

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

Институт электронного обучения
Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)
Кафедра электропривода и электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Частотно-регулируемый электропривод механизма передвижения крана

УДК 62-83-523:621.873

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Кобелев Павел Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Краснов Иван Юрьевич	Кандидат технических наук, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко Аркадий Альбертович	Кандидат экономических наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дементьев Юрий Николаевич	Кандидат технических наук, доцент		

Томск – 2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Электронного обучения
Направление подготовки (специальность) Электроэнергетика и электротехника
Кафедра ЭПЭО

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
Дементьев Ю.Н.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Кобелеву Павлу Сергеевичу

Тема работы:

Частотно-регулируемый электропривод механизма передвижения крана	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1655/с от 09.03.2017г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2017г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе:	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i>	<ul style="list-style-type: none">- Двухдвигательный электропривод механизма передвижения козлового крана;- Нагрузка – реактивная;- Режим работы – повторно-кратковременный;- Обеспечение синхронизации скоростей вращения двух приводов при изменении нагрузки.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений</i>	<ul style="list-style-type: none">- Изучить технологический процесс;

<i>мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	- Выбрать преобразователь частоты и двигатель; - Рассчитать статические характеристики электродвигателей; - Разработать имитационную модель электропривода; - Исследовать возможности синхронизации скоростей двух приводов.
Перечень графического материала:	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы:	
Раздел	Консультант
Частотно-регулируемый электропривод механизма передвижения крана	Краснов И.Ю.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко Аркадий Альбертович
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович
Названия разделов:	
Технологический процесс механизма передвижения козлового крана	
Выбор оборудования и расчет электропривода механизма передвижения козлового крана	
Оптимизация контуров регулирования	
Разработка имитационной модели электропривода	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.03.2017г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедра Электропривод и электрооборудование	Краснов Иван Юрьевич	Кандидат технических наук, доцент		06.03.2017г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Кобелев Павел Сергеевич		06.03.2017г.

Реферат

Выпускная квалификационная работа 108 листов, 29 рисунка, 41 источник.

Ключевые слова: двухдвигательный электропривод, частотно-регулируемый, электропривод, кран козловой, управление векторное, выравнивание нагрузки.

Актуальность работы: Механизм передвижения крана козлового должен обеспечить синхронное вращение двух электроприводов даже при изменении нагрузки для него нужно разработать модель двухдвигательного электропривода

Объектом исследования является электропривод двухдвигательный механизма козлового крана его передвижения.

Задачи и цели работы состоят в исследовании и разработке двухдвигательной системы управления с частотными преобразователями и с датчиками по связям обратным, обеспечивающей вращение согласованное, при котором будет реализовываться движение равномерное опор крана козлового.

Работа состоит из пяти разделов, так же введение, и заключение, представлен список использованных источников.

В процессе работы провели исследования электропривода двухдвигательного частотно-регулируемого.

По результатам исследования была обоснована адекватность имитационных моделей, так же получены параметры настройки данной системы которая обеспечивает синхронизации скоростей при работе вращения двух приводов и при изменении нагрузки.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word. Так же были использованы: среда имитационного моделирования – Matlab, система компьютерной алгебры – MathCad .

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Технологический процесс	10
1.1 Назначение и технические характеристики козлового крана ЛТ-62	10
1.2 Кинематические особенности козловых кранов	15
1.3 Требования, предъявляемые к электроприводу механизма горизонтального передвижения	17
1.4 Обзор существующих систем управления электроприводами механизмов передвижения козловых кранов	19
1.5 Особенности двухдвигательного электропривода	22
2 Выбор оборудования и расчет электропривода механизма передвижения козлового крана	25
2.1 Выбор двигателя	25
2.2 Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя	31
2.3 Выбор преобразователя частоты	36
2.4 Расчет естественных характеристик электропривода	38
2.5 Расчет статических характеристик двигателя и элементов силового канала и нагрузки электропривода при частотном векторном управлении	41
2.6 Параметры, структурные схемы и модели системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель	43
3 Оптимизация контуров регулирования	46
3.1 Оптимизация контура тока с ПИ-регулятором	46
3.1.1 Параметры настройки контура тока с ПИ-регулятором	47
3.2 Оптимизация контура потокосцепления с ПИ-регулятором	48
3.2.1 Параметры настройки контура потокосцепления с ПИ-регулятором	50
3.3 Оптимизация контура скорости с ПИ-регулятором	51

3.3.1	Параметры настройки контура потокосцепления с ПИ-регулятором	52
4	Разработка имитационной модели электропривода	54
4.1	Математическая модель асинхронного двигателя	54
4.2	Механическая часть электропривода механизма передвижения козлового крана	57
4.3	Проверка адекватности разработанной модели асинхронного двигателя	59
4.4	Исследование способов управления для электропривода системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель»	60
4.4.1	Скалярное управление	61
4.4.2	Векторное управление с обратной связью по скорости одного двигателя	63
4.4.3	Векторное управление с обратной связью по скорости каждого асинхронного двигателя	66
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	70
5.1	Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование	70
5.2	Потенциальные потребители результатов научно-технического проекта	71
5.2.1	Анализ конкурентных технических решений	71
5.3	Планирование научно-исследовательских работ	74
5.3.1	Планирование научно-исследовательских работ	74
5.3.2	Планирование пуско-наладочных работ	77
5.3.3	Состав бригады для проведения пуско-наладочных работ	80
5.4	Расчет бюджета проекта по внедрению двухдвигательного	

электропривода	87
5.4.1 Смета затрат на пуско-наладочные работы	83
5.4.2 Расчет расходов при эксплуатации электропривода (стоимости силовой электроэнергии)	84
5.4.3 Расчет амортизационных отчислений	84
5.4.4 Заработная плата обслуживающего персонала	84
5.4.5 Отчисления на социальное страхование (ЕСН)	86
5.4.6 Общая сумма эксплуатационных расходов	87
5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования	87
5.5.1 Интегральный финансовый показатель	87
5.5.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности	88
5.5.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	89
6 Социальная ответственность	93
6.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	93
6.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	95
6.3 Охрана окружающей среды	98
6.4 Расчет устройства защитного заземления	99
6.5 Защита в чрезвычайных ситуациях	102
6.6 Законодательное регулирование проектных решений	103
Заключение	104
Список литературы	105

Введение

Подъемно-транспортные машины, представляют собою большую категорию устройств назначения общепромышленного, исполняющих действия многообразные погрузочно-выгрузочные. К ним принадлежат краны - мостовые, башенные козловые, поворотные, и т.д. Из числа данных устройств, в особенно обстановках тяжелых и режимах активных, трудятся краны козловые.

Краны козловые снабжены системами электропривода двухдвигательного. Туда входят электропривода, выполняющие передвижение горизонтальное данного крана. Являются такими механизмы передвижения.

У стоек основания устанавливаются привода, представляющих собой основную несущую долю крана. Главным требованием к механизму передвижения является перемещение согласованное опор козлового крана при равной скорости вращения электроприводов. На основе предъявляемого требования, нужно использование специальной системы согласования электроприводов. Механизмы перемещении являются единственными, где необходима система синхронизации или согласования. [1, 2, 3]

С целью свершения установленной цели следует реализовать последующие вопросы:

1. Подобрать двигатель и преобразователь частоты, рассчитать характеристики на основании схемы замещения и получить механические и электрических-механические характеристики электродвигателя.

2. Подготовить модель в программной среде Simulink Matlab, позволяющую моделировать двухдвигательный привод устройство перемещения козлового крана, включительно 2 преобразователя, 2 мотора, реактивную нагрузку, контура связей обратных.

3. Выполнить проведение исследования имитационной модели двухдвигательного асинхронного частотно-регулируемого электропривода в разных системах работы: разной перегрузке и задании скорости. Выбрать коэффициенты с целью компенсаций момента и скольжения с целью выравнивания перегрузки для моторов с разнообразными параметрами.

4. Совершить вычисление и исследование технико-финансовых показателей, подсчитать ежегодный финансовый результат.

5. Установить и изучить опасные и вредоносные условия сфер. Проанализировать отрицательные влияния в охватывающую окружение, чрезмерные условия, что имеют все шансы появиться рядом эксплуатации электропривода козлового крана.

1 Технологический процесс

1.1 Назначение и технические характеристики козлового крана ЛТ-62

В это период, козловые краны представлены один с главных средств механизации перегрузочных и складских работ в разных секторах экономики общенародного хозяйства. Козловые краны причисляют к кранам мостового вида, вступающих в категорию подъемно-транспортных машин, отличающихся кратковременным и повторно-кратковременным режимами службы электроприводов.

Согласно предназначению козловые краны разделяются в 3 ключевые категории: всеобщего назначения (перегрузочные), строительно-монтажные и назначения специального.

Козловые краны применяют с целью сервиса открытых складов и погрузочных площадок, монтажа монтажных строй сооружений и снабжения, промышленных предприятия, сервиса гидротехнических построек и выполнения погрузочно-выгрузочных дел в контейнерных площадках жд станций с температурой рабочей окружающей с -СОРОК вплоть до + СОРОК градусов; грузоподъемность их, как норма, 3,2...50 т.; пролеты 10...40 м; уровень роста груза в из-за-висимости с ситуаций загрузки-разгрузки транспортных средств либо штабелирования грузов 7..16 м. [5, 6]

В семействе козловых порталных приборов заслуживающее положение из-занимает исключительный согласно собственному употреблению кран козловой ЛТ 62.

Козловой кран ЛТ-62 (изображение 1) приобрел обширное использование в нижних лесных складах в разгрузке хлыстов с лесовозного хозяйства- и формировании запасов. [5, 6]

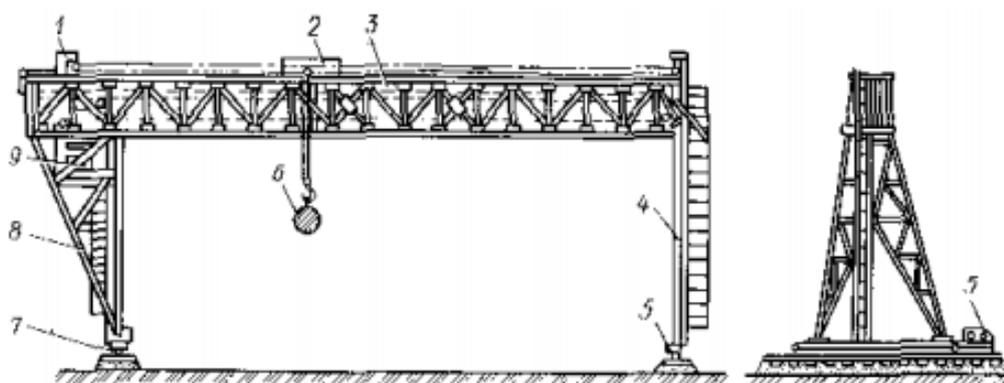


Рисунок 1 – Козловой кран ЛТ-62

Несущая ферма 3 козловых кранов размещена в высочайших опорах – твердой 8 и шарнирной 4, ноги каких полагаются в ходовые тележки 5 и 7, движущиеся согласно крановым путям. Шарнирность присоединения верхнего окончания опоры 4 к несущей ферме возместит заворачивание одной опоры согласно взаимоотношению к иной, а кроме того определенные никак не правильности в прокладке дороге. Грузовая тележка 2 рядом содействия лебедки 1 перемещается по несущей фермы. У многих аналогичных кранов с целью подъема и опускания груза работают 2 лебедки, размещенные согласно точкам несущей фермы. Кабинка крановщика 9 находится в верхней доли твердой опоры.

Груз 6 разрешено передвигать согласно 3 направленностям: по вертикали – при работе подъемного приспособления; в границах просвета (расстояние меж опорами) крана – рядом перемещении погрузочной тележки и по подкрановых линий – рядом манёвре крана. Штабеля располагают в пролете крана.

Вдоль несущей фермы пролагают пути с целью передвижения грузовой телеги; дороге обладают или сверху несущей фермы, или перед ней. В первоначальном случае курс представляется рельсовым, в другом путепроводом работает двутавровая швеллер, что укрепляется к нижнему поясу фермы.

Устройство подъема и опускания груза у козловых кранов заключается с погрузочной лебедки и канатоблочной организации, подключающей полиспаст с крюковой обоймой. Грузовая мотолебедка располагается согласно 2 альтернативам: напрямую в погрузочной тележке либо в несущей ферме. У

отдельных модификаций козловых кранов большой грузоподъемности устанавливаются 2 грузовые лебедки, располагаемые согласно точкам несущей фермы.

Модель запаски тросов подъемного приспособления, обладающего 2 грузовые лебедки, заключается с 2-ух одних и тех же канатоблочных нотафорштевень с приводом с однобарабанных лебедок.

Грузовая тележка предполагает собою раму, обладающую ходовые колеса. В тележке размещены неподвижные узлы полиспаста и у никак не-каковых модификаций кранов грузовая таль. В связи с расположения пути погрузочный тележки (сверху несущей фермы либо перед ней) она либо опирается в ходовые колеса, либо подвешивается к ним. В первом случае повозка содержит 2 полиспаста, отрасли каковых свешиваются согласно эти две стороны несущей фермы.

С целью перемещения погрузочный тележки работает однобарабанная реверсионная лебедка, констатируемая в завершении несущей фермы, как правило надо жесткой опорой. В барабане лебедки зафиксированы края двух веток тягового каната. 1 ветвь зафиксирована с одной края погрузочный тележки, 2-ая огибает фиксирующий источник и укрепляется к тележке, с противоположный края. Вследствие этому, что же течение навивки в барабан веток тягового каната неодинаково, 1 с веток рядом подключении барабана наматывается, а вторая – разматывается, в следствии что грузовая тележка перемещается согласно несущей ферме. Поменять течение перемещения тележки допускается посредством реверсирования электродвигателя лебедки. С целью четкой приостановки погрузочный тележки тяговая лебедка оборудована электромагнитным тормозом. Согласно точкам пути тележки введены ту вот-предельные упоры. В погрузочный тележке мостовых кранов расположены аппаратура подъема груза и перемещения тележки, обладающие приводы персональные. И тот и другой приспособления оборудованы колодными тормозной системой и окончательными выключателями, ограничивающими высоту подъема груза и движение тележки.

Система перемещения работает с целью горизонтального перемещения моста или же лишь крана. Козловые краны перемещаются точно по 2 рельсам, делая упор в их 4-мя ходовыми тележками. В любом рельсе (перед одной опорой) находится соответственно 2 тележки (основная и ведомая). Основная тележка заключается с рамы, в каковой расположены электропривод, ходовые колеса и противоугонный перехват. Привод тележки складывается из электродвигателя, редуктора и находящегося среди ними тормоза электромагнитного. В одной с основных тележек существует конечный рубильник, сдерживающие движение крана. Захват противоугонный клещевого вида объединяет тележку с рельсом в этих вариантах, если появляется угроза самопередвижения крана перед воздействием ветровой перегрузки. К опоре закрепляются нога крана.

Руководство механизмами крана в кабине крановщика сосредоточено. Нее местонахождение обязано гарантировать обстоятельства подходящие для того надзора из-за ходом службы. У козловых и неких модификаций консольно-козловых кранов находится кабинка в верхней Составная часть опоры жесткой. Консольно-козловые краны Больше оборудованы мобильный кабиной, что соединена тягой с грузовой тележкой и перемещается совместно с ней согласно ездовой балке.

С целью предотвращения аварий в концепции управления крана существует серия блокировок, механически сдерживающих высоту подъема погрузочный траверсы, а кроме того вывод погрузочный тележки и наиболее крана из-за границы работников зон. Блокирование дверь кабины крановщика никак не позволяет введения механизмов крана, в случае если двери кабины не закрыта. Полукозловые краны оборудованы приспособлением, фиксирующим переднюю нагрузку в систему крана.

При ветре, сила какого делается серьезной, т.к. имеет возможность повлечь передвижение крана, вводятся светящийся и акустический сигналы. Рядом данным работа в кране обязана являться прервана и интегрированы захваты противоугонные.

Подача электричества к козловым кранам как правило выполняется согласно упругому четырехжильному кабелю. Многочисленные модификации кранов снабжаются проводным барабаном, механизмирующим намотку и размотку электрического кабеля при маневре крана.

Электродвигатели козловых кранов получают энергию с троллейных проводков, проложенных по эстакадам. Электричество, поступающая к движкам погрузочной тележки, снимается с троллейных проводков, протянутых по мосту. Козловые краны, у которых края несущей фермы обозначают из-за опоры в виде консолей, именуется консольно-козловыми. У подобных кранов штабеля допускается в дополнение располагать перед консолями, что же повышает область, захваченную штабелями, и дает возможность рядом той же длине крановых линий формировать более значительный резерв лесоматериалов. [5, 6]

Основные параметры и характеристики приведены в таблице 1. [5, 6]

Таблица 1 - Основные параметры и характеристики крана ЛТ-62

Наименование показателей	Норма
Грузоподъемность номинальная, т	32
Наибольшая высота подъема груза, м	11,8
Скорость подъема груза, м/мин	13,4 ± 1,0
Скорость передвижения тележки, м/мин	32,6 ± 1,0
Скорость плавной посадки груза, м/мин	12,0 ± 1,0
Скорость передвижения перегружчика, м/мин	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 перегружчике, приведены в таблицу 2. [5, 6]

Таблица 2 - Технические данные канатов, установленных на перегрузчике

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

Технические данные лебёдки грузовой, приведены в таблице 3. [5, 6]

Таблица 3 - Технические данные лебёдки грузовой

Наименование показателей	Норма
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 перегрузчика, представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Технические данные механизма передвижения

Наименование показателей	Норма
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

1.2 Кинематические особенности козловых кранов

В механизмах перемещения кранов максимальное распространение приобрел много моторный привод, рядом с которым любая концевая балка моста доводится в движение собственным независимым приводом, к тому же среди приводов, размещенными в разных концевых балках, есть взаимосвязанность, исполняемой с содействием внешней системы согласования, помимо наиболее металлоконструкции. В следствии поддерживается 1 функционирование – передвижения крана точно по рельсам. [1, 2, 3]

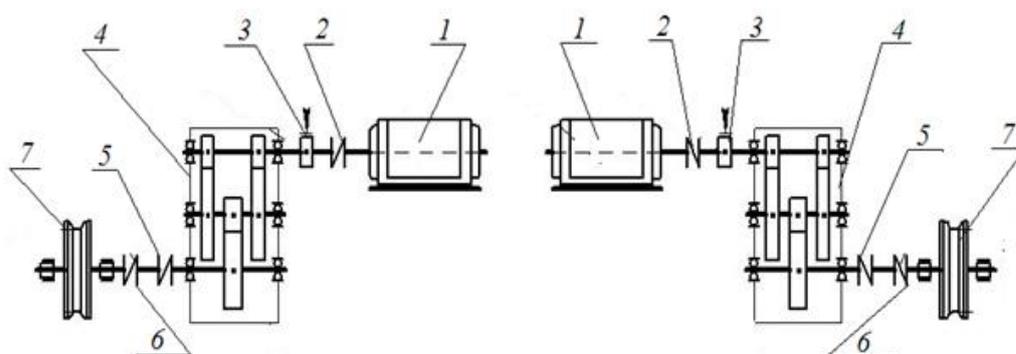


Рисунок 2 - Кинематическая схема механизма передвижения крана

Конструктивно машины перемещения осуществляют в типе скрепляемых с основной стоек опор одноколесных или же балансирных тележек и, пореже, ходовых балок, в что по двое опираются 2 стойки. В рисунке 2 есть 2 согласно функционирующих механизма перемещения козлового крана. Отдельный система содержит в себе двигатель 1, объединенный муфтой 2 с редуктором 4, отдает перемещения в основные колеса 7. Ось приводного колеса объединен с тихоходным валом редуктора переходным валом 6 и зубчатыми муфтами 5. В полумуфте быстроходного вала редуктора смонтирован тормоз 3.

Плюсы персонального привода состоят в компактности лишь приспособления перемещения, минимальных маховых факторах электродвигателей, в уменьшении времени запуска. В механизмах перемещения в свойстве электроприводов применяются электродвигатели постоянного тока и переменного тока. Однако с модернизированием электроприводов, использование моторов в постоянном токе осталось в прошлом. На сегодняшний день обширное популяризация приобрели асинхронные электродвигатели с фазным и короткозамкнутым роторами.

Используемые электродвигатели планируют для эксплуатации в повторно-кратковременном режиме, который характеризуется длительностью подключения (ПВ) 15, 25, 40 и 60% при длительности цикла менее 10 минут. Главным номинальным режимом крановых движков переменного тока считается

ПВ=40%. Таким образом, выбору типов электроприводов содействуют режимы работы механизмов, также параметрические условия грузоподъемности. [1, 2, 3]

1.3 Требования, предъявляемые к электроприводу механизма горизонтального передвижения

К механизмам горизонтального движения относят механизмы манёвры кранов и грузовых тележек, также механизмы поворота. Эти все механизмы имеют реактивный (то есть не зависящий от направления перемещения) момент перегрузки. [1, 7]

Безупречный электропривод приспособления горизонтального движения обязан гарантировать жесткие механические свойства (рисунок 3) в двигательном и тормозном режимах. В отличие от приспособления роста режим торможения устройств горизонтального движения занимает только маленькое время цикла и появляется, обычно, при переходе с высочайших скоростей на низшие.

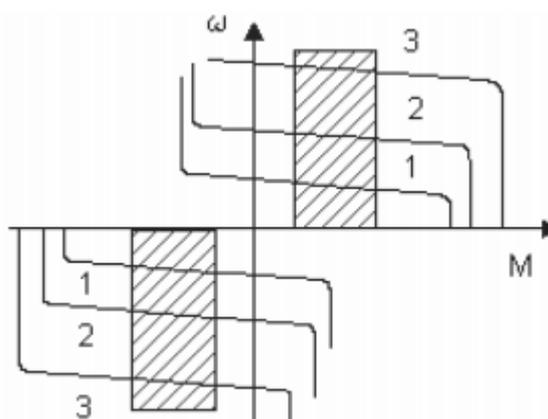


Рисунок 3 - Желательные механические характеристики электропривода механизма горизонтального перемещения

В тормозном режиме электропривод устройств горизонтально-го движения сможет действовать кроме того при перемещении под уклон (собственно бы-вает при поломки рельсовых путей) либо при перемещении по ветру.

Важной необыкновенностью устройств манёвры и поворота считается немалая механическая инерция, воздействие коей тем более, нежели тяжелее

двигающее построика и нежели повыше скорость перемещения, поэтому, во избежание завышенных динамических нагрузок на металло-конструкции и механизмы электропривод обязан ограничивать ускорения при пуске и торможении. Приведенный к валу мотора эпизод инерции передвигающихся масс установки для устройств манёвры кранов в 2 - 20 разов более личного этапа инерции мотора

Следовательно с целью подобных устройств рядом большой частоте подключений динамические перегрузки устанавливают требуемую мощность мотора, а статические перегрузки не слишком велики в сравнении с динамическими. [1, 7]

Как следует имея цель схожих приборов вблизи великий частоте включений динамические перегрузки устанавливают необходимую мощность двигателя, а статические перегрузки невелики по сравнению с динамическими. [1, 7]

Метод стопорения в электроприводах устройств горизонтального движения легче, нежели в электроприводах устройств подъема. В связи реактивного этапа перегрузки снятие тормоза почти всегда можнож создавать, не дожидаясь, покуда эпизод электродвигателя вырастет до ценности статического эпизода. Главным притязанием считается наложение тормоза при скорости, недалёкой к никакой, для понижения динамических нагрузок и сокращения износа тормозных накладок.

Но использование козловых кранов под открытом небом, подвергается ветровой перегрузке, собственно в случае великий парусности сможет привести к солидному расширению пределов конфигурации статического этапа противодействия, при всем этом сможет поменяться и символ эпизода. Ветровая перегрузка сможет иметь хоть какое направление и при немаленький парусности пределы конфигурации статической перегрузки имеют все шансы обхватывать как двигательный, но и тормозной режимы.

Спектр регулировки скорости приспособления, при данной номинальной, ориентируется требуемой пониженной скоростью. Присутствие таковой

пониженной скорости, на которую переводится приспособление перед остановкой, упрощает работу оператора, делает удобство управления и увеличивает отточенность остановки. [1, 7]

1.4 Обзор существующих систем управления электроприводами механизмов передвижения козловых кранов

В механизмах манёвры козловых кранов использование возымели некоторое количество видов систем управления: релейно-контакторные, дроссельные и частотно-регулируемые.

В это время обширно применяемым типом эл-привода для козловых кранов считается электропривод на базе асинхронного мотора с фазным ротором при реостатном управлении при помощи силовых контроллеров либо простых релейно-контакторных систем.

Данное соединено с тем, собственно сроки эксплуатации кранов сочиняют 10-ки лет, а большая часть кранов было выпущено в русское время. В эту систему кроме того заходит функция согласования устройств манёвра. Внедрение релейно-контакторных систем управления, обосновано критериями работы козловых кранов: троллейная система кормления, высочайшее содержание электропроводящей пыли, влажность, загазованность, повышенная температура и ее внезапные потрясения по протяженности просвета, высочайшая интенсивность работы крана характеризующаяся немаленький длительностью и частотой подключений. Но, невзирая на ее обширное использование (методом электронного согласования роторов), она считается неэффективной. [1]

Данное соединено со почти всеми факторами. Во-1-х, переключение ступенек пусковых противодействий в ходе разгона мотора вызы-вает скачкообразные конфигурации его эпизода и броски токов в огромных границах, собственно утяжеляется при понижении количества ступенек. Такое может появиться предпосылкой появления тугих автоматических шатаний и не соблюсти мягкость протекания переходных действий.

Во-2-х, при применении систем многодвигательного электропривода для козловых кранов с сравнительно огромным просветом (25 метров) не одновременное замыкание контактов релейно-контакторной системы приводит к разным ускорениям любого асинхронного двигателя с фазным ротором, собственно вызывает вспомогательные динамические перегрузки в механизмах и металлоконструкции крана, и, в окончательном сче-те, к понижению производительности и досрочному поломке частей крана.

Вместе с релейно-контакторной системой в крановых механизмах употребляется дроссельная система. Она считается наиболее хорошей в нерегулируемом электроприводе козлового крана. Внедрение пускового дросселя для лимитирования тока ротора асинхронного мотора в пусковых и тормозных режимах, гарантирует мягкость запуска и торможения устройств при неимении системы управления ротором электродвигателя, храня примерное все постоянство эпизода до скорости 0,5-0,6 от синхронной. [1, 2]

Использование этой системы ликвидирует из работы все энергичные противодействия, релейно-контакторную схему управления и кабельную продукцию для включения техники в цепь ротора, собственно до мини-мума упрощает схему эл-привода приспособления.

С помощью обеспечения плавного разгона устройств и в особенности, плавного, хотя насыщенного торможения, быстро возрастает срок эксплуатации автоматических узлов (редукторов, муфт, валов, скатов, и т.п.). Стопроцентно исключается "произвол" машиниста крана, т. к. избранная при наладке интенсивность разгона и торможения устройств остается постоянной. Хотя все таки использование АД с ФР в сегодняшнее считается неактуальным, что имеет какую либо связь с накладностью. [1, 2]

На основании вышеизложенного, для понижения динамических нагрузок и стойкости работы приспособления нужна лучшая система регулировки электроприводами устройств манёвры козлового крана с помощью модернизации имеющихся систем управления, или с помощью исследования новейших систем. В следствии обязана повыситься прочность и отточенность

работы устройств козлового крана с учетом всех предъявляемых к нему притязаний.

В текущее время следует стойкая направленность перехода от нерегулируемых электроприводов козловых кранов, с релейно-контакторными, дроссельными системами, на регулируемые и действенные по надежности эл-привода. Данное соединено с интенсивным использованием в крановых механизмах преобразователей частоты с асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями (АКЗ). [1, 2]

Частотное регулировку считается более действенным методом регулировки скорости мотора переменного тока, которое позволяет обрести отличные мех-ские свойства асинхронных движков.

Главными плюсами данной системы регулируемого эл-привода считаются:

- мягкость регулировки и высочайшая твердость автоматических черт, собственно позволяет регулировать скорость в широком спектре;
- экономичность регулировки, характеризуемая тем, собственно движок трудится с небольшими величинами безоговорочного скольжения, и утраты в движке не превосходят номинальных.

С использованием частотно-регулируемых электроприводов в козловых кранах не разработаны математические модели двухдвигательного эл-привода применительно к автоматическому электроприводу приспособления манёвра козлового крана при регулировке скоростей вращения движков при помощи полупроводниковых преобразователей по системе «Преобразователь частоты – асинхронный движок с короткозамкнутым ротором» (ПЧ-АД), не проведен тест отдачи метода управления для частотно-регулируемого

Спецификой электроприводов горизонтального движения будет то, собственно большая часть из их реализуются как многодвигательные приводы. В данном случае электродвигатели имеют все шансы кормиться как от 1-го преобразователя частоты, собственно считается более экономным вариантом, но

и от личных преобразователей, обеспечивающих наиболее эластичное управление крановыми приспособлениями. [7]

Питание движков от личных преобразователей представляется подходящим для приводов устройств манёвры мостовых и козловых кранов с большими просветами. В данном случае спасибо большей эластичности управления может быть обеспечение выравнивания перегрузки меж движками по схеме «ведущий-ведомый» (набросок 4), синхронизации перемещения приводов имея цель уничтожения перекоса моста крана и т.п.

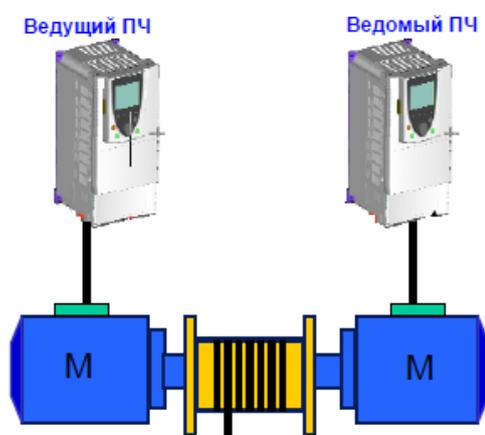


Рисунок 4 - Конфигурация «ведущий-ведомый»

1.5 Особенности двухдвигательного электропривода

Главное различие многодвигательного эл-привода от одно-двигательного состоит в том, собственно силовой поток к ведомому звену передается не от 1-го, а от нескольких источников энергии (движков). Понятно, собственно многодвигательный привод имеет ряд положительных сторон перед однодвигательным, в особенности в томных тех. аппаратах.

В теории эл-привода отмечается, собственно многодвигательные электроприводы характеризуются большими способностями в отношении регулировки скорости и этапа, обоюдным резервированием силы, понижением суммарного эпизода инерции системы в сравнении с системой однодвигательного эл-привода, вероятностью сотворения массивных установок при применении серийных электронных машин что касается маленький силы,

упрощением автоматического оборудования, наилучшим плодотворным размещением электродвигателя

В то же время практика эксплуатации многодвигательных электроприводов говорит про то, собственно в неких механизмах возбуждаются насыщенные колебательные процессы в трансмиссиях, собственно сильно перегружает, ну а в ряде всевозможных случаев вызывает разрушение элементов привода.

Понятно, собственно в том числе и в однотипных движках их мех-ские свойства имеют все шансы выделяться между собой вследствие отличия противодействия обмоток, магнитных потоков и другие. Это все сильно обуславливает возбуждение трудных колебательных действий, которые считаются предпосылкой неравномерности угловых скоростей движков и неминуемого перераспределения нагрузок на любой движок.

Неравномерное рассредотачивание факторов меж электродвигателями, приводит к перегрузке кого-то из их, также к неравномерному износу частей кинематической передачи – шестерен редукторов, шпинделей и так далее Таким макаром одной из принципиальных заморочек двухдвигательных систем машинных аппаратов считается обеспечение равномерного рассредотачивания нагрузок меж движками как в статических, но и в динамических режимах.

В связи с этим исследуем вопросец о рассредотачивании нагрузок в статике, осмотрев обычнейшую модель двухдвигательного эл-привода. На рисунке 5 показано рассредотачивание нагрузок меж 2-мя асинхронными электродвигателями, мех-ские свойства которых различаются по жесткости. Движок Д2 с наиболее мягенькой чертой как оказалось наименее загруженным.

Коль скоро движки имеют однообразный номинальный эпизод, одинаковый половине эпизода противодействия, то 1 движок окажется недогруженным (Д2), а иной (Д1) перегруженным, собственно приведет при продолжительной работе к перегреву мотора (Д1), из-за этого у него есть возможность сломаться. [7]

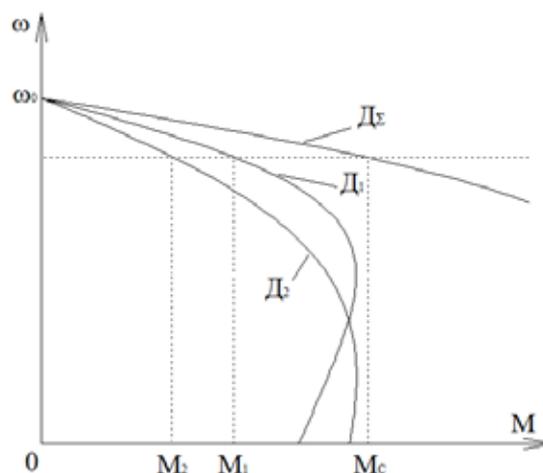


Рисунок 5 – Распределение нагрузок в приводе с двумя асинхронными электродвигателями.

На основании выше рассмотренного, в работе подвергнется рассмотрению двухдвигательный асинхронный электропривод сложного вращения устройств манёвра козлового крана. Управление данными многодвигательными электроприводами станет исполняться от отдельных преобразователей частоты.

Беря во внимание притязания и специфику, предъявляемых к механизмам манёвра козловых кранов, нужно достигнуть уверенностью согласованности скоростей электроприводов и обеспечить рациональные аспекты разгона, торможения и стойкости к хоть каким динамическим действиям, связанных с неравномерностью рассредотачивания нагрузок.

2 Выбор оборудования и расчет электропривода механизма передвижения козлового крана

2.1 Выбор двигателя

Козловой кран ЛТ-62 предназначен для работы под открытым небом, поэтому выбор мощности двигателя основан на расчете усилий, возникающих в механизме, согласно. [5, 8, 9]

Изобразим нагрузочную диаграмму, которую должен выполнять заданный механизм для выполнения технологического цикла. Данные диаграммы в дальнейшем будут использоваться при исследовании имитационном проектировании.

Кран перемещаемся поперечно в одном направлении сначала массу m_1 в течение времени t_{p1} , затем массу m_2 в течение времени t_{p2} . Причем $t_{p1}=t_{p2}=t_p$. Между перемещениями грузов имеются равные паузы t_n для снятия и загрузки груза. Тогда нагрузочная диаграмма будет иметь вид (рисунок 6).

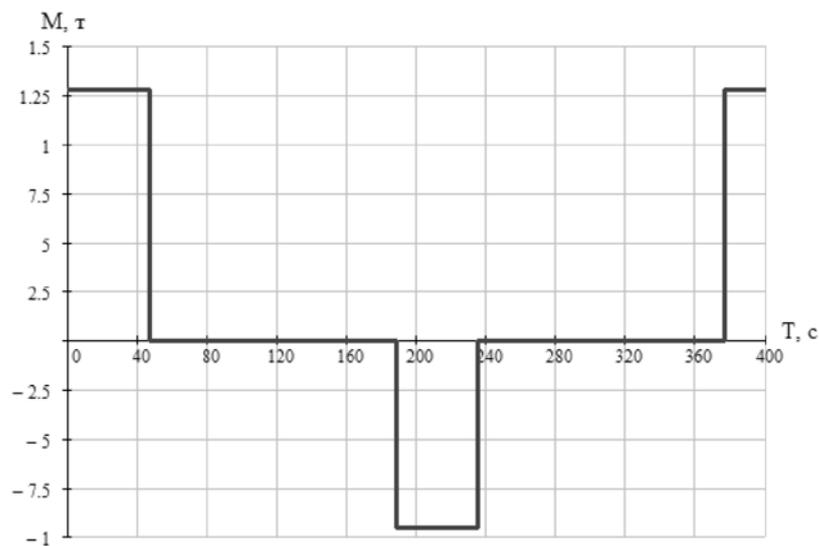


Рисунок 6 – Нагрузочная диаграмма

Массы m_1 и m_2 находим как

$$m_1 = m_n + m_{кр} = 32000 + 95600 = 127600 \text{ кг.} \quad (1)$$

$$m_2 = m_{кр} = 95600 \text{ кг.} \quad (2)$$

где m_n – грузоподъемность номинальная, т;

$m_{кр}$ – масса конструктивная, т.

Время работы t_p определим по величине перемещения L и номинальной скорости крана v_n

$$t_p = \frac{L}{v_n} = \frac{40 \cdot 60}{51} = 47,059 \text{ с.} \quad (3)$$

Цикл $t_{ц}$ определяется временем, поле которого процесс повторяется

$$t_{ц} = \frac{2 \cdot t_p}{ПВ} = \frac{2 \cdot 47,059}{0,25} = 376,471 \text{ с.} \quad (4)$$

Времена пауз t_n определяем по исходным данным механизма как

$$t_n = t_p \cdot \frac{1 - ПВ}{ПВ} = 47,059 \cdot \frac{1 - 0,25}{0,25} = 141,176 \text{ с.} \quad (5)$$

Суммарное время пауз

$$t_{\Sigma} = t_n - 2 \cdot t_p = 397,471 - 2 \cdot 47,059 = 282,353 \text{ с.} \quad (6)$$

Определим мощности нагрузочной диаграммы. Схема приложения усилий для козлового крана представлена на рисунке 7.

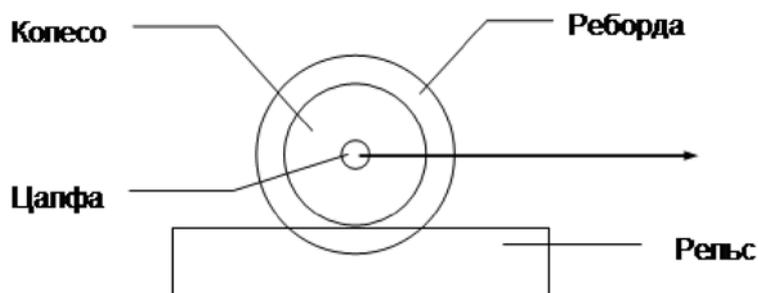


Рисунок 7 – Движение тележки по рельсовому пути

Усилие в этом случае определяется по формуле [8, 9]:

$$F = \frac{k_p \cdot m \cdot g \cdot (\mu \cdot r_{ц} + f)}{R_k} \quad (7)$$

где m – суммарная масса перевозимого груза, кг;

R_k – радиус ходового колеса, м;

μ – коэффициент трения в подшипниках качения колес по рельсам,

принимаем $\mu=0,02$;

f – коэффициент качения ходовых колес по рельсам,

принимаем $f=0,0004$;

k_p – коэффициент, учитывающий сопротивление от трения реборд о рельсы,

принимаем $k_p=2,5$;

$r_{ц}$ – радиус цапфы ходового колеса, м;

Для перемещения крана с грузом определим F_1 , согласно формуле (7)

$$F_1 = \frac{k_p \cdot m_1 \cdot g \cdot (\mu \cdot r_{ц} + f)}{R_k} = \frac{0,25 \cdot 127600 \cdot 9,81 \cdot (0,02 \cdot 0,6 + 0,0004)}{0,3} = 16680 \text{ Н.}$$

Для перемещения крана без груза определим F_2 , согласно выражению (7)

$$F_2 = \frac{k_p \cdot m_2 \cdot g \cdot (\mu \cdot r_{ц} + f)}{R_k} = \frac{0,25 \cdot 95600 \cdot 9,81 \cdot (0,02 \cdot 0,6 + 0,0004)}{0,3} = 12500 \text{ Н.}$$

При известной скорости v_n передвижения механизма, статическая мощность передвижения определяется как

$$P_{ст} = F \cdot v_n \quad (8)$$

Подставляя численные значения, получаем:

$$P_{ст1} = F_1 \cdot v_n = 16680 \cdot 0,85 = 14180 \text{ Вт,}$$
$$P_{ст2} = F_2 \cdot v_n = 12500 \cdot 0,85 = 10630 \text{ Вт.}$$

Найдем КПД передачи $\eta_{пер}$

$$\eta_{пер} = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{пер.ном}} + \frac{\alpha}{k_3} - \alpha} \quad (9)$$

где $\eta_{пер.ном}$ – номинальный КПД кинематической схемы, равный произведению ее отдельных частей,

принимаем $\eta_{пер.ном}=0,92$;

α – коэффициент, применяемый равным 0,08;

k_3 – коэффициент загрузки

Выражение (10) для случая перемещения крана с грузом коэффициент загрузки

$$k_{з1} = \frac{m_1}{m_{\text{н}} + m_{\text{кр}}} = \frac{127600}{32000 + 95600} = 1,0,$$

тогда

$$\eta_{\text{пер1}} = \frac{1}{\frac{1}{0,92} + \frac{0,8}{1,0} - 0,8} = 0,92.$$

Аналогично, из выражения (10) определяем параметры для режима перемещения крана без груза

$$k_{з2} = \frac{m_2}{m_{\text{н}} + m_{\text{кр}}} = \frac{95600}{32000 + 95600} = 0,749,$$

тогда

$$\eta_{\text{пер2}} = \frac{1}{\frac{1}{0,92} + \frac{0,8}{0,749} - 0,8} = 0,738.$$

Определяем эквивалентную мощность

$$P_{\text{э}} (ПВ = 25\%) = \sqrt{\frac{P_{\text{ст1}}^2 \cdot t_{\text{п1}} + P_{\text{ст2}}^2 \cdot t_{\text{п2}}}{t_{\text{п1}} + t_{\text{п2}}}} = \sqrt{\frac{14180 \cdot 47,059 + 10630 \cdot 47,059}{47,059 + 47,059}} = \quad (11)$$

= 12530 Вт.

Определим мощность двигателя с учетом коэффициента запаса

$$P_{\text{расч}} = k_3 \cdot \frac{P_{\text{э}}}{\eta_{\text{пер.ном}}} = 1,35 \cdot \frac{12530}{0,92} = 18390 \text{ Вт.} \quad (12)$$

где k_3 – коэффициент запаса, учитывает дополнительный нагрев двигателя за время переходных процессов, который не учтен при предварительном выборе мощности,

принимаяем $k_3 = 1,35$;

Рассчитанную мощность при реальном ПВ приводим к мощности при стандартном $ПВ_{\text{ст}} = 40\%$

$$P_{\text{расч}} (ПВ = 40\%) = P_{\text{расч}} (ПВ = 25\%) \cdot \sqrt{\frac{25}{40}} = 18390 \cdot \sqrt{\frac{25}{40}} = 14540 \text{ Вт.} \quad (13)$$

Т.к. привод механизма передвижения крана отдельный, то выбираем двигатель приблизительно в два раза по мощности меньше расчетной. По каталогу, в соответствии с принятым $P_{\text{расч}}$, выбираем двигатель так чтобы $P_n > P_{\text{расч}}$.

По каталогу выбирается несколько электродвигателей ближайшей большей мощности с различными номинальными частотами вращения. [11]

Таблица 5 - Электродвигатели ближайшей большей мощности с различными номинальными частотами вращения

Тип двигателя	P_n , кВт	Частота вращения, об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_n$	$J_{\text{дв}}$, кг·м ²
МТКН 311-8	7,5	690	80,5	0,63	0,281
АМТКФ132L6	7,5	900	87	0,87	0,085

Для каждого двигателя вычисляется передаточное отношение (число) редуктора

$$i_p = \frac{n_n}{n_{\text{max м}}}; \quad (14)$$

где n_n – номинальная частота вращения двигателя;

$n_{\text{max м}}$ – частота вращения производственного механизма;

$$n_{\text{max м}} = \frac{v_{\text{пер}}}{R_k \cdot 2 \cdot \pi} = \frac{51}{0,3 \cdot 2 \cdot \pi} = 27 \text{ об/мин.} \quad (15)$$

$$i_{p1} = \frac{n_{n1}}{n_{\text{max м}}} = \frac{690}{27} = 25,5;$$

$$i_{p2} = \frac{n_{n2}}{n_{\text{max м}}} = \frac{900}{27} = 33,3.$$

Для каждого двигателя определяется оптимальное, по условию минимизации времени пуска, передаточное отношение редуктора

$$i_{\text{оптр}} = \sqrt{\frac{J_M}{k \cdot J_{\text{дв}}}}. \quad (16)$$

где J_M - момент инерции производственного механизма;

$J_{дв}$ – момент инерции ротора двигателя;

k – коэффициент, учитывающий момент инерции редуктора;

принимая $k=1,3$.

$$i_{оптр1} = \sqrt{\frac{J_M}{k \cdot J_{дв1}}} = \sqrt{\frac{0,68}{1,3 \cdot 0,281}} = 1,36;$$

$$i_{оптр2} = \sqrt{\frac{J_M}{k \cdot J_{дв2}}} = \sqrt{\frac{0,68}{1,3 \cdot 0,085}} = 2,48.$$

Для каждого двигателя определяется отношение выбранного стандартного передаточного отношения редуктора к оптимальному передаточному отношению

$$\Theta = \frac{i_{оптр}}{i_{стр}}; \quad (17)$$

$$\Theta_1 = \frac{i_{оптр1}}{i_{стр1}} = \frac{1,36}{25} = 0,055;$$

$$\Theta_2 = \frac{i_{оптр2}}{i_{стр2}} = \frac{2,48}{31,5} = 0,079.$$

Промышленность выпускает одно-, двух- и трехступенчатые редукторы с передаточным числом из стандартного ряда [4, 12]: 1,0; 1,12; 1,25; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,24; 2,5; 2,8; 3,15; 3,55; 4,0; 4,5; 5,0; 5,6; 6,3; 7,1; 8,0; 9,0.

Необходимое стандартное передаточное отношение редуктора находим следующим образом:

$$i_{стр} = i_{ст} \cdot 10^x \quad (18)$$

где $i_{ст}$ – стандартное передаточное число редуктора;

принимая $i_{ст1}=25$, $i_{ст2}=31,5$;

x – целое число;

принимая $x=1$;

$$i_{\text{стр1}} = i_{\text{ст1}} \cdot 10^x = 2,5 \cdot 10^1 = 25;$$

$$i_{\text{стр2}} = i_{\text{ст2}} \cdot 10^x = 3,15 \cdot 10^1 = 31,5.$$

Стандартное передаточное отношение редуктора выбирается из ряда как ближайшее меньшее к расчетному:

$$i_{\text{стр}} \leq i_{\text{р}};$$

$$25 \leq 25,5;$$

$$31,5 \leq 33,3.$$

Двигатель с большей Θ принимается в качестве приводного.

Выбираем асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором серии АМТКФ132L6, технические данные представлены в таблице 6. [11, 12]

Таблица 6 – Технические данные асинхронного двигателя АМТКФ132L6

Тип двигателя	$P_{\text{н}}$, кВт	Частота вращения, об/мин	$\eta_{\text{н}}$, %	$\cos \varphi_{\text{н}}$	$J_{\text{дв}}$, кг · м ²
АМТКФ132L6	7,5	900	87	0,87	0,085
	$m_{\text{н}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{н}}}$	$m_{\text{м}} = \frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{н}}}$	$k_{i_{\text{дв}}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{н}}}$	$m_{\text{к}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{н}}}$	$s_{\text{н}}$, %
	2,2	-	4,2	2,2	10

2.2 Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя

В справочной литературе отсутствуют параметры схемы замещения электродвигателя. Для определения параметров воспользуемся наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, представленная на рисунке 8. [12]

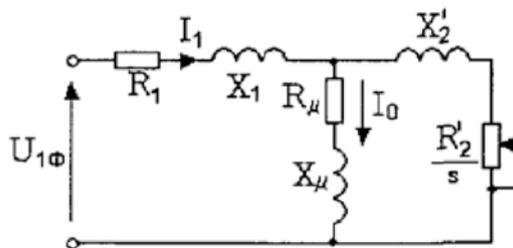


Рисунок 8 – Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения

$$\begin{aligned}\bar{U}_{1\phi} - \bar{E}_1 - j \cdot x_{1\sigma} \cdot \bar{I}_1 - \bar{R}_1 \cdot \bar{I}_1 &= 0; \\ \bar{E}_1 - j \cdot x'_{2\sigma} \cdot \bar{I}'_2 + \frac{\bar{R}'_2}{S} \cdot \bar{I}'_2 &= 0; \\ \bar{I}_1 + \bar{I}'_2 - \bar{I}_0 &= 0,\end{aligned}\tag{19}$$

где $U_{1\phi}$ - фазное напряжение обмотки статора двигателя,

E_1 - ЭДС обмотки статора,

$x_{1\sigma}$ - индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора,

R_1 - активное сопротивление обмотки статора,

$x'_{2\sigma}$ - индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенное к обмотке статора,

R'_2 - активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора,

I_1 - ток обмотки статора,

I'_2 - ток обмотки ротора, приведенной к обмотке статора,

I_0 - ток холостого хода обмотки статора.

Исходными данными являются каталожные данные асинхронного двигателя АМТКФ132М6, представленные в таблице 6.

Ток холостого хода асинхронного двигателя можно найти по следующему выражению:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left[\frac{p_* I_{1H} (1 - s_H)}{(1 - p_* s_H)} \right]^2}{1 - \left[\frac{p_* (1 - s_H)}{(1 - p_* s_H)} \right]^2}} = \sqrt{\frac{11,007^2 - \left[\frac{0,75 \cdot 15,013 \cdot (1 - 0,1)}{(1 - 0,75 \cdot 0,1)} \right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot (1 - 0,1)}{(1 - 0,75 \cdot 0,1)} \right]^2}} = 1,552 A,\tag{20}$$

где s_H - номинальное скольжение;

$$s_H = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0} = \frac{104,72 - 94,248}{104,72} = 0,1,\tag{21}$$

где ω_0 - скорость холостого хода, рад/с;

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\max}}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1000}{60} = 104,72 \text{ рад / с}; \quad (22)$$

ω_H - номинальная скорость вращения, рад/с;

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{ном}}}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 900}{60} = 94,248 \text{ рад / с}; \quad (23)$$

I_{1H} - номинальный ток статора двигателя;

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{7500}{3 \cdot 220 \cdot 0,87 \cdot 0,87} = 15,013 \text{ А}. \quad (24)$$

I_{11} - ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$$I_{11} = \frac{p_{\text{ж}} \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos f_{p_{\text{ж}}} \cdot \eta_{p_{\text{ж}}}} = \frac{0,75 \cdot 7500}{3 \cdot 220 \cdot 0,84 \cdot 0,87} = 11,007 \text{ А}. \quad (25)$$

Коэффициент загрузки двигателя

$$p_{\text{ж}} = \frac{P}{P_H} = 0,75 \quad (26)$$

Из формулы Клосса определяем соотношение, которое необходимо для расчета критического скольжения:

$$s_k = s_H \cdot \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} = \quad (27)$$

$$= 0,1 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - [1 - 2 \cdot 0,1 \cdot (2,2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,542.$$

значение коэффициента β находится в диапазоне 0,6 – 2,5, поэтому в первом приближении принимаем $\beta = 1$.

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{1,552}{2 \cdot 4,2 \cdot 15,013} = 1,012. \quad (28)$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_H^2 (1 - s_H)}{2 \cdot C_1^2 \cdot m_k \cdot P_H \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,1)}{2 \cdot 1,012^2 \cdot 2,2 \cdot 7500 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,542} \right)} = 1,358 \text{ Ом}. \quad (29)$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,012 \cdot 1,358 \cdot 2 = 1,375 \text{ Ом.} \quad (30)$$

Определим параметр γ , который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_{\text{кн}}$:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,542^2}\right) - 1^2} = 1,551. \quad (31)$$

тогда

$$X_{\text{кн}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 1,551 \cdot 1,012 \cdot 1,358 = 2,132 \text{ Ом.} \quad (32)$$

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

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной, может быть рассчитано

$$X_{2\sigma}' = \frac{0,58 \cdot X_{\text{кн}}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 2,132}{1,012} = 1,222 \text{ Ом.} \quad (33)$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 2,132 = 0,896 \text{ Ом.} \quad (34)$$

Согласно векторной диаграмме ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{\text{H}} \cos \varphi_{\text{H}} - R_1 I_{\text{H}})^2 + (U_{\text{IH}} \sin \varphi_{\text{H}} + X_{\text{IH}} I_{\text{H}})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,87 - 1,375 \cdot 15,013)^2 + (220 \cdot 0,493 - 0,896 \cdot 15,013)^2} = 195,42 \text{ В.} \end{aligned} \quad (35)$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{195,42}{1,552} = 125,891 \text{ Ом.} \quad (36)$$

Исходя из расчетов индуктивных сопротивлений, рассчитаем индуктивность обмотки статора, ротора, намагничивания

$$L_1 = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{0,896}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 2,851 \text{ мГн;} \quad (37)$$

$$L_2 = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{1,222}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 3,889 \text{ мГн}; \quad (38)$$

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{125,891}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,40072 \text{ Гн}. \quad (39)$$

Проверяем адекватность расчетных параметров двигателя.

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \cdot U_{\text{лфн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = \quad (40)$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 1,358}{104,72 \cdot 0,1 \cdot \left[2,132^2 + \left(1,375 + \frac{1,358}{0,1} \right)^2 + \left(\frac{1,375 \cdot 1,358}{0,1 \cdot 125,891} \right)^2 \right]} = 82,509 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L'_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{н}}^2 - I_0^2} = \quad (41)$$

$$= \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot \frac{0,40072}{(0,40072 + 3,889 \cdot 10^{-3})} \cdot 0,88 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{15,013^2 - 1,552^2} = 82,797 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где $\Psi_{\text{н}}$ – номинальное значение потокосцепления, Вб

$$\Psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 1,552 \cdot 0,40072 = 0,88 \text{ Вб} \quad (42)$$

Проверяем выполнения условий:

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}}^* \leq 1,1 \cdot M_{\text{дв.н}};$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} \cong M_{\text{эм.н}}^*$$

$$79,577 \text{ Н} \cdot \text{м} < 82,509 \text{ Н} \cdot \text{м} \leq 87,535 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$82,509 \text{ Н} \cdot \text{м} \cong 82,797 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

В результате расчета определим значение момента от сил трения двигателя

$$\Delta M_{\text{с. дв}} = M_{\text{эм.н}} - M_{\text{дв.н}} = 82,509 - 79,577 = 2,932 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (43)$$

2.3 Выбор преобразователя частоты

Очень важно сделать правильный выбор преобразователя. От него будет зависеть эффективность и ресурс работы преобразователя частоты и всего электропривода в целом. Так если мощность преобразователя будет слишком завышена, он не сможет в должной мере обеспечить защиту двигателя. С другой стороны, если мощность преобразователя мала, он не сможет обеспечить высокودинамичный режим работы и из-за перегрузок может выйти из строя.

Правильная эксплуатация так же сильно влияет на срок службы преобразователя. При выборе преобразователя частоты надо руководствоваться не только мощностью подключаемого двигателя, а также диапазоном рабочих скоростей двигателя, диапазоном рабочих моментов вращения, характером нагрузки и циклограммой работы.

Рассматривая особенности построения многодвигательных приводов, связанных общим механическим валом, и рекомендации по реализации и настройке таких систем, управлять такими системами позволяют преобразователи частоты Schneider Electric Altivar 71.

Сегодня многодвигательные приводы промышленных установок все чаще выполняются как регулируемые электроприводы переменного тока на базе асинхронного короткозамкнутого двигателя, питаемого от преобразователя частоты.

Силовая часть многодвигательных электроприводов может быть построена как по схеме с общим ПЧ, так и с индивидуальными преобразователями, обеспечивающими более гибкое управление промышленными установками. В обоих случаях отличительной особенностью таких установок является общая нагрузка, и проблема обеспечения ее равномерного распределения между двигателями является одной из важнейших для многодвигательных электроприводов.

- Весоизмерение.
- Подъем с повышенной скоростью.
- Контроль состояния тормоза.
- Управление воздействием концевых выключателей окончания хода.
- Выбор слабины тросов.

Технические параметры преобразователя частоты Schneider Electric Altivar 71 представлены в таблице 7. [13]

Таблица 7 – Технические параметры преобразователя частоты

Марка	Schneider Electric Altivar 71		
Электропривод	Выходная частота	1 - 1600 Гц	
	Закон управления	Векторное управление потоком в разомкнутой и замкнутой системах, закон “напряжение/частота” (2 или 5 точек), система адаптации мощности	
	Переходный момент	220 % номинального момента двигателя в течение 2 с 170 % в течение 60 с	
Функции	Количество функций	> 150	
	Количество предварительно заданных скоростей	16	
	Количество входов-выходов	Аналоговые входы	2-4
		Дискретные входы	6-29
		Аналоговые выходы	1-3
		Дискретные выходы	0-8
Релейные выходы		2-4	
Коммуникационная связь	Встроенная	Modbus и CANopen	
Карты (дополнительные)		Интерфейсные карты для датчиков абсолютного и относительного отсчета, резольвера, карты расширения входов-выходов Карта программируемого контроллера	
Полная мощность		17,8 кВА	
Максимальный переходный ток		26,4А	
Максимальный ток в установившемся режиме		17,6 А	
Масса		7 кг	
Нормы и сертификаты		МЭК/EN 61800-5-1, МЭК/EN 61800-3 (окружающая среда 1 и 2, C1 - C3), EN 55011, МЭК/EN 61000-4-2/4-3/4-4/4-5/4-6/4-11 e, UL, CSA, DNV, C-Tick, NOM 117, ГОСТ	

2.4 Расчет естественных характеристик электропривода

Расчет естественных характеристик проводится с целью оценки степени совпадения параметров основных характерных точек расчетных естественных характеристик электродвигателя с параметрами двигателя

определенными по справочным техническим данным выбранного электродвигателя. [12, 14]

При векторном управлении рассчитываются и строятся только естественные механическую и электромеханическую характеристики электродвигателя при номинальном значении напряжения $U_{1н}$ и частоты $f_{1н}$.

Естественная механическая характеристика $M_{эм}(s)$ электродвигателя для частоты $f_{1н}=50$ Гц рассчитывается по выражению:

$$M_{эм}(s) = \frac{3 \cdot U_{1н}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} \quad (44)$$

где $M_{эм}$ – электромагнитный момент двигателя, Нм.

По результатам расчета строится механическая характеристика $\omega=f(M)$ при $f_{1н}=50$ Гц, где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению.

Естественная механическая характеристика двигателя приведена на рисунке 9.

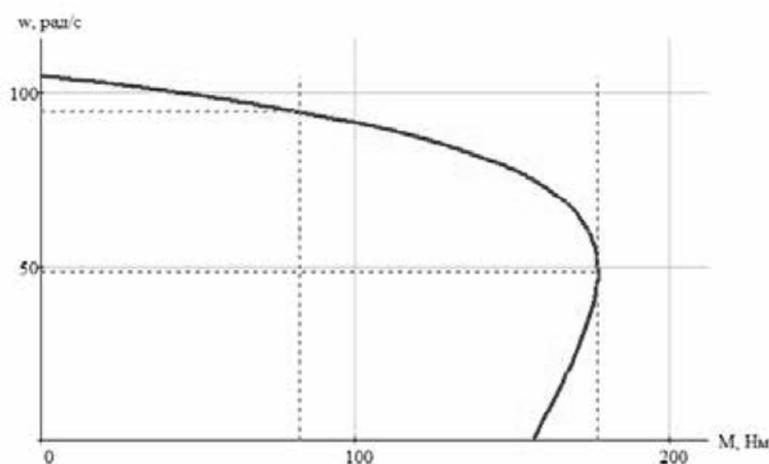


Рисунок 9 – Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя АМТКФ132L6

Естественная электромеханическая характеристика $I_1(s)$ электродвигателя рассчитывается для частоты $f_{1н}=50$ Гц по выражению:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)} \quad (45)$$

где $I_1 = I_{1н}$ – действующее значение фазного тока двигателя, А;

$$I_2'(s) = \frac{U_{1н}}{\pm \sqrt{X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}} \quad (46)$$

I_2' – приведенный к обмотке статора ток ротора, А;

$$I_0 = \frac{U_{1н}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2}} \quad (47)$$

I_0 – действующее значение тока холостого хода, А;

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{кн}}{\sqrt{X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}} \quad (48)$$

По результатам расчета строятся электромеханическая характеристика $\omega = f(I_1)$ и $\omega = f(I_2')$ (рисунок 10) при $f_{1н} = 50$ Гц.

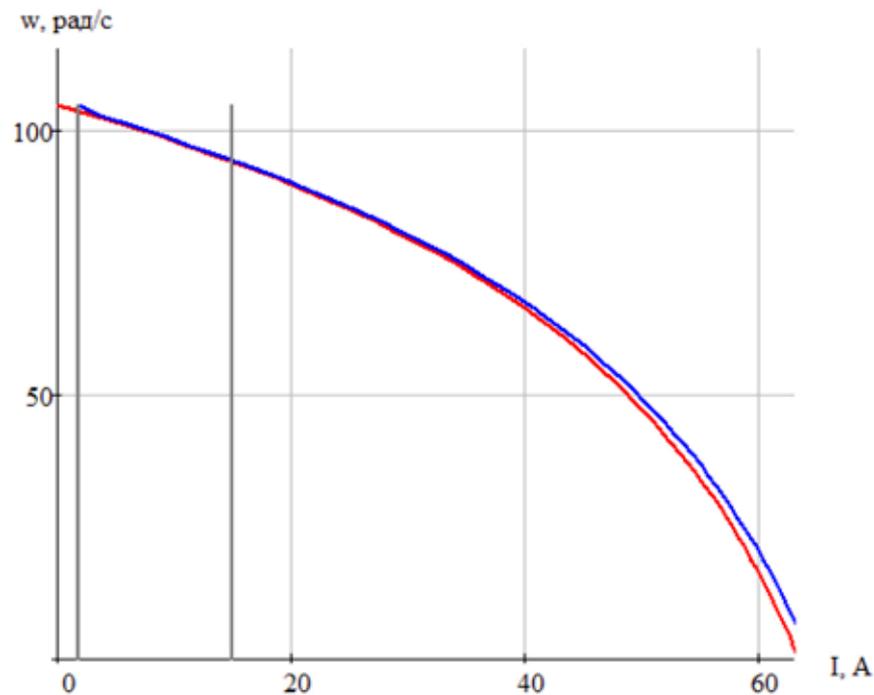


Рисунок 10 – Естественные электромеханические характеристики асинхронного двигателя АМТКF132L6

2.5 Расчет статических характеристик двигателя и элементов силового канала и нагрузки электропривода при частотном векторном управлении

При векторном управлении следует рассчитать и построить только естественные механическую $\omega(M_{эм})$ и электромеханическую $\omega(I_1)$ характеристики электродвигателя при номинальном значении напряжения $U_{1н}$ и частоты $f_{1н}$ по приведенным выше выражениям. [14]

На полученную механическую характеристику $\omega(M)$ рисунка 9 наносятся граничные характеристики для длительного и кратковременного режимов работы:

$$\begin{aligned}M_{эп.макс} &= 130,4 \text{ Н} \cdot \text{м}; \\M_{сприв.мин} &= 10,9 \text{ Н} \cdot \text{м}; \\M_{сприв.макс} &= 62,6 \text{ Н} \cdot \text{м}; \\M_{эмн} &= 82,5 \text{ Н} \cdot \text{м}; \\M_{к} &= 177,1 \text{ Н} \cdot \text{м}; \\M_{дл.доп} &= 74,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.\end{aligned}$$

На рисунке 11 в плоскости механических характеристик построены характеристики асинхронного двигателя и характеристики нагрузки.

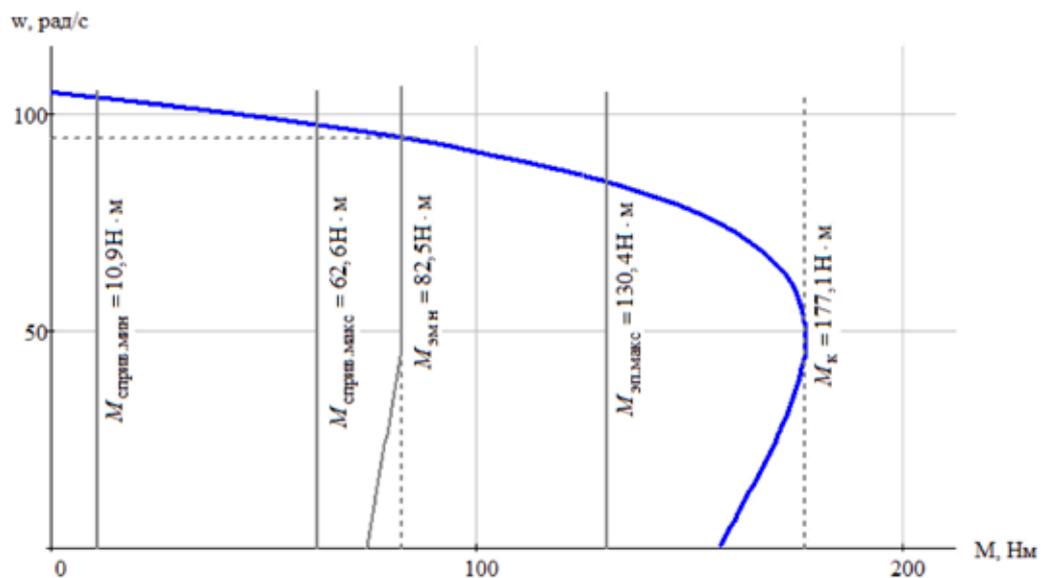


Рисунок 11 – Механические характеристики асинхронного двигателя и характеристики нагрузки

На рисунке 12 в плоскости электромеханических характеристик построены характеристики асинхронного двигателя и характеристики нагрузки.

$$\begin{aligned}
 I_0 &= 1,552 \text{ A}; \\
 I_{\text{смин}} &= 2,469 \text{ A}; \\
 I_{\text{смакс}} &= 10,251 \text{ A}; \\
 I_{\text{эпмакс}} &= 21,12 \text{ A}; \\
 I_{1\text{н}} &= 15,013 \text{ A}; \\
 I_{\text{дл.доп}} &= 13,512 \text{ A}; \\
 I_{\text{ином}} &= 17,6 \text{ A}; \\
 I_{\text{имакс}} &= 26,4 \text{ A}.
 \end{aligned}$$

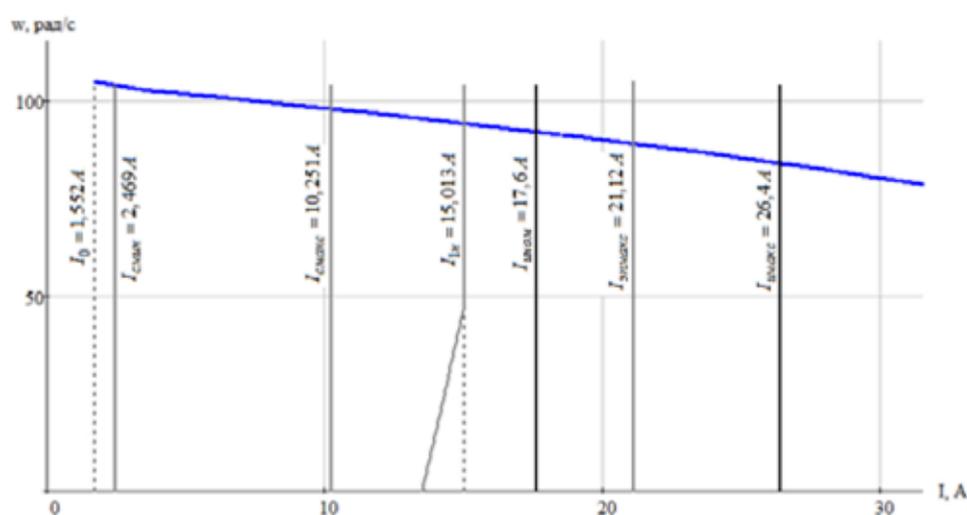


Рисунок 12 – Электромеханические характеристики асинхронного двигателя и характеристики нагрузки

Проверка правильности выбора двигателя

По результатам построения механических характеристик электропривода $\omega(M)$ и нагрузки $M(\omega)$ (рисунок 11) проверяется правильность выбора двигателя по моменту. Во всем диапазоне должны выполняться условия

$$\begin{aligned}
 M_{\text{эм.дл.доп}} &\geq M_{\text{с макс}}; \\
 77,2 \text{ Н} \cdot \text{м} &\geq 62,6 \text{ Н} \cdot \text{м}
 \end{aligned}$$

Следовательно, двигатель по моменту выбран правильно.

По результатам построения электромеханических характеристик электропривода $\omega(I_1)$ (рисунок 12) проверяется правильность выбора двигателя по току

$$I_{\text{дв.длит.доп}} \geq I_{\text{с макс}} ;$$

$$13,5 \text{ A} > 10,2 \text{ A}.$$

Следовательно, двигатель по току выбран правильно.

Проверка правильности выбора преобразователя

По результатам построения электромеханических характеристик электропривода $\omega(I_1)$ (рисунок 12) проверяется правильность выбора преобразователя по току:

– условие

$$I_{\text{с макс}}(\omega) \leq 0,8 \cdot I_{\text{и.н}} ;$$

$$10,2 \text{ A} \leq 0,8 \cdot 17,6 = 14,8 \text{ A}.$$

– условие

$$I_{\text{эп.макс}}(\omega) \leq I_{\text{и.макс}} ;$$

$$21,12 \text{ A} \leq 26,4 \text{ A}.$$

Следовательно, преобразователь выбран правильно.

2.6 Параметры, структурные схемы и модели системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель

Параметры звеньев структурной схемы двигателя

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 2,851 \cdot 10^{-3} + 0,40072 = 0,40357 \text{ Гн.} \quad (49)$$

– ротора, приведенная к цепи статора,

$$L'_2 = L'_{2\sigma} + L_m = 3,889 \cdot 10^{-3} + 0,40072 = 0,40461 \text{ Гн.} \quad (50)$$

Коэффициент рассеяния магнитного поля

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L'_2} = 1 - \frac{0,40072^2}{0,40357 \cdot 0,40461} = 0,017. \quad (51)$$

Эквивалентное активное сопротивление цепи статора (без учета сопротивления соединительных проводов)

$$R_{1\sigma} = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_2'^2} = 1,375 + 1,358 \cdot \frac{0,40072^2}{0,40461^2} = 2,707 \text{ Ом.} \quad (52)$$

Электромагнитные постоянные времени цепи статора и ротора:

$$T_{1\sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{1\sigma}} = \frac{0,017 \cdot 0,40357}{2,707} = 2,476 \cdot 10^{-3} \text{ с;} \quad (53)$$

$$T_2 = \frac{L_2'}{R_2'} = \frac{0,40461}{1,358} = 0,29794 \text{ с.} \quad (54)$$

Параметры преобразователя

В простейшем случае без учета ШИМ инвертор представляет собой линейный усилитель с чистым запаздыванием на величину периода широтно-импульсной модуляции $T_{\text{ШИМ}}$

$$T_{\text{и}} = T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = \frac{1}{10000} = 0,0001 \text{ с.} \quad (55)$$

где $f_{\text{ШИМ}}$ – несущая частота инвертора (частота ШИМ);

принимаяем $f_{\text{ШИМ}} = 10000 \text{ Гц}$.

Максимальные значения действующего и амплитудного фазного напряжения двигателя принимаются, соответственно, равными:

$$U_{\tau} = \sqrt{2} \cdot U_{1\text{фн}} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311,1 \text{ В.} \quad (56)$$

С учетом ШИМ напряжения инвертора и при соединении обмоток статора двигателя в звезду параметры преобразователя выбираются в соответствии с приведенными ниже выражениями.

Линейное напряжение источника питания преобразователя

$$U_c = \frac{U_d}{1,35} = \frac{567,25}{1,35} = 420,185 \text{ В.} \quad (57)$$

где U_c – напряжение звена постоянного тока преобразователя;

принимаяем исходя из условия согласования напряжения преобразователя и двигателя.

$$U_d \geq \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{и}} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 220 = 538,88 \text{ В.} \quad (58)$$

Коэффициент усиления инвертора

$$k_{\text{и}} = \frac{U_{\text{д}}}{\sqrt{3}} = \frac{538,88}{\sqrt{3}} = 311,127. \quad (59)$$

Двухдвигательный электропривод механизма передвижения козлового крана будет включать в себя два асинхронных двигателя АМТКФ132М6 мощность 7,5кВт (таблица 6) с индивидуальными преобразователями частоты Schneider Electric Altivar 71 (таблица 7).

Рассчитанные параметры преобразователя частоты, асинхронного двигателя, а также механические и электромеханические характеристики являются основой для дальнейшего изучения двухдвигательного электропривода.

3 Оптимизация контуров регулирования

Характерной особенностью частотно-регулируемых электроприводов переменного тока является относительно большая инерционность в цепи обратной связи контуров регулирования тока, потокосцепления и скорости. По этой причине для их оптимизации не могут быть применены классическая теория оптимизации систем подчиненного регулирования, изложенная в работах Кесслера. Далее будут использованы методы оптимизации контуров регулирования с инерционной обратной связью, изложенные в учебном пособии. [1, 14, 15]

3.1 Оптимизация контура тока с ПИ-регулятором

Структурная схема контура тока приведена на рисунок 13. Контур токов I_{1d} и I_{1q} реализованы по одной схеме и имеют одинаковые параметры

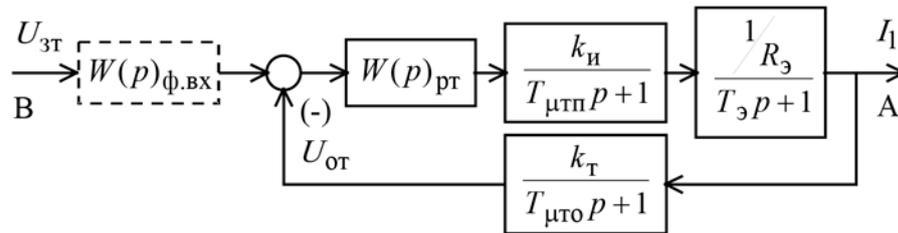


Рисунок 13 - Структурная схема контура тока

Оптимизируем данный контур по модулю

$$W_{\text{раз1}} = W_{\text{пт}} \cdot \frac{k_{\text{ин}}}{T_{\mu\pi\pi} \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{R_3} \cdot \frac{1}{T_{\text{л3}} \cdot p + 1} \cdot \frac{k_{\text{дт}}}{T_{\text{дт}} \cdot p + 1} \quad (60)$$

Постоянные времени $T_{\pi\pi}$ и $T_{\text{дт}}$ обычно гораздо меньше, чем $T_{\text{л3}}$, поэтому относим их к не компенсируемому малому постоянному времени. В соответствии с этим появляется возможность понизить порядок системы:

$$W_{\text{раз1}} \approx W_{\text{пт}} \cdot \frac{k_{\text{ин}} \cdot k_{\text{дт}}}{T_{\mu\text{л}} \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{T_{\text{л3}} \cdot p + 1}, \quad (61)$$

где $T_{\mu\text{л}}$ - эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура тока, с.

Для настройки на оптимум по модулю необходим ПИ-регулятор

$$W_{\text{пр}} = \frac{k_{\text{пр}} \cdot (T_{\text{пр}} \cdot p + 1)}{T_{\text{пр}} \cdot p}, \quad (62)$$

где $T_{\text{пр}}$ – постоянная времени регулятора тока,

принимаяем $T_{\text{пр}} = T_{13} = 0,2476$ с;

$k_{\text{пр}}$ – коэффициент регулятора тока;

$$k_{\text{пр}} = \frac{T_{13} \cdot R_3}{2 \cdot T_{\text{ул}} \cdot k_{\text{тп}} \cdot k_{\text{дт}}}. \quad (63)$$

В результате передаточная функция разомкнутого контура тока соответствует настройке на оптимум по модулю:

$$W_{\text{разл}} = \frac{1}{2 \cdot T_{\text{ул}} \cdot p \cdot (T_{\text{ул}} \cdot p + 1)}. \quad (64)$$

Передаточная функция замкнутого контура тока:

$$W_I = \frac{W_{\text{разл}}}{1 + W_{\text{разл}}} \cdot \frac{T_{\text{дт}} \cdot p + 1}{k_{\text{дт}}} = \frac{1}{2 \cdot T_{\text{ул}} \cdot p \cdot (T_{\text{ул}} \cdot p + 1) + 1} \cdot \frac{T_{\text{дт}} \cdot p + 1}{k_{\text{дт}}}. \quad (65)$$

Пренебрегая в знаменателе членом второго порядка малости, а в числителе постоянная времени $T_{\text{дт}} \approx 0$, передаточная функция контура тока

$$W_I \approx \frac{1}{2 \cdot T_{\text{ул}} \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{k_{\text{дт}}}. \quad (66)$$

3.1.1 Параметры настройки контура тока с ПИ-регулятором

Согласно рекомендациям по выбору параметров при настройке контуров тока [14, 15] принимаем следующие значения:

Коэффициент, учитывающий возможное перерегулирование тока

$$\sigma_T \geq 1,2.$$

Коэффициент датчика тока

$$k_{\text{дт}} = \frac{0,5 \cdot 2^{n_{\text{шт.дт}}}}{\sigma_T \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{эл.макс}}} = \frac{0,5 \cdot 2^{10}}{1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 21,12} = 14,285.$$

Значение максимального задания на входе контура тока $N_{\text{зт.макс}}$

$$N_{\text{зт.макс}} = \frac{1}{\sigma_T} = \frac{1}{1,2} = 0,8333.$$

тогда

$$k_T = \frac{1}{\sigma_T \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{н}}} = \frac{1}{1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 15,013} = 0,039,$$

$$k_{\text{ос.т}} = \frac{1}{k_T} = \frac{1}{0,039} = 0,07.$$

Интервалы квантования сигналов в цепи обратной связи контура тока

$$T_{\text{ос.т}} = T_{\text{шк.т}} = T_{\text{зу.л}} = T_{\text{шмм}} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

Постоянная времени аналогового фильтра в цепи измерения тока

$$T_{\text{ф.от}} = 0$$

Коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания аperiodическим звеном для электроприводов общепромышленного назначения

$$n_T = 3$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура тока

$$T_{\text{ул}} = \frac{T_{\text{ос.т}}}{n_T} + T_{\text{зу.л}} + T_{\text{ф.от}} = \frac{1 \cdot 10^{-4}}{3} + 1 \cdot 10^{-4} + 0 = 1,333 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Коэффициент типовой настройки контура тока

$$a_T = 2.$$

Коэффициент усиления регулятора тока

$$k_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{л}} \cdot R_{\text{л}}}{k_{\text{н}} \cdot k_T \cdot a_T \cdot T_{\text{ул}}} = \frac{2,47601 \cdot 10^{-3} \cdot 2,707}{311,127 \cdot 0,039 \cdot 2 \cdot 1,333 \cdot 10^{-4}} = 2,058 \text{ о.е.}$$

Эквивалентная постоянная времени замкнутого контура тока

$$T_T = a_T \cdot T_{\text{ул}} = 2 \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

3.2 Оптимизация контура потокосцепления с ПИ-регулятором

Структурная схема контура потокосцепления с ПИ-регулятором приведена на рисунке 14.

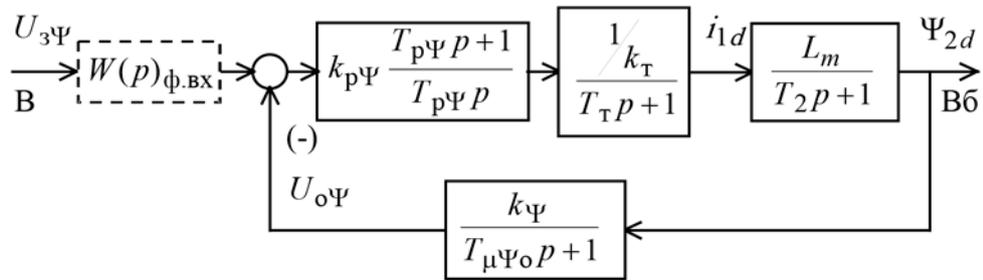


Рисунок 14 - Структурная схема контура потокосцепления с ПИ-регулятором

При оптимизации контура потокосцепления внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка (выражение (66)).

Коэффициент обратной связи контура по потокосцеплению

$$k_{\Psi} = \frac{U_{3\Psi \text{ макс}}}{\Psi_{2н}} \quad (67)$$

Передаточная функция ПИ-регулятора потокосцепления

$$W_{p\Psi} = k_{p\Psi} \cdot \frac{T_{p\Psi} \cdot p + 1}{T_{p\Psi} \cdot p} \quad (68)$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора потокосцепления определяются по выражениям

$$k_{p\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_{\Psi}} \cdot \frac{1}{a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi o}} \quad (69)$$

$$T_{p\Psi} = T_2 \quad (70)$$

где $T_{\mu\Psi o}$ – эквивалентная малая постоянная контура потокосцепления, с.

Контур потокосцепления с ПИ-регулятором, настроенный таким образом, имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура

$$W_{\Psi \text{ раз}} = \frac{1}{a_{\Psi} T_1 T_{\mu\Psi o} T_{\mu\Psi o} p^3 + a_{\Psi} T_{\mu\Psi o}^2 p^2 + a_{\Psi} T_{\mu\Psi o} p} \quad (71)$$

– замкнутого контура по управлению

$$W_{\psi \text{ зам}} = \frac{\frac{1}{k_{\psi}} \cdot (T_{\mu\psi_0} p + 1)}{a_{\psi} T_1 T_{\mu\psi_0} T_{\mu\psi_3} p^3 + a_{\psi} T_{\mu\psi_3}^2 p^2 + a_{\psi} T_{\mu\psi_3} p + 1} \approx \frac{\frac{1}{k_{\psi}} \cdot (T_{\mu\psi_0} p + 1)}{a_{\psi} T_{\mu\psi_3}^2 p^2 + a_{\psi} T_{\mu\psi_3} p + 1} \quad (72)$$

Настройка контура потокосцепления с ПИ-регулятором близка к настройке на МО системы 2-го порядка.

3.2.1 Параметры настройки контура потокосцепления с ПИ-регулятором

Согласно рекомендациям по выбору параметров при настройке контуров потокосцепления [14, 15] принимаем следующие значения:

Коэффициент, учитывающий возможное перерегулирование тока
 $\sigma_{\psi} \geq 1,2$.

Коэффициент датчика потокосцепления

$$k_{д\psi} = \frac{1}{\sigma_{\tau} \cdot \psi_{2н}} = \frac{1}{1,2 \cdot 0,88} = 0,947.$$

Значение максимального задания на входе контура потокосцепления

$$N_{\psi, \text{ макс}} = \frac{1}{\sigma_{\psi}} = \frac{1}{1,2} = 0,8333293$$

Коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания аperiodическим звеном для электроприводов общепромышленного назначения

$$n_{\psi} = 2$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура скорости

$$T_{\mu\psi} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Коэффициент типовой настройки контура тока

$$a_{\psi} = 2$$

Постоянная времени регулятора

$$T_{p\psi} = T_2 = 0,29794 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора тока

$$k_{\text{пр}} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_{\text{дв}}} \cdot \frac{1}{a_\psi \cdot T_{\mu\psi}} = \frac{0,09794 \cdot 0,039}{0,40072 \cdot 0,947} \cdot \frac{1}{2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3}} = 14,008 \text{ о.е.}$$

3.3 Оптимизация контура скорости с ПИ-регулятором

Структурная схема контура скорости с ПИ-регулятором приведена на рисунке 15.

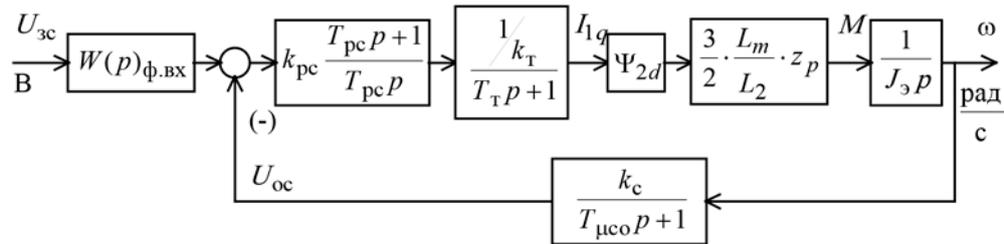


Рисунок 15 - Структурная схема контура скорости с ПИ-регулятором

При оптимизации контура потокосцепления внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка, согласно выражению (66).

Коэффициент обратной связи контура по потокосцеплению

$$k_\Psi = \frac{U_{z\Psi \text{ макс}}}{\Psi_{2н}} \quad (73)$$

Передаточная функция ПИ-регулятора потокосцепления

$$W_{\text{pc}} = k_{\text{pc}} \cdot \frac{T_{\text{pc}}p + 1}{T_{\text{pc}} \cdot p} \quad (74)$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора потокосцепления определяются по выражениям

$$k_{\text{pc}} = \frac{J_3 \cdot k_T}{\Psi_{2н} \cdot k_{\text{дв}} \cdot k_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c3}}, \quad (75)$$

$$T_{\text{pc}} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c3}. \quad (76)$$

где $T_{\mu\psi}$ – эквивалентная малая постоянная контура потокосцепления, с.

Контур потокосцепления с ПИ-регулятором, настроенный таким образом, имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура

$$W_{\text{сраз}} = \frac{b_c a_c T_{\text{мэз}} p + 1}{b_c a_c^2 T_{\tau} T_{\text{мсо}} T_{\text{мэз}}^2 p^4 + b_c a_c^2 T_{\text{мэз}}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\text{мэз}}^2 p^2}; \quad (77)$$

– замкнутого контура по управлению

$$W_{\text{зам}} = \frac{1}{k_c} \times \frac{(b_c a_c T_{\text{мэз}} p + 1) \cdot (T_{\text{мсо}} p + 1)}{b_c a_c^2 T_{\tau} T_{\text{мсо}} T_{\text{мэз}}^2 p^4 + b_c a_c^2 T_{\text{мэз}}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\text{мэз}}^2 p^2 + b_c a_c T_{\text{мэз}} p + 1} \approx \frac{1}{k_c} \frac{(b_c a_c T_{\text{мэз}} p + 1) \cdot (T_{\text{мсо}} p + 1)}{b_c a_c^2 T_{\tau} T_{\text{мсо}} T_{\text{мэз}}^2 p^4 + b_c a_c^2 T_{\text{мэз}}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\text{мэз}}^2 p^2 + b_c a_c T_{\text{мэз}} p + 1}. \quad (78)$$

Настройка контура потокосцепления с ПИ-регулятором близка к настройке на МО системы 2-го порядка.

3.3.1 Параметры настройки контура потокосцепления с ПИ-регулятором

Согласно рекомендациям по выбору параметров при настройке контуров скорости [14, 15] принимаем следующие значения:

Коэффициент, учитывающий возможное перерегулирование скорости

$$\sigma_{\omega} \geq 1,2.$$

Коэффициент датчика скорости

$$k_{\text{дво}} = \frac{1}{\sigma_{\omega} \cdot \omega_{\text{н}}} = \frac{1}{1,2 \cdot 94,248} = 8,842 \cdot 10^{-3}.$$

Значение максимального задания на входе контура скорости

$$N_{\text{з\omega.макс}} = \frac{1}{\sigma_{\omega}} = \frac{1}{1,2} = 0,8333293.$$

Коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания аperiodическим звеном для электроприводов общепромышленного назначения

$$n_{\omega} = 2.$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура скорости

$$T_{\mu\omega} = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Коэффициент типовой настройки контура скорости

$$a_{\omega} = 2.$$

Постоянная времени регулятора скорости

$$T_{p\omega} = T_{\mu\omega} \cdot 4 = 1,9 \cdot 10^{-3} \cdot 4 = 7,6 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора тока

$$k_{pc} = \frac{J_{\omega} \cdot k_{\tau}}{\Psi_{2H} \cdot k_{дв} \cdot k_c \cdot a_c \cdot T_{\mu\omega}} = \frac{0,264 \cdot 0,039}{0,88 \cdot 4,457 \cdot 8,842 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 1,9 \cdot 10^{-3}} = 78,485.$$

При настройке системы управления электропривода используется один из универсальных регуляторов - ПИ-регулятор. Для каждого из контуров рассчитаны коэффициенты и постоянные времени регуляторов.

4 Разработка имитационной модели электропривода

4.1 Математическая модель асинхронного двигателя

Для исследования в среде Matlab воспользуемся двухфазной моделью реальной трёхфазной машины в системе координат d, q.

Если во вращающейся синхронно с полем статора ($\omega_{\text{кв}} = \omega_{\text{эл}}$) системе координат x, y ось x совместить с вектором потокосцепления ротора Ψ_2 , то с учетом соотношения, характерных для СК d, q,

$$\begin{aligned}\Psi_{2d} &= |\bar{\Psi}_2|; \\ \Psi_{2q} &= 0,\end{aligned}\tag{79}$$

получим

$$\begin{aligned}|\bar{\Psi}_2| &= \Psi_{2x} = \Psi_{2d}, \\ \Psi_{2y} &= \Psi_{2q} = 0\end{aligned}\tag{80}$$

и тогда система уравнений будет иметь вид

$$\left\{\begin{aligned}\frac{dI_{1d}}{dt} &= \frac{1}{\sigma \cdot L_1} \cdot U_{1d} - \frac{R_2}{\sigma \cdot L_1} \cdot I_{1d} + \frac{R_2' \cdot L_m}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2} \cdot \Psi_{2d} + \omega_{\text{кв}} \cdot I_{1q}; \\ \frac{dI_{1q}}{dt} &= \frac{1}{\sigma \cdot L_1} \cdot U_{1q} - \frac{R_2}{\sigma \cdot L_1} \cdot I_{1q} - \omega_{\text{кв}} \cdot I_{1d} - \frac{L_m}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d}; \\ \frac{d\Psi_{2d}}{dt} &= -\frac{R_2'}{L_2} \cdot \Psi_{2d} + \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2} \cdot I_{1d}; \\ 0 &= \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2} \cdot I_{1q} - (\omega_{\text{кв}} - z_p \cdot \omega) \cdot \Psi_{2d}; \\ M_{\text{эм}} &= \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot I_{1q}; \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{J} \cdot (M_{\text{эм}} - M_c),\end{aligned}\right.\tag{81}$$

где $U_{1d} = U_{1q} = U_1$ – постоянные по форме составляющие напряжения статора в ориентированной по вектору потокосцепления ротора $\bar{\Psi}_2$, вращающейся синхронно с полем статора системе координат d, q;

I_{1d}, I_{1q} – составляющие тока статора в системе координат d, q, А;

$\Psi_{2d} = |\bar{\Psi}_2|$ – потокосцепление ротора в системе координат d, q, Вб.

В операторной форме записи

$$\begin{cases} U_{1d} = R_3 \cdot (T_3 \cdot p + 1) \cdot I_{1d} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2} \cdot \Psi_{2d} - \omega_{\text{кв}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}; \\ U_{1q} = R_3 \cdot (T_3 \cdot p + 1) \cdot I_{1q} + \omega_{\text{кв}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1d} + \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d}; \\ 0 = (T_2 \cdot p + 1) \cdot \Psi_{2d} - L_m \cdot I_{1d}; \\ \omega_{\text{кв}} = z_p \cdot \omega + \frac{L_m \cdot R_2'}{L_2} \cdot \frac{I_{1q}}{\Psi_{2d}}; \\ M_{\text{эм}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot I_{1q}; \\ \omega = \frac{1}{J \cdot p} \cdot (M_{\text{эм}} - M_c). \end{cases} \quad (82)$$

Уравнениям (1.22) соответствует приведенная на рисунке 16 структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, выполненная во вращающейся системе координат d, q ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора.

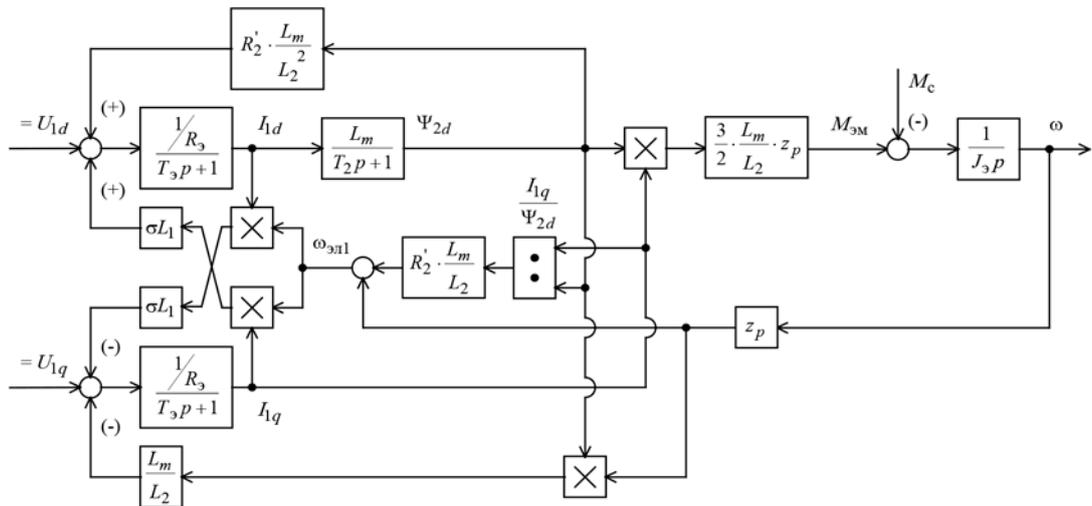


Рисунок 16 - Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

Структурная схема рисунок 16 содержит внутренние обратные связи, в том числе нелинейные перекрестные. Природа этих связей вытекает из схемы замещения рисунок 17 и уравнений напряжения статора системы (82):

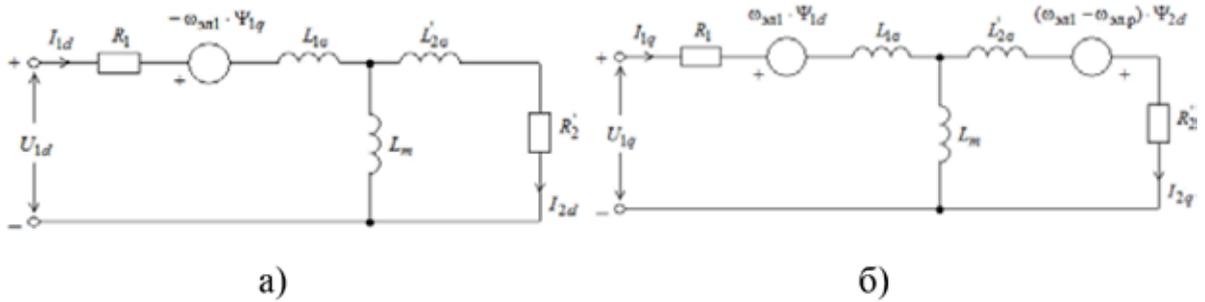


Рисунок 17 - Схемы замещения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся со скоростью ω_{syn1} ориентированной по вектору потокосцепления ротора $\bar{\Psi}_2$ роторной системе координат d, q:

а – по оси d;

б – по оси q

$$U_{1d} = R_s \cdot (T_s \cdot p + 1) \cdot I_{1d} - e_d; U_{1q} = R_s \cdot (T_s \cdot p + 1) \cdot I_{1q} + e_q, \quad (83)$$

где e_d, e_q - составляющие внутренней ЭДС двигателя, наводимые в статоре;

$$e_d = \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2d} + \omega_{\text{кв}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}, \quad (84)$$

$$e_q = \omega_{\text{кв}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1d} + \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d}.$$

$\frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2d}$ - падение напряжения в роторной цепи;

$$\frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2d} = \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot (L_2 \cdot I_{2d} + L_m \cdot I_{1d}) = R_2' \cdot \left(\frac{L_m}{L_2} \cdot I_{2d} + \frac{L_m^2}{L_2^2} \cdot I_{1d} \right). \quad (85)$$

$\omega_{\text{кв}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}, \omega_{\text{кв}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1d}$ - составляющие ЭДС самоиндукции (падения напряжения на индуктивном сопротивлении статора);

$\frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d}$ - ЭДС вращения, наводимая в статоре потокосцеплением ротора.

Данной системе уравнений соответствует модель в Matlab Simulink, представленная на рисунке 18.

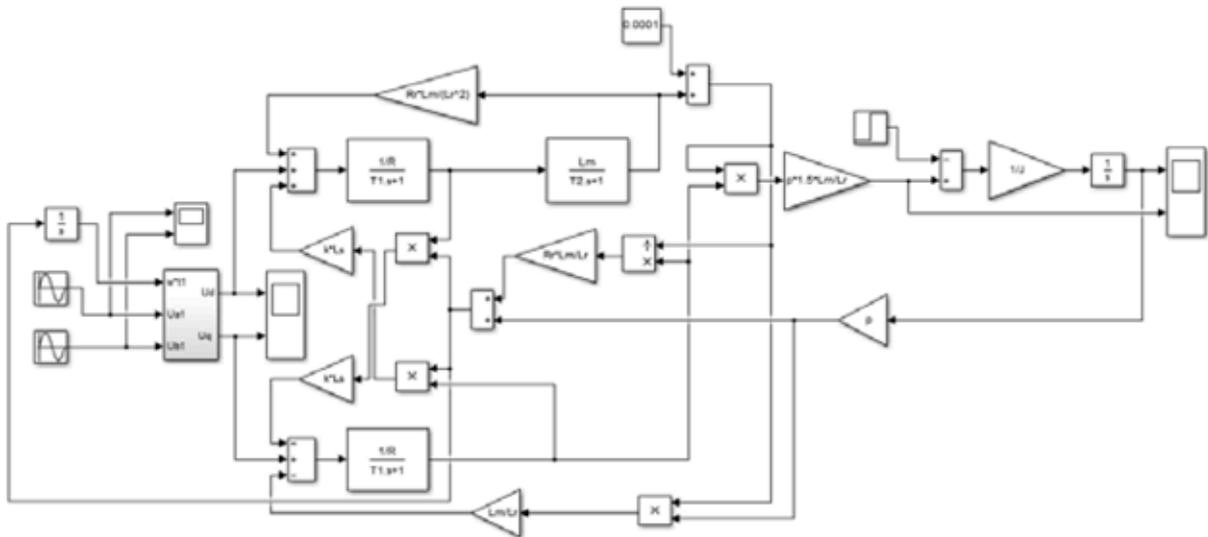


Рисунок 18 - Имитационная модель асинхронного двигателя с активной нагрузкой в Matlab Simulink

4.2 Механическая часть электропривода механизма передвижения козлового крана

Модель на рисунке 18 имеет активную нагрузку, так как в реальности нагрузка имеет реактивный характер, в модель необходимо дополнительно включить систему блоков имитирующую реактивную нагрузку. Для это используем блок S-Function Bilder.

Компонент, реализующий реактивный момент сопротивления:

```

if (w[0]>0) M[0]=Minput[0];
if (w[0]<0) M[0]= - Minput [0];
if (w[0]==0) Mc[0]=0;

```

Алгоритм функционирования будет следующий:

1. Если скорость положительная, то момент сопротивления равен заданному.
2. Если скорость отрицательная, то момент сопротивления равен заданному с обратным знаком.
3. Если скорость равна «0», то момент сопротивления равен 0.

Отключение двигателя от сети достигается за счет срабатывания блока «Switch» в 0,5 с.

Для удобства электромеханический преобразователь и механическую часть объединим в отдельные системы, результат представлен на рисунке 19.

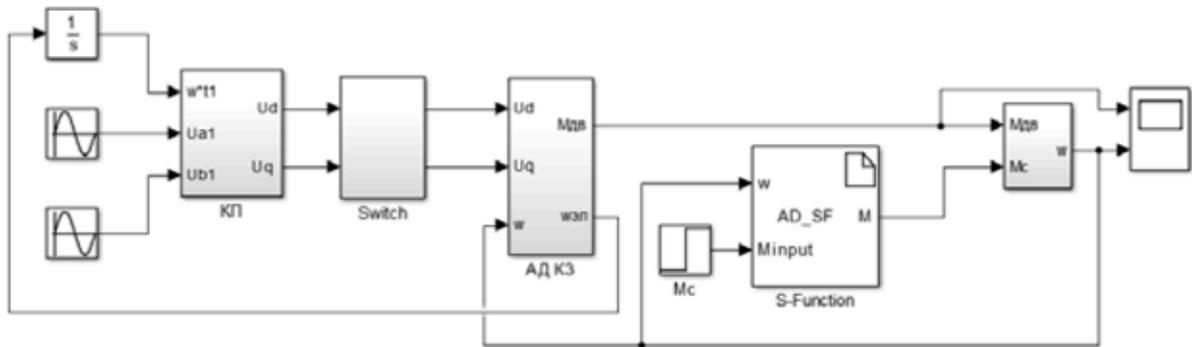


Рисунок 19 – Имитационная модель асинхронного двигателя с реактивной нагрузкой

Для проверки работоспособности имитационной модели реактивной нагрузки, произведем пуск двигателя на малой нагрузке $10\% \cdot M_n$ Н·м, увеличим нагрузку до номинальной 82,502 Н·м в момент времени 0,25 с. и отключим двигатель от сети в момент времени 0,5 с. Так как нагрузка реактивная двигатель должен затормозить выбегом. На рисунке 20 показаны полученные графики. Полученные графики соответствуют ожиданиям, следовательно, модель реактивной нагрузки работает правильно.

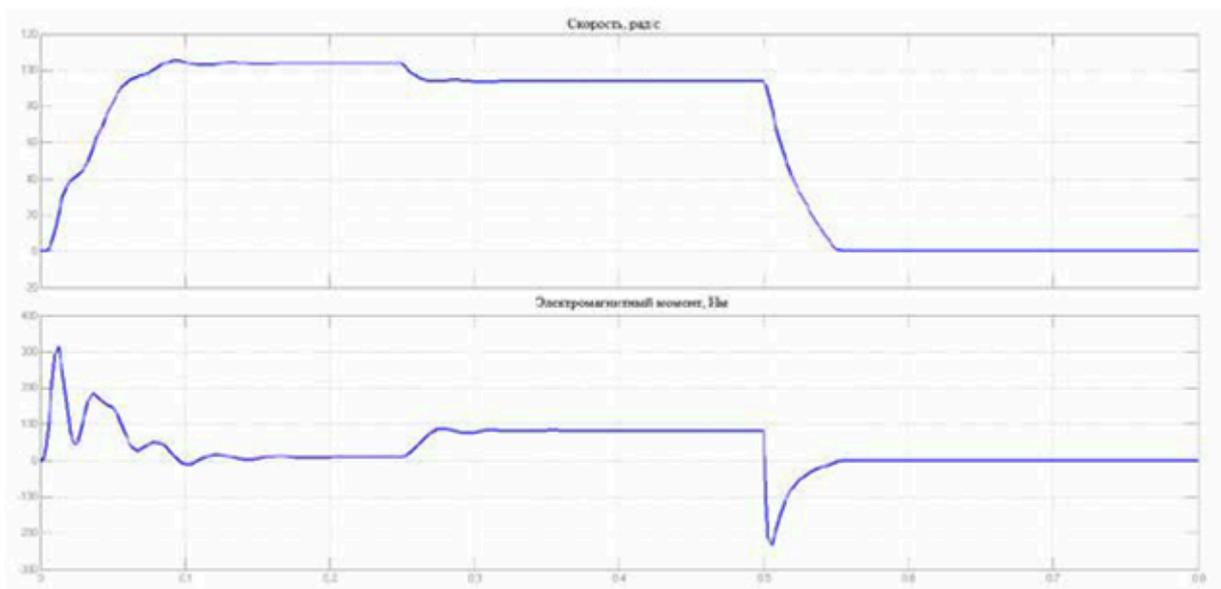


Рисунок 20 - Графики зависимостей $n = f(t)$ и $M = f(t)$

4.3 Проверка адекватности разработанной модели

асинхронного двигателя

Для проверки адекватности разработанной математической модели на основе модулей библиотеки SimPowerSystem Simulink Matlab соберем имитационную модель асинхронного двигателя изображенную на рисунке 21.

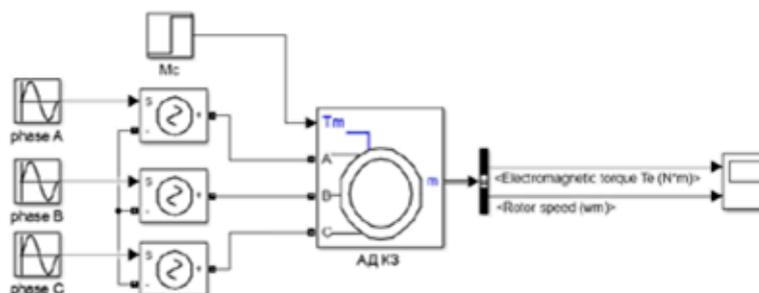


Рисунок 21 – Имитационная модель асинхронного двигателя на основе модулей библиотеки SimPowerSystem.

Динамические характеристики полученные с помощью этой модели представлены на рисунке 22. Характеристики полученные с помощью математической модели представлены на рисунке 23. Двигатель разгоняется без нагрузки, в момент времени 0,25 с. происходит подключение нагрузки $M_{II}=82,502$ Нм.

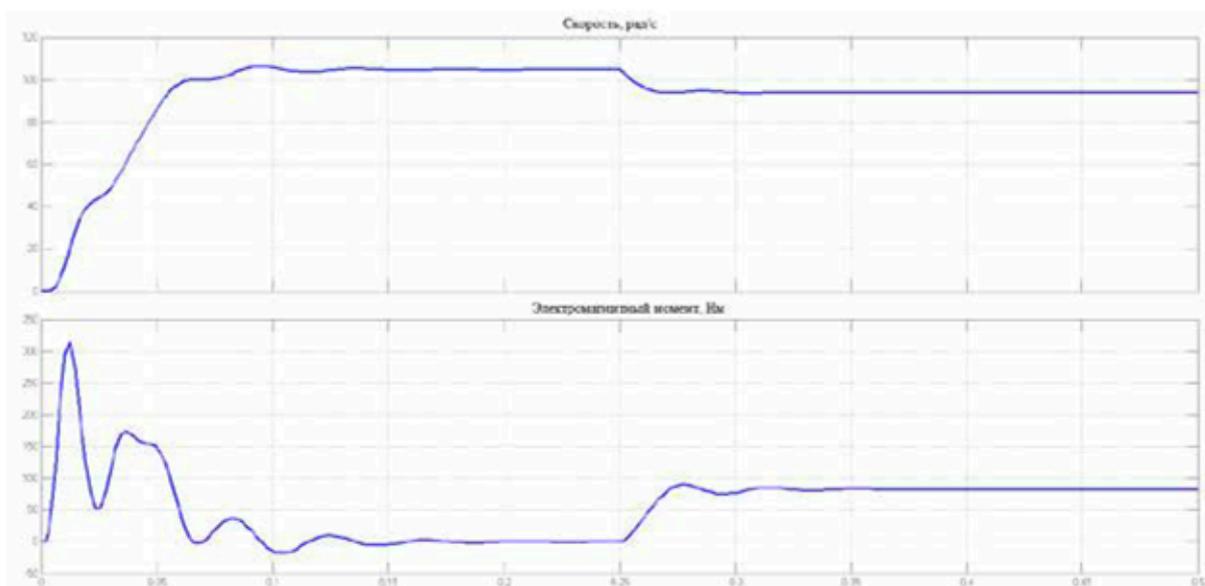


Рисунок 22 – Графики зависимостей $n = f(t)$ и $M = f(t)$ полученные с помощью библиотечной модели двигателя.

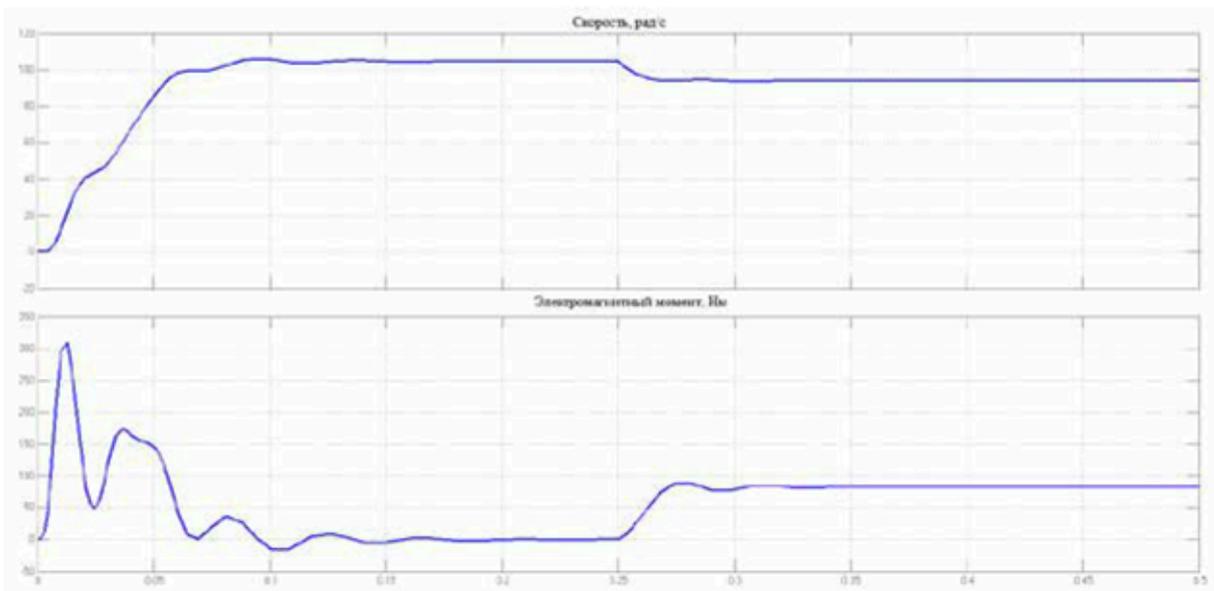


Рисунок 23 – Графики зависимостей $n = f(t)$ и $M = f(t)$, полученные с помощью математической модели двигателя в системе координат d, q

Анализ двух расчётов – с моделью SimPowerSystems и с разработанной по математическому описанию – показывает их полное сходжение, что позволяет утверждать о возможности использования разработанной модели в исследованиях электропривода переменного тока.

4.4 Исследование способов управления для электропривода системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель»

На основании режимов работы и выбора частотного управления асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями механизмов передвижения, рассматривается выборка оптимальных способов их управления.

В частотно-регулируемом электроприводе существуют несколько общеизвестных способов управления: скалярный (U/f регулирование), векторный с обратной связью по скорости одного двигателя и с обратной связью по скорости каждого асинхронного двигателя.

При изготовлении двигателей неизбежны отклонения параметров обмоток, а при эксплуатации механизма передвижения один двигатель может быть нагружен больше чем другой, что приводит к различию

жесткости механических характеристик двигателей. Для имитации такого случая принудительно нагрузим дополнительно один из асинхронных двигателей (АД КЗ 2).

4.4.1 Скалярное управление

Модель двухдвигательного электропривода при скалярном управлении, состоящая из формирователя напряжения (U/f control), электромеханических преобразователей (АД КЗ 1 и АД КЗ 2) и механической части представлена на рисунке 24.

Динамические характеристики двухдвигательного электропривода при скалярном управлении приведены на рисунке 25.

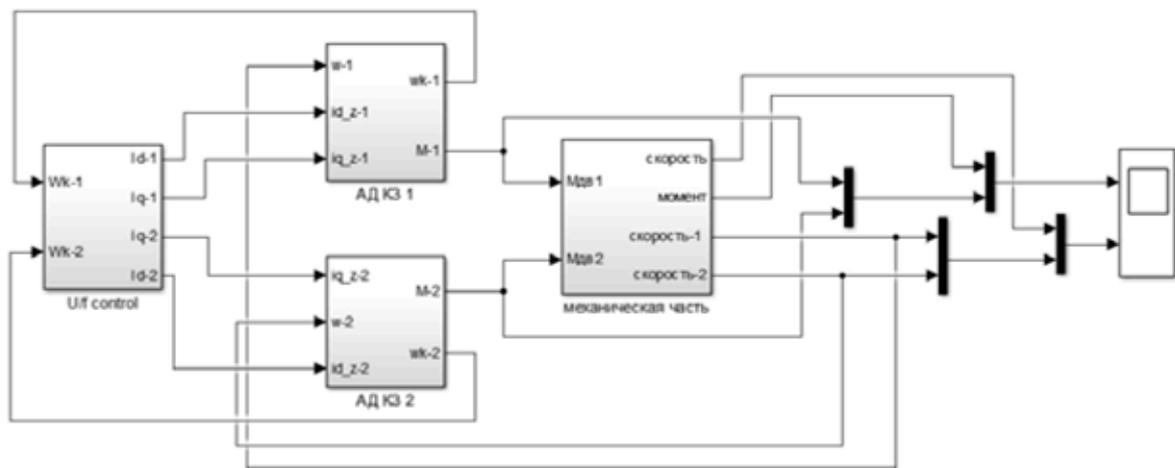


Рисунок 24 – Имитационная модель двухдвигательного электропривода при скалярном управлении

Определим относительную величину неравномерности синхронизации скоростей двигателей:

$$\Delta_{c_{\sigma}} = \frac{\Delta\omega}{\omega_{cy}} \cdot 100\% = \frac{0,5}{18,3} \cdot 100\% = 2,73\%. \quad (86)$$

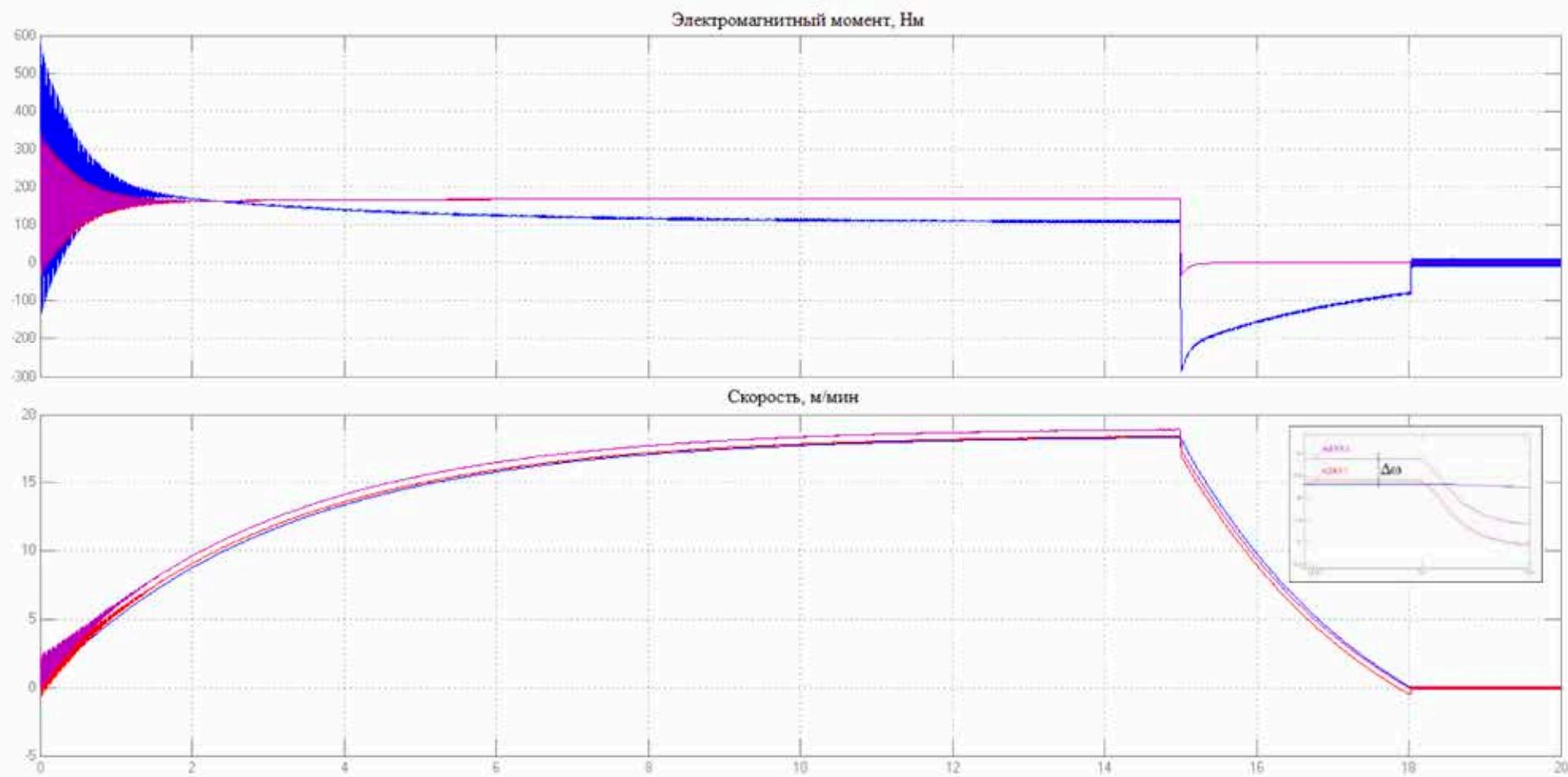


Рисунок 25 - Динамические характеристики $M = f(t)$ и $n = f(t)$ двухдвигательного электропривода при скалярном управлении

По полученному переходному процессу определим расстояния на которое одна опора опережает другую за 1 секунду.

Для этого найдем расстояние, которое проходит каждая опора за 1 секунду по формуле

$$S_i = \frac{v_i \cdot 1}{60}. \quad (87)$$

Поставляя численные значения в формулу (87) получим

$$S_1 = \frac{v_{\text{об1}} \cdot 1}{60} = \frac{18,4 \cdot 1}{60} = 0,3067 \text{ м};$$

$$S_2 = \frac{v_{\text{об2}} \cdot 1}{60} = \frac{18,9 \cdot 1}{60} = 0,3150 \text{ м};$$

Найдем разницу расстояния между опорами

$$S = S_1 - S_2 \quad (88)$$

$$S = 0,3067 - 0,3150 = 0,0083 \text{ м}.$$

При данном способе управления наблюдается постоянное рассогласование скоростей на всем участке работы, а также не соответствие требования к режиму работы (рисунок 6).

4.4.2 Векторное управление с обратной связью по скорости одного двигателя

Модель двухдвигательного электропривода при векторном управлении с обратной связью по скорости одного двигателя, состоящая из S-задатчика скорости, общего контура скорости, контуров тока и потокосцепления (для каждого двигателя), электромеханических преобразователей (АД КЗ 1 и АД КЗ 2) и механической части представлена на рисунке 26.

Динамические характеристики двухдвигательного электропривода при векторном управлении с обратной связью по скорости одного двигателя приведены на рисунке 27.

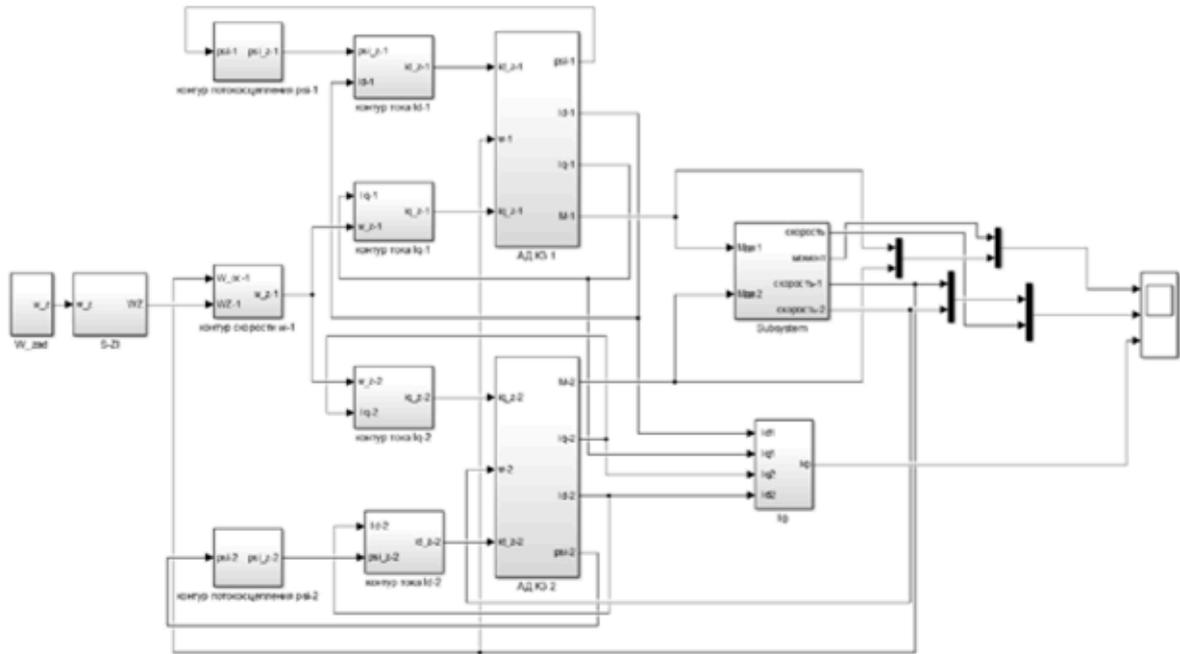


Рисунок 26 – Имитационная модель двухдвигательного электропривода при векторном управлении с обратной связью по скорости одного двигателя

Определим относительную величину неравномерности синхронизации скоростей двигателей:

При разгоне

$$\Delta_{c_{ев}} = \frac{\Delta\omega_1}{\omega_{ср}} \cdot 100\% = \frac{9,3}{36,4} \cdot 100\% = 25,55\%. \quad (89)$$

При равномерном движении

$$\Delta_{c_{ев}} = \frac{\Delta\omega_2}{\omega_{ср}} \cdot 100\% = \frac{0,95}{66,5} \cdot 100\% = 1,43\%. \quad (90)$$

При торможении

$$\Delta_{c_{ев}} = \frac{\Delta\omega_3}{\omega_{ср}} \cdot 100\% = \frac{10,3}{44,2} \cdot 100\% = 23,30\%. \quad (91)$$

По полученному переходному процессу определим расстояния на которое одна опора опережает другую за 1 секунду.

Для этого найдем расстояние, которое проходит каждая опора за 1 секунду по формуле (87), и расстояние между опорами по выражению (88)

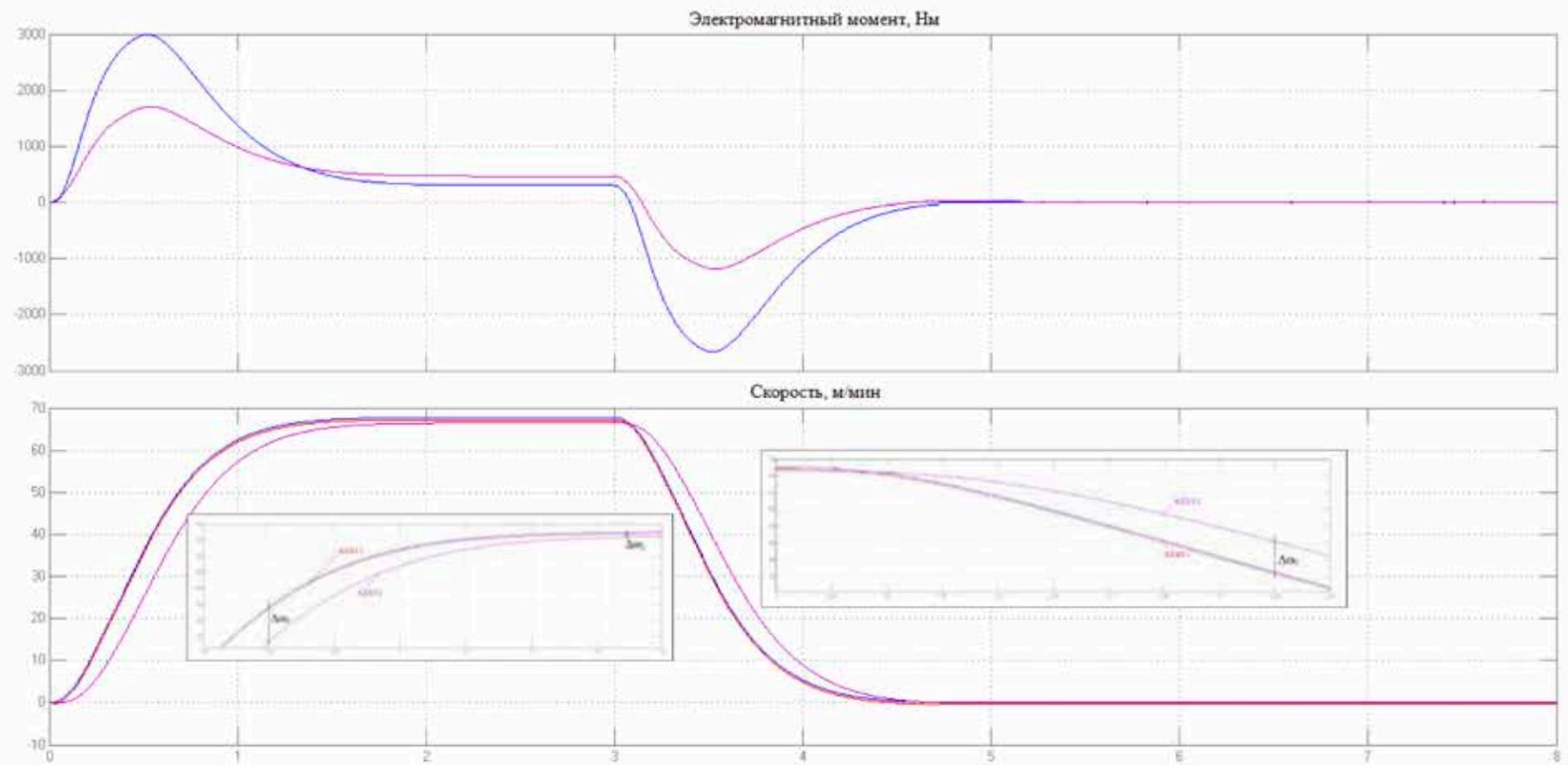


Рисунок 27 - Динамические характеристики $M = f(t)$ и $n = f(t)$ двухдвигательного электропривода при векторном управлении с обратной связью по скорости одного двигателя

При разгоне

$$S_1 = \frac{v_{\partial\sigma 1} \cdot 1}{60} = \frac{43,8 \cdot 1}{60} = 0,73 \text{ м};$$

$$S_2 = \frac{v_{\partial\sigma 2} \cdot 1}{60} = \frac{33,5 \cdot 1}{60} = 0,56 \text{ м};$$

$$S = S_1 - S_2 = 0,73 - 0,56 = 0,17 \text{ м}.$$

При равномерном движении

$$S_1 = \frac{v_{\partial\sigma 1} \cdot 1}{60} = \frac{67,05 \cdot 1}{60} = 1,1175 \text{ м};$$

$$S_2 = \frac{v_{\partial\sigma 2} \cdot 1}{60} = \frac{66,1 \cdot 1}{60} = 1,1017 \text{ м};$$

$$S = S_1 - S_2 = 1,1175 - 1,1017 = 0,0158 \text{ м}.$$

При торможении

$$S_1 = \frac{v_{\partial\sigma 1} \cdot 1}{60} = \frac{36,1 \cdot 1}{60} = 0,6017 \text{ м};$$

$$S_2 = \frac{v_{\partial\sigma 2} \cdot 1}{60} = \frac{45,4 \cdot 1}{60} = 0,7567 \text{ м};$$

$$S = S_1 - S_2 = 0,6017 - 0,7567 = 0,155 \text{ м}.$$

Для данного способа управления характерно существенное рассогласование скоростей вращения двигателей, а значит, движение опор, при разгоне и торможении. Режим работы при векторном управлении с обратной связью по скорости одного двигателя соответствует нагрузочной диаграмме (рисунок 6).

4.4.3 Векторное управление с обратной связью по скорости каждого асинхронного двигателя

Модель двухдвигательного электропривода при векторном управлении с обратной связью для каждого двигателя, состоящая из S-здатчика скорости, контуров скорости, тока и потокосцепления (для каждого двигателя), электромеханических преобразователей (АД КЗ 1 и АД КЗ 2) и механической части представлена на рисунке 28.

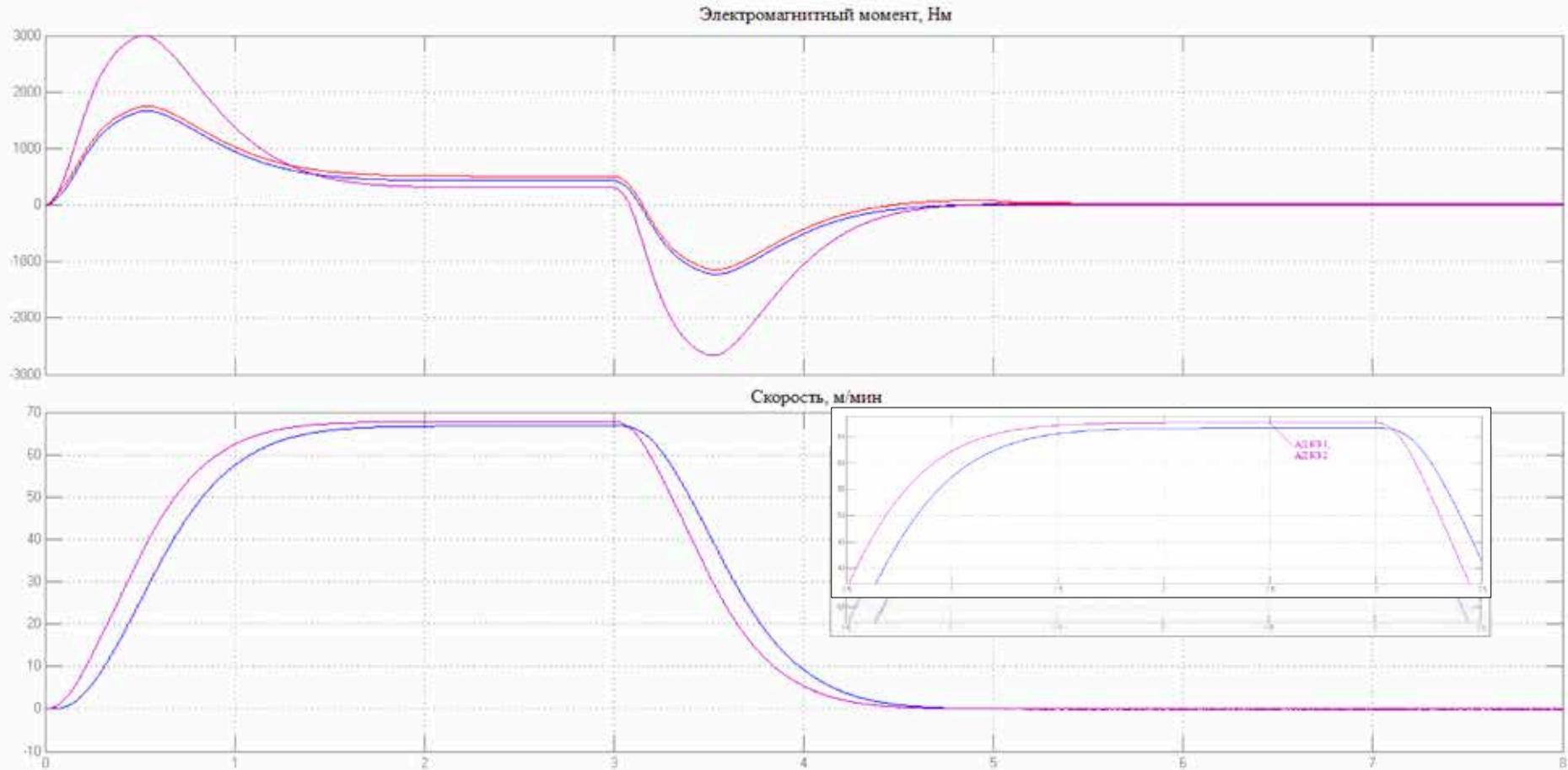


Рисунок 29 - Динамические характеристики $M = f(t)$ и $n = f(t)$ двухдвигательного электропривода при векторном управлении с обратной связью для каждого двигателя

Выводы по разделу:

1. Разработана на основе системы математических уравнений структурная модель асинхронного двигателя во вращающейся системе координат d,q .

2. Произведено исследование полученных в программе MATLAB переходных процессов момента и скорости асинхронного двигателя мощностью 7,5 кВт, согласно структурной библиотечной модели. В результате наблюдается устойчивость в режиме пуска и наброса нагрузки через 0,25 секунд до номинальной скорости.

3. Произведено исследование полученных в программе MATLAB переходных процессов момента и скорости асинхронного двигателя мощностью 7,5 кВт, согласно структурной модели во вращающейся системе координат d,q . В результате наблюдается устойчивость в режиме пуска и наброса нагрузки через 0,25 секунд до номинальной скорости.

4. Произведен сравнительный анализ трех систем управления двухдвигательным электроприводом: скалярное (U/f регулирование), векторное с обратной связью по скорости одного двигателя и с обратной связью по скорости каждого асинхронного двигателя. Следует отметить, что при векторном управлении режим работы двухдвигательного электропривода механизма перемещения козлового крана будет соответствовать рисунку 6, а при скалярном управлении – нет.

5. Заданым требованиям – синхронизация скорости вращения двигателей с целью исключения повреждений конструкции крана – отвечает модель привода векторного управления с обратной связью по скорости каждого асинхронного двигателя.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Кобелеву Павлу Сергеевичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, и человеческих.</i>	<i>Стоимость материальных затрат, оплаты труда, прочие затраты.</i>
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.</i>	<i>Отчисления на социальные нужды () и амортизационные отчисления.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. *Расчёт затрат на проектирование систем отопления и вентиляции.*
2. *Определение прибыли и договорной цены проекта отопления и вентиляции.*
3. *Технико-экономический расчёт системы отопления.*

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. *Расходы на этапе проектирования на материальные затраты.*
2. *Расходы на этапе проектирования на заработную плату.*
3. *Смета затрат.*
4. *Смета наличных капитальных затрат.*
5. *Результаты расчёта приведённых затрат.*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Фигурко А. А.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Кобелев Павел Сергеевич		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование

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.

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

по внедрению двухдвигательного электропривода, расчета годового экономического эффекта.

5.2 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.

5.2.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

При разработке электропривода в отдающем устройстве разработчик руководствовался следующими соображениями: стоимость двигателя большей мощности больше чем у двух двигателей меньшей мощности, затраты на его эксплуатацию больше (в сравнении с двумя).

Рассматривалось три варианта исполнения:

1. Преобразователь частоты Schneider Electric Altivar 71, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АМТКФ132L6 мощностью 7,5 кВт, 1000 об/мин, редуктор 1Ц2У-200-25-12.

2. Преобразователь частоты Веспер ЕЗ-9100, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором МТКФ312-6 мощностью 15 кВт, 1000 об/мин, редуктор 1Ц2У-200-25-12. Для связи с контроллером линии необходим дополнительный модуль связи Device-NET.

3. Асинхронный двигатель с фазным ротором МТН312-6 мощностью 15 кВт, 1000 об/мин, редуктор 1Ц2У-200-25-12 с релейно-контакторным управлением.

Таблица 8 - Стоимость комплекта

Наименование комплектующих	Вариант исполнения					
	1		2		3	
	марка	стоимость	марка	стоимость	марка	стоимость
Двигатель	АМТКФ132L6	2×31216	МТКФ312-6	64208	МТН312-6	82024
Редуктор	1Ц2У-200-25-12	2×27600	1Ц2У-200-25-12	27600	1Ц2У-200-25-12	27600
Коммутационная аппаратура	комплект	2×15180	комплект	15180	-	-
Модуль связи	интегрирован	0	приобретается отдельно	41905	-	-
ПЧ	Schneider Electric Altivar 71	2×28598	Веспер Е3-9100	57960	-	-
Релейно-контакторная система управления	-	-	-	-	комплект	107600
Сумма за комплект	205188		210853		227224	

Данные для оценки конкурентоспособности разрабатываемого новшества приведены в таблице 9.

Показатель конкурентоспособности двухдвигательного электропривода по отношению к однодвигательному $k_{тп}$ будет равен [17, 19]

$$k_{тпi} = \frac{Q_n}{Q_{ki}}; \quad (92)$$

$$k_{тп1} = \frac{Q_n}{Q_{k1}} = \frac{0,9414}{0,9312} = 1,1;$$

$$k_{тп2} = \frac{Q_n}{Q_{k1}} = \frac{0,9414}{0,6349} = 1,48.$$

где $k_{тпi}$ – показатель конкурентоспособности двухдвигательного электропривода по отношению к однодвигательному электроприводу по техническим параметрам;

Q_n, Q_k – соответствующие групповые технические показатели двухдвигательного и однодвигательного электроприводов.

Таблица 9 – Оценка технического уровня проекта

Характеристики	Вес показателей	Двухдвигательный электропривод		Однодвигательный электропривод с двигателем МТКФ312-6		Однодвигательный электропривод с двигателем МТН312-6		Гипотетический объект	
		P_i	q_i	P_i	q_i	P_i	q_i	P_{100}	q_{100}
1 Полезный эффект новшества (интегральный показатель качества), Q		$Q_n=0,9414$		$Q_{к1}=0,9312$		$Q_{к2}=0,6389$		$Q_{100}=1$	
1.1 Мощность двигателя, кВт	0,175	2×7,5	1	15	1	15	1	15	1
1.2 Капитальные затраты на электрооборудование	-								
1.2.1 Стоимость двигателя, руб	0,105	2×31216	0,96	64208	0,93	82024	0,73	60000	1
1.2.2 Вес электрооборудования, кг	0,075	2×100	0,75	175	0,86	250	0,6	150	1
1.3 Эксплуатационные данные	-								
1.3.1 Коэффициент полезного действия, %	0,105	87	0,87	82	0,82	84	0,84	100	1
1.3.2 Удобство эксплуатации	0,100	-	0,95	-	0,85	-	0,75	-	1
1.4 Управляемость привода	0,175	Преобразователь частоты	1	Преобразователь частоты	1	Релейно-контакторная система управления	0	Преобразователь частоты	1
1.5 Простота и надежность автоматизации	0,085	-	0,9	-	0,9	-	0,75	-	1
1.6 Простота проведения монтажных работ	0,085	-	0,9	-	0,9	-	0,75	-	1
1.7 Срок службы	0,095	20	1	20	1	10	0,5	20	1

Производим выбор варианта (комплекта) с использованием метода экспертных оценок.

Для проведения оценки выбраны следующие показатели: технические – мощность, управления, срок службы, и экономические – капитальные вложения, затраты на эксплуатацию, надежность.

По выбранным критериям с помощью экспертов необходимо присвоить коэффициент весомости, отражение их важности.

В результате сравнения и оценки критериев выбран первый вариант исполнения, т.к. у него оптимальные технические показатели при выгодной стоимости проекта. Далее расчеты производятся для двухдвигательного электропривода.

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование необходимо для обеспечения оптимального ведения работ, уменьшение затрат, увеличение производительности труда. [18]

5.3.1 Планирование научно-исследовательских работ

Этапы и содержание НИР приведены в таблице 10.

Трудоемкость характеризуется количеством живого труда, затраченного на изготовление какой-либо продукции. Все этапы работы и значения трудоемкости занесены в календарный план-график, таблица 11, 12.

Таблица 10 - Состав и структура основных этапов

№ этапов	Наименование этапов	Продолжительность этапов в %
Научно-теоретические исследования		
1.	Подготовительный этап	7
2.	Обработка теоретической части	10
3.	Выбор и расчет электродвигателя	20
4.	Математическая модель АД	20
5.	Выравнивание нагрузки двухдвигательного электропривода механизма передвижения козлового крана	30
6.	Внесение корректив в разработки	9
7.	Выводы и предложения по теме	2
8.	Завершающий этап	2
	Всего	100

Таблица 11 - Состав информации для построения календарного графика

№ п/п	Перечень работ	Трудоемкость работ, чел.-час.	Количество исполнителей	Длительность выполнения работ, чел.-час.	Длительность выполнения всех видов работ по проектам, чел.-час.
1	2	3	4	5	6
1	Подготовительный этап	48	2	24	48
2	Обработка теоретической части				72
2.1	Технологический процесс	24	1	24	
2.2	Кинематические особенности козлового крана ЛТ-62	24	1	24	
2.3	Особенности двухдвигательного электропривода	24	1	24	
3	Выбор оборудования				108
3.1	Выбор и расчет электродвигателя	24	1	24	
3.2	Расчет параметров схемы замещения АД	24	1	24	
3.3	Выбор преобразователя частоты	24	1	24	
3.4	Расчет статических характеристик электропривода	36	1	36	
4	Оптимизация контуров регулирования				144
4.1	Оптимизация контура тока	48	1	48	
4.2	Оптимизация контура потокосцепления	48	1	48	
4.3	Оптимизация контура скорости	48	1	48	
5	Разработка имитационной модели электропривода в Matlab				280
5.1	Математическая модель АД	40	1	40	
5.2	Проверка адекватности разработанной модели	56	1	56	
5.3	Выравнивание нагрузки двухдвигательного электропривода механизма передвижения козлового крана	128	2	64	
5.4	Графики переходных процессов для двух двигателей с разными параметрами	80	2	40	
6	Внесение корректив в разработки	80	2	40	80
7	Выводы и предложения по теме	32	2	16	32
8	Завершающий этап	16	1	16	16

5.3.2 Планирование пуско-наладочных работ

Пуско-наладочные работы являются завершающим звеном производства линии, обеспечивающие ввод в эксплуатацию объект. Ниже рассмотрены основные этапы проведения пуско-наладочных работ. Работы выполняются высококвалифицированными специалистами и рабочими по заранее разработанным и согласованным программам. Электротехнические пуско-наладочные работы должны обеспечивать проверку и испытание электрооборудования в соответствии с действующими правилами устройства электроустановок, технической документацией предприятия-изготовителя оборудования и другими нормативными документами, а также получение заданных проектом электромеханических параметров работы оборудования. [18]

Результат проверок, снятие характеристик аппаратуры, испытания и других работ, входящих в комплекс наладки электроустановок, оформляются в виде протоколов установленной формы, которые прикладываются к акту сдачи объекта в эксплуатацию.

Проведению ПНР в короткие сроки и с высоким качеством в значительной степени способствуют подготовительные мероприятия:

- заблаговременное ознакомление с проектом электроустановки, выявление неточностей, пробелов и других дефектов проекта;
- выявление и подсчёт объёма ПНР, определение необходимого количества наладочного персонала;
- подготовка комплектов наладочной аппаратуры и инструмента;
- составление рабочего графика проведения ПНР и согласование его с монтажной организацией и заказчиком;
- внешний осмотр электрооборудования и установка количества электромонтажных работ;
- определения технических характеристик электрооборудования;

· составление рабочей программы испытаний и наладки электрооборудования с учётом особенностей налаживаемого объекта.

Для того чтобы качественно и в короткие сроки произвести наладку электрооборудования и электрических схем, необходимо хорошее знание данного оборудования, проектные схемы и расчёты электрических параметров. Поэтому наладочный персонал комплектуется из опытных и квалифицированных специалистов.

Цены на проведение пуско-наладочных работ определены, исходя из сложности серийно выпускаемых, освоенных промышленностью электрических устройств, в соответствии с требованиями 3 части СНиП "Организация, производство и приём работ и технических условий на изготовление и поставку электротехнических устройств.

При составлении смет или расчёте на выполнение работ, когда договором предусматривается промежуточная оплата, следует руководствоваться структурой пуско-наладочных работ, приведённой в таблице 13.

Таблица 13 - Структура ПНР

№	Состав работы	Стоимость ПНР (%) от общей сметной стоимости
1	Подготовительные работы	10
2	Наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний технологического оборудования	40
3	Наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования	30
4	Комплексное опробование	15
5	Оформление отчётной и приемно-сдаточной документации	5

Ценами учтены затраты на следующие работы:

1. Подготовительные работы - организаторскую и инженерную подготовку работ; изучение электротехнической части проекта и ознакомление с технической документацией; получение от заказчика согласованных установок устройств защиты и автоматики; подготовку парка приборов, а также программ наладки и комплекта протоколов.

2. Внешний осмотр электрооборудования на соответствие проекту; проверку и настройку отдельных элементов и функциональных групп; сборку испытательных схем; проверку параметров и снятие характеристик отдельных устройств; измерение сопротивления изоляции; проверку соединения обмоток; регулировку релейной аппаратуры.

3. Наладку электрооборудования под напряжением, включая силовые цепи; снятие и получение необходимых характеристик, сопоставление их с расчётными данными проекта; испытание и наладку оборудования в холостую и под нагрузкой совместно с технологическим оборудованием.

4. Обеспечение взаимных связей устройств в составе электроустановки и механизмов в составе агрегата; согласование входных и выходных параметров и характеристик отдельных механизмов в составе агрегата; обеспечение на агрегатах электрических и электромеханических параметров и режимов, предусмотренных проектом.

Составление в одном экземпляре протоколов пуско-наладочных работ и испытаний; внесение в протокол схем, которые были изменены в процессе работы.

Таблица 14 - Этапы и содержание пуско-наладочных работ

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1 Подготовительный этап	1.1	Ознакомление с проектом, выявление неточностей. Составление рабочего графика проведения пуско-наладочных работ.	Руководитель, представитель заказчика, бригада наладчиков
	1.2	Подготовка аппаратуры и инструмента.	Бригада наладчиков
	1.3	Внешний осмотр электрооборудования и проверка готовности.	Бригада наладчиков
	1.4	Определение соответствия техническим характеристикам.	Бригада наладчиков
	1.5	Составление рабочей программы испытаний и наладки с учетом особенностей объекта.	Бригада наладчиков

Продолжение таблицы 14

2 Проверочные работы	2.1	Проверка количества электромонтажных работ и их соответствие к рабочим чертежам проекта.	Бригада наладчиков
	2.2	Проверка установленной аппаратуры, градуировка и снятие в необходимых случаях характеристик.	Бригада наладчиков
	2.3	Проверка правильности выполнения схем.	Бригада наладчиков
	2.4	Проверка работы электрических систем, блокировок и автоматики.	Бригада наладчиков
3 Наладочные работы	3.1	Ввод параметров двигателя в преобразователь частоты, проверка работы системы.	Бригада наладчиков
	3.2	Проверка работы и функционирования блоков сигнализации и защиты.	Бригада наладчиков
	3.3	Ввод параметров системы в преобразователь частоты.	Бригада наладчиков
	3.4	Проверка диапазона изменения напряжения преобразователя, настройка устройства задания скорости.	Бригада наладчиков
	3.5	Итоговая проверка защиты.	Бригада наладчиков
	3.6	Настройка и снятие необходимых характеристик элементов автоматического управления в соответствии с требованиями технологического процесса, испытание оборудования в холостую.	Бригада наладчиков
4 Комплексное опробование	4.1	Обеспечение взаимных связей устройств в составе электрической установки.	Бригада наладчиков
	4.2	Согласование входных и выходных параметров на входе и выходе характеристик отдельных механизмов.	Бригада наладчиков
	4.3	Проверка режимов работы системы при управлении с пульта управления.	Бригада наладчиков
5 Оформление документации	5.1	Составление протоколов пуско-наладочных работ.	Бригада наладчиков
	5.2	Приемка крана. Внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта и изменений, внесенных во время пуско-наладочных работ.	Руководитель, представитель заказчика, бригада наладчиков

5.3.3 Состав бригады для проведения пуско-наладочных работ

Число членов бригады и распределение объёмов пуско-наладочных работ между членами бригады зависит от профессиональной подготовки

наладчиков и их практического опыта, а также диктуется рядом требований к пуско-наладочным работам:

1. Работы характеризуются узкой специализацией, сложностью.
2. По правилам и нормам эксплуатации и настройки электрооборудования напряжением до 1000 В запрещаются работы на оборудовании, находящемся под напряжением, менее чем двум членам бригады.

Распределение объёма работ между членами выполняет бригадир, как опытный специалист, знающий каждого члена бригады. Продолжительность выполнения любой операции на каждом этапе зависит от технической сложности. Состав бригады, выполняющей пуско-наладочные работы приведён в таблице 15.

Таблица 15 - Состав бригады, выполняющей пуско-наладочные работы

	Состав бригады	Категория
1	Инженер-наладчик (бригадир)	I
2	Инженер-наладчик	II
3	Инженер-наладчик	III

С бригадой наладчиков, производящих пуско-наладочные работы, заключено трудовое соглашение, в котором оговорён срок поведения работ и сумма, на которые заключается соглашение. Срок проведения пуско-наладочные работы составляет 22 рабочих дня продолжительностью 8 часов.

Распределение объёма и времени выполнения пуско-наладочных работ по этапам отражено в таблице 16.

Таблица 16 - Распределение времени выполнения пуско-наладочных работ

№	Члены бригады	Время выполнения работ по этапам, раб. дни				
		1	2	3	4	5
1	Инженер-наладчик (бригадир)	3	7	6	4	2
2	Инженер-наладчик	3	7	6	4	2
3	Инженер-наладчик	3	7	6	4	2

По таблице 16 строим календарный график проведения пуско-наладочных работ, представленный в таблице 17.

Таблица 17 - Календарный план-график пуско-наладочных работ

Этап	Исполнитель	Дни		Выполнение пуско-наладочных работ																														
		Рабочие	Календарные	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Подготовительный этап	Инженер-наладчик I	3	3	■	■	■																												
	Инженер-наладчик II	3	3	■	■	■																												
	Инженер-наладчик III	3	3	■	■	■																												
Проверочные работы	Инженер-наладчик I	7	9				■	■	■	■	■	■	■	■	■																			
	Инженер-наладчик II	7	9				■	■	■	■	■	■	■	■	■																			
	Инженер-наладчик III	7	9				■	■	■	■	■	■	■	■	■																			
Наладочные работы	Инженер-наладчик I	6	10													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
	Инженер-наладчик II	6	10													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
	Инженер-наладчик III	6	10													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Комплексное опробование	Инженер-наладчик I	4	6																							■	■	■	■					
	Инженер-наладчик II	4	6																							■	■	■	■					
	Инженер-наладчик III	4	6																							■	■	■	■					
Оформление документации	Инженер-наладчик I	2	2																												■	■		
	Инженер-наладчик II	2	2																												■	■		
	Инженер-наладчик III	2	2																												■	■		

5.4 Расчет бюджета проекта по внедрению двухдвигательного электропривода

5.4.1 Смета затрат на пуско-наладочные работы

Между заказчиком и пусконаладочной бригадой составляется договор на проведение ПНР с выплатой после завершения работ договорной цены, согласно ценнику, в общем размере 105,118 тыс.руб. В договоре оговорено, что инженер-наладчик бригадир (I категория) получает 40% (42,047 тыс.руб.), инженер-наладчик (II категория) 32% (33,638 тыс.руб.), инженер-наладчик (III категория) 28% (29,433 тыс.руб.) от фонда оплаты труда.

Дополнительные затраты по заработной плате приведены в таблице 18.

Таблица 18 - Дополнительные затраты по заработной плате

№	Наименование статей	Плановые, тыс.руб	Примечание
1	Стоимость работ	58,797	-
2	Районный коэффициент	17,639	30% от п.1
3	Коэффициент, действующий при проведении ПНР в зоне работы действующего оборудования	5,879	10% от п.1
4	Коэффициент, учитывающий работы на установке, находящейся под напряжением	17,797	30% от п.1
5	Основная заработная плата, включая доплаты	100,112	п.1+п.2+п.3+п.4
6	Дополнительна заработная плата	5,006	10%отп.5
7	Итого	105,118	п.5+п.6

Затраты предприятия на проведение пуско-наладочных работ приведены в таблице 19.

Таблица 19 - Общая стоимость затрат на проведение ПНР

№	Наименование статей	Плановые, тыс. руб.	Примечание
1	Заработная плата	105,118	-
2	Отчисления в внебюджетные фонды	31,535	30% от п.1
3	Накладные расходы	16,824	16% от п.1
4	Себестоимость работ	153,477	п.1+ п.2+п.3
5	Прибыль	12,278	8% от п.4
6	Цена ПНР	165,755	п.4+п.5
7	НДС	29,836	18% от п.6
8	Итого	195,591	п.6 + п.7

Цены всех комплектующих представлены в таблице 8.

Таким образом, на проведение пуско-наладочных работ заказчик затратил 195,591 тыс.руб, на приобретение оборудования 205,188 тыс.руб. Работы были проведены за 22 рабочих дня.

5.4.2 Расчет расходов при эксплуатации электропривода (стоимости силовой электроэнергии)

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Расходы на электроэнергию;
- Заработная плата обслуживающего персонала;
- Амортизационные отчисления;
- Затраты на ремонт;
- Расходы на материалы, связанные с эксплуатацией.

Силовая электроэнергия используется для питания приводов рабочих механизмов и рассчитывается по формуле [15]:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \times F_{\text{д}} \times k_{\text{м}} \times k_{\text{в}} \times k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \times k_{\text{с}}} = \frac{7,5 \times 4000 \times 0,6 \times 0,6 \times 0,7}{0,92 \times 0,9} = 9130,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (93)$$

где $P_{\text{уст}}$ – мощность установленного оборудования,

$$P_{\text{уст}} = 2 \times 7,5 \text{ кВт};$$

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования,
принимаем $F_{\text{д}} = 4000$ часов;

$k_{\text{м}}$ – коэффициент одновременного использования электродвигателей,
принимаем $k_{\text{м}} = 0,6$;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования оборудования по машинному времени,
принимаем $k_{\text{в}} = 0,6$;

$k_{\text{з}}$ – средний коэффициент загрузки оборудования (0,7-0,8);
принимаем $k_{\text{з}} = 0,7$;

$k_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий потери в сети (0,92-0,95);
принимаем $k_{\text{с}} = 0,92$;

$k_{\text{дв}}$ – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0,9-0,93),
принимаем $k_{\text{дв}} = 0,9$.

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается [15]:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил.эн}} \times C_{\text{э}} = 9130,4 \times 3,52 = 32,139 \text{ тыс.руб/г.} \quad (94)$$

где $C_{\text{э}}$ – стоимость одного кВт-часа электроэнергии для промышленных предприятий,
принимаяем $C_{\text{э}}=3,52$ руб.

5.4.3 Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации [18]

$$A_{\text{год}} = K \times \frac{N_A}{100} = 176,828 \times \frac{9,6}{100} + 15,180 \times \frac{3,5}{100} = 5,993 + 4,465 = 10,458 \text{ тыс.руб.} \quad (95)$$

где K – капитальные вложения в электрооборудование;

N_A – проценты отчислений на амортизацию,

принимаяем на электродвигатели – $N_{\text{Адв}}=9,6\%$; на преобразователи, выключатели, трансформаторы и т.д. - $N_{\text{Адв}}=3,5\%$.

5.4.4 Заработная плата обслуживающего персонала

Обслуживание частотного электропривода, двигателя и редуктора входит в обязанности оперативно-ремонтного персонала ремонтной службы предприятия.

При выполнении работы наладчик имеет повременную оплату труда. Оплата труда включает в себя основную и дополнительную заработную плату. К основной относится оплата, начисленная за проработанное время на предприятии и различные доплаты (сверхурочная работа, работа в выходные дни, региональные надбавки, премии, районный коэффициент). [18]

Дневная заработная плата

$$Z_{\text{нал}} = \frac{(P_{\text{д}} \times Z_{\text{т}} + N_{\text{надб}}) \times P_{\text{к}}}{F_{\text{д}}} = \frac{(1,3 \times 600 + 3000) \times 4}{22} = 985,09 \text{ руб / д;} \quad (96)$$

где $Z_{\text{т}}$ - оклад в месяц,

принимаяем оклад наладчика по 6 разряду $Z_{\text{т}}=9100$ руб.;

$N_{\text{надб}}$ – надбавка за сложность,

принимаем $N_{\text{надб}}=3000$ руб.;

$P_{\text{д}}$ – коэффициент доплаты за должность,

принимаем $P_{\text{д}}=1,4$;

$P_{\text{к}}$ – коэффициент, учитывающий районное регулирование,

принимаем $P_{\text{к}}=1,3$;

$F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяц,

принимаем $F_{\text{д}}=22$ дня.

Основная заработная плата за период работы

$$Z_{\text{осн}} = Z \times t_p = 985,09 \times 247 = 243,317 \text{ тыс.руб.} \quad (97)$$

где t_p - период рабочего времени,

принимаем $t_p = 247$ дней – 1 год;

Дополнительная заработная плата – это выплаты за неотработанное время (оплата отпусков и т. д.).

Дополнительная заработная плата рассчитывается:

$$Z_{\text{д}} = 0,15 \times Z_{\text{осн}} = 0,15 \times 243,317 = 36,497 \text{ тыс / руб.} \quad (98)$$

Суммарная зарплата:

$$Z_{\text{а}} = Z_{\text{д}} + Z_{\text{осн}} = 243,317 + 36,497 = 279,815 \text{ тыс.руб.} \quad (99)$$

Расчет затрат на оплату труда сведем в таблицу 20.

Таблица 20 - Затраты на оплату труда

	Исполнитель
Основная заработная плата, тыс.руб.	243,317
Дополнительная заработная плата, тыс.руб.	36,497
Итого	279,815

5.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Страховые отчисления на сегодняшний день по существующему законодательству составляет 30,2%

$$\text{Отч} = 30,2\% \cdot 3_{\Sigma} = 30,2\% \cdot 279,815 = 84,504 \text{ тыс.руб.} \quad (100)$$

Обязанности по обслуживанию крана занимают 10% рабочего времени наладчика. Зарплата обслуживающему персоналу в год составит:

$$3_{\text{пер}} = 10\% \times 3_{\text{а}} = 10\% \times 279,815 = 27,982 \text{ тыс.руб.} \quad (101)$$

5.4.6 Общая сумма эксплуатационных расходов

Общая сумма эксплуатационных расходов складывается из затраты на силовую энергию $C_{\text{эл}}$, годовых амортизационных отчислений $A_{\text{год}}$ и зарплаты обслуживающего персонала $3_{\text{пер}}$.

$$P_{\text{а}} = C_{\text{эл}} + A_{\text{год}} + 3_{\text{пер}} = 32,139 + 10,458 + 27,982 = 70,579 \text{ тыс.руб / г.} \quad (102)$$

При расчетах общих затрат на эксплуатацию расходы на электроэнергию составили 32139 (руб/год), заработная плата обслуживающего персонала 27982 (руб/год), амортизационные отчисления 10458 (руб/год). Общая сумма эксплуатационных расходов составила 70579 (руб/год).

5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. [19, 20]

5.5.1 Интегральный финансовый показатель

Определяется по формуле [16, 17]

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.и}} = \frac{\Phi_{\text{р.и}}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (103)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.и}}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{max} – максимальная стоимость всего проекта;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта (таблица 1) исполнения включая ПНР
(таблица 12);

$$\Phi_{p1} = 205,188 + 195,591 = 400,779 \text{ тыс.руб};$$

$$\Phi_{p2} = 210,853 + 195,591 = 406,444 \text{ тыс.руб};$$

$$\Phi_{p3} = 227,224 + 195,591 = 422,743 \text{ тыс.руб}.$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{400,779}{422,743} = 0,94;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{406,444}{422,743} = 0,95;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{422,743}{422,743} = 1.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы.

5.5.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определяется следующим образом по формуле [19, 20]

$$I_{pi} = \overset{\circ}{a} a_i \times b_i \quad (104)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 21).

Таблица 21 - Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Модель №1	Модель №2	Модель №3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,13	4	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,17	4	3	3
3. Энергосбережение	0,23	5	5	4
4. Надежность	0,27	5	4	4
5. Материалоемкость	0,20	5	5	4
Итого	1	4,6	4,2	3,6

$$I_{p-исп1} = 0,13 \times 4 + 0,17 \times 4 + 0,23 \times 5 + 0,27 \times 5 + 0,20 \times 5 = 4,7;$$

$$I_{p-исп2} = 0,13 \times 4 + 0,17 \times 3 + 0,23 \times 5 + 0,27 \times 4 + 0,20 \times 5 = 4,26;$$

$$I_{p-исп3} = 0,13 \times 3 + 0,17 \times 3 + 0,23 \times 4 + 0,27 \times 4 + 0,20 \times 4 = 3,7.$$

5.5.3 Интегральный показатель эффективности вариантов

исполнения разработки

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле [19, 20]

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр.i}} \quad (105)$$

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}} = \frac{4,7}{0,94} = 5;$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} = \frac{4,26}{0,95} = 4,42;$$

$$I_{исп.3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{финр.3}} = \frac{3,7}{1,0} = 3,7.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 22) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp.i} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.1i}}; \quad (106)$$

$$\varepsilon_{\text{ср1}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.1}}} = \frac{5,0}{5,0} = 1;$$

$$\varepsilon_{\text{ср2}} = \frac{I_{\text{исп.2}}}{I_{\text{исп.1}}} = \frac{4,42}{5,0} = 0,88;$$

$$\varepsilon_{\text{ср3}} = \frac{I_{\text{исп.3}}}{I_{\text{исп.1}}} = \frac{3,7}{5,0} = 0,74.$$

Таблица 22 - Сравнительная эффективность разработки

№п/п	Показатель	Модель №1	Модель №2	Модель №3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,94	0,95	1,0
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4,26	3,7
3	Интегральный показатель эффективности	5,0	4,42	3,7
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	0,88	0,74

Сравнение значений с позиции финансовой и ресурсной эффективности указывает на первый вариант исполнения, как наиболее эффективный.

В результате сравнения и оценки критериев комплектов электроприводов модель двухдвигательного электропривода, в состав которого входит следующее оборудование: два преобразователя частоты Schneider Electric Altivar 71, два двигателя АМТКF132L6 мощностью 7,5 кВт, 1000 об/мин, два редуктора 1Ц2У-200-25-12, т.к. у данного комплекта оптимальные технические показатели при выгодной стоимости проекта. Были составлены графики проведения НИР, определено количество работников, рассчитаны затраты. На основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования, а также по итогам сравнения финансовой и ресурсной эффективности наиболее эффективным получается первая модель электропривода. Таким образом, использование двухдвигательного электропривода дает положительный экономический эффект: сократится число обслуживающего персонала, а значит, сократятся затраты на оплату труда.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2А1	Кобелеву Павлу Сергеевичу

Институт	Институт электронного обучения (ИнЭО)	Кафедра	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вредных проявлений факторов производственной среды (метеословия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) - негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) - чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Рабочая площадка представляет собой открытую территорию, подверженную воздействиям окружающей среды. Основное рабочее оборудование – электропривод переменного тока.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Физические вредные факторы: повышения уровня шума, повышения уровня вибрации, превышение электромагнитных излучений; отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе. - Физические опасные факторы: электрический ток; движущиеся машины и механизмы производственного оборудования; статическое электричество. - Психофизиологические вредные факторы: тяжесть и напряженность физического труда; степень нервно- эмоционального напряжения. - Негативное влияние на окружающую среду: бытовые отходы. - Чрезвычайные ситуации: пожар.
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме.</p>	<p>ГОСТ 12.2.003-91 – 92; ГОСТ 12.1.019; ГОСТ 12.3.009-76 – 77; Р 2.2.2006 – 05; ТК; ПУЭ; ПЭЭП</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; - действие фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ). 	<ul style="list-style-type: none"> - Вредные факторы возникают при работе электрооборудования. - Негативное влияние электромагнитного и излучения отрицательно влияет на иммунную, нервную, эндокринную и дыхательную системы. Шум негативно влияют на психофизиологическое состояние. - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Напряженность электрического поля в диапазоне частот 5 Гц– 2 кГц не должна превышать 25 В/м, а в дипазоне частот 2 кГц – 400 кГц не больше 2,5 В/м. - СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Уровень звукового давления не должен превышать 80 дБА. - СН 2.2.4/2.1.8.556–96. Уровень вибрации не должен превышать 77 дБ. - ГОСТ 12.1.005 — 76. В теплый период года оптимальная температура равна 22...25°С, относительная влажность при этом до 55 %, скорость движения воздуха 0,2...0,5 м/с - Следует избегать проведения работ при минусовых температурах и переносить их на более теплое время.
--	--

<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> - механические опасности (источники, средства защиты); - электробезопасность (в том числе, статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); - пожаро-, взрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<ul style="list-style-type: none"> - Механические опасности возникают из-за движущихся машин и механизмов производственного оборудования. - Удар электрическим током может повлечь за собой судороги, ожоги. - Возможные причины пожара: возникновение КЗ в проводке.
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы). 	<ul style="list-style-type: none"> - Бытовые отходы. Отходы, образующиеся при поломке элементов электропривода.
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС на объекте; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<ul style="list-style-type: none"> - Возможные ЧС: пожар. - Пожар. - Устройства оповещения при пожаре. - Соблюдения техники безопасности - Вызвать пожарных.
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<ul style="list-style-type: none"> - Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены. -Использовать необходимое оборудование.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры ЭБЖ	Сечин А.А.	к. т. н. , доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2А1	Кобелев Павел Сергеевич		

6 Социальная ответственность

Безопасность жизнедеятельности представляет собой область научных знаний, охватывающих теорию и практику защиты человека от опасных и вредных факторов в среде обитания, во всех сферах человеческой деятельности, в том числе и на производстве.

С этой точки зрения безопасность жизнедеятельности можно назвать социальной (общественной) безопасностью, т.е. ответственность перед людьми и данными им обещаниями, когда организация учитывает интересы коллектива и общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на заказчиков, поставщиков, работников, акционеров.

Безопасность жизнедеятельности человека определяется характером труда, организацией, организацией рабочего места, наличием опасных и вредных факторов в среде обитания. [22, 27]

В данном разделе рассматриваются опасности при эксплуатации электропривода механизма перемещения грузоподъемных машин ЛТ-62.

6.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

Вредные факторы при эксплуатации электропривода грузоподъемных машин, в основном, связаны:

- с повышением уровня шума,
- с повышением уровня вибрации,
- с превышением электромагнитных излучений,
- с отклонением показателей климата на открытом воздухе.

В дипломной работе рассматривается электропривод механизма перемещения козлового крана ЛТ-62, установленного на открытой территории.

В рабочей зоне осуществляется естественная вентиляция. Основным недостаток - воздух не подвержен предварительной очистки и нагреванию.

Влияние климата на самочувствие человека значимо и существенно, а переносимость температуры во многом зависит от скорости движения и влажности окружающего воздуха.

При длительном пребывании человека в условиях высокой температуры повышаются температура тела, частота сердечных сокращений изменяется, повышается или снижается артериальное давление, нарушаются обменные процессы, особенно водно-солевой, функциональное состояние органов желудочно-кишечного тракта. Одновременно значительно снижается умственная и физическая работоспособность.

Длительное воздействие относительно низких температур воздуха или кратковременные воздействия особенно низких температур вызывают значительные нарушения функционального состояния. Физические нагрузки при пониженных температурах вызывают ухудшение эластичности и сократительной способности мышц и связок, что является одной из причин травматических повреждений опорно-двигательного аппарата.

Человек будет чувствовать себя абсолютно комфортно, если влажность окружающего его воздуха будет колебаться в пределах от 40 до 60%. Это и есть нормальная влажность воздуха. В случаях снижения влажности ниже 40%, практически все здоровые люди начинают испытывать сонливость, рассеянность, ощущать чувство сухости кожи и раздражение слизистых оболочек.

Из наиболее распространенных в производстве вредных факторов являются шум и вибрации. В данной работе следует выделить следующие группы источников:

- шум механического происхождения, возникающий при вибрации поверхностей оборудования, а также при одинарных или периодических ударах в соединениях деталей и или конструкциях;

- шум электромагнитного происхождения, возникающий вследствие колебаний электрических устройств (ротора, статора) под действием переменных магнитных полей.

Шум и вибрация вызывают головную боль, быструю утомляемость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, ухудшается память, снижается реакция. По [31, 40] при выполнении основной работы уровень звука на рабочем месте не должен превышать 80дБА. Источником вибрации является работающий электромашинный агрегат. По [32, 41] уровень вибрации не должен превышать 88 дБ.

Источником электромагнитных излучений являются системы производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии постоянного и переменного тока (0-3 кГц): кабели электропитания, электропроводка, выпрямители и преобразователи тока. Согласно [34] напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В. [34]

Меры защиты от вредных факторов производства:

1 Защита от вибраций:

- Ограничение контакта работника с вибрацией.

2 Защита от шума:

- Применение ушных пробок.

3 Защита от внешнего облучения:

- регламентированные перерывы.

6.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

Опасности при эксплуатации грузоподъёмных машин, в основном, связаны:

- с электрическим током,
- с непреднамеренным контактом человека с движущимися частями оборудования,
- с возможными ударами от падающих предметов при обрыве поднимаемого груза,
- с высыпанием части груза,
- с падением грузоподъемных машин,
- с наездом и ударами при столкновении с передвижными грузоподъемными машинами. [28, 29, 35]

К опасным факторам можно отнести наличие большого количества аппаратуры, использующей электрический ток напряжением 220 В и частотой 50Гц. По опасности электропоражения рабочее место с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием следующих условий: возможности одновременного прикосновения человека к соединенным с землей металлическим частям зданий, технологических аппаратов, механизмов, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования — с другой. [22, 24, 25]

Во время нормального режима работы оборудования опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Поражение человека электрическим током может произойти в следующих случаях:

- прикосновение к токоведущим частям, оголенным проводам, контактам электроприборов, рубильников, предохранителей, находящихся под напряжением;
- прикосновение к частям электрооборудования, металлическим конструкциям сооружений и т.п., в обычном состоянии не находящихся, но

в результате повреждения (пробоя) изоляции оказавшихся под напряжением;

- нахождение вблизи места соединения с землей оборванного провода электросети;
- несогласованные и ошибочные действия персонала (подача напряжения на установку, где работают люди; оставление установки под напряжением без надзора; допуск к работам на отключенном электрооборудовании без проверки отсутствия напряжения и т.д.).

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются:

- изолирование (ограждение) токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- установки защитного заземления;
- наличие общего рубильника;
- своевременный осмотр технического оборудования, изоляции.

[22, 23, 24, 25]

К опасным факторам также относятся движущиеся части машин и механизмов. В качестве механических опасностей обозначаются все физические факторы, которые могут привести к травмам от механического движения деталей машины. Основными видами механических опасностей являются: прижатие или раздавливание; порезы; разрезание или разрубание; защемление или наматывание; втягивание; попадание под удар; поверхностное повреждение или существенное сдирание наружных тканей под действием трения.

Средствами защиты могут служить:

1. Обеспечение недоступности опасной зоны;
2. Уменьшение опасности при помощи специальных приспособлений к которым относятся:

- ограждения (кожухи, козырьки, дверцы, экраны, щиты, барьеры и т. д.);

- предохранительные – блокировочные устройства (механические, электрические, электронные, пневматические, гидравлические и т. д.);
- тормозные устройства (рабочие, стояночные, экстренного торможения);
- сигнальные устройства (звуковые, световые), которые могут встраиваться в оборудование или быть составными элементами. [24, 30]

Опасными факторами также являются:

- опасность опрокидывания крана – возникает при потере краном равновесия, что может повлечь за собой человеческие жертвы, разрушение сооружений и технических устройств. На устойчивость крана влияет также устройство площадок выполнения грузоподъёмных работ. Строгое соблюдение всех норм, определённых в регламенте проведения погрузочно-разгрузочных работ позволяет обеспечивать безопасность опрокидывания крана.

- опасность падения груза - является одной из самых распространённых опасностей при эксплуатации грузоподъёмных машин. Чаще всего эта опасность связана с неправильной строповкой груза, разрывом канатов и неисправности грузозахватных механизмов. Для обеспечения безопасности следует проводить обследование крана и устройств для проведения работ, соблюдать правила строповки и эксплуатации кранов, соблюдать технику безопасности.

6.3 Охрана окружающей среды

Рабочий механизм содержит огромное количество компонентов, которые содержат вредные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);

- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу). [24, 27]

Поэтому электродвигатель требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части подвергаются специально переработке.

В настоящее время ведется создания и внедрения безотходной технологии в ряде отраслей промышленности, однако полный перевод ведущих отраслей промышленности на безотходную технологию потребует решения большого комплекса весьма сложных технологических, конструкторских и организационных задач. [24, 27]

6.4 Расчет устройства защитного заземления

Все передвижные грузоподъемные краны с электроприводом механизмов должны быть заземлены. Заземление выполняют для предупреждения возможного поражения людей электрическим током в случае прикосновения к металлическим частям крана, не являющимися деталями электрооборудования, но случайно оказавшимися под напряжением в результате повреждения изоляции электроцепей.

Заземление — специальная система электрического соединения деталей крана с землей через различные заземляющие устройства. Обязательному заземлению подлежат крановые металлоконструкции, корпуса электроаппаратов, металлические оболочки и защитные трубы электропроводки и кабелей. В зависимости от напряжения и системы энергоснабжения питающей сети применяют различные схемы заземления.

Заземление корпусов крановой электроаппаратуры и двигателей осуществляют надежным электрическим соединением (контакт) с металлоконструкцией крана; для этого на контактирующих поверхностях оставляют зачищенные и неокрашенные места. В свою очередь,

металлоконструкции кранов заземляют через крановый путь, стыки рельсов которого надежно соединяют между собой сваркой, приваркой соединительных перемычек или приваркой к стальным подкрановым балкам для обеспечения надежной непрерывной электрической цепи. Крановые пути, расположенные на открытом воздухе, заземляют соединением их со специальными заземлителями. Величина сопротивления цепи заземления растеканию тока, измеряемая любым прибором, не должна превышать 4 Ом.

Контроль состояния цепи заземления производят одновременно с выполнением работ по ремонту кранового электрооборудования, но не реже одного раза в год.

Исходными данными для расчета защитного заземления служат: напряжение питания электродвигателя 380 В; вертикальные (стержневые) электроды, забиваемые вертикально в землю, выполнены из стальных труб диаметром 6 см с толщиной стенки не менее 3,5 мм, длиной 3,0 м, расстояние между трубами в групповом заземлителе 3 м; горизонтальная соединяющая полоса стальная шириной 4 см; грунт в месте устройства защитного заземления глина.

Лесосклад, где эксплуатируется козловой кран, расположен в III климатической зоне. Естественных заземлителей нет.

Определяем сопротивление стержневого электрода [24]

$$R_{\text{э}} = \frac{\rho \times K_{\text{в}}}{2 \times \pi \times l_{\text{э}}} \times \ln \frac{2 \times l_{\text{э}}}{d_{\text{э}}} + \frac{1}{2} \times \ln \frac{4 \times h_{\text{э}} + l_{\text{э}}}{4 \times h_{\text{э}} - l_{\text{э}}} = \frac{60 \times 1,5}{2 \times \pi \times 3} \times \ln \frac{2 \times 3}{0,06} + \frac{1}{2} \times \ln \frac{4 \times 2 + 3}{4 \times 2 - 3} = 23,87 \text{ Ом} \quad (107)$$

где $l_{\text{э}}$ – длина электрода;

$d_{\text{э}}$ – диаметр электрода;

$h_{\text{э}}$ – глубина заложения электрода;

ρ – удельное сопротивление грунта;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент сезонности.

Определяем предварительно количество электродов

$$n' = \frac{R_{\text{э}}}{R_{\text{доп}}} = \frac{23,87}{4} = 5,968 \quad (108)$$

Зная расположение электродов (в ряд), отношение расстояния между электродами к их длине

$$\frac{a}{l_{\text{э}}} = \frac{3}{3} = 1, \quad (109)$$

и предварительное количество электродов, определяем коэффициент использования электродов [21] $\eta_{\text{э}} = 0,72$.

Определяем окончательно потребное количество электродов

$$n = \frac{R_{\text{э}}}{R_{\text{доп}} \times \eta_{\text{э}}} = \frac{23,87}{4 \times 0,63} = 9,472 \quad (110)$$

Принимаем 10 электродов.

Длина соединительной полосы, при расположении электродов в ряд, определяется по формуле;

$$l_{\text{н}} = a \times (n-1) = 3 \times (10-1) = 27 \text{ м.} \quad (111)$$

Определяем сопротивление соединительной полосы:

$$R_{\text{п}} = \frac{\rho \times K_{\text{в}}}{2 \times \pi \times d_{\text{п}}} \times n \times \frac{2 \times l_{\text{п}}^2}{h_{\text{п}} \times b} = \frac{60 \times 1,5}{2 \times \pi \times 21} \times n \times \frac{2 \times 27^2}{0,5 \times 0,04} = 53,461 \text{ Ом.} \quad (112)$$

Определяем общее сопротивление контура защитного заземления

$$R_{\text{а}} = \frac{R_{\text{э}} \times R_{\text{п}}}{R_{\text{э}} \times \eta_{\text{п}} + R_{\text{п}} \times \eta_{\text{э}} \times n} = \frac{23,87 \times 53,461}{23,87 \times 0,72 + 53,461 \times 0,63 \times 10} = 3,605 \text{ Ом.} \quad (113)$$

Производим проверку выполнения условия

$$R_{\text{а}} \leq R_{\text{н}} \\ 3,605 \leq 4$$

Так как сопротивление заземляющего устройства меньше допустимого значения, то данную конструкцию устройства заземления принимаем к установке.

6.5 Защита в чрезвычайных ситуациях

Рабочий механизм, который рассматривается в работе, имеет электропроводку напряжением 220 вольт, предназначенную для питания электродвигателя. При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической цепи может произойти возгорание, которое грозит уничтожением техники, документов и другого имеющегося оборудования.

Данное рабочее место относится к категории ДН (установка относится к категории ДН, если в ней присутствуют (хранятся, перерабатываются, транспортируются) в основном негорючие вещества и (или) материалы в холодном состоянии и если по перечисленным выше критериям она не относится к категории АН, БН, ВН или ГН). [24, 26]

Необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия:

- организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;
- эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;
- технические и конструктивные, связанные с правильные размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

[24, 26]

Организационные мероприятия:

1. Противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
2. Обучение персонала правилам техники безопасности;
3. Издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

1. Соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
2. Обеспечение свободного подхода к оборудованию;
3. Содержание в исправном состоянии изоляции токоведущих проводников.

К техническим мероприятиям относится соблюдение противопожарных требований при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения.

Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться огнетушители углекислотные типа ОУ-2, или порошковые типа ОП-5. Кроме устранения самого очага пожара нужно, своевременно, организовать эвакуацию людей.

6.6 Законодательное регулирование проектных решений

Обеспечение безопасности на рабочем месте подразумевает собой различные правовые и организационные решения.

Для осуществления практической деятельности в области обеспечения безопасности жизнедеятельности необходимо соблюдение нормативов и правил ведения соответствующих работ, позволяющие их обеспечить. Соблюдение рабочего режима, правил ведения работ и т.д.

При решении организационных вопросов следует учитывать антрометрические данные работника.

В течение рабочего дня (смены) работникам в соответствии со ст. 108 [21] предоставляется перерыв для отдыха и питания продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается. Такой перерыв получил название "перерыв на обед", или "обеденный перерыв".

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был разработан частотно-регулируемый асинхронный двухдвигательный электропривод механизма передвижения крана козлового, с реализацией синхронизации скорости движения опор.

В процессе проектирования были изучены вопросы назначения крана его характеристики технические его схема кинематическая, так же особенности козлового крана ЛТ-62. На основании данных была рассчитана нагрузка и выбран двигатель асинхронный АМТКФ132М6 мощностью которого равна 7,5 кВт и частотный преобразователь Schneider Electric Altivar 71. Рассчитаны параметры схемы замещения двигателя и получены его характеристики статические.

С помощью программы Matlab на основании модели математической двухфазной в неподвижной системе координат d, q была разработана модель имитационная двухдвигательного электропривода частотно-регулируемого, которая включает в себя S-образный задатчик интенсивности, контура тока, скорости и потокосцепления, механическую часть и два двигателя.

С использованием модели были проведены всесторонние исследования электропривода двухдвигательного, в результате исследований было установлено, что синхронизацию скорости вращения этих двух двигателей опеспечивает векторное управление с обратными связями по скорости по каждому электродвигателю.

Был сделан расчет и проведен анализ технико-экономических показателей, а так же рассчитан годовой эффект экономический от использования электропривода двухдвигательного. Данный привод дает положительный экономический эффект, что позволяет сократить число персонала обслуживающего, а значит, уменьшиться фонд оплаты труда.

В разделе «Социальная ответственность» проанализированы и определены вредные и опасные факторы среды, воздействия негативные на среду окружающую, чрезвычайные ситуации при работе в процессе эксплуатации привода козлового крана.

Список литературы

1. Байбутанов Б.К. Многодвигательный асинхронный электропривод согласованного вращения: Магистерская диссертация. – Алматы; 2013.
2. Теличко Л.Я. Ограничение динамических нагрузок электромеханических систем группы общепромышленных механизмов на металлургических предприятиях: Дисс.докт.техн.наук. – М.; 2006.
3. Теличко Л.Я., Корчагин А.А. Разработка и исследование оптимальной системы двухдвигательного электропривода механизма опрокидывания: Дисс.докт.техн.наук. – Л.; 2011.
4. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.kadrovik.ru/docs/pgosgortehnantsora31.12.99n98.htm>. – Загл. с экрана.
5. Лой В.Н., Протас П.А., Завойских Г.И. Лесоскладское грузоподъемное оборудование: учеб.метод. пособие для студентов. – Мн.: БГТУ, 2005. – 102 с.
6. Коломинова М. В. Грузоподъемное оборудование для нижнескладских работ: МУ к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Технологические процессы и оборудование лесозаготовительного производства» /М. В. Коломинова. – У.: УГТУ, 2013. – 54 с.
7. Иванченко Ф. К., Красношарпа В. А. Динамика металлургических машин. – М.: Металлургия, 1983. – 295 с.
8. Проектирование электроприводов крановых механизмов. Техническая коллекция Schneider Electric. Выпуск № 12, февраль 2009.
9. Казак С.А., Дусье В.Е., Кузнецов и др./Курсовое проектирование грузоподъемных машин. Учебное пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов; Под ред. Казака С.А. – М.: Высшая школа, 1989. - 319 с.: ил.

10. Приводы машин: справочник / Длоугий В.В., Муха Т.И., Цупиков А.П., Януш Б.В.; под общ. ред. Длоугого В.В. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1982. – 383 с.
11. Крановые электродвигатели серии ДМТ и АМТ [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.escomotors.ru/sites/default/files/kr_eldv.pdf. – Загл. с экрана.
12. Электрический привод: учебно-методическое пособие / Качин С.И., Чернышев А.Ю., Качин О.С.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 157 с.
13. Преобразователи частоты Altivar 71. Каталог 09 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.tesli.com/file/catalogue/schneider-electric/schneider-electric-altivar-71.pdf> – Загл. с экрана.
14. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В.. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 164 с.
15. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В.. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 7. Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 164 с.
16. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В.. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 7. Механическая система электропривода: учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 164 с.
17. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Технико-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.

18. Коршунова Л.А., Кузьмина Н.Г. Экономика предприятия и отрасли (в электроэнергетике): учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010.
19. Непомнящий Е.Г. Инвестиционное проектирование: учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003.
20. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция), утверждено Министерство экономики РФ, Министерство финансов РФ № ВК 477 от 21.06.1999 г. [Электронный ресурс]. - Режим доступа. - <http://www.cfin.ru/>
21. Трудовой кодекс. – М.: Проспект, 2014. – 112 с.
22. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – СПб.: ДЕАН, 1999. – 320 с.
23. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. с изм. и дополн. – СПб, 2002. – 123 с.
24. Безопасность жизнедеятельности. Под ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 2002. – 357с.
25. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. 2014г.
26. Основы противопожарной защиты предприятий ГОСТ 12.1.004 и ГОСТ 12.1.010 – 76.
27. Охрана окружающей среды. Под ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 1991.
28. ГОСТ 12.2.003-91 – 92. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
29. ГОСТ 12.3.009-76 – 77 ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования.
30. ГОСТ 12.4.026-76 – 78. Света сигнальные и знаки безопасности. Общие требования безопасности.
31. ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

32. ГОСТ 12.1.012 –90 ССБТ Вибрационная болезнь. Общие требования.
33. ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
34. ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
35. Р 2.2.2006 – 05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М.: Минздрав России, 2006.
36. СНиП 3.05.06-85 – 88. Электротехнические устройства.
37. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003.
38. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.
39. СанПиН 2.2.4.1191 – 03. Электромагнитные поля в производственных условиях. М.: Минздрав России, 2003.
40. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
41. СН 2.2.4/2.1.8.566. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 1997.