

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Механико-технологический факультет
Кафедра машиностроения, автоматики и электроэнергетики

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
к.т.н., доцент
_____ В.Г. Некрутов
_____ 201_ г.

Модернизация электропривода буровой лебедки

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ ВКР

Консультанты
Безопасность жизнедеятельности,
к.т.н., доцент
_____ В.Г. Некрутов
_____ 201_ г.

Руководитель работы,
к. т. н., доцент
_____ К. М. Виноградов
_____ 201_ г.

Автор работы
студент группы ИОДО-552
_____ И.Р. Бадретдинов
_____ 201_ г.

Нормоконтролер,
доцент
_____ В.Д. Константинов
_____ 201_ г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ.....	10
1.1 Общее сопоставление возможностей преобразователей частоты	10
1.2 Особенности преобразователя частоты Эратон	11
1.3 Особенности преобразователя частоты Триол	13
1.4 Особенности преобразователя частоты Веспер.....	14
1.5 Особенности преобразователя частоты Control Techniques.....	16
1.6 Особенности преобразователя частоты SIEMENS.....	16
1.7 Особенности преобразователя частоты ABB.....	17
Выводы по части один.....	18
2 ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭКГ 4.6Б	10
2.1 Описание экскаватора на предприятии. ЭКГ-4,6 Б	10
2.2 Технические характеристики экскаватора ЭКГ-4,6 Б.....	11
2.3 Электрооборудование машины	13
2.4 Системы управления главными приводами карьерных экскаваторов.....	14
2.5 Обоснование модернизации главных приводов машины	16
Выводы по части один.....	17
3 ВЫБОР ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ДВИГАТЕЛЯ И СИЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ.....	19
3.1 Общие сведения о применениях различных электроприводов.....	19
3.2 Требования предъявляемые к главным электроприводам машины...	19
3.3 Основные исходные данные для проектирования.....	22
3.4 Предварительный выбор мощности и электродвигателя	24
3.5 Расчет тахограммы и нагрузочной диаграммы.....	25
3.6 Проверка выбранного двигателя по нагреву и перегрузке	25
3.7 Выбор преобразователя частоты.....	27
Выводы по части два.....	27
4 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ.....	28
4.1 Построение системы автоматического управления прямого управления моментом асинхронного привода (DTC).....	28
4.3 Моделирование процессов в частотно-регулируемом электроприводе.....	29
4.3.1. Постановка задачи.....	11
4.3.2. Краткое описание приложения Simulink пакета MATLAB.....	11
4.4 Моделирование частотно-регулируемого электропривода.....	11
4.4.1. Математическая модель системы управления электроприводов.....	11
Выводы по части три.....	30
5 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОМАТИКИ.	31
5.1 . Описание контроллера SIMATIC S7-300.....	31
5.2 Программа для контроллера	31

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Выводы по части четыре.....	32
6 ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТРАНЗИСТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА.	51
6.1 Экономическая эффективность от внедрения.....	51
6.2 Приведены затраты системы Г-Д (1 вариант).....	51
6.3 Определение приведенных затрат системы ЧП-Д (2 вариант).....	51
Выводы по части пять.....	53
7 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА	59
7.1 Безопасность автоматизированного электропривода экскаватора ЭКГ-4,6Б.....	90
7.1.2 Безопасность элементов конструкции автоматизированного электропривода экскаватора ЭКГ-4,6Б.....	59
7.1.3 Безопасность исходных материалов	63
7.1.4 Безопасность средств защиты, входящих в конструкцию автоматизированного экскаватора ЭКГ-4,6Б.....	77
7.1.4 Эргономика и техническая эстетика.....	77
7.1.5 Безопасность при транспортировке и хранении экскаватора ЭКГ-4,6Б	11
7.1.8 Безопасность при размещении ЭКГ-4,6Б на площадке.....	11
7.1.9 Требования безопасности к профессиональному отбору.....	11
7.1.10 Пожарная безопасность.....	11
7.1.11. Безопасность при чрезвычайных ситуациях.....	11
7.2 Экологическая безопасность автоматизированного электропривода экскаватора ЭКГ-4,6Б.....	11
7.2.1 Экологическая безопасность исходных материалов и веществ, входящих в конструкцию оборудования.....	11
7.2.2. Экологическая безопасность материалов и веществ, обращающихся в технологических операциях.....	11
7.2.3 Выброс в атмосферу и сброс в сточные воды вредных веществ от спроектированного (модернизированного) оборудования.....	11
7.2.4. Экологическая безопасность исходных материалов.....	11
Выводы по части шесть.....	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	70
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	72

ВВЕДЕНИЕ

Горнодобывающая промышленность России на современном этапе характеризуется дальнейшим развитием открытого способа разработки полезных ископаемых. Преобладающее значение открытые разработки уже приобрели при добыче руд черных и цветных металлов, горно-химического сырья и строительных материалов.

Парк горных и транспортных машин, занятых в сфере горного производства открытым способом, требует качественных изменений за счет увеличения единичной мощности машин и грузоподъемности работающих с ними в технологической цепочке средств транспорта, создания более безопасного, надежного в эксплуатации и ремонтно пригодного оборудования, обладающего комфортностью для экипажа и удобством в управлении, превосходящего по своим технико-экономическим показателям лучшие отечественные и зарубежные образцы техники.

Цель данной дипломной работы – модернизация электрооборудования экскаватора ЭКГ-4,6 Б, являющимся одним из основных видов одноковшовых экскаваторов, используемых на территории России

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

1.1 Общее сопоставление возможностей преобразователей частоты

В данной части выполнен анализ особенностей построения и реализации различных преобразователей частоты (ПЧ) шкафного исполнения, российских производителей и зарубежных фирм.

Рассмотрим функциональные и технические возможности ПЧ фирм «Эратон», «Триол» «Веспер», «Control Techniques», «SIEMENS» и «ABB» мощностью 300 кВт, при их использовании для модернизации главного привода ЭКГ-4,6Б. Преобразователи целесообразно сравнить по следующим показателям:

- тип преобразователя;
- напряжение питания;
- диапазон изменения выходной частоты;
- количество аналоговых/дискретных входов;
- наличие дополнительных опций.

Предварительный анализ технических возможностей ПЧ различных фирм показал, что диапазон мощностей (кВт) характеризует мощность двигателей, подключаемых к данному преобразователю. В общем случае, достаточно широкий диапазон мощностей для ряда моделей одной фирмы свидетельствует о серьезных и прочных позициях производителя в производстве преобразователей для разных применений.

Напряжение питания характеризует имеющийся трехфазной сети, производителем предусмотрено ряд мощных модели изготавливаются из расчета трехфазного питания 380-480 В переменного тока. Разброс $-15\% \div +10\%$ от номинального напряжения питания, является стандартом, предъявляемым к электрическим аппаратам, что необходимо для устойчивой работы в российских сетях. Все ПЧ представленные в данном списке соответствуют этому требованию.

Количество параметров настройки характеризует возможность более гибко настроить преобразователь под свои задачи. Однако необходимо отметить, что качественный состав и продуманность параметров ни менее важны, чем их количество. Для упрощенных исполнений специализированных преобразователей достаточно малого количества необходимых для технологического процесса параметров. Для того чтобы правильно оценить качественный и количественный состав, его достаточность и необходимость для решения конкретных задач, необходимо изучить полное описание на данную модель преобразователя.

Наличие дополнительных опций характеризует приспособляемость ПЧ для гибкой настройки его под нужды производственного процесса, почти все солидные производители реализуют возможность установки в преобразователь частоты дополнительных модулей (опций), расширяющих его возможности. Безусловно, при выборе преобразователя следует учитывать, что у одного

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

производителя введено в состав опции, у другого может входить в состав базового модуля.

Количество аналоговых/дискретных входов, характеризует сопряжения преобразователя частоты с системой локального управления технологическим процессом. Чем больше сигнальных входов, тем проще сопрягать преобразователь с внешней системой управления.

1.2 Особенности преобразователя частоты «Эратон-м5»

Преобразователи частоты серии «ЭРАТОН-М5» предназначены для регулирования частоты вращения низковольтных асинхронных и синхронных электродвигателей. Преобразователи «ЭРАТОН» просты в эксплуатации, надежны и неприхотливы. Конструкция преобразователей приспособлена к работе в условиях промышленного предприятия.

Преобразователи частоты «ЭРАТОН-М5» выполнены по схеме транзисторного автономного инвертора напряжения на IGBT-модулях с промежуточным звеном постоянного тока и многофункциональной микропроцессорной системой управления на базе высокопроизводительного процессора цифровой обработки сигналов DSP56F8345. Формирование выходного напряжения преобразователя частоты (ПЧ) осуществляется переключением IGBT-модулей с возможностью гибкого выбора частоты и алгоритма высокочастотной широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Частота ШИМ выбирается в диапазоне от 0,5 кГц до 20 кГц с шагом 0,1 кГц. Это позволяет регулировать частоту основной гармоники выходного напряжения до 800 Гц.

- Напряжение питания: $3 \times 380 \pm 10 - 15\%$ В, $50 \pm 2\%$ Гц;
- Степень защиты: IP21, IP44, IP54 по ГОСТ 14254;
- Помехоустойчивость и ограничение помехоэмиссии: соответствует ГОСТ Р 51524;
- Средняя наработка на отказ: не менее 10000 ч;
- Средний срок службы: не менее 10 лет;
- Климатические условия:
 - 1) высота над уровнем моря не более 1000 м;
 - 2) температура окружающего воздуха: для УХЛ3.1 от -10°C до $+40^\circ\text{C}$, для У2 от -40°C до $+40^\circ\text{C}$;
 - 3) относительная влажность воздуха 98% при температуре $+25^\circ\text{C}$;окружающая среда не содержит взрывоопасных и агрессивных газов в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию, и не насыщена токопроводящей пылью.
- Выходная частота: 1 – 200 Гц;
- Коэффициент мощности в номинальном режиме работы: не менее 0,96;
- Коэффициент полезного действия в номинальном режиме работы: не менее 97%;
- Перегрузка: от 105% до 200% от номинального тока в течение 30 – 120 с;

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

- По спецзаказу преобразователи могут быть изготовлены:
- на другие напряжения питающей сети;
- для электродвигателей с номинальным напряжением 660 В, 1140 В и др.;
- с другим видом климатического исполнения;
- со степенью защиты до IP64;
- во взрывозащищенном исполнении;
- с повышенной перегрузочной способностью.

1.3 Преобразователь частоты Триол АТ08

Предназначен для управления специальными машинами и механизмами, которые оснащены трехфазными с напряжением питания 660 в асинхронными электродвигателями мощностью от 200 до 750 кВт.

Таблица 1.3- характеристика преобразователя частоты Триол АТ08

Шкала мощностей	200 ... 630 кВт
Питающая сеть	3х660 В, +10%, -15%, 50(60) Гц ± 2% (с заземленной либо изолированной нейтралью)
Выходное напряжение	3х(0.660 В) ± 2% (значение максимального выходного напряжения программируется)
Выходная частота	0.50(100) Гц ± 0,05% (значения максимальной и минимальной частоты программируются)
Ток перегрузки	150% номинального в течение 60 с
Напряжение собственных нужд	3х380 В
Коэффициент полезного действия	не менее 0,95 (без двигателя)
Коэффициент мощности (сети)	не менее 0,95
Сопротивление изоляции гальванически не связанных цепей и относительно корпуса	не менее 10 МОм
Электрическая прочность изоляции	4000 В, 50 Гц, в течение 1 мин.
Рабочая температура	+1 ...+40°C

1.4 Особенности преобразователя частоты Веспер EI-7011

Преобразователи общепромышленного применения EI-7011 широко используются в технологическом оборудовании, где применяется управляемый электропривод: смесителях, дозаторах, производственных линиях, системах водоснабжения, вентиляции, дымососах и т.п. оборудовании.

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Технические характеристики преобразователя частоты.

- Диапазон мощностей 0,75 кВт - 315 кВт.
- Полная защита двигателя.
- Встроенный ПИД-регулятор
- Управление по вольт-частотной характеристике U/F
- Язык команд пульта управления - русский
- Аналоговые и цифровые входы/выходы для регулирования и

дистанционного управления

- Возможность дистанционного управления и мониторинга по RS-232/RS-485 (протокол MODBUS)

- Питание 380 В, 50 Гц

Преимущества частотных преобразователей Веспер EI-7011

- наибольший диапазон мощности (от 0,75 кВт до 315 кВт) среди преобразователей частоты общепромышленного назначения позволяет максимально эффективно выбрать требуемый частотник при минимальных затратах;

- возможность исполнения в корпусах со степенью защиты IP20 и IP54 позволяет использовать преобразователи EI-7011 в жестких условиях окружающей среды;

- наличие на панели управления дисплея и возможность выноса пульта на расстояние до 10 метров облегчают настройку преобразователя и контроль за работой электродвигателя.

- отечественный производитель, обеспечивающий лучшую техническую поддержку и бесплатное обучение пользователей;

- наличие сервисных центров оперативного ремонта во многих регионах страны;

- постоянное наличие товара на складе;

- 3 года гарантии на продукцию;

- бесплатная доставка по России до терминала транспортной компании.

Преобразователи частоты Веспер EI-7011 представляют собой универсальные частотные инверторы скалярного типа с прямым регулированием скорости вращения электродвигателя и возможностью автоматического поддержания технологического параметра посредством ПИД-регулятора. Благодаря высокой эффективности и бюджетной стоимости частотники Веспер серии EI-7011 нашли обширное применение в технических системах самого широкого назначения (эскалаторы, компрессоры, конвейерное оборудование и др.).

1.5 Особенности преобразователя частоты Control Techniques (Англия)

UNIDRIVE M700-114 04800 A - 250/315 кВт

Unidrive M700 – это универсальный частотный преобразователь, предназначенный для работы с различными типами электродвигателей:

- Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором
- Электродвигатели с постоянными магнитами

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

- Сервомоторы
- Линейные двигатели

Диапазон мощности - 0,37 кВт-1,2 МВт. Напряжение питания - 200-690В.

Преобразователь частоты Unidrive M700 является отличным инструментом для решения любых приводных задач на предприятии - от простых применений с насосными агрегатами высокой мощности, до самых высоко-динамичных применений с управлением положением исполнительного механизма.

Так же как и предшественник - Unidrive SP, преобразователь частоты Unidrive M700 может работать как рекуператор, возвращать генерируемую при работе приводного механизма энергию в сеть, что позволяет организовать экономичную много-двигательную систему.

Малогабаритные преобразователи EI-8000 совмещают в себе свойства преобразователей EI-7000 и EI-9000 с упрощенным набором функций, имеют компактное исполнение, реализуют возможность плавного изменения частоты с помощью встроенного потенциометра:

- Диапазон мощностей 0,75 кВт - 15 кВт;
- Полная защита двигателя;
- Векторное управление без обратной связи;
- Встроенный ПИД-регулятор;
- Аналоговые и цифровые входы/выходы для регулирования и дистанционного управления;
- Согласование с RS-232/RS-485;
- Питание 220/380 В, 50/60 Гц.

Основные особенности Unidrive M700:

- Возможность установки до 3-х опциональных модулей одновременно
- Встроенный Motion контроллер
- Различные режимы работы (Open Loop vector или V\Hz, RFC-A, RFC-S, Рекуперация)
- Функция управление моментом двигателя
- Копирование параметров и программы встроенного PLC с помощью смарт-карты
- Поддержка 17 типов датчиков обратной связи по скорости и положению
- Питание напряжением 24-1067VDC (может использоваться как аварийное)
- Встроенный ПЛК на базе CODESYS
- Встроенный Ethernet
- Резервное питание платы управления 24VDC
- Полоса пропускания контура скорости - 250 Гц
- Полоса пропускания контура тока - 3,3 кГц
- Встроен дискретный вход отключения двигателя с уровнем безопасности SIL3

Мощность, напряжение питания, степень защиты Unidrive M700:

3 x 200-240 В: 0,75 - 90 кВт

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

3 x 380-480 В: 0,75 - 1200 кВт

3 x 500-690 В: 15 - 1200 кВт

Мощность указана для тяжелого режима работы

Степень защиты – IP20, IP65

Режимы работы Unidrive M700:

– Открытый контур для асинхронных двигателей с КЗ ротором - векторный, вольт-частотный

– Открытый контур для асинхронных двигателей с КЗ ротором - RFC-A (Rotor Flux Control)

– Открытый контур для двигателей с постоянными магнитами - RFC-S (Rotor Flux Control)

– Замкнутый контур для асинхронных двигателей с КЗ ротором - RFC-A

– Замкнутый контур для двигателей с постоянными магнитами\сервомоторов - RFC-S

– Рекуперация (Active Front End)

Перегрузочная способность Unidrive M700:

– 150% от номинального момента в тяжелом режиме в течение 60 секунд

Охлаждение Unidrive M700:

– Регулируемый по температуре вентилятор

Порты связи Unidrive M700:

– Встроенный Ethernet, RS 485 (M701)

Выходная частоты и частота коммутации Unidrive M700:

– Максимальная выходная частота – 550 Гц

– Частота коммутации – 3-16 кГц

1.6 Особенности преобразователя частоты SIEMENS MICROMASTER 440 (Германия)

Система векторного управления обеспечивает высокое качество работы привода даже при резких изменениях нагрузки. Быстрые входы и функция точного останова позволяет обеспечить точное позиционирование без использования энкодера. Благодаря интегрированному тормозному резистору, привод работает с высокой точностью даже во время торможения и в режимах резкого замедления скорости. Все это возможно в диапазоне мощностей от 0.12 кВт до 250 кВт.

Типовое применение MICROMASTER 440:

– текстильная индустрия;

– подъемно-транспортная техника;

– машиностроение;

– пищевая промышленность;

– алкогольная промышленность;

– табачная промышленность.

Мощность, напряжение питания, корпус MICROMASTER 440:

– 1 x 200-240 В, ±10%, 0,12 – 3 кВт, IP 20;

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

- 3 x 200-240 В, ±10%, 0,12 – 45 кВт, IP 20;
- 3 x 380-480 В, ±10%, 0,37 – 250 кВт, IP 20;
- 3 x 500-600 В, ±10%, 0,75 – 90 кВт, IP 20;

Перегрузочная способность MICROMASTER 440:

- 150% от номинального момента в течение 1 минуты для типоразмеров А-F;
- 160%. от номинального тока в течение 3 секунд для типоразмеров FX-GX

Управление двигателем MICROMASTER 440:

- Линейная вольт-частотная характеристика;
- Линейная вольт-частотная характеристика с FCC(оптимизацией потокосцепления);
- Параболическая вольт-частотная характеристика;
- Параметрируемая вольт-частотная характеристика;
- Вольт-частотное управление для применения в текстильной промышленности;
- Вольт-частотное управление для применения в текстильной промышленности с FCC;
- Вольт-частотное управление с независимой уставкой напряжения;
- Векторное управление без обратной связи;
- Векторное управление по моменту без обратной связи;
- Управление по скорости с обратной связью;
- Управление по моменту с обратной связью.

Охлаждение у MICROMASTER 440:

- Радиатор;
- Вентилятор.

Порты связи MICROMASTER 440:

- RS 485;
- Опционально RS-232

Выходная частота и частота коммутации MICROMASTER 440:

- Максимальная выходная частота – 650 Гц;
- Частота коммутации
- типоразмеры А-F – 2-16 кГц;
- типоразмеры FX и GX – 2-4 кГц

Входы\выходы управления MICROMASTER 440:

- Количество цифровых входов – 6;
- Количество аналоговых входов – 2;
- Количество релейных выходов – 2;
- Количество аналоговых выходов-2.

Температура окружающей среды MICROMASTER 440:

- Работа
- типоразмеры А-F от 0,12 до 75 кВт: -10/+50 °С;
- типоразмеры FX и GX от 90 до 200 кВт: 0/40 °С

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

– Хранение -40/+70 °С

ПИ\ПЖД-регуляторы MICROMASTER 440:

– ПЖД-регулятор процесса.

Доступные опции MICROMASTER 440:

– Фильтр электромагнитной совместимости класса А.

– Аналогичный фильтр с малыми потерями класса В.

– Дополнительный фильтр электромагнитной совместимости класса В.

– Элементы защиты вводных и выходных кабелей.

– Элементы уплотнения вводов кабелей.

– Базовая операторская панель (ВОР).

– Расширенная операторская панель (АОР).

– Модуль PROFIBUS (PRO).

– Комплект для подключения инвертора к РС компьютеру.

– Комплект для подключения панели АОР к РС компьютеру.

– Комплект для установки панелей ВОР и АОР на двери, отдельно от преобразователя.

– Комплект для установки панелей ВОР и АОР на двери, для управления несколькими преобразователями.

– Программное обеспечение «DRIVEMONITOR» для работы с приводом через РС.

1.7 Особенности преобразователя частоты АВВ

ACS800 – это надежные промышленные приводы, которые выпускаются в виде различных устройств, способных решить любую задачу - это полностью законченные универсальные приводы, готовые к подключению (ACS800-01 и ACS800-02), приводные модули для создания мощной системы комплектного электропривода (ACS800-04), приводы шкафного исполнения с гибкой конфигурацией (ACS800-07), рекуперативные приводы шкафного исполнения (ACS800-17), и так же приводные модули, позволяющие создать систему для управления большим количеством различных двигателей от одного привода (ACS800 Multidrive).

Наличие модулей рекупераций ACS800-17, ACS800-11 позволяет существенно снизить энергопотребление технологической установки с высокоинерционными нагрузками, возвращая энергию в сеть при торможении.

Отличительной особенностью приводов данной серии является метод управления двигателем DTC (Direct Torque Control), который позволяет получить отличные характеристики управления асинхронными двигателями на малых скоростях (точность поддержания момента, скорости) без использования датчика обратной связи. Для получения еще лучших характеристик, к ACS800 можно подключить энкодер двигателя.

ACS800 вышел на замену хорошо зарекомендовавшему себя ACS600, обретая при этом больше функций и более компактные размеры. Диапазон мощностей, охватываемый ACS800: 0,55 - 5600 кВт..

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Основные особенности ACS800 (одиночные приводы):

- Высокая перегрузочная способность
- Режим DTC
- Встроенный интерфейс RS-485 с поддержкой протокола Modbus
 - Совместимость с Industrial IT
 - Приводы настенного монтажа могут иметь морское исполнение
 - Встроенный фильтр гармоник
 - Компактные размеры
 - Гальваническая развязка входов-выходов
 - Встроенные ПИД-регуляторы процесса
 - Внутренние функции самонастройки
 - Простое использование привода с интеллектуальной панелью
 - Векторное управление с датчиком обратной связи и без него

Режимы работы ACS800:

- Вольт-частотный режим без датчика обратной связи
- Управление моментом
- Векторное управление
- Работа с датчиком обратной связи по скорости и без него

Перегрузочная способность ACS800:

- В нормальном режиме 110% в течение 1 мин. каждые 10 мин.
- В тяжелом режиме 150% в течение 1 мин. каждые 10 мин.
- В любых режимах 180% в течение 2 сек. каждые 60 сек.

Охлаждение ACS800:

- Встроенный вентилятор охлаждения

Порты связи ACS800:

- Промышленные интерфейсы (опция)

Выходная частоты и частота коммутации ACS800:

- Максимальная выходная частота – 300 Гц

Входы\выходы управления ACS800:

- Количество программируемых дискретных входов - 6
- Количество аналоговых входов – 3 (ток или напряжение)
- Количество аналоговых выходов - 2 (0(4) - 20 мА)
- Количество встроенных реле -3

Температура окружающей среды ACS800:

- Работа: -15/+50 °С (выше +40 °С со снижением мощности)
- Хранение: -40/+70 °С

Доступные опции для ACS800:

- Комплекты для удаленного монтажа панели управления
- Входные дроссели
- Выходные дроссели
- Тормозные резисторы
- Фильтры ЭМС
- Синусные фильтры

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

– Фильтры du/dt

Промышленные интерфейсы:

– Profibus DP

– CANopen

– DeviceNet

– Modbus RTU

– Ethernet

– ControlNet

– InterBUS-S

– LonWorks

Модули расширения:

– Модуль расширения аналоговых входов выходов RAIO-01 (+L500) - 2 аналоговых входа: гальванически развязаны от источника питания 24 В и от земли $\pm 0(2)...10$ В, $0(4)...20$ мА или $\pm 0...2$ В, разрешение 12 бит

– Модуль расширения цифровых входов/выходов RDIO-01 (+L501) - 3 цифровых входа: каждый с индивидуальной гальванической развязкой. Уровень сигнала от 24 до 250 В= или 115/230 В~, 2 релейных (цифровых) выхода: переключающий контакт 24 В или 115/230 В~, максимальный коммутируемый ток 2 А

– Интерфейсный модуль импульсного энкодера RTAC-01 (+L502) - 1 вход инкрементного энкодера: Каналы А, В и Z (нулевой импульс). Уровень сигнала и напряжение питания для энкодера составляют 24 или 15 В. Однопроводные или дифференциальные входы. Максимальная входная частота 200 кГц

Программное обеспечение:

– DriveAP – это компьютерная программа, предназначенная для создания, документирования, редактирования и загрузки адаптивных программ и программ многоблочного программирования

– DriveSize – это компьютерная программа, помогающая пользователю производить оптимальный подбор двигателя, привода и силового трансформатора, особенно в тех случаях, когда непосредственный выбор из каталога невозможен

– Дополнительное прикладное программное обеспечение для различных применений: центрифуга, кран, экструдер, ведущий-ведомый, намотка

– DriveWindow – это разработанная компанией АББ современная и удобная в использовании компьютерная программа для настройки и технического обслуживания промышленных приводов АББ

– DriveWindow Light 2 – это удобная в использовании программа для настройки и технического обслуживания приводов ACS800. Она поддерживает следующие программные средства: стандартную прикладную программу, программу управления насосом и программу управления намоткой

– DriveOPC – это программный пакет, который обеспечивает связь OLE для управления процессами (OPC) между приложениями Windows и промышленными приводами АББ. Он обеспечивает связь при внедрении и связывании объектов (OLE) для управления процессами (OPC). Данный сервер

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

ОРС является идеальным средством для связывания воедино промышленных приводов АББ и коммерческого программного обеспечения для ПК и создания систем управления и контроля на базе ПК:

Выводы по части один

В данной части ВКР были проанализированы возможности, технические характеристики и области применения преобразователей частоты для электроприводов отечественного и иностранного производства. Проведенный анализ вариантов поможет в дальнейшем выбрать подходящий преобразователь частоты для главного электропривода экскаватора ЭКГ-4,Б.

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

2. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭКГ 4.6Б

1.1 Описание экскаватора на предприятии. ЭКГ-4,6 Б

Экскаватор ЭКГ-4,6Б (обозначение расшифровывается: Э — экскаватор, К — карьерный, Г — гусеничный, 4,6 — емкость ковша в м³ и Б — буквенный индекс, обозначающий модификацию модели) является землеройной машиной, предназначенной для разработки и погрузки в транспортные средства твердых грунтов, разрыхленных взрыванием, на открытых работах по добыче полезных ископаемых и строительных материалов, а также на строительстве крупных гидротехнических и промышленных сооружений.

Электрическая карьерная полноповоротная механическая лопата на гусеничном ходу, предназначенная для выемки и погрузки в транспортные средства полезных ископаемых и вскрышных пород, в том числе тяжелых скальных, предварительно разрыхленных взрывом. Применяется на открытых горных работах в рудной и угольной промышленности, а также в карьерах промышленности строительных материалов, при строительстве промышленных, гидротехнических и других сооружений. Экскаватор ЭКГ-4,6 Б — это гусеничная электрическая специальная техника, используемая в карьерах по выемке и погрузке предварительно разрыхленных пород.

Также используется в угольной промышленности, в промышленности строительных материалов, и для выполнения больших объемов земляных работ в промышленном строительстве. Экскаваторы ЭКГ просты в управлении и обслуживании.

Разрабатываемые породы с объемной массой более 2 т/м³ должны быть предварительно разрыхлены. Экскаватор предназначен для умеренного климата с интервалом температур от -40 до +40°С, а также для тропического климата на высоте не более 1000 м над уровнем моря.

1.2 Технические характеристики экскаватора ЭКГ-4,6 Б

Экскаватор ЭКГ-4.6Б рисунок 1.2.1 имеет следующие основные части: ходовую тележку 3, поворотную платформу с механизмами и силовым оборудованием 2, рабочее оборудование 1. Рабочие и габаритные размеры экскаватора ЭКГ-4,6Б приведены на рис. 1.2.2

Ходовая тележка является опорной базой экскаватора, на которой размещается поворотная платформа со всеми механизмами и рабочим оборудованием, и служит для передвижения машины. Она состоит из нижней рамы, зубчатого венца, роликового опорного круга, ходового механизма, гусеничного хода и гидравлической системы управления.

Поворотная платформа предназначена для размещения основных механизмов, электрического привода, узлов рабочего оборудования, кабины

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

управления, а также вспомогательной аппаратуры. Поворотная платформа составляет поворотную часть экскаватора, которая может вращаться на 360°.

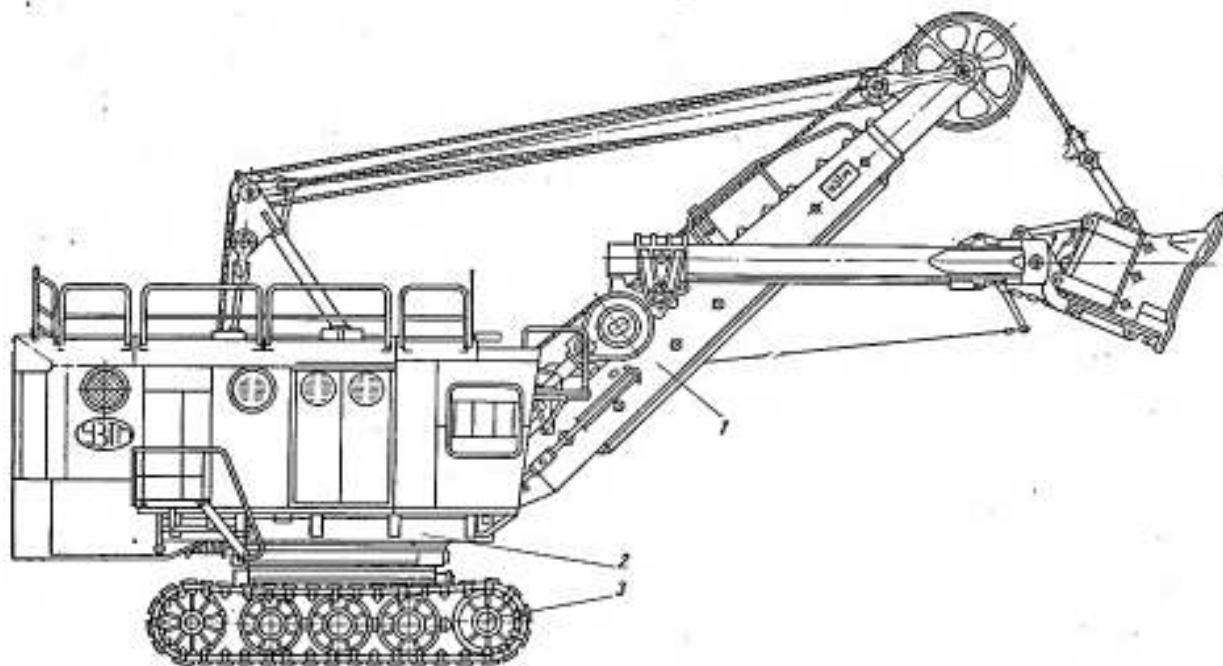


Рисунок 1.2.1 Общий вид экскаватора ЭКГ 4,6 Б

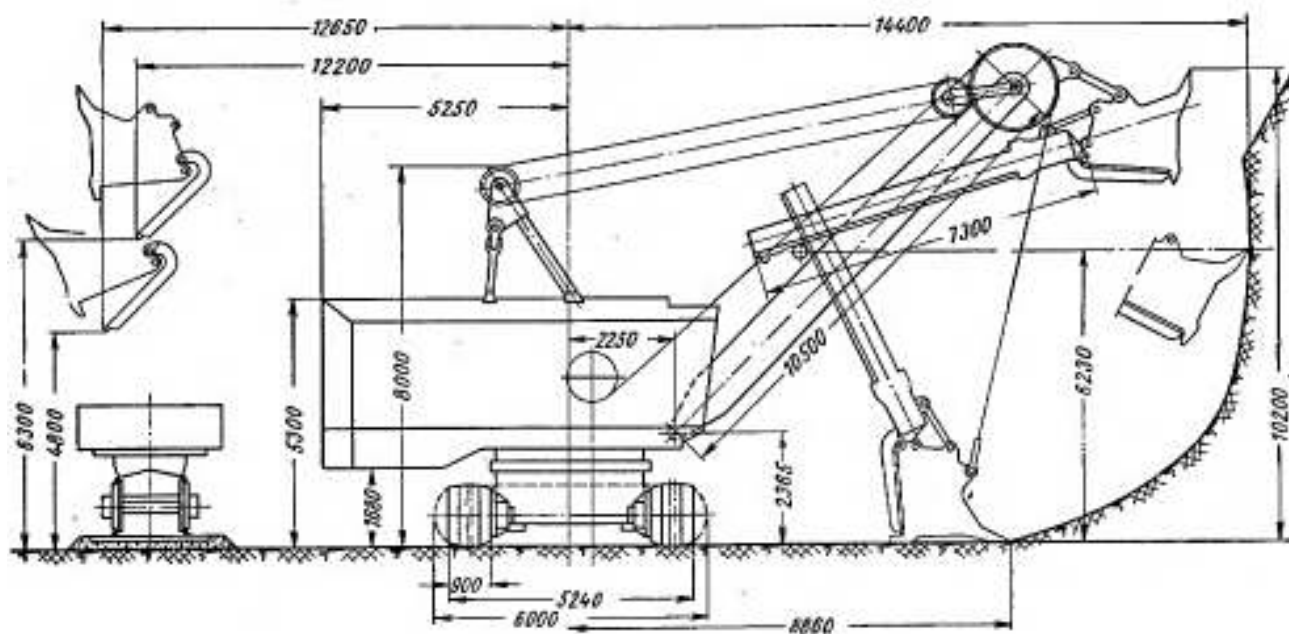


Рисунок 1.2.2 Рабочие и габаритные размеры экскаватора-ЭКГ-4,6Б

Вследствие этого экскаватор называется полноповоротным.

В поворотную платформу рисунок 1.2.3 входит поворотная рама 17, корпус противовеса 21 и две вспомогательные боковые площадки 19 и 15. Поворотная рама представляет собой комбинированную сварную плиту. Корпус противовеса имеет пустотелую коробчатую конструкцию для загрузки дополнительного балласта.

На поворотной платформе расположены подъемная лебедка 3, два поворотных механизма 5, компрессорная установка 14, пневматические системы управления тормозами механизмов, станции централизованной системы смазки 13, двуногая стойка 4 подвески стрелы, высоковольтное распределительное устройство 2, трансформатор собственных нужд 12, пятимашинный генераторный агрегат 11 и другое электрооборудование.

На правой площадке установлена кабина машиниста 18 с аппаратурой управления. Внизу к платформе прикреплена лебедка 10 для подъема стрелы. Поворотная платформа скреплена с ходовой тележкой при помощи центральной цапфы 9. Высоковольтный кольцевой токоприемник 8 установлен между поворотной рамой и рамой ходовой тележки. Электрооборудование и все механизмы на поворотной платформе закрыты легким металлическим кузовом 1.

Подъемная лебедка производит подъем рабочего органа экскаватора и состоит из электродвигателя, редуктора, имеющего зубчатую пару с шевронными зубьями, открытой зубчатой пары с прямыми зубьями и барабана. На промежуточном валу установлен ленточный тормоз. Валы подъемной лебедки соединены между собой посредством эластичных муфт. Подъем стрелы в рабочее положение производится стреловой лебедкой, для привода которой используется электродвигатель подъемной лебедки.

Стреловая лебедка представляет собой червячный редуктор с барабаном. Для торможения применяется ленточный тормоз, который постоянно затянут и размыкается только при опускании стрелы.

Для вращения поворотной части экскаватора служат два поворотных механизма, состоящих из электродвигателя и редуктора с цилиндрическими зубчатыми колесами. Вал-шестерня поворотного редуктора входит в зацепление с зубчатым венцом, закрепленным неподвижно на нижней раме. Вращаясь, вал шестерня обегает зубчатый венец и поворачивает поворотную платформу. Поворот осуществляется в обе стороны. На верхнем фланце электродвигателя установлен пневматически управляемый колодочный тормоз.

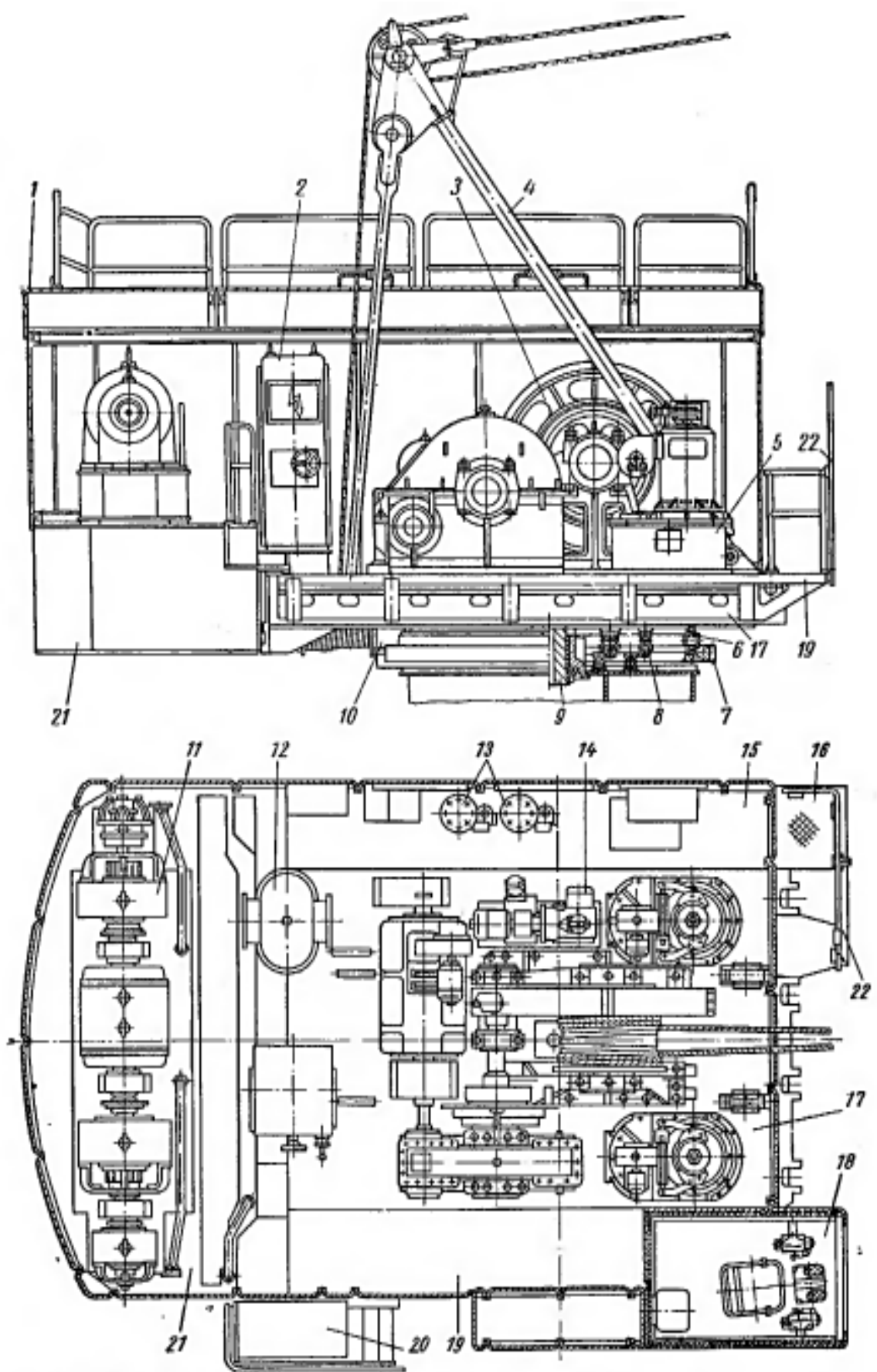
Пневматическая система управления тормозами механизмов состоит из компрессорной установки, воздухосборника, трех электропневматических распределителей, реле давления, воздухопровода, звукового сигнала и других приборов.

Две станции централизованной системы смазки служат для смазывания зубчатого венца поворотного механизма, открытой зубчатой пары подъемной лебедки, рельса роликового круга, а также подшипников качения и скольжения механизмов экскаватора.

Копание грунта производится ковшем при помощи напорного механизма, а подъем ковша производится подъемной лебедкой. Напорный механизм имеет электродвигатель, который через цилиндрические зубчатые колеса вращает

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

напорный вал с кремальерными находящимися в зацеплении с рейками, приваренными к рукояти, и заставляет последнюю двигаться вперед или назад. Тормоз напора установлен на втором конце вала электродвигателя



					Лист
13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ					30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

подъема стрелы	1,9
----------------	-----

Продолжение таблицы 1.2.1

Диаметр в мм: барабана стреловой лебедки	360
стрелового каната	30
тормозного шкива стреловой лебедки	3 0 0
Механизм открывания ковша	
Скорость навивки каната механизма открывания днища в м/сек	3
Максимальное усилие в канате механизма открывания ковша в т	0,4
Диаметр в мм: барабана механизма открывания ковша каната	160 (11)
Передаточные числа механизмов	
Ходового	441,963
Подъемной лебедки	46,1
Стреловой лебедки	54,5
Напорного	38,1
Поворотного	398,8
Лебедки открывания ковша	2,12

1.3 Электрооборудование машины

В состав электрооборудования входит:

- 1) электропривод главных механизмов;
- 2) электропривод вспомогательных механизмов;
- 3) освещение

Экскаваторы ЭКГ-4.6Б в забое получают электроэнергию от воздушной электросети трехфазного тока напряжением 6000 или 3000 в через наружное распределительное устройство рисунок 1.3.1

От зажимов опорных изоляторов вводного устройства ток по кабелю, проложенному по нижней раме экскаватора, подается к высоковольтному токоприемнику, установленному в камере между нижней рамой и поворотной платформой. От токоприемника электроэнергия через высоковольтный разъединитель и масляный выключатель распределительного устройства 2КВЭ-6 подается на приводной двигатель преобразовательного агрегата, а через высоковольтные предохранители на трансформатор собственных нужд. На задней стенке нижней рамы

Экскаваторов ЭКГ-4,6Б установлен высоковольтный вводный ящик, служащий для присоединения высоковольтного питающего кабеля (типа КШВГ сечением $3 \times 16 + 1 \times 16$ мм) и переключения фаз после переноса воздушной

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

линии и кабеля. У экскаваторов ЭКГ-4,6Б высоковольтное вводное устройство выполнено внутри нижней рамы, что уменьшает попадание влаги внутрь вводного устройства и облегчает его обслуживание.

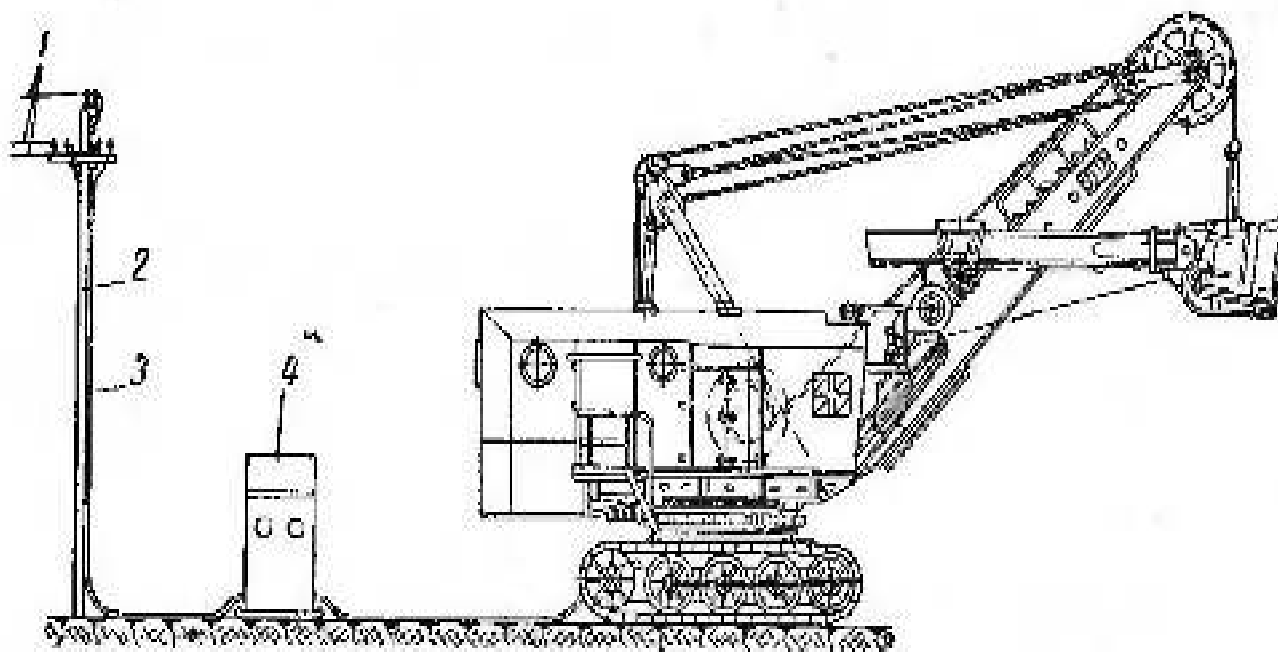


Рисунок 1.3.1 Схема высоковольтной токоподводящей системы экскаватора:

1 — высоковольтная линия; 2 — опора; 3 — кабель; 4 — распределительное устройство РВНО

Характеристика существующего электрооборудования

Существующая принципиальная схема внутреннего электроснабжения экскаватора ЭКГ-4,6 Б представлена на рисунке 1.3.2

Краткая характеристика электрооборудования ЭКГ-4,6 Б приведена в таблице таблица 1.3.1

Таблица 1.3.1- Характеристика электрооборудования ЭКГ-4,6 Б

Позиция обозначения	Наименование	Характеристики	Количество
---------------------	--------------	----------------	------------

М	Привод агрегата	Высоковольтный асинхронный короткозамкнутый двигатель трехфазного переменного тока АЭ4-4001.-4У2 (1350 кг, 250 кВт, 6000 В, 50 Гц, 29 А, 1480 мин ⁻¹ , кратность пускового тока 6)	1
---	-----------------	---	---

Продолжение таблицы -1.3.1

М7	Привод маслонасоса нижней рамы	Двигатель асинхронный короткозамкнутый трехфазного переменного тока исполнение 1М1001 типа 4АХ80 В4-У3 или АИР80В4-У3 (1,5 кВт, 220/ 380 В, 50 Гц, 3,57 А, 1415 мин ⁻¹ , -масса 16 кг)	1
М8	Привод вентиляторов двигателей напора	Двигатель асинхронный короткозамкнутый трехфазного переменного тока исполнение 1М3001 типа 4АМ100 S4-У3 или АИР100	1
М9	Привод вентиляторов двигателей подъема	Двигатель асинхронный короткозамкнутый трехфазного переменного тока исполнение S4-У3 (3 кВт, 1435 мин ⁻¹ , 220/380 В, 50 Гц, 11, 6 А, 23,3 кг)	1
М10, М11	Привод вентиляторов двигателей поворота	исполнение 1М3001 типа 4АМ80А4-У3 или АИР80А-У3 (1,1 кВт, 220/380 В, 50 Гц, 2,76 А, 1420 мин ⁻¹ , 12,4 кг)	2
М12, М13	Привод вентиляторов	исполнение 1М1001 типа 4АМ80А4-У3 или АИР80А4-У3 (1,1 кВт, 220/380	2

	кузов	В, 50 Гц, 2,76 А, 1420 мин ⁻¹ , 11,9 кг)	
M15	Привод компрессора	типа ДК-548А (специальный встроенный в компрессор) (5 кВт, 220/380 В, 50 Гц, 975 мин ⁻¹ . 310 кг)	1

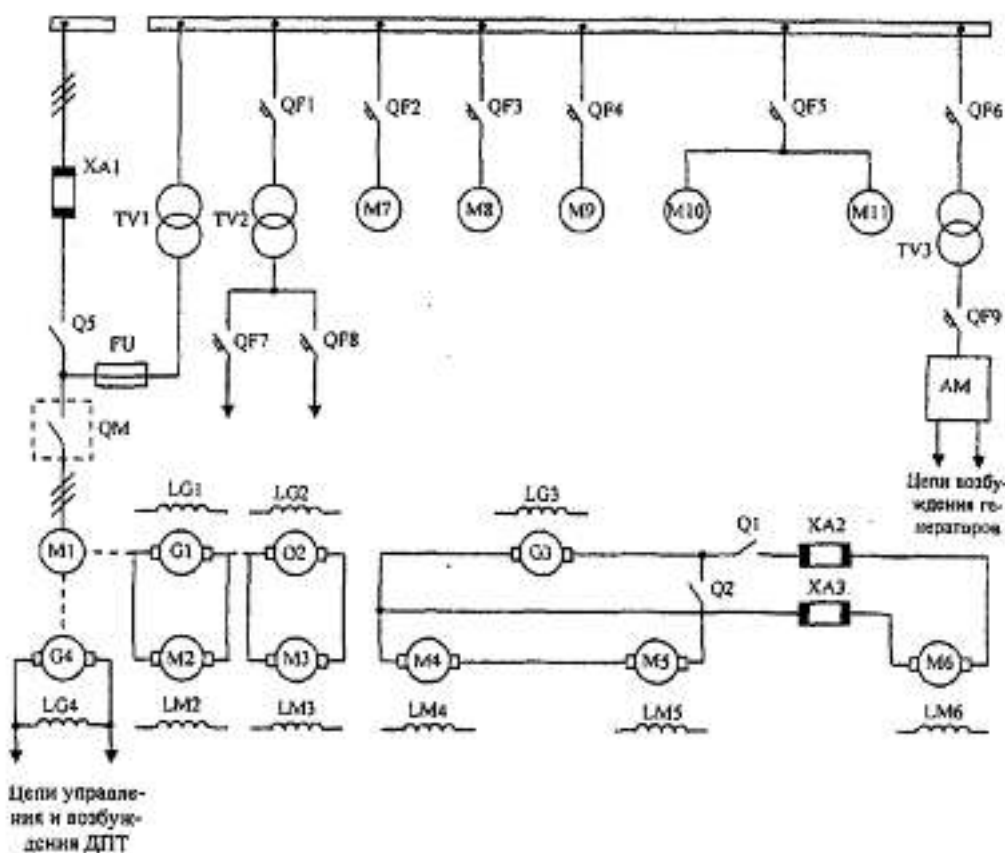


Рисунок 1.3.2- Существующая схема внутреннего электроснабжения ЭКГ-4,6 Б

Составляем таблицу формуляр электрических нагрузок. Однофазных электроприемников нет. В данной таблице K_c – коэффициент спроса, $\cos\omega$ – коэффициент мощности данной характерной группы приёмников приняты по ; $\operatorname{tg}\omega$ определён по $\cos\omega$.

Расчётная активная и реактивная мощности определены по формулам 1.3.1

$$P_M = K_c \cdot \sum P_n, \text{ кВт} \quad (1.3.1)$$

$$Q_M = P_M \cdot \operatorname{tg} \omega, \text{ кВАр} \quad (1.3.2)$$

Расчётная активная мощность трансформаторов определена по формуле:

$$P_{M(\text{тр})} = K_c \cdot \sum S_{H(\text{тр})} \cdot \cos \omega, \text{ кВт} \quad (1.3.3)$$

Все полученные значения сведены в таблицу 1.3.2

Таблица - 1.3.2

Поз. обозн	Наименование	Кол-во	P_H кВт	U, V	$\cos \omega$	K_i	$\operatorname{tg} \omega$	K_c	ΣP	P_M	Q_M
------------	--------------	--------	-----------	--------	---------------	-------	----------------------------	-------	------------	-------	-------

Продолжение таблицы 1.3.2

M	Привод пятимашинного агрегата	1	250	6000	0,87	0,8	0,57	0,65	250	162,5	92,09
M7	Привод маслонасоса нижней рамы	1	1,5	380	0,87	0,8	0,57	0,65	1,5	0,975	0,55
M8	Привод вентиляторов двигателей напора	1	1,5	380	0,87	0,8	0,57	0,65	1,5	0,975	0,55
M9	Привод вентиляторов двигателей	1	3	380	0,88	0,8	0,54	0,65	3	1,95	1,05
M10, M11	Привод вентиляторов двигателей поворота	2	1,1	380	0,87	0,8	0,57	0,65	2,2	1,43	0,81
M12, M13	Привод вентиляторов	2	1,1	380	0,87	0,8	0,57	0,65	2,2	1,43	0,81

Ток самовозбуждения при холостом ходе в а	4,8	4,2	4,2	3,7(номинальный)
Число полюсов	4	4	4	4
Воздушные зазоры: под главным полюсом	2,5	2	2	2

В качестве приводного двигателя агрегата экскаватора ЭКГ-4,6Б принят высоковольтный асинхронный короткозамкнутый двигатель типа АЭ-113-4, имеет следующую характеристику

Мощность

250

кВт

Напряжение

6000 /3000 в

Ток статора

29,7/59,4 а

Число оборотов в

минуту 1470

Частота

50 гц

К. п. д.

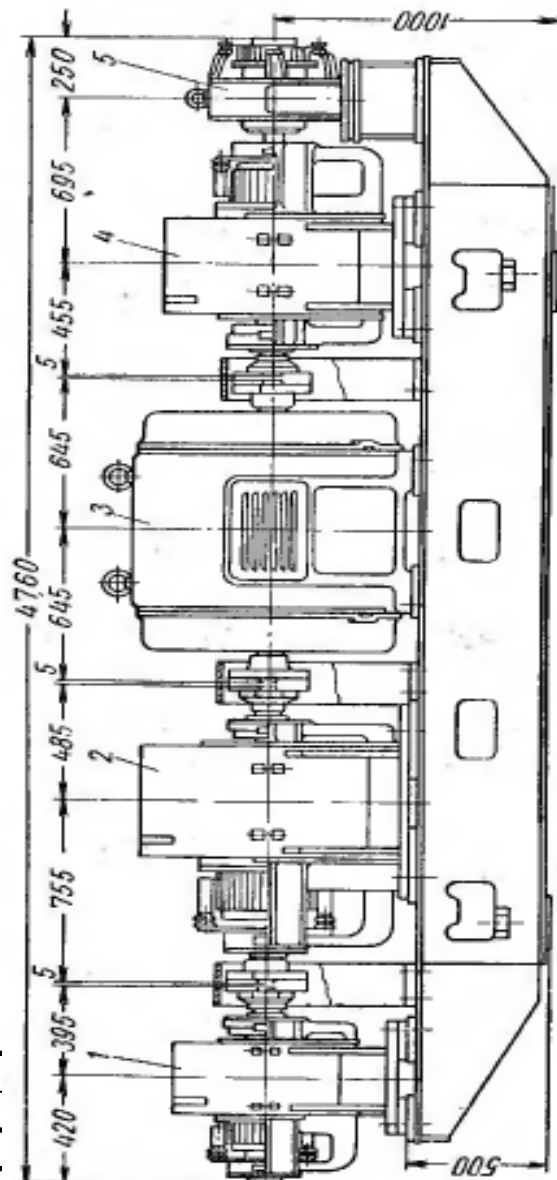
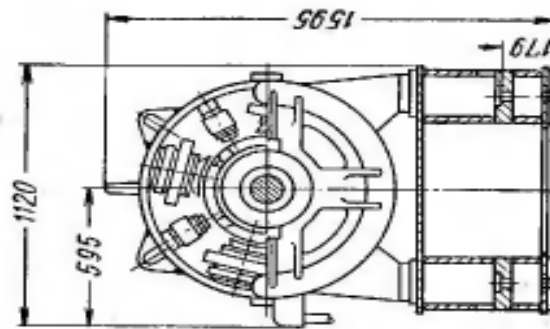
92 %

Кратность

максимального момента

2,2

Исполнение двигателя — защищенное, горизонтальное, на двух шарикоподшипниках 322. Вращение двигателя — по часовой стрелке. В выводную коробку двигателя выведено девять концов обмоток статора позволяющих сделать подключения на напряжение 6000 или 3000 в. Рабочие характеристики двигателя приведены на рисунке 1.3.4 .



Изм.	Лист	№ докум.
------	------	----------

2017.125.00.00 ПЗ

Лист

38

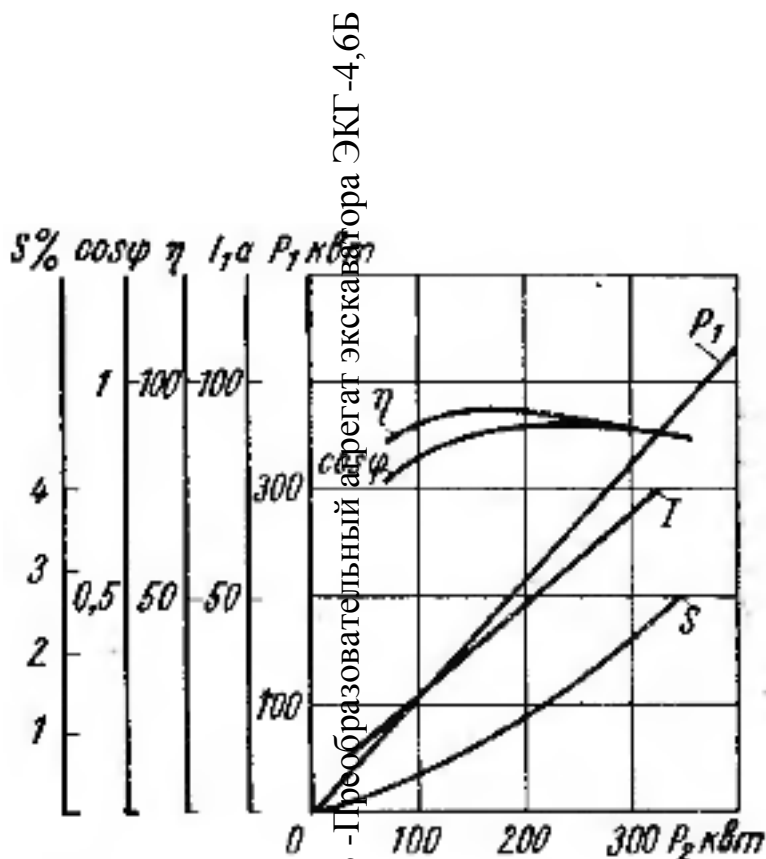


Рисунок 1.3.4 -
Рабочие
характеристики
электродвигателя АЭ-

113-4

Привод
экскаватора
тродвигателями
осуществляется
главных механизмов
постоянного тока. На
экскаваторах ЭКГ-4,6Б применяются крановые электродвигатели специального
исполнения с теплостойкой кремнийорганической изоляцией. Они
характеризуются повышенной механической прочностью и рассчитаны на
работу в условиях повышенной тряски и вибрации, обладают повышенной
перегрузочной способностью и малым маховым моментом. Каждый
электродвигатель (подъема, напора, поворота) состоит из стальной станины ,
четырех главных и четырех дополнительных полюсов с катушками , якоря с
коллектором и подшипников , с подшипниковыми щитами , четырех
щеткодержателей , закрепленных на поворотной траверсе, позволяющей при
наладке двигателя устанавливать щеткодержатели на нейтрали. Станины

двигателей ДПЭ-52 и ДПВ-52 — неразъемные, станина двигателя ДПЭ-82 — разъемная.

Все электродвигатели, кроме двигателей хода и открывания днища ковша, имеют независимую вентиляцию.

Таблица 1.3.4-Технические данные электродвигателей постоянного тока

Наименование данных	Электродвигатели				
	ДПЭ-82 подъема	ДПЭ-52 напора	ДПВ-521 поворота	ДПЭ-52 хода	ДПЭ-12 открывания днища ковша
Мощность в кВт	175	54	50/60	54	3,6

Продолжение таблицы 1.3.4

Число оборотов в минуту	740	1200	900/1230	1200	1430
Номинальное напряжение в в	460	395	306/305	395	110
Номинальный ток якоря в а	410	150	180/220	150	42
Режим работы	ПВ 75%	ПВ 100%	ПВ 60% ПВ 80%	45 мин	ПВ 25%,
Предельное число оборотов в минуту	1500	2100	2100	2100	3300
Исполнение ²	Г2	Г2	В2	Г2	Г1
Вентиляция Исполнение двигателя	Принудительной вентиляцией			Закрытый	Закрытый водозащитный
Количество продуваемого воздуха в м ³ /мин	33	13	13	—	—
Статический напор в мм вод. ст	40	35	35	—	—
Обмотка якоря Число пазов	46	35	35	35	25
Число коллекторных пластин	184	139	139/105	139	99
Схема обмотки	Комбинированная	Волновая			
Число витков в секции	1	1	1	1	2

механизма поворота — хода — командоконтроллер ЭК-8250 с ножным приводом.

Все командоконтроллеры выпускаются в защищенном исполнении и имеют по шесть элементов с наибольшим числом положений 5—0—5.

Контактная система командоконтроллеров, состоящая из кулачковых элементов и кулачкового барабана, встроена в литой корпус, который закрывается съемной крышкой. В дне корпуса предусмотрено отверстие для ввода проводов.

Кулачковый барабан представляет собой стальной вал с изоляционными кулачковыми шайбами, который вращается в подшипниках качения. При повороте барабана выступ или впадина кулачковой шайбы набегают на ролик рычага, заставляя последний поворачиваться вокруг оси, соединяющей рычаг с изолятором. Поворот рычага вызывает соответственно размыкание или замыкание контактов.

У командоконтроллеров механизмов подъема и напора приводом для вала служит рукоятка, насаженная непосредственно на конец вала, а у командоконтроллеров поворота— хода — педали, связанные с сектором, который, в свою очередь, связан с валом посредством зубчатой передачи. Рукоятка командоконтроллеров механизмов подъема и напора фиксируется на всех положениях храповым механизмом. На рукоятке имеется рычаг, который воздействует на кнопку, встроенную в корпус контроллера. На корпусе имеется еще одна кнопка с независимым приводом, с нормально закрытым и нормально открытым контактами.

У командоконтроллеров механизма поворота — хода храпового механизма нет и педали не фиксируют кулачковый барабан, но аппарат имеет пружину, осуществляющую возврат педалей в нулевое положение.

Коммутационная способность кулачковых элементов в зависимости от напряжений и рода тока приведена ниже

Техническая характеристика командоконтроллеров ЭК-8250 и ЭК-8200

Номинальное напряжение п в	До 500
Допустимый длительный ток в а	10
Включаемый ток в а	50
Разрывной ток в а при индуктивной нагрузке постоянного тока для напряжения:	
110 в.....	2,5
220 »	1,5
440 »	0,5
То же, при переменном токе для напряжения до 5 и 0 в.....	10

1.5 Обоснование модернизации главных приводов машины

Целью замены электроприводов является исключение из состава электрооборудования экскаватора ЭКГ-4,6 электрических машин постоянного тока – как генераторов, так и двигателей:

– Низкий К.П.Д. генераторов;

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

2.ВЫБОР ТИПА ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ДВИГАТЕЛЯ И СИЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

2.1. Общие сведения о применениях различных электроприводов

В эскаваторах находят применения крановые электродвигатели трехфазного переменного тока (асинхронные) и постоянного тока (последовательного или параллельного возбуждения). Они работают, как правило, в повторно-кратковременном режиме при широком регулировании частоты вращения, причем работа их сопровождается значительными перегрузками, частыми пусками, реверсами, торможениями. Кроме того, электродвигатели крановых механизмов работают в условиях повышенной тряски и вибраций. В ряде металлургических цехов они, помимо всего этого, подвергаются воздействию высокой температуры (до 60-70 °С), паров и газов.

В связи с этим по своим технико-экономическим показателям и характеристикам крановые электродвигатели отличаются от двигателей общепромышленного исполнения.

Основные особенности крановых двигателей:

- исполнение, обычно, закрытое;
- изоляционные материалы имеют класс нагревостойкости F и H ;
- момент инерции ротора по возможности минимальный, а номинальная частота вращения относительно небольшая - для уменьшения потерь энергии в переходных процессах;
- магнитный поток относительно велик - для обеспечения большой перегрузочной способности по моменту;
- значение кратковременной перегрузке по моменту для крановых электродвигателей постоянного тока в часовом режиме составляет 2,15 -5,0, а для двигателей переменного тока - 2,3 - 3,5;

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

– отношение максимально допустимой рабочей частоты вращения к номинальной составляет для постоянного тока 3,5 - 4,9, для электродвигателей переменного тока 2,5;

– для крановых электродвигателей переменного тока за номинальный режим принят режим с ПВ = 40%, а для электродвигателей постоянного тока наряду с этим режимом - режим 60 минут (часовой). Наиболее широко для привода крановых механизмов применяются трехфазные асинхронные электродвигатели с фазным ротором,

– обеспечивающие регулирование скорости и плавный пуск при относительно большом значении нагрузки на валу. Эти электродвигатели устанавливаются на крановых механизмах при среднем, тяжелом и весьма тяжелом режимах работы. Они допускают регулирование пускового момента в заданных пределах и регулирование скорости в диапазоне (1:3) - (1:4).

– Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором применяются реже (для привода механизмов передвижения малоответственных тихоходных кранов) из-за несколько повышенного пускового момента и значительных пусковых токов, хотя масса их примерно на 8 % меньше, чем у асинхронных двигателей с фазным ротором, а стоимость в 1,3 раза меньше, чем у этих двигателей при одинаковой мощности. Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором иногда применяют при режимах *Л* и *С* (для механизмов подъема). Применение их на механизмах кранов, работающих в более тяжелых режимах, ограничено малой допустимой частотой включения и сложностью схем регулирования скорости.

– Преимуществами асинхронных электродвигателей по сравнению с электродвигателями постоянного тока являются их относительно меньшая стоимость, простота обслуживания и ремонта. Масса кранового асинхронного электродвигателя с наружной самовентиляцией в 2,2 - 3 раза меньше массы кранового электродвигателя постоянного тока при одинаковых номинальных моментах, а масса меди соответственно примерно в 5 раз меньше. Если эксплуатационные затраты принять за единицу для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, то для электродвигателей с фазным ротором эти затраты составят 5 единиц, а для электродвигателей постоянного тока 10 единиц. Поэтому в крановых электроприводах наиболее широкое применение получили асинхронные электродвигатели (около 90 % от общего числа электродвигателей).

Электродвигатели постоянного тока целесообразно применять в тех случаях, когда требуется широкое и плавное регулирование скорости, для приводов с большим числом включений в час, при необходимости регулирования скорости вверх от номинальной, для работы в системе *Г - Д*.

В последнее время достижения в создании относительно малогабаритных и экономичных силовых полупроводниковых преобразователей еще более расширили область применения электродвигателей переменного тока. Полупроводниковые преобразователи на полностью управляемых силовых ключах, а именно: *IGCT*- тиристорах и силовых *IGBT*-транзисторах дают возможность применять асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором в

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

крановом хозяйстве повсеместно.

2.2 Требования предъявляемые к главным электроприводам машины

1. Электропривод должен обеспечивать надежное ограничение момента и тока допустимым стопорным значением во всех режимах работы, т.е. обладает механической характеристикой экскаваторной формы, заполнение которой при проектировании и наладке можно было бы изменять в широких пределах, в соответствии с условиями работы каждого механизма экскаватора;

2. Электропривод должен обеспечивать регулирование скорости в диапазоне 4 - 6 и рекуперацию энергии, освобождающейся при торможении механизма поворота или при опускании ковша. Жесткость рабочего участка механической характеристики, соответствующей нулевому положению командоконтроллера, должна обеспечивать достаточно малую скорость спуска ковша при удержании его путем электрического торможения.

3. Формирование переходных процессов, имеющих минимальную длительность при ограничениях, наложенных на предельные значения момента, темпа его изменения и ускорения, обеспечивающих минимальные динамические нагрузки механического оборудования экскаватора, должно осуществляться достаточно простыми и надежными средствами.

4. Схема соединения силовых цепей и динамические свойства системы управления электроприводом должны способствовать реализации возможного демпфирующего действия, которое оказывает электропривод с линейной механической характеристикой на механические колебания в электромеханической системе.

5. Схема должна быть простой и максимально надежной.

Экскаватор является машиной, работающей в весьма тяжелых условиях с резкопеременной нагрузкой, тряской всего оборудования, при значительных изменениях температуры и влажности, большой запыленности. Поэтому к его механическому и электрическому оборудованию предъявляются жесткие требования по вибростойкости, допустимому числу включений, гарантийному сроку безотказной работы.

Требования к статическим и динамическим характеристикам электропривода механизмов экскаваторов различны.

Механизм поворота экскаватора - лопаты, обладающий значительным приведенным моментом инерции, в несколько раз превышающим момент инерции двигателя, работает исключительно в переходных процессах пуска, реверса, торможения. Вследствие большого числа звеньев в кинематической цепи у механизма имеются значительные люфты в передачах, а также зазоры в креплении рабочего оборудования. Основным требованием к электроприводу этого механизма является обеспечение плавности протекания переходных процессов при отработке заданного угла поворота и минимально возможное время с ограниченным ускорением.

Механизм подъема работает в условиях резко переменной нагрузки, нередко значительно превышающей номинальную. В отдельных случаях нагрузка может

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

быть настолько велика, что возникает опасность разрушения отдельных звеньев механической передачи. В еще более тяжелых условиях находится механизм напора экскаватора - лопаты, так как он работает на упор. Для облегчения условий работы в его кинематической цепи имеется муфта предельного момента, которая сглаживает удары в механическом оборудовании, защищая его от разрушений. Основным требованиям к

Механизмам подъема и напора является обеспечение ограничения момента электропривода допустимыми пределами в статических и динамических режимах работы.

Ограничение момента привода допустимыми значениями осуществляется путем создания специальной механической характеристики двигателя. Форма этой характеристики должна быть такой, чтобы при рабочих нагрузках обеспечивалась высокая производительность механизма с последующим ограничением момента допустимыми значениями

2.3. Основные исходные данные для проектирования

Таблица 2.3.1-Технические данные экскаватора ЭКГ-4,6Б.

Основные данные	
Емкость ковша в m^3	4,6
Расчетная продолжительность цикла при повороте на 90° в <i>сек</i>	23
Рабочий вес в <i>т</i> В том числе дополнительного насыпного противовеса (заводом не поставляется)	195 33
Удельное давление на грунт в $кГ/см^2$	2,15
Длина стрелы в <i>м</i> рукояти в <i>м</i>	10,5 7,8
Ходовой механизм	
Скорость передвижения экскаватора по горизонтальной площадке в <i>км/ч</i>	0,58
Максимальный угол подъема, преодолеваемый экскаватором в <i>град</i>	12
Максимальное тяговое усилие гусениц в <i>т</i>	80
Диаметр тормозного шкива механизма хода в <i>мм</i>	355
Подъемная лебедка	
Скорость подъема ковша в <i>м/сек</i>	0,87
Максимальное усилие на блоке ковша в <i>т</i>	45

Диаметр в мм: подъемного барабана	1050
подъемного каната	39
тормозного шкива подъемной лебедки	9 0 0
Напорный механизм	
Скорость напора в м/сек	0,95
Максимальное напорное усилие в т	20,5
Диаметр тормозного шкива напорного механизма в мм	355
Поворотный механизм	

Продолжение таблицы 2.3.1

Число оборотов в минуту поворотной платформы при установившемся движении	3,0—3,5
Диаметр тормозного шкива поворотного механизма в мм	355
Стреловая лебедка	
Скорость в м/мин: навивки каната стреловой лебедки	15,2
подъема стрелы	1,9
Диаметр в мм: барабана стреловой лебедки	360
стрелового каната	30
тормозного шкива стреловой лебедки	3 0 0
Механизм открывания ковша	
Скорость навивки каната механизма открывания днища в м/сек	3

2.4 Предварительный выбор мощности и электродвигателя

Расчет мощности и выбор двигателя подъёма

Определим статическую мощность на валу электродвигателя при подъеме груза

$$P_{ст} = \frac{(G+G_m)v}{\eta} \cdot 10^{-3} \quad (2.4.1)$$

где G — сила тяжести поднимаемого груза, Н

G_m – сила тяжести грузозахватного устройства, Н;

V – скорость подъема, м/с;

η – КПД механизма подъема

$$P_{ст} = \frac{(166600+109600)0,84}{0,87} = 266,6\text{кВт}$$

Определим статический момент на валу электродвигателя при подъеме груза

$$M_{ст} = \frac{(G+G_m)D_б}{2 \cdot i \cdot \eta} \quad (2.4.2)$$

где $D_б$ – диаметр барабана, м;

i – передаточное число промежуточных передач от вала двигателя до грузозахватного устройства с учетом полиспаста;

$$M_{ст1} = \frac{(166600 + 109600)1}{2 \cdot 46 \cdot 0,87} = 3450,7\text{Нм}$$

Определим статическую мощность при подъеме без груза

$$P_{ст} = \frac{G_m V}{\eta} \cdot 10^{-3}$$

$$P_{ст0} = \frac{109600 \cdot 0,84}{0,87} \cdot 10^{-3} = 122,7\text{кВт} \quad (2.4.3)$$

Определим статическую мощность при опускании с грузом

$$P_{ст3} = \frac{(G + G_m)V}{10^3} \cdot \eta_1$$

$$\eta_1 = 2 - \frac{1}{\eta}$$

$$\eta_1 = 2 - \frac{1}{0,87} = 0,85$$

$$P_{ст3} = \frac{(166600+109600)0,84}{10^3} \cdot 0,85 = 197,2\text{кВт} \quad (2.4.4)$$

Определим статический момент при опускании с грузом

$$M_{ст} = \frac{(G + G_m)D_б}{2 \cdot i} \cdot \eta_1$$

$$M_{ст} = \frac{(166600+109600)1}{2 \cdot 46} \cdot 0,85 = 2551\text{Нм} \quad (2.4.5)$$

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Определим статическую мощность при опускании без груза

$$P_{\text{тр}} = \frac{G_m V}{10^3 \eta_0} (1 - \eta_0)$$

$$P_{\text{ст4}} = P_{\text{тр}} - \frac{(G + G_m)V}{10^3}$$

$$P_{\text{тр}} = \frac{109600 \cdot 0,84}{10^3 \cdot 0,75} (1 - 0,75) = 30 \text{ кВт} \quad (2.4.6)$$

$$P_{\text{ст4}} = 30 - \frac{(166600 + 109600) \cdot 0,84}{10^3} = -202 \text{ кВт} \quad (2.4.7)$$

Определим статический момент при опускании без груза

$$M_{\text{ст4}} = M_{\text{тр}} - \frac{(G + G_m) D_6}{2 \cdot i}$$

$$M_{\text{тр}} = \frac{109600 \cdot 1}{2 \cdot 46 \cdot 0,75} \cdot (1 - 0,75) = 397,1 \text{ Нм} \quad (2.4.8)$$

$$M_{\text{ст4}} = 397,1 - \frac{(166600 + 109600) \cdot 1}{2 \cdot 46} = -2065 \text{ Нм} \quad (2.4.9)$$

Найдем среднюю мощность

$$P_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{P_{\text{ст1}}^2 + P_{\text{ст2}}^2 + P_{\text{ст3}}^2 + P_{\text{ст4}}^2}{4}}$$

$$P_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{266,6^2 + 122,7^2 + 197,2^2 + (-202)^2}{4}} = 203,6 \text{ кВт} \quad (2.4.10)$$

Определим мощность двигателя

$$P_{\text{дв}} = 1,1 \cdot P_{\text{ср}}$$

$$P_{\text{дв}} = 1,1 \cdot 203,6 = 223 \text{ кВт} \quad (2.4.11)$$

Найдем статический эквивалентный момент

$$M_{\text{эКВ}} = \sqrt{\frac{M_{\text{ст1}}^2 + M_{\text{ст2}}^2 + M_{\text{ст3}}^2 + M_{\text{ст4}}^2}{4}}$$

$$M_{\text{эКВ}} = \sqrt{\frac{3450,7^2 + 1588,4^2 + 2551^2 + (-2605)^2}{4}} = 2632,6 \text{ Нм} \quad (2.4.12)$$

Найдем статическую эквивалентную мощность

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

$$P_{\text{СТЭКВ}} = \frac{M_{\text{СЭКВ}} \cdot \eta}{9550}$$

$$P_{\text{СТЭКВ}} = \frac{2632,6 \cdot 740}{9550} = 204 \text{ кВт} \quad (2.4.13)$$

Определим фактическую мощность двигателя

$$P_{\phi} = P_{\text{СЭКВ}} \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{ДВ}}}{\text{ПВ}_{\phi}}}$$

где $\text{ПВ}_{\text{ДВ}}$ - продолжительность включения двигателя;

ПВ_{ϕ} - продолжительность включения, выбранная по режиму работы

$$P_{\phi} = 204 \sqrt{\frac{75\%}{100\%}} = 204 \cdot 0,85 = 173 \text{ кВт} \quad (2.4.14)$$

По предварительным расчетам необходимо выбрать электродвигатель
Выбираем асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором
4МТНФ-400L8Y1

Параметры электродвигателя

Таблица 2.4.1

Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	П, В, %	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	нс, об/мин	Ммакс/Мном	Мпу/Мном
ДЭ-816У2(Т2)	200	10	490	440	750	2,8	2,55
4МТНФ-400L8Y1	200	10	407	380	750	2,8	2,55

Расчет мощности и выбор двигателя напора

Определяется мощность двигателя исходя из того, что давление ковша экскаватора на забой F_n , создаваемое напорным механизмом, равно 0,6 от тягового усилия на подъемном канате, т.е.

$$F_n = 0,6(G_k + G_r + G_p + F)$$

$$F_n = 0,6(6000 + 6500 + 8500 + 4284) = 15170,4 \quad (2.4.15)$$

Скорость перемещения рукоятки определяем исходя из перемещение рукояти при копании на 0,75 ее длины за время копания:

$$v_n = \frac{0,75 l_p}{t_k}, \text{ м/сек}$$

$$v_n = \frac{0,75 \cdot 7,2}{22,7} = 0,24, \text{ м/сек} \quad (2.4.16)$$

где l_p - длина рукояти, м

t_k – время копания, сек

Таким образом, мощность двигателя напорного механизма:

$$P_c = \frac{F_n v_n}{102 \eta_n}, \text{ кВт}$$

$$P_c = \frac{15170,4 \cdot 0,24}{102 \cdot 0,75} = 48, \text{ кВт} \quad (2.4.17)$$

где η_n – к.п.д. напорного механизма.

Выбираем асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором 4AK250M4У3

Таблица 2.4.2

Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	ПВ, %	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	nc, об/мин	nmax, об/мин	Mмакс/Мном	Mп/Мном
ДПВ-52У1(Т1)	48	80	220	305	1230	2200	2,0	2,42
4AK250M4У3	71	100	137	380	1500		3,0	3,0

Расчет мощности и выбор двигателя хода

При определении мощности и выборе двигателя гусеничных ходовых механизмов следует рассматривать два режима работы:

-длительный (при движении по горизонтальной поверхности) и кратковременный (с максимальной нагрузкой при движении на подъем или разворот с проседанием ходовой части механизма в ГП).

Максимальное тяговое усилие при установившемся прямолинейном движении машины.

$$F_{T.Г} = W_{вн} + W_k + W_n \quad (2.4.18)$$

Где $W_{вн}$ - сопротивление внутреннее во всех гусеницах,

W_k - сопротивление катанию,

W_n - сопротивление инерции при трогании с места,

Сопротивление развороту имеет значительную величину, но всегда меньше суммы сопротивлений указанный в паспорте.

Учитывая, что разворот экскаватора при движении на подъем осуществляется задним ходом, т.е. под уклон, сопротивление развороту не вводится в сумму основных сопротивлений.

Определяем вес экскаватора.

$$G = g * m_{эк} * 10^3 = 9,81 * 196 * 10^3 = 192 * 10^4 \text{ Н} \quad (2.4.19)$$

где g - 9,81 м/с²

Тяговое усилие и мощность двигателя механизма гусеничного хода при движении экскаватора по горизонтальной поверхности

$$F_{mz} = (W_{вн} + W_k + W_n) * G_{эк} \quad (2.4.20)$$

где $W_{вн} = (0,048 \div 0,091) * G_{эк}$

$$W_k = (0,082 \div 0,175) * G_{ЭК}$$

$$W_{II} = (0,012 \div 0,02) * G_{ЭК}$$

$$F_{mz} = (0,6 + 0,1 + 0,015) * 192 * 10^4 = 33,6 * 10^4 \text{ Н.}$$

Мощность двигателя механизма гусеничного хода:

$$P_{mz} = \frac{F_{mz} * V_{mz}}{\eta_{ex}} * 10^{-3} \quad (2.4.21)$$

где $V_{ГХ}$ - скорость передвижения по горизонтальной поверхности
 $V_{ГХ} = 0,125 \text{ м/с}$

η_{ex} - КПД механизма $\eta_{ex} = 0,75$

$$P_{mz} = \frac{49,5 * 10^4 * 0,125}{0,6} * 10^{-3} = 56 \text{ кВт}$$

Максимальное тяговое усилие и мощность при движении на подъем

$$F_{mn} = (0,35 \div 0,494) * G = 0,35 * 196 * 10^4 = 675,5 \text{ (кН)}$$

$$F_{mn} = (W_{вн} + W_k + W_n + W_{II}) G_{ЭК} \quad (2.4.22)$$

где $W_{II} = G_{ЭК} * \sin \alpha$

α - угол подъема экскаватора $\alpha = 12^\circ$

$$F_{mn} = (0,085 + 0,170 + 0,018 + 0,208) * 192 * 10^4 = 96 * 10^4 \text{ Н}$$

$$P_{mn} = \frac{F_{mn} * V_{zn}}{\eta_{ex}} * 10^{-3} \quad (2.4.23)$$

где $V_{ГП}$ - скорость экскаватора при движении на подъем, принимаем на 12% меньше $V_{ГХ} = 0,125 \text{ м/с}$ $V_{ГП} = 0,11 \text{ м/с}$

$$P_{mn} = \frac{89,5 * 10^4 * 0,11}{0,6} * 10^{-3} = 141 \text{ кВт}$$

Принимаем кинематическую схему механизма гусеничного хода для карьерного экскаватора с ковшом $4,6 \text{ м}^3$. экскаватор имеет две гусеницы с индивидуальным приводом на каждую гусеницу.

Частота вращения ведущего колеса гусеницы и частота вращения двигателя

$$n_{вк} = \frac{60 * V_{zx}}{\pi * D_{вк}} \quad (2.4.24)$$

где $D_{вк}$ диаметр ведущего колеса

$$D_{вк} = K_L \sqrt[3]{m_{ЭК}} = 0,19 * \sqrt[3]{196} = 1,1 \text{ м} \quad (2.4.25)$$

$$n_{вк} = \frac{60 * 0,125}{3,14 * 1,1} = 2,17 \text{ об/мин}$$

$$n_{дв} = i * n_{вк} = 442 * 2,17 = 959 \text{ об/мин} \quad (2.4.26)$$

Выбираем ближайший по характеристикам асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором в закрытом исполнении типа 4АК250М4У3 с основными параметрами $P_n = 56 \text{ кВт}$ $n_n = 1200 \text{ об/мин}$.

Таблица 2.4.3

Тип двигателя	Номинальная мощность кВт	ПВ, %	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	нс, об/мин	nm, об/мин	Mмакс, с/Мном	Mпуск, Мном

ДПЭ-52У1(Т1)	54	45 мин.	150	395	120 0	220 0	2,4	2,86
4АК250М4У3	71		137	380	150 0		3,0	3,0

Расчет мощности двигателя поворота

Статическая мощность поворотного двигателя

$$P_c = \frac{M_c n}{975}, \text{ кВт} \quad (2.4.27)$$

$$P_c = \frac{13,3 \cdot 1480}{975} = 20,2, \text{ кВт}$$

где n – наибольшая скорость вращения двигателя, об/мин

M_c – статический момент сопротивления механизма поворота, приведенный к валу двигателя, кгс/м

Статический момент сопротивления определяется по формуле:

$$M_c = \frac{Q(\mu r_{ц} + \rho) R_{кат}}{r_r i_{пер} \eta_{пер}}, \text{ кгс/м} \quad (2.4.28)$$

$$M_c = \frac{123000(0,02 \cdot 5 + 0,0012)5,25}{20 \cdot 388 \cdot 0,7} = 13,3, \text{ кгс/м}$$

где Q – суммарный вес поворотной платформы, т.е. вес всех вращающихся частей экскаватора, кгс

μ – коэффициент трения втулки катка по цапфе

$r_{ц}$ – радиус цапфы катка, см

ρ – коэффициент трения качения катка, см

$R_{кат}$ – средний радиус опорного круга, м

r_r – радиус катка, см

$i_{пер}$ – передаточное число механизма поворота

$\eta_{пер}$ – к.п.д. передачи механизма поворота.

$$P_d \approx 3P_c = 3 \cdot 20,2 = 60,6, \text{ кгс/м} \quad (2.4.29)$$

$$P_{расч} = \sqrt{\frac{P_c^2 + P_d^2}{2}}, \text{ кгс} \cdot \text{м} \quad (2.4.30)$$

$$P_{расч} = \sqrt{\frac{20,2^2 + 60,6^2}{2}} = 45,2, \text{ кгс} \cdot \text{м}$$

Выбираем ближайший по характеристикам асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором в закрытом исполнении типа 4АК250М4У3

Таблица 2.4.4

Назначение	Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	Полная мощность, кВт	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	n_c , об/мин	n_{max} , об/мин	$M_{макс}$, кгс/Мно	$M_{пуск}$, Мном

Поворот	ДПВ-52У1(Т1)	60	80	220	305	1230	2200	2,0	2,42
Поворот	4АК250М4У3	71	100	137	380	1500		3,0	3,0

Электромашиностроительные заводы РФ в настоящее время не выпускают асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором для экскаваторов ЭКГ-4.6. Компания ЗАО «ЭРАСИБ» выполняет по предварительным заказам для экскаватора ЭКГ-4,6 Б на базе асинхронных электродвигателей 4МТНФ-400L8У1(Т2) (подъем) и 4АК250М4У3 (напор, поворот, ход), которые имеют технические параметры и массогабаритные показатели, близкие к аналогичным показателям электродвигателей постоянного тока экскаватора ЭКГ-4,6 Б. В Таблицах 2.4.1-2.4.4 представлены технические параметры электродвигателей постоянного тока, применяемых на экскаваторе ЭКГ-4.6, и асинхронных электродвигателей, выбранных для главных электроприводов экскаватора ЭКГ-4.6. Сопоставление показателей электродвигателей постоянного и переменного тока свидетельствует о возможности использования асинхронных электродвигателей типа 4МТНФ-400L8У1(Т2) (подъем) и 4АК250М4У3 (напор, поворот, ход) в качестве базовых для разработки данного диплома.

Расчет мощности сетевого двигателя

Мощность сетевого (приводного) двигателя определяется суммой мощностей работающих одновременно двигателей. Так как механизм подъема и механизм напора работают одновременно, то суммарная мощность составит

$$\Sigma P = 159 + 45,2 = 214,2 \text{ кВт} \quad (2.4.31)$$

Поэтому за расчетную мощность сетевого двигателя

$$P_{\text{расч}} = \Sigma P = 214,2 \text{ кВт} \quad (2.4.32)$$

2.5. Расчет тахограммы и нагрузочной диаграммы электродвигателя

Расчет тахограммы и нагрузочной диаграммы электродвигателя подъёма

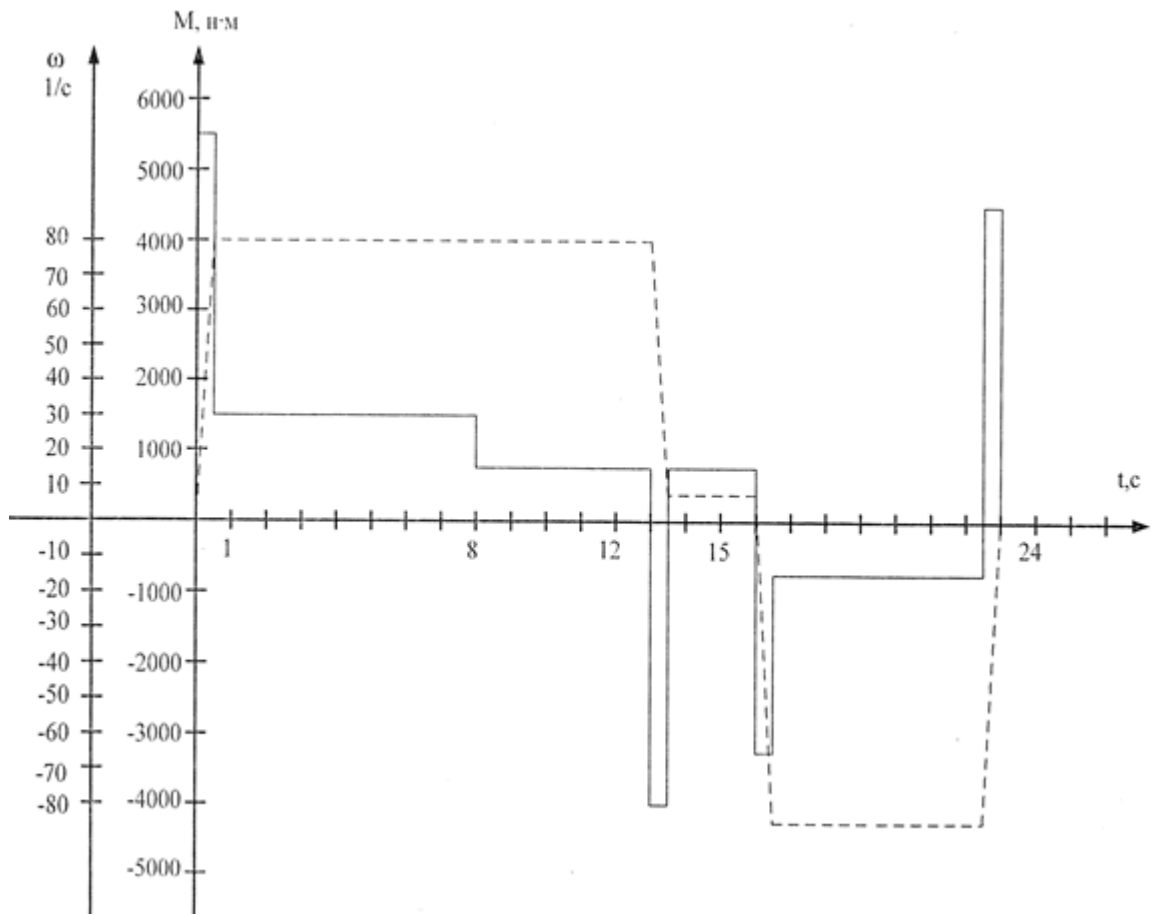


Рисунок 2.5.1 нагрузочная диаграмма механизма подъема экскаватора с учетом динамических моментов

Цикл основных рабочих периодов механизма подъема состоит из следующих основных циклов:

- t_1 – разгон двигателя в начале черпания;
- t_2 – подъем ковша с рукоятью в период черпания груза;
- t_3 – остановка ковша с грунтом после выхода из забоя;
- t_4 – равновесное поддержание ковша с грунтом при повороте его к месту выгрузки;
- t_5 – выгрузка ковша, момент двигателя уменьшается с опорожнением ковша от грунта;
- t_6 – разгон двигателя при опускании пустого ковша;
- t_7 – опускание пустого ковша с постоянной скоростью;
- t_8 – торможение ковша перед опусканием на грунт.

Расчет момента производится для режима копания, удержания при повороте и опускании ковша

$$M_2 = \frac{(G_{\text{ков}} + G_{\text{гр}} + 0.5 \cdot G_{\text{р}} + G_{\text{рез}}) \cdot g \cdot R_{\delta}}{i \cdot \eta}; \quad (2.5.1)$$

$$M_4 = \frac{(G_{\text{ков}} + G_{\text{гр}} + 0.5 \cdot G_{\text{р}}) \cdot g \cdot R_{\delta} \cdot \eta}{i}; \quad (2.5.2)$$

$$M_7 = \frac{(G_{\text{ков}} + 0.5 \cdot G_p) \cdot g \cdot R_6 \cdot \eta}{i}, \quad (2.5.3)$$

где:

$G_{\text{ков}}$ – масса ковша, кг;

$$G_{\text{гр}} = \frac{V_1 \cdot \gamma}{b} \text{ – масса грунта, кг;} \quad (2.5.4)$$

G_p – масса рукояти, кг (масса рукояти наполовину уравновешена хвостовой частью рукояти);

$$G_{\text{рез}} = \frac{F_{\text{рез}}}{g} = \frac{k \cdot V_1}{b \cdot l \cdot g} \quad (2.5.5)$$

– масса, соответствующая действию усилия резания $F_{\text{рез}}$, кг;

R_6 – радиус барабана лебедки, м;

$$V_1 = S \cdot l \cdot b \text{ – объем ковша заполненный породой, м}^3; \quad (2.5.6)$$

$b = (1.1 \div 1.35)$ – коэффициент разрыхления породы;

l – длина резки или высота карьера, м;

k – удельное сопротивление копанью, $\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$;

S – сечение снимаемой стружки породы, м^2 ;

γ – плотность породы, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Моменты двигателя при разгоне и торможении принимаются равными

$$M_1 = 1.5 \cdot M_2; M_3 = 0.8 \cdot M_2; M_6 = M_2; M_8 = 1.5 \cdot M_2. \quad (2.5.7)$$

При построении нагрузочной диаграммы электропривода моменты двигателя при спуске и торможении рассчитывают с учетом реальных динамических моментов, определяемых приведенным моментом инерции и ускорением (замедлением) соответствующего механизма.

Продолжительность включения ПВ = 100%.

Расчет тахограммы и нагрузочной диаграммы электродвигателя поворота

Определяем основные размеры, массы и веса экскаватора и рабочего оборудования .

Масса экскаватора определяется по формуле.

$$m_{\text{экс}} = k_{\text{экс}} \times E = 50 \times 4,6 = 230 \text{ т.} \quad (2.5.8)$$

где: $k_{\text{экс}}$ – коэффициент удельной массы экскаватора.

$k_{\text{экс}} = 38 - 55 \text{ т/м.}$ Принимаем $k_{\text{экс}} = 50 \text{ т/м.}$

E – вместимость ковша = $4,6 \text{ м}^3$.

E = Ел. Линейные размеры ковша.

$$b_{\text{кл}} = 1,2 \times \sqrt[3]{E_{\text{л}}} = 1,2 \times \sqrt[3]{4,6} = 2, \text{ м,}$$

$$I_{\text{кл}} = 0,77 \times b_{\text{кл}} = 0,77 \times 2 = 1,54, \text{ м,}$$

$$h_{\text{кл}} = 0,75 \times b_{\text{кл}} = 0,75 \times 2 = 1,5, \text{ м.} \quad (2.5.9)$$

										Лист
										57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Массу и вес ковша вычисляют используя формулы.

$$m_{\text{кл}} = 1,15 \times \text{Скл} \times E_{\text{л}} = 1,15 \times 1,55 \times 4,6 = 8,199 = 8,2 \text{ т}, \quad (2.5.10)$$

где: Скл – коэффициент массы. Принимаем Скл = 1,55.

$$G_{\text{к}} = m_{\text{кл}} \times 9,81 \times 10^3 = 8,199 \times 9,81 \times 10^3 = 8,044 \times 10^4 \text{ Н}. \quad (2.5.11)$$

По величине массы экскаватора и приведенным линейным коэффициентам K_L находят линейные размеры отдельных конструктивных элементов по следующей формуле.

$$L = K_L \times \sqrt[3]{m_{\text{экс}}} = K_L \times \sqrt[3]{200} = K_L \times 6,127. \quad (2.5.12)$$

Размеры стрелы и рукояти экскаватора.

$$L_{\text{с}} = 6,127 \times K_L = 6,127 \times 1,8 = 11 \text{ м}, \quad (2.5.13)$$

где: K_L – линейный коэффициент для расчета длины стрелы

$K_L = 1,8 - 1,85$. Принимаем $K_L = 1,8$.

$$L_{\text{р}} = 6,127 \times K_L = 6,127 \times 1,25 = 7,658 \text{ м}, \quad (2.5.14)$$

где: K_L – линейный коэффициент для расчета длины рукояти

$K_L = 1,15 - 1,25$. Принимаем $K_L = 1,25$.

Масса и вес двухбалочной рукояти.

$$m_{\text{р}} = c_{\text{р}} \times m_{\text{кл}} = 0,9 \times 8,2 = 7,38 \text{ т}, \quad (2.5.15)$$

где: $c_{\text{р}}$ – коэффициент для расчета размеров рукояти

$c_{\text{р}} = 0,8 - 1,0$. Принимаем $c_{\text{р}} = 0,9$.

$$G_{\text{р}} = m_{\text{р}} \times 9,81 \times 10 = 7,38 \times 9,81 \times 10^3 = 7,24 \times 10^4 \text{ Н}. \quad (2.5.16)$$

Высота напорного вала определяется по формуле.

$$L_{\text{н}} = 6,127 \times K_{\text{ЛН}} = 6,127 \times 1,1 = 6,74 \text{ м}, \quad (2.5.17)$$

где: $K_{\text{ЛН}}$ – линейный коэффициент для расчета высоты напорного вала

$K_{\text{ЛН}} = 1,1$.

Высота пяты стрелы.

$$L_{\text{п}} = 6,127 \times K_{\text{пс}} = 6,127 \times 0,45 = 2,76 \text{ м}, \quad (2.5.18)$$

где: $K_{\text{пс}}$ – линейный коэффициент для расчета высоты пяты стрелы

$K_{\text{пс}} = 0,45$.

Максимальная высота копания экскаватора.

$$L_{\text{коп}} = 6,127 \times K_{\text{ЛКОП}} = 6,127 \times 1,8 = 11 \text{ м}, \quad (2.5.19)$$

где: $K_{\text{ЛКОП}}$ – линейный коэффициент для расчета высоты копания

$K_{\text{ЛКОП}} = 1,7 - 1,8$. Принимаем $K_{\text{ЛКОП}} = 1,8$.

По полученным данным строим расчетную схему рабочих положений экскаватора и определяем усилие и мощность двигателя механизма подъема в отдельные периоды работы экскаватора в течение одного цикла рисунок 3.1.

Сопrotивление породы копанию определяем по формуле.

$$N_{\text{л}} = \frac{k_{\text{кл}} \cdot E_{\text{л}} \cdot 10^5}{L_3 \cdot k_{\text{р}}} = \frac{2,5 \cdot 4,6 \cdot 10^5}{6,74 \cdot 1,35} = 12,639 \cdot 10^4 \text{ Н}, \quad (2.5.20)$$

где: $k_{\text{кл}} = 2,5$ - коэффициенты удельного сопротивления породы копанию

$k_{\text{р}} = 1,35$, $L_3 = L_{\text{н}} = 6,74 \text{ м}$

Вес ковша с породой и вес рукояти.

$$G_{к+nop} = G_k + G_{nop} = 0,981 \cdot (m_{кл} + \frac{E_l \cdot \gamma_{nop}}{\kappa_p}) \cdot 10^4, \quad (2.5.21)$$

$$G_{к+nop} = 0,981 \cdot 10^4 \cdot (8,2 + \frac{4,6 \cdot 3,5}{1,35}) = 19,743 \cdot 10^4 H,$$

где: $\gamma_{nop} = 3,5 m / m^3$ - плотность породы.

Сила тяжести рукоятки, создающая момент сопротивления при копании.

$$G_p' = \frac{G_p \cdot l_n}{L_p} \cdot 10^4 = \frac{7,24 \cdot 4,1}{7,658} \cdot 10^4 = 3,876 \cdot 10^4 H. \quad (2.5.22)$$

Усилие при копании определяется по формуле.

$$N_{nl} = \frac{(N_{l1} \cdot l_1 + G_{к+n} \cdot l_k + G_p' \cdot l_p) \cdot 10^4}{l_n} = \quad (2.5.23)$$

$$= \frac{(12,639 \cdot 6,1 + 19,743 \cdot 5,1 + 3,876 \cdot 2,05) \cdot 10^4}{4,1} = 45,3 \cdot 10^4 H,$$

где: l_1, l_k, l_p, l_n - линейные размеры, которые определены по рис. 3.1 а.

$$P_{nl} = \frac{N_{nl} \cdot v_{nl} \cdot 10^{-3}}{\eta_{nl}} = \frac{45,3 \cdot 10^4 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{0,80} = 566,25 \text{ кВт} \quad \text{Мощность при копании равна.} \quad (2.5.24)$$

Усилие при повороте груженого ковша на разгрузку определяется.

$$N_{nl}' = \frac{(G_{к+n} \cdot l_k' \cdot \cos \alpha + G_p \cdot l_p' \cdot \cos \alpha) \cdot 10^4}{l_n' \cdot \sin \beta} = \quad (2.5.25)$$

$$\frac{(19,743 \cdot 8,7 \cdot 0,94 + 7,24 \cdot 3,8 \cdot 0,94) \cdot 10^4}{7,6 \cdot 0,71} = 34,714 \cdot 10^4 H,$$

$$\cos \alpha = \cos 20^\circ = 0,94,$$

$$\sin \beta = \sin 45^\circ = 0,71.$$

$$P_{nl}' = 0,1 \cdot \frac{N_{nl}' \cdot v_{nl} \cdot 10^{-3}}{\eta_{nl}} = 0,1 \cdot \frac{34,714 \cdot 10^4 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{0,80} = 43,39 \text{ Вт} \quad \text{Мощность экскаватора при повороте на разгрузку.} \quad (2.5.26)$$

Усилие при повороте порожнего ковша в забой по формуле.

$$N_{nl}'' = \frac{(G_k \cdot l_k' \cdot \cos \alpha + G_p \cdot l_p' \cdot \cos \alpha) \cdot 10^4}{l_n' \cdot \sin \beta} = \quad (2.5.27)$$

$$\frac{(8,044 \cdot 8,7 \cdot 0,94 + 7,24 \cdot 3,8 \cdot 0,94) \cdot 10^4}{7,6 \cdot 0,71} = 16,984 \cdot 10^4 H,$$

$$\cos \alpha = \cos 20^\circ = 0,94,$$

$$\sin \beta = \sin 45^\circ = 0,71.$$

Мощность с порожним ковшом экскаватора находим по формуле.

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

$$P_{nl}'' = 1,1 \frac{N_{nl}'' \cdot v_{nl} \cdot 10^{-3}}{\eta_{nl}} = 1,1 \cdot \frac{16,984 \cdot 10^4 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{0,80} = 212,3 \text{ кВт}. \quad (2.5.28)$$

Для вычисления моментов инерции вращающихся частей экскаватора определим ширину платформы, радиус задней стенки, радиус пяты стрелы, максимальный радиус разгрузки по формуле.

$$L = K_L \times \sqrt[3]{m_{\text{экс}}} = K_L \times \sqrt[3]{200} = K_L \times 6,127 \quad (2.5.29)$$

Ширина платформы.

$$L_{\text{пл}} = K_{\text{ЛПЛ}} \times 5,91 = 0,95 \times 6,127 = 5,82 \text{ м}, \quad (2.5.30)$$

где: $K_{\text{ЛПЛ}}$ - линейный коэффициент ширины платформы.

$$K_{\text{ЛПЛ}} = 0,85 - 0,95. \text{ Принимаем } K_{\text{ЛПЛ}} = 0,95.$$

Радиус задней стенки экскаватора.

$$L_{\text{зс}} = K_{\text{зс}} \times 6,127 = 0,95 \times 6,127 = 5,82 \text{ м}, \quad (2.5.31)$$

где: $K_{\text{зс}}$ - линейный коэффициент задней стенки.

$$K_{\text{зс}} = 0,95 - 1,0. \text{ Принимаем } K_{\text{зс}} = 0,95.$$

Радиус пяты стрелы экскаватора.

$$L_{\text{пс}} = K_{\text{пс}} \times 6,127 = 0,4 \times 6,127 = 2,45 \text{ м}, \quad (2.5.31)$$

где: $K_{\text{пс}}$ - линейный коэффициент пяты стрелы.

$$K_{\text{пс}} = 0,4 - 0,37. \text{ Принимаем } K_{\text{пс}} = 0,4.$$

Максимальный радиус разгрузки.

$$L_{\text{раз}} = K_{\text{раз}} \times 6,127 = 2,5 \times 6,127 = 15 \text{ м}, \quad (2.5.32)$$

где: $K_{\text{раз}}$ - линейный коэффициент максимального радиуса разгрузки.

$$K_{\text{раз}} = 2,4 - 2,5. \text{ Принимаем } K_{\text{раз}} = 2,5.$$

Длина платформы экскаватора находится по формуле.

$$L_{\text{пл}} = L_{\text{зс}} + L_{\text{пс}} = 5,82 + 2,45 = 8,27 \text{ м}. \quad (2.5.33)$$

Масса платформы.

$$M_{\text{пл}} = K_{\text{т.пл.}} \cdot M_{\text{экс}} = 0,5 \times 230 = 115 \text{ т}, \quad (2.5.34)$$

где: $K_{\text{т.пл.}}$ - линейный коэффициент для определения массы платформы.

$$\text{Принимаем } K_{\text{т.пл.}} = 0,5.$$

Масса стрелы с блоками.

$$M_{\text{ст}} = K_{\text{т.ст.}} \cdot M_{\text{экс}} = 0,06 \times 230 = 13,8 \text{ т}, \quad (2.5.35)$$

где: $K_{\text{т.ст.}}$ - линейный коэффициент для определения массы стрелы с блоками.

$$\text{Принимаем } K_{\text{т.ст.}} = 0,06.$$

Масса напорного механизма.

$$M_{\text{н}} = K_{\text{н.}} \cdot M_{\text{экс}} = 0,028 \times 230 = 6,44 \text{ т}, \quad (2.5.36)$$

где: $K_{\text{н.}}$ - линейный коэффициент для определения напорного механизма.

$$\text{Принимаем } K_{\text{н.}} = 0,028.$$

Масса ковша с породой определяется по формуле.

$$M_{\text{к+n}} = M_{\text{кл}} + \frac{E_{\text{л}} \cdot \gamma_{\text{пор}}}{K_{\text{р}}} = 8,2 + \frac{4,6 \cdot 3,5}{1,35} = 20,126 \text{ т}. \quad (2.5.37)$$

Момент инерции поворотной платформы относительно оси ее вращения определяем.

$$J_{\text{пл}} = J_0 + m_{\text{пл}} \cdot l_{\text{пл}}^2 = 980,042 + 115 \cdot 1,685^2 \cdot 10^3 = 1,31 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (2.5.38)$$

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ					60

где:

$$l_{nl} = L_{nl} / 2 - L_{nc} = 8,27 / 2 - 2,45 = 1,685 \text{ м};$$

$$J_o = m_{nl} \frac{(0,5 \cdot L_{nl})^2 + (0,5 \cdot L_{nl}')^2}{3} = 115 \cdot \frac{(0,5 \cdot 8,27)^2 + (0,5 \cdot 5,82)^2}{3} = \quad (2.5.39)$$

$$= 980,042 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции напорного механизма.

$$J_n = m_n \cdot l_n^2 = 6,44 \cdot 6,55^2 \cdot 10^3 = 0,28 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (2.5.40)$$

где: $l_n \approx l_{cm} = 4,1 + 2,45 = 6,55 \text{ м}$.

Моменты инерции ковша с породой и без породы относительно оси вращения платформы определяем по формуле.

$$J_{k+n} = m_{k+nop} \cdot L_{раз}^2 = 20,126 \cdot 15^2 \cdot 10^3 = 4,528 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (2.5.41)$$

$$J_k = m_{кл} \cdot L_{раз}^2 = 8,2 \cdot 15^2 \cdot 10^3 = 1,845 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции стрелы с блоками относительно оси вращения платформы.

$$J_{cm} = m_{cm} \cdot l_{cm}^2 = 13,8 \cdot 6,55^2 \cdot 10^3 = 0,592 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (2.5.42)$$

Момент инерции рукояти относительно оси платформы по формуле.

$$J_p = m_p \cdot (l_p'')^2 = 7,38 \cdot \left(6,55 + \frac{7,6 \cdot 0,94}{2}\right)^2 \cdot 10^3 = 0,756 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (2.5.43)$$

Находим суммарные моменты инерции вращающихся частей экскаватора при повороте с груженным и порожним ковшом.

$$\sum J_{Г} = (J_{nl} + J_{k+n} + J_{cm} + J_p + J_n) \cdot 10^6 = (1,31 + 4,528 + 0,592 + 0,756 + 0,28) \cdot 10^6 = \quad (2.5.44)$$

$$= 7,466 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (2.5.45)$$

$$\sum J_{II} = (J_{nl} + J_k + J_{cm} + J_p + J_n) \cdot 10^6 = (1,31 + 1,845 + 0,592 + 0,756 + 0,28) \cdot 10^6 =$$

$$= 4,783 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

По полученным данным строим нагрузочную диаграмму механизма поворота (вращения) экскаватора, рисунок 3.2.

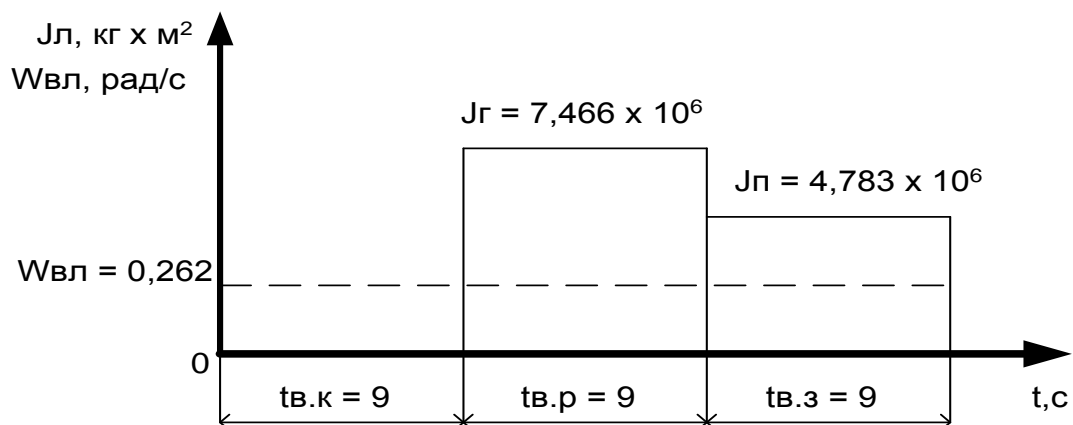


Рисунок 2.5.2 - Нагрузочная диаграмма механизма вращения

Средневзвешенная мощность двигателей поворотного механизма при вращении с груженым и порожним ковшом находится по формуле.

$$P_{B.CB.} = \frac{(J_{\Gamma} + J_{II}) \cdot \omega_p^2}{t_{B.P.}} \cdot 10^{-3} = \frac{(7,466 + 4,783) \cdot 10^6 \cdot 0,262^2}{9} \cdot 10^{-3} = 93,43 \text{ кВт}, \quad (2.5.46)$$

где: $t_{B.P.} = t_{цл} / 3 = 27 / 3 = 9 \text{ с};$

$$\omega_p = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5}{60} = 0,262 \text{ рад/с}^{-1}. \quad (2.5.47)$$

Расчет тахограммы и нагрузочной диаграммы электродвигателя хода

Момент статический, Нм.

$$M_c = F_{m2} * \frac{V_3}{\omega_{дв}} \quad (2.5.48)$$

где F_{m2} - тяговое усилие по горизонтальной плоскости;

$$F_{m2} = 33,6 * 10^4 \text{ Н}. \quad (2.5.49)$$

V_3 - скорость экскаватора; $V_3 = 0,125 \text{ м/с}.$

$\omega_{дв}$ - номинальная скорость двигателя; $\omega_{дв} = 125 \text{ с}^{-1}.$

$$M_c = \frac{49,5 * 10^4 * 0,125}{125} = 336 \text{ Нм}.$$

Момент статический приведенный к валу двигателя.

$$M_{cпр} = \frac{M_c}{i_{рез} \eta_{ред}}; \quad (2.5.50)$$

где $i_{рез}$ - передаточное число редуктора; $i_{рез} = 441,96$

η - КПД механизма; $\eta = 0,6.$

$$M_{cпр} = \frac{336}{442 * 0,75} = 1,014 \text{ Нм}$$

Момент инерции, приведенный к валу двигателя, Нм.

$$J_{пр} = 3,8 * J_{дв} + m_{экс} \left(\frac{V_{экс}}{\omega_{дв}} \right)^2; \quad (2.5.51)$$

где $m_{экс}$ - масса экскаватора, т; $m_{экс} = 196 \text{ т}.$

3,8- коэффициент, учитывающий момент инерции вращающихся частей, составляющий 90% от $J_{дв}$; $J_{дв} = 2.$

$$J_{пр} = 3,8 * 2 + 196 * \left(\frac{0,125}{125} \right)^2 = 7,64 \text{ Нм}.$$

Для построения нагрузочной диаграммы и тахограммы определяем тормозные и пусковые моменты, а также время разгона и торможения.

Номинальный момент, Нм.

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_{дв}} \quad (2.4) \quad (2.5.52)$$

где P_n - номинальная мощность двигателя; $P_n = 54 \text{ кВт}.$

$\omega_{дв}$ - угловая скорость вращения двигателя.

$$M_n = \frac{54 \cdot 10^3}{125} = 0,43 \cdot 10^3 \text{ Нм}$$

Принимаем тормозной момент равный пусковому.

$$M_m = M_n = 2M_n = 2 \cdot 0,43 \cdot 10^3 = 0,86 \cdot 10^3 \text{ Нм. (2.5)}$$

определяем время разгона и торможения

$$t_p = t_T$$

$$t_p = t_T = J_{np} \cdot \frac{\omega_{дв}}{M_n + M_{np}} \quad (2.6) \quad (2.5.53)$$

$$t_p = t_T = 7,64 \cdot \frac{125}{0,86 \cdot 10^3 + 1} = 1,19 \text{ с}$$

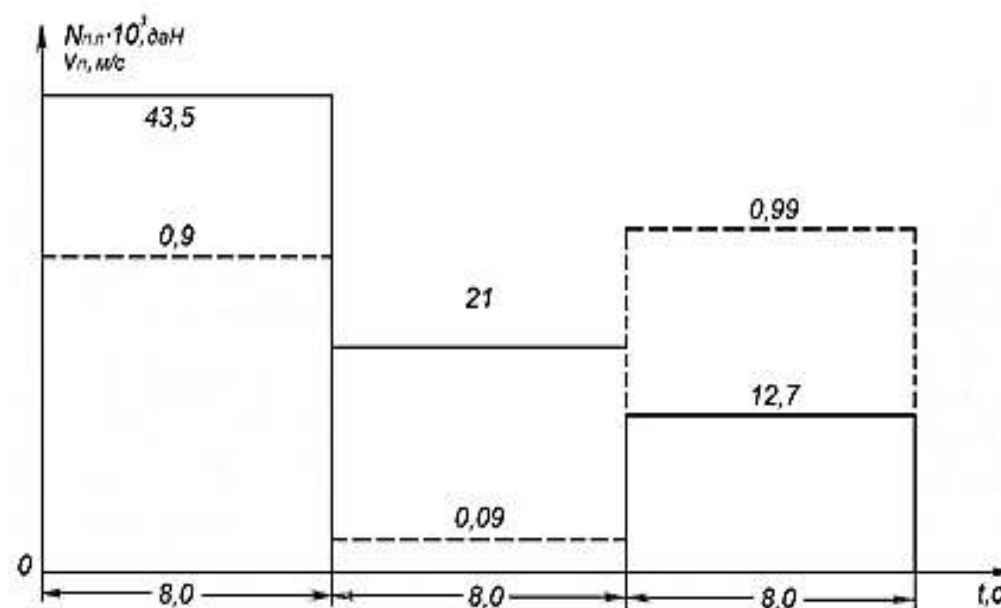


Рисунок 2.5.3- тахограмма и нагрузочная диаграмма электродвигателя хода

2.6. Проверка выбранного двигателя по нагреву и перегрузке

Проверка двигателя подъёма

Произведем проверку выбранного двигателя на нагрев и перегрузочную способность.

Проверка на нагрев производится по условию

$$M_{н.дв.} \geq M_{экв.} \quad (2.6.1)$$

Для расчета потребуется найти номинальный момент двигателя

$$M_{н.дв.} = \frac{P_{н.дв.} \cdot 9,81}{n_{дв.}}$$

где $P_{н.дв.}$ — мощность выбранного двигателя, Вт;

$n_{дв.}$ — частота вращения выбранного двигателя, об/мин

$$M_{н.дв.} = \frac{175000 \cdot 9,81}{740} = 2320 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определяем суммарную величину махового момента, приведенная к валу двигателя

$$\begin{aligned} \sum GD^2 np &= GD^2 \delta v + 0,3GD^2 \delta v \\ \sum GD^2 np &= 75 + 0,3 \cdot 75 = 97,5 \text{ Нм}^2 \end{aligned}$$

Найдем время разгона при подъеме грузозахватного устройства с грузом

$$t_{p1} = \frac{\sum GD^2 \cdot n}{375 \cdot (M_{ср} - M_{см1})}$$

$$t_{p1} = \frac{97,5 \cdot 740}{375 \cdot (4176 - 3450,7)} = 0,26 \text{ сек}$$

Найдем время разгона при подъеме грузозахватного устройства без груза

$$t_{p2} = \frac{\sum GD^2 \cdot n}{375 \cdot (M_{ср} - M_{см2})}$$

$$t_{p2} = \frac{97,5 \cdot 740}{375 \cdot (4176 - 2551)} = 0,12 \text{ сек}$$

Найдем время разгона при опускании грузозахватного устройства с грузом

$$t_{p3} = \frac{\sum GD^2 \cdot n}{375 \cdot (M_{ср} - M_{см3})}$$

$$t_{p3} = \frac{97,5 \cdot 740}{375 \cdot (4176 - 1558)} = 0,07 \text{ сек}$$

Найдем время разгона при опускании грузозахватного устройства без груза

$$t_{p4} = \frac{\sum GD^2 \cdot n}{375 \cdot (M_{ср} - M_{см4})}$$

$$t_{p4} = \frac{97,5 \cdot 740}{375 \cdot (4176 - (-2605))} = 0,01 \text{ сек}$$

Время торможения для всех случаев принимается единое и находится по формуле

$$t_m = \frac{V}{b},$$

где b-замедление, м/сек²

$$t_m = \frac{0,84}{0,7} = 1,2 \text{ сек}$$

Находим эквивалентный момент

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_{\text{ср}}^2 \cdot (t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4}) + i_{\text{уст}} \cdot (M_{\text{см1}} + M_{\text{см2}} + M_{\text{см3}} + M_{\text{см4}}) + M_{\text{ср}} \cdot 4 \cdot t_m}{T_{\text{ц}} \cdot \frac{ПВ}{100}}}$$

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{4176^2 \cdot (0,26 + 0,12 + 0,07 + 0,01) + 6,1 \cdot (3450 + 2551 + 1588 + 2605) + 4176^2 \cdot 4 \cdot 1,2}{40 \cdot \frac{75}{100}}} =$$

$$= 1748,9 \text{ Нм}$$

Производим проверку на нагрев

$$M_{\text{экв}} \leq M_{\text{н.дв}},$$

где $M_{\text{экв}}$ – эквивалентный момент двигателя, Нм;

$M_{\text{н.дв}}$ – номинальный момент двигателя, Нм

$$1728,9 \text{ Нм} < 2320 \text{ Нм}$$

Произведя проверку двигателя на нагрев, выяснилось, что при данном режиме работы двигатель выдержит нагрев.

Произведем проверку на перегрузочную способность. Для этого найдем пусковой момент

$$M_{\text{ср}} = \frac{M_{n1} + M_{n2}}{2}$$

$$M_{n1} = 2 \cdot M_{\text{ср}} - M_{n2}$$

$$M_{n2} = 1,1 \cdot M_{\text{ндв}}$$

$$M_{\text{ндв}} = \frac{P_{\text{н}}}{n} \cdot 9550$$

$$M_{\text{ндв}} = \frac{175}{740} \cdot 9550 = 2258,4 \text{ Нм}$$

$$M_{n2} = 1,1 \cdot 2258,4 = 2484,3 \text{ Нм}$$

$$M_{n1} = 2 \cdot 4176 - 2484,3 = 5867,7 \text{ Нм}$$

Условие проверки перегрузочной способности двигателя

$$M_{n1} \leq M_{\text{max}}$$

$$5867,7 \text{ Н} \cdot \text{м} < 6960 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Условия выполняются, значит выбранный двигатель способен обеспечить заданный момент при пуске

Проверка двигателя хода

Проверка на нагрев производится по условию

$$M_{\text{э}} \leq M_{\text{н}}$$

$$\lambda < [\lambda]$$

Момент эквивалентный определяется.

										Лист
										65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$$M_3 = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}; \quad (3.1)$$

где $M_1=M_{п}=0,86 \cdot 10^3$ Нм - пусковой момент

$M_2=M_{н}=0,43 \cdot 10^3$ Нм - номинальный момент

$M_3=M_{т}=0,86 \cdot 10^3$ Нм - тормозной момент.

$t_1=t_3=t_p=1.2$ с- время пуска и торможения

$t_2=t_y=600$ с- время цикла.

$$M_3 = \sqrt{\frac{(0,86 \cdot 10^3)^2 \cdot 1,2 + (0,43 \cdot 10^3)^2 \cdot 600 + (0,86 \cdot 10^3)^2 \cdot 1,2}{1,2 + 600 + 1,2}} = 0,427 \cdot 10^3 \text{ Нм}$$

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_{дв}} = \frac{54 \cdot 10^3}{125} = 0,43 \cdot 10^3 \text{ Нм.}$$

Двигатель проходит по нагреву $M_3 < M_n$; $0,427 < 0,43$.

Проверка двигателя по перегрузочной способности.

$\lambda < [\lambda]$

$$\frac{M_m}{M_n} = 2$$

$\lambda = \frac{M_m}{M_n}$ - перегрузочная способность двигателя.

$[\lambda] = 2,5$ - каталожное значение перегрузки; $2 < 2,5$ - условие выполняется, двигатель по перегрузочной способности проходит.

Проверка двигателя поворота

Эквивалентный момент двигателя определяем по формуле.

$$M_{ЭК} = \sqrt{\frac{M_{15}^2 \cdot t_9 + 0,1 M_{ном.в}^2 \cdot t_{10} + M_{15}^2 \cdot t_{11} + M_{15}^2 \cdot t_{12} + 0,1 M_{ном.в}^2 \cdot t_{13} + M_{15}^2 \cdot t_{14}}{t_{цл}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,225^2 \cdot 3,5 + 0,013^2 \cdot 3 + 0,225^2 \cdot 3 + 0,225^2 \cdot 2,5 + 0,013^2 \cdot 4 + 0,225^2 \cdot 2,5}{27}} = 0,128 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$$M_{ЭК} = 0,128 \cdot 10^4 \cong M_{ном} = 0,127 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Коэффициент продолжительности включения двигателя.

$$P_{Врасч} = \frac{t_{раб} \cdot 100}{t_{цл}} = \frac{18 \cdot 100}{27} = 67\%,$$

где: $t_{раб} = t_9 + t_{10} + t_{11} + t_{12} + t_{13} + t_{14} = 3,5 + 3 + 3 + 2,5 + 4 + 2 = 18$ с.

Согласно условию: $P_{Врасч} = 67\% \leq P_{Вном} = 80\%$.

Определяем эффективную мощность двигателя по формуле.

$$P_{ЭК} = \frac{M_{ЭК} \cdot n_{ном}}{9550} = \frac{0,128 \cdot 10^4 \cdot 750}{9550} = 100,5 \text{ кВт.}$$

$$P_{ном}' = P_{ном} \cdot \sqrt{\frac{P_{Вном}}{P_{Врасч}}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{80}{67}} = 119,4 \text{ кВт.}$$

										Лист
										66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ					

Согласно условию: $P_{ном'} = 119,4 \text{ кВт} \geq P_{эк} = 100 \text{ кВт}$.

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

2.7. Выбор преобразователя частоты

2.7.1 Краткое описание современных преобразователей частоты

В настоящее время преобразователи частоты считается стандартным промышленным оборудованием в технике электропривода. Они используются везде, где в электроприводе требуются следующие характеристики:

- а) регулирование скорости, чтобы она могла быть приспособлена под темп производства,
- б) дистанционное управление скоростью и направлением вращения,
- в) более высокая точность позиционирования, чем это возможно для двигателей с переключением числа пар полюсов,
- г) более высокая частота пусков (допустимое по нагреву число пусков в час), чем при питании от сети,
- д) ограничение нагрузки с помощью электропривода.

Следующий раздел относится исключительно к преобразователю частоты с промежуточным звеном постоянного напряжения (инверторы напряжения или импульсные инверторы). Эта группа преобразователей частоты является наиболее значительной и доминирует в диапазоне мощностей от 0,5 до нескольких сот киловатт. Инверторы с промежуточным звеном постоянного тока (инверторы тока) являются экономичными только при мощностях выше 20 кВт и предназначены в основном в автономных электроприводах. По этим причинам инверторы напряжения с ШИМ являются доминирующими в нижнем диапазоне мощностей.

Главным преимуществом двухзвенных ПЧ с промежуточным звеном постоянного тока являются:

возможность получения на выходе преобразователя широкого диапазона частот, не зависящего от частоты питающей сети и полностью покрывающего потребности электроприводов различного назначения, в том числе высокоскоростных, среднескоростных и тихоходных, прецизионных электроприводов с широким и сверхшироким диапазоном регулирования скорости и др.;

возможность использования относительно простых силовых схем и систем в управлении ПЧ для электроприводов с невысокими требованиями в части диапазона регулирования, быстродействия и других показателей;

возможность наращивания сложности силовой части и системы управления преобразователя соразмерно уровню повышения требований к электроприводе, не допуская чрезмерной избыточности системы;

возможность реализации в сравнительно малоэлементной структуре преобразователя разнообразных алгоритмов управления, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к электроприводам различного назначения;

легкость трансформации преобразователя для работы в установках с питанием электрооборудования от автономных источников либо локальной сети постоянного тока.

Основные недостатки ДПЧ (двухзвенных преобразователей частоты) с промежуточным звеном постоянного тока:

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

двукратное преобразование энергии, что увеличивает потери энергии и ухудшает массогабаритные показатели преобразователя;

наличие в звене постоянного тока силового фильтра как неотъемлемого элемента ДПЧ, содержащего батарею конденсаторов значительной емкости (в схемах ДПЧ с АИН) либо реактор со значительной индуктивностью (в системах ДПЧ с АИТ).

Важным параметром преобразователя частоты является частота модуляции выходного напряжения АИН. Оптимальный выбор этого параметра представляет собой по существу вариационную задачу, содержание которой определяют следующие противоречивые факторы:

Увеличение частоты ШИМ дает ряд положительных эффектов:

повышает динамическую точность воспроизведения широтно-импульсными модуляторами входных задающих воздействий;

- Расширяет рабочий диапазон частот системы преобразователь -двигатель;
- Уменьшает амплитуды модуляционных пульсаций токов, потокосцеплений и электромагнитного момента двигателя, а также зависящие от них составляющие модуляционных потерь в двигателе и цепи питания;

Уменьшает дополнительный шум двигателя, что в некоторых случаях позволяет отказаться от установки выходных фильтров;

Создает условия для повышения быстродействия и улучшения других показателей качества замкнутых систем автоматического регулирования.

Вместе с тем повышение частоты ШИМ создает ряд отрицательных эффектов:

Вследствие повышения частоты коммутации пропорционально увеличиваются коммутационные потери в инверторе, и снижается его допустимая полезная мощность;

Увеличиваются действующие значения емкостных токов в кабелях питания и элементах конструкции двигателя;

Усложняется проблема ограничения перенапряжений от наложения блуждающих электромагнитных волн в цепи нагрузки и ухудшается использование активных элементов преобразователя по напряжению.

По параметрам выбранных двигателей выбираем преобразователь

Полнофункциональный рекуперативный преобразователь АББ ACS800 мультидрайв

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

крутящим моментом, большой пусковой момент и возможность использования длинных кабелей двигателя. Встроенное дополнительное оборудование ускоряет и облегчает проведение монтажных работ.

Основные особенности ACS800

- Высокая перегрузочная способность
- Режим DTC
- Встроенный интерфейс RS-485 с поддержкой протокола Modbus
- Совместимость с Industrial IT
- Приводы настенного монтажа могут иметь морское исполнение
- Встроенный фильтр гармоник
- Компактные размеры
- Гальваническая развязка входов-выходов
- Встроенные ПИД-регуляторы процесса
- Внутренние функции самонастройки
- Простое использование привода с интеллектуальной панелью
- Векторное управление с датчиком обратной связи и без него

Режимы работы ACS800:

- Вольт-частотный режим без датчика обратной связи
- Управление моментом
- Векторное управление
- Работа с датчиком обратной связи по скорости и без него

Перегрузочная способность ACS800:

- В нормальном режиме 110% в течение 1 мин. каждые 10 мин.
- В тяжелом режиме 150% в течение 1 мин. каждые 10 мин.
- В любых режимах 180% в течение 2 сек. каждые 60 сек.

Охлаждение ACS800:

- Встроенный вентилятор охлаждения

Порты связи ACS800:

- Промышленные интерфейсы (опция)

Выходная частоты и частота коммутации ACS800:

- Максимальная выходная частота – 300 Гц

Входы\выходы управления ACS800:

- Количество программируемых дискретных входов - 6
- Количество аналоговых входов – 3 (ток или напряжение)
- Количество аналоговых выходов - 2 (0(4) - 20 мА)
- Количество встроенных реле -3

Температура окружающей среды ACS800:

- Работа: -15/+50 °С (выше +40 °С со снижением мощности)
- Хранение: -40/+70 °С

Доступные опции для ACS800:

- Комплекты для удаленного монтажа панели управления
- Входные дроссели
- Выходные дроссели
- Тормозные резисторы
- Фильтры ЭМС

						13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			71

- Синусные фильтры

- Фильтры du/dt

Промышленные интерфейсы:

- Profibus DP

- CANopen

- DeviceNet

- Modbus RTU

- Ethernet

- ControlNet

- InterBUS-S

- LonWorks

Модули расширения:

- Модуль расширения аналоговых входов выходов RAIO-01 (+L500) - 2

аналоговых входа: гальванически

развязаны от источника питания 24 В и от земли $\pm 0(2)...10$ В, $0(4)...20$ мА или $\pm 0...2$ В, разрешение 12 бит

- Модуль расширения цифровых входов/выходов RDIO-01 (+L501) - 3 цифровых входа: каждый с индивидуальной

гальванической развязкой. Уровень сигнала от 24 до 250 В= или 115/230 В~, 2 релейных (цифровых) выхода:

переключающий контакт 24 В или 115/230 В~, максимальный коммутируемый ток 2 А

- Интерфейсный модуль импульсного энкодера RTAC-01 (+L502) - 1 вход инкрементного энкодера: Каналы А, В и

Z (нулевой импульс). Уровень сигнала и напряжение питания для энкодера составляют 24 или 15 В.

Однопроводные или дифференциальные входы. Максимальная входная частота 200 кГц

Программное обеспечение:

- DriveAP – это компьютерная программа, предназначенная для создания, документирования, редактирования и

загрузки адаптивных программ и программ многоблочного программирования

- DriveSize – это компьютерная программа, помогающая пользователю производить оптимальный подбор двигателя, привода и силового трансформатора, особенно в тех случаях, когда непосредственный выбор из каталога невозможен

- Дополнительное прикладное программное обеспечение для различных применений: центрифуга, кран, экструдер, ведущий-ведомый, намотка

- DriveWindow – это разработанная компанией АББ современная и удобная в использовании компьютерная программа для наладки и технического обслуживания промышленных приводов АББ

- DriveWindow Light 2 – это удобная в использовании программа для наладки и технического обслуживания приводов ACS800. Она поддерживает следующие программные средства: стандартную прикладную программу,

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

<p>Регулирование крутящего момента</p> <p>Разомкнутый контур</p> <p>Замкнутый контур</p> <p>Разомкнутый контур</p> <p>Замкнутый контур</p>	<p>Время нарастания крутящего момента:</p> <p><5 мс при номинальном крутящем моменте</p> <p><5 мс при номинальном крутящем моменте</p> <p>Нелинейность:</p> <p>± 4% при номинальном крутящем моменте</p> <p>± 3% при номинальном крутящем моменте</p>
---	---

Продолжение таблицы

<p>Регулирование скорости</p> <p>Разомкнутый контур</p> <p>Замкнутый контур</p> <p>Разомкнутый контур</p> <p>Замкнутый контур:</p>	<p>Статическая погрешность:</p> <p>10% от скольжения ротора асинхронного двигателя</p> <p>0,01% относительно номинальной скорости вращения</p> <p>Динамическая погрешность:</p> <p>от 0,3 до 0,4% с при 100% приращении крутящего момента</p> <p>от 0,1 до 0,4% с при 100% приращении крутящего момента</p>
---	---

Предельные условия окружающей среды

<p>Температура окружающей среды:</p> <p>Транспортировка</p> <p>Хранение</p> <p>Эксплуатация</p> <p>Воздушное охлаждение</p> <p>Жидкостное охлаждение</p>	<p>от -40 до +70 °С</p> <p>от -40 до +70 °С</p> <p>от 0 до +50 °С, образование инея не допускается</p> <p>от +40 до +50 °С при пониженном выходном токе (1%/ -1 °С)</p> <p>от 0 до +55 °С, образование инея не допускается от +45 до +55 °С при пониженном выходном токе (0,5%/1 °С)</p>
<p>Способ охлаждения</p> <p>Воздушное охлаждение</p> <p>Жидкостное охлаждение</p>	<p>Сухой чистый воздух</p> <p>Прямое жидкостное охлаждение</p> <p>Температура воды на входе при использовании блока охлаждения жидкости (поставляется дополнительно): Макс. +45 °С, контур пользователя, пресная или морская</p>

	вода от +38 °С до +45 °С при пониженном выходном токе 1%/1 °С Температура воды на входе без блока охлаждения жидкости: Макс. +48 °С, контур преобразователя, пресная вода от +42 °С до +48 °С при пониженном выходном токе 1%/1 °С
Высота над уровнем моря от 0 до 1000 м от 1000 до 4000 м	Без снижения характеристик Со снижением характеристик ~ (1%/100 м) (Блоки 690 В от 1000 до 2000 м со снижением характеристик

2.7.2. Выбор инверторов

Инверторы имеют встроенные конденсаторы для сглаживания напряжения шины постоянного тока. Электрическое соединение с общей шиной постоянного тока защищено плавкими предохранителями. Однако для отключения инвертора может устанавливаться дополнительный выключатель с предохранителями и устройством заряда конденсаторов. Каждый инвертор содержит блок управления (DCU), в состав которого входят плата удалённого управления двигателем (RMIO) и дополнительные модули входов/выходов. Аналоговые и цифровые модули расширения каналов ввода/ вывода выполняют различные функции управления, контроля и измерения параметров. Также предусмотрено использование отдельного интерфейсного модуля импульсного энкодера двигателя. Другие дополнительные средства включают защиту от несанкционированного запуска привода для безопасной блокировки системы.

Инвертор подъема

Таблица –характеристика инвертора подъема

Номинальные характеристики		Работа без перегрузки	Работа с небольшой перегрузкой		Работа в тяжелом режиме		Рассеиваемая мощность	Обозначение типа	Типоразмер
I cont. max А (перем. ток)	I max А	Pcont. max кВт	I N А	PN кВт	Phd кВт	I N А	кВт		
370	506	200	355	200	277	132	3,7	ACS800-107-0260-3	R8i
Габариты									
Типоразмер	Высота	Ширина	Ширина при верхнем кабельном вводе	Глубина	Вес	Уровень шума	Уровень шума	Расход воздуха	

R8i	2130	400	700	644	320	72	60	1280
-----	------	-----	-----	-----	-----	----	----	------

Инвертор напора

Таблица –характеристика инвертора напора

Номинальные характеристики		Работа без перегрузки	Работа с небольшой перегрузкой		Работа в тяжелом режиме		Рассеиваемая мощность	Обозначение типа	Типоразмер
I cont. max А (перем. ток)	I max А	Pcont. max кВт	I N А	PN кВт	Phd кВт	I N А	кВт		
147	220	75	141	75	110	55	1,4	ACS800-107-0105-3	R7i

Продолжение таблицы

Габариты								
Типоразмер	Высота	Ширина	Ширина при верхнем кабельном вводе	Глубина	Вес	Уровень шума	Уровень шума	Расход воздуха
R7i	2130	400	600	644	200	72		800

Инвертор -хода

Таблица –характеристика инвертора хода

Номинальные характеристики		Работа без перегрузки	Работа с небольшой перегрузкой		Работа в тяжелом режиме		Рассеиваемая мощность	Обозначение типа	Типоразмер
I cont. max А (перем. ток)	I max А	Pcont. max кВт	I N А	PN кВт	Phd кВт	I N А	кВт		
147	220	75	141	75	110	55	1,4	ACS800-107-0105-3	R7i

Габариты

Типоразмер	Высота	Ширина	Ширина при верхнем кабельном вводе	Глубина	Вес	Уровень шума	Уровень шума	Расход воздуха
R7i	2130	400	600	644	200	72		800

Инвертор поворот

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ				Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					76

Таблица–характеристика инвертора поворота

Номинальные характеристики		Работа без перегрузки	Работа с небольшой перегрузкой		Работа в тяжелом режиме		Рассеиваемая мощность	Обозначение типа	Типоразмер
I cont. max А (перем. ток)	I max А	Pcont. max кВт	I N А	PN кВт	Phd кВт	I N А	кВт		
147	220	75	141	75	110	55	1,4	ACS800-107-0105-3	R7i

Продолжение таблицы

Габариты								
Типоразмер	Высота	Ширина	Ширина при верхнем кабельном вводе	Глубина	Вес	Уровень шума	Уровень шума	Расход воздуха
R7i	2130	400	600	644	200	72		800

Инвертор открывание крышка ковша

Номинальные характеристики		Работа без перегрузки	Работа с небольшой перегрузкой		Работа в тяжелом режиме		Рассеиваемая мощность	Обозначение типа	Типоразмер
I cont. max А (перем. ток)	I max А	Pcont. max кВт	I N А	PN кВт	Phd кВт	I N А	кВт		
10,9	13,8	4	10,2	4	7,5	3	0,1	ACS800-107-0006-3	R2i
Габариты									
Типоразмер	Высота	Ширина	Ширина при верхнем кабельном вводе	Глубина	Вес	Уровень шума	Уровень шума	Расход воздуха	
R2i	21301	4002		644	180	62	-	35	

$$U_{2\text{НФ}} > U_{2\text{Ф. расч}};$$

где: $U_{2\text{Ф. расч}}$ - вторичное фазное расчетное напряжение трансформатора;
номинальный вторичный фазный ток трансформатора:

$$I_{2\text{ФН}} > I_{2\text{Ф. расч}};$$

где: $I_{2\text{Ф. расч}}$ - расчетный вторичный фазный ток трансформатора;
Вторичное фазное расчетное напряжение трансформатора:

$$U_{2\text{Ф. расч}} = 0,98 \cdot E_{2\text{Ф}};$$

где: $E_{2\text{Ф}}$ - вторичная фазная ЭДС трансформатора;

$$E_{2\text{Ф}} = K_u / E_{d0};$$

где: $K_u = 1/2,34$ - коэффициент зависящий от схемы выпрямления, в данном случае для трехфазной мостовой схемы;

E_{d0} - ЭДС на выходе преобразователя;

Э.Д.С. на выходе преобразователя:

$$E_{d0} = K_C \cdot K_d \cdot K_{\text{П}} \cdot U_d;$$

где: $K_C = 1,05/1,1$ - коэффициент, учитывающий возможные скачки напряжения питающей сети на $5 \div 10\%$;

$K_d = 1/1,15$ - коэффициент, учитывающий неполное открывание тиристорov при максимальном управляющем сигнале;

$K_{\text{П}} = 1,05$ - коэффициент, учитывающий падение напряжения в преобразователе;

U_d - требуемое выпрямленное напряжение, соответствующее номинальному напряжению питания эквивалентного двигателя;

$$E_{2\text{Ф. расч}} = \frac{1}{2,34} \cdot 1168,86 = 499,5$$

$$E_{d0} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,05 \cdot 920 = 1168,86 \text{ В};$$

$$U_{2\text{Ф. расч}} = 0,98 / 499,5 = 489,5 \text{ В};$$

$$I_{2\text{Ф. расч}} = K_{I2} \cdot I_d;$$

где: $K_{I2} = 0,815$ - коэффициент зависящий от схемы выпрямления, в данном случае для трехфазной мостовой схемы;

I_d - номинальный выпрямленный ток, соответствующий номинальному току якоря эквивалентного двигателя;

$$I_{2\text{Ф. расч}} = 0,815 \cdot 1250 = 1018,75 \text{ А};$$

Требуемая мощность трансформатора:

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

$$S_{TP} = K_S * P_d;$$

где: $K_S = 1,045$ - коэффициент зависящий от схемы выпрямления, в данном случае для трехфазной мостовой схемы;

P_d - требуемая выпрямленная мощность;

$$P_d = U_{н. дв} * I_{н. дв} = 920 * 1250 = 1150 \text{ кВт};$$

$$S_{TP} = 1,045 * 1150 = 1207,5 \text{ кВА};$$

Исходя из полученных данных выбираем трансформатор трансформаторы трехфазные сухие, переключаемые без возбуждения, класса напряжения 6 кв с классом нагревостойкости изоляции "Н" для экскаваторов : ТСЗЭ-1600/6-УХЛ1

Схема соединения обмоток трансформатора:	т/з-11;
Мощность: $S_T =$	1600 кВА;
Напряжение сетевой обмотки: $U_{1H} =$	6 кВ;
Напряжение вентильной обмотки: $U_{2H} =$	1050В;
Ток вентильной обмотки: $I_{2H} =$	1600 А;
Потери в режиме холостого хода: $P_{XX} =$	13500 Вт;
Потери в режиме короткого замыкания: $P_{КЗ} =$	34000 Вт;
Напряжение короткого замыкания: $i_{КЗ}\% =$	6 %;
Ток холостого хода: $I_{XX}\% =$	1,1 %.

3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

3.1. Построение системы автоматического управления моментом асинхронного привода (DTC)

В основу DTC момента асинхронного двигателя АД положены следующие положения:

- система регулирования момента выполнена двухканальной, в качестве независимых параллельных каналов приняты каналы регулирования потокосцепления ϕ и момента M . Желаемые значения модуля фзدد и Мзدد подаются на два входа системы регулирования момента или как внешние сигналы задания (при исследовании электропривода в режиме источника момента), или с выходов регуляторов внешних контуров регулирования (при исследовании электропривода в режиме источника скорости);

- так как датчиков прямого измерения потокосцепления ϕ и электромагнитного момента M нет, то используют их оценки - вычисленные косвенно через измеряемые (наблюдаемые) переменные (фазные токи i_A, i_B, i_C и напряжения u_A, u_B, u_C) мгновенные значения потокосцепления и момента, полученные как результат решения уравнений состояния асинхронного двигателя. Эти уравнения помещены в отдельный вычислительный блок программы работы системы управления, обычно именуемый «Модель асинхронного двигателя АД»;

- обратные связи, как правило, выполняются по оценкам регулируемых переменных, а не по сигналам датчиков, непосредственно измеряющих эти переменные. В исследуемом электроприводе - это оценки потокосцепления (обозначено « ϕ ») и момента (обозначено « $Я$ »);

- в качестве управляющей переменной, непосредственно воздействующей на двигатель, принят пространственный вектор потокосцепления, текущее состояние которого однозначно определяется двумя переменными: амплитудой вектора ϕ и его углом поворота α . Напомним, что пространственным вектором ϕ

обозначена волна магнитного потока синусоидальной формы, которая «бежит» вдоль окружности внутренней расточки статора и может изменяться по амплитуде и скорости перемещения;

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

- регуляторы потокосцепления и момента (точнее - оценок этих переменных) выполнены релейного типа. Регулятор потокосцепления выполняется двухпозиционным, регулятор момента - двух- или трехпозиционным. В статической характеристике регуляторов имеется петля гистерезиса, это позволяет добиться выполнения условий абсолютной устойчивости контуров регулирования. Напомним, что условие абсолютной устойчивости нелинейной системы регулирования допускает существование установившихся колебаний, но не более заданного значения

Так как релейный регулятор имеет лишь два (или три) фиксированных состояния выходного сигнала, то система управления резко упрощается;

- известно, что качество замкнутой системы регулирования определяется точностью датчиков обратных связей и быстродействием контура. В таком случае вполне оправдан дискретный характер изменения выходной переменной релейного регулятора потокосцепления, воздействующего на амплитуду вектора ψ . По этой же причине принят и дискретный характер выходного сигнала регулятора момента, воздействующего на угол поворота вектора ψ : поворот вектора ψ по ходу движения принимается за положительный момент, против хода - за отрицательный.

В силу тех же обстоятельств нет необходимости точно определять угловое положение вектора ψ в текущий момент времени. Поэтому принято угловое положение вектора ψ вычислять с точностью до сектора 60° , т.е. при полном (электрическом) обороте вектора ψ получается шесть фиксированных приближенных ответов угла поворота α . Так как в схеме число возможных сочетаний выходных сигналов регуляторов равно шести (два в регуляторе потокосцепления и три в регуляторе момента), а число возможных фиксированных приближенных текущих угловых положений вектора ψ тоже шести, то возможное число дискретных управляющих сигналов равно 36, что для современной вычислительной техники является очень несложной задачей.

В основу работы системы ДТС положено уравнение электромагнитного момента асинхронного двигателя:

$$m = \frac{3}{2} z_p \frac{k_1 k_2}{\sigma L_m} |\Psi_1 \times \Psi_2| = \frac{3}{2} z_p \frac{k_1 k_2}{\sigma L_m} \Psi_{1m} \times \Psi_{2m} \sin \vartheta$$

где ϑ – пространственный угол между векторами потокосцеплений статора ψ_1 и ротора ψ_2 . Если модули векторов $|\psi_1| = \psi_{1m}$ и $|\psi_2| = \psi_{2m}$ поддерживать постоянными, то величиной момента можно управлять, изменяя угол ϑ . Алгоритм работы системы ДТС строится следующим образом.

Определяются вектор потокосцепления статора ψ_1

										Лист
										82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Потокосцепление статора

$$\Psi_S = \frac{X_m}{\Omega_{S,ном}} I_{SX,ном} = \Psi_{TN} = \frac{3,5}{314} 55.27,4 = 0,802B \cdot c.$$

Базисное потокосцепление статора (ротора):

$$\Psi_{SB} = \Psi_{RB} = \frac{U_{SB}}{\Omega_B} = \frac{271}{314} = 0,863Bб$$

Базисное полное сопротивление :

$$Z_B = \frac{U_B}{I_B} = \frac{271}{188} = 1,44 \text{ Ом}$$

Базисная индуктивность статора (ротора):

$$L_{SB} = L_{RB} \frac{\Psi_{SB}}{I_{SB}} = \frac{0,863}{314} = 0,00274 \text{ Гн}$$

При питании АД от инвертора напряжения в зависимости от состояния ключей возможно формирование восьми пространственных векторов $U^{(0)} \dots U^{(7)}$ (рис. 1 а), называемых базовыми. Так же эти векторы $U^{(0)}$ и $U^{(7)}$ являются нулевыми и соответствуют короткому замыканию обмоток статора чётными или нечётными ключами

Из уравнения статора АД в неподвижной системе координат можно определить связь между векторами напряжения и потокосцепления

$$u_1 = r_1 i_1 + \frac{d\Psi_1}{dt} \Rightarrow \int (u_1 - r_1 i_1) dt$$

Полагая $r_1 \approx 0$ и переходя к конечным разностям, получим

$$\Delta\Psi_1 \approx u_1 \times \Delta_t$$

Таким образом, вектор приращения потокосцепления статора $\Delta\Psi_1$ совпадает по направлению с вектором напряжения u_1 и пропорционален длительности его формирования. Для интервала времени, в котором формируется k -й базовый вектор можно записать

$$\Psi_1 = \Psi_{10} + \Delta \Psi_1^{(k)} = \Psi_{10} + u^{(k)} \times \Delta_t^{(k)}$$

где Ψ_1 и Ψ_{10} – начальное и конечное значения вектора потокосцепления статора рисунок 3.1.1

б) показано изменение состояния этого вектора для случая формирования инвертором базового вектора $u^{(2)}$. Конечные положения вектора Ψ_1 для общего

случая формирования любых ненулевых базовых векторов, очевидно, соответствуют вершинам правильного шестиугольника, образованного векторами приращений $\Delta_{\Psi_1}^{(k)}$, с центром в конце вектора начального значения Ψ_{10} рисунок 3.1.1б).

В АД электромагнитная постоянная времени ротора T_2 в 1,5...2,5 раза больше постоянной времени статора T_1 Поэтому, если длительность межкоммутационного интервала

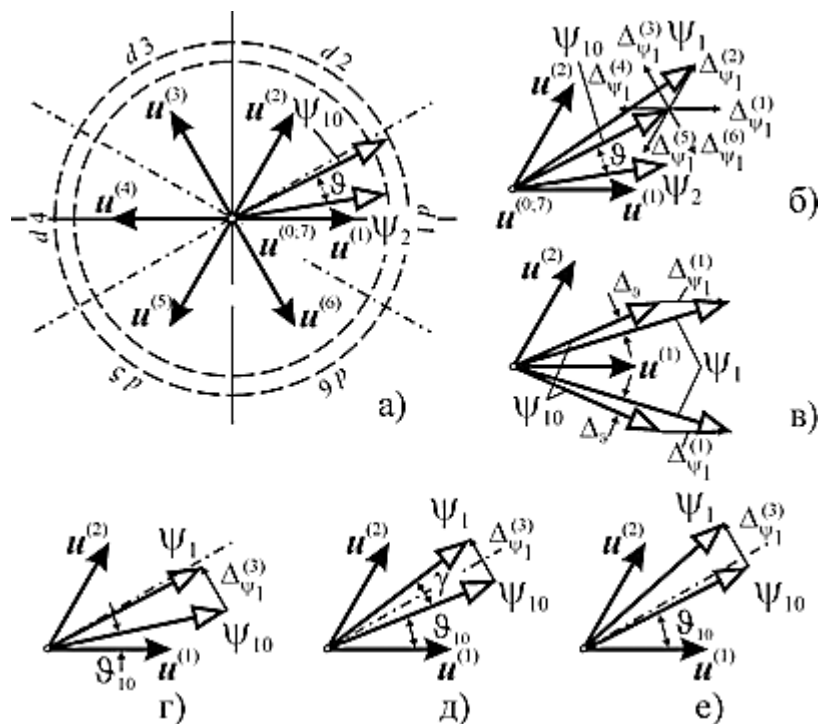


Рисунок 3.1.1

$\Delta_t \ll T_1 < T_2$ то при качественном анализе можно считать, что потокосцепление ротора Ψ_2 после коммутации ключей инвертора остается практически постоянным, а изменяется только Ψ_1 . Следовательно, выбор базового вектора, формируемого инвертором, определяет не только изменение модуля потокосцепления статора, но и угла между векторами Ψ_1 и Ψ_2 , т.е. при вращение электромагнитного момента $\Delta_m \sim \Delta_\vartheta$. На примере состояния векторов, показанного на рис. 1, можно проследить влияние этого выбора.

Пусть в некоторый момент времени векторы Ψ_1 и Ψ_2 и находятся в положении а) и угол между ними равен ϑ . Если теперь замкнуть статор накоротко, формируя один из нулевых базовых векторов $u^{(0)}$ или $u^{(7)}$, то

$$\Delta_{\Psi_1}^{(0)} = \Delta_{\Psi_1}^{(7)} = 0 \Rightarrow \Psi_1 = \Psi_{10}; \vartheta = const; m = const,$$

т.е. векторы потокосцеплений статора и ротора сохраняют свои значения и электромагнитный момент не изменится. Выбор одного из двух нулевых векторов производится из условия минимального числа коммутаций ключей при переходе к новому состоянию. В случае формирования базового вектора $u^{(2)}$

3.2 Моделирование процессов в частотно-регулируемом электроприводе

3.3.1. Постановка задачи

Целью является построение следующих математических моделей:

Модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода для уточнения оценки динамических характеристик привода. Модель должна включать следующие основные элементы:

Модель работы системы DTC электромагнитного момента асинхронного двигателя: Модель асинхронного двигателя 4МТНФ-400L8У1

3.3.2. Краткое описание приложения Simulink пакета MATLAB

Можно по разному реализовать моделирование динамических процессов, в математическом описании которых присутствуют дифференциальные уравнения, например, с помощью обычных языков программирования (Си, Паскаль, и т.д.) написать программу, в которой будет заложен определенный способ интегрирования (Рунге-Кутта, Эйлера, Адамса и т.д.), но при большом количестве уравнений и переменных, входящих в модель, эта задача представляет определенные трудности. Для моделирования динамических процессов лучше всего подходит язык технических вычислений MATLAB и его приложение Simulink. В Simulink заложены алгоритмы интегрирования, т.е. разработчику не нужно создавать программу для решения дифференциальных уравнений. Simulink позволяет представить модель в виде отдельных блоков, что облегчает осуществление контроля за переменными и программированием модели. Simulink является объектно-ориентированным языком, т.е. позволяет без труда использовать созданную модель в составе других моделей. Начиная с шестой версии, MATLAB позволяет создавать удобный графический интерфейс для программного обеспечения, а также без потери скорости, по сравнению с другими языками программирования, производить моделирование процессов.

Благодаря обширному набору оптимизированных математических алгоритмов, встроенных в MATLAB, разработчик может сконцентрироваться

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

на принципиальных аспектах, а не терять время на поиск, разработку и отладку известных алгоритмов.

Исходя из вышеперечисленного MATLAB и его приложение Simulink являются наиболее целесообразным выбором для реализации поставленной задачи.

Simulink

Пакет Simulink является ядром интерактивного программного комплекса, предназначенного для математического моделирования линейных и нелинейных динамических систем и устройств, представленных своей функциональной блок-схемой, именуемой S-моделью, или просто моделью. При этом возможны различные варианты моделирования: во временной области, в частотной области, с событийным управлением, на основе спектральных преобразований Фурье, с использованием метода Монте-Карло (реакция на воздействие случайного характера) и т.д.

Для построения функциональной блок-схемы моделируемых устройств Simulink имеет обширную библиотеку блочных компонентов и удобный редактор блок-схем. Он основан на графическом интерфейсе пользователя и по существу является типичным средством визуально-ориентированного программирования. Используя палитры компонентов (наборы) пользователь с помощью мыши переносит нужные блоки с палитр на рабочий стол пакета Simulink и соединяет линиями входы и выходы блоков. Таким образом, создается блок-схема системы или устройства, т.е. модель.

Simulink автоматизирует следующий, наиболее трудоемкий этап моделирования; он составляет и решает сложные системы алгебраических и дифференциальных уравнений, описывающих заданную функциональную схему (модель) обеспечивая удобный и наглядный визуальный контроль за поведением созданного пользователем виртуального устройства. Вам достаточно уточнить (если нужно) вид анализа и запустить Simulink в режиме симуляции (откуда и название пакета - Simulink) созданной модели системы или устройства. В дальнейшем мы будем использовать термин «моделирование».

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

Средства визуализации результатов моделирования в пакете Simulink настолько наглядны, что порой создается ощущение, что созданная в виде блок-схемы модель работает «как живая». Более того, Simulink практически мгновенно меняет математическое описание модели по мере ввода ее новых блоков, даже в том случае, когда этот процесс сопровождается сменой порядка системы уравнений и ведет к существенному качественному изменению поведения системы. Впрочем, это является одной из главных целей пакета Simulink.

Ценность Simulink заключается и в обширной, открытой для изучения и модификации библиотеке компонентов (блоков). Она включает источники сигналов с практически любыми временными зависимостями, масштабирующие, линейные и нелинейные преобразователи с разнообразными формами передаточных характеристик, квантующее устройство, интегрирующие и дифференцирующие блоки т.д..

В библиотеке имеется целый набор виртуальных регистрирующих устройств от простых измерителей типа вольтметра или амперметра до универсальных осциллографов, позволяющих просматривать временные зависимости выходных параметров моделируемых систем - например, токов и напряжений, перемещений, давлений и т.п.

Однако для эффективного применения таких средств необходимы высокоскоростные решающие устройства. Интеграция одной из самых быстрых матричных математических систем - MATLAB 7,0 - с пакетом Simulink открывает новые возможности использования самых современных математических методов для решения задач динамического и ситуационного моделирования сложных систем и устройств.

Средства графической анимации Simulink позволяют строить виртуальные физические лаборатории с наглядным представлением результатов моделирования. Возможности Simulink охватывают задачи математического моделирования сложных динамических систем в физике, электро - и радиотехнике, в биологии и химии - словом во всех областях науки и техники.

										Лист
										90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ					

Этим объясняется популярность данного пакета как в университетах и институтах, так и в научных лабораториях.

И, наконец, важным достоинством пакета является возможность задания в блоках произвольных математических выражений, что позволяет решать типовые задачи, пользуясь примерами пакета Simulink или же просто задавая новые выражения, описывающие работу моделируемых пользователем систем и устройств. Важным свойством пакета является и возможность задания системных функций (S-функций) с включением в состав библиотек Simulink. Необходимо отметить также возможность моделирования устройств и систем в реальном масштабе времени.

Как программное средство Simulink - типичный представитель визуально-ориентированного языка программирования. На всех этапах работы, особенно при подготовке моделей систем, пользователь практически не имеет дела с обычным программированием. Программа автоматически генерирует в процессе ввода выбранных блоков компонентов, их соединений и задания параметров компонентов.

Важное достоинство Simulink - это интеграция не только с системой MATLAB, но и с рядом других пакетов расширения, что обеспечивает по существу, неограниченные возможности применения Simulink для решения практически любых задач имитационного и событийного моделирования.

3.3. Моделирование частотно-регулируемого электропривода

Системы с прямым управлением момента (Direct Torque Control - DTC) асинхронного двигателя обладают рядом преимуществ, например, они малочувствительны к изменению параметров асинхронного двигателя, обеспечивая при этом высокое быстродействие и астатическое регулирование момента на низких частотах вращения, включая нулевую скорость. Однако, системам присущ существенный недостаток - большие флуктуации момента. Несмотря на простоту классической системы с DTC и гистерезисными регуляторами потокосцепления и момента, получить аналитические выражения

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

для этой величины достаточно сложно, что связано с нелинейностью системы, ее нестационарностью, влиянием случайного момента фиксации измеряемых координат

В основу работы системы DTC легло уравнение электромагнитного момента асинхронного двигателя: потокосцеплений статора и ротора

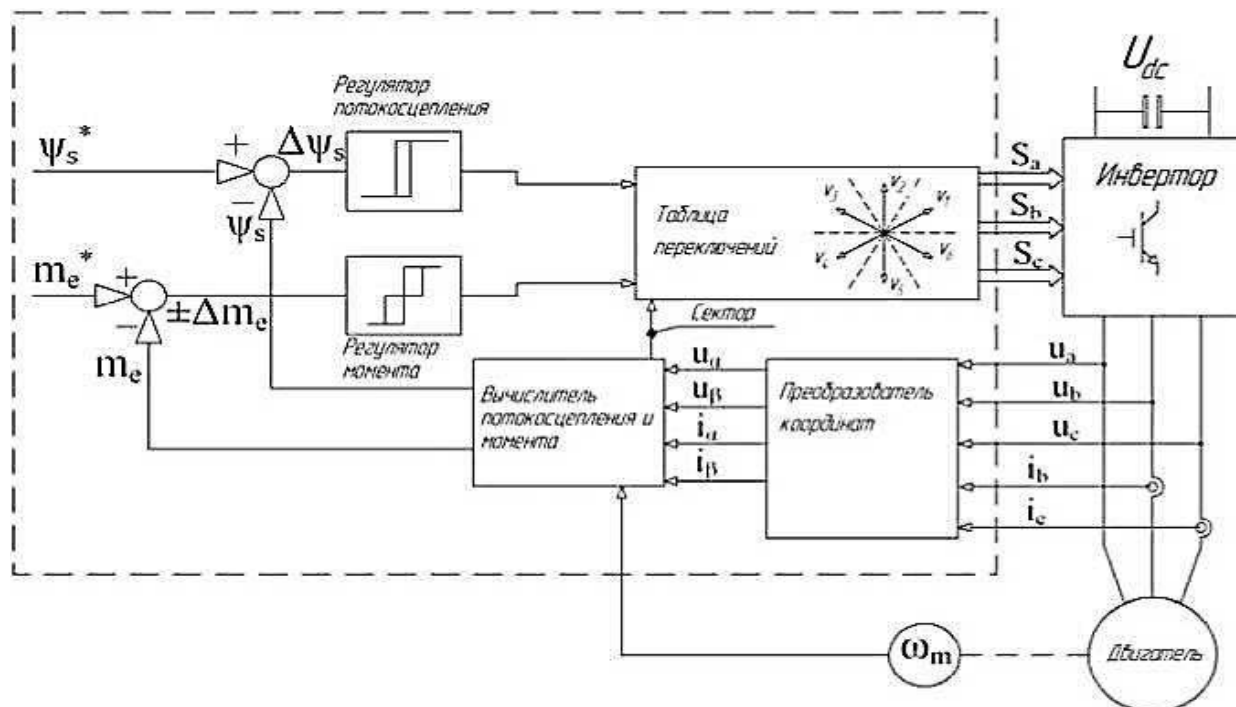
Функциональная схема классической системы DTC с гистерезисными

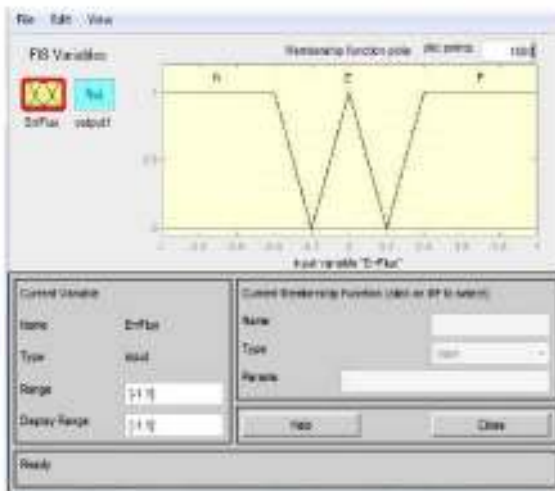
где $k_1 = \frac{L_m}{L_s}$ - коэффициент электромагнитной связи статора; $k_2 = \frac{L_m}{L_r}$ -

коэффициент электромагнитной связи ротора; z_p - число пар полюсов;

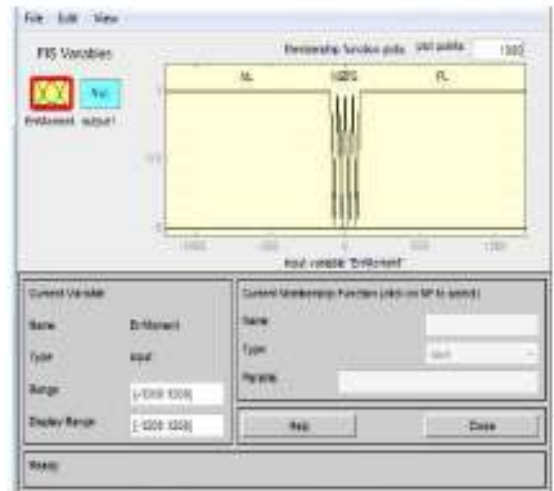
$\sigma = 1 - k_1 k_2$ - коэффициент рассеяния; L_w - индуктивность обмотки статора от основного магнитного потока; Ψ_s, Ψ_r - потокосцепления статора и ротора;

$\Psi_{sm} = |\Psi_s|$; $\Psi_{rm} = |\Psi_r|$; θ - пространственный угол между векторами регуляторами потокосцепления и момента представлена на рис.





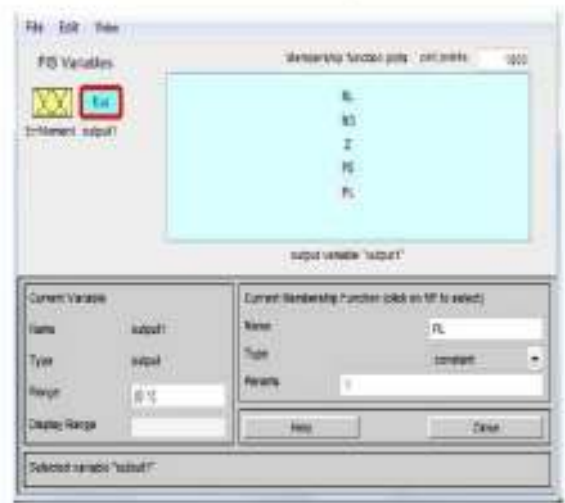
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. - Функции принадлежности входной переменной и выходные переменные регулятора: а) «ErrFlux» (ошибка по потокосцеплению); б) «ErrMoment» (ошибка по моменту); в) выходные переменные потокосцепления; г) выходные переменные момента Сформированная база правил регулятора потокосцепления представлена на рис. 4, а. База правил регулятора момента представлена на рис. 4, б.

При агрегировании подусловий в нечетких правилах продукций применялась операция min-конъюнкции. Те правила, степень истинности

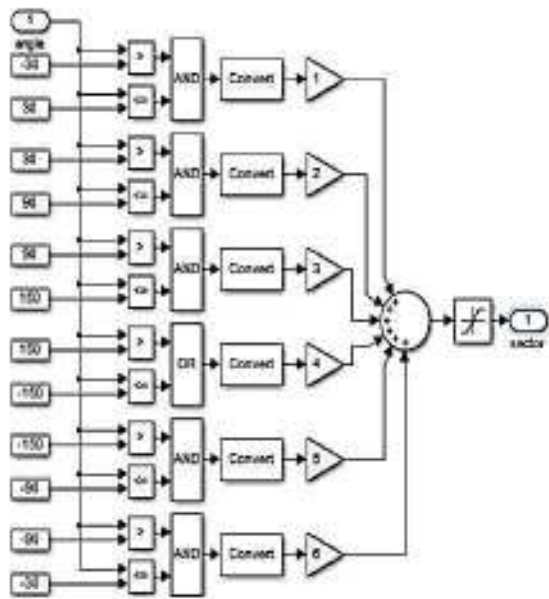
где y - результат дефаззификации, n - общее количество активных правил нечетких продукций [9-10].

Для исключения неоднозначности влияния выбранного базового вектора на потокосцепление статора и момент асинхронного двигателя плоскость базовых векторов разделена на секторы ошибок. В системе с DTC и гистерезисными регуляторами все пространство состояний инвертора разделяется на 6 секторов, каждый протяженностью 60° (рис. 5, а), а в системе с нечеткими регуляторами - на 12 секторов, каждый протяженностью 30° (рис.5, б).

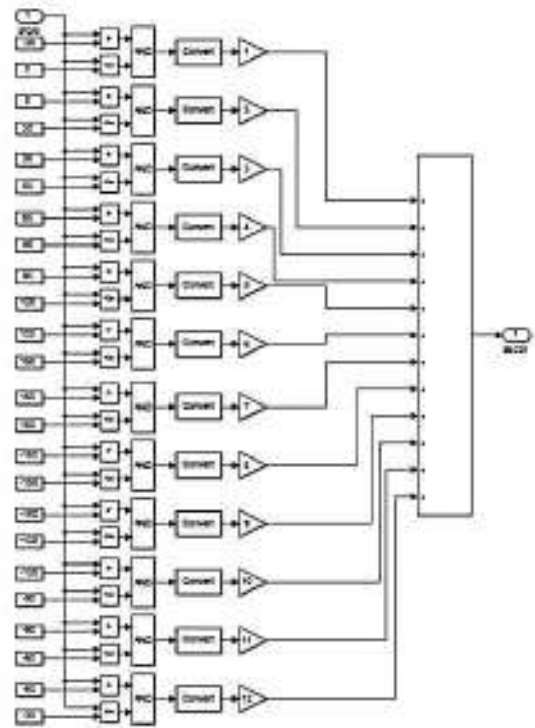
Выходные значения нечетких регуляторов ошибок по моменту, потокосцеплению и текущее значение сектора поступают в таблицу переключений (рис. 5, в).

Эти величины формируют номер требуемого вектора напряжения статора (рис. 5, г)

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ				



а)

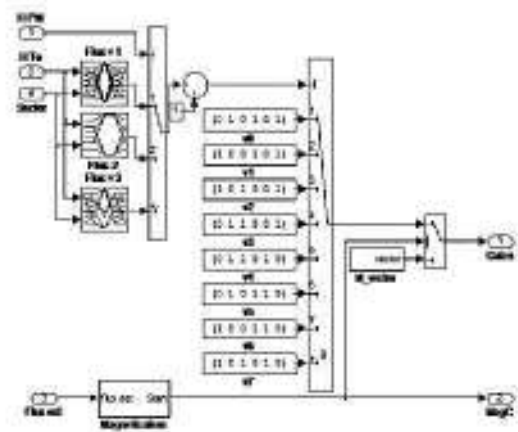


б)

Viewing "2-D Lookup Table" block data [T(,0)]

Breakpoints	C...	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Row		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(1)	1	2	3	3	4	4	5	5	6	6	1	1	2
(2)	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	1	1
(3)	3	0	7	7	8	0	7	7	0	0	7	7	0
(4)	4	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6
(5)	5	6	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6

в)



г)

Рис. 5. - Определитель фазового сектора и формирователь комбинации ключей переключения инвертора: а) с гистерезисными регуляторами; б) с нечеткими регуляторами; в) комбинации ключей векторов); г) таблица переключений

Результаты моделирования систем с гистерезисными регуляторами и с нечеткими регуляторами (рис. б) показывают, что в системе с нечетким регулированием флуктуации момента значительно снизились.

3.4 Моделирование асинхронного двигателя.

При описании базисных величин найдем численные значения для двигателя 4МТНФ-400L8У1 Система относительных единиц имеет вид:

Основные базисные величины:

Базисная угловая частота:

$$\Omega_B = 2\pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ 1/с.}$$

Базисное значение момента:

$$M_B = M_N = 731 \text{ Нм.}$$

Базисное значение мощности равно значению электромагнитной мощности в зазоре:

$$P_B = \frac{M_B \cdot \Omega_B}{p_n} = \frac{731 \cdot 314}{3} = 76511 \text{ Вт.}$$

где p_n — число пар полюсов двигателя.

Базисная механическая частота вращения ротора:

$$\omega_B = \frac{\Omega_B}{p_n} = \frac{314}{3} = 104,6 \text{ рад/с.}$$

Базисные величины для цепей ротора и статора.

Базисное значение тока статора (ротора):

$$I_{SB} = I_{RB} = \sqrt{2} \cdot I_H = 133 \cdot \sqrt{2} = 188 \text{ А}$$

Величина тока статора по оси ОХ в номинальном режиме

$$I_{SX.ном} = \frac{\sqrt{2} I_{S.ном}}{\sqrt{1 + (X_m + X_{r\sigma})^2 \left(\frac{\Delta\Omega_{ном}}{R_r \Omega_{S.ном}} \right)^2}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 133}{\sqrt{1 + (3,5 + 0,12)^2 \left(\frac{5,36}{0,019 \cdot 314} \right)^2}} = 55,27 \text{ А.}$$

Величина тока статора по оси ОУ в номинальном режиме

$$I_{SY.ном} = \frac{X_m + X_{r\sigma}}{R_r} \cdot \frac{\Delta\Omega_{ном}}{\Omega_{S.ном}} I_{SX.ном} = \frac{(3,5 + 0,12) \cdot 5,36}{0,019 \cdot 314} 55,27 = 179,75 \text{ А.}$$

Базисное значение напряжения статора (ротора):

$$U_{SB} = U_{RB} = \frac{2}{m} \cdot \frac{M_B \Omega_B}{p I_{SB}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{731 \cdot 314}{3 \cdot 188} = 271 \text{ В, где}$$

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

m-число фаз.

Потокосцепление статора

$$\Psi_s = \frac{X_m}{\Omega_{S,ном}} I_{SX,ном} = \Psi_{TN} = \frac{3,5}{314} 55.27,4 = 0,802 В \cdot с.$$

Базисное потокосцепление статора (ротора):

$$\Psi_{SB} = \Psi_{RB} = \frac{U_{SB}}{\Omega_B} = \frac{271}{314} = 0,863 Вб$$

Базисное полное сопротивление :

$$Z_B = \frac{U_B}{I_B} = \frac{271}{188} = 1,44 \text{ Ом}$$

Базисная индуктивность статора (ротора):

$$L_{SB} = L_{RB} \frac{\Psi_{SB}}{I_{SB}} = \frac{0,863}{314} = 0,00274 Гн$$

После перехода к относительным единицам система уравнений асинхронной машины принимает вид (все величины в относительных единицах кроме времени):

Уравнение статорных цепей:

$$u_{sx} = r_s \cdot i_{sx} + T_B p \cdot \psi_{sx} - \omega_k \cdot \psi_{sy};$$

$$u_{sy} = r_s \cdot i_{sy} + T_B p \cdot \psi_{sy} - \omega_k \cdot \psi_{sx};$$

Уравнения роторных цепей:

$$0 = T_B p \cdot \psi_{rx} - (\omega_k - \omega) \cdot \psi_{ry} + r_r \cdot i_{rx}$$

$$0 = T_B p \cdot \psi_{ry} - (\omega_k - \omega) \cdot \psi_{rx} + r_r \cdot i_{ry}$$

где T_B - базисная постоянная времени определяется как:

$$T_B = \frac{1}{\Omega_B} = \frac{1}{314} = 0,0032 \text{ с.}$$

Уравнения связи остаются без изменения:

$$\psi_{sx} = L_s \cdot i_{sx} + L_m \cdot i_{rx}$$

$$\psi_{sy} = L_s \cdot i_{sy} + L_m \cdot i_{ry}$$

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\psi_{rx} = L_r \cdot i_{rx} + L_m \cdot i_{sx}$$

$$\psi_{ry} = L_r \cdot i_{ry} + L_m \cdot i_{sy}$$

Уравнение момента:

$$m = k_r \cdot (i_{sy} \cdot \psi_{rx} - i_{sx} \cdot \psi_{ry})$$

где k_r - коэффициент связи ротора определяется как:

$$k_r = \frac{l_m}{l_r}$$

Уравнение движения для одномассовой системы:

$$m - m_c = T_j \cdot p \cdot \omega,$$

где механическая постоянная времени и определяется как:

$$T_j = J_\Sigma \cdot \frac{\Omega_B}{p_n \cdot M_B} = 6,269 \cdot \frac{314}{731 \cdot 3} = 0,897 \text{ с}$$

Далее при помощи уравнений связи исключаем токи ротора и потокосцепления статора из вышеприведенной модели. Система уравнений будет иметь вид:

Уравнение статорных цепей:

$$u_{sx} = r_s \cdot (1 + T_\sigma p) \cdot i_{sx} - \omega_k \cdot l_\sigma i_{sy} - \omega \cdot k_r \cdot \psi_{ry} - \alpha_r k_r \cdot \psi_{rx};$$

$$u_{sy} = r_s \cdot (1 + T_\sigma p) \cdot i_{sy} - \omega_k \cdot l_\sigma i_{sx} + \omega \cdot k_r \cdot \psi_{rx} - \alpha_r k_r \cdot \psi_{ry};$$

Уравнения роторных цепей:

$$k_r \cdot r_r \cdot i_{sx} = \alpha_r \cdot (T_r p + 1) \cdot \psi_{rx} - (\omega_k - \omega) \cdot \psi_{ry}$$

$$k_r \cdot r_r \cdot i_{sy} = \alpha_r \cdot (T_r p + 1) \cdot \psi_{ry} + (\omega_k - \omega) \cdot \psi_{rx}$$

Уравнение момента:

$$m = k_r \cdot (i_{sy} \cdot \psi_{rx} - i_{sx} \cdot \psi_{ry});$$

где

$\alpha_r = \frac{r_r}{l_r}$ - коэффициент затухания роторных цепей при разомкнутых статорных;

$k_r = \frac{l_m}{l_r}$ - коэффициент связи ротора;

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- d) Два инерционных звена охвачены не линейной перекрестной обратной связью, глубина которых зависит от ω_k и β
- e) Оба звена в целом охвачены еще и по ЭДС, которая наводится в обмотке статора полями ротора;
- f) Звено момента является нелинейным ввиду того, что в нем присутствует скалярное умножение векторов;
- g) Присутствующие перекрестные обратные связи существенно влияют на динамику электропривода и требуют компенсации при реализации системы управления.

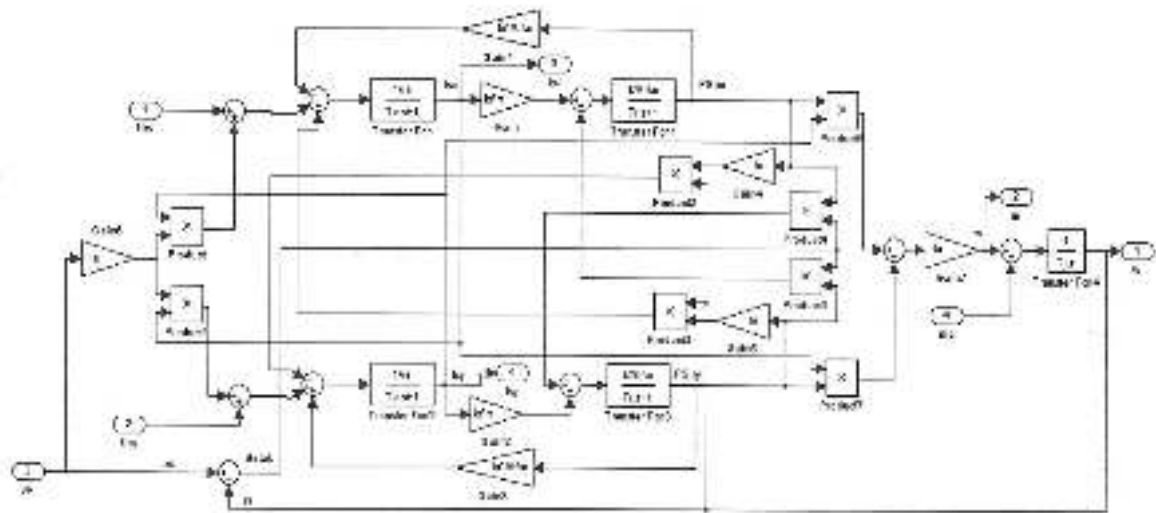


Рис. 3.8. Структурная схема А.Д. в Matlab

3.4 Расчет параметров объекта управления

Расчет параметров модели асинхронного двигателя в относительных единицах производится с учетом принятых относительных единиц (пункт 4.4.1 расчета). Обмоточные данные двигателя приведены в таб.2.3.

При расчете параметров заданной для модели построена на основе «Т» - образной схемы замещения асинхронного двигателя.

Индуктивность рассеяния статорной цепи в о.е.:

$$l_{s\sigma} = \frac{X_s}{\Omega_B L_B} = \frac{0,11}{314 \cdot 0,00274} = 0,127$$

Индуктивность рассеяния роторной цепи в о.е.:

$$l_{r\sigma} = \frac{X_r}{\Omega_B \cdot L_B} = \frac{0,072}{314 \cdot 0,00274} = 0,083$$

Коэффициент взаимной индукции обмоток статора и ротора в о.е.:

$$l_m = \frac{X_M}{\Omega_B L_B} = \frac{3,5}{314 \cdot 0,00274} = 4,06$$

Полная индуктивность обмотки ротора в о.е.:

$$l_s = l_{s\sigma} + l_m = 0,127 + 4,06 = 4,187$$

Полная индуктивность статорных цепей в о.е.:

$$l_r = l_{r\sigma} + l_m = 0,083 + 4,06 = 4,143$$

Коэффициент затухания роторных цепей при разомкнутых статорных в о.е.:

$$\alpha_r = \frac{r_r}{l_r} = \frac{0,019}{4,143} = 0,0045$$

Коэффициент связи ротора в о.е.:

$$k_r = \frac{l_m}{l_r} = \frac{4,06}{4,082} = 0,98$$

Постоянная времени цепи ротора:

$$T_r = \frac{l_r}{r_r} \cdot T_B = \frac{4,082}{0,019} \cdot 0,0032 = 0,6 \text{ с}$$

Эквивалентное сопротивление в о.е.:

$$r_{\text{э}} = r_s + \kappa_r^2 r_r = 0,03 + 0,98^2 \cdot 0,019 = 0,048$$

Эквивалентная индуктивность в о.е.:

$$l_{\text{э}} = l_{s\sigma} + \kappa_r^2 l_{r\sigma} = 0,127 + 0,98^2 \cdot 0,083 = 0,206$$

Эквивалентная постоянная времени в о.е.:

$$T_{\text{э}} = \frac{l_{\text{э}}}{r_{\text{э}}} T_B = \frac{0,206}{0,048} \cdot 0,0032 = 0,0137$$

Механическая постоянная времени в о.е.:

$$T_j = \frac{\Omega_B}{M_B p_n} \cdot J_{\Sigma} = \frac{314}{731 \cdot 3} \cdot 6,269 = 0,89$$

Определим проекции вектора напряжения статора, во вращающейся системе

										Лист
										13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

координат со скоростью магнитного поля статора, задавая одну из проекций. Напряжение питания при соединении обмоток в звезду 380 В.

$$u_{sx} = 1,402 \text{ о.е.}$$

$$u_{sy} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{2} \cdot 380}{U_B}\right)^2 - (u_{sx})^2} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{2} \cdot 380}{271}\right)^2 - (1,402)^2} = 1,402$$

3.5 Математическая модель системы управления электроприводом

Предпосылки качественного регулирования момента асинхронного двигателя

а) Ориентация системы координат.

Ориентация системы координат является математическим приемом и позволяет получить более простую модель асинхронного двигателя. В тоже время ориентация системы координат является эффективным техническим принципом, который используется для построения высококачественных систем автоматического регулирования. При ориентации системы координат одна из осей (как правило ОХ) совмещается с опорным вектором, например:

- Вектор тока статора;
- Вектор напряжения статора;
- Вектор потокосцепления статора;
- Вектор потокосцепления взаимоиндукции;
- Вектор потокосцепления ротора;

Выбор ориентирующего вектора связан с конкретной задачей управления и в нашем случаи это вектор потокосцепления ротора. Условием ориентации является:

$$\begin{cases} \psi_{rx} = \psi_r; \\ \psi_{ry} = 0; \end{cases}$$

$\omega_k = \omega_{\text{вр}}$ - скорость вращения координатных осей равна скорости вращения вектора потокосцепления ротора.

После этого система уравнений асинхронного двигателя принимает вид:

									Лист
									14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ				

Уравнение статорных цепей:

$$U_{sx} = r_s \cdot (1 + T_s p) \cdot i_{sx} - \omega_{\psi r} \cdot l_s \cdot i_{sy} - \alpha_r \cdot k_r \cdot \psi_r;$$

$$U_{sy} = r_s \cdot (1 + T_s p) \cdot i_{sy} + \omega_{\psi r} \cdot l_s \cdot i_{sx} + \omega \cdot k_r \cdot \psi_r;$$

Уравнения роторных цепей:

$$k_r \cdot r_r \cdot i_{sx} = \alpha_r \cdot (T_r p + 1) \cdot \psi_r;$$

$$k_r \cdot r_r \cdot i_{sy} = \beta_{\psi r} \cdot \psi_r;$$

Уравнение момента:

$$m = k_r \cdot i_{sy} \cdot \psi_r$$

Уравнение движения для одномассовой системы:

$$m - m_c = T_j \cdot p \cdot \omega,$$

Абсолютное скольжение двигателя:

$$\beta_{\psi r} = \omega_r - \omega$$

Поскольку в уравнении момента коэффициент связи ротора величина постоянная и регулирование скорости ведется без ослабления поля, то существует пропорциональность между током двигателя и моментом. Из этих уравнений также видно, что проекция тока статора на ось ОХ определяет поток двигателя, а проекция вектора тока статора на ось ОУ определяет электромагнитный момент асинхронного двигателя.

При регулировании скорости не используется ослабление поля (регулирование во второй зоне), то значение потокоцепления ротора остается постоянным, следовательно, производной потокоцепления ротора можно пренебречь, после этого уравнения роторных цепей примут следующий вид:

$$i_{sx} = \frac{\alpha_r}{k_r \cdot r_r} \cdot \psi_r$$

$$i_{sy} = \frac{\beta_{\psi r}}{k_r \cdot r_r} \cdot \psi_r$$

б) Синтез блока компенсации внутренних перекрестных связей. Для построения высококачественной системы регулирования скорости необходимо

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рис. 3.9. Структурная схема блока компенсации внутренних перекрестных связей объекта реализованная в приложении Simulink пакета MATLAB.

После этого уравнения асинхронного двигателя принимают вид:

Уравнение статорных цепей:

$$U_{sx} = r_s \cdot (1 + T_s p) \cdot i_{sx};$$

$$U_{sy} = r_s \cdot (1 + T_s p) \cdot i_{sy};$$

Уравнения роторных цепей:

$$i_{sx} = \alpha_r \cdot (k_r \cdot r_r)^{-1} \cdot \psi_r;$$

$$i_{sy} = \beta_{\psi r} \cdot (k_r \cdot r_r)^{-1} \cdot \psi_r;$$

Уравнение момента:

$$m = k_r \cdot i_{sy} \cdot \psi_r$$

Уравнение движения для одномассовой системы:

$$m - m_c = T_j \cdot p \cdot \omega,$$

Абсолютное скольжение двигателя:

$$\beta_{\psi r} = \omega_r - \omega$$

На основании этих уравнений построена структурная схема асинхронного двигателя (рис. 3.10) для синтеза регуляторов. В данной схеме не учтено пренебрежение производной потокосцепления ротора.

В приложении Simulink , блок фильтров выглядит таким образом:

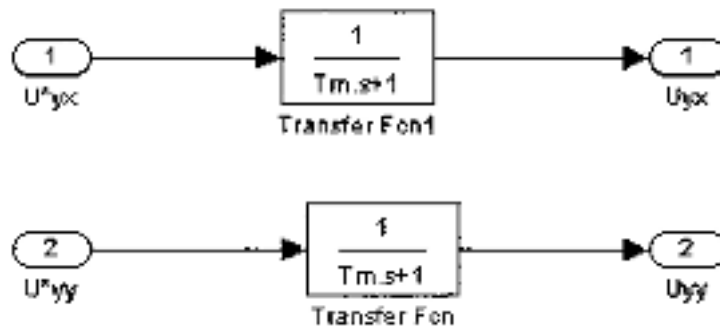


Рис. 3.11 Блок фильтров

с) Синтез регуляторов преобразованных токов статора.

Расчет коэффициентов регулятора приведен выше.

Передаточная функция регулятора имеет следующий вид:

$$R_i(p) = W_i^{-1}(p) \frac{1}{T_i p} = \frac{T_s + 1}{\frac{k_{II}}{r_s} T_i p} = \frac{T_s + r_s}{k_{II} T_i} + \frac{1}{\frac{k_{II}}{r_s} T_i p} \text{ -«ПИ» регулятор,}$$

где $T_i = 2 \cdot T_\mu = 0,001 \text{ c}$ - постоянная времени регулятора тока статора исходя из настройки на модульный оптимум.

$$K_{PT} = \frac{T_s \cdot r_s}{k_{II} T_i} = \frac{0,0138 \cdot 0,048}{1 \cdot 0,001} = 0,662$$

$$T_{PT} = \frac{k_{II} \cdot T_i}{r_s} = \frac{1 \cdot 0,001}{1 \cdot 0,048} = 0,02 \text{ c}$$

Замкнутая типовая передаточная функция контура тока имеет вид:

$$G_i(p) = \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}$$

В пакете Matlab приложении Simulink , регулятор токов статора и окно выбора переменных выглядит вот так:

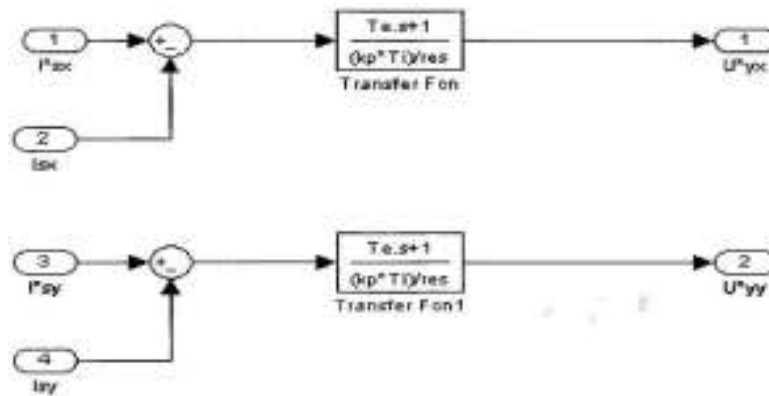


Рис. 3.12. Регулятор токов статора

d) Синтез регулятора потокосцепления ротора

Система регулирования потокосцепления разомкнутая, поскольку нет информации о потокосцеплении ротора. В этом случае регулирование во второй зоне не производится, и поток остается неизменным во время работы электропривода.

Регулятор потокосцепления ротора в этом случае будет иметь вид (для статического режима):

$$R_{\psi_r}(p) = W_r^{-1}(0) = \frac{1}{l_m}$$

$$R_{\psi_r}(p) = \frac{1}{4,06} = 0,24$$

При этом система не рассчитана на управление потокосцеплением в динамике и чувствительна к изменению параметров магнитной цепи зависящих от насыщения.

В этом случае динамика разомкнутой системы определяется постоянной времени T_r , которая много больше T_μ и при изменениях нагрузки, как показывают исследования, в результате нагрева сильно меняется сопротивление ротора как составляющая T_r .

e) Синтез регулятора электромагнитного момента

Регулятор момента стоит в виде обращенного звена электромагнитного момента, причем, поскольку потокосцепление ротора не изменяется то оно присутствует в регуляторе в виде коэффициента:

$$R_m(p) = \frac{1}{k_r \cdot \psi_r};$$

$$R_m(p) = \frac{1}{0,98 \cdot \psi_r};$$

Также в функцию регулятора момента входит определение угловой скорости вращения вектора потокосцепления ротора для ориентации поля по вектору потокосцеплению ротора:

$$\omega_{\psi r} = \omega + \beta_{\psi r}$$

Величина задания на ток по координате Y:

$$i_{xy} = \frac{I_{SX.ном}}{I_B} = \frac{179,75}{188} = 0,956.;$$

Абсолютное скольжение исходя из проекции вектора тока статора на ось OY:

$$\beta_{\psi r} = \frac{k_r \cdot r_r}{\psi_r} \cdot i_{xy};$$

$$\beta_{\psi r} = \frac{0,98 \cdot 0,019}{\psi_r} \cdot 0,956 = \frac{0,017}{\psi_r}$$

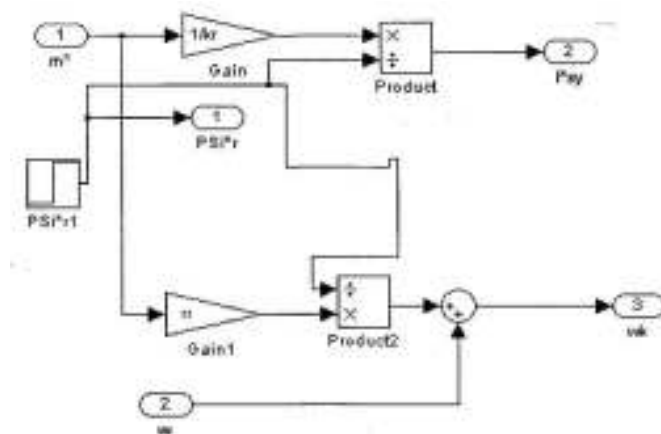


Рис 3.13. Структура регулятора момента

При этом передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$\Phi_m(p) = R_m(p) \cdot G_i(p) \cdot W_m(p) = G_i(p) = \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}$$

Т.е. контур момента имеет высокое быстродействие, но на динамику

оказывает влияние изменение потокосцепления ротора.

f) Синтез регулятора угловой скорости

С точки зрения требований к электроприводу допускается относительное падение скорости 5% следовательно, возможно использование «П» - регулятора скорости, но требование к САР таковы, что нам необходимо использовать «ПИ» - регулятор скорости.

При синтезе пренебрегаем статическим моментом нагрузки.

Ввиду этого будем синтезировать «ПИ» - регулятор скорости; при синтезе, которого на входе системы появляется входной фильтр со следующей передаточной функцией:

$$\Phi(p) = \frac{1}{T_{\omega}p + 1}$$

Передаточная функция регулятора скорости имеет вид:

$$R\omega(p) = \frac{T_{\omega}'p + 1}{T_{\omega}'p} \cdot \frac{T_i + 1}{T_{\omega}}$$

где постоянные времени определяются как:

$$T_{\omega} = 2 \cdot T_i = 4 \cdot T_{\mu} = 0,002$$

$$T_{\omega}' = 2 \cdot T_{\omega} = 4 \cdot T_i = 8 \cdot T_{\mu} = 0,004$$

для настройки на модульный оптимум.

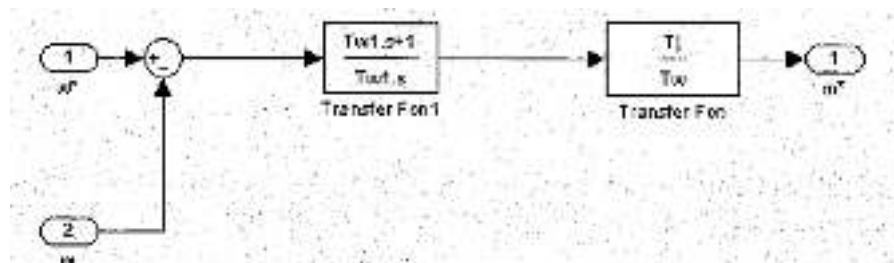


Рис. 3.14. Структура регулятора скорости

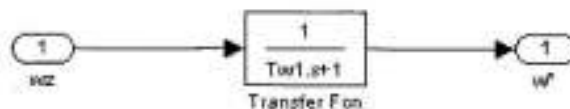


Рис. 3.15. Структура входного фильтра

g) Задатчик интенсивности

Типовая передаточная функция разомкнутой системы регулирования скорости настроена на симметричный оптимум и имеет вид:

$$\Phi_{\omega}(p) = \frac{8T_{\mu} + 1}{8T_{\mu}p} \cdot \frac{1}{4T_{\mu}p} \cdot \frac{1}{2T_{\mu}^2 p^2 + 2T_{\mu}p + 1};$$

Типовая передаточная функция замкнутой системы по управляющему воздействию имеет вид:

$$G_{\omega}^{\omega}(p) = \frac{1}{64T_{\mu}^4 p^4 + 64T_{\mu}^3 p^3 + 32T_{\mu}^2 p^2 + 8T_{\mu}p + 1}$$

Типовая передаточная функция замкнутой системы по возмущающему воздействию имеет вид:

$$G_{Mc}^{\omega}(p) = \frac{2T_{\mu}^2 p^2 + 2T_{\mu}p + 1}{64T_{\mu}^4 p^4 + 64T_{\mu}^3 p^3 + 32T_{\mu}^2 p^2 + 8T_{\mu}p + 1} \cdot \frac{32T_{\mu}^2 p}{T_j}$$

Типовой переходный процесс по управляющему воздействию имеет следующие показатели качества:

- Время достижения максимума $t_m = 18 \cdot T_{\mu} = 18 \cdot 0,0005 = 0,09$;
- Время переходного процесса (время вхождения в 1% зону)
 $t_{n,n} = 22,5T_{\mu} = 22,5 \cdot 0,0005 = 0,0113$;
- Перерегулирование по скорости $\sigma = 6.2\%$;

Т.е. система не будет иметь ошибки по возмущающему воздействию.

Найдем значение пропорционального и интегрального коэффициентов регулятора скорости для установки соответствующих параметров в преобразователе частоты.

Пропорциональный коэффициент регулятора скорости:

$$k_{PC} = \frac{T_j}{T_\omega}$$

$$k_{PC} = \frac{0,89}{0,002} = 445$$

Интегральный коэффициент регулятора скорости в параметре под интегральным коэффициентом понимается постоянная времени:

$$T_{PC} = \frac{T_\omega \cdot T_\omega'}{T_j}$$

$$T_{PC} = \frac{0,002 \cdot 0,004}{0,89} = 0,0000089$$

Результаты моделирования

При этом для обеспечения более плавного пуска (без ударных моментов) производится предварительное намагничивание двигателя в течении 1 с в соответствии с установленным параметром.

По сравнению с расчетной тахограммой имеются некоторые переходные процессы, также присутствуют колебания момента это связано с тем, что математическая модель преобразователя частоты представлена не в виде коэффициента передачи, а виде ряда звеньев и учитывает его дискретность . Значение максимального момента совпадает с расчетным. При значении некомпенсированной постоянной времени 0.0005 с и использованием «ПИ»-регулятора скорости переходный процесс по скорости практически не отличается от задания.

При отработке тахограммы привод удерживает нагрузку некоторое время необходимое для наложения механического тормоза, как и было, описано при

									Лист
									25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ

установке параметров преобразователя частоты.

Расчет начальных параметров для моделирования:

1. Расчет номинального потокосцепления:

$$\psi_N = \frac{\psi_{TN}}{\psi_B}$$
$$\psi_N = \frac{0,802}{0,863} = 0,93 \text{ о.е.}$$

В момент времени $t = 0$ с начинаем создавать номинальный поток 0,5 с хватает, чтобы поток достиг своего номинального значения.

2. Расчет номинального момента:

$$M_N = M_B = 731 \text{ Нм,}$$
$$m_c = \frac{731}{731} = 1 \text{ о.е.}$$

Номинальный момент подадим в $t = 3,5$ с так как привод выходит на номинальную скорость.

3. Расчет номинальной скорости:

$$\omega_3 = 1$$

Задание на скорость подаем в $t = 0,5$ с.

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

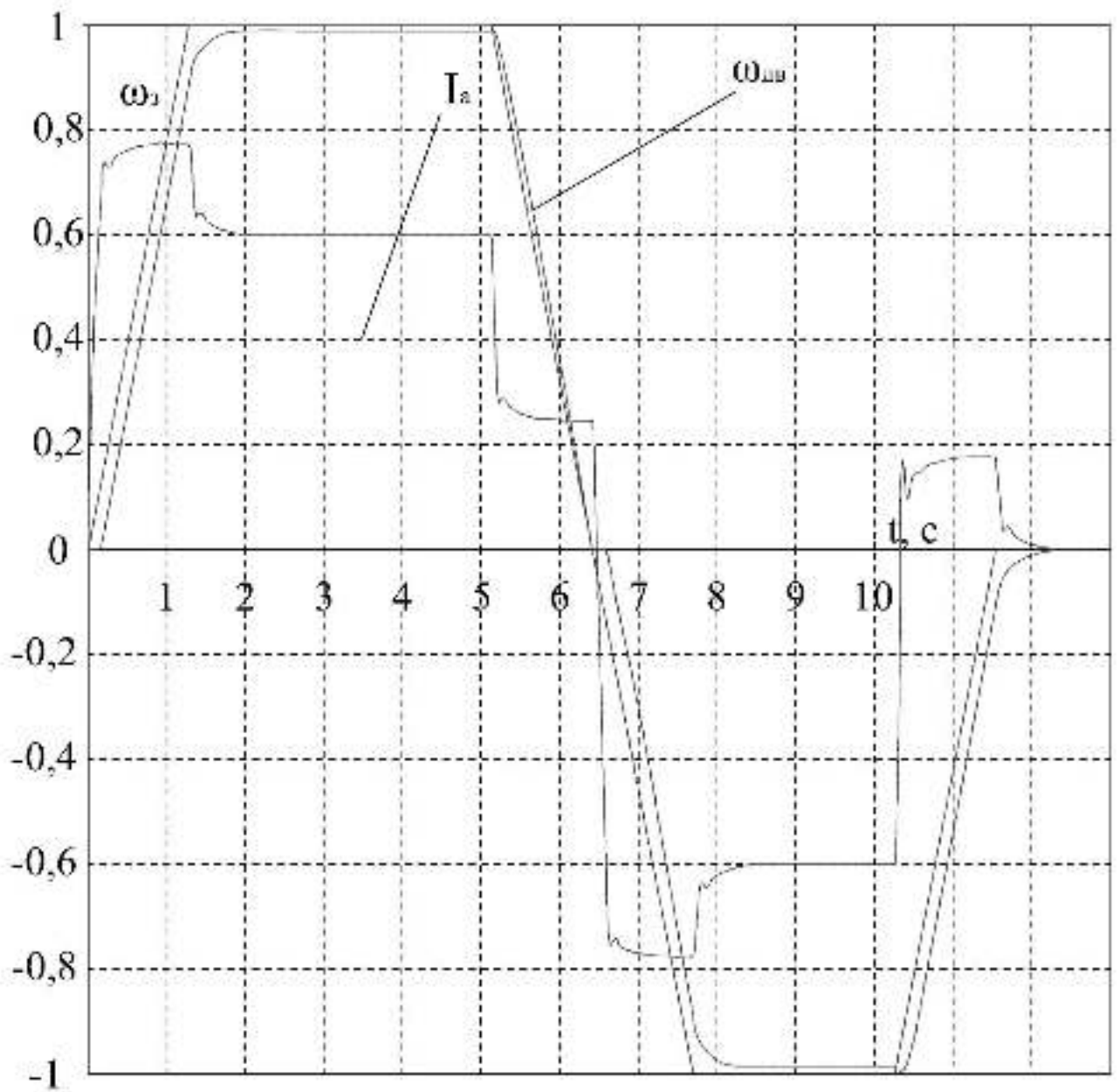


Рисунок 4.4 – График переходных процессов пуска, реверса и торможения

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОМАТИКИ

4.1. Описание контроллера SIMATIC S7-300

- Модульный программируемый контроллер для решения задач автоматизации различного уровня сложности.
 - Широкий спектр модулей для максимальной адаптации к решению любой задачи.
 - Возможность использования распределенных структур ввода-вывода и простое включение в различные типы промышленных сетей.
 - Удобная для обслуживания конструкция и работа с естественным охлаждением.
 - Свободное наращивание возможностей при модернизации системы.
 - Высокая мощность, благодаря большому количеству встроенных функций.
- SIMATIC S7-300C**
- Испытанная технология S7-300.
 - Наличие встроенных входов и выходов, возможность использования в качестве готовой системы автоматизации.
 - Поддержка функций скоростного счета, ПИД-регулирования и позиционирования на уровне операционной системы центрального процессора.
 - Расширение модулями S7-300. SIMATIC S7-300F
 - Программируемый контроллер для построения распределенных систем автоматики безопасности.
 - CPU 315F-2DP/ CPU 317F-2DP с встроенными функциями автоматики безопасности и интерфейсом PROFIBUS DP, поддерживающим профиль PROFI-safe.
 - Системы распределенного ввода-вывода на основе станций ET 200M с F-модулями и станций ET 200S PROFI-safe.
 - Обеспечение уровней безопасности SIL...SIL2 по IEC/EN 61508, а также категорий 1...4 по EN 954-1.
 - Программируемый контроллер для эксплуатации в тяжелых промышленных условиях.
 - Проверенная технология S7-300.
 - Удобная установка, программирование, обслуживание и эксплуатация.
 - Идеальное изделие для автомобилестроения, химической промышленности, установок для защиты окружающей природной среды, различных производств, пищевой промышленности и т.д.
 - Заменяет дорогостоящие системы специального назначения.
 - Допускает временное обледенение печатных плат. Модификации контроллеров
- SIMATIC S7-300** отвечают требованиям национальных и международных стандартов и норм, включая:
- DIN
 - Сертификат UL
 - Сертификат CSA
 - FM, класс 1, группы A, B, C и D (температурная группа T4, до 135°C)

									Лист
									28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ

- Сертификат соответствия Госстандарта России №РОССТ)Е.АЯ46.В61141 от 14.03.2003г. подтверждает соответствие программируемых контроллеров SIMATIC и их компонентов требованиям стандартов ГОСТ Р 50377-92 (стандарте целом), ГОСТ 29125-91 (п.2.8), ГОСТ 26329-84 (п.п. 1.2;1.3), ГОСТ Р 51318.22-99, ГОСТ 51318.24-99.

- Метрологический сертификат Госстандарта России DE.C.34.004.A № 11994. Кроме того, SIMATIC S7-300 имеет целый ряд морских сертификатов:

- Российского морского регистра судоходства
- ABS (American Bureau of Shipping)
- BV (Bureau Veritas of Shipping)
- DNV (Det Norske Veritas)
- German Lloyd of Shipping
- Lloyd Register of Shipping
- Polski Rejestr Statkov (PRS) Shipping
- Registro Italiano Navale (RINA) Shipping. Назначение

Области применения SIMATIC S7-300 охватывают: автоматизацию машин специального назначения; автоматизацию текстильных и упаковочных машин; автоматизацию машиностроительного оборудования; автоматизацию оборудования для производства технических средств управления и электротехнической аппаратуры; построение систем автоматического регулирования и позиционирования; автоматизированные измерительные установки и другие. Центральные процессоры оснащены набором встроенных входов и выходов, а также набором встроенных функций, что позволяет применять эти процессоры в качестве готовых блоков управления. SIMATIC S7-300 является идеальным изделием для эксплуатации в тяжелых промышленных условиях, отличающихся сильным воздействием вибрации и тряски, повышенной влажности, широким диапазоном рабочих температур. Он способен управлять работой: светофоров и систем управления движением; очистных сооружений; холодильных установок; специальных транспортных средств; подвижного состава; строительных машин и т.д.

Программируемые контроллеры SIMATIC S7-300 в сочетании со станциями распределенного ввода-вывода SIMATIC ET 200S PROFIsafe и SIMATIC ET 200M, оснащенными F-модулями, позволяют создавать распределенные системы автоматики безопасности (F-системы), в которых возникновение аварийных ситуаций не создает опасности для жизни обслуживающего персонала и угрозы для окружающей природной среды. На основе распределенных структур могут создаваться системы, отвечающие требованиям безопасности уровней SIL1 SIL 3 стандартов IEC/EN 61508, а также категорий 1 ... 4 стандарта EN 954-1. Такие системы находят применение: в автомобильной промышленности, Машино- и станкостроении; для управления конвейерами; в обрабатывающей промышленности; в системах управления пассажирским транспортом; в системах материально-технического обеспечения и т.д. Конструкция

Контроллеры SIMATIC S7-300 имеют модульную конструкцию и могут включать в свой состав:

										Лист
										29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ					

- Модуль центрального процессора (CPU). В зависимости от степени сложности решаемой задачи в контроллерах могут быть использованы различные типы центральных процессоров, отличающихся производительностью, объемом памяти, наличием или отсутствием встроенных входов-выходов и специальных функций, количеством и видом встроенных коммуникационных интерфейсов и т.д.
- Модули блоков питания (PS), обеспечивающие возможность питания контроллера от сети переменного тока напряжением 120/230В или от источника постоянного тока напряжением 24/48/60/110В.
- Сигнальные модули (SM), предназначенные для ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов с различными электрическими и временными параметрами.
- Коммуникационные процессоры (CP) для подключения к сетям PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS-Interface или организации связи через PtP (point to point) интерфейс.
- Функциональные модули (FM), способные самостоятельно решать задачи автоматического регулирования, позиционирования, обработки сигналов. Функциональные модули снабжены встроенным микропроцессором и способны выполнять возложенные на них функции даже в случае остановки центрального процессора программируемого контроллера.
- Интерфейсные модули (IM), обеспечивающие возможность подключения к базовому блоку (стойка с CPU) стоек расширения ввода-вывода.

Контроллеры SIMATIC S7-300 позволяют использовать в своем составе до 32 сигнальных и функциональных модулей, а также коммуникационных процессоров, распределенных по 4 монтажным стойкам. Все модули работают с естественным охлаждением. Конструкция контроллера отличается высокой гибкостью и удобством обслуживания:

Все модули легко устанавливаются на профильную рейку S7-300 и фиксируются в рабочем положении винтом.

Во все модули (кроме модулей блоков питания) встроены участки внутренней шины контроллера. Соединение этих участков выполняется шинными соединителями, устанавливаемыми на тыльной стороне корпуса. Шинные соединители входят в комплект поставки всех модулей за исключением центральных процессоров и блоков питания. Наличие фронтальных соединителей, позволяющих производить замену модулей без демонтажа внешних соединений и упрощающих выполнение операций подключения внешних цепей модулей.

Подключение внешних цепей через фронтальные соединители с контактами под винт или контактами - защелками. Механическое кодирование фронтальных соединителей, исключающее возможность возникновения ошибок при замене модулей.

Применение модульных и гибких соединителей SIMATIC TOP Connect, существенно упрощающих монтаж шкафов управления. Единая для всех модулей глубина установки. Все кабели располагаются в монтажных каналах модулей и закрываются защитными дверцами. Произвольный порядок размещения модулей в монтажных стойках. Фиксированные места должны занимать только блоки

									Лист
									30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ				

питания, центральные процессоры и интерфейсные модули. Допускается выполнять горизонтальную (ось монтажной стойки ориентирована в горизонтальной плоскости) и вертикальную установку стоек контроллера. При вертикальной установке ухудшаются условия охлаждения модулей,

поэтому верхняя граница допустимого диапазона рабочих температур снижается. Система ввода-вывода

Система ввода-вывода программируемого контроллера S7-300 может включать в свой состав две части: систему локального и систему распределенного ввода-вывода. Система локального ввода-вывода образуется модулями, устанавливаемыми непосредственно в монтажные стойки контроллера. Система распределенного ввода-вывода включает в свой состав станции распределенного ввода-вывода и приборы полевого уровня, подключаемые к контроллеру через сети PROFINET, PROFIBUS DP и AS-Interface. В зависимости от типа используемого центрального процессора системы локального ввода-вывода программируемых контроллеров S7-300 могут включать в свой состав до 8 или до 32 сигнальных, функциональных и коммуникационных модулей. Все модули устанавливаются в монтажные стойки контроллера, функции которых выполняют профильные шины S7-300.

- В состав системы может входить одна базовая (CR) и до трех стоек расширения (ER). В каждой стойке может размещаться до 8 сигнальных, функциональных и коммуникационных модулей. В стойке CR устанавливается центральный процессор.

Соединение стоек осуществляется с помощью интерфейсных модулей. Каждая стойка снабжается собственным интерфейсным модулем, устанавливаемым в смежный с центральным процессором разъем и обеспечивающим автономное обслуживание связи с другими стойками системы. Применение интерфейсных модулей IM 365 позволяет подключать к базовой стойке одну стойку расширения, удаленную на расстояние не более 1м. Интерфейсные модули IM 360 и IM 361 позволяют подключать к базовой стойке до 3 стоек расширения. Расстояние между стойками в этом случае может достигать 10м. Система локального ввода-вывода программируемого контроллера S7-300 с CPU 312/ CPU 313 может включать в свой состав не более 8 сигнальных, функциональных и коммуникационных модулей. Все модули в этом

случае размещаются на одной монтажной стойке. Промышленная связь

Контроллеры SIMATIC S7-300 обладают широкими коммуникационными возможностями:

- Коммуникационные процессоры для подключения к сетям PROFIBUS (с встроенным оптическим или электрическим интерфейсом), Industrial Ethernet и AS-Interface.
- Коммуникационные процессоры PtP для использования последовательных (RS 232, TTY, RS 422/ RS 485) каналов связи.
- MPI интерфейс, встроенный в каждый центральный процессор и позволяющий создавать простые и недорогие сетевые решения для связи с программаторами, персональными и промышленными компьютерами, устройствами человеко-

									Лист
									31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ				

машинного интерфейса, другими системами SIMATIC S7/C7/WinAC.

- Центральные процессоры с дополнительным встроенным интерфейсом PtP, PROFIBUS DP или Industrial Ethernet. Центральные процессоры S7-300 способны поддерживать следующие виды связи:
- Циклический обмен данными с устройствами распределенного ввода-вывода через сети PROFIBUS или AS-Interface.
- Обмен данными между интеллектуальными сетевыми станциями (программируемыми контроллерами, устройствами и системами человеко-машинного интерфейса, компьютерами и программаторами) через MPI, PROFIBUS или Industrial Ethernet. Обмен данными может осуществляться циклически или по прерываниям.

Настраиваемые параметры и функции

С помощью STEP 7 для всех центральных процессоров S7-300 может производиться настройка целого ряда параметров и функций:

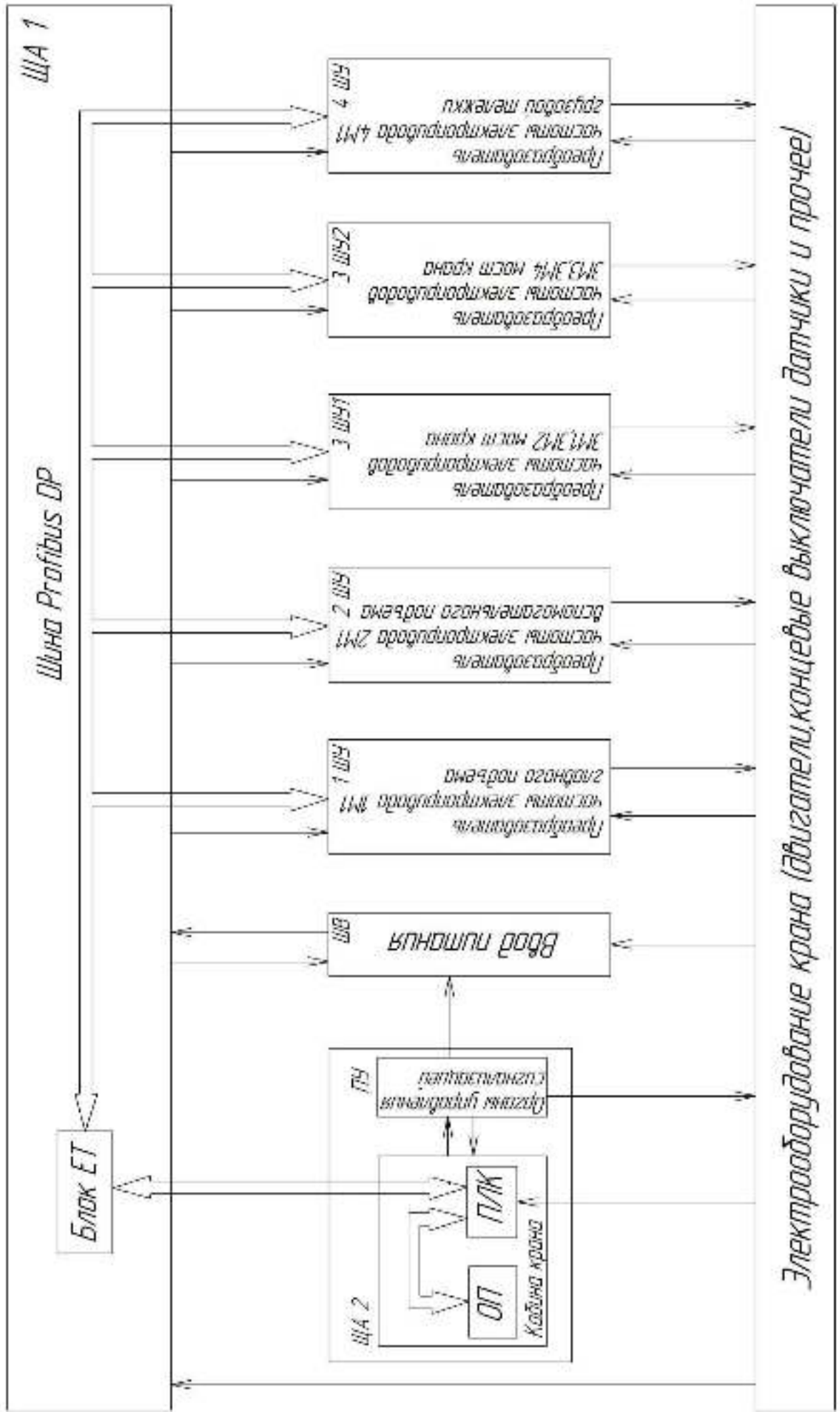
- Определение сетевого (MPI, PROFIBUS, Industrial Ethernet) адреса станции.
 - Определение максимального времени сканирования программы, перезапуска и выполнения функций самодиагностики.
 - Определение объема данных, сохраняемых при перебоях в питании: количества сохраняемых бит памяти, таймеров, счетчиков и блоков данных.
 - Определение адресов тактовых флагов.
 - Установка паролей для обеспечения доступа к программе и данным.
 - Системная диагностика: определение порядка обработки диагностических сообщений.
 - Периодичность повторения временных прерываний: установка стартового времени и периодичности повторения прерываний.
 - Установка периода срабатывания сторожевого таймера. Полный набор настраиваемых параметров зависит от типа центрального процессора.
- Информационные и тестовые функции:
- Отображение текущих состояний и ошибок: светодиодные индикаторы ошибок в аппаратуре, программе, времени, вводе-выводе; режимов работы (RUN/STOP, рестарт и т.д.).
 - Тестовые функции: программатор может быть использован для отображения состояний сигналов во время выполнения программы, изменения переменных и состояний выходов непосредственно в программе пользователя.
 - Информационные функции: программатор позволяет получать информацию о свободном объеме памяти центрального процессора, его режиме работы, используемых объемах загружаемой и рабочей памяти, текущем времени выполнения цикла программы, просматривать буфер диагностических сообщений в текстовом формате. Системные функции: на уровне операционной системы все центральные процессоры поддерживают широкий спектр функций диагностики, настройки параметров, синхронизации, обработки сигналов тревоги и т.д.

Программирование и конфигурирование

Для программирования и конфигурирования систем автоматизации,

									Лист
									32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

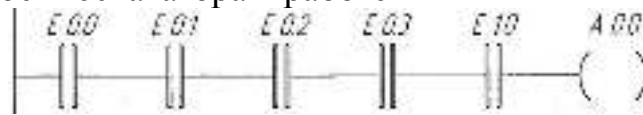
13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ



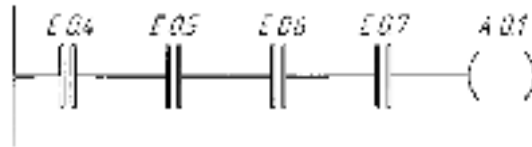
Электроборудование крана (двигатели,концевые выключатели датчики и прочее)

Рис. 4.1 Схема технологической автоматики

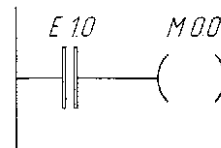
Network 1: готовность экскаватора к работе



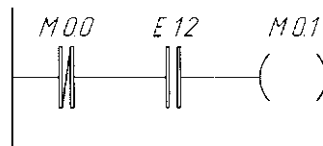
Network 2: поворот на экскаваторе разрешена



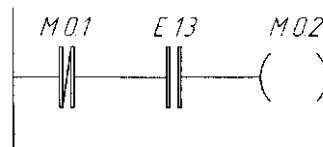
Network 3: поворот экскаватора вперед режим 1



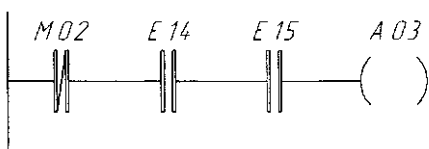
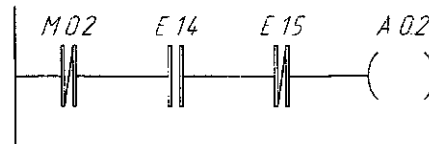
Network 4: поворот экскаватора вперед режим 2



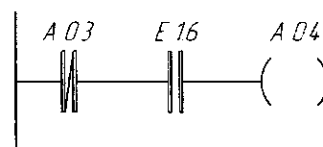
Network 5: поворот экскаватора вперед режим 3



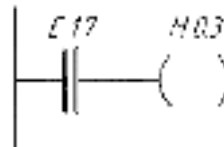
Network 6: поворот экскаватора вперед режим 4, переход на пониженную скорость



Network 7: аварийный стоп

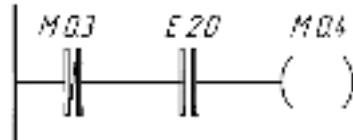


Network 8: поворот экскаватора назад режим 1

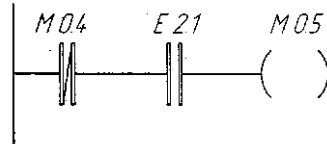


Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

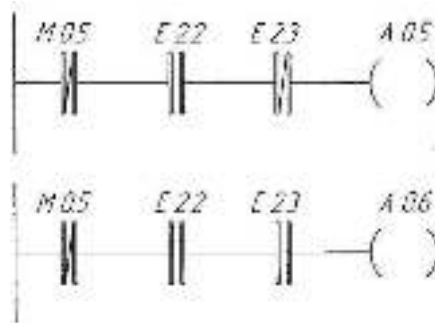
Network 9: поворот эскаватора назад режим 2



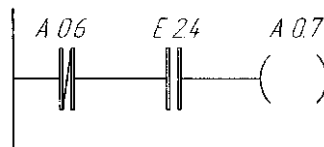
Network 10: поворот эскаватора назад режим 3



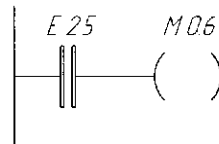
Network 11: поворот эскаватора назад режим 4, переход на пониженную скорость



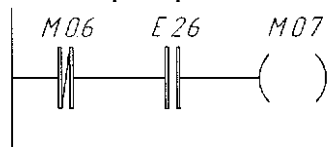
Network 12: аварийный стоп



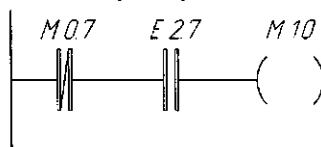
Network 13: движение тележки вперед режим 1



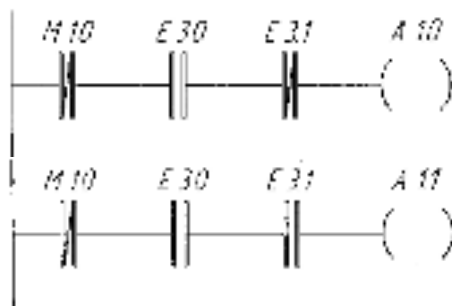
Network 14: движение тележки вперед режим 2



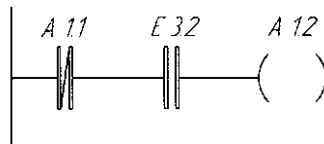
Network 15: движение тележки вперед режим 3



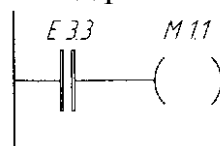
Network 16: движение тележки вперед режим 4, переход на пониженную скорость



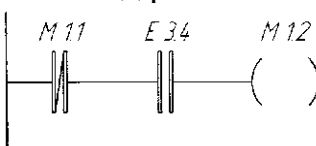
Network 17: аварийный стоп



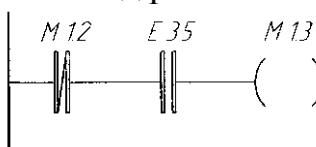
Network 18: движение тележки назад режим 1



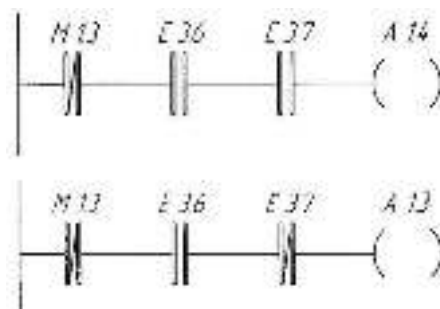
Network 19: движение тележки назад режим 2



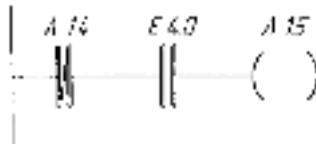
Network 20: движение тележки назад режим 3



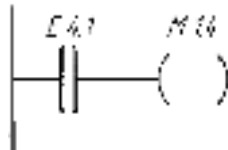
Network 21: движение тележки назад режим 4, переход на пониженную скорость



Network 22: аварийный стоп

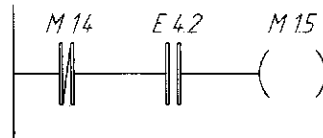


Network 23: подъем вверх режим 1

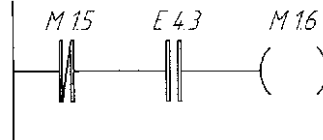


Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

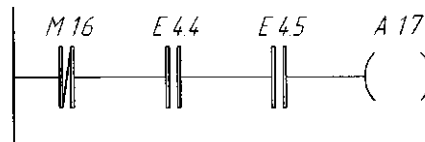
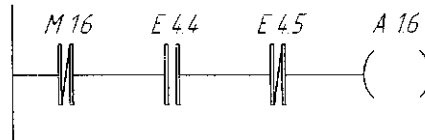
Network 24: подъем вверх режим 2



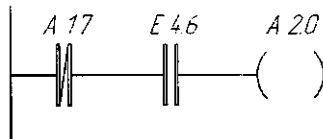
Network 25: подъем вверх режим 3



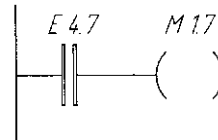
Network 26: подъем вверх режим 4, переход на пониженную скорость



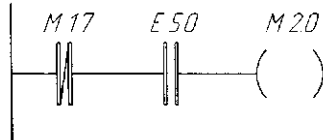
Network 27: аварийный стоп



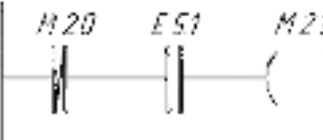
Network 28: подъем вниз режим 1



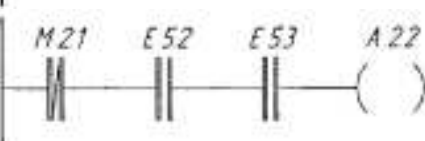
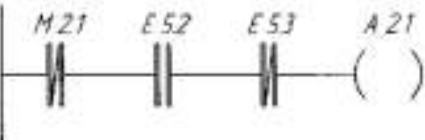
Network 29: подъем вниз режим 2



Network 30: подъем вниз режим 3



Network31: подъем вниз режим 4, переход на пониженную скорость



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Network 32: аварийный стоп



					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5 Обоснование экономической эффективности использования системы транзисторного электропривода

5.1 экономическая эффективность от внедрения

При разработке нового оборудования необходимо обосновать экономическую эффективность от внедрения.

Показателем сравнительной экономической эффективности является минимум приведенных затрат.

Приведенные затраты по каждому варианту представляют сумму текущих расходов и капитальных вложений, приведенных к одинаковой размерности, в соответствии с нормативным коэффициентом эффективности:

$$Z_i = U_i + E_H \cdot K_i \quad (5.1.1)$$

где : U_i – эксплуатационные расходы по соответствующему i -му варианту, руб/год;

K_i - капитальные вложения по соответствующему i - му варианту, руб.;

E_H - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений для новой техники $E_H = 8,25\%$ – ставка рефинансирования ЦБ;

i - номер варианта ($i = 1, \dots, n$).

При технико-экономическом сопоставлении вариантов наиболее экономичным является тот, который имеет минимальные затраты.

Определим капитальные вложения:

$$K_1 = K_{эк/об} + K_{тр} + K_{мон} + K_{дем}. \quad (5.1.2)$$

где: $K_{эк/об}$ - стоимость электрооборудования, руб.

$K_{тр}$ - транспортные расходы, руб.

$K_{мон}$ - монтажные расходы (для нового оборудования), руб.

$K_{дем}$ - демонтажные работы (для модернизируемого варианта), руб.

Эксплуатационные расходы определяются по формуле:

$$U_i = U_{ai} + U_{ni} + U_{pi} + U_{zni} + U_k \text{ руб./год} \quad (5.1.3)$$

где: U_{ai} - амортизационные отчисления на реновацию, руб./год;

U_{pi} - стоимость текущего ремонта, руб./год;

U_{ni} - стоимость потерь электроэнергии, руб./год;

U_{zni} - заработная плата персонала, обслуживающего данный электропривод, руб./год;

U_k - затраты на капитальный ремонт, руб./год;

В нашем случае расходы на заработную плату одинаковы в обоих вариантах, поэтому U_{zni} в расчетах не учитывается.

5.2 Приведены затраты системы Г-Д (1 вариант)

Таблица 5.2.1-Стоимость электрооборудования системы Г-Д

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Наименование	Тип	Стоимость единицы руб.
Пятимашинный агрегат	5МАСБ	2,500,000
Возбудитель	МП 542 – ½	434,566
Магнитный усилитель	ПДД – 1,5 В	70,000
Командоконтролер	ЭК – 8250	14,200
Схема управления	-	41,440
ИТОГО:		3,046,020

(источник-<http://www.tpgo.ru>)

Транспортные расходы составляют 10% от стоимости электрооборудования:
 $3046020 \cdot 10 / 100 = 304,602$ тыс. руб.

Расходы на демонтажные работы составляют 15% от стоимости электрооборудования:

$$3,046,020 \cdot 15 / 100 = 456,903 \text{ тыс. руб.}$$

Тогда величина капитальных вложений по системе Г-Д будет составлять:

$$K_1 = 3,046,020 + 304,602 + 456,903 = 3,807,525 \text{ тыс. руб.}$$

Величина амортизационных отчислений определяется по формуле:

$$U_{a1} = K_1 \cdot Na / 100;$$

Где Na - норма амортизационных отчислений на реновацию, %

$$Na = 18\%$$

$$U_{a1} = 3,807,525 \cdot 18 / 100 = 685,354,5 \text{ тыс. руб.}$$

Величина затрат на капитальный ремонт составляет 8,3% от стоимости оборудования:

$$U_{к1} = 3,046,020 \cdot 8,3 / 100 = 252,819,66 \text{ тыс. руб.}$$

Величина затрат на текущий ремонт определяется как 3,7% от стоимости оборудования:

$$U_{р1} = 3,046,020 \cdot 3,7 / 100 = 112702,74 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость потерь электроэнергии:

$$U_{р1} = aW$$

где a – плата за 1 кВт·час

$$a = 1,6 \text{ руб./кВт·час};$$

W – потери электроэнергии.

Мощность потерь можно определить по формуле:

$$P_1 = [2P_{дв} (1 - \eta_{дв})] + P_{ген} (1 - \eta_{ген}) + 0,4P_{гон} (1 - \eta_{гон}) + P_{упр} \quad (5.2.1)$$

где: $\eta_{дв}, \eta_{ген}, \eta_{гон}$ - коэффициенты полезного действия, соответственно двигателя, генератора, гонного двигателя;

									Лист
									42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ				

$P_{дв}, P_{ген}, P_{гон}$ - соответственно, мощности двигателя, генератора, гонного двигателя ;

$P_{упр}$ - мощность потерь в возбуждении и управлении.

$P_{упр} = 5$ кВт.

$$P_1 = [2 \cdot 100(1 - 0,934)] + 120(1 - 0,9) + 250 \cdot 0,4(1 - 0,92) + 5 = 38,2 \text{ кВт}$$

Потери электроэнергии равны:

$$W_1 = P_1 \cdot T$$

где T - число часов работы привода за год, час/год.

$$W_1 = 38,2 \cdot 2220 = 84804 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

Стоимость потерь электроэнергии:

$$U_{nl} = 1,6 \cdot 84804 = 135,686 \text{ тыс. руб.}$$

Эксплуатационные расходы по системе Г-Д:

$$U_1 = 685,354 + 112,702 + 135,686 + 252,819 = 933,742 \text{ тыс. руб}$$

Приведенные затраты по системе Г-Д:

$$Z_1 = 933,742 + 3,807,525 + 252,819 = 4994086 \text{ тыс. руб.}$$

5.3 Определение приведенных затрат системы ЧП-Д (2 вариант)

Стоимость оборудования транзисторного привода определена в таблице «Стоимость электрооборудования системы частотный преобразователь электропривода».

Таблица 5.3.1-Стоимость электрооборудования системы ЧП-АД

Наименование оборудования	Стоимость, руб.
Преобразователь АББ ACS800 мультидрайв : - диодные выпрямители — 1 шт. - активные выпрямители на IGBT-транзисторах - 1 шт. - тиристорные выпрямители - блоки динамического торможения - блоки управления - входные дроссели - выходные дроссели - Фильтры ЭМС - Синусные фильтры - Фильтры du/dt - предохранители, контакторы - элементы силового интерфейса (контакторы, автоматические выключатели, предохранители, реле)	3,027,388

	<ul style="list-style-type: none"> - интерфейс шкафа (источники питания, развязки, клемники и т.п.) - понижающий трансформатор ТСЗЭ-1600/6-УХЛ1 	
--	---	--

Продолжение таблицы 5.3.1

	<p>Шкафы инверторов в составе:</p> <ul style="list-style-type: none"> - инвертор подъема ACS800-107-0260-3 - 1шт. - инвертор напора ACS800-107-0105-3-1шт <ul style="list-style-type: none"> - инвертор поворота ACS800-107-0105-3-2 шт - инвертор ход ACS800-107-0105-3 - модуль рекуперации , - 1шт. - предохранители, контакторы - элементы силового интерфейса (контакторы , автоматические выключатели, предохранители, реле) - интерфейс шкафа (источники питания, развязки, клемники и т.п.) 	1,733,400
	<p>Оборудование кабины в составе:</p> <ul style="list-style-type: none"> - кондиционер - 1 шт. - пульт-кресло с аппаратами управления - 1шт. - освещение кабины - сигнальная арматура - центральный процессор - модули ввода/вывода; - автоматические выключатели; 	553,440
	<p>Экскаваторное оборудование, в составе:</p> <ul style="list-style-type: none"> - эл. двигатель подъема 4МТНФ-400L8У1 -200кВт. со встроенными вентиляторами -1 шт. - эл. двигателя напора 4АК250М4У3- 71 кВт. со встроенным вентилятором -1 шт. - эл. двигателя хода 4АК250М4У3 - 71 кВт. со встроенными вентиляторами - 1 шт - эл. двигателя поворота 4АК250М4У3-71 кВт. со встроенными вентиляторами - 2 шт 	1,733,800
	<p>Неучтенные материалы, запасные части 15% от стоимости оборудования. Кабель.</p>	640,080
	<p>Проектные работы, промышленная экспертиза РД: электроприводы механизмов экскаватора, система управления электроприводами</p>	533,400
	<p>Наладка и ввод в эксплуатацию Электрооборудование экскаватора</p>	85,344

ИТОГО:	7,730,852
--------	-----------

(источник-<http://www.equiptorg.ru>)

Транспортные расходы составляют 10% от стоимости оборудования:

$$7,730,852 \cdot 10/100 = 773,085 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость монтажных работ составляет 20% от стоимости оборудования:

$$7,730,852 \cdot 20/100 = 1,546,170 \text{ тыс. руб.}$$

Величина капитальных вложений при системе ЧП-Д:

$$K_2 = 7,730,852 + 773,085 + 1,546,170 = 10,050,107 \text{ тыс. руб.}$$

Величина амортизационных отчислений определяется по формуле:

$$U_{a2} = H_a \cdot K_2 / 100$$

$$U_{a2} = 10,050,107 \cdot 18/100 = 1,809,019 \text{ тыс. руб.}$$

Эксплуатационные расходы на текущий ремонт электрооборудования определяются как 2% от стоимости оборудования:

$$U_{p2} = 7,730,852 \cdot 2/100 = 154,617 \text{ тыс. руб.}$$

Мощность потерь электроэнергии определяется:

$$P_2 = (1 - \eta_{mp} \cdot \eta_{дв}) \cdot P_{дв} \cdot 2 + P_{унр}$$

где: $\eta_{mp} \cdot \eta_{дв}$ - коэффициент полезного действия трансформатора и двигателя.
 $\eta_{mp} = 0,98; \eta_{дв} = 0,88.$

$P_{унр}$ - мощность потерь цепи и возбуждения;

$P_{унр} = 2 \text{ кВт}$

$$P_2 = (1 - 0,98 \cdot 0,88) 60 \cdot 2 + 2 = 12,4 \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

Потери электроэнергии составляют:

$$W_2 = 2220 \cdot 12,4 = 27,528 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{час}$$

Стоимость потерь электроэнергии:

$$U_{n2} = 1,6 \cdot 27,528 = 44,045 \text{ тыс. руб.}$$

Эксплуатационные расходы по системе ЧП-АД:

$$U_2 = 1,809,019 + 154,617 + 44,045 = 2,007,681 \text{ тыс. руб}$$

Приведенные затраты по системе ЧП-АД:

$$Z_2 = 2,007,681 + 0,0825 + 10,050,107 = 12,057,788 \text{ тыс. руб.}$$

Результаты, полученные по обоим вариантам, сведем в таблицу 5.3.2

Таблица 5.3.2- технико-экономических показателей экскаватора ЭКГ 4,6 Б (Показатели в тысячах рублей)

Показатели	Г-Д	ЧП-Д
Капитальные затраты	3,807,525	10,050,107

10. Безопасность и экологичность проекта

10.1. Безопасность автоматизированного электропривода экскаватора ЭКГ-4,6Б

Безопасность производственного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 12.0.001, ГОСТ12.2.003, ГОСТ12.2.026 и ГОСТ12.0.003 обеспечиваются:

- применением в конструкции безопасных материалов и веществ, обеспечивается путем встроенных в конструкцию средств защиты работающих, установленными стандартами и санитарными нормами.

- применением в конструкции средств механизации, автоматизации и дистанционного управления, обеспечивается применением поручней и ступенек, рукояти, педали, приборы контроля и измерения.

- применением в конструкции средств защиты, обеспечивается установкой ограждений, если существует опасность падения предметов, которые могут задеть машиниста. В особой ситуации носите каску, защитные ботинки, защитные перчатки, защитные очки и устройства для защиты органов слуха в зависимости от конкретных условий работы. Использовать должным образом такие средства защиты, как предохранительные замковые устройства и ремни безопасности.

- соблюдением требований безопасности при эксплуатации, монтажных работах, транспортировании и хранении, обеспечивается путем ежедневного контрольного осмотра экскаватора в соответствии с Руководством по эксплуатации и обслуживанию. Перед началом работы на экскаваторе подайте звуковой сигнал для предупреждения находящегося вблизи персонала. При необходимости установите защитные ограждения. При передвижении экскаватора кабель имеет запас длины, с тем, чтобы исключить его натяжение и обрыв. При эксплуатации экскаватора обращайтесь особое внимание на состояние приборов внутреннего и внешнего освещения, так как хорошая освещенность экскаватора и забоя повышает производительность машины, сокращая возможность получения случайных травм и поломок механизмов. Наложение переносных заземлений, осмотр масляного выключателя и трансформатора, взятие проб и заливка масла проводятся согласно правилам техники безопасности. Перевозка экскаваторов ЭКГ-4,6Б может осуществляться специальными автотранспортными средствами или транспортерами на железнодорожном ходу. При транспортировке экскаватора ЭКГ-4,6 Б необходимо опустить (или снять), рабочее оборудование и демонтировать двуногую стойку. Покидая экскаватор на месте парковки, полностью опустите ковш на землю. Надёжно закройте дверь кабины.

- размещением оборудования на площадке обеспечивается за счёт установки на твердом выровненном основании, с уклоном, не превышающим допустимого техническим паспортом экскаватора. При работе экскаватора на грунтах, не выдерживающих давления колёс (гусениц), машинист должен требовать осуществление специальных мер, обеспечивающих устойчивое

									Лист
									47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ				

положение экскаватора. Площадка для обслуживания высоковольтного распределительного устройства покрывается резиновым ковриком. Закреплять этот коврик нужно аккуратно, без нарушения его электрической прочности.

- профессиональным отбором и обучением работающих, машинист экскаватора может быть допущен к работе только на той машине, по которой прошел обучение. В удостоверении, выданном машинисту экскаватора, должно быть указано, на какой марке экскаватора он допущен к работе.

- выбором электрооборудования и конструкции оборудования с учетом пожарной безопасности, обеспечивается путём хранения огнетушителя в доступном месте, а номер телефона пожарной команды вблизи телефонного аппарата.

Производственное оборудование должно быть пожаро-и взрывобезопасным и соответствовать требованиям безопасности в течение всего срока службы.

Производственное оборудование при эксплуатации и в условиях, установленных эксплуатационной и ремонтной документацией по ГОСТ 2.601 и ГОСТ 2.602, не должно создавать опасности в чрезвычайных ситуациях в результате воздействия влажности, высокой температуры, солнечной радиации, механических колебаний, высоких и низких давлений, агрессивных веществ, ветровых нагрузок, обледенения и других негативных факторов, которые имеют место при чрезвычайных ситуациях.

В данном дипольном проекте предложено обеспечить безопасность автоматизированного электропривода экскаватора ЭКГ-4,6Б в следующих направлениях:

Применение в конструкции безопасных материалов и веществ. Материалов и веществ с классом опасности 1-3 в конструкции не предусмотрено.

10.1.2. Безопасность элементов конструкции автоматизированного электропривода экскаватора ЭКГ-4,6Б

В этом подпункте пояснить, за счет чего в разработанной конструкции производственного оборудования предусмотрено:

- исключение возможности случайного повреждения его составных частей за счёт ограждений. Для защиты от механических повреждений провода прокладывают в металлических шлангах, а высоковольтные кабели – в металлических трубах.

- исключение возможности травмирования от движущихся, вращающихся частей, острых граней и выступающих элементов, за счёт наличия защитных кожухов, ограждений, сигнализации.

- предотвращение возможности случайного прикосновения работающих с горячими и переохлажденными частями оборудования, за счёт предупредительных таблиц, информирующих об опасности данного оборудования.

									Лист
									48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ				

- снижение воздействия на обслуживающий персонал вредных и опасных производственных факторов (повышенный уровень шума и вибрации, различные излучения и т. п.), за счёт - подавление (ослабление) шума в источниках его возникновения. При проектировании современных экскаваторов типа ЭКГ это осуществляется различными конструктивными мероприятиями: заменой ударного действия безударным, возвратно поступательные движения частей машины – вращательным; установкой агрегатов на амортизаторы и на фундаменты; демпфированием соударяющихся металлических деталей упругими материалами с большим внутренним трением (резина, асбестом, войлоком), поглощающими колебательную энергию; уменьшают уровень вибрации деталей машины путем изменения их массы; применяю гибкие связи (пружины и прокладки); заменяют металлические детали на пластмассовые и резиновые. Кроме того, проводят статическое и динамическое уравнивание движущихся частей машин; применяют минимальные допуски в сочлененных деталях.

- улавливание и отвод вредных веществ, образующихся при технологических операциях, за счёт установки кондиционера.

- исключение возможности поражения электрическим током и накопления зарядов статического электричества, за счёт обеспечения надёжной токовой защиты при пробое изоляции на корпус или нарушении изоляции в электрооборудовании.

- быстрое отключение при перегрузках, авариях и других отказах в работе оборудования, за счёт блокировки останавливающие работу машин и механизмов при возникновении неисправностей.

- предотвращение возможности самопроизвольного движения подвижных частей при ремонте, транспортировании и т. п., за счёт креплений.

- удобство и безопасность рабочего места, входящего в конструкцию оборудования, за счёт надписей, схем и других средств информации. Наличие на рабочих местах средств пожаротушения и других средств, используемых в аварийных ситуациях.

- обустройство кабин для защиты работающих от неблагоприятного влияния внешней среды и размещение самих кабин, если таковые предлагаются в проекте, за счёт создания оптимальных микроклиматических условий, удобство выполнения рабочих операций и оптимальный обзор производственного оборудования и окружающего пространства.

- безопасное и удобное сиденье, входящее в конструкцию оборудования, за счёт подлокотников, опоры для спины и необходимых случаях подставка для ног в соответствии с антропометрическими и гигиеническими требованиями.

- дополнительное освещение рабочей зоны при недостаточном освещении от цеховой осветительной системы, за счёт искусственного освещения. При этом дополнительное искусственное освещение может предусматриваться не только в темное, но и в светлое время суток.

В настоящее время нормы освещенности установлены СНиП23-05-95. Они построены на основе классификации работ по определенным количественным

										Лист
										49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ					

признакам. Ведущим признаком является наименьший размер различаемых деталей.

- оповещение при нарушении нормального режима работы или автоматическое отключение оборудования от источников энергии при опасных неисправностях, авариях и при режимах работы, близких к опасным, а также при возникновении чрезвычайных ситуаций, за счёт средств сигнализации и других средств информации, предупреждающих о нарушении функционирования производственного оборудования, приводящих к возникновению опасных ситуаций.

10.1.3. Безопасность исходных материалов

При проектировании оборудования его безопасность обеспечивается, прежде всего, использованием в конструкции безопасных материалов и веществ. Не допускается применять вещества и материалы, не прошедшие гигиеническую проверку и поверку на пожароопасность.

Таблица 1.2 - Вещества и материалы, входящие в конструкцию станка и обращающиеся в технологических операциях.

Общее количество выделяемых вредных веществ при работе землеройной техники и автотранспорта в карьере.

Наименование Материалов и веществ	Класс Опасност и	Воздействи е на человека*	ПДК (мг/м ³) в воздухе	
			Рабочей зоны	тропобио- сферы **
1. Азота оксид (0301)	III	О	250	
2. Азот оксид (0304)	III	О	400	
3. Сера диоксид (0330)	III	А	500	
4. Углерод черный (0328) (сажа)	III	Ф, К	150	
5. Углерод оксид (0337)	IV	О	5000	
6. Выброс пыли, в том числе: -при погрузке -при транспортировке в пределах карьера -пыление отвалов вскрытых парод	III	Ф	150	
7. Ангидрит сернистый	III	-	10	
8. Углерода пыли:				
а) коксы каменноугольный,	IV	Ф	6	

пековый, нефтяной, сланцевый				
б) антрацит с содержанием свободного диоксида кремния до 5 %	IV	Ф	6	
в) другие ископаемые угли и углепородные пыли с содержанием свободного диоксида кремния:				
до 5 %	IV	Ф	10	
от 5 % до 10 %	III	Ф	4	

О - вещества с остронаправленным механизмом действия, требующие автоматического контроля за их содержанием в воздухе;

А - вещества, способные вызывать аллергические заболевания в производственных условиях;

К - канцерогены;

Ф - аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

Техника в ходе ведения работ будет рассредоточена на площади, что исключает сильную загазованность территории. Рассеивание загрязняющих веществ препятствует накоплению в атмосферном воздухе высоких концентраций вредных веществ, а на границе санитарно-защитной зоны концентрация данных веществ не превысит допустимой.

10.1.4. Безопасность средств защиты, входящих в конструкцию автоматизированного экскаватора ЭКГ-4,6Б

Их конструируют с учетом требований ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.2.049, ГОСТ 12.2.061 и др. В проекте учтены два направления требований:

- обеспечение безопасности при эксплуатации оборудования с помощью предлагаемых средств защиты.

Производственное оборудование в процессе эксплуатации должно отвечать требованиям безопасности в течение всего периода эксплуатации при выполнении требований, установленных эксплуатационной документацией.

- непосредственную безопасность от самих средств защиты.

Части производственного оборудования, механическое повреждение которых может вызывать возникновение опасности, должны быть защищены ограждениями или расположены так, чтобы предотвратить их случайное повреждение работающими или средствами технического обслуживания.

10.1.4.1. Перечень средств защиты. Применяемые в оборудовании средства защиты рекомендуется свести в таблицу 1.1.

										Лист
										51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ					

Во время выполнения технического обслуживания необходимо быть особенно внимательным. При обслуживании отдельных деталей и узлов могут потребоваться дополнительные ограждения.

10.1.7. Безопасность при транспортировке и хранении экскаватора ЭКГ-4,6Б

Экскаваторы ЭКГ-4,6БА относятся к тяжеловесным и крупногабаритным грузам. Перевозка экскаваторов ЭКГ-4,6БА может осуществляться специальными автотранспортными средствами или транспортерами на железнодорожном ходу. При транспортировке экскаватора ЭКГ-4,6БА необходимо опустить (или снять), рабочее оборудование и демонтировать двуногую стойку. Для перевозки экскаватора автотранспортом рекомендуется использовать прицеп ЧМЗАП-5530 или ЧМЗАП-8388 и тягача КЗКТ-537Л.

Храните электрооборудование до его установки на экскаваторе в сухом помещении при отсутствии пыли и вредных газов.

Предохраняйте электрооборудование от попадания в него влаги.

Проводите при хранении электрооборудования проверку его консервации.

Переконсервируйте электрооборудование при необходимости.

При хранении электрооборудования, на которое имеются инструкции по хранению и консервации заводов-изготовителей, руководствуйтесь этими инструкциями.

10.1.8. Безопасность при размещении экскаватора ЭКГ-4,6Б на площадке

При эксплуатации экскаватора необходимо строго соблюдать меры безопасности. Перед началом работы осматривают забой и площадку и убеждаются в отсутствии козырьков и угрозы обрушения уступа. приступая к работе, подают предупредительный сигнал. Нахождение людей и механизмов в радиусе действия ковша запрещается.

На период взрывных работ экскаватор отводится на безопасное расстояние, а персонал удаляется в укрытие.

Не разрешается работа экскаватора с неисправными тормозами и звуковым сигналом, а также со снятыми с механизмов ограждениями.

При работе экскаватора не допускается: удары ковшом и рукоятью о стрелу, гусеницы и грунт, а также о транспортные средства, перенос ковшем негабаритных кусков, резкое торможение поворотной платформы.

Одним из основных требований по технике безопасности является недопущение прикасания к токоведущим частям электрооборудования экскаватора, для чего они закрываются и монтируются в специальных защитных высоковольтных распределительных устройствах.

Категорически запрещается открывать камеру или кожух высоковольтного токоприемника или вводного ящика экскаватора, если они находятся под напряжением. На дверце камеры вывешивается предупредительный знак

									Лист
									53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ				

«Осторожно! Электрический ток!». Для их осмотра или ремонта отключается напряжение на подстанции или распределительном пункте, питающем экскаватор.

На рукояти приводов масляного выключателя и разъединителя вывешиваются запрещающие знаки «Не включать – работают люди!» и накладывается переносное заземление. После отключения высокого напряжения открывают вводной ящик и проверяют отсутствие напряжения, а затем на ящик ставят переносное заземление.

Для защиты от механических повреждений провода прокладывают в металлических шлангах, а высоковольтные кабели – в металлических трубах. Наконечники заземляющих жил в вводном ящике и высоковольтной камере присоединяют (каждый в отдельности) болтами к банкам заземления. Корпуса генераторов, двигателей постоянного и переменного тока, высоковольтного ящика, а также кожух силового трансформатора надежно заземляют и соединяют с поворотной платформой. Масляный выключатель заземляют при помощи специальных болтов, укрепленных на баке и обозначенных знаком «Заземление».

Обязательному заземлению подлежат металлические шланги с проводами для питания электродвигателей и освещения.

Количество масла в масляном выключателе поддерживается на уровне риски маслоуказательного стекла. Переливать или доливать масло запрещается! При отсутствии масла в маслоуказательной трубке не разрешается пользоваться масляным выключателем.

В этом случае обесточивают экскаватор с подстанции или распределительного пункта и доливают масло до нужного уровня.

Площадка для обслуживания высоковольтного распределительного устройства покрывается резиновым ковриком. Закреплять этот коврик нужно аккуратно, без нарушения его электрической прочности.

Во избежание обрыва фаз высоковольтного кабеля и выдергивания кабеля из наконечников при выходе его из трубы нижней рамы обязательно накладывается на вводный ящик специальная предохранительная сетка. Один ее конец прикрепляют к опорной яме.

При передвижении экскаватора кабель имеет запас длины, с тем, чтобы исключить его натяжение и обрыв.

При эксплуатации экскаватора обращается особое внимание на состояние приборов внутреннего и внешнего освещения, так как хорошая освещенность экскаватора и забоя повышает производительность машины, сокращают возможность получения случайных травм и поломок механизмов.

Наложение переносных заземлений, осмотр масляного выключателя и трансформатора, взятие проб и заливка масла проводятся согласно правилам техники безопасности.

Все проходы для обслуживания электрооборудования поддерживаются свободными.

10.1.9. Требования безопасности к профессиональному отбору

									Лист
									54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ

Так как любая спецтехника несет в себе определенные риски для здоровья и жизни людей, производство земляных работ с использованием экскаватора должно осуществляться в условиях строжайшего соблюдения техники безопасности и охраны труда.

Машинист экскаватора может быть допущен к работе только на той машине, по которой прошел обучение. В удостоверении, выданном машинисту экскаватора, должно быть указано, на какой марке экскаватора он допущен к работе.

Персонал, обслуживающий электротехнические установки экскаватора изучает «Правила техники безопасности при эксплуатации электротехнических установок промышленных предприятий», а также «Правила технической эксплуатации электроустановок промышленных предприятий» и один раз в году сдает экзамены для подтверждения квалификационной группы.

10.1.10. Пожарная безопасность

При возникновении пожара на экскаваторе машинист должен немедленно приступить к его тушению, используя имеющиеся на экскаваторе огнетушители, при необходимости, сообщить в пожарную охрану лично или через находящихся рядом людей.

10.1.11. Безопасность при чрезвычайных ситуациях

При работе на экскаваторе могут возникнуть следующие основные аварийные ситуации:

- повреждение и падение экскаватора в результате обрушения или оползания грунта;
- повреждение экскаватора кусками породы при их падения сверху;
- пожар;

В случае угрозы обрушения или оползания грунта во время работы экскаватора, а также при повреждении экскаватора кусками породы при их падении сверху, машинист обязан немедленно прекратить работу, отвести экскаватор в безопасное место и сообщить случившемся своему непосредственному руководителю. Для отвода экскаватора машинист должен всегда оставлять свободный проход. При травмах или поражениях электрическим током машинист обязан оказать пострадавшему первую медицинскую помощь и сообщить о случившемся руководителю работ.

10.2. Экологическая безопасность автоматизированного электропривода экскаватора ЭКГ-4,6Б

10.2.1. Экологическая безопасность исходных материалов и веществ, входящих в конструкцию оборудования.

					13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Все материалы и вещества входящие в конструкцию экскаватора ЭКГ-4,6Б отвечают всем санитарно-гигиеническим требованиям.

10.2.2. Экологическая безопасность материалов и веществ, обращающихся в технологических операциях.

При ведении горных работ и рекультивации карьера ожидается выделение в атмосферу загрязняющих веществ от следующих источников:

- Пылевыведение при погрузке автотранспорта;
- Пылевыведение от движения автосамосвалов по карьере;
- Выбросы загрязняющих веществ от двигателей бульдозера и автомашин, работающих в карьере.

В целях максимального использования естественного проветривания и предупреждения образования застойных зон горные работы в карьере следует вести с равным опережением уступов относительно друг друга. Для улучшения естественного воздухообмена в карьерах должны предусматриваться ветронаправляющие и ветрозащитные устройства. При накоплении вредных газов выше ПДК в застойных зонах и карьерах глубиной более 100 м с применением автотранспорта и возможных затяжных штилях должны предусматриваться механическая вентиляция с использованием специальных карьерных вентиляторов или установок. Выбор типа вентиляционных установок и схема их размещения должны зависеть от формы и размеров карьера, направления горных работ, розы ветров. При проходке штолен и минных камер длиной более 10 м должна быть организована механическая вентиляция с помощью вентиляторов местного проветривания.

10.2.3 Выброс в атмосферу и сброс в сточные воды вредных веществ от спроектированного (модернизированного) оборудования.

Состояние воздушной среды характеризуется также уровнем запыленности или загазованности воздуха рабочей зоны. Выполнение различных производственных работ нередко сопровождается выделением в воздушную среду вредных веществ, которые могут вызвать профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья человека. Для воздуха рабочей зоны производственных помещений в соответствии с ГОСТ 12.1.005–88 (с изм. № 1 от 2000 г.) установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ.

Определение концентрации загрязнителей возможно путем замеров или расчетными методами. В случае превышения нормативов концентрации вредных веществ в воздухе следует указать методы и средства обеспечения безопасной концентрации вредных веществ – коллективные и индивидуальные средства защиты (герметизация оборудования и нейтрализация вредных веществ, дистанционное управление, вентиляция).

10.2.1. Экологическая безопасность исходных материалов

Перечислить все материалы и вещества, входящие в конструкцию оборудования. Основные их характеристики свести в таблицу 1.2.

									Лист
									56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2017.125.00.00 ПЗ				

Таблица 10.2 - Вещества и материалы, входящие в конструкцию экскаватора ЭКГ-4,6Б

Наименование Материалов и веществ	Класс Опасности	Воздействие на человека
1. Сталь	IV	-
2. Поливинилхлорид (пластмасса)	III	-
3. Резина	IV	-
4. Чугун	IV	-
5. Бронза	IV	-
6. Железо	IV	-
7. Медь	II	-