат составит:

$$\mathcal{E}_{эз} = З_1 - З_2 = 188160 - 72253 = 115907 \text{ руб.}$$

Полный экономический эффект от экономии энергозатрат и проведения ремонтов составит:

$$\mathcal{E}_{п} = \mathcal{E}_{эз} + \mathcal{E}_{р} = 115907 + 317746 = 433653 \text{ руб.}$$

Период окупаемости получим разделив суммарную величину затрат на внедрение данного проекта $\sum C = 342918$ рубля на годовую экономию $\mathcal{E}_{г} = 433653$ рублей:

$$По = C / \mathcal{E}_{г} = 342918 / 433653 = 0,8 \text{ года}$$

Вывод: в экономической части данного дипломного проекта рассмотрены работы и затраты на модернизацию системы электропривода передвижения мостового крана. Был рассчитан и построен сетевой график на проведение работ. Рассчитаны затраты на проведение работ, сметная стоимость работ сетевого графика. Стоимость на разработку и модернизацию проекта = 342918 рублей.

Срок окупаемости модернизируемого объекта составляет 0,8 года, это меньше чем нормативный ($T_{н} = 6,25$ года), следовательно, проект экономически эффективен.

11 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Целью дипломной работы является разработка электропривода механизма передвижения тележки двухбалочного мостового крана, который приводится в движение асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором мощностью 3.7 кВт, напряжение питания двигателя $U=380$ В. По способу защиты от поражения электрическим током двигатель относится к классу 1. Электропривод имеет защищенное исполнение.

11.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Все опасные и вредные производственные факторы, источником которых является мостовой кран, работающий в цехе, согласно ГОСТ 12.0.003-99 ССБТ относятся к физической группе:

- движущиеся машины и механизмы;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень вибрации;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- повышенная напряженность электрического поля;
- повышенная напряженность магнитного поля;
- расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности пола;
- факторы пожара;
- падающие предметы.

11.2 Защита от опасных и вредных производственных факторов

Задачей раздела работы является снижение вредных воздействий до определенного (допустимого) значения.

Характеристики и допустимые уровни шума на рабочих местах устанавливает ГОСТ 12.1.003 – 83 (таблица 11.1)

Таблица 11.1 – Допустимые уровни звукового давления для машиниста крана

Уровни звукового давления, дБ, в составных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Эквивалентный уровень звука, дБА
331,5	663	1125	2250	5500	11000	22000	44000	88000	
1103	991	883	777	773	770	668	666	664	75

При работе в кабине крана машинист подвержен вибрациям 2-ой категории, находящимся на границе снижения производительности труда (ГОСТ 12.1.012 –

90).

Шум и вибрация оказывают вредное влияние на организм человека. При длительном воздействии шума у человека снижается острота слуха и зрения, повышается кровяное давление, ухудшается деятельность органов дыхания, происходит ослабление внимания, памяти.

Мероприятия по снижению шума:

–применение, по возможности, малошумного производственного оборудования;

–выполнение своевременного и качественного ремонта машиннооборудования, так как причиной недопустимого шума является износ трущихся деталей, подшипников, неточная сборка машин при ремонтах;

–применение индивидуальных средств защиты от шума, а также уплотнений конструкций, кожухов для источников шума и т. д.

Мероприятия по снижению вибрации:

–установка упругих элементов между вибрирующей машиной (механизмом) и основанием;

–применение вибропоглощений путем нанесения на вибрирующую поверхность слоя резины, мастик или пластмасс;

–применение индивидуальных средств защиты от вибраций: обувь на виброгасящей подошве, виброгасящие рукавицы (перчатки).

11.3 Мероприятия по охране окружающей среды

На промышленных предприятиях для работающего персонала окружающей средой является воздух рабочих зон (помещений) и прилегающих к ним территорий.

При работе на кране применяются нефтепродукты, которые при определенных условиях могут загореться (машинное масло для смазки, керосин для промывки подшипников и очистки механизмов от старой смазки и т. д.), а также возможно самовоспламенение при хранении более 8 часов (обтирочные концы, ветошь пропитанная маслом). Вследствие этого в воздухе появляются вредные вещества, поэтому по очистке воздуха применяют следующие мероприятия:

–запрет по хранению на кране запасов смазочного масла, керосина и обтирочных концов, которые необходимо немедленно удалять;

–запрет на применение для очистки механизмов бензина, ацетона и других, легко воспламеняющихся жидкостей, а следует их заменять керосином;

–применение естественной, приточной, вытяжной, приточно-вытяжной вентиляции, а также пылеотделителей.

11.4 Требования к освещению

Помещение цеха имеет совмещенное освещение, т.е. естественное и искусственное. Освещенность на рабочей поверхности в цехе от системы общего освещения должна быть не менее 400 лк.

Характеристика зрительной работы на пульте управления - высокой точности.

Освещенность на рабочей поверхности пульта от системы кранового освещения должна быть не менее 500 лк.

Осветительные установки должны быть безопасными, удобными и экономичными. Место их установки не должно препятствовать рабочему персоналу, но в тоже время рабочее место должно быть хорошо освещено. Для кранового освещения рекомендуется применять лампы дневного света (СНиП 23 – 05 – 95).

Групповые линии сетей внутреннего освещения должны быть защищены предохранителями или автоматическими выключателями.

Мостовые краны оборудуются подкрановым освещением, обеспечивающим освещенность не ниже нормируемого от общего освещения в зонах, затеняемых кранами. В кабинах мостовых кранов должны быть установлены экраны, препятствующие попаданию в поле зрения крановщика светящихся частей светильников общего освещения, установленных выше крана.

При выполнении, где требуется дополнительное переносное освещение (контроль, за ходовыми частями, тормозным оборудованием, монтажные работы), в качестве переносных светильников применяются лампы с магнитными держателями или с креплением на каске. Мощность ламп 40 Вт.

11.5 Защита от электрического тока

Напряжение прикосновения и сила тока, протекающего через тело человека при нормальном режиме работы электрооборудования с учетом опасности условий труда, не должны превышать значений, указанных в таблице 11.6 (продолжительность воздействия не более 10 минут в сутки).

Таблица 11.6—допустимые значения напряжения и тока при нормальном режиме работы

Род тока	U , В	I , мА
Переменный 50Гц	0,66	0,1
Переменный 400 Гц	1	0,13
постоянный	2,66	0,33

11.6 Пожарная безопасность

Возможные источники возникновения пожара: трансформаторы, реакторы, электродвигатели, кабельные линии и сооружения, систем освещения. Возможные причины возгорания – короткое замыкание, нарушение правил эксплуатации электрических нагревательных приборов, перегрузка электродвигателей и электрических сетей, образование больших местных переходных сопротивлений от электрических искр и дуг.

Описание устройства для аварийной эвакуации крановщика:

- 1) устройство для эвакуации постоянно находится в кабине крановщика, подвешенным на удлинительной петле за несущую металлоконструкцию кабины;
 - 2) при чрезвычайной ситуации (пожар, авария или поломка крана) крановщик без каких-либо регулировок и настроек может воспользоваться устройством для эвакуации;
 - 3) спуск (эвакуация) крановщика из кабины осуществляется вертикально вниз на 4-х мм стальном тросе в полиамидной оплетке, система крепления крановщика - спасательная косынка;
 - 4) регулирование скорости спуска крановщика осуществляется автоматически тормозным механизмом и составляет 1 м/с;
- В кабине крана должен присутствовать огнетушитель.

11.7 Требования к электрооборудованию крана

При питании передвижных приемников электрической энергии, от стационарных сетей с заземленной нейтралью, согласно ГОСТ 12.1.030 – 81 зануление следует выполнять в сочетании с защитным отключением.

Зануление – преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Защитное отключение – быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении опасности поражения током.

Рельсы кранового пути должны быть надежно соединены на стыках одна с другой для создания непрерывной электрической цепи. В электроустановках, для которых в качестве защитного мероприятия применяется зануление, рельсы кранового пути должны быть соответственно занулены.

Все электрооборудование, располагаемое в кабинах управления кранами, снабжается заземленными металлическими кожухами или должно быть полностью закрыто от возможности прикосновения к токоведущим частям. В кабине управления также находится аппарат, обеспечивающий непосредственное или дистанционное отключение всех питающих кабельных трасс, проведенных по крану, за исключением вводных устройств. Выход на площадки крана, где расположено не защищенное кожухами электрооборудование, токопроводы или троллеи тележки, осуществляется только через двери и люки, имеющие блокировку, отключающую питание всех источников электроэнергии крана.

После действия ограничителя грузоподъемности возможно опускание груза или включение других механизмов для уменьшения грузового момента.

Подача напряжения на грузоподъемную машину от внешней сети осуществляется через вводное устройство, имеющее ручной и дистанционный привод для снятия напряжения.

Выключатель, подающий напряжение на главные троллейные провода или на гибкий кабель, имеет приспособление для запираания его в отключенном положении.

Участок главных троллеев, главные токоприемники и токопроводы,

остающиеся под напряжением при отключении всей внутрикрановой разводки, надежно ограждены от случайного прикосновения к ним. Это ограждение имеет замок с индивидуальным ключом.

Ремонт и осмотр токопроводов может осуществляться только при отключении питания главных троллеев или общего вводного устройства, расположенного вне крана.

Краны являются движущимися установками и подвержены вибрации и ударам в процессе движения, поэтому возможность повреждения кабелей и проводов на кранах относительно выше, чем при их стационарной прокладке. С учетом этого первостепенной задачей является защита электрооборудования на кранах от токов к.з. Защита кабельной сети крана от токов к. з. осуществляется с помощью реле максимального тока мгновенного действия, а при необходимости может осуществляться установочными автоматами.

Защита проводов от токов к. з. осложняется большим интервалом мощностей электродвигателей механизмов в пределах одного крана. В соответствии с Правилами устройства электроустановок защитные аппараты; должны быть рассчитаны на ток срабатывания не выше 450% продолжительного тока защищаемой цепи.

Крановые электроприводы имеют следующие основные типы защитных устройств:

- максимальную защиту для отключения электропривода от сети при возникновении в защищаемой сети недопустимых токов;
- нулевую защиту для отключения электропривода при прекращении или перерыве подачи питания от источника электроэнергии. Разновидностью нулевой защиты является нулевая блокировка, исключающая самозапуск электродвигателя при восстановлении питания подводящей линии, если орган управления находится в рабочем положении;
- конечную защиту для предотвращения перемещения движущихся конструкций сверх определенных допустимых границ.

Важной задачей системы защиты является предотвращение у всех типов электроприводов крановых механизмов недопустимых перегрузок, связанных с неисправностью схем управления, заклиниванием механизмов, обрывом цепи тормоза и т.п. В связи с неопределенностью нагрузки крановых механизмов, меняющимися темпами нагрева двигателей, их работой в условиях частых пусков и торможений затруднительно решение задачи защиты электроприводов от тепловых перегрузок. Единственным условием предотвращения тепловых перегрузок кранового электрооборудования является его правильный выбор с учетом заранее рассчитанных любых возможных в эксплуатации режимов работы. Таким образом, защита от перегрузок сводится к контролю пускового тока при ступенчатом пуске и защите от заклинивания короткозамкнутых двигателей или электроприводов с токовой отсечкой. При правильно организованном пуске электропривода со ступенчатым разгоном пусковой ток не должен превышать 220 – 240% тока, соответствующего расчетному значению. С учетом необходимого запаса на разброс, как пускового тока, так и уставки максимального реле

последняя должна быть рассчитана на срабатывание при токе около 250% расчетного, который может быть равен или меньше тока электродвигателя в режиме ПВ = 40%.

Наличие нулевой блокировки исключает самозапуск электроприводов кранов, а также исключает повторное включение при срабатывании различных защит.

Дверь для входа в кабину управления грузоподъемной машины с посадочной площадки снабжена электрической блокировкой, не позволяющей начать передвижение крана при открытой двери. Если кабина имеет тамбур, то такой блокировкой снабжается его дверь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе был разработан электрический привод механизма передвижения тележки двухбалочного мостового крана, расположенного в Теплосиловом цехе ПАО «Комбинат «Магнезит».

На основании требований, предъявляемых к электроприводу, технического задания и технологических условий работы была разработана структурная схема электропривода, а затем произведен выбор ее основных элементов.

Механизм передвижения тележки крана приводится в движение асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором серии 4МТКФ(Н) 112LB6.

Питание электродвигателя осуществляется от преобразователя частоты UnidriveSP2401 фирмы ControlTechniques.

Внедрение данной системы позволило:

- обеспечить плавное изменение скорости перемещения тележки крана;
- ограничить предельные нагрузки механизмов крана;
- обеспечить выполнение всех необходимых блокировок при работе механизма передвижения тележки крана;
- уменьшить динамические нагрузки на механизмы крана.

В экономической части дипломной работы выполнен расчет затрат на проектирование и монтаж механизма передвижения тележки крана, что составило: 342918 рублей со сроком окупаемости 0,8 года, это в 7,81 раза меньше нормативного срока.

В дипломной работе также рассмотрены вопросы технической безопасности и охраны труда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Ахьюджа, Х. Сетевые методы управления в проектировании и производстве: учебное пособие/ Х. Ахьюджа. – М.: Мир, 1979. – 638с.
- 2 Вишневецкий, С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе: Справочник/ С.Н. Вишневецкий. – М.: Энергия, 1977. – 432с.
- 3 Гохберг, М.М. Справочник по кранам: справочник/ под ред. М.М. Гохберга. – М.: Машиностроение, 1988. – 536с.
- 4 Драчев, Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие, Ч1/ Г.И. Драчев. – Челябинск.:Изд – во ЮУрГУ, 2005. –209 с.
- 5 Драчев, Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие к курсовому проектированию для студентов ПАОчного обучения специальности 180400. 2-е издание, дополненное/ Г.И. Драчев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – 137с.
- 6 Елисеев, В.А. Справочник по автоматизированному электроприводу: справочник/ под ред. В.А. Елисеева.– М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616с.
- 7 Кутилин, Н.Д. Г.Н. Редукторы: справочник/ Н.Д. Кутилин. – Ленинград: Машиностроение, 1972. – 143с.
- 8 Рабинович, А.А. Крановое электрооборудование: справочник/ под ред. А.А. Рабиновича – М.: Энергия, 1979. – 240с.
- 9 Усынин, Ю.С. Системы управления электроприводов: Учебное пособие/ Ю.С. Усынин. – Челябинск: Изд – во ЮУрГУ, 2001. – 358с.
- 10 Ключев, В.И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: учебник для ВУЗов/ В.И. Ключев, В.М. Терехов. – М.: Энергия, 1980. – 360с.
- 11 Яуре, А.Г. Крановый электропривод: справочник/ А.Г. Яуре, Певзнер Е.М. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
- 12 Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. ПОТ РМ – 016 – 2001, 2003.
- 13 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей, 2003.
- 14 Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. Госгортехнадзор Росси, 2000г.
- 15 Правила устройства электроустановок. 7-е издание, переработанное и дополненное, с изменениями, 2002.
- 16 Руководство пользователя по UnidriveUNI, модели с габаритами от 1 до 9; редакция 11.
- 17 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению. СТП ЮУрГУ 04 – 2008. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56с.