

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника
(бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Асинхронный электропривод механизма передвижения крана

УДК 62-83-523:621.771.06-589.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	Эрматов Бахтиёр Исометдинович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Розаев И. А.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

(Подпись) _____ (Дата) Ю.Н. Дементьев
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА2	Эрматову Бахтиёру Исометдиновичу

Тема работы:

Асинхронный электропривод механизма передвижения крана	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технологического процесса; расчет и исследование электропривода, выбор основного электрического оборудования; принципиальная электрическая схема, защита и сигнализация; социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.

Перечень материала	графического	<ul style="list-style-type: none"> - схема кинематическая механизма передвижения; - схема электрическая функциональная; - схема структурная короткозамкнутого асинхронного двигателя в неподвижной системе координат; - схема структурная динамической модели короткозамкнутого асинхронного двигателя во вращающейся системе координат; - схема имитационной модели короткозамкнутого асинхронного двигателя во вращающейся системе координат; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна	
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Заключение		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2018г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Розаев И. А.			05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	Эрматов Бахтиёр Исметдинович		05.04.2018г.

Реферат

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ, КОНТУР СКОРОСТИ, ИЯ, ОПТИМАЛЬНАЯ НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРОВ.

Объект исследования — электропривод перемещения козлового крана .

Цель работы — разработка регулируемого электропривода для механизма передвижения козлового крана.

Методами теории оптимального управления построены структурные схемы электропривода в неподвижной и вращающейся системе координат, проведено исследование системы на математической аналоговой модели.

В результате исследования показана высокая точность перемещения груза в заданное положение, плавность при пуске и торможении.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели разработанной системы:

высокая точность отработки заданного сигнала;

возможность управления от существующих аналоговых командо-контроллеров пульта управления кабины;

снижение энергопотребления до 40%.

Эффективность разработанной системы управления определяется применением комплексного преобразователя, а также использованием современной элементной базы.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	7
1 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КОЗЛОВОГО КРАНА ЛТ-62	9
1.1 УСТРОЙСТВО И РАБОТА СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ПЕРЕГРУЗЧИКА. МЕХАНИЗМ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ	9
1.2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ	14
1.3. ЦЕЛЬ РАБОТЫ	15
2 РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ	16
2.1 РАСЧЁТ ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КРАНА	16
2.1.1 РАСЧЁТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ	19
2.1.2 РАСЧЁТ СТАТИЧЕСКОГО МОМЕНТА НА ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ	19
2.1.3 РАСЧЁТ ДИНАМИЧЕСКОГО МОМЕНТА НА ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ	20
2.1.4 РАСЧЁТ ПОЛНОГО МОМЕНТА НА ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ	21
2.2 ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ	21
2.3 ПРОВЕРКА ДВИГАТЕЛЯ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ	22
2.3.1 ПРОВЕРКА ЗАПАСА СЦЕПЛЕНИЯ КОЛЁС	22
2.3.2 ПРОВЕРКА ВЫБОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОМУ УСКОРЕНИЮ	23
2.3.3 ПРОВЕРКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО ТЕПЛОВОМУ РЕЖИМУ	25
2.4 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ	27
2.5 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ МТКФ (Н) 311-6	28
2.5.1 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ МТКФ (Н) 311-6	28
2.5.2 МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	32
2.5.3 ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	34
2.6 СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКАЛЯРНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ	35
2.7 РАСЧЁТ И ВЫБОР ТОРМОЗНОГО РЕЗИСТОРА ДЛЯ МОСТА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ	38
3 МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	40
3.1 ВЕКТОРЫ ТОКОВ, НАПРЯЖЕНИЙ И ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЙ ТРЁХФАЗНОЙ МАШИНЫ	40
3.2 ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ ТРЁХФАЗНОЙ МАШИНЫ	43
3.5 КОРОТКОЗАМКНУТЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ	55
4 ПАРАМЕТРЫ ЗВЕНЬЕВ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ДВИГАТЕЛЯ	58
5 ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДВУХФАЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ	59
6 МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЗАДАТЧИКОМ ИНТЕНСИВНОСТИ	63
7 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ И ВЫБОР УСТАНАВЛИВАЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ	67
7.1 ВНЕШНИЙ ВИД, КОМПЛЕКТАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ATV71HD37M3X	67

7.2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДКЛЮЧЕНИЯ	69
7.3.ХАРАКТЕРИСТИКИКОММУНИКАЦИОННЫХПОРТОВ	73
7.5 ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ	75
7.4.1 КОММУНИКАЦИОННЫЕ КАРТЫ И КАРТА КОНТРОЛЛЕРА	75
7.4.2 ДИАЛОГОВЫЕ СРЕДСТВА	76
7.4.3 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ POWERSUITE	78
7.4.4 ВЫНОСНОЙ ГРАФИЧЕСКИЙ ТЕРМИНАЛ	80
7.3.5. ДРОССЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА	81
7.4.6 СЕТЕВОЙ ДРОССЕЛЬ	82
7.4.7 ТОРМОЗНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ	83
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	84
8 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	85
8.1 ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА	86
8.2 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ	86
8.3 ВЫБОР И ОБОСНОВАНИИ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	88
8.4 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ	90
8.5 БЮДЖЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ КРАНА	96
8.6 РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНЫХ ЗАТРАТ НТИ	97
8.7 РАСЧЕТ ЗАТРАТ НА СПЕЦИАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАУЧНЫХ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ) РАБОТ	99
8.8 ОСНОВНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА ИСПОЛНИТЕЛЕЙ ТЕМЫ	100
8.9 ФОРМИРОВАНИЕ БЮДЖЕТА ЗАТРАТ НА МОДЕРНИЗАЦИЮ	102
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	103
9 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.	105
9.1 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	106
9.2 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	111
9.3 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ	112
9.4 ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	116
THE CONCLUSION	117
ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	118
ПРИЛОЖЕНИЕ А	121

Введение

Возрастающие технологические требования к качеству производственных процессов, необходимость использования высоких технологий обуславливают устойчивую тенденцию внедрения в различные отрасли промышленного производства современных регулируемых электроприводов.

В настоящее время самым распространённым двигателем промышленных электроприводов является трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Он является в настоящее время самым простым, надёжным и дешёвым электроприводом в широком диапазоне частоты вращения и мощности.

Применение частотно-регулируемого асинхронного электропривода в механизмах подъёмно-транспортного оборудования является эффективным методом повышения технологичности производства.

Использование таких приводов позволяет:

1. Значительно, до 40% снизить энергопотребление крана, что особенно актуально при растущих тарифах на энергоносители.

2. Осуществить разгон и торможение двигателя плавно, по линейному закону от времени, при варьировании времени разгона и времени торможения от долей секунд до 50 минут.

3. Повысить комфортные показатели при движении крана и долговечность механического оборудования благодаря плавности переходных процессов.

4. Защитить двигатель от перегрузок по току, перегрева, утечек на землю и от обрывов в цепи питания двигателя.

5. Снизить эксплуатационные расходы на капитальный ремонт оборудования за счёт значительного снижения динамических нагрузок в элементах кинематической цепи.

6. Изменять скорости и ускорения движения механизмов крана применительно к конкретным технологическим задачам.

Эффективность и экономичность таких приводов в значительной степени зависит от правильности выбора номинальных параметров их основных элементов, т.е. двигателя и преобразователя частоты. Преобразователь ALTIVAR 71, применяемый для модернизации в данном крановом приводе, обладает всеми необходимыми функциями для управления крановыми приводами. Контроль состояния тормоза, позиционирование с помощью концевых выключателей, выравнивание нагрузки, управление тормозом, адаптированное для механизмов перемещения, управление моментом, измерение нагрузки – это далеко не полный перечень возможностей данного преобразователя.

Крановые электроприводы с этими преобразователями прошли проверку и испытание при работе не только в России, но также за рубежом, поэтому компания Schneider Electric, выпускающая данную приводную технику, получила положительные отзывы со стороны потребителей.

1. Техническое описание козлового крана ЛТ-62

В данном дипломном проекте проведена модернизация электропривода козлового крана ЛТ-62 для более надёжного и экономичного использования оборудования, которое позволяет более безопасно и эффективно осуществлять работу при пусковых и тормозных режимах для передвижения крана.

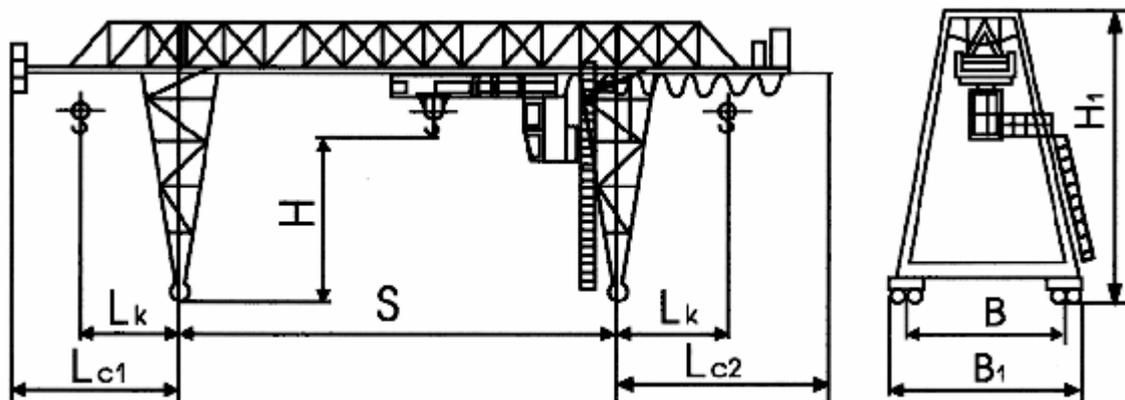


Рисунок 1. Общий вид козлового крана ЛТ-62

1.1. Устройство и работа составных частей перегрузчика

Механизм передвижения

Механизм передвижения с ведущими катками (рис.2) состоит из рамы 1, двух ходовых колёс 2 с зубчатыми венцами 3, опоры 4, промежуточной шестерни 5, противоугонного захвата 6 и привода.

С торцов рамы установлены щиты 7, предназначенные для очистки рельсов от посторонних предметов. С помощью винта 8 противоугонные захваты зажимают головку рельса, благодаря чему перегрузчик удерживается от перемещения.

Привод, состоящий из электродвигателя 9, муфты 10, тормоза 11, редуктора 12 и выносной опоры 13, смонтирован на отдельной раме и с помощью шестерни 14, зацепляется зубчатым венцом одного колеса. На одном из механизмов передвижения установлен конечный выключатель 15, ограничивающий движение перегрузчика по рельсовым путям. Колёса и

тормоз закрыты кожухами. С одной стороны механизма установлен упругий упор 16.

Катки ведомые отличаются от механизмов передвижения отсутствием привода, зубчатых венцов на колёсах и промежуточной шестерни. При работе двух и более перегрузчиков на одном рельсовом пути на ведомых катках должны быть установлены отключающие штанги.

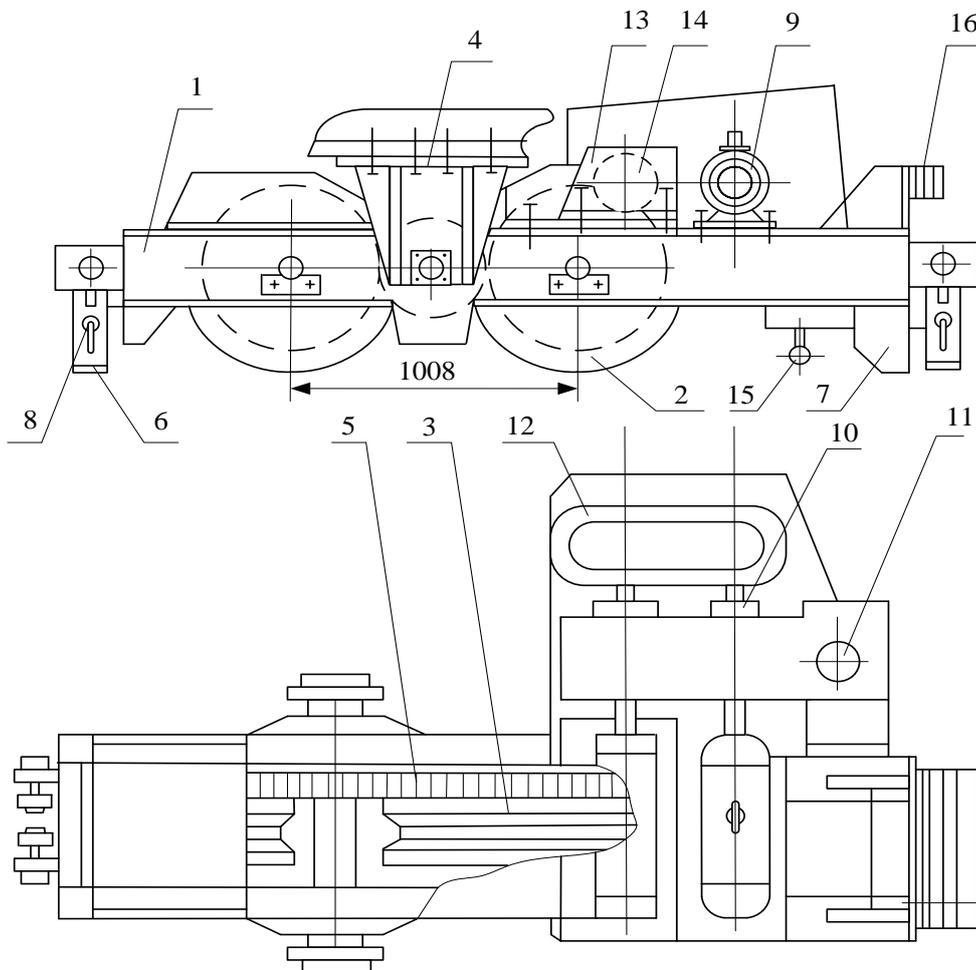


Рисунок 2. Кинематическая схема механизма передвижения

Лебёдка тяговая

Лебёдка тяговая (для передвижения грузовой тележки) (рис.3) состоит из рамы 1, редуктора 2, тормоза 3, тормозной муфты 4, электродвигателя 5, барабана 6, подшипника 7. Тормоз закрыт кожухом 8. Канат тяговой лебёдки закреплён нижней ветвью на грузовой тележке, верхней опирается на роликовую опору, установленную на грузовой тележке.

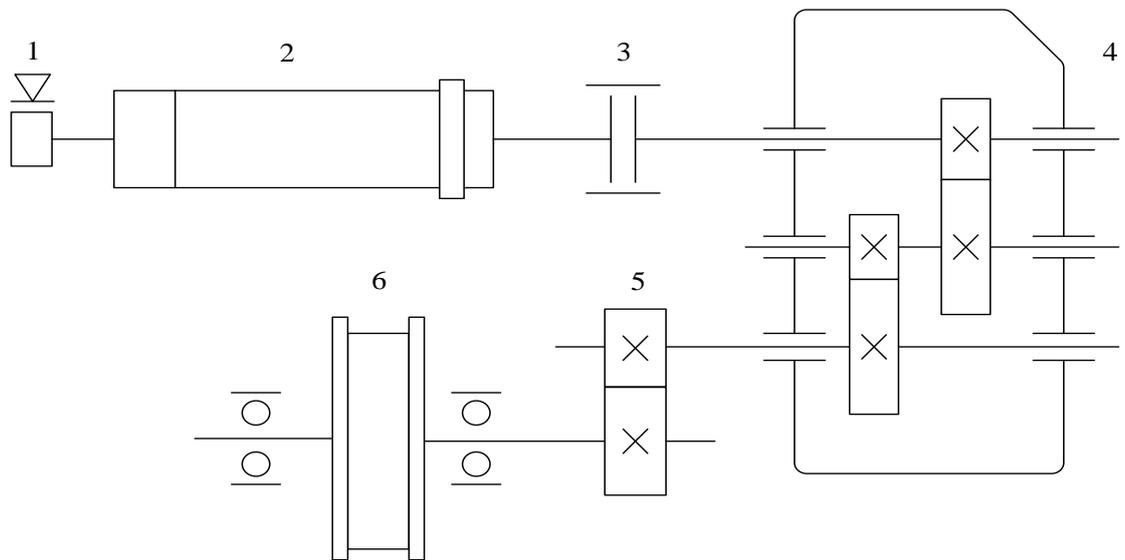


Рисунок 3. Лебёдка тяговая

Лебёдка грузовая

На перегрузчике установлены две грузовых лебёдки (рисунок 4), работающие одновременно, с их помощью производится подъём траверсы с грейфером. Лебёдка грузовая состоит из рамы 1, редуктора 2, барабана 3, опоры барабана 4, тормоза 5, тормозной муфты 6, электродвигателя 7. Тормоз закрыт кожухом 8.

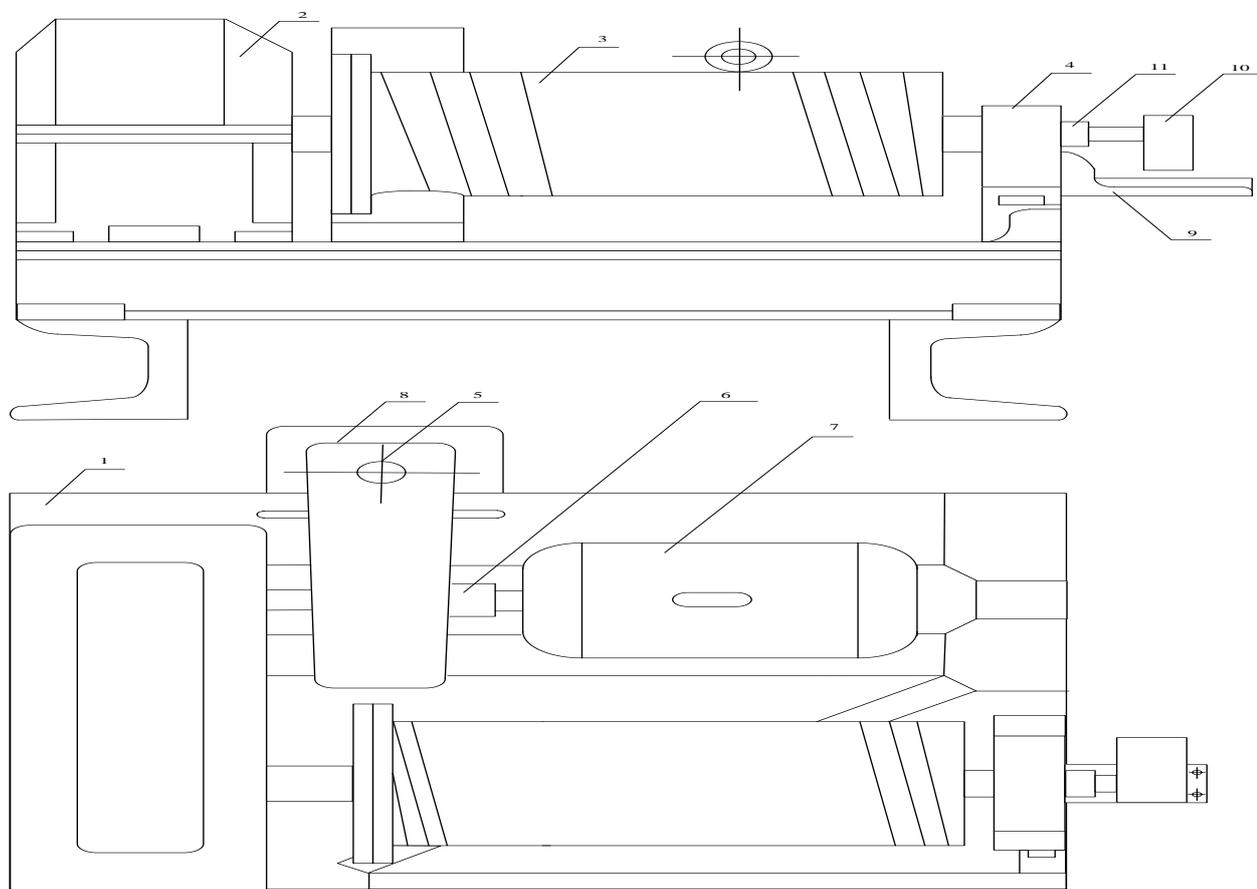


Рисунок 4. Лебёдка грузовая.

Кабина

Металлический каркас кабины полностью остеклён небьющимся стеклом, обшит внутри теплоизоляционным материалом, древесно-волокнистой плитой и пластиком. Кабина имеет распашную дверь, фонарь, с раздвижным окном. Кабина устанавливается на площадку верхней вставки жёсткой опоры перегрузчика.

Кабина снабжена регулируемым по высоте и горизонтали поворотным сидением и электрическими тепловентиляторами. В кабине установлены контроллеры, которыми производится управление краном. Рычаги приводов контроллеров выведены на пульте управления. Нулевые положения контроллеров должны совпадать с нулевыми положениями табличек и рукояток управления. Рабочие перемещения рычагов должны совпадать с направлениями движения груза.

Тележка грузовая

На верхней плоскости тележки установлены пять поддерживающих роликов, исключающих трение тягового и грузового канатов о раму тележки. Тяговый канат при помощи талрепов, закреплён на раме тележки. С торцов рамы тележки закреплены деревянные брусья, смягчающие удары тележки о тупиковые упоры ригеля; тележка имеет металлический настил, ограждения и ремонтные площадки. В раме тележки имеется гнездо для установки крана ручного консольно-поворотного. Для предохранения тележки грузовой от опрокидывания в процессе работы на раме устанавливаются четыре противоопрокидывающих захвата, по два с каждой стороны, которые находятся в зацеплении с рельсом.

Траверса

Траверса (рисунок 5) состоит из балки 1, двух пар блоков 2 и специального устройства 3 для навешивания грейфера или крюковой подвески.

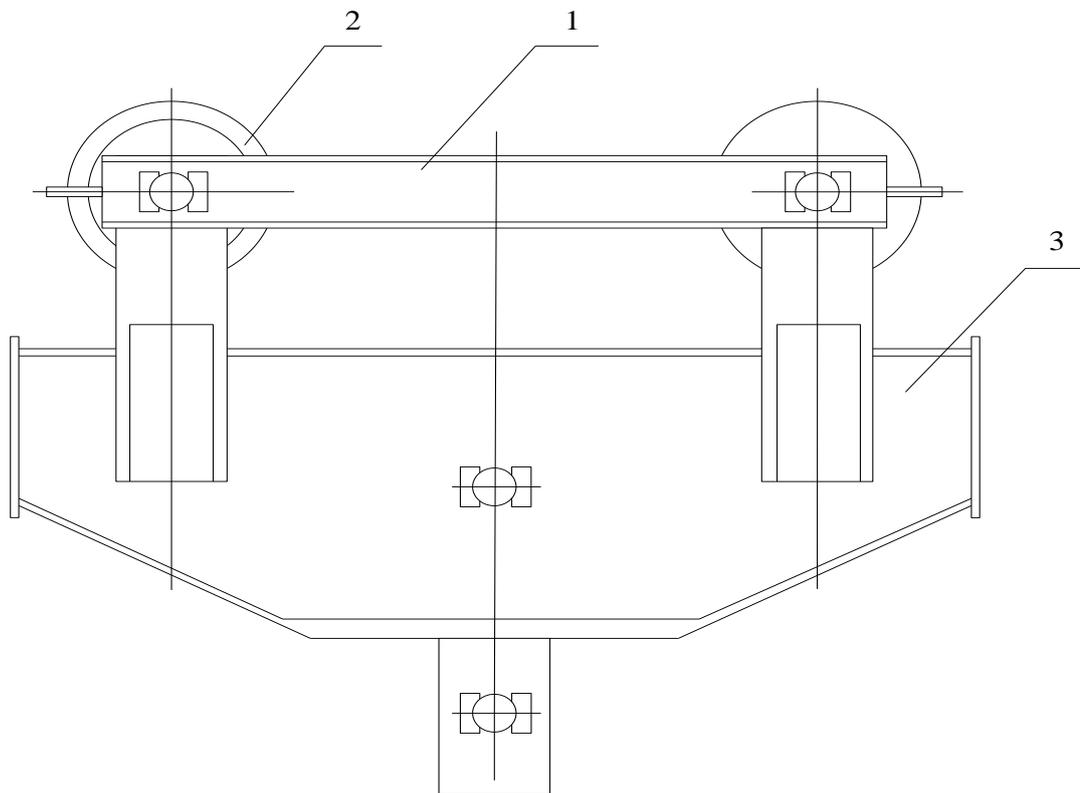


Рисунок 5. Траверса

Схема подвода электропитания к грейферу. Вдоль ригеля на крюках установлен канат, по которому на кольцах скользит гибкий кабель. На площадке грузовой тележки установлена стойка, на которой фиксируется кабель. За счёт собственного веса кабель свисает прямо в корзину, установленную на траверсу.

Электрооборудование

Перегрузчик рассчитан для работы от электрической сети трёхфазного переменного тока, напряжением 380 вольт, частотой 50 герц. Цепь управления электроприводами перегрузчика выполнена также на переменном токе, напряжением 380 вольт, а цепь управления грейфером на 110 вольт. Цепь общего освещения выполнена на 220 вольт, а цепь освещения в кабине и на ригеле – 12 вольт, через трансформатор 380/110/12В.

Цепь для ремонтного освещения выполнена через тот же понижающий трансформатор, напряжением высокой стороны 380 вольт и вторичной обмотки на 12 вольт.

Для приводов механизма перегрузчика применяют крановые электродвигатели с фазным ротором, рассчитанные для работы в повторно-кратковременном режиме. Обмотки электродвигателей для работы от трёхфазной сети напряжением 380 вольт соединены в звезду.

1.2. Технические данные

Основные параметры и характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные параметры и характеристики крана ЛТ-62

Наименование показателей	Норма
Грузоподъёмность номинальная, т	32
Наибольшая высота подъёма груза, м	11,8
Скорость подъёма груза, м/мин	13,4 ± 1,0
Скорость передвижения тележки	32,6 ± 1,0
Скорость плавной посадки груза	12,0 ± 1,0
Скорость передвижения перегрузчика	51,0 ± 2,0
Установленная мощность, кВт, не более	129
Режим работы двигателей, ПВ %	средний 25
Длина пролёта, м:	40 – 0,04
Масса конструктивная, т	95,6

Технические данные канатов, установленных на перегрузчике, приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Технические данные канатов, установленных на перегрузчике

Наименование	Диаметр, мм	Длина		Обозначение
		пролёт, м		
		32	40	
Канат грузовой (2 конца)	21,5	187	203	21,5-Г-В-Н-180 ГОСТ 3079-69
Тяговой канат передвижения тележки	15,0	102	126	15-Г-1-Н-170 ГОСТ 3081-69

Технические данные лебёдки грузовой:

- Тяговое усилие номинальное, Н – 3899
- Тяговое усилие максимальное, Н – 4506
- Диаметр каната, мм – 21,5
- Диаметр барабана, мм – 571,5
- Передаточное число редуктора У2У-400Н-25-22М – 25

Технические данные механизма передвижения перегружчика:

- Передаточное число редуктора У2У-200-12,5-22 – 12,5
- Передаточное число открытой зубчатой зубной пары – 2,82
- Общее передаточное число – 35,4
- Диаметр ходового колеса, мм – 600

1.3. Цель работы

В настоящее время большинство крановых механизмов, также как данный кран ЛТ-62, снабжено асинхронными двигателями с фазным ротором. Процесс пуска осуществляется по характеристикам реостатного управления, когда из ротора дискретно выводятся ступени сопротивления. Торможение крана осуществляется за счёт использования режима противовключения двигателя. Частые переключения из двигательного в тормозной режим при подходе к заданной точке останова механизма перемещения крана приводят к возникновению максимальных ударных моментов двигателя, ускоренному выходу его из строя и снижению времени безаварийной работы. Режим пониженной скорости обеспечивается введением в ротор сопротивлений, что связано с возрастанием скольжения двигателя и увеличением электрических потерь. Отсюда следует, что применяемая система асинхронного электропривода не решает технологических задач и приводит к повышенному энергопотреблению. Использование частотно-регулируемого асинхронного электропривода с короткозамкнутым асинхронным двигателем позволяет существенно повысить надёжность работы подъёмного крана,

увеличить период его безаварийной работы и уменьшить электропотребление.

Поэтому целью данной работы является выбор электропривода механизма передвижения крана, то есть выбор такого преобразователя частоты, который будет обеспечивать плавный пуск асинхронного двигателя, а значит, плавное изменение момента двигателя, потому что электропривод перемещения крана при пуске обладает большими маховыми массами и большим диапазоном регулирования по скорости по сравнению с другими приводами крана. Но прежде выбора преобразователя необходимо рассчитать мощность механизма и асинхронного короткозамкнутого двигателя, которым нужно заменить применяемый двигатель с фазным ротором.

2. Расчётная часть

2.1. Расчёт двигателей перемещения крана

Грузоподъёмные машины характеризуется степенью загрузки.

Коэффициент использования крана по грузоподъёмности:

$$K_{гр} = \frac{Q_{ср}}{Q_{ном}}, \quad K_{гр} = \frac{30000}{32000} = 0,94, \quad (2.1)$$

где $Q_{ср} = 30000\text{кг}$ – среднее значение поднимаемого груза за смену, кг.

Кран имеет чётко выраженный циклический режим работы, поэтому для него характерна типовая циклограмма работы козлового крана(рисунок 6).

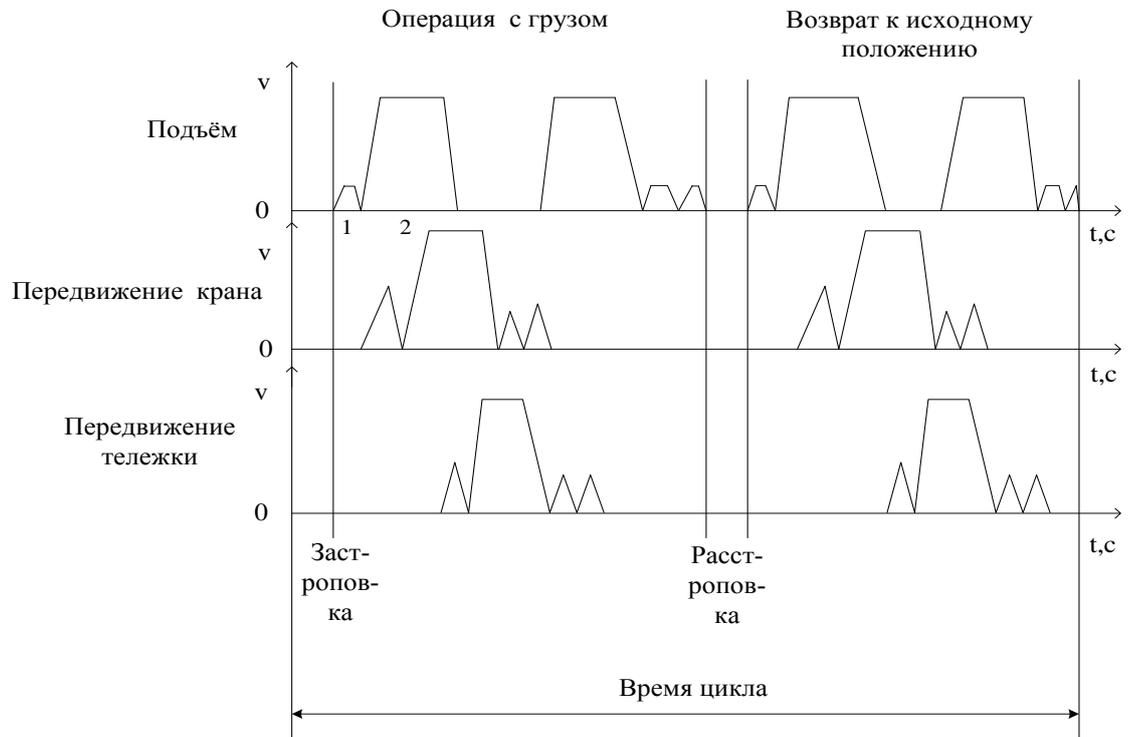


Рисунок 6. Типовая циклограмма работы крана

Данные для расчёта:

грузоподъёмность на крюке, кг: $Q_1 = 32000\text{кг}$;

масса моста, кг: $J_m = 88000\text{кг}$;

масса тележки с траверсой, кг: $J_t = 3000\text{кг}$;

номинальная скорость передвижения перегрузчика, м/с: $v_{\text{ном}} = 0,85\text{м/с}$;

КПД механизма передвижения: $\eta = 0,85$;

диаметр цапфы(подшипников) ходового колеса: $d = 0,15\text{м}$;

диаметр ходового колеса: $D = 0,6\text{м}$;

передаточное отношение механизма: $i = 35,4$;

передаточное отношение редуктора: $i_p = 12,5$;

передаточное отношение открытой зубчатой зубной пары: $i_{\text{зп}} = 2,82$;

коэффициент трения качения колеса: $\mu = 0,5 \cdot 10^{-3}$;

коэффициент трения качения реборды колеса: $k_p = 2$;

коэффициент формы ходового колеса: $k_{\text{рб}} = 1,3$;

коэффициент трения в подшипнике: $f = 0,015$;

коэффициент, учитывающий режим работы механизма, вид

управляющего устройства и электропривода, см. табл.4 в [1.с.28],
для асинхронного односкоростного двигателя в системе частотного
регулирования: $k_T = 1,15$ (при лёгком режиме работы, 60 включений в
час);

маховый момент ротора двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$: $J_d = 0,538 \text{кг} \cdot \text{м}^2$;

маховый момент тормозного шкива, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$: $J_{sh} = 0,065 \text{кг} \cdot \text{м}^2$;

маховый момент муфты, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$: $J_{mf} = 0,7 \text{кг} \cdot \text{м}^2$;

номинальная скорость вращения ротора, об/мин: $n_{ном} = 945 \text{об/мин}$;

требуемое ускорение при пуске, м/с^2 : $a = 0,5 \text{м/с}^2$;

время разгона, с: $t = 4 \text{с}$;

сервис-фактор (допустимая перегрузка двигателя при номинальном
напряжении и частоте питающего напряжения) для электродвигателей
принимается $\lambda = 1$;

коэффициент запаса, с учётом влияния динамических нагрузок,
принимается согласно ТЗ: $k_z = 1,15$;

коэффициент влияния масс механизма: $\delta = 1,1$;

коэффициент снижения момента от температуры окружающей среды,
для температуры окружающей среды 40°C : $f_t = 1$;

коэффициент снижения момента при высоте над уровнем моря выше
1000м над уровнем моря: $f_h = 1$;

коэффициент снижения момента при посадках напряжения питания;
согласно ТЗ напряжение питания $380 \pm 10\% \text{В}$, так как максимальный момент
уменьшается согласно квадрату напряжения, при его посадке на 10%
значение коэффициента снижения момента будет $f_U = 0,9^2 = 0,81$;

коэффициент снижения момента при скорости вращения ротора выше
синхронной $f_\omega = 1$;

число приводных колёс: $n_{пр} = 2$;

общее число колёс: $n = 4$;

число механизмов передвижения: $n_k = 2$;

ускорение свободного падения, m/c^2 : $g = 9,81$;

масса редуктора, кг: 50кг;

масса ходового колеса, кг: 40кг

2.1.1. Расчёт предварительной мощности двигателя

Расчётная статическая мощность для козловых и любых кранов, работающих на открытом воздухе, кроме судовых или работающих в портах, с учётом ветровой нагрузки, определяется по формуле:

$$P_{ст.г} = \frac{V_{НОМ}}{10^3 \cdot \eta} \left[(G + Q_1) \left(\frac{f \cdot d + 2\mu}{D} k_{рб} + \beta \right) + 160(0,8\sqrt[3]{G} + 0,2\sqrt[3]{Q}) \right] \quad (2.2)$$

$$P_{ст.г} = \frac{0,85}{10^3 \cdot 0,85} \cdot \left[(91000 + 32000) \left(\frac{0,015 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}}{0,6} 1,3 + 0,01 \right) + 160(0,8\sqrt[3]{G} + 0,2\sqrt[3]{Q}) \right] =$$
$$= 8,9 \text{ кВт.}$$

Расчёт предварительной мощности производится по формуле:

$$P_c \geq \frac{P_{ст.г}}{k_T} = \frac{8,9}{1,1} = 8,1 \text{ кВт.} \quad (2.3)$$

2.1.2. Расчёт статического момента на валу двигателя

Для крановых механизмов типовая продолжительность включения принята $ПВ\% = 40\%$. Поэтому расчётные моменты будут относиться к стандартным ПВ в расчётах.

Для расчёта принимаем следующие условия:

1) два электропривода, по одному на каждой торцевой балке;

2) тележка с краю, (т.е. нагрузка на электропривод моста делится поровну, а нагрузка от тележки и груза полностью воздействует на один из приводов).

Статический момент на валу наиболее нагруженного двигателя равен:

$$M_{st} = \frac{k_p \left(\frac{J_m}{2} + J_t + Q_1 \right) (f \cdot d + 2 \cdot \mu) \cdot g}{2 \cdot i \cdot \eta}; \quad (2.4)$$

$$M_{st} = \frac{2 \left(\frac{88000}{2} + 3000 + 32000 \right) (0,015 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}) \cdot 9,81}{2 \cdot 35,4 \cdot 0,85} = 83,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Статический минимальный момент на валу двигателя (без учёта груза):

$$M_{st.min} = \frac{k_p \left(\frac{J_m}{2} + J_t \right) (f \cdot d + 2 \cdot \mu) \cdot g}{2 \cdot i \cdot \eta}; \quad (2.5)$$

$$M_{st.min} = \frac{2 \left(\frac{88000}{2} + 3000 \right) (0,015 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}) \cdot 9,81}{2 \cdot 35,4 \cdot 0,85} = 49,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2.1.3. Расчёт динамического момента на валу двигателя

Динамический момент на валу двигателя равен:

$$M_d = \frac{\delta \cdot (J_d + J_{sh} + J_{mf}) \cdot n_{ном} \cdot g}{375 \cdot t} + \frac{0,975 \cdot \left(\frac{J_m}{2} + Q_1 \right) \cdot v_{ном}^2 \cdot g}{n_{ном} \cdot t \cdot \eta}; \quad (2.6)$$

$$M_d = \frac{1,1 \cdot (0,538 + 0,065 + 0,7) \cdot 945 \cdot 9,81}{375 \cdot 4} + \frac{0,975 \cdot (44000 + 32000) \cdot 0,85^2 \cdot 9,81}{945 \cdot 1,7 \cdot 0,85} =$$

$$= 172,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамический минимальный момент на валу двигателя (без груза):

$$M_{d.min} = \frac{\delta \cdot (J_d + J_{sh} + J_{mf}) \cdot n_{НОМ} \cdot g}{375 \cdot t} + \frac{0,975 \cdot \left(\frac{J_m}{2}\right) \cdot v_{НОМ}^2 \cdot g}{n_{НОМ} \cdot t \cdot \eta}; \quad (2.7)$$

$$M_{d.min} = \frac{1,1 \cdot (0,538 + 0,065 + 0,7) \cdot 945 \cdot 9,81}{375 \cdot 1,7} + \frac{0,975 \cdot 44000 \cdot 0,85^2 \cdot 9,81}{945 \cdot 1,7 \cdot 0,85} =$$

$$= 103,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2.1.4. Расчёт полного момента на валу двигателя

Максимальный момент на валу электродвигателя при пуске механизма будет равен:

$$M_{max} = \frac{M_{st} + M_d}{f_t \cdot f_h \cdot f_U \cdot f_\omega}; \quad M_{max} = \frac{83,7 + 102,3}{1 \cdot 1 \cdot 0,81 \cdot 1} = 229,6 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.8)$$

Минимальный момент на валу электродвигателя при пуске механизма будет равен:

$$M_{min} = \frac{M_{st.min} + M_{d.min}}{f_t \cdot f_h \cdot f_U \cdot f_\omega} = \frac{103,5 + 49,8}{1 \cdot 1 \cdot 0,81 \cdot 1} = 189,2 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.9)$$

2.2. Выбор двигателя

Двигатель выбирается по номинальному моменту по двум критериям. Первый критерий – номинальный момент двигателя должен быть больше статического расчётного момента приведённого к валу одного двигателя:

$$M_H > \frac{M_{st} \cdot k_Z}{n \cdot \lambda}, \quad \text{где } n \text{ – количество двигателей}; \quad (2.10)$$

$$M_H > \frac{83,7 \cdot 1,15}{1 \cdot 1} = 96,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для электродвигателей принимаем кратность максимального момента по отношению к номинальному:

$$\lambda_{дв} = \frac{M_{max}}{M_H} = 3. \quad (2.11)$$

Тогда, согласно второму критерию номинальный момент одного двигателя должен быть не меньше момента:

$$M_{н.дв} > \frac{M_{max}}{\lambda_{дв}}; M_{н.дв} > \frac{229,6}{3} = 76,5 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.12)$$

Исходя из двух условий: $M_{н.дв} > 76,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Для данных условий подходят двигатель, приведённый в таблице 3.

Номинальный момент двигателя МТКФ (Н) 311-6 равен:

$$M_{н.дв} = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{30 \cdot P_H}{\pi \cdot n_H} = \frac{11000 \cdot 30}{3,14 \cdot 910} = 115,4 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.13)$$

Значит, $M_{н.дв} = 115,4 \text{ Н} \cdot \text{м} > 76,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Технические характеристики двигателя МТКФ (Н) 311-6 приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Технические характеристики двигателя МТКФ (Н) 311-6

f, Гц	U _н , В	P _н , кВт, S3-40%	КПД, %	cos φ	n _{ном} , об/мин	I _н , А	Ì _í , Í · ì	M _{макс} , Н · м	I _п , А
50 Гц	380В	11кВт	77,5	0,76	910об/мин	28,5А	373 Н · м	383 Н · м	130А
J _{дв} , кг · м ²		Масса m, кг	Число пар полюсов, p		Степень защиты по ГОСТ 17516-72				
0,213 кг · м ²		155кг	3		IP44				

2.3. Проверка двигателя по техническим условиям

2.3.1. Проверка запаса сцепления колёс

Электропривод механизмов передвижения необходимо проверить по запасу сцепления при пуске и торможении для наиболее неблагоприятных условий работы. Запас сцепления должен удовлетворять условию:

$$K_{\varphi} = \frac{J_{\text{пр}} \cdot \varphi}{W_{\text{пер}}^{\text{без груза}} + J_{\text{кр}} \cdot \left(\frac{a}{g} - \frac{n_{\text{пр}}}{n} \cdot \mu \cdot \frac{d}{D} \right)} \geq 1,1, \quad (2.14)$$

где $a = \frac{v_{\text{ном}}}{t} = \frac{0,85}{4} = 0,2 \text{ м/с}^2;$ (2.15)

$J_{\text{пр}}$ – суммарное давление на приводные колёса при условии, что тележка находится посередине моста и без груза,

$J_{\text{кр}}$ – суммарное давление на колёса при условии, что тележка находится посередине моста и без груза,

$W_{\text{пер}}^{\text{без груза}}$ – сопротивление качения моста колёс без груза, определяется по формуле:

$$W_{\text{пер}}^{\text{без груза}} = k_p \cdot (J_t + J_m) \frac{\mu \cdot d}{D}; \quad (2.16)$$

$$W_{\text{пер}}^{\text{без груза}} = 2 \cdot (3000 + 88000) \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,15}{0,6} = 22,7 \text{ кг.}$$

Суммарное давление на приводные колёса равно:

$$J_{\text{пр}} = \frac{J_t + J_m}{2} \cdot \frac{n_{\text{пр}}}{n}; \quad J_{\text{пр}} = \frac{3000 + 88000}{2} \cdot \frac{2}{4} = 22750 \text{ кг}; \quad (2.17)$$

суммарное давление на колёса равно:

$$J_{\text{кр}} = \frac{J_t + J_m}{2}; \quad J_{\text{кр}} = \frac{3000 + 88000}{2} = 45500 \text{ кг.} \quad (2.18)$$

Запас сцепления равен:

$$K_{\varphi} = \frac{22750 \cdot 0,2}{22,7 + 45500 \left(\frac{0,2}{9,81} - \frac{2}{4} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,15}{0,6} \right)} = 4,8 > 1,1 - \quad (2.19)$$

следовательно, условие выполняется.

2.3.2. Проверка выбора электродвигателя по максимально допустимому ускорению

Условия сцепления определяют верхний предел ускорений. Максимальные значения средних ускорений для открытого воздуха должны быть не больше:

$$a_{\text{макс}} = 0,85\alpha - 0,2, \quad (2.20)$$

где α – отношение числа приводных колёс к общему числу колёс. Минимальное ускорение определяется максимально возможным временем пуска:

$$a_{\text{мин}} \geq \frac{V_{\text{НОМ}}}{t_{\text{макс}}}. \quad (2.21)$$

Проверка выполнения условий сцепления производится для реального ускорения выбранного двигателя:

$$a = \frac{1}{\alpha'} \left[\frac{10^3 k_{\text{П}} \gamma_{\text{П}} \eta P_{\text{НОМ}} - P_{\text{ст.г}} \cdot \eta}{(J_{\text{м}}/2 + J_{\text{т}} + Q_{\text{л}}) v_{\text{НОМ}}} \right], \quad (2.22)$$

$$\alpha' = \frac{J_{\Sigma}}{J_{\text{г}}} \quad (2.23)$$

где α' – отношение суммарного момента инерции к моменту инерции поступательно движущихся масс;

$k_{\text{П}}$ – коэффициент использования двигателя по пусковому моменту,

$\gamma_{\text{П}}$ – кратность отношения максимального пускового момента к номинальному моменту двигателя, примем $\gamma_{\text{П}} = 3$; $k_{\text{П}} = 0,9$ при пуске двигателей от ТП постоянного или переменного тока, см. справочник по крановому электроприводу, [7.с.28].

Найдём радиус приведения для механизма:

$$\rho = \frac{D}{2 \cdot i} = \frac{0,6}{2 \cdot 35,4} = 0,008. \quad (2.24)$$

Суммарный момент инерции равен:

$$J_{\Sigma} = k_3 (Q_{\text{л}} + J_{\text{м}} + J_{\text{т}}) \rho^2, \quad (2.25)$$

$$J_{\Sigma} = 1,3(32000 + 88000 + 3000)0,008^2 = 10,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

где k_3 – коэффициент запаса, принимается равным 1,3.

Момент инерции поступательно движущихся масс равен:

$$J_{\Pi} = 0,2J_{\text{дв}} + \frac{91(J_m + J_t + 0,7Q_1)v_{\text{НОМ}}^2}{n_K \cdot n_{\text{НОМ}}^2 \cdot \eta}; \quad (2.26)$$

$$J_{\Pi} = 0,2 \cdot 0,213 + \frac{91(88000 + 3000 + 0,7 \cdot 32000)0,85^2}{0,77 \cdot 2 \cdot 910^2} = 5,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

коэффициент α' равен:

$$\alpha' = \frac{10,2}{5,9} = 1,7.$$

Требуемое ускорение по условиям сцепления с рельсами равно:

$$a = \frac{1}{1,7} \left[\frac{10^3 (0,9 \cdot 3 \cdot 0,85 \cdot 11 - 8,1 \cdot 0,85)}{(32000 + 44000 + 3000)0,85} \right] = 0,2 \text{ м/с}^2. \quad (2.27)$$

Тогда время пуска при данной скорости перемещения:

$$t_{\Pi} = \frac{v_{\text{НОМ}}}{a} = \frac{0,85}{0,2} = 4,2 \text{ с} > 4 \text{ с}. \quad (2.28)$$

Согласно рекомендуемым значениям посадочных и доводочных скоростей механизмов кранов различного назначения на основе практики многолетней эксплуатации, согласно табл. 1.4, см. [7.с.48], для козлового лесопогрузчика принимаем минимальную скорость передвижения крана: $v_{\text{мин}} = 0,2 \text{ м/с}$; максимальную скорость передвижения крана принимаем согласно технических условий: $v_{\text{макс}} = 0,85 \text{ м/с}$.

2.3.3. Проверка электродвигателя по тепловому режиму

Для этого проведём расчёт увеличения потерь на регулировочных характеристиках систем параметрического регулирования, которое учитывается с помощью коэффициента:

$$k_p = 1 - 1,2(\varepsilon_{p,p} - \varepsilon_{p,p.б}), \quad k_p = 1 - 1,2(0,1 - 0,05) = 0,94; \quad (2.29)$$

где $\varepsilon_{p,p}$ – продолжительность включения при регулировании, в зависимости от группы режимов работы механизма по ГОСТ 25835-83, для данного крана: $\varepsilon_{p,p} = 0,1$ (режим работы 4М; ПВ = 40%); среднее число включений в час: ($N_{в.ср} = 120$), см. табл. 6.4, [1.с.111];

$\varepsilon_{p,p.б}$ – базовая продолжительность включения при регулировании, принятая при расчёте зависимости $\eta_{экр.}$ от числа включений, см. рис.6.5, [1.с.112]. Примем при $\eta_{экр.б} = 0,94$ для односкоростного асинхронного двигателя в системе частотного регулирования: $\varepsilon_{p,p.б} = 0,05$. Найдём эквивалентный КПД, характеризующий энергетические характеристики кранового электропривода:

$$\eta_{экр.} = \frac{\eta_{экр.б}}{1 + \frac{\eta_{экр.б} - \eta_{экр.N}}{\eta_{экр.N}} \cdot \frac{J_{\Sigma}}{1,2J_{дв}} \left(\frac{n_{макс}}{1000} \right)^2}, \quad (2.30)$$

где $\eta_{экр.N}$ – эквивалентный КПД, определяемый по графикам рис. 6.5, см. [1.с.112], при числе пусков N_B ; примем $\eta_{экр.N} = 0,78$ при $N_B = 120$; $n_{макс}$ – синхронная частота вращения двигателя, $n_{макс} = 1000$ об/мин.

$$\eta_{экр.} = \frac{0,94}{1 + \frac{0,94 - 0,92}{0,92} \cdot \frac{10,2}{1,2 \cdot 0,213} \left(\frac{1000}{1000} \right)^2} = 0,5$$

Общая расчётная формула для выбора мощности двигателя по тепловому режиму:

$$P_{ном.г} \geq \frac{k_3 k_{экр} k_H \sqrt{\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{ном}}}}{k_0 k_p} \cdot \frac{\eta_{экр.б}}{\eta_{экр.б} - k_d (\eta_{экр.б} - \eta_{экр.})} P_{ст.ном}; \quad (2.31)$$

где $P_{ст.ном} = \frac{P_{ст.г}}{2} = \frac{8,9}{2} = 4,4$ кВт, $\varepsilon_p = 0,4$, согласно табл. 6.4, см.

[1.с.111],

$$k_0 = 1,$$

$$P_{\text{ном.т}} \geq \frac{1 \cdot 0,63 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,4}}{1 \cdot 0,94} \cdot \frac{0,94}{0,94 - 1(0,94 - 0,5)} \cdot \frac{8,8}{2} = 5,6 \text{ кВт.}$$

Двигатель удовлетворяет по теплу, так как $P_{\text{н}} > P_{\text{ном.т}} = 5,6 \text{ кВт.}$

2.4. Выбор преобразователя

Для двигателя существует уравнение равенства механической и электрической энергии:

$$M_{\text{max}} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot n_{\text{ном}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{max}} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta, \quad (2.32)$$

где $n_{\text{ном}}$ – номинальная частота вращения двигателя;

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение сети;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности, находим по таблице технических характеристик.

Исходя из этого, максимальный потребляемый ток двигателя вычисляется по формуле:

$$I_{\text{max}} = \frac{\pi \cdot M_{\text{max}} \cdot n_{\text{ном}}}{30 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}; \quad (2.33)$$

$$I_{\text{max}} = \frac{3,14 \cdot 383 \cdot 910}{30 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,76 \cdot 0,77} = 94,7 \text{ А.}$$

Поскольку $I_{\text{max}} = 150\% \cdot I_{\text{н}}$, номинальный ток ПЧ должен быть не менее

:

$$I_{\text{н}} = \frac{I_{\text{макс}}}{1,5} = \frac{94,7}{1,5} = 63 \text{ А.} \quad (2.34)$$

Так как в данном приводе используются два двигателя, управляемые одним преобразователем, тогда номинальный ток ПЧ для данного привода должен быть не менее:

$$I_{\text{н}} = 2 \cdot 63 = 126 \text{ А.}$$

По номинальному току I_H выбираем преобразователь частоты ATV71HD37M3X мощностью 37кВт (на заводской табличке) для номинального режима работы, полная мощность 52,8 кВ · А, в количестве 1шт. Номинальный ток преобразователя равен 144А для номинальной частоты коммутации 4кГц в продолжительном режиме. С учётом требования ТЗ мощность преобразователя должна превышать мощность двигателя на 20%. Тогда по формуле:

$$P_{ПЧ} \geq 1,2 \cdot P_H = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ кВт.} \quad (2.35)$$

Условие выполняется.

Проверочный расчёт из условия, что преобразователи обеспечивают перегрузочный пусковой момент 170% от номинального момента. Расчётный максимальный момент на валу двигателя МТКФ (Н) 311-6 равен:

$$M_{\text{дв.макс}} = 1,7 M_H \left(\frac{I_{H,П}}{I_{H,ДВ}} \right);$$

(2.36)

$$M_{\text{дв.макс}} = 1,7 \cdot 115,4 \left(\frac{144}{2 \cdot 28,5} \right) = 495,6 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $I_{H,П}$ – номинальный ток преобразователя частоты, А,

$I_{H,ДВ}$ – номинальный ток двигателя, А;

$$M_{\text{дв.макс}} \geq M_{\text{max}} = 229,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Окончательно выбираем преобразователь ATV71HD37M3X.

2.5. Расчет параметров и построение механических и электромеханических характеристик двигателя МТКФ (Н) 311-6

Расчёт параметров произведём с применением программы MATHCAD, так как в программе MATHCAD можно быстрее определить коэффициент β , набор программы представлен в приложении А.

2.5.1. Расчет параметров двигателя МТКФ (Н) 311-6

$P_n = 11 \text{ кВт}$ – номинальная мощность двигателя;

$U_{1n} = 380 \text{ В}$ – номинальное линейное напряжение;

$U_{1\phi} = 220 \text{ В}$ – фазное напряжение;

$n_0 = 1000 \text{ об/мин}$ – синхронная частота вращения;

$n_n = 910 \text{ об/мин}$ – номинальная частота вращения;

$\eta_n = 0,775$ – КПД в режиме номинальной мощности (100 %-я нагрузка);

$\cos \phi_n = 0,76$ – коэффициент мощности в режиме номинальной мощности;

$k_i = \frac{I_n}{I_n} = 5,5 \text{ о.е.}$ – кратность пускового тока;

$k_n = \frac{M_n}{M_n} = 2,9 \text{ о.е.}$ – кратность пускового момента;

$k_{\max} = \frac{M_{\kappa}}{M_n} = 2,9 \text{ о.е.}$ – кратность максимального момента;

Ток холостого хода асинхронного двигателя найдём из выражения:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - (p_* \cdot I_{1n} \cdot (1 - s_n) / (1 - p_* \cdot s_n))^2}{1 - (p_* \cdot (1 - s_n) / (1 - p_* \cdot s_n))^2}} = \quad (2.37)$$

$$= \sqrt{\frac{22,075^2 - (0,76 \cdot 28,297 \cdot (1 - 0,09) / (1 - 0,76 \cdot 0,09))^2}{1 - (0,76 \cdot (1 - 0,09) / (1 - 0,76 \cdot 0,09))^2}} = 10,127 \text{ А}$$

где $I_{1n} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \phi_n \cdot \eta_n} = \frac{11000}{3 \cdot 220 \cdot 0,76 \cdot 0,775} = 28,297 \text{ А}$ –

номинальный ток статора двигателя;

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = \frac{1000 - 910}{1000} = 0,09 \text{ о.е.}$$
 – номинальное скольжение;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_n}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \phi_{p*} \cdot \eta_{p*}} = \frac{0,74 \cdot 11000}{3 \cdot 220 \cdot 0,74 \cdot 0,775} = 22,075 \text{ А}$$

- ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$\cos \phi_{p*} = \cos \phi_n \cdot 0,986 = 0,74$ - коэффициент мощности при частичной нагрузке;

$\eta_{p*} = \eta_n = 0,775$ - КПД при частичной нагрузке;

$p_* = P/P_n = 0,75$ - коэффициент загрузки двигателя.

Из формулы Клосса определим соотношение для расчёта критического скольжения:

$$s_k = s_n \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,09 \cdot \frac{2,9 + \sqrt{2,9^2 - (1 - 2 \cdot 0,09 \cdot 1 \cdot (2,9 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,09 \cdot 1 \cdot (2,9 - 1)} = 0,777 \text{ о.е.} \quad (2.38)$$

Далее определяем ряд промежуточных коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1n}} = 1 + \frac{8,11}{2 \cdot 5,5 \cdot 10,127} = 1,033 ; \quad (2.39)$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_n)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_n} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,09)}{2 \cdot 1,033 \cdot 2,9 \cdot 11000} = 2,006 ; \quad (2.40)$$

$$A_0 = \frac{I_{1n} \cdot \cos \phi_n - I_0 \cos \phi_0}{U_{1\phi}} = \frac{28,297 \cdot 0,76 - 10,127 \cdot 0,139}{220} = 0,091 ; \quad (2.41)$$

где $\cos \phi_0 = \cos 82^\circ = 0,139$ - коэффициент мощности асинхронного двигателя в режиме холостого хода;

$$B = \frac{1}{s_n} + \frac{1}{s_k} - A_0 \cdot 2 \cdot \frac{A_1}{s_n} = \frac{1}{0,09} + \frac{1}{0,777} - 0,091 \cdot 2 \cdot \frac{2,006}{0,09} = 8,341 ; \quad (2.42)$$

$$C = \frac{1}{s_n \cdot s_k} - \left(\frac{1}{s_k^2} + \frac{1}{s_n^2} \right) \cdot A_0 \cdot A_1 = \frac{1}{0,09 \cdot 0,777} - \left(\frac{1}{0,777^2} + \frac{1}{0,09^2} \right) \times$$

$$\times 0,091 \cdot 2,006 = -8,5 \quad (2.43)$$

Теперь по найденным значениям проверяем величину коэффициента β :

$$\beta_p = \left| \frac{-B}{2} + \sqrt{\frac{B}{2} - C} \right| = \left| \frac{-8,341}{2} + \sqrt{\frac{8,341}{2} - (-8,5)} \right| = 0,61. \quad (2.44)$$

Активное сопротивление ротора, приведённое к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_k}\right) \cdot C_1} = \frac{2,006}{\left(1 + \frac{1}{0,777}\right) \cdot 1,033} = 0,85 \text{ Ом} \quad (2.45)$$

Активное сопротивление статорной обмотки определим по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,033 \cdot 0,85 \cdot 1 = 0,877 \text{ Ом} \quad (2.46)$$

Определим параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_{кн}$,

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,777^2} - 1^2} = 0,809, \quad (2.47)$$

$$\text{Тогда } X_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 0,809 \cdot 1,033 \cdot 0,85 = 0,71 \text{ Ом}$$

Для того чтобы выделить из индуктивного сопротивления $X_{кн}$, сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведённое к статорной, может быть рассчитано:

$$X_{2н}' = \frac{0,58 \cdot X_{кн}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 0,71}{1,033} = 0,399 \text{ Ом}. \quad (2.48)$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки определим по следующему выражению:

$$X_{1н} = 0,42 \cdot X_{кн} = 0,42 \cdot 0,71 = 0,298 \text{ Ом}. \quad (2.49)$$

ЭДС ветви намагничивания, наведённая потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1\phi} \cdot \cos \phi_n - R_1 \cdot I_{1н})^2 + (U_{1н} \cdot \sin \phi_n + X_{1н} \cdot I_{1н})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,76 - 0,877 \cdot 28,297)^2 + (220 \cdot 0,65 + 0,298 \cdot 28,297)^2} = 195,892 \text{ В} \end{aligned} \quad (2.50)$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_{\mu n} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{195,892}{10,127} = 19,344 \text{ Ом.} \quad (2.51)$$

2.5.2. Механические характеристики асинхронного двигателя

Для построения механической характеристики двигателя при его работе определим критический момент машины в двигательном режиме:

$$M_{\kappa} = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot C_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{\kappa n}^2} \right]} = \quad (2.52)$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 104,72 \cdot 1,033 \cdot \left[0,877 + \sqrt{0,877^2 + 0,71^2} \right]} = 345,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\text{где } \omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{p} = 104,72, \text{ об/мин}$$

Задаваясь диапазоном изменения скорости от 0 до ω с шагом 0,1, строим механическую характеристику асинхронного электродвигателя по формуле:

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{\kappa n}^2 \right]} \quad (2.53)$$

Механическая характеристика, при работе двигателя изображена на рисунке 7.

По построенной механической характеристике проведём анализ основных данных, а также сравним их с паспортными.

Момент номинальный:

$$M_{n(\text{паспорт})} = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{11000}{86,718} = 126,847 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.54)$$

то же значение, но по формуле Клосса:

$$M_n = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot s_k)}{\frac{s_k}{s_n} + \frac{s_n}{s_k} + 2 \cdot a \cdot s_k} = \frac{2 \cdot 345,7 \cdot (1 + 1,032 \cdot 0,777)}{\frac{0,777}{0,09} + \frac{0,09}{0,777} + 1,604} = 120,37 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где коэффициент a равен: $a = \frac{R_1}{R_2'} = \frac{0,877}{0,85} = 1,032$.

Момент критический:

$$M_k = k_{\max} \cdot M_{n(\text{паспорт})} = 2,9 \cdot 126,847 = 367,85 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.55)$$

Пусковой момент:

$$M_n = k_n \cdot M_{n(\text{паспорт})} = 2,9 \cdot 126,847 = 367,85 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.56)$$

то же значение, но по формуле Клосса:

$$M_n = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot s_k)}{\frac{s_k}{s_n} + \frac{s_n}{s_k} + 2 \cdot a \cdot s_k} = \frac{2 \cdot 345,7 \cdot (1 + 1,032 \cdot 0,777)}{\frac{0,777}{1} + \frac{1}{0,777} + 1,604} = 339,64 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

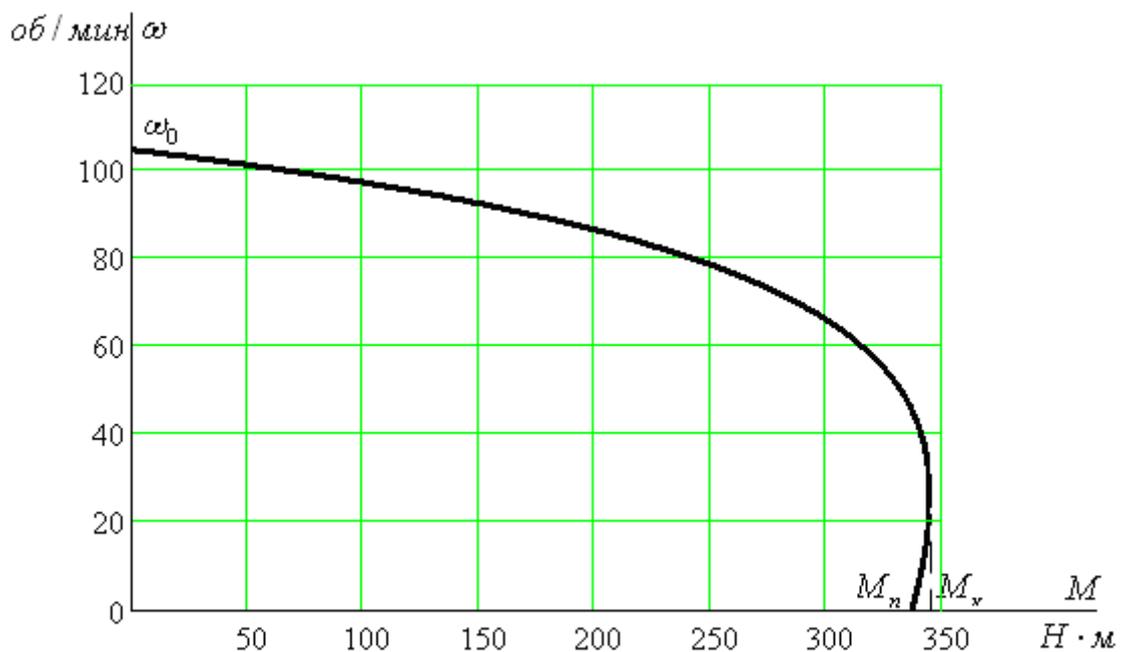


Рисунок 7. Механические характеристики асинхронного двигателя

$$M = f(\omega)$$

Из полученных данных следует, что построенная механическая характеристика соответствует паспортным данным.

2.5.3. Электромеханические характеристики асинхронного двигателя

Для короткозамкнутого асинхронного двигателя представляет интерес электромеханическая характеристика $I_1 = f(\omega)$, отражающая зависимость тока статора от скорости.

Полагая ток намагничивания асинхронного двигателя I_0 реактивным ($I_{0A} = 0$), ток статора I_1 через приведённый ток ротора I_2' можно найти по формуле:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + (I_2')^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \phi_2}, \quad (2.57)$$

где
$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{кн}^2}}, \quad (2.58)$$

$$\sin \phi_2 = \frac{X_{кн}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{кн}^2}}. \quad (2.59)$$

Для построения электромеханических характеристик подставим численные значения в формулы 2.57 – 2.59.

$$I_1(\omega) = \sqrt{10,127^2 + (I_2'(\omega))^2 + 2 \cdot 10,127 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \phi_2(\omega)},$$

$$I_2'(\omega) = \frac{220}{\sqrt{\left(0,877 + \frac{0,85}{\frac{104,72 - \omega}{104,72}} \right)^2 + 0,504^2}},$$

$$\sin \phi_2(\omega) = \frac{0,504}{\sqrt{\left(0,877 + \frac{0,85}{104,72 - \omega}\right)^2 + 0,504^2}}$$

Задаваясь диапазоном изменения скорости от 0 до ω с шагом $0,1$, строим электромеханическую характеристику асинхронного электродвигателя по формулам для токов обмоток статора и ротора. Электромеханические характеристики двигателя представлены на рисунке 8.

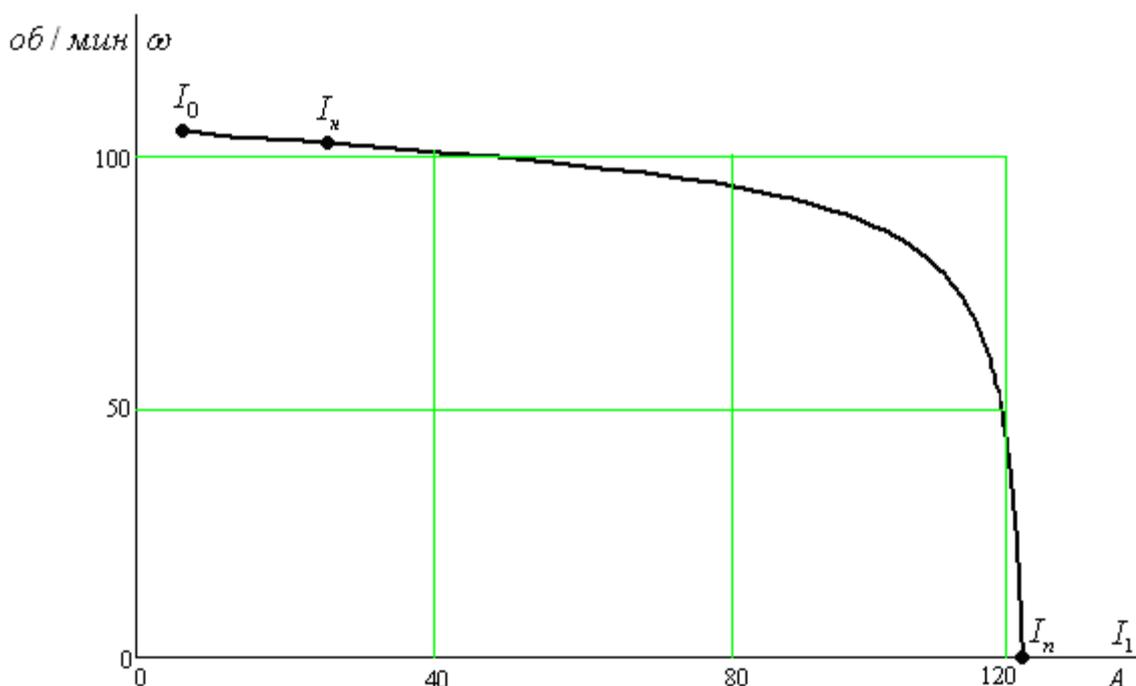


Рисунок 8. Электромеханическая характеристика двигателя $I_1 = f(\omega)$.

Можно сделать вывод, что построенная электромеханическая характеристика, также как и механическая справедлива.

2.6 Статические характеристики скалярного управления регулируемым электроприводом

Регулирование скорости электропривода с помощью закона $U_{1\phi} / f_1 = \text{const}$

В электроприводах со скалярным управлением для регулирования или стабилизации скорости используются различные соотношения между частотой и напряжением. Выбор конкретного соотношения зависит от характера момента нагрузки.

Для двигателя типа МТКФ (Н) 311-6 управляемого от преобразователя частоты ATV71HD37M3X, по паспортным данным, параметрам схемы замещения рассчитаем и построим электромеханические и механические характеристики при питании его от статического преобразователя частоты по закону управления:

$$U_{1\phi} / f_1 = const, \text{ для частот питания } f_1 = 50; 25; 10. \text{ Гц.}$$

Определим значения относительных частот, напряжений и синхронных скоростей:

$$f_{1*} = \frac{f_{1j}}{f_{1H}} = \frac{\{50; 25; 10\}}{50} = \{1; 0,5; 0,2\} \text{ o.e.}; \quad (2.60)$$

$$U_{1j} = U_{1\phi} \cdot f_{1*} = 220 \cdot \{1; 0,5; 0,2\} = \{220; 110; 44\} \text{ В}; \quad (2.61)$$

$$\omega_{0j} = \omega_{0H} \cdot f_{1*} = 104,72 \cdot \{1; 0,5; 0,2\} = \{104,72; 52,36; 20,94\} \text{ рад / с}; \quad (2.62)$$

Расчёт электромеханических характеристик будем производить, подставляя в следующие выражения соответствующие для каждой характеристики значения $f_{1*}, U_{1j}, \omega_{0j}$. Далее, задаваясь диапазоном значений от нуля до соответствующего для каждой характеристики значения $\omega_{0j} \cdot 1,25$ с шагом $0,001 \cdot \omega_{0j}$, подставляем в выражение для относительного скольжения. На следующем этапе получившиеся значения относительного скольжения последовательно подставляем в выражение для тока обмотки ротора и статора.

$$\begin{aligned} I_{2j}(S) &= \frac{U_{1j}}{\sqrt{X_{кН}^2 \cdot f_{1H}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{S}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{S \cdot X_{\mu Н}} \cdot f_{1*}\right)^2}} = \\ &= \frac{U_{1j}}{\sqrt{1,531^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(0,171 + \frac{0,168}{S}\right)^2 + \left(\frac{0,171 \cdot 0,168}{S \cdot 27,944 \cdot f_{1*}}\right)^2}}; \end{aligned} \quad (2.63)$$

$$I_{1j}(S) = \frac{\sqrt{I_0^2 + I_{2j}^2(S) + 2 \cdot I_0 \cdot I_{2j}(S)} \cdot \frac{X_{кн}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{S}\right)^2 + X_{кн}^2}}}{\sqrt{\left(0,171 + \frac{0,168}{S}\right)^2 + 1,531^2}} =$$

$$= \frac{\sqrt{8,11^2 + I_{2j}^2(S) + 2 \cdot 8,11 \cdot I_{2j}(S)} \cdot 1,531}{\sqrt{\left(0,171 + \frac{0,168}{S}\right)^2 + 1,531^2}} \quad (2.64)$$

Построенные характеристики для данного закона управления двигателем изображены на рисунке 9.

$\omega_{эл}(t)$ рад/с

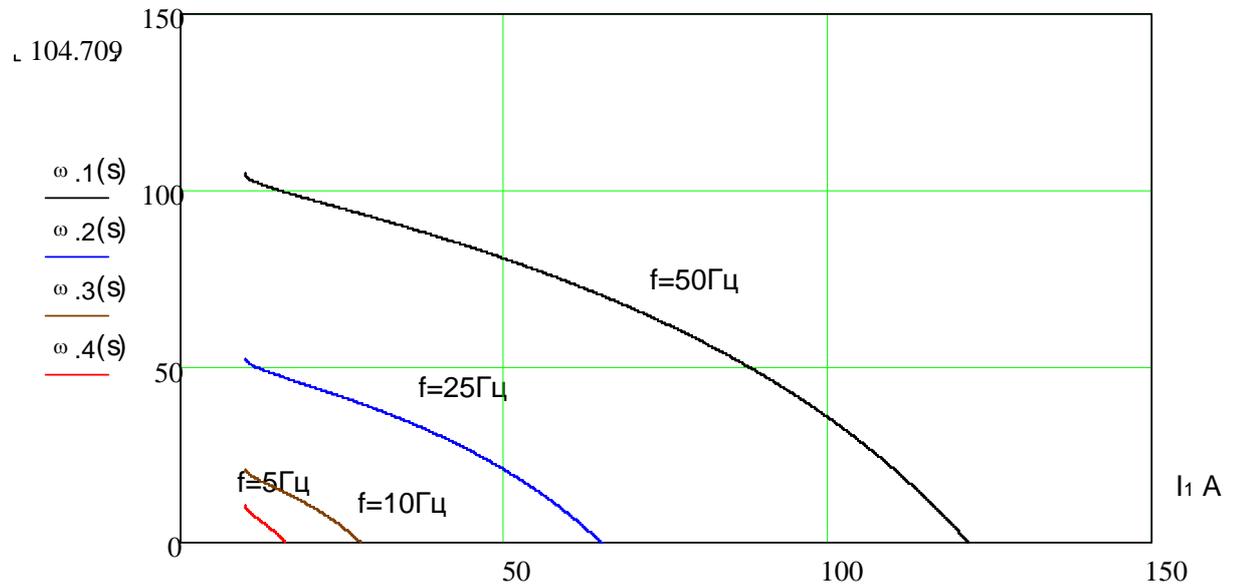


Рисунок 9. Электромеханические характеристики двигателя при законе регулирования скорости $U_{1\phi} / f_1 = const$

Для построения механических характеристик асинхронной машины для закона управления $U_{1\phi} / f_1 = const$, воспользуемся следующим выражением:

$$M(S) = \frac{3 \cdot U_{1j} \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot S_j \left[X_{кн}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S_j}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S_j \cdot X_{мн} \cdot f_{1*}}\right)^2 \right]} ; \quad (2.65)$$

$$= \frac{3 \cdot U_{1j} \cdot 0,149}{\omega_{0j} \cdot S_j \left[1,531^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(0,171 + \frac{0,168}{S_j}\right)^2 + \left(\frac{0,171 \cdot 0,168}{S_j \cdot 27,944 \cdot f_{1*}}\right)^2 \right]}$$

Механические характеристики двигателя для закона управления $U_{1\phi} / f_1 = const$, представлены на рисунке 10.

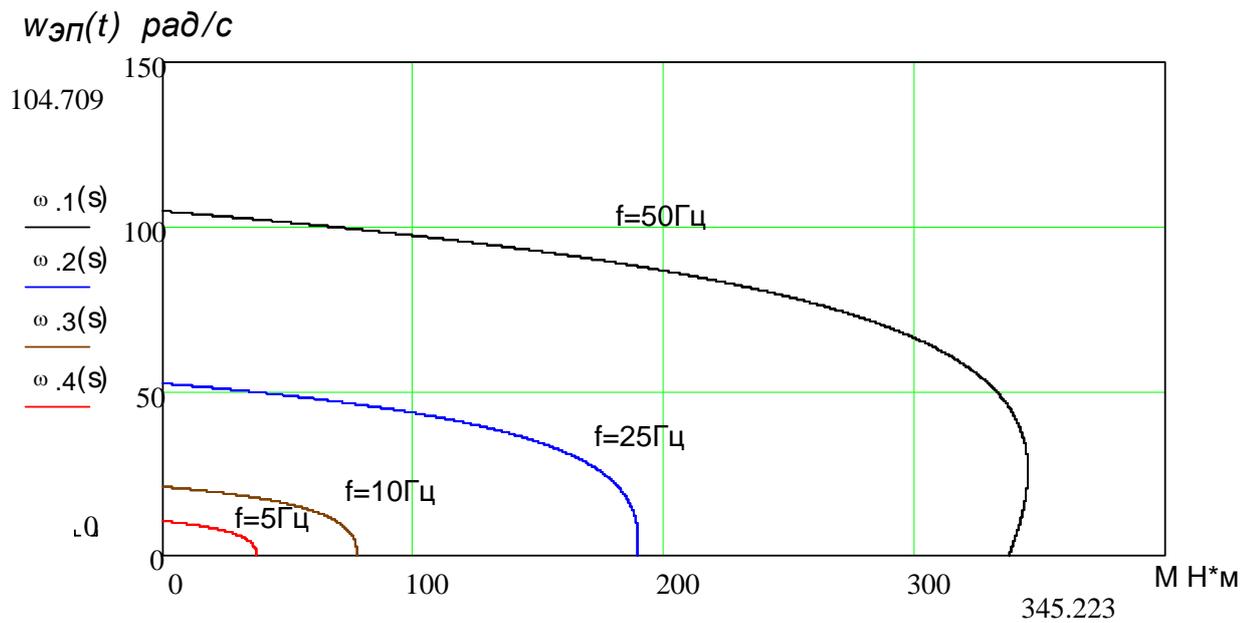


Рисунок 10. Механические характеристики двигателя при законе регулирования скорости $U_{1\phi} / f_1 = const$

Электромеханические и механические характеристики двигателя МТКФ (Н) 311-6, для закона регулирования $U_{1\phi} / f_1 = const$, построены в математической системе MathCad.

2.7. Расчёт и выбор тормозного резистора для моста передвижения

Средняя тормозная мощность моста определяется по формуле:

$$P_f = \frac{(Q_1 + J_t + J_m / 2) v^2}{2 \cdot t}; \quad (2.66)$$

$$P_f = \frac{(32000 + 3000 + 88000 / 2) 0,85^2}{2 \cdot 4} = 7,1 \text{ кВт}$$

Требуемая тормозная мощность равна:

$$P_{fr} = \frac{P_f \cdot (\eta \cdot \eta_{fc} \cdot \eta_{dv})}{n_{пч}}, \quad P_{fr} = \frac{7,1 \cdot (0,85 \cdot 0,98 \cdot 0,76)}{1} = 4,5 \text{ кВт} \quad (2.67)$$

где $n_{пч}$ – количество преобразователей в приводе;

η_{fc} – КПД преобразователя частоты;

η_{dv} – КПД двигателя;

η – КПД механизма.

Постоянная мощность резистора с учётом работы механизма:

$$P_r = \frac{P_{fr} \cdot t}{t_c}, \quad P_r = \frac{4,5 \cdot 4}{30} = 0,6 \text{ кВт}. \quad (2.68)$$

где t – время торможения, t_c – время цикла, за основу взяли режим передвижения крана, 4с – разгон, 22с – постоянная скорость, 4с – торможение

Максимальная мощность торможения равна:

$$P_{fr\text{макс}} = 2 \cdot P_{fr} = 2 \cdot 4,5 = 9 \text{ кВт}. \quad (2.69)$$

Постоянная мощность резистора, рассчитываемая с учётом цикла работы механизма:

$$R_{\text{макс}} = \frac{U_{dc}^2}{P_{fr\text{макс}}} = \frac{774^2}{9000} = 66,5 \text{ Ом}. \quad (2.70)$$

Необходим резистор с сопротивлением в диапазоне 8,1-66,5 Ом с постоянной мощностью 9кВт при условии что рассеет 4,5кВт в течении 4с. Выбираем резистор типа VW 3 A7 805 с параметрами: Сопротивление, Ом – 8,1 Ом;

Средняя мощность, кВт – 44кВт;

Рассеиваемая мощность за 10с – 10кВт.

3. Модель асинхронного двигателя

3.1. Векторы токов, напряжений и потокосцеплений трёхфазной

машины

Математическое описание процессов электромеханического преобразования энергии наиболее удобно получить в синхронных осях x, y , при этом, синусоидально изменяющиеся реальные переменные машины преобразуются в постоянные величины, характеризующие проекции изображающего вектора на синхронно с ним вращающиеся координатные оси x, y .

При выводе уравнений, описывающих поведение асинхронной машины, сделаны следующие общепринятые допущения:

- 1) считается, что машина симметричная с идеальными обмотками, обеспечивающими синусоидальное распределение магнитодвижущей силы и магнитного потока вдоль воздушного зазора, который принимается одинаковым по окружности ротора;
- 2) не учитывается влияние насыщения магнитной цепи, что позволяет принять значения индуктивностей постоянными;
- 3) не учитываются потери энергии в стали ротора;
- 4) предполагается, что отсутствуют напряжения и токи нулевой последовательности, т.е. мгновенные значения напряжений и токов фаз:

$$u_A + u_B + u_C = 0; \quad i_A + i_B + i_C = 0. \quad (3.1)$$

При этом не накладывается никаких ограничений на их гармонический состав.

В симметричной машине с идеальными обмотками при питании их симметричными напряжениями с угловой частотой ω токами обмоток создается вращающееся магнитное поле той же частоты с постоянной амплитудой намагничивающей силы. Эту вращающуюся намагничивающую силу можно представить вращающимся пространственным вектором, который определяется мгновенными значениями фазных токов $i_A; i_B; i_C$:

$$\left. \begin{aligned} \vec{I} &= \frac{2}{3}(i_A + \vec{c} \cdot i_B + \vec{c}^2 \cdot i_C); \\ \vec{c} &= e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}; \quad \vec{c}^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Направление оси обмотки А принимается за положительное направление вещественной оси а неподвижной системы координат с осями a, jb , рисунок 6. Проекции вектора \vec{I} на оси обмоток определяют как мгновенные значения фазных токов, так и векторы $i_A, \vec{c} \cdot i_B, \vec{c}^2 \cdot i_C$, сумма которых равна вектору $\frac{3}{2}\vec{I}$.

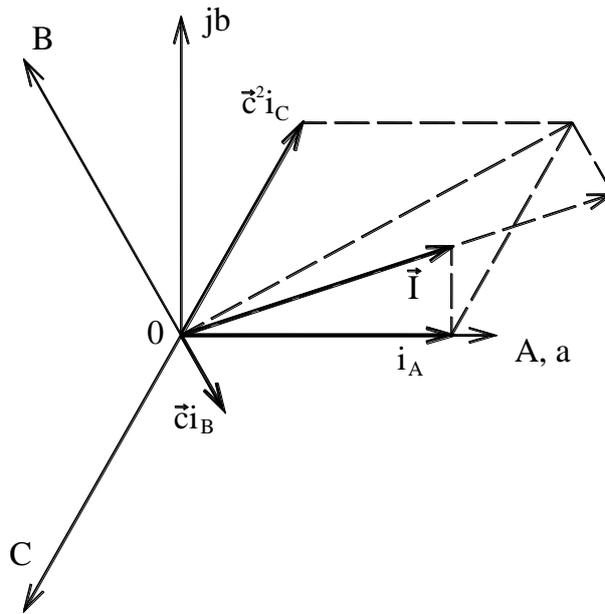


Рисунок 11. Векторы токов трехфазной машины

Поскольку оси A и a совпадают, то мгновенное значение тока i_A равно вещественной части вращающегося вектора \vec{I} . Из (3.1) и (3.2) получаем:

$$\operatorname{Re} \vec{I} = \frac{2}{3} \left(i_A - \frac{1}{2} i_B - \frac{1}{2} i_C \right) = \frac{2}{3} \left(i_A + \frac{i_A}{2} \right) = i_A. \quad (3.3)$$

Аналогичную картину векторов токов имеем и в роторной обмотке с той лишь разницей, что частота вращения вектора тока ротора относительно ротора:

$$\omega_s = \omega - \omega_r = s \cdot \omega; \quad s = \frac{\omega - \omega_r}{\omega}, \quad (3.4)$$

где $\omega_r = p \cdot \omega_a$ – электрическая частота вращения ротора; p – число пар полюсов машины; ω_a – частота вращения ротора; s – скольжение.

Если учесть, что ротор вращается относительно статора со скоростью $\omega_r = (1-s) \cdot \omega$, то частота вращения вектора тока ротора относительно неподвижного статора будет равна частоте вращения тока статора ω , т.е. векторы токов статора и ротора в пространстве вращаются синхронно. Векторы токов можно разложить по осям системы координат a, jb (рисунок 7). С учетом (3.3):

$$\left. \begin{aligned} \vec{I} &= i_a + j i_b; \\ i_a = \operatorname{Re} \vec{I} &= i_A; \quad i_b = \operatorname{Im} \vec{I} = \frac{2}{3} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} i_B - \frac{\sqrt{3}}{2} i_C \right) = \frac{i_B - i_C}{\sqrt{3}}. \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

$$i_A = i_a; \quad i_B = -\frac{i_a}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} i_b; \quad i_C = -\frac{i_a}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} i_b. \quad (3.6)$$

Такое описание токов говорит о том, что трехфазную электрическую машину можно заменить эквивалентной двухфазной с обмотками a и b , располагающимися вдоль координатных осей a, jb .

Иногда бывает удобным рассматривать процессы не в неподвижной системе координат a, jb , а в системе с осями x, jy , вращающейся со скоростью $\omega_{\hat{e}\hat{N}}$. Положение вектора тока в любой системе координат (в том числе и неподвижной при $\omega_{\hat{e}\hat{N}} = 0$) можно охарактеризовать углом между вектором тока \vec{I} и вещественной осью соответствующей системы координат так, что

$$\vec{I}_0 = \vec{I} e^{j\varphi}; \quad \vec{I}_\omega = \vec{I} e^{j\delta} = \vec{I} e^{j(\varphi-\theta)} = \vec{I}_0 e^{-j\theta}; \quad \vec{I}_0 = \vec{I}_\omega e^{j\theta}, \quad (3.7)$$

где $\vec{I}_0, \vec{I}_\omega$ – векторы токов в неподвижной и вращающейся системах координат; θ – угол между осями координат; $\omega_{KC} = \frac{d\theta}{dt}$.

При исследовании процессов в асинхронных машинах в большинстве случаев применяют неподвижную систему координат ($\omega_{\hat{e}\hat{N}} = 0$) и систему координат, вращающуюся синхронно с магнитным полем ($\omega_{\hat{e}\hat{N}} = \omega$).

Аналогичными векторами можно описать также напряжения и потокосцепления трехфазной машины:

$$\begin{aligned}\vec{U} &= \frac{2}{3}(u_A + \vec{c} \cdot u_B + \vec{c}^2 \cdot u_C) = u_a + ju_b; \\ \vec{\Psi} &= \frac{2}{3}(\psi_A + \vec{c} \cdot \psi_B + \vec{c}^2 \cdot \psi_C) = \psi_a + j\psi_b.\end{aligned}\tag{3.8}$$

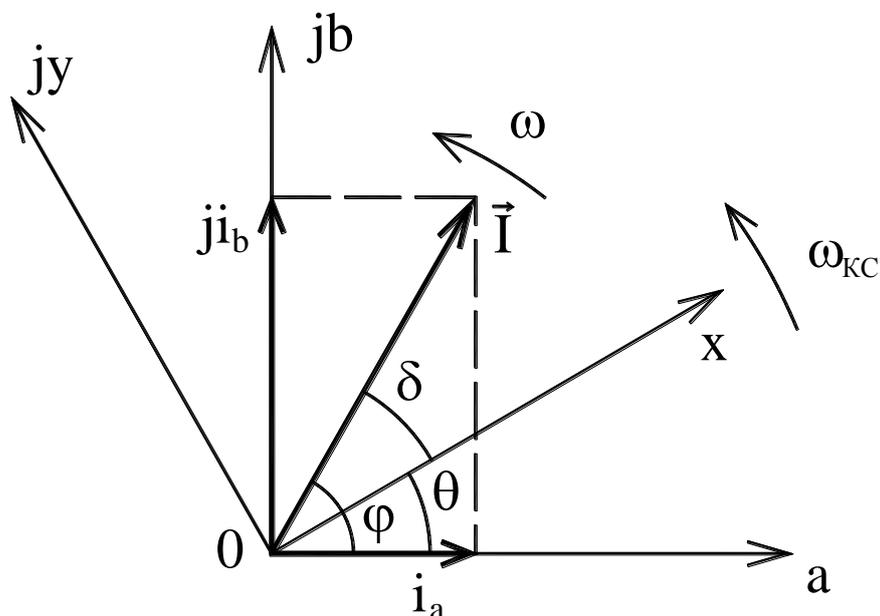


Рисунок 12. Представление вектора \vec{I} в неподвижной и вращающейся системах координат

3.2. Потокосцепления трёхфазной машины

Если пренебречь влиянием насыщения магнитной цепи, то магнитные потоки, сцепленные с обмотками машины, будут пропорциональны соответствующим намагничивающим силам и токам, создающим эти НС. Потокосцепления обмоток статора, создаваемые токами статора, образуются за счет основного потока в воздушном зазоре машины и потоков рассеяния этих обмоток. Индуктивность обмотки статора, обусловленную основным потоком, обозначим L_0 , потоком рассеяния статора – $L_{l\sigma}$, взаимоиндуктивности между обмотками – M . Так как обмотки одинаковы и расположены симметрично в пространстве, то эти индуктивности и взаимоиндуктивности одинаковы для всех обмоток. Тогда мгновенные

потокосцепления обмоток статора, создаваемые токами статора, опишутся в неподвижной системе координат с учетом (3.1) соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} \psi_{11A0} &= i_{1A}(L_{1\sigma} + L_0) + i_{1B} \cdot \dot{I} + i_{1N} \cdot \dot{I} = i_{1A}(L_{1\sigma} + L_0 - \dot{I}) \\ \psi_{11B0} &= i_{1A} \cdot \dot{I} + i_{1B}(L_{1\sigma} + L_0) + i_{1N} \cdot \dot{I} = i_{1B}(L_{1\sigma} + L_0 - \dot{I}); \\ \psi_{11C0} &= i_{1A} \cdot \dot{I} + i_{1B} \cdot \dot{I} + i_{1N}(L_{1\sigma} + L_0) = i_{1N}(L_{1\sigma} + L_0 - \dot{I}) \end{aligned} \right\}$$

Поскольку угол между осями обмоток равен $2\pi/3$, то:

$$M = L_0 \cos \frac{2\pi}{3} = -\frac{1}{2} L_0$$

Тогда:

$$\left. \begin{aligned} \psi_{11A0} &= i_{1A} \left(L_{1\sigma} + \frac{3}{2} L_0 \right) = i_{1A} (L_{1\sigma} + L_m) = i_{1A} L_1; \\ \psi_{11B0} &= i_{1B} \left(L_{1\sigma} + \frac{3}{2} L_0 \right) = i_{1B} (L_{1\sigma} + L_m) = i_{1B} L_1; \\ \psi_{11C0} &= i_{1C} \left(L_{1\sigma} + \frac{3}{2} L_0 \right) = i_{1C} (L_{1\sigma} + L_m) = i_{1C} L_1, \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

где $L_m = \frac{3}{2} L_0$ - результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре машины (главным полем), создаваемым суммарным действием токов статора; $L_1 = L_{1\sigma} + L_m$ - эквивалентная индуктивность обмотки статора, равная сумме индуктивности рассеяния этой обмотки и индуктивности от главного поля.

Вектор потокосцепления статора, создаваемый токами статора, согласно (3.8):

$$\begin{aligned} \vec{\Psi}_{110} &= \frac{2}{3} (\psi_{1A} + \vec{c} \cdot \psi_{1B} + \vec{c}^2 \cdot \psi_{1C}) = \frac{2}{3} (i_{1A} + \vec{c} \cdot i_{1B} + \vec{c}^2 \cdot i_{1C}) L_{1\sigma} \\ &= \vec{I}_{10} \cdot L_1, \end{aligned}$$

$$(3.10)$$

где \vec{I}_{10} - вектор тока статора в неподвижной системе координат.

Аналогичным образом можно получить, что потокосцепление ротора, создаваемое токами ротора, описанное во вращающейся системе координат, жестко связанной с ротором ($\omega_{\hat{eN}} = \omega_r$):

$$\vec{\Psi}_{22\omega} = \vec{I}_{2\omega} \cdot L_2, \quad L_2 = L_{2\sigma} + L_m, \quad (3.11)$$

где $\vec{I}_{2\omega}$ - вектор тока ротора представлен в той же системе координат, L_2 – эквивалентная индуктивность обмотки ротора. При этом предполагается, что число витков статора и ротора одинаково, т.е. в рассмотрение вводится приведенный ток ротора.

Каждая обмотка ротора создает в воздушном зазоре потокосцепление L_0 , где i_2 – мгновенное значение тока соответствующей фазы. Поэтому результирующие мгновенные потокосцепления обмоток статора, обусловленные совместным действием токов статора и ротора при угле между осями обмоток, равно θ (рисунок 13):

$$\Psi_{1A0} = L_1 i_{1A} + L_0 i_{2A} \cos(\theta) + L_0 i_{2B} \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \theta\right) + L_0 i_{2C} \cos\left(\frac{2\pi}{3} - \theta\right);$$

$$\Psi_{1B0} = L_1 i_{1B} + L_0 i_{2A} \cos\left(\frac{2\pi}{3} - \theta\right) + L_0 i_{2B} \cos(\theta) + L_0 i_{2C} \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \theta\right);$$

$$\Psi_{1C0} = L_1 i_{1C} + L_0 i_{2A} \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \theta\right) + L_0 i_{2B} \cos\left(\frac{2\pi}{3} - \theta\right) + L_0 i_{2C} \cos(\theta).$$

Умножив первое соотношение на $2/3$, второе – на $\frac{2}{3}\bar{c} = \frac{2}{3}e^{j\frac{2\pi}{3}}$, третье – на $\frac{2}{3}\bar{c}^2 = \frac{2}{3}e^{-j\frac{2\pi}{3}}$, сложив их и произведя преобразования, получим:

$$\vec{\Psi}_{10} = L_1 \vec{I}_{10} + \frac{2}{3}L_0 A (i_{2A} + i_{2B}e^{j\frac{2\pi}{3}} + i_{2C}e^{-j\frac{2\pi}{3}}) = L_1 \vec{I}_{10} + L_0 A \vec{I}_{2\omega},$$

где $\vec{\Psi}_{10}, \vec{I}_{10}$ - векторы результирующего потокосцепления статора и тока статора, описанные в неподвижной системе координат; $\vec{I}_{2\omega}$ - вектор тока ротора, описанный в системе координат, жестко связанной с ротором,

$$\begin{aligned} A &= \cos(\theta) + \cos\left(\frac{2\pi}{3} - \theta\right)e^{j\frac{2\pi}{3}} + \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \theta\right)e^{-j\frac{2\pi}{3}} \\ &= \frac{3}{2}(\cos(\theta) + j\sin(\theta)) = \frac{3}{2}e^{j\theta}. \end{aligned}$$

С учетом того, что $\frac{3}{2}L_0 = L_m$, имеем:

$$L_0 A = L_m e^{j\theta}, \quad \vec{\Psi}_{10} = L_1 \vec{I}_1 + L_m \vec{I}_{2\omega} e^{j\theta}.$$

Описывая вектор \vec{I}_2 в неподвижной системе координат согласно (3.7), получаем:

$$\vec{\Psi}_{10} = L_1 \vec{I}_{10} + L_m \vec{I}_{20}; \quad L_1 = L_m + L_{1\sigma}. \quad (3.12)$$

Производя идентичные действия для ротора, можно найти вектор результирующего потокосцепления ротора в неподвижной системе координат:

$$\vec{\Psi}_{20} = L_m \vec{I}_{10} + L_2 \vec{I}_{20}; \quad L_2 = L_m + L_{2\sigma}, \quad (3.13)$$

где векторы токов описываются также в неподвижной системе координат.

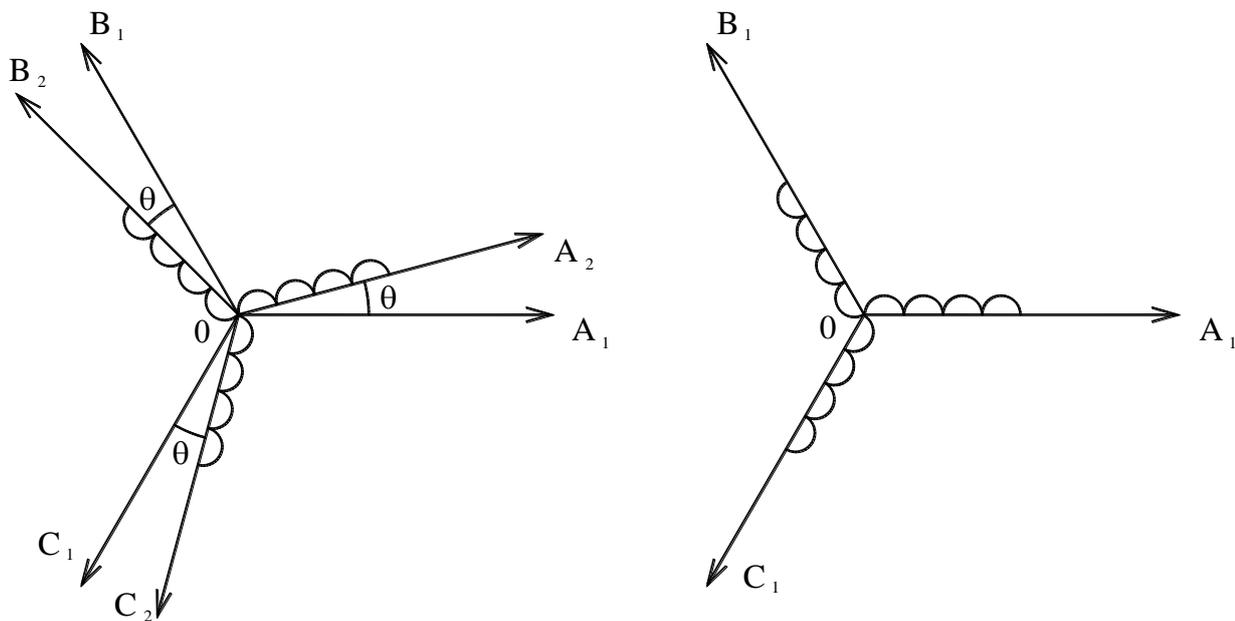


Рисунок 13. Определение потокосцепления трехфазной машины

Соотношения (3.12), (3.13) для потокосцеплений остаются справедливыми в общем случае системы координат, вращающейся с любой произвольной скоростью $\omega_{КС}$, если векторы токов описываются также в этой системе координат.

Ранее было установлено, что трехфазную машину можно заменить эквивалентной двухфазной с обмотками a и b . Уравнения напряжений обмоток, выраженные через составляющие по осям неподвижной системы координат a, jb , совпадающими с осями этих обмоток:

$$u_{1a0} = r_1 \cdot i_{1a0} + \frac{d\psi_{1a0}}{dt}; \quad u_{1b0} = r_1 \cdot i_{1b0} + \frac{d\psi_{1b0}}{dt}. \quad (3.14)$$

В векторной форме:

$$\vec{U}_{10} = \vec{I}_{10} \cdot r_1 + \frac{d\vec{\Psi}_{10}}{dt}. \quad (3.15)$$

Аналогично вектор напряжения ротора в системе координат, жестко связанной с ротором и вращающейся в пространстве с угловой электрической скоростью ротора ω_r ,

$$\vec{U}_{2\omega} = \vec{I}_{2\omega} \cdot r_2 + \frac{d\vec{\Psi}_{2\omega}}{dt}.$$

Если в этом соотношении векторы \vec{I}_2 и $\vec{\Psi}_2$ описать в неподвижной системе координат, используя (3.7),

$$\begin{aligned} \vec{U}_{2\omega} &= \vec{U}_{20} \cdot e^{-j\theta}; \quad \vec{I}_{2\omega} = \vec{I}_{20} \cdot e^{-j\theta}; \quad \vec{\Psi}_{2\omega} = \vec{\Psi}_{20} \cdot e^{-j\theta}; \\ \frac{d\vec{\Psi}_{2\omega}}{dt} &= \left(\frac{d\vec{\Psi}_{20}}{dt} - j \frac{d\theta}{dt} \vec{\Psi}_{20} \right) \cdot e^{-j\theta}, \end{aligned}$$

то после сокращения общего сомножителя $e^{-j\theta}$ имеем:

$$\vec{U}_{20} = \vec{I}_{20} \cdot r_2 + \frac{d\vec{\Psi}_{20}}{dt} - j\omega_r \cdot \vec{\Psi}_{20}, = \quad (3.16)$$

так как $\frac{d\theta}{dt} = \omega_r$.

Если все векторы описать в системе координат, вращающейся со скоростью ω_{KC} , при этом, отбрасывая для упрощения записи у векторов индексы « ω », указывающие на вращение системы координат, и учитывая, что $\frac{d\theta}{dt} = \omega_r$, получаем:

$$\begin{aligned} \vec{U}_1 &= \vec{I}_1 \cdot r_1 + \frac{d\vec{\Psi}_1}{dt} + j\omega_{\hat{E}\hat{N}} \cdot \vec{\Psi}_1; \\ \vec{U}_2 &= \vec{I}_2 \cdot r_2 + \frac{d\vec{\Psi}_2}{dt} + j(\omega_{\hat{E}\hat{N}} - \omega_r) \vec{\Psi}_2. \end{aligned} \quad (3.17)$$

Выражая векторы через составляющие по осям x, j вращающейся системы координат, т.е. выделяя их вещественную и мнимую части, имеем:

$$\begin{aligned}
u_{1x} &= r_1 \cdot i_{1x} + \frac{d\psi_{1x}}{dt} - \omega_{\hat{E}\hat{N}} \cdot \psi_{1y}; \\
u_{1y} &= r_1 \cdot i_{1y} + \frac{d\psi_{1y}}{dt} + \omega_{\hat{E}\hat{N}} \cdot \psi_{1x}; \\
u_{2x} &= r_2 \cdot i_{2x} + \frac{d\psi_{2x}}{dt} - (\omega_{\hat{E}\hat{N}} - \omega_r) \cdot \psi_{2y}; \\
u_{2y} &= r_2 \cdot i_{2y} + \frac{d\psi_{2y}}{dt} + (\omega_{\hat{E}\hat{N}} - \omega_r) \cdot \psi_{2x}.
\end{aligned} \tag{3.18}$$

Выражая потокосцепления через токи согласно (3.12.) и (3.13), из (3.17) получаем:

$$\begin{aligned}
\vec{U}_1 &= r_1 \cdot \vec{I}_1 + \frac{d}{dt}(L_1 \cdot \vec{I}_1 + L_m \cdot \vec{I}_2) + j\omega_{\hat{E}\hat{N}}(L_1 \cdot \vec{I}_1 + L_m \cdot \vec{I}_2); \\
\vec{U}_2 &= r_2 \cdot \vec{I}_2 + \frac{d}{dt}(L_m \cdot \vec{I}_1 + L_2 \cdot \vec{I}_2) + j(\omega_{\hat{E}\hat{N}} - \omega_r) \cdot (L_m \cdot \vec{I}_1 + L_2 \cdot \vec{I}_2).
\end{aligned} \tag{3.19}$$

В этих уравнениях, как и в уравнениях (3.17), векторы можно разложить на составляющие по осям x и ju системы координат, вращающейся со скоростью $\omega_{\hat{E}\hat{N}}$. При $\omega_{\hat{E}\hat{N}} = 0$ оси x и ju становятся осями a, jb неподвижной системы координат.

Электромагнитный момент в воздушном зазоре:

$$M = \frac{3}{2} \cdot \delta \cdot (\psi_{1x} \cdot i_{1y} - \psi_{1y} \cdot i_{1x}) = \frac{3}{2} \cdot \delta \cdot \text{Im}[(i_{1x} + ji_{1y}) \cdot (\psi_{1x} - j\psi_{1y})]. \tag{3.20}$$

Это соотношение можно записать в виде произведения векторов $\vec{\Psi}_1$ и \vec{I}_1 :

$$\vec{M} = \frac{3}{2} \cdot \delta \cdot [\vec{\Psi}_1 \times \vec{I}_1] = \frac{3}{2} \cdot \delta \cdot |\vec{\Psi}_1| \cdot |\vec{I}_1| \cdot \sin(\varphi), \tag{3.21}$$

где φ – угол между векторами $\vec{\Psi}_1$ и \vec{I}_1 , т.к. векторное произведение можно представить в виде определителя, выраженного через составляющие векторов и единичные орты пространственной системы координат:

$$\vec{M} = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \begin{bmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \psi_{1x} & \psi_{1y} & 0 \\ i_{1x} & i_{1y} & 0 \end{bmatrix} = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \vec{k} \cdot (\psi_{1x} \cdot i_{1y} - \psi_{1y} \cdot i_{1x}), \quad (3.22)$$

т.е. приходим к ранее полученному результату (3.20). Вектор момента направлен вдоль орта \vec{k} (вдоль оси вала двигателя).

Так как

$$\psi_{1x} = L_1 \cdot i_{1x} + L_m \cdot i_{2x}; \quad \psi_{1y} = L_1 \cdot i_{1y} + L_m \cdot i_{2y},$$

то из (3.22) найдем:

$$M = \frac{3}{2} \cdot p \cdot L_m \cdot (i_{1y} \cdot i_{2x} - i_{1x} \cdot i_{2y}) = \frac{3}{2} \cdot p \cdot L_m \cdot \text{Im}[\vec{I}_1 \cdot \vec{I}_2]. \quad (3.23)$$

Электрохимические процессы описываются уравнением движения двигателя:

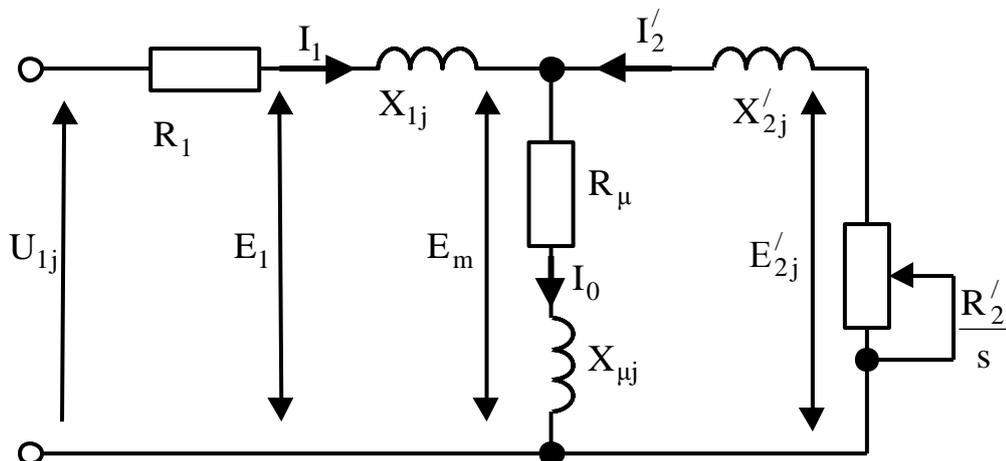
$$M - M_c = J_\Sigma \frac{d\omega_r}{p \cdot dt}, \quad (3.24)$$

где $\frac{\omega_r}{p} = \omega_a$ - частота вращения вала двигателя; $J_\Sigma =$ - суммарный

момент инерции привода; M_c - момент сопротивления.

3.3. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным

Для расчёта электрохимических и механических характеристик асинхронного двигателя необходимо воспользоваться его математической



моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для инженерных расчётов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, рисунок 14.

Рисунок 14. Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$\begin{aligned} U_{1\phi} - \bar{E}_m - j \cdot X_1 \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 &= 0 \\ \bar{E}_m + j \cdot & \end{aligned} \quad (3.25)$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений, удовлетворяющая уравнениям (4.1), изображена на рисунке 15.

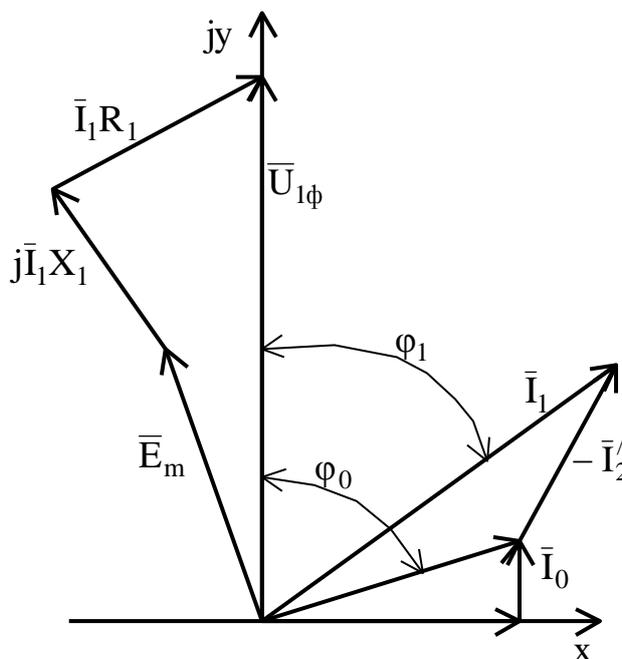


Рисунок 15. Векторная диаграмма асинхронной машины

Для определения параметров Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя необходимы следующие технические данные (которые как правило приводятся в каталогах на асинхронные двигатели):

P_i – номинальная мощность двигателя, кВт;

U_{1i} – номинальное линейное напряжение, В;

n_i – номинальная частота вращения, об/мин или

s_i - номинальное скольжение, о.е.;

η_i - КПД в режиме номинальной мощности (100 %-я нагрузка), %;

$\cos \phi_i$ – коэффициент мощности в режиме номинальной мощности,

о.е.;

$$k_i = \frac{I_i}{I_i} - \text{кратность пускового тока, о.е.};$$

$$k_i = \frac{\dot{I}_i}{\dot{I}_i} - \text{кратность пускового момента, о.е.};$$

$$k_{\max} = \frac{M_{\hat{e}}}{M_i} - \text{кратность максимального момента, о.е.};$$

$$k_{\min} = \frac{M_{\min}}{M_i} - \text{кратность минимального момента, о.е.};$$

Эти данные позволяют определить параметры схемы замещения при следующих основных допущениях:

- магнитные и механические потери в двигателе составляют $0,02 D_i$;
- активные сопротивления статорной и роторной обмоток полагаются не зависящими от режима работы двигателя, т.е. эффекты вытеснения не учитываются.

Ток холостого хода асинхронного двигателя можно найти из выражения

:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - (p_* \cdot I_{1i} \cdot (1 - s_i) / (1 - p_* \cdot s_i))^2}{1 - (p_* \cdot (1 - s_i) / (1 - p_* \cdot s_i))^2}}, \quad (3.26)$$

где $I_{1i} = \frac{P_i}{3 \cdot U_{1\delta} \cdot \cos \phi_i \cdot \eta_i}$ – номинальный ток статора двигателя;

$s_i = \frac{n_0 - n_i}{n_0}$ - номинальное скольжение;

n_0 - синхронная частота вращения;

$U_{1\delta}$ - фазное напряжение;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_i}{3 \cdot U_{1\delta} \cdot \cos \phi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} \quad (3.27)$$

- ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$\cos \phi_{p^*}$ - коэффициент мощности при частичной нагрузке;

η_{p^*} - КПД при частичной нагрузке;

$p_* = P/P_n$ - коэффициент загрузки двигателя.

Коэффициент мощности и КПД при частичной нагрузке в технической литературе приводятся редко, а для целого ряда серий электрических машин такие данные в справочной литературе отсутствуют. Эти параметры можно определить, руководствуясь следующими соображениями:

- современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при нагрузке на 10 – 15 % меньше номинальной. Двигатели рассчитываются так потому, что большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и нагрузке $p_* = 0,75$ практически равны между собой, т.е.

$$\eta_{\delta_*} \approx \eta_t \quad (3.28)$$

- коэффициент мощности при нагрузке $\delta_* = 0,75$ значительно отличается от коэффициента мощности при номинальной нагрузке, причём это отличие в значительной степени зависит от мощности двигателя и для известных серий асинхронных двигателей с достаточной для практики точностью подчиняется зависимости, представленной на рисунке 16.

Из формулы Клосса определим соотношение для расчёта критического скольжения:

$$s_{\delta} = s_t \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot s_t \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_t \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)}, \quad (3.29)$$

где $\beta = R_1 / (C_1 \cdot R_2')$

$$(3.30)$$

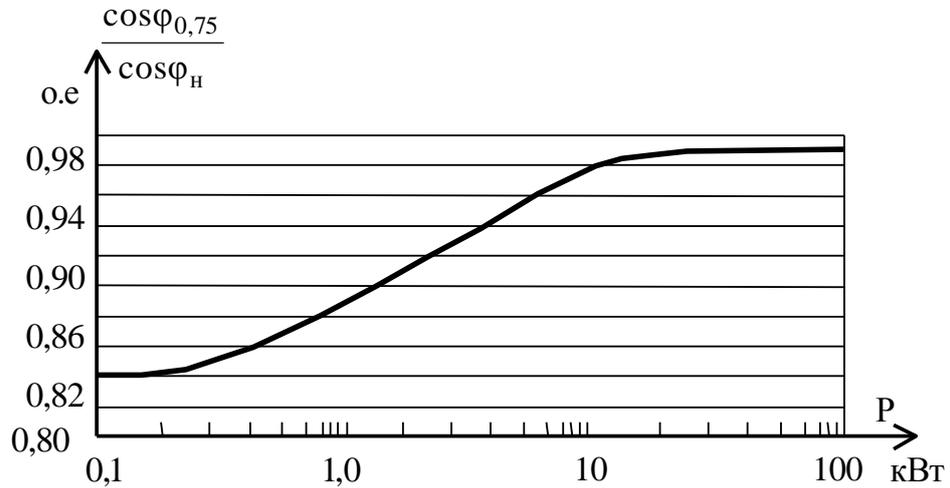


Рисунок 16. Зависимость $\cos \phi_{0,75} / \cos \phi_i$ от мощности асинхронного двигателя

Значение коэффициента β находится в диапазоне 0,6 – 4, поэтому в первом приближении принимаем $\beta = 1$.

Далее необходимо определить ряд промежуточных коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1i}} ; \quad (3.31)$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\delta}^2 \cdot (1 - s_i)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_i} ; \quad (3.32)$$

$$\dot{A}_0 = \frac{I_{1i} \cdot \cos \phi_i - I_0 \cos \phi_0}{U_{1\delta}} , \quad (3.33)$$

где $\cos \phi_0 = \cos 82^\circ = 0,139$ - коэффициент мощности асинхронного двигателя в режиме холостого хода;

$$\hat{A} = \frac{1}{s_i} + \frac{1}{s_e} - \dot{A}_0 \cdot 2 \cdot \frac{\dot{A}_1}{s_i} ; \quad (3.34)$$

$$\tilde{N} = \frac{1}{s_i \cdot s_e} - \left(\frac{1}{s_e^2} + \frac{1}{s_i^2} \right) \cdot \dot{A}_0 \cdot \dot{A}_1 . \quad (3.35)$$

Теперь по найденным значениям проверяем величину заданного в начале коэффициента β :

$$\beta_{\delta} = \left| \frac{-\hat{A}}{2} + \sqrt{\frac{\hat{A}}{2} - \tilde{N}} \right|.$$

(3.36)

Если β_{δ} больше β , необходимо уменьшить, а если β_{δ} меньше β , то увеличить значение коэффициента β и повторить весь расчёт сначала. Как правило, за несколько итераций удаётся получить вполне удовлетворительные результаты.

Если разница между β_{δ} и β не превышает установленной погрешности расчёта ($\delta = 0,001$) можно переходить к непосредственному определению параметров асинхронного двигателя.

Активное сопротивление ротора, приведённое к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_{\hat{e}}}\right) \cdot C_1}$$

(3.37)

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta$$

(3.38)

Определим параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_{кн}$.

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_{\hat{e}}^2} - \beta^2}.$$

(3.39)

$$\text{Тогда } X_{\hat{e}i} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2'. \quad (3.40)$$

Для того чтобы выделить из индуктивного сопротивления $\tilde{O}_{\hat{e}i}$, сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведённое к статорной, может быть рассчитано:

$$X'_{2н} = \frac{0,58 \cdot X_{кн}}{C_1} \dots \quad (3.41)$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению:

$$X_{1н} = 0,42 \cdot X_{кн} \dots \quad (3.42)$$

Согласно векторной диаграмме (рисунок 15) ЭДС ветви намагничивания, наведённая потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\delta} \cdot \cos \phi_i - R_1 \cdot I_{1r})^2 + (U_{1r} \cdot \sin \phi_i + X_{1r} \cdot I_{1r})^2}, \quad (3.43)$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_{\mu н} = \frac{E_m}{I_0} \dots \quad (3.44)$$

Используя параметры схемы замещения можно произвести расчёт механических и электромеханических характеристик.

3.5. Короткозамкнутый асинхронный двигатель во вращающейся системе координат

Для решения вопросов проектирования асинхронного электропривода питателя и последующего его исследования выбрана структурная схема эквивалентного двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат. Структурная схема двигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся со скоростью $\omega_{\text{эл}}$ системе координат x, y и реактивной нагрузкой приведена на рисунке 14.

Структурная схема двухфазного электродвигателя во вращающейся системе координат имеет три управляющих воздействия:

- два постоянных по форме напряжения U_{1x} и U_{1y} , численные значения которых равны значениям фазных напряжений электродвигателя и определяются в соответствии с выбранной зависимостью $U_1(f_1)$;

- значение угловой частоты вращения поля статора $\omega_{\text{эл}} = 2\pi \cdot f_1$.

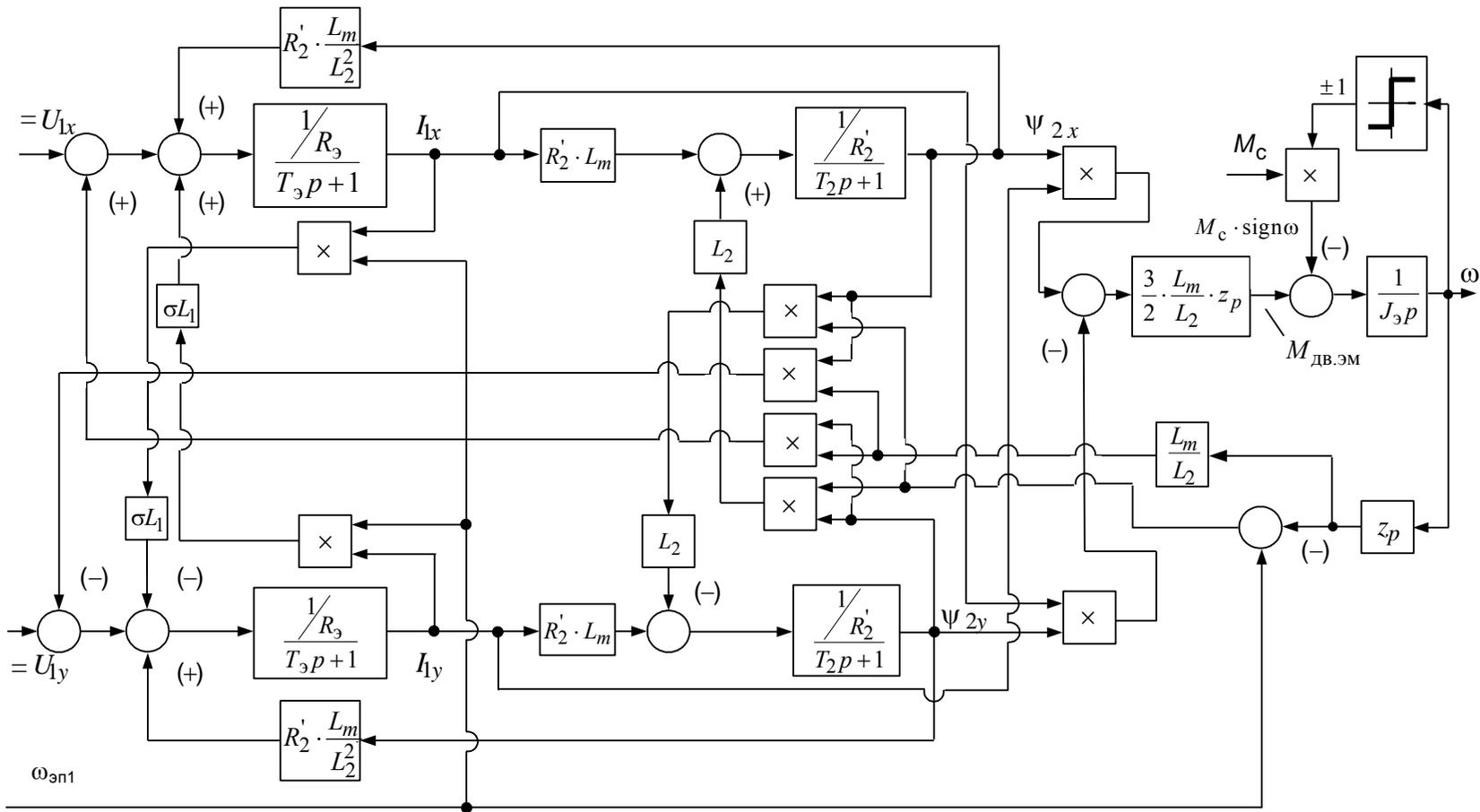


Рисунок 14 – Структурная схема асинхронного двигателя во вращающейся со скоростью $\omega_{эл}$ произвольно ориентированной системе координат x, y

4. Параметры звеньев структурной схемы двигателя

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{0.298}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.00095 \text{ Гн};$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{0.399}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.00127 \text{ Гн}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием полюсов статора (индуктивность контура намагничивания)

$$L_m = \frac{X_m}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{19.344}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0.06 \text{ Гн}$$

Эквивалентная индуктивность обмоток

- статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0.06095 \text{ Гн}$$

- ротора

$$L_2 = L_{2\sigma} + L_m = 0.06127 \text{ Гн}$$

Эквивалентное сопротивление:

$$R_y = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_m} = 0.171 + 0.168 \cdot \frac{0.0889^2}{0.0916^2} = 0.3291 \text{ Ом}$$

Электромагнитные постоянные времени:

$$T_y = \frac{\sigma \cdot L_1}{R} = \frac{0.052 \cdot 0.0909}{0.3291} = 0.0143 \text{ с.}$$

Где $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0.0889^2}{0.0916 \cdot 0.0909} = 0.052$ - коэффициент рассеивания

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0.0916}{0.168} = 0.5452 \text{ с.}$$

Для исследования процессов при частотном регулировании в самом электродвигателе и далее в системе регулируемого электропривода

вентилятора используем метод имитационного моделирования и в качестве средства моделирования электромеханических систем примем программу *MATLAB R2007b*.

5 Имитационная модель двухфазного двигателя

На основании структурной схемы рисунок 14 в программе *MATLAB* разработана имитационная модель двухфазного асинхронного электродвигателя с реактивной нагрузкой во вращающейся со скоростью $\omega_{эл1}$ произвольно ориентированной системе координат x, y (рисунок 15),.

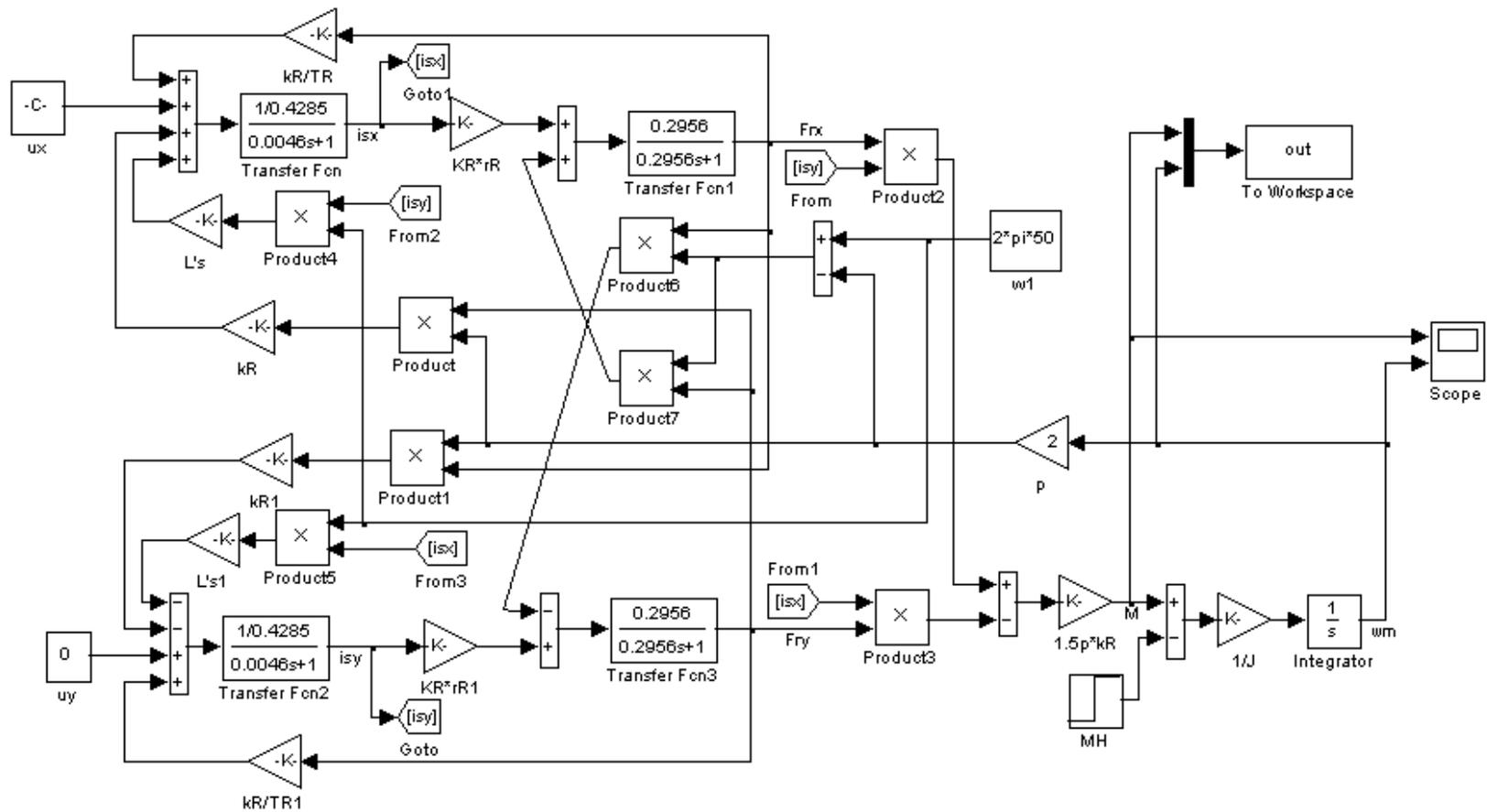


Рисунок 15 – Схема набора имитационной модели двухфазного асинхронного электродвигателя с реактивной нагрузкой во вращающейся со скоростью $\omega_{эл}$ произвольно ориентированной системе координат x, y

Так как динамическую механическую характеристику асинхронного двигателя можно получить только по результатам расчетов переходных процессов, то вначале приведем графики переходных процессов момента рисунок 16 и скорости рисунок 17 при пуске двигателя прямым включением в сеть.

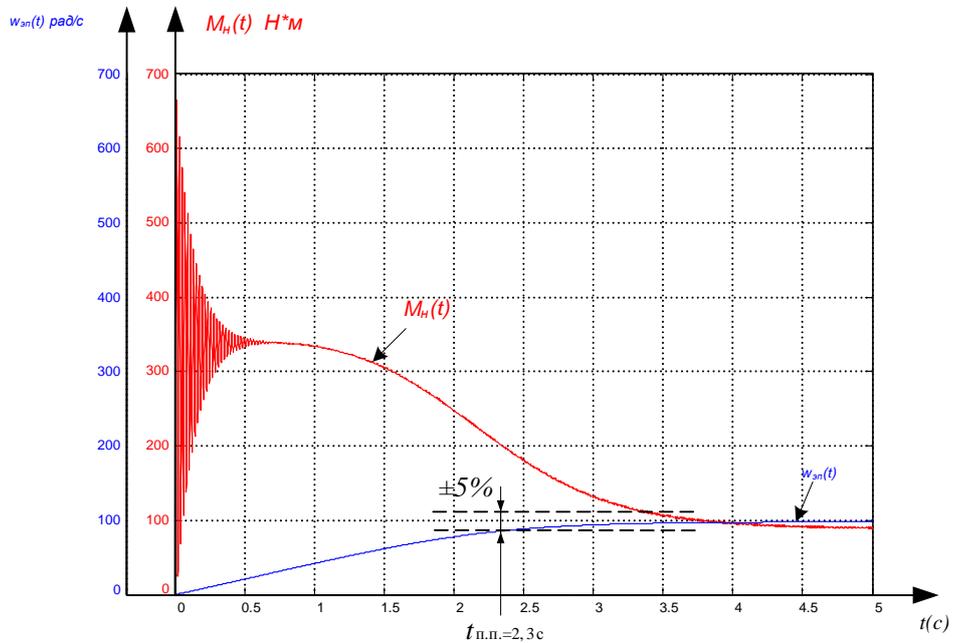


Рисунок 16. Переходный процесс при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6 прямым включением в сеть

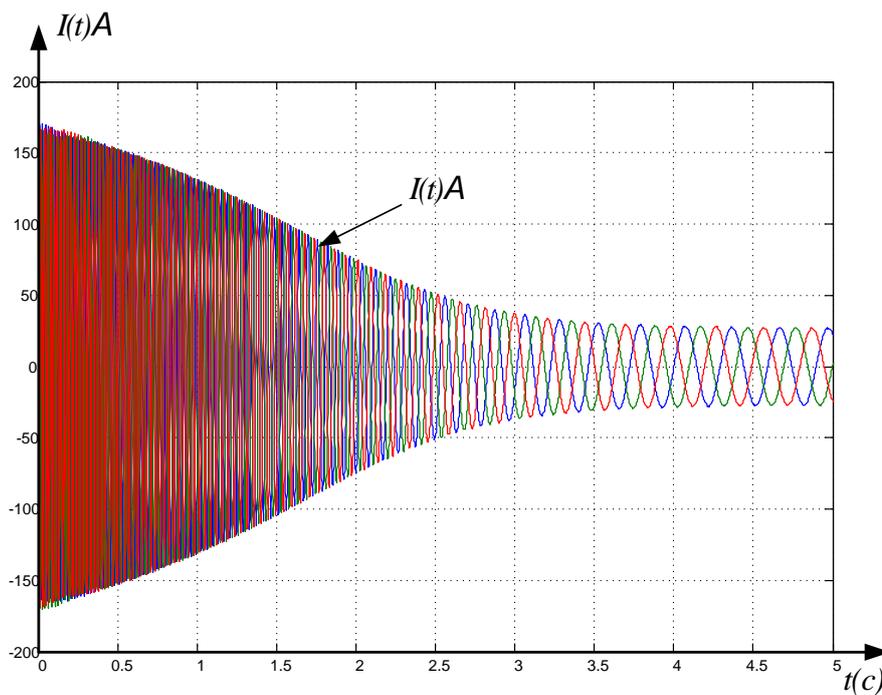


Рисунок 17 Переходный процесс тока статора при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6 прямым включением в сеть

Графики $\omega = f(t)$ и $M = f(t)$ переходных процессов позволяют построить динамическую механическую характеристику (рисунок 18) асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6 при пуске прямым включением в сеть.

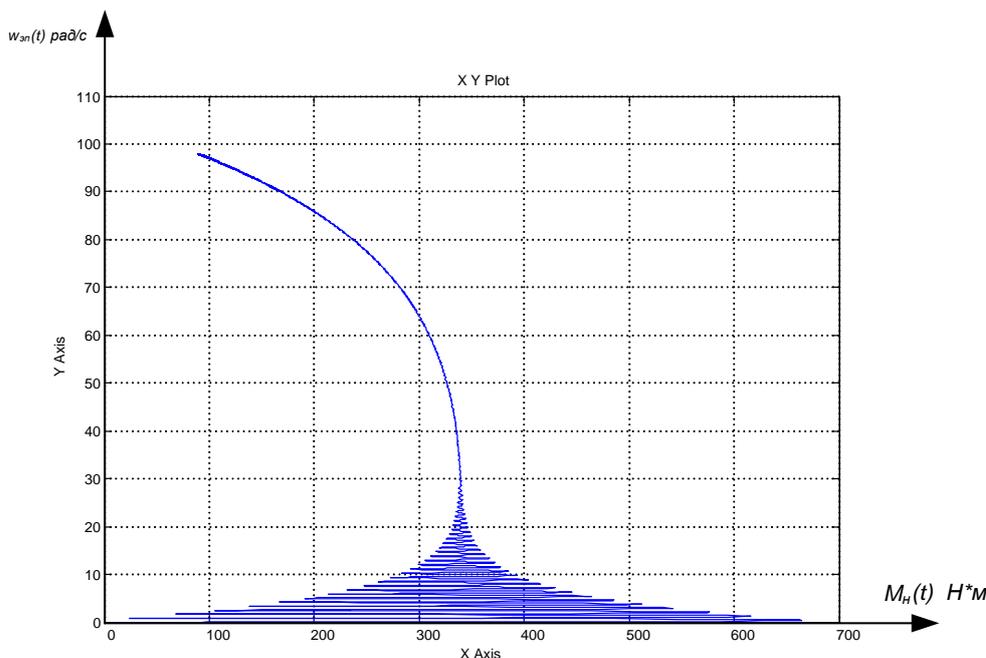


Рисунок 18 Динамическая механическая характеристика асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6

Вид переходных процессов при прямом пуске асинхронного электродвигателя показывает наличие колебательной составляющей в кривой электромагнитного момента и затухающей по мере разгона двигателя. При достижении динамической характеристикой критического значения, двигатель имеет максимальное ускорение. Большие ударные моменты при пуске двигателя могут приводить к выходу из строя механизма машины. Значения токов обмоток статора во время разгона двигателя достигают значения в несколько сот ампер, что приводит к выходу из строя обмотки статора двигателя, по окончании времени разгона ток уменьшается до номинального. В итоге прямой пуск асинхронного двигателя не позволяет получить удовлетворительных переходных характеристик. Также

существующий привод не обеспечивает необходимый для технологического процесса диапазон регулирования.

6 Модель электропривода с задатчиком интенсивности

Механизм передвижения требует повышенной плавности движения с ограниченными значениями ускорения и рывка (второй производной скорости). С этой целью на входе регулируемого электропривода установлен S-образный задатчик скорости, формирующий на входе контура скорости управляющие сигналы с ограниченными значениями первой и второй производными. Форма выходной сигнала задатчика скорости представлена на рисунке 19. Схема набора имитационной модели S-образного задатчика скорости приведена на рисунке 20.

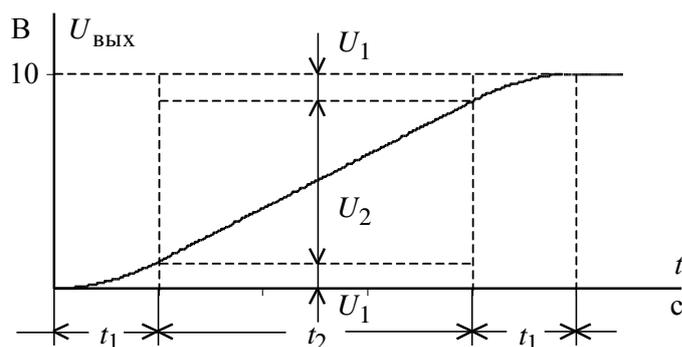


Рисунок 19 – Временная характеристика S-образного задатчика скорости

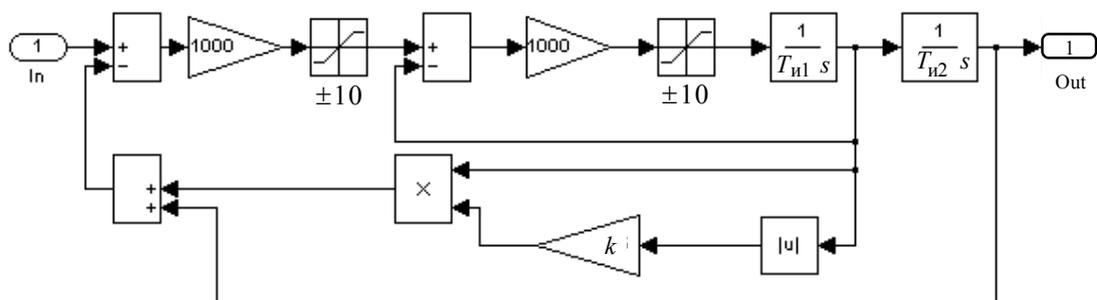


Рисунок 20 – Схема набора имитационной модели задатчика скорости

Смоделируем запуск асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6 и рассмотрим характеристики переходных процессов и динамическую механическую характеристику.

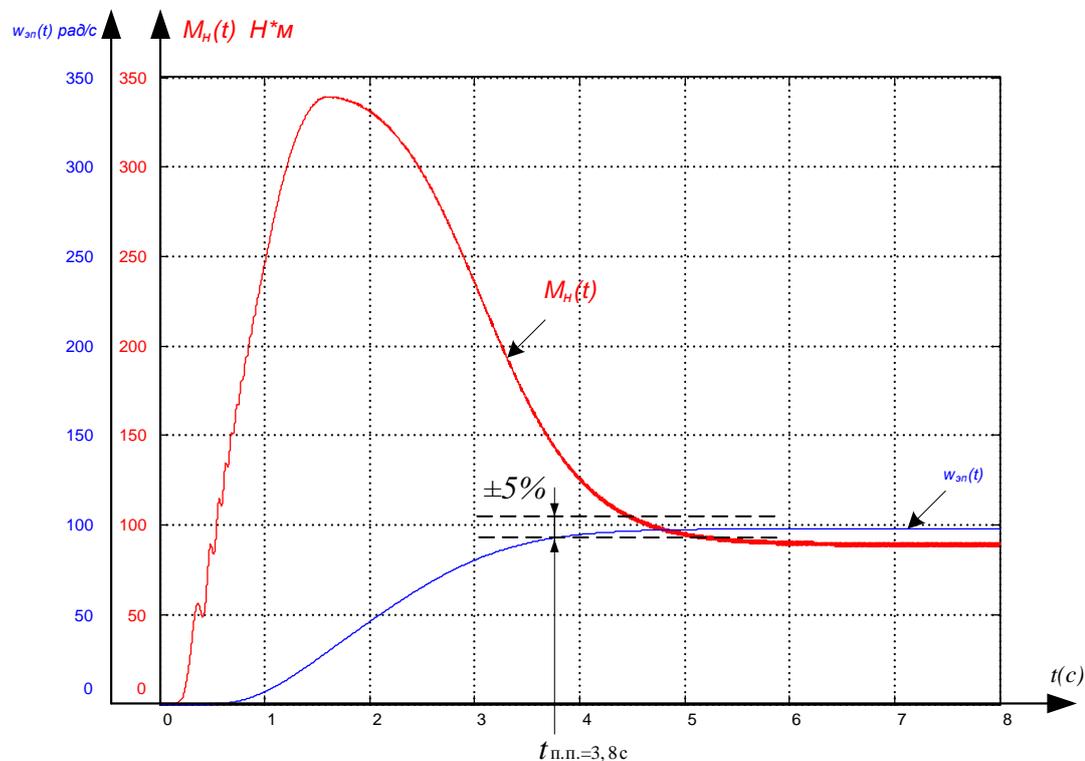


Рисунок 21. Переходный процесс двигателя МТКФ (Н) 311-6 при пуске с задатчиком интенсивности

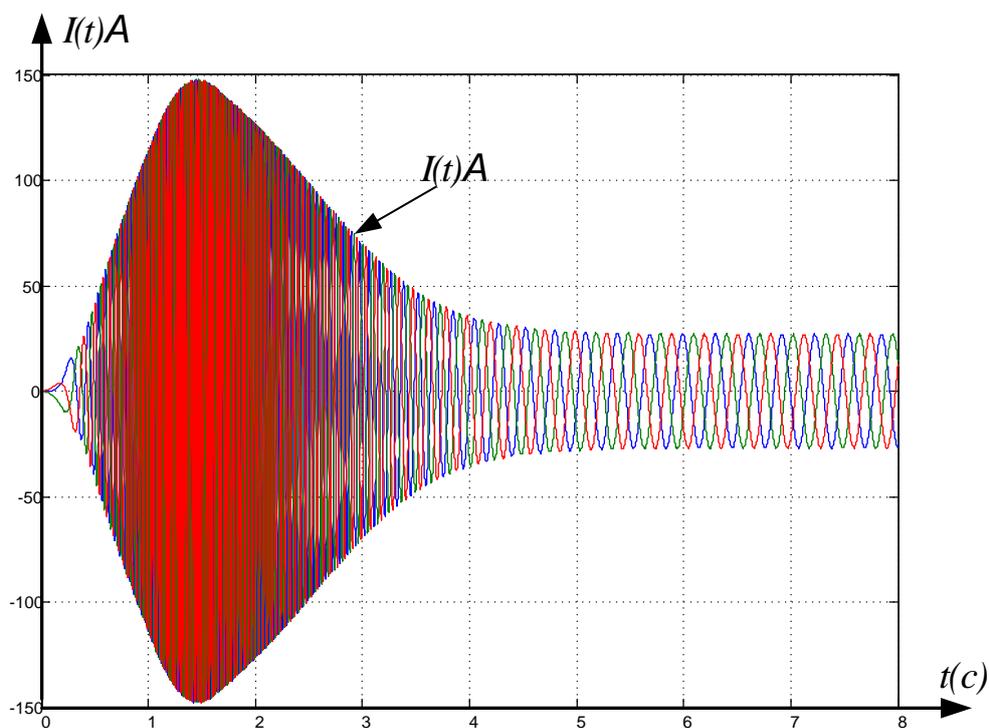


Рисунок 22 Переходный процесс тока статора при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6 с задатчиком интенсивности.

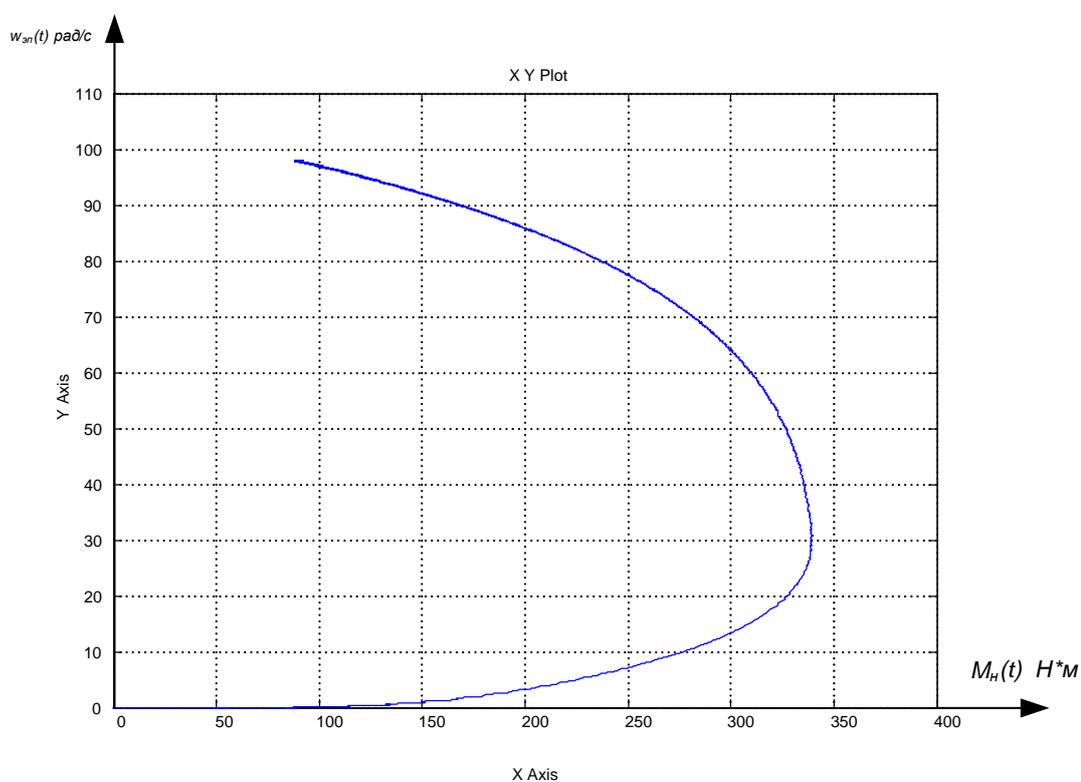


Рисунок 23. Динамическая механическая характеристика двигателя МТКФ (Н) 311-6 при пуске с задатчиком интенсивности

Сравнительный анализ графиков переходных процессов тока скорости и момента, а также динамических механических характеристик при пуске двигателя прямым включением в сеть (рисунки 16 – 18) и с использованием задатчика интенсивности (рисунки 19 – 23) показывает, что в результате формирования соответствующего закона изменения напряжения управления, можно: устранить броски динамического момента двигателя на начальном участке пуска и уменьшить максимальное перерегулирование скорости в конце пуска.

Таким образом, с целью надежного функционирования асинхронных электроприводов рекомендуется управляющее напряжение формировать от задатчика интенсивности, что положительно скажется на механизме привода, так как позволит предварительно выбирать зазоры в механизмах передачи и избежать их поломки.

7. Техническое описание и выбор устанавливаемого оборудования преобразователя

7.1. Внешний вид, комплектация и технические характеристики преобразователя ATV71HD37M3X

Внешний вид преобразователя представлен на рисунке 24



Рисунок 24. Внешний вид преобразователя ATV71HD37M3X

Характеристики привода:

1. Диапазон выходной частоты: $f = 0 - 1000$ Гц.
2. Диапазон скорости: $D = 1000$ в замкнутой системе с импульсным датчиком тока, $D = 100$ в разомкнутой системе.
3. Статическая точность при изменении момента от $0,2M_n$ до M_n : $\pm 0,01\%$ номинальной скорости в замкнутой системе с применением импульсного датчика; $\pm 10\%$ номинального скольжения без обратной связи по скорости.
4. Точность поддержания момента: $\pm 5\%$ в замкнутой системе; $\pm 15\%$ в разомкнутой системе.

5. Переходной перегрузочный момент: 170% номинального момента двигателя(типовое значение $\pm 10\%$) в течении 60с, 220% номинального момента двигателя(типовое значение $\pm 10\%$) в течении 2с.

6. Тормозной момент: 30% номинального момента двигателя без тормозного сопротивления, до 150% номинального момента двигателя с тормозным сопротивлением.

7. Переходный максимальный ток: 150% номинального тока преобразователя частоты в течении 60с; 160% номинального тока преобразователя частоты в течении 2с.

8. Постоянный момент при 0Гц для ATV71HD37M3X: преобразователь Altivar 71 может в продолжительном режиме обеспечить номинальный ток преобразователя.

9. Закон управления асинхронным двигателем: векторное управление с обратной связью по скорости (вектор тока), система адаптации мощности для неуравновешенных механизмов, векторное управление без обратной связью по скорости(вектор тока или напряжения), в данном случае – закон «напряжение/частота» по 2 или 5 точкам.

10. Контур регулирования частоты: ПИ-регулятор с перестраиваемой структурой для получения характеристик по скорости, адаптированных к механизму (точность и быстродействие).

11. Компенсация скольжения: автоматическая, не зависящая от характера нагрузки, возможны настройка или отключение, но при данном выбранном законе управления «напряжение/частота» не используется.

Электрические характеристики привода:

1. Сетевое питание для для ATV71HD37M3X: $U = 380 \pm 15\%V$, $480 \pm 10\%V$, трёхфазное.

2. Частота: $f = 50 \pm 5\% \div 60 \pm 5\% \text{Гц}$.

3. Сигнализация: 1 красный светодиод, если преобразователь под напряжением, то светодиод горит.

4. Выходное напряжение: максимальное трёхфазное напряжение равно напряжению сети.

5. Уровень шума преобразователя в соответствии с директивой 86-188/ЕЕС: 63,7дБ.

7.2. Характеристики подключения

Характеристики соединительных кабелей при монтаже в шкафу:
одножильный кабель МЭК, окружающая температура 45 °С, медь 90 °С XLPE/EPR или медь 70 °С PVC.

Подключение к клеммам питания, двигателя, промежуточного звена постоянного тока: к клеммам питания (L1/R, L2/S, L3/T) – 8мм²; 1,3Н·м; максимальное сечение проводников и момент затяжки: 4×120мм², 2,5Н·м; к клеммам двигателя (U/T1, V/T2, W/T3) – 2×(3×70мм²), 2,5Н·м; к клеммам промежуточного звена постоянного тока (PC/-, P0, PA/+) – 2×120мм².
Электрические характеристики цепей управления приведены в таблице 4

Таблица 4.- Электрические характеристики цепей управления

Наличие внутренних источников		Защищённые от коротких замыканий и перегрузок: 1 источник постоянного тока стабилизированный, U = 10,5В ± 5% для задающего потенциометра(от 1 до 10кОм), максимальный ток 10мА; 1 источник постоянного тока стабилизированный, 24В(минимум 21В, максимум 27В), максимальный ток 200мА
Аналоговые входы	AI-/AI+	1 аналоговый дифференциальный двухполярный вход, постоянное стабилизированное напряжение ±10, максимальное неразрушающее 24В; время дискретизации: ≤ 2 ± 0,5мс
	AI2	1 аналоговый вход, конфигурируемый по напряжению или по току: аналоговый вход по напряжению 0-10В; полное сопротивление 30

		кОм; аналоговый вход по току X-Y мА с программированием X-Y от 0 до 20 мА, максимальное полное сопротивление нагрузки 242 Ом
	Другие входы	См. дополнительные карты
Аналоговые конфигурируемые выходы по напряжению и по току	АО1	1 аналоговый выход, конфигурируемый по напряжению или току: аналоговый выход по напряжению 0-10В, постоянный стабилизированный ток, минимальное сопротивление нагрузки 470 Ом; аналоговый выход по току X-Y мА с программированием X-Y от 0 до 20 мА, максимальное полное сопротивление нагрузки 500 Ом
Другие выходы		См. дополнительные карты
Дискретные входы	U1-U5	5 программируемых дискретных входов, постоянный ток, 24В, совместимых с ПЛК стандарт МЭК 65-68, уровень 1, полное сопротивление 3,5 кОм, максимальное напряжение 30В, время дискретизации: $\leq (2 \pm 0,5\text{мс})$; многократное назначение позволяет совмещать несколько функций на один вход(например: U1 – вперед и заданная скорость 2, U3 – назад и заданная скорость 3)
	R1A,	1 релейный выход с переключающим контактом; минимальная переключающая способность: 3мА при 24В постоянного стабилизированного тока; максимальная переключающая способность: при активной нагрузке ($\cos \varphi = 1$): 5А для 250В

Релейные Ошибка! выходы	R1B, R1C	переменного тока или 30В постоянного тока; при индуктивной нагрузке($\cos \varphi = 0,4$ и $L/R = 7$ мс): 2А для 250В переменного тока или 30В постоянного тока; время дискретизации: $\leq 7 \pm 0,5$ мс;
	R2A, R2B	1 релейный выход с НО контактом; минимальная переключающая способность: 3мА при 24В постоянного тока; максимальная переключающая способность: при активной нагрузке($\cos \varphi = 1$): 5А для 250В переменного тока или 30В постоянного тока; при индуктивной нагрузке: 2А для 250В переменного тока или 30В постоянного тока; время дискретизации: $\leq 7 \pm 0,5$ мс;
Дискретные входы	U6	1 дискретный вход, конфигурируемый переключателем на дискретный вход или вход для подключения терморезисторов РТС, характеристики идентичны U1-U5, вход для подключения до 6 терморезисторов, соединённых последовательно: номинальное значение $< 1,5$ кОм; сопротивление отключения 3кОм; возврата 1,8кОм; защита от к.з. < 50 Ом
	Ошибка! логика(Sourc e)	состояние 0, если ≤ 5 В или дискретный вход не подключен, состояние 1, если ≥ 11 В
	Отрицательн ая логика (Sink)	состояние 0, если ≥ 16 В или дискретный вход не подключен, состояние 1, если ≤ 10 В
	Другие входы	см. дополнительные карты

<p>Вход Ошибка!</p>	<p>PWR</p>	<p>1 вход для защитной функции блокировки преобразователя: питание: 24В пост. тока ($\leq 30V$); полное сопротивление: 1,5кОм; состояние 0, если $<2V$, состояние 1, если $>17V$</p>
<p>Кривые разгона и торможения</p>		<p>Формы кривых: линейная, с отдельной настройкой от 0,01 до 999,9с S, U-образная или индивидуальная; автоматическая адаптация темпа торможения при превышении тормозной способности, возможно запрещение такой адаптации(использование тормозного сопротивления)</p>
<p>Торможение до полной остановки</p>		<p>Динамическое торможение: при подаче сигнала на назначаемый дискретный вход; автоматически при уменьшении частоты ниже 0,1Гц в течении от 0 до 60с или постоянно; ток настраивается от 0 до 1,2In (только в разомкнутой системе)</p>
<p>Основные защиты и характеристики безопасности преобразователя частоты</p>		<p>Тепловая защита: от чрезмерного перегрева; перегрева силового каскада, защита от: коротких замыканий между выходными фазами, обрыва фазы сетевого питания, перегрузки по току между выходными фазами и землёй; перенапряжений в звене постоянного тока; обрыва цепи управления, превышения ограничения скорости. Функции защиты: от пониженного или повышенного напряжения питания, потери фазы для трёхфазного питания</p>

<p>Защита двигателя</p>	<p>Встроенная в преобразователь тепловая защита посредством постоянного расчёта $I^2 t$ с учётом скорости: сохранение теплового состояния двигателя при отключении питания преобразователя частоты ПЧ, изменяемая функция с помощью аналоговых средств в зависимости от типа охлаждения двигателя (естественное или принудительное). Защита от обрыва фазы двигателя. Защита с помощью резисторов РТС</p>
<p>Электрическая прочность ATV71HD75N4</p>	<p>Между силовыми цепями и землёй: 3535В постоянного тока. Между цепями управления и силовыми цепями: 5092В</p>
<p>Сопротивление изоляции относительно земли</p>	<p>>1Мом(электрическая изоляция), 500В постоянного тока в течении 1мин</p>

7.3. Характеристики коммуникационных портов

Характеристики для применяемого протокола Modbus приведены в таблице 5

Таблица 5 - Характеристики для применяемого протокола Modbus

Тип		Терминальный разъем Modbus RG45	Сетевой разъем Modbus RG45
Структура	Физический интерфейс	RS485, двухпроводной	
	Режим передачи	RTU	
	Скорость передачи	Конфигурируемая с помощью терминала или программного обеспечения PowerSuite: 9600 или 19200бит/с	Конфигурируемая с помощью терминала или программного обеспечения PowerSuite: 4800, 9600, 19200бит/с или 38,4Кбит/с
	Формат	Фиксированный, 8 бит, контроль чётности, 1 стоповый бит	Конфигурируемая с помощью графического терминала или программного обеспечения PowerSuite : 8 бит, контроль нечётности, 1 стоповый бит; 8 бит, контроль

		чётности, 1 стоповый бит; , 8 бит, без контроля чётности, 1 стоповый бит; 8 бит, без контроля чётности, 2 стоповых бита.
	Адресация	Адрес ПЧ конфигурируется с помощью терминала или программным обеспечением PowerSuite от 1 до 247. Могут быть сконфигурированы 3 адреса, обеспечивающим доступ к данным ПЧ, программируемой карты встроенного контроллера и коммуникационной карты. Эти 3 адреса идентичны для сетевого и терминального разъёма
Сервисы	Сообщения	Чтение внутренних регистров(03), ≤ 63 слов, запись одного регистра(06), запись несколько регистров(16), ≤ 61 слов, чтение-запись несколько регистров (23), ≤ 62/59 слов, чтение идентификатора устройства(43), диагностика(08)
	Контроль связи	Может быть замаскирован, настраиваемый тайм аут: от 0,1 до 30с
Диагностика	с помощью светодиодов	Один светодиод активизации на встроенном терминале. Один светодиод для каждого порта

7.4. Дополнительное оборудование для преобразователя

7.4.1. Коммуникационные карты и карта контроллера

В данный преобразователь частоты ATV71HD75N4 установлена дополнительно коммуникационная карта Modbus/Uni-Telway с общим разъёмом сети Modbus для точного управления с высоким быстродействием, конфигурирования, настройки и контроля. Второй разъём позволяет подключить операторскую панель Magelis для диалога с преобразователем. Программируемая карта встроенного контроллера Controller Inside, которая тоже входит в комплект, превращает преобразователь в звено структуры автоматизации: карта обладает собственными входами и выходами и может управлять входами-выходами преобразователя и карты расширения; карта содержит прикладные программы, написанные на языках, соответствующих стандарту МЭК 61131-3, что уменьшает время отклика системы автоматизации; благодаря наличию порта CANopen Master, карта может управлять другими преобразователями и проводить опрос модулей входов-выходов и импульсных датчиков.

Третья карта, встраиваемая в данное оборудование: интерфейсная карта цифрового датчика с дифференциальными выходами, совместимыми с RS 422, с открытым коллектором и с выходом типа push-pull.

Для данного преобразователя подходит интерфейсная карта VW3 A3 401, (см. характеристики в таблице 5), с выходами совместимыми с RS-422, так как симметричный интерфейс RS-422, использующий дифференциальные сигнальные линии, обеспечивает принцип изменения напряжения на этих

линиях. Этот принцип кодирования делает данный стандарт устойчивым к внешним возмущениям.

Интерфейсная карта импульсного датчика (цифрового датчика перемещений с относительным отсчётом), обеспечивает оптимальную работу привода в векторном управлении, независимо от нагрузки на валу. Но при данном выбранном законе управления $U/f = \text{const}$ позволяет улучшить статическую точность системы регулирования скорости. Интерфейсная карта также используется для обеспечения превышения скорости механизма крана при превышении скорости, обеспечивает задание управляющего сигнала на преобразователь Altivar 71 с выхода датчика. Такое применение предназначено для синхронизации скорости приводов двух двигателей механизма передвижения крана, двигателя правой и левой опоры крана. Карта устанавливается в предназначенное для неё место в преобразователе частоты.

7.4.2. Диалоговые средства

Элементы обеспечивают многоточечное подключение графического терминала к нескольким преобразователям. Для такого подключения используется терминальный разъём Modbus, расположенный на передней части ПЧ. Пример многоточечного подключения для двух преобразователей для выбранного привода представлен на рисунке 34.

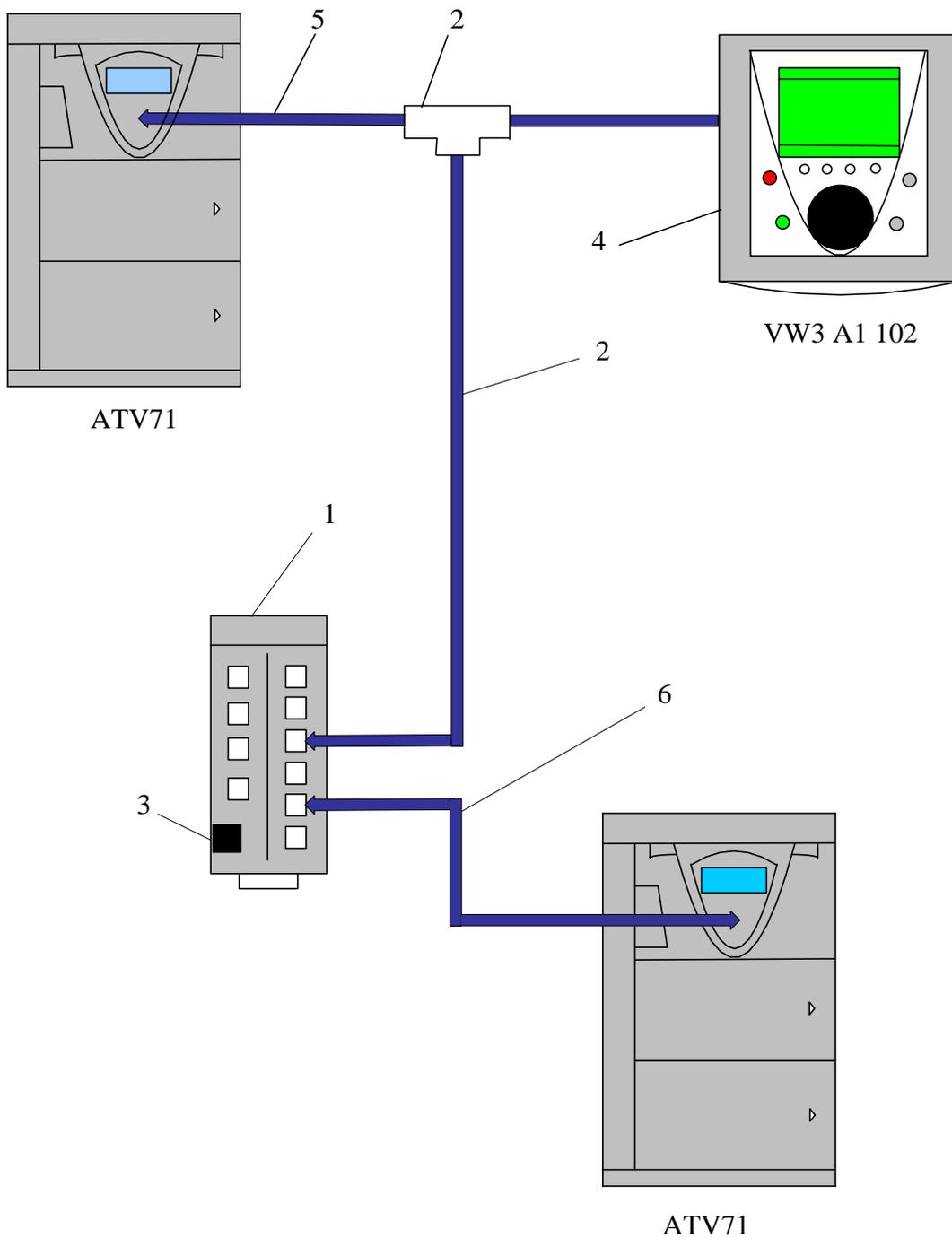


Рисунок 34. Пример подключения преобразователей ATV71HD37M3X

Назначение и номера каталогов соединительных принадлежностей представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Назначение и номера каталогов

Назначение		№ на рисунке	Комплект поставки	Номер по каталогу	Масса
Концентратор Modbus, 10 соединителей RJ45 и один винтовой клеммник		1	2	LU9 GC3	0,5кг
Т-образный ответвитель Modbus	С кабелем длиной 0,3м	2	–	VW3 A8 306 TF03	–
	С кабелем длиной 1м	2	–	VW3 A8 306 TF10	–
Сетевой терминатор Modbus	Для соединителя RJ45: R=120Ом; C=1нФ	3	2	VW3 A8 306 RC	0,01кг
Выносной комплект	Для установки графического терминала VW3 A1 101	4	–	VW3 A1 102	0,15кг

7.4.3. Программное обеспечение Power Suite

Программное обеспечение Power Suite предоставляет пользователю следующие возможности:

1. отображение сообщений на 6 языках(английский, испанский, итальянский, китайский, немецкий, французский);
2. подготовку баз данных без подключения преобразователя к персональному компьютеру ПК;
3. сохранение конфигураций настроек на дискете или на жёстком диске, а также перезагрузку в преобразователь;
4. печать; преобразование файлов, сохранённых ПЧ Altivar 58 или Altivar 58F, для загрузки их в преобразователь Altivar 71;
5. визуализацию осциллограмм. После подключения ПК к приводному устройству программное обеспечение Power Suite может использоваться для: пересылки подготовленной конфигурации; настройки; контроля, включая новые функциональные возможности: осциллограф; быстрый осциллограф (минимальная развёртка 2мс); визуализацию коммуникационных параметров; управления; сохранения конечной конфигурации. При обслуживании для облегчения операций Power Suite позволяет: сравнивать текущую конфигурацию с ранее сохранённой; управлять установленным оборудованием; структурировать его по уровню; хранить сообщения по обслуживанию; облегчать подключение к сети Ethernet путём сохранения IP-адреса.

Для пользовательского интерфейса программное обеспечение Power Suite позволяет: представлять классифицированные по функциям параметры устройства в виде иллюстрированных диаграмм или простых таблиц; задавать пользовательские имена параметров; создавать: пользовательское меню (выбор индивидуальных параметров); приборные доски контроля с графическими элементами (движки потенциометров, измерительные приборы); выполнять сортировку параметров; отображать тексты на пяти языках. Выбор языка осуществляется мгновенно и не требует перезагрузки программы

.Power Suite включает в себя также справочную систему: по средствам Power Suite; по функциям приводных устройств путём прямого доступа к руководствам по эксплуатации.

7.4.4. Выносной графический терминал

Графический терминал (см. рисунок 26) устанавливается на лицевой поверхности преобразователя частоты. Терминал для данного привода используется дистанционно с помощью принадлежностей для выносной установки, подключенный к двум ПЧ с помощью соединительных проводов для многоточечной связи. Терминал применяется с целью: управления, настройки и конфигурирования преобразователя частоты, визуализации текущих значений (входов-выходов

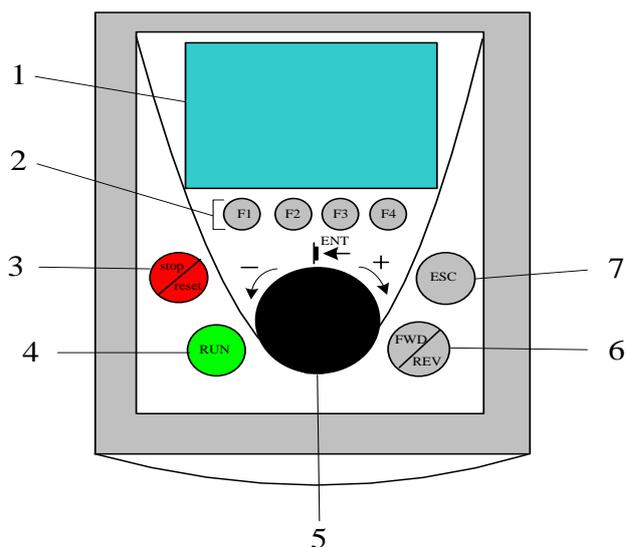


Рисунок 26. Описание графического дисплея

преобразователя частоты), сохранения и перезагрузки конфигураций; 4 файла с конфигурациями могут быть сохранены. Максимальная температура его эксплуатации до 60°C, степень защиты IP 54.

Описание:

1 – графический дисплей, 8 строк, 240×160 пикселей; крупные цифры, видимые с 5 м, отображение в виде барграфов(индикаторных линеек);

2 – функциональные клавиши F1, F2, F3, F4, которые применяются для диалоговых функций: прямой доступ, экраны помощи, навигация; прикладных функций: локальное/дистанционное управление, заданные скорости;

3 – клавиша STOP/RESET: локальное управление остановкой двигателя, сброс неисправностей;

4 – клавиша RUN: локальное управление пуском двигателя;

5 – навигационная клавиша: нажатие – сохранение текущего значения(ENT); вращение \pm : увеличение или уменьшение текущего значения, переход на следующую или предыдущую строку;

6 – клавиша FWD/REV: реверс направления вращения двигателя;

7 – клавиша ESC: отказ от значения, параметра или меню для возврата к предыдущему выбору.

Клавиши 3, 4 и 6 позволяют непосредственно управлять преобразователем.

7.3.5. Дроссель постоянного тока

Дроссель позволяет уменьшить гармонические составляющие тока для соответствия стандарту 61000-3-2 для преобразователей частоты с сетевым током от 16 до 75А. Преобразователь оснащён дросселем, который соответствует стандарту МЭК/61000-3-12 при соблюдении кратности тока короткого замыкания большей или равной 120 в точке подключения к сети (см. рисунок 27.).

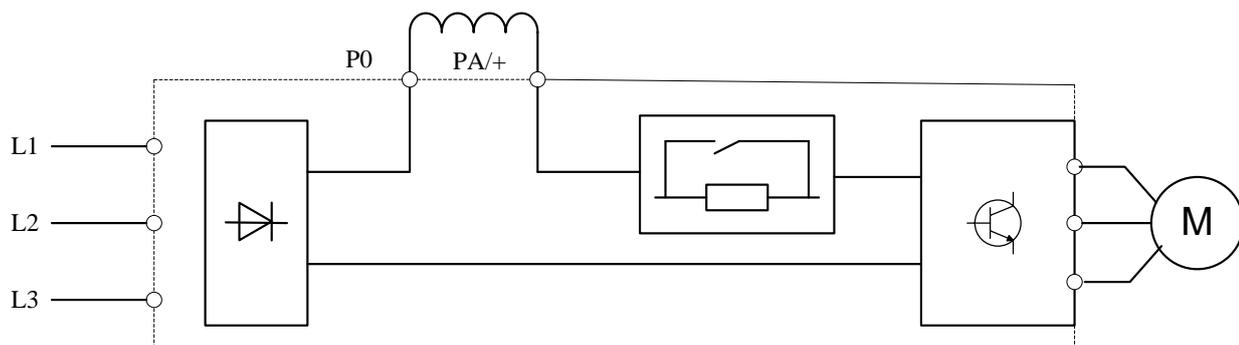


Рисунок 27. Схема преобразователя.

7.4.6. Сетевой дроссель

Сетевой дроссель (см. рисунок 28) позволяет обеспечить лучшую защиту от сетевых перенапряжений и уменьшить гармоники тока, вырабатываемые преобразователем. Рекомендуемые дроссели позволяют ограничить линейный ток. Они разработаны в соответствии со стандартом EN 50178(VDE10160, уровень 1 перенапряжения большой мощности в питающей сети). Значение индуктивности соответствует падению напряжения от 3 до 5% номинального напряжения сети. Более высокое значение вызывает потерю момента. Дроссель устанавливается на входе преобразователя частоты. Использование сетевого дросселя необходимо, так как существует параллельная работа двух преобразователей с близко расположенными соединениями. Параметры сетевого дросселя приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Параметры сетевого дросселя

Преобразователь	Сетевой ток к.з.	Индуктивность	Ном.ток к	Потери	№ по каталогу	Масса
ATV71HD15M3 X	22кА	0,3мГн	100А	260Вт	VW3 F4 556	16кг

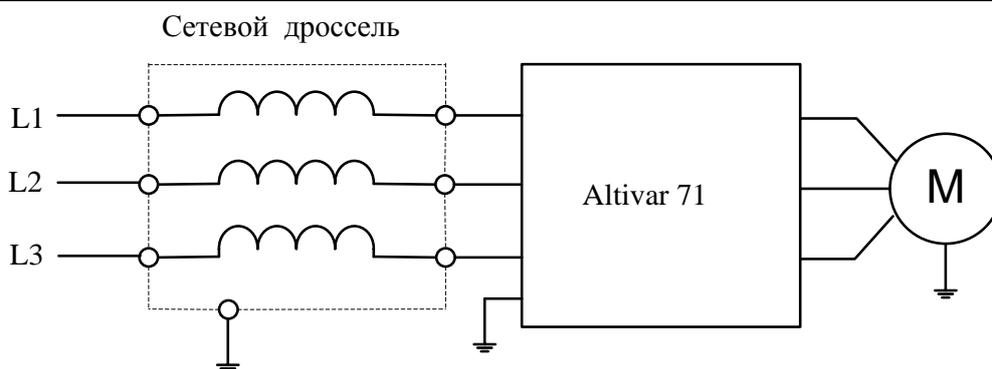


Рисунок 28 - Включение в цепь питания сетевого дросселя

7.4.7. Тормозное сопротивление

Тормозное сопротивление обеспечивает работу преобразователя Altivar 71 при торможении до полной остановки или во время снижения скорости путём рассеивания энергии торможения. Оно обеспечивает максимальный переходной тормозной момент. Сопротивление предназначено для установки вне шкафа. Необходимо обеспечить естественную вентиляцию устройства. Воздух не должен содержать примесей пыли, коррозионных газов и конденсата . Основные характеристики тормозного сопротивления приведены в таблице 8

Таблица 8 - Основные характеристики тормозного сопротивления

Тип преобразователя	Значение R при 20град С, Ом	Средняя мощность, кВт при 50° С	Номер по каталогу	Масса
ATV71HD15M3X	8,1	44	VW3 A7 805	92кг

Среднее значение мощности, рассеиваемое сопротивлением в кожухе при 50° С, определяется коэффициентом нагрузки, соответствующим наиболее частым применениям. Для ATV71HD15M3X: торможение в течении 100с с моментом 1Мн для цикла 200с; торможение в течении 20с с моментом 1,6Мн для цикла 200с. Так как режим рекуперации в данном приводе не играет большой роли из-за малого времени торможения и махового момента инерции , то модуль рекуперации не используется, применяется тормозное сопротивление.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Группа	ФИО
3-5Г3А2	Эрматов Бахтиёр Исометдинович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электро и электр
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электро и электр

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. *Стоимость ресурсов пуско-наладочных работ*
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*
3. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. *Технико-экономические показатели*
2. *Выбор и обоснование принципиальной схемы электропривода Расчет стоимости оборудования*
3. *Определение стоимости пуско-наладочных работ*
4. *Расчет эксплуатационных затрат*
5. *Расчет экономической эффективности от использования новой техники*

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Круговая диаграмма статьи расходов

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Дотсент	Попова Светлана Николаевна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	ЭрматовБахтиёрИсометдинович		

8 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время, козловые краны являются одним из основных средств механизации перегрузочных и складских работ в различных отраслях народного хозяйства. Козловые подъемные машины долговечны и эксплуатируются десятки лет. Учитывая их производительность, они приносят хороший доход.

В семействе козловых подъемных устройств достойное место занимает уникальный по своему применению кран козловой ЛТ 62. Козловой кран ЛТ-62 обеспечивает непрерывную погрузку и выгрузку в крупных складских терминах, складах, также находит применение на монтаже конструкций.

В связи с тем, что главную роль в создании условий высокой производительности подъемно-транспортного оборудования отводится электроприводу, то с учетом сложной специфики работы такого оборудования необходимо отдавать предпочтение простым и высоконадежным системам электроприводов. Механизм горизонтального передвижения козлового крана выполняется на основе двухдвигательного электропривода для обеспечения заданных эксплуатационных показателей выполняет все предъявляемые к нему требования и обеспечивает высокую надежность работы оборудования.

Применение частотно-регулируемого асинхронного электропривода в механизмах подъемно-транспортного оборудования является эффективным методом повышения технологичности производства. Использование таких приводов позволяет:

1. Значительно, до 40% снизить энергопотребление крана, что особенно актуально при растущих тарифах на энергоносители.

2. Осуществить разгон и торможение двигателя плавно, по линейному закону от времени, при варьировании времени разгона и времени торможения от долей секунд до 50 минут.

3. Повысить комфортные показатели при движении крана и долговечность механического оборудования благодаря плавности переходных процессов.

4. Защитить двигатель от перегрузок по току, перегрева, утечек на землю и от обрывов в цепи питания двигателя.

5. Снизить эксплуатационные расходы на капитальный ремонт оборудования за счёт значительного снижения динамических нагрузок в элементах кинематической цепи.

Анализ технической целесообразности заключается в выявлении преимуществ и недостатков, с точки зрения повышения технического уровня, в замене однодвигательного электропривода на двухдвигательный электропривод соответствии с техническими условиями.

Он состоит из определения потенциальных потребителей, расчета и анализа технико-экономических показателей, из расчета бюджета проекта

8.1 Потенциальные потребители результатов научно-технического проекта

Целевым рынком сбыта для разрабатываемого устройства являются лесопильно-деревообрабатывающих предприятия и склады леспромхозов. Вместе с тем, аналогичные схемные решения устройства можно использовать в различных отраслях промышленности: большие промышленные предприятия, деятельность которых включает уникальные виды работ.

8.2 Технико-экономические показатели

Транспортировка и погрузо-разгрузочные работы осуществляются козловым краном ЛТ-62 в течении одной смены в день— 8 часов, грузоподъёмностью 32 т, максимальной мощностью 129 кВт. Установленная мощность крана составляет 129 кВт. В электроприводе данного крана используется двигатель типа МТКФ (Н) 311-6, номинальной мощностью 11кВт, КПД $\eta = 78\%$; стоимостью 38670руб. за 1шт., в количестве 2шт., контакторы КТ, стоимостью 3000руб., за 1шт., в количестве 2шт., прочее

материалы (провода, кабеля) – 5000руб. Производится модернизация электропривода крана за счёт использования преобразователя ATV71HD37M3X мощностью 37кВт и стоимостью 203019руб. (по состоянию на 2015г.), 1шт.; комплект интерфейса для связи преобразователя с ПК – 2400 руб., 1шт.; программное обеспечение PowerSuite – 6171 руб., 1шт.; сетевой дроссель для преобразователя – 8000 руб., 1шт.; прочее оборудование (кабеля, контакторы, кнопки, входной дроссель) – 31400руб. Общая стоимость для всего привода – $K_{ц}=341330$ руб. ..Требуется оценить срок окупаемости производимой модернизации за счёт экономии электроэнергии, снижения количества ремонтов и времени простоя техники на ремонте. Таблица 8 –

Параметры систем управления

До модернизации	После модернизации
<p>Установленная мощность -129 кВт</p> <p>Большие электрические потери при работе в режиме пониженной скорости</p> <p>Возникновение максимальных ударных моментов из за частых переключений из двигательного в тормозной режим, что приводит к выходу из строя двигателей и снижению времени безаварийной работы.</p> <p>Срок службы привода - 20лет</p>	<p>1. Установленная мощность -80 кВт</p> <p>Обеспечивают полностью бесконтактное управление двигателями и плавное высококачественное регулирование частоты вращения во всём диапазоне</p> <p>Плавность регулирования приводит к существенному уменьшению нагрузки на механическую часть крана, что, в свою очередь, снижает аварийность и увеличивает срок службы крана</p> <p>Скорость электропривода может быть адаптирована к каждому конкретному технологическому процессу, что позволяет повысить производительность крана</p>

8.3 Выбор и обосновании принципиальной схемы электропривода

Выбор структурной схемы сводится к сравнению нескольких возможных вариантов модернизации и выбору наиболее оптимальной.

1 вариант: частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором

2 вариант: нерегулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором

3 вариант: нерегулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором

Сравнительный анализ приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Сравнительный анализ вариантов исполнения технического решения

Цели модернизации	Варианты		
	1-ый	2-ой	3-ий
Автоматизация процесса	+	-	-
Экономия ТЭР	+	+/-	+/-
Снижение количества ремонтов	-	+	+
Стоимость покупных комплектующих	-	+	+
Простота монтажа	+	-	-
Точность	+	-	-
Износоустойчивость	+	+	+
Увеличение срока службы крана			

Для проведения оценки выбраны следующие показатели:

1. уровень капитальных вложений;
2. уровень надежности;
3. уровень обслуживания;
4. завышение мощности электропривода;
5. уровень затрат на эксплуатацию;
6. коэффициент мощности;
7. генерирование помех;

Таблица 10 – Коэффициенты весомости критериев сравнения внедряемого привода

Номер критерия	1	2	3	4	5	6	7
Коэффициент весомости	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1

По каждому частотному критерию устанавливаем оценку степени обеспечения цели:

Уровень цели	низкий	средний	высокий
Оценка обеспечения цели	1.0	0.5	0

Оценка обеспечения различных вариантами электроприводов выбранных качественных характеристик представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Оценка степени обеспечения цели

Номер варианта	Групповой критерий							Общая оценка качества
	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1	
1	1.0	1	1.0	0	1.0	1.0	0.5	2.6
2	0.5	0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	2.35
3	0.5	0	1.0	1.0	0	0.5	1.0	2.15

Из таблиц видно, что варианты 2 и 3 не решают целей модернизации.

Поэтому выбираем вариант 1 и произведем расчет окупаемости инвестиционного проекта.

8.4 Расчетная часть

Условия расчёта:

1) одноставочный тариф на потребляемую электроэнергию составляет 3,52 руб/кВт·ч для Томской обл., введённый с 1 января 2018 г.;

2) затраты на пусконаладочные работы составляют 8% от стоимости преобразователя частоты;

3) затраты на монтаж преобразователя частоты принимаются в размере 10% от его стоимости;

4) годовые амортизационные отчисления по преобразователю частоты и новым двигателям составляют 6,4% в год;

5) транспортные расходы принимаются в размере 1% от стоимости преобразователя частоты;

6) транспортные расходы, монтаж и пусконаладочные работы новых двигателей принимаются в размере 3% от его стоимости;

7) заменяемые двигатели становятся резервными и их ликвидационная стоимость равна нулю;

8) КПД крана и двигателя при расчёте примем неизменными и равными номинальным;

9) численность и заработная плата обслуживающего персонала крана не изменились;

Экономия электроэнергии находим, сопоставляя потребление электроэнергии реостатного и частотно-регулируемого управления по скорости электропривода.

Расчёт:

Установленная максимальная потребляемая мощность крана:

$$P_{\text{потр}} = 129 \text{ кВт} \cdot \text{ч}; \text{ время работы за год} - T_{\Gamma} = 2000 \text{ часов.}$$

В результате предварительной оценки потребления электроэнергии новым электроприводом была установлена потребляемая мощность 80 кВт.

Таблица 12 - Расчёт капитальных затрат

	Количество	Цена	Общая стоимость
I. Оборудование:			
Электродвигатель	2	38670	77340
МТКФ (Н) 311-6 (11кВт) ¹	1	203019	203019
Преобразователь		27571	27571
АТV71HD37M3X(37кВт) ²		5514	5514
Некомплектное оборудование			
Пуско-регулирующая аппаратура (20% стоимости некомплектного оборудования)		14501	14501
		4135	4135
II. Стоимость монтажных и пусконаладочных работ, в % от I.		6641	6641
Комплектный привод (6%)		1118	1118
Некомплектный (15%)			

Транспортно-заготовительные расходы 2%(I+II) Плановые накопления монтажной организации (6-15%) от II (6%)			
Всего затрат			339839

Расходы по содержанию и обслуживанию средств автоматизации включают заработную плату обслуживающего персонала с отчислениями органам социального страхования и расходы на материалы, используемые в процессе обслуживания. В состав обслуживающего персонала входит электрик или электромеханик по ремонту и обслуживанию оборудования. Часовая тарифная ставка электромеханика и электрика: 63,76 руб. Расчёт расходов по содержанию обслуживающего персонала проводится по формуле:

$$P_{\text{отр.р.}} = \Phi_{\text{эф}} \cdot T_{\text{ч}} \cdot \beta_0 \cdot (1 + \beta_{\text{п}})(1 + \beta_{\text{д}})(1 + \beta_{\text{р.н.}})(1 + \beta_{\text{с.н.}}); \quad (9.1)$$

где $\Phi_{\text{эф}}$ - годовой эффективный фонд рабочего времени;

$T_{\text{ч}}$ - часовая тарифная ставка, соответствующая разряду рабочего;

β_0 – коэффициент занятости по обслуживанию данного объекта;

$\beta_{\text{п}}$ - коэффициент премии;

$\beta_{\text{д}}$ - коэффициент дополнительной зарплаты;

$\beta_{\text{р.н.}}$ - районный коэффициент;

$\beta_{\text{с.н.}}$ - коэффициент отчисления на социальные нужды.

В данном случае: $\beta_{\text{п}} = 0,5$; $\beta_{\text{д}} = 0,3$; $\beta_{\text{с.н.}} = 0,3$; $\beta_{\text{р.н.}} = 0,3$; $\beta_0 = 1$;

$T_{\text{ч}} = 63,76$ руб(часовая тарифная ставка электромеханика и электрика: по 4 разряду –63,76руб).

Расчёт эффективного фонда времени работы рабочего осуществляется по формуле:

$$\Phi_{\text{эф}} = 2000(1 - \beta_{\text{н}});$$

(9.2)

где 2000 – среднегодовая номинальная величина рабочего времени, час;

β_H – коэффициент плановых невыходов на работу работника (принимаем $\beta_H = 0,16$ [14.стр.87]).

Тогда эффективного фонда времени работы рабочего составляет:

$$\Phi_{эф} = 2000(1 - 0,16) = 1680\text{ч.}$$

Затем по формуле:

$$P_{отр.р} = 1680 * 63,76 * 1 * (1 + 0,5) * (1 + 0,3) * (1 + 0,3) * (1 + 0,26) = 342142 \text{ руб.}$$

Вторая составляющая расходов по содержанию и эксплуатации оборудования - затраты на материалы, потребляемые в процессе обслуживания и эксплуатации, определяются исходя из годового их расхода и цен на них. Затраты на материалы: $M_o = 3000$ руб. Подставляя численные значения, рассчитываются расходы по содержанию и обслуживанию средств автоматизации:

$$I_o = P_{отр.р} + M_o = 342142 + 3000 = 345142 \text{ руб} \quad (9.3)$$

Расчёт заработной платы по монтажу нового агрегата найдём по формуле:

$$P_z = t_{общ} \cdot T_{ч} \cdot (1 + \beta_{п}) (1 + \beta_{д}) (1 + \beta_{р.н.}),$$

(9.4)

где $T_{ч}$ – часовая тарифная ставка работника, осуществляющего ремонт;

$\beta_{п}$ – коэффициент премии, принимается равным 0,3;

$\beta_{д}$ – коэффициент дополнительной зарплаты, принимается равным 0,1;

$\beta_{р.н.}$ – районный коэффициент (30% от основной заработной платы и дополнительной [14.стр.56]);

$t_{общ}$ – общая трудоёмкость автоматизации.

Общая трудоёмкость монтажа находится по формуле:

$$t_{общ} = t_m \cdot (1 + \beta_{пр}),$$

(9.5)

где t_m – трудоёмкость монтажа оборудования примем равным 100 часов [14.стр.103];

$\beta_{пр}$ – коэффициент, учитывающий трудоёмкость механических и прочих работ, принимается равным 1.

Тогда общая трудоёмкость монтажа будет равна:

$$t_{общ} = 100 \cdot (1 + 1) = 200 \text{ час.}$$

Расходы на заработную плату по монтажу нового оборудования составят:

$$P_3 = 200 * 63,76 * (1 + 0,3)(1 + 0,1)(1 + 0,3) = 23706 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды :30,2% от суммы заработной платы производственных рабочих. Во внебюджетные фонды включает: 30,2 % в пенсионный фонд, 3,6 % в фонд медицинского страхования и 4% в фонд социального страхования;

$$O_{с.н.} = 0,302 * P_3 = 0,302 * 23706 = 7159 \text{ руб} \quad (9.6)$$

Косвенные расходы принимаются равными 200% от расходов на заработную плату:

$$H = 2 * P_3 = 2 * 23706 = 47412 \text{ руб} \quad (9.7)$$

Расчёт расходов на электроэнергию

Найдём расход электроэнергии старого привода в год в рублях:

$$Z_{Г.СТ} = P_{потр} * T_{Г} * Ц_{Э} = 129 * 2000 * 3,52 = 908160 \text{ руб} \quad (9.8)$$

Найдём потребление электроэнергии нового привода в год:

$$Z_{Г.Н} = P_{потр} * T_{Г} * Ц_{Э} = 80 * 2000 * 3,52 = 563200 \text{ руб.} \quad (9.9)$$

где $C_{Э}$ – тариф на электроэнергию;

$P_{потр}$ – потребляемая мощность привода.

Экономия затрат при новом приводе составит:

$$Z_{ЭК} = Z_{Г.СТ.} - Z_{Г.Н.} = 908160 - 563200 = 344960 \text{ руб.} \quad (9.10)$$

Расчёт амортизационных отчислений

Найдём коэффициент амортизации при новом оборудовании, время службы нового оборудования по проекту – $T_{сл} = 10$ лет :

$$\beta_a = \frac{1}{T_{\text{сл}}} = \frac{1}{10} = 0,1.$$

(9.11)

Найдём амортизационные отчисления при новом приводе по формуле:

$$A_{a.n} = \beta_a \cdot K_{ц.н} = 0,1 \cdot 341330 = 34133 \text{ руб.} \quad (9.12)$$

где $K_{ц.н}$ – стоимость нового оборудования.

Статьи расходов на внедрение и содержание частотно-регулируемого электропривода сведены в таблицу 13.

Таблица 13 - Статьи расходов на внедрение и содержание частотно-регулируемого электропривода

№	Статьи расхода	Сумма, руб.
1	Материалы	11000
2	Оборудование	280359
3	Комплекующие изделия	16571
4	Содержание и обслуживание средств автоматизации	345142
5	Заработная плата по монтажу нового оборудования	23706
6	Накладные расходырасходы	47412
7	Внебюджетные фонды	7159
8	Амортизационные отчисления	34133
Итого:		718071

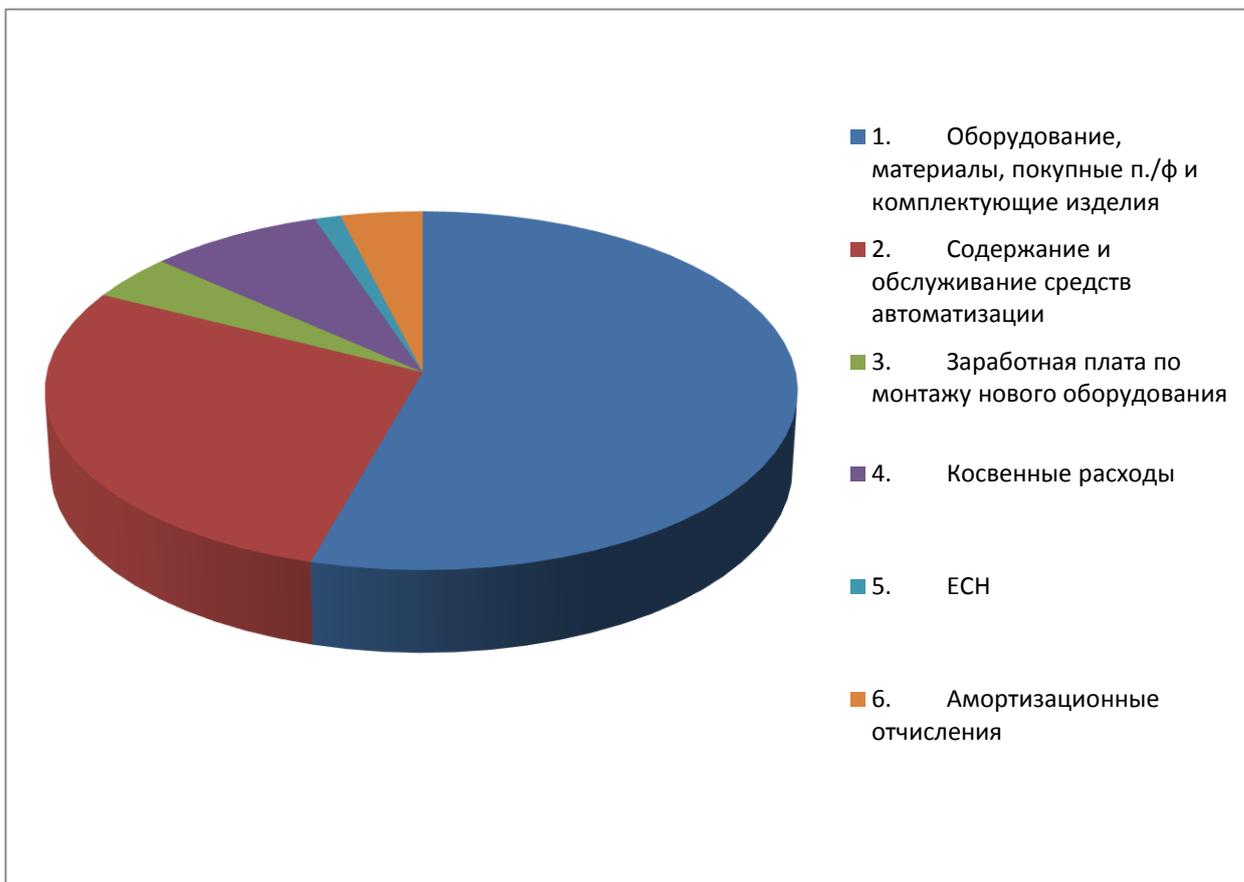


Рисунок 32 - Круговая диаграмма статьи расходов

8.5 Бюджет модернизации электропривода механизма передвижения крана

При планировании бюджета модернизации должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета модернизации используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты модернизацию;
- затраты на специальное оборудование для модернизации;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

8.6 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;

- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;

- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (9.14)$$

$$Z_m = (1 + 6641) \cdot 27571 = 183126582$$

где: m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 14.

Таблица 14 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z _м), руб.
контакты КТ	шт	2	3000	6000
провода, кабеля	шт	1	5000	5000
комплект интерфейса для связи преобразователя с ПК	шт	1	2400	2400
PowerSuite	шт	1	6171	6171
сетевой дроссель	шт	1	8000	8000
Итого				27571

Из затрат на материальные ресурсы, включаемых в себестоимость продукции, исключается стоимость возвратных отходов.

Под возвратными отходами производства понимаются остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, теплоносителей и других видов материальных ресурсов, образовавшиеся в процессе производства научно-технической продукции, утратившие полностью или частично потребительские качества исходного ресурса (химические или физические свойства) и в силу этого используемые с повышенными затратами (понижением выхода продукции) или вовсе не используемые по прямому назначению.

8.7 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблицу 15.

Наименование оборудования	Кол -во единиц оборудова ния	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Электродвигатель МТКФ	2	38670	77340
Преобразователь	1	203019	203019
Итого			280359

Амортизационные отчисления составляют 15% от затрат на спецоборудование по его доставке и монтажу в размере:

$$\text{Аморт. отчисления} = 0,15 * 280359 = 42053,8$$

8.8 Основная заработная плата исполнителей темы

Определение стоимости пуско-наладочных работ.

Все работы производятся в строгом соответствии с нормами их проведения. Цены на пуско-наладочные работы содержат только основную заработную плату пуско-наладочного персонала, рассчитанную на основе тарифных ставок и среднемесячных должностных окладов без премий. В таблице 16 представлена нормативная стоимость пуско–наладочных работ.

Таблица 16 - Нормативная стоимость пуско–наладочных работ

Наименование работ с оборудованием	Единица измерения	Кол–во	Стоимость работ/руб.
1.Наладка и настройка привода	шт.	1	40650
2. Наладка преобразователя чистоты	шт.	1	59500
3. Ввод оборудования в эксплуатацию	шт.	1	80000
ИТОГО			180150

Сметная стоимость пусконаладочных работ включает в себя:

1. затраты на основную заработную плату;
2. затраты на дополнительную заработную плату;
3. затраты на отчисления в социальные фонды.
4. накладные расходы.

Основная заработная плата, с учетом районного коэффициента $K_p=1,3$ и коэффициента, вводимого при работах в действующих установках $K_d=1,22$ определяются следующим образом:

$$ОЗП = K_p \cdot K_d \cdot Ц_{нпр} = 1,3 \cdot 1,22 \cdot 90075 = 285718 \text{руб}, \quad (9.15)$$

где $Ц_{нпр}= 180150$ руб. – стоимость пуско-наладочных работ.

Дополнительная заработная плата наладчиков составляет 15 % от основной:

$$ДЗП = 0,15 \cdot ОЗП = 0,15 * 285718 = 42858 \text{руб} \quad (9.16)$$

Отчисления на социальные нужды в РФ составляет 30,2 % от заработной платы:

$$С_{CH} = 0,302 \cdot (ОЗП + ДЗП) = 0,302 \cdot (285718 + 42858) = 98573 \text{руб}. \quad (9.17)$$

Дополнительные расходы при производстве пуско-наладочных работ составляют 30 % от заработной платы:

$$Д_p = 0,3 \cdot (ОЗП + ДЗП) = 0,3 \cdot (285718 + 42858) = 98573 \text{руб}. \quad (9.18)$$

Итого, сметная стоимость пуско-наладочных работ по введению в эксплуатацию электропривода передвижения крана составит 525722 руб.

Таблица 17 - Смета затрат

Наименование статьи расходов	Сумма руб.
Заработная плата (основная +дополнительная)	328576
Отчисления в социальные фонды	98573
Дополнительные расходы	98573
ИТОГО	525722

8.9 Формирование бюджета затрат на модернизацию

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при

формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на модернизацию механизма передвижения крана приведен в таблице 18.

Таблица 18 - Расчет бюджета затрат на модернизацию

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	27571
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	280359
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	285718
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	42858
5. Отчисления во внебюджетные фонды	98573
6. Дополнительные расходы	98753
7. Бюджет затрат НТИ	547934

Вывод:

В результате получаем положительный экономический эффект от возникшей экономии электроэнергии и сокращения расходов на эксплуатацию и обслуживание электропривода. Установка нового оборудования экономически выгодно, а поэтому рекомендуется к применению.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Группа	ФИО		
3-5ГЗА2	Эрматову Бахтиёру Исометдиновичу		
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника
---------------------	-------------	---------------------------	------------------------------------

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Электропривод механизма передвижения тележки крана ЛТ-62, управляемое крановщиком и применяемого для выполнения непрерывную погрузку и выгрузку в крупных складских терминалах, складах, также находящий применение на монтаже конструкций и перемещения грузов,
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.	<i>Вредными факторами являются:</i> 1. Аномальные микроклиматические параметры. 2. Повышенный уровень вибрации. 3. Повышенный уровень шума. 4. Недостаток необходимого освещения. <i>Опасными факторами являются:</i> 1. Движущиеся машины и механизмы. 2. Поражение электрическим током. 3. Падение с высоты. 4. Пожароопасность.
2. Экологическая безопасность:	Загрязнение окружающей среды смазочными материалами. По истечению срока службы проведение мероприятий по утилизации.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	1. Аварии, связанные с поломкой крана 2. Пожар
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Возрастное ограничение, требования к образованию. Специальные нормы,

	<p>предусмотренные спецификой выполняемых работ. Эргономика кабины крана и ее оснащение.</p>
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	ЭрматовБахтиёрИсометдинович		

9 Социальная ответственность.

Данный раздел ВКР посвящен выполнению анализа и разработке мер по обеспечению благоприятных условий труда при ее выполнении. Произведен анализ вредных факторов таких как: шумообразование в кабине крановщика; монотонность трудового процесса, зрительное напряжение, нервно-эмоциональные перегрузки, механические опасности, такие как вращающиеся детали, работа на большой высоте.

В настоящее время, козловые краны являются одним из основных средств механизации перегрузочных и складских работ в различных отраслях народного хозяйства. Козловые подъемные машины долговечны и эксплуатируются десятки лет. Учитывая их производительность, они приносят хороший доход.

В семействе козловых подъемных устройств достойное место занимает уникальный по своему применению кран козловой ЛТ 62. Козловой кран ЛТ-62 обеспечивает непрерывную погрузку и выгрузку в крупных складских терминах, складах, также находит применение на монтаже конструкций.

Общая конструкция козлового крана ЛТ-62 состоит из :Несущей фермы крана, имеющая решетчатую конструкцию, которая опирается на жесткую и шарнирную опоры. Последняя соединена с несущей фермой посредством шарнира. Каждая из опор установлена на две тележки – ведущую и ведомую , взаимосвязанные затяжкой . Несущая ферма состоит из отдельных секций, соединенных между собой болтами. За счет удаления средней секции пролет крана может быть уменьшен с 40 м до 32 м. По концам несущей фермы установлены две грузовые лебедки и одна лебедка (над жесткой опорой) передвижения грузовой тележки. Для перемещения грузовой тележки служит рельсовый путь, проложенный по верхнему поясу несущей фермы. По концам этого пути закреплены тупиковые упоры, ограничивающие передвижение

грузовой тележки. Управление всеми механизмами крана сосредоточено в кабине крановщика, которая расположена в верхней части жесткой опоры. Для подачи электроэнергии к крану на жесткой опоре может быть смонтирован балкон с троллейным токоъемником. По обоим концам кранового пути установлены ограничительные линейки и тупиковые упоры. По своим силовым и производительным возможностям ЛТ-62 представляет собой довольно мощную машину, способную поднять груз на высоту от 14 до 55 метров. В зависимости от модификации его грузоподъемность колеблется от 3 до 50 тонн. Заметим, что обособленные модели способны поднять на большую высоту груз весом в 200 тонн.

В связи с тем, что главную роль в создании условий высокой производительности подъемно-транспортного оборудования отводится электроприводу, то с учетом сложной специфики работы такого оборудования необходимо отдавать предпочтение простым и высоконадежным системам электроприводов. Механизм горизонтального передвижения козлового крана выполняется на основе двухдвигательного электропривода для обеспечения заданных эксплуатационных показателей выполняет все предъявляемые к нему требования и обеспечивать высокую надежность работы оборудования

9.1 Производственная безопасность

Аномальные микроклиматические параметры

Рабочее место крановщика – кабина крана, являющаяся ограниченным рабочим пространством. При проведении работ происходит выделение диоксида углерода, паров влаги и тепла от работника. Также следует учесть условия солнечной инсоляции, которые в летнее время года приводят к избыточному теплу, особенно в летнее время года, а при проведении работ в зимнее время, напротив, возможен недостаток тепла.

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в кабине управления должны соответствовать для категорий работ средней тяжести Па и Пб значениям, указанным в табл.1.[ГОСТ 12.2.130-91]

Таблица 19 – Показатели микроклимата в кабине крана

Сезон года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Теплый период	Не выше +31	25-75	0,2-0,7
Холодный и переходный периоды	От +15 до +23	25-75	0,3-0,4

Примечание. Вертикальный и горизонтальный перепад температур не должен превышать 4 °С.

В районах с повышенной относительной влажностью наружного воздуха допускается для теплого периода года относительная влажность в кабине на 10% выше установленной в табл.1. Температура металлических поверхностей стен внутри кабины на высоте не более 0,5 м не должна превышать 35 °С.

Отклонение условий микроклимата может привести к резкому снижению работоспособности и даже к профессиональным заболеваниям.

Охлаждение. Длительное и сильное воздействие низких температур может вызвать различные неблагоприятные изменения в организме человека. Местное и общее охлаждение организма является причиной многих заболеваний: миозитов, невритов, радикулитов и др., а также простудных заболеваний. В особо тяжелых случаях воздействие низких температур может привести к обморожениям и даже смерти.

Перегрев. При температуре воздуха более 30 °С и значительном тепловом излучении от нагретых поверхностей наступает нарушение терморегуляции организма, что может привести к перегреву организма, особенно если потеря пота в смену приближается к 5 л. Наблюдается нарастающая слабость, головная боль, шум в ушах, искажение цветного восприятия, тошнота, рвота, повышается температура тела. Дыхание и пульс учащаются, артериальное давление вначале возрастает, затем падает. В тяжелых случаях наступает тепловой, а при работе на открытом воздухе — солнечный удар. Возможна судорожная болезнь, являющаяся следствием

нарушения водно-солевого баланса и характеризующаяся слабостью, головной болью, резкими судорогами.

Повышенная влажность воздуха (более 75...85%) в сочетании с низкими температурами оказывает значительное охлаждающее действие, а в сочетании с высокими — способствует перегреванию организма. Относительная влажность менее 25% также неблагоприятна для человека, так как приводит к высыханию слизистых оболочек и снижению защитной деятельности мерцательного эпителия верхних дыхательных путей.

Для обеспечения допустимых параметров микроклимата необходимо использование вентиляции и отопления. Вентиляция в кабине крановщика применяется, как правило, приточно - вытяжная с использованием осевого вентилятора. Отопление осуществляется с помощью электрических нагревательных приборов. В новейших разработках получила применение система кондиционирования воздуха.

Повышенный уровень вибрации

Источником вибрации при работе кранов является электропривод кранового механизма и передаточные устройства.

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека: повышение утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений, что ведет к снижению работоспособности и производительности труда, соответственно, а также происходит развитие нервных заболеваний, нарушение функций сердечно-сосудистой системы, нарушение функций опорно-двигательного аппарата, поражение мышечных тканей и суставов, нарушение функций органов внутренней секреции, что влечет за собой возникновение вибрационной болезни.

Допустимые скорректированные значения виброускорения не должны превышать значений, приведенных в таблице 20 [ГОСТ 12.1.012].

Таблица 20 – Допустимые значения виброускорений

Вид вибрации	Допустимые корректированные значения виброускорения, м/с
Общая категория: на сиденье машиниста в направлении*	0,27
Локальная: на рукоятках управления в направлении движения руки	2,0

* Технически достижимая вибрационная характеристика должна быть не более 0,54 м/с .

К мероприятиям по защите от вредного воздействия вибрации относят установку демпфированных подвесок кабин управления или кресла крановщика.

Повышенный уровень шума

В кабине крановщика преобладает шум механического происхождения, возникающий в результате работы механизма крана, а так же бульдозерами и тягачами, которые используются при проведении погрузочно-разгрузочных, монтажных и прочих работ.

Воздействие шума является причиной повышенной утомляемости, потери слуха, снижения производительности труда.

Уровень звука, излучаемый экскаватором в окружающую среду в контрольной точке и на рабочем месте, не должен превышать 80 дБА по ГОСТ 12.1.003.

Недостаток необходимого освещения

Недостаточная освещенность рабочей зоны может вызвать ослепленность или привести к быстрому утомлению и снижению работоспособности и существенному повышению риска травматизма.

При эксплуатации крана освещенность на площадках приема и подачи груза в зонах работы грузозахватного устройства должна быть не менее 10 лк. Устройствами внешнего освещения или элементами для установки и

подключения таких устройств кран укомплектовывается по согласованию с потребителем. Для соблюдения требуемых норм освещенности целесообразно применение дополнительных источников освещения.

Движущиеся машины и механизмы

Основными видами опасности, воздействующими на крановщика, являются:

-Механические виды опасности, связанные с подъемными операциями грузоподъемными кранами и машинами, грузозахватными приспособлениями, тарой и люльками;

-Опасность, вызванная поступательным движением машины, грузовых тележек: движение во время запуска двигателя; движение при отсутствии машиниста на своем месте; движение при отсутствии надежного закрепления всех составных частей, деталей; чрезмерно высокая скорость крана, машины, грузовой тележки, управляемых с пола; слишком высокие колебания крана (груза) при движении; недостаточная способность крана или машины к замедлению, выключению, остановке и удержанию.

Для защиты персонала необходимо, чтобы движущиеся части были закрыты кожухами, а так же исправное состояние тормозов и правильная регулировка подвижных механизмов, обеспечением которых выступает соблюдение графиков ТО и своевременное проведение ремонтных работ механизмов.

Поражение электрическим током

Применяемое в производственном процессе электрооборудование напрямую влечет за собой возможность поражения электрическим током, последствия которого могут быть в виде ожогов участков кожи тела, перегрева различных органов, а также возникающих в результате перегрева разрывов кровеносных сосудов и нервных волокон, электролиза крови, и как следствие, нарушения нормального функционирования организма, а также опасного возбуждения клеток и тканей организма, в результате чего они могут погибнуть.

Крановщик должен быть обеспечен защитными средствами: изоляционными перчатками, изоляционными галошами и ковриками, а также строго следовать инструкции электробезопасности.

Падение с высоты

Возможность возникновения несчастных случаев, связанных с падением с высоты при проведении ремонтных работ, обслуживающих мероприятий крана напрямую связана с нарушением техники безопасности, инструктажем работником.

Так техническое обслуживание, осмотр, регулировка и ремонт частей крана, расположенных на высоте более 4,0 м, разрешается выполнять только при наличии у крановщика предохранительного пояса или при условии, что он находится внутри металлоконструкций и опирается на лестницу.

9.2 Экологическая безопасность

В процессе эксплуатации крана возможно загрязнение окружающей среды смазочными материалами.

Для того чтобы исключить или минимизировать требуется, во-первых, проводить своевременные регламентные работы по техническому обслуживанию и ремонту кранов.

Во-вторых, оперативно, квалифицированно и своевременно ликвидировать источники загрязнения при их возникновении.

Что касается электроприводов, то они рассчитаны на длительный срок службы, по истечении которого должны быть утилизированы.

Утилизируемые электроприводы демонтируются, разбираются и сортируются по различным материалам: отходы электронных деталей, черные и цветные металлы, смазочные материалы.

При утилизации должны соблюдаться следующие правила:

-отсортированные материалы устраниаются через упорядоченную систему утилизации, с соблюдением местных правил;

-при утилизации должны быть выдержаны нормы охраны окружающей среды;

-смазочные материалы представляют опасность загрязнения водных ресурсов, поэтому не должны попасть в окружающую среду.

9.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При эксплуатации крана возможны различные аварийные ситуации, связанные с поломкой и выходом из строя: спадания канатов с барабана или блоков, образовании на канатах петель или обнаружения повреждения канатов, неисправности приборов и устройств безопасности. В случае их возникновения крановщик обязан прекратить работу и сообщить ремонтной службе.

Наиболее опасной для жизни и здоровья работника является ЧС в виде пожара. Причинами тому может стать халатное отношение работника к технике пожарной безопасности, использование недопустимого оборудования, не соблюдение графика проведения ремонтных и обслуживающих транспортное средство работ, наличие работающего электрооборудования, которое также необходимо обслуживать и эксплуатировать в исправном состоянии.

При возникновении на кране пожара, крановщик должен немедленно отключить рубильник в кабине, через наземных рабочих вызвать пожарную охрану и приступить к тушению пожара имеющимися на кране противопожарными средствами (порошковым огнетушителем, песком). После ликвидации пожара запрещается включать кран до проверки и разрешения ремонтного персонала.

9.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

До работ на кране допускаются только обученные и аттестованные крановщики не моложе 18 лет, имеющие образование не ниже 8 классов,

годные по состоянию здоровья, что должно быть подтверждено результатами медицинского освидетельствования.

В соответствии со ст. 104 ТК РФ допускается введение суммированного учета рабочего времени с учетным периодом три месяца. В случае, если по причинам сезонного и (или) технологического характера, установленная продолжительность рабочего времени не может быть соблюдена в течение учетного периода продолжительностью три месяца, отраслевым (межотраслевым) соглашением и коллективным договором может быть предусмотрено увеличение учетного периода для учета рабочего времени таких работников, но не более чем до одного года. При этом продолжительность рабочего времени за учетный период не может превышать нормального числа рабочих часов.

При проведении работ в зимнее, то согласно ст 109 ТК РФ крановщик имеет право на перерывы на обогрев, которые входят в рабочее время.

Согласно ст.117 ТК РФ крановщику предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в силу условий труда, минимальная продолжительность которого составляет 7 календарных дней.

Согласно ст. 329 ТК РФ работникам, труд которых непосредственно связан с управлением транспортными средствами или управлением движением транспортных средств, не разрешается работа по совместительству, непосредственно связанная с управлением транспортными средствами или управлением движением транспортных средств.

Для подъема на рабочее место машиниста на экскаваторе должна быть установлена безопасная лестница с высотой перил от поверхности ступени 850-950 мм.

Дверной проем должен иметь высоту не менее 1900 мм, ширину не менее 650 мм (для исполнения ХЛ - не менее 750 мм) с учетом уплотнения. Запорное устройство и уплотнение должны обеспечивать герметичность и безотказное открывание и закрывание двери.

Кресло должно создавать условия для поддержания корпуса человека в физиологически рациональном положении, в том числе за счет профилирования спинки и сиденья, а также обеспечивать условия для отдыха.

Кресло должно иметь следующие основные размеры, мм:

ширина поверхности сиденья, не менее	400
глубина поверхности сиденья	400- 420
высота спинки, не менее	500
ширина опорной поверхности спинки, не менее	400
регулируемая высота поверхности сиденья от уровня установки ног	360- 450
горизонтальное (продольное) регулирование, не менее	100
высота подлокотников, мм	200- 240
ширина подлокотников, не менее, мм	50
длина подлокотников, мм	250- 300

Кроме того кабина крановщика должна быть оборудована средствами или устройствами:

1) для предотвращения запотевания и обмерзания стекол при температуре наружного воздуха до минус 40 °С, по требованию заказчика для исполнения ХЛ по ГОСТ 15150 - до минус 55 °С;

2) для защиты глаз машиниста от прямых солнечных лучей (солнцезащитные козырьки, тонированные стекла и др.);

3) для очистки наружной поверхности лобового стекла от загрязнения и атмосферных осадков, обеспечивающими рациональные зоны очистки;

4) для установления, регулирования и поддержания комфортных микроклиматических условий;

5) для аварийного покидания кабины.

Остекление кабины должно быть устойчивым к механическому воздействию по ГОСТ 5727-88. Окна должны иметь форточки или частично открываться. Стекла по периметру должны иметь вибродемпфирующую прокладку.

Заключение

Целью данной выпускной квалификационной работы являлся вопрос исследования регулируемого электропривода передвижения козлового крана на основе комплектного преобразователя частоты Altivar71.

В работе предложено реализовать систему РЭП рамы как систему преобразователь частоты - асинхронный двигатель с возможностью реализации законов скалярного управления по разомкнутой структуре.

В результате исследования статического режима работы скалярного управления установлено, что электропривод обеспечивает заданную область работы в указанном диапазоне регулирования скорости, что удовлетворяет техническому заданию. Скалярное управление обладает простотой и возможностью работы без обратной связи.

В ходе имитационного моделирования динамических режимов работы установлено, что разработанная система устойчиво работает в требуемом диапазоне, запуск происходит мягко, без больших скачков момента. Проведены выбор и обоснование принципиальной схемы электропривода, составлена смета капитальных затрат, рассчитан экономический эффект. Рассмотрены вопросы безопасности и экологичности проекта.

Таким образом, разработанная система РЭП механизма полностью удовлетворяет техническим требованиям. Спроектированный электропривод позволит увеличить срок службы крана, улучшить технико-экономические показатели, сократить энергопотребление.

THE CONCLUSION

The purpose of the given final qualifying work was the question of the study controlled электропривода moving the goatskin tap on base of the complete converter of the frequency Altivar 71.

In work is offered realize the system REP frames as system converter frequencies - an anisochronous engine with possibility of the realization of the laws of scalar management on open structure.

As a result of studies steady-state state of working scalar management is installed that электропривод provides the given area of the work in specified range of the regulation to velocities that satisfies to technical requirement. Scalar management possesses the simplicity and possibility of the work without feedback.

In the course of simulation modeling dynamic state of working is installed that designed system firm works in required range, start occurs softly, without greater horse race of the moment. The Organized choice and motivation of the principle scheme электропривода, is formed cost estimate of the capital expenditures, is calculated economic effect. The Considered questions to safety and ecological capacities of the project.

Thereby, designed system REP mechanism completely satisfies to specificationses. Designed электропривод will allow to enlarge the lifetime of the tap, perfect the technical-economic factor.

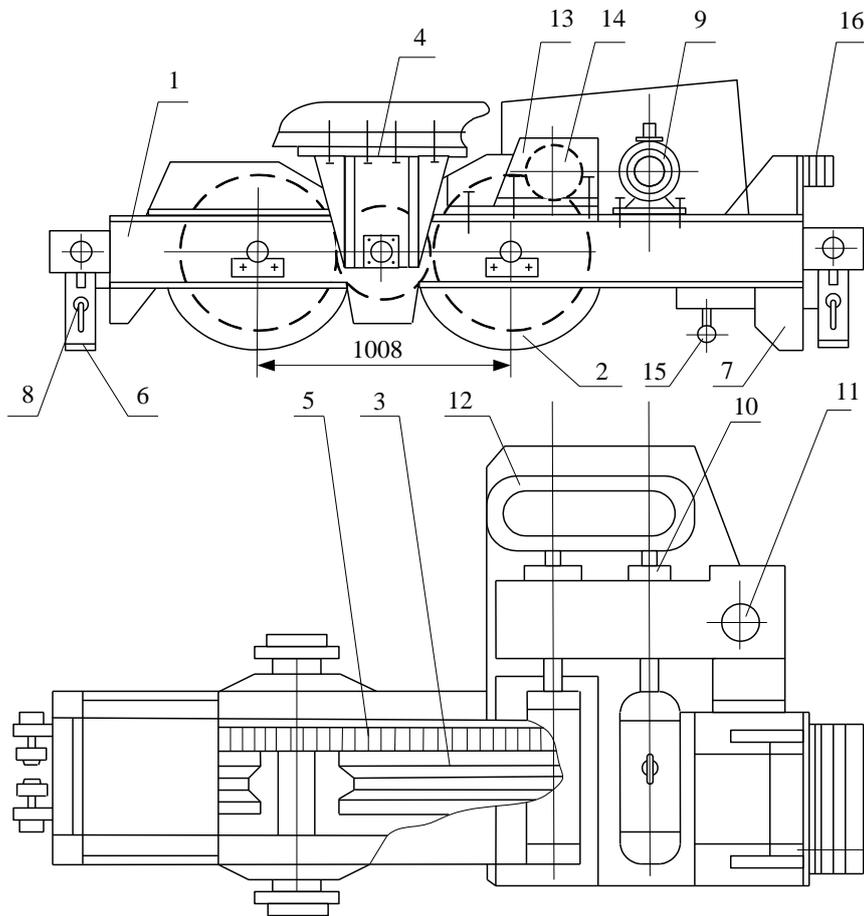
Перечень использованных источников

1. Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н., Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов, М.: Академия, 2004.
2. Справочник по электрическим машинам. В 2 т. Под общ. ред. Копылова И.П. Т.1. М., «Энергоатомиздат», 1988
3. Москаленко В.П. Электрический привод. М., «Высшая школа», 2000.
4. Ланграф С.В., Асинхронный электропривод, ТПУ Томск, 2003 г.
5. Фираго Б.И., Павлячик Л. КПД асинхронного электродвигателя при частотном управлении с различными видами нагрузок//Изв. ВУЗов и энерг. объедин. СНГ. Энергетика. 2001. №3. С 52 –59.
6. Мощинский Ю. А., Беспалов В. Я., Кирякин А. А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным. – Электричество, 1998.
7. Чернышев А. Ю., Ланграф С. В., Чернышев И. А. Исследование систем «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»: Методические указания. – Томск: Изд. ТПУ, 2003. – 24с.
8. Чернышев А. Ю., Ланграф С. В., Чернышев И. А. Исследование систем скалярного частотного управления асинхронным двигателем: Методические указания. – Томск: Изд. ТПУ, 2003. – 23с.
9. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. М: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с.
10. Яуре А. Г., Певзнер Е.М., Крановый электропривод, справочник, – М.: Энергоатомиздат, 1988 – 342с.: ил.
11. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами, под ред. Круповича, Москва, Энергоатомиздат, 1982г.;
12. Безопасность жизнедеятельности./ Под ред. С.В. Белов. – М.: Высш. шк., 1999. – 448 с.

- 13.Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. Справочник/ Под ред. А.Н.Баратова –М.: Энергия, 1987.
- 14.Правила устройства электроустановок, М.: Энергоатомиздат,1999.
- 15.Алиев И.И. Электротехнический справочник. – 4-е изд., испр. – М.: ИП РадиоСофт, 2002. – 384 с.
- 16.А.И. Ильин «Экономика предприятия» 2 издание. Новое издание, 2008г.
- 17.Н.И.Королёва. Организация производства на предприятии: Учебное пособие. Томск Издание ТПУ, 2005г.

Приложение А

Графический материал

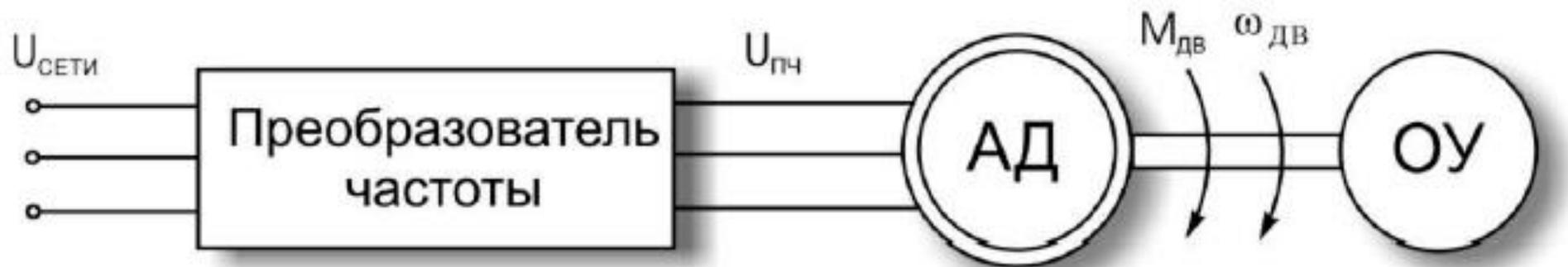


Кинематическая схема механизма передвижения

Обозначение на схеме:

1. Рама;
2. Ходовые колеса;
3. Зубчатые колеса;
4. Опора;
5. Промежуточная шестерня;
6. Противоугонный захват;
7. Щит;
8. Винт;
9. Электродвигатель;
- 10.Муфта;
- 11.Тормоз;
- 12.Редуктор;
- 13.Выносная опора;
- 14.Шестерни;
- 15.Конечный выключатель;
- 16.Упор упругий.

Схема электрическая функциональная



Структурная схема асинхронного двигателя во вращающейся со скоростью произвольно ориентированной системе координат x, y

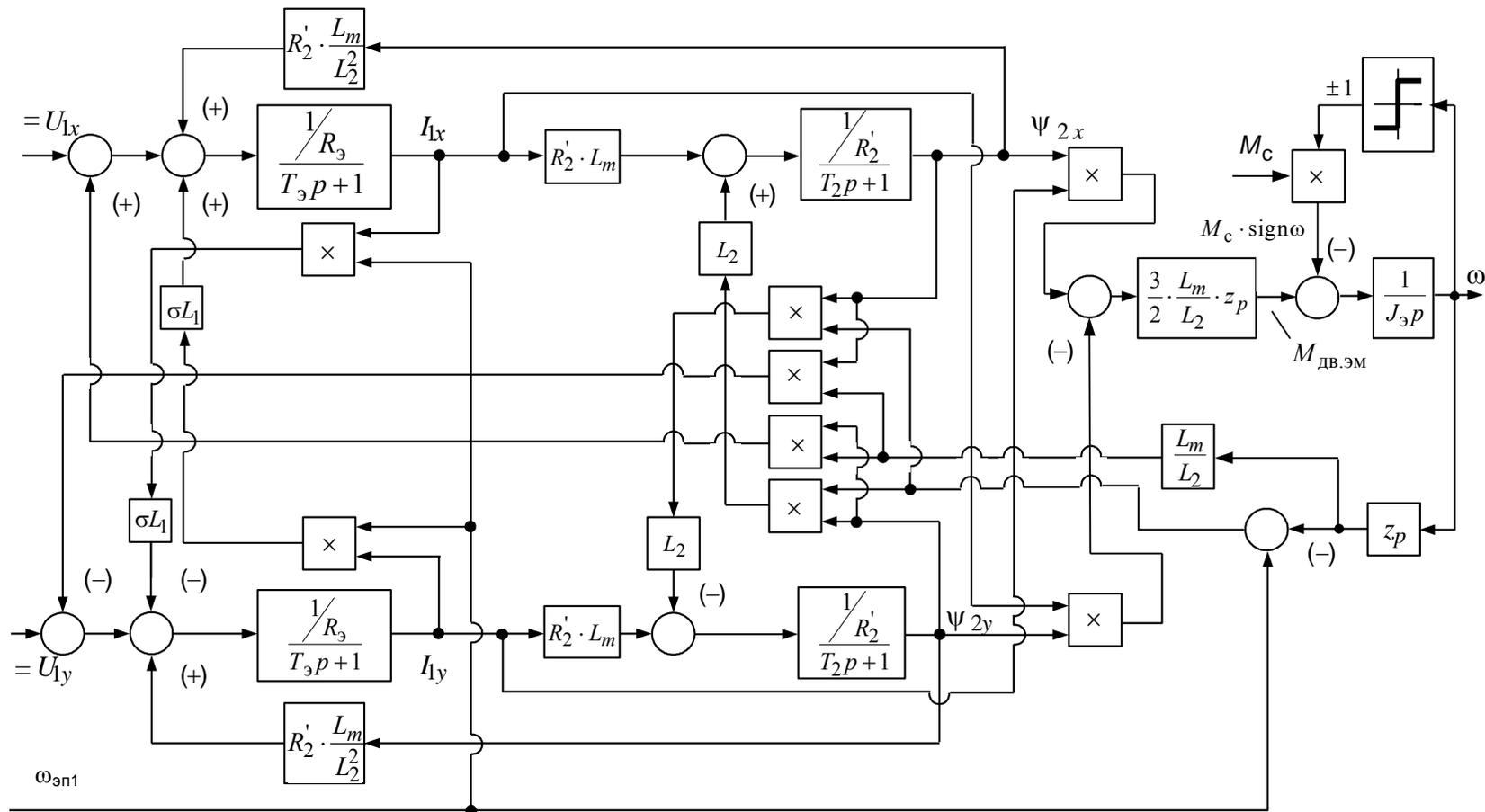


Схема имитационной модели в программной среде *MATLAB*

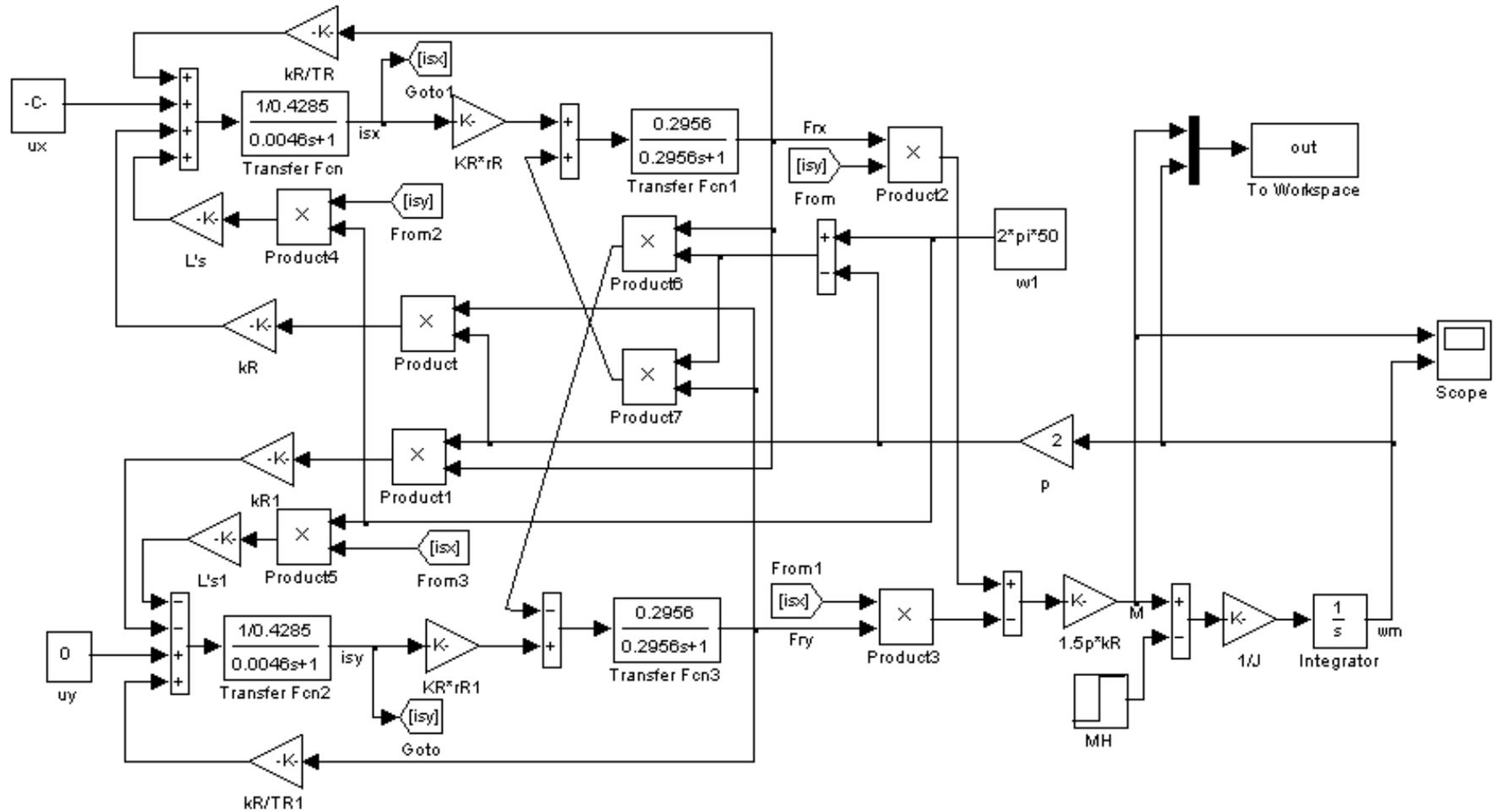
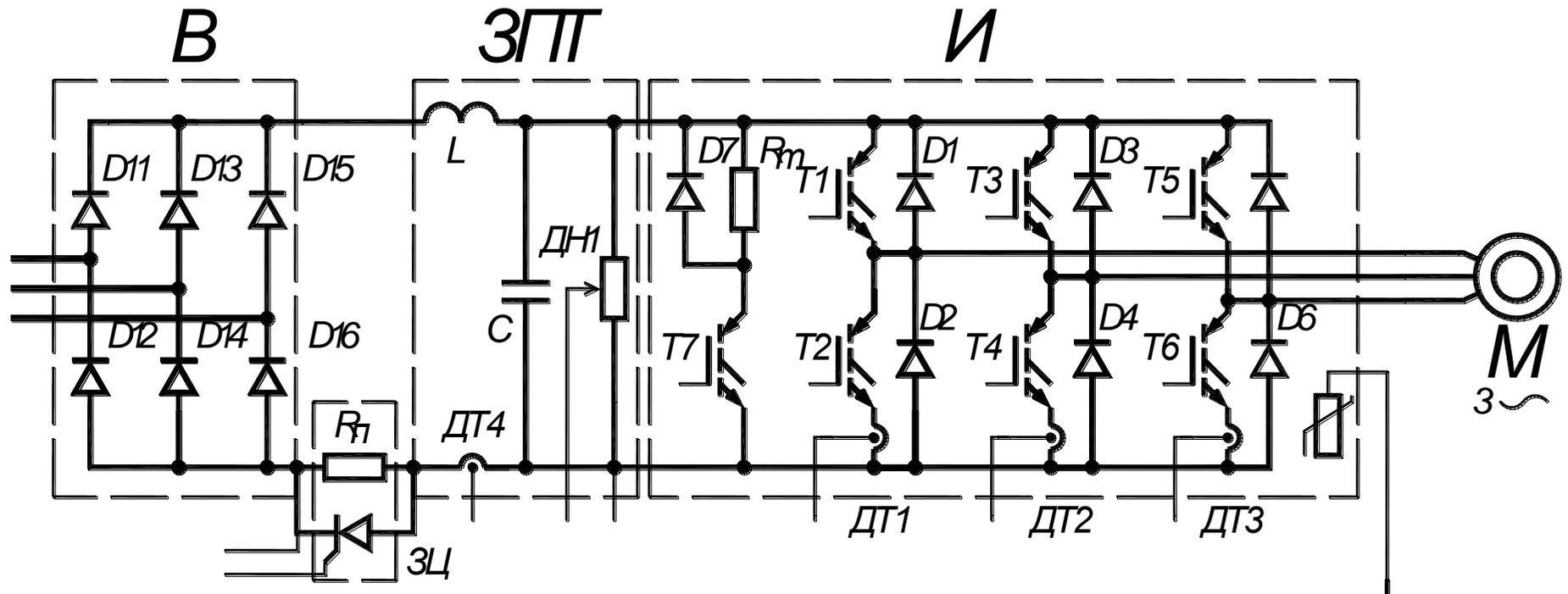
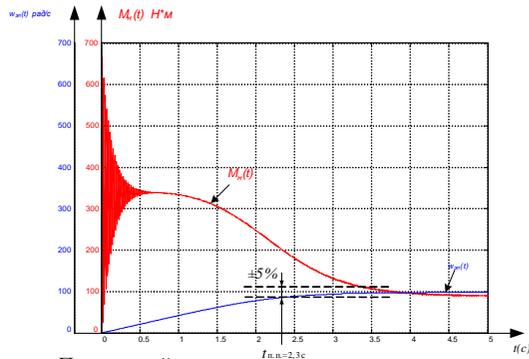
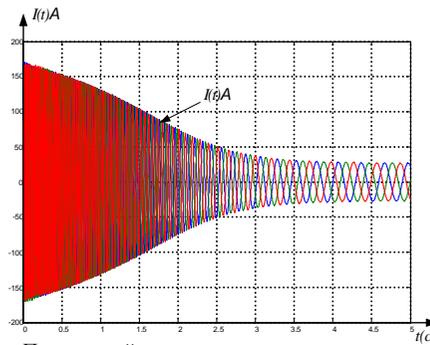


Схема электрическая принципиальная

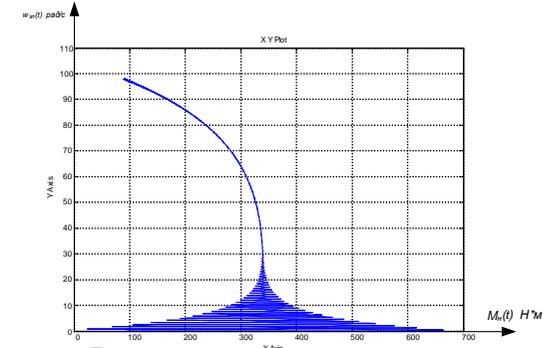




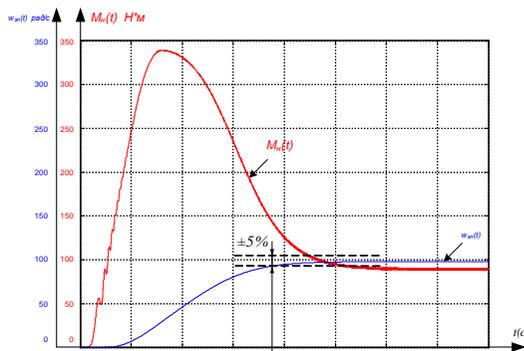
Переходный процесс при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6 прямым включением в сеть



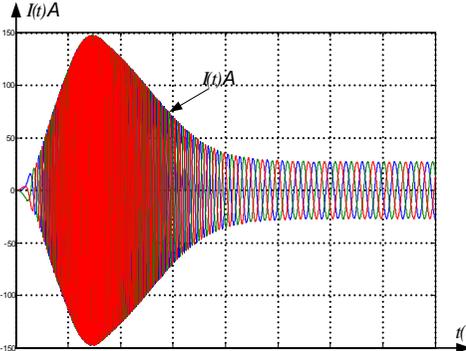
Переходный процесс тока статора при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6 прямым включением в сеть



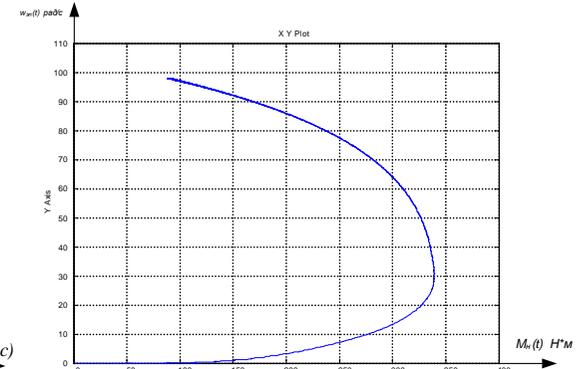
Динамическая механическая характеристика асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6



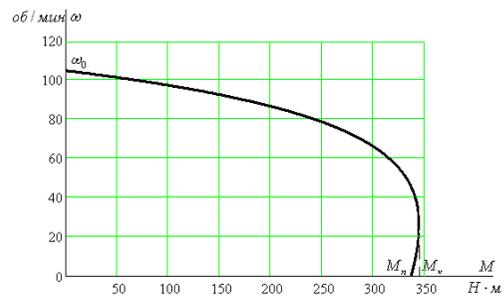
Переходный процесс двигателя МТКФ (Н) 311-6 при пуске с задатчиком интенсивности



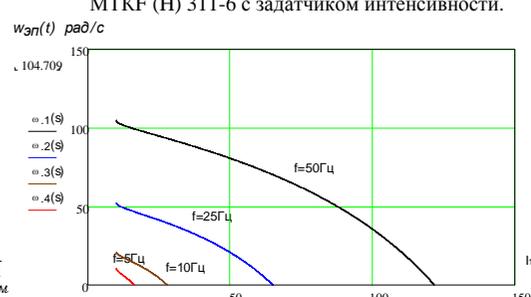
Переходный процесс тока статора при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя МТКФ (Н) 311-6 с задатчиком интенсивности.



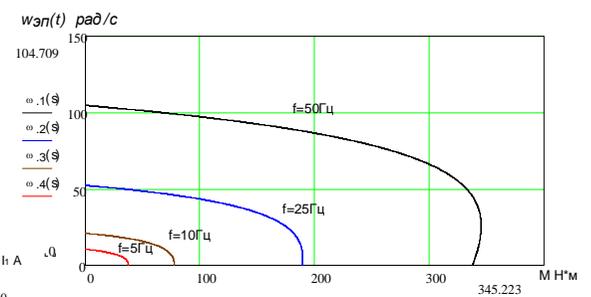
Динамическая механическая характеристика двигателя МТКФ (Н) 311-6 при пуске с задатчиком интенсивности



Механические характеристики асинхронного двигателя



Электромеханические характеристики двигателя при законе регулирования скорости



Механические характеристики двигателя при законе регулирования скорости

Круговая диаграмма статьи расходов

