

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Частотно-регулируемый электропривод подъемной лебедки мостового крана

УДК 621.874-83

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Закиев Рамиль Дамирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук И.В.	К.Т.Н., ДОЦЕНТ		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. зав. кафедрой-руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	К.Т.Н.		

Томск – 2020 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> .
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .

Инженерная школа энергетики
 Отделение Электроэнергетики и электротехники
 Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)
 Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:
 И. о. зав. кафедрой- руководителя
 ОЭЭ ИШЭ
 _____ А.С. Ивашутенко
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Закиеву Рамилю Дамировичу

Тема работы:

Частотно-регулируемый электропривод подъемной лебедки мостового крана	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№58-27/с от 27.02.2020г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик; безопасность и экологичность проекта; экономическая часть; заключение.
Перечень графического материала	Функциональная схема и имитационная модель электропривода Динамические характеристики электропривода

	Статические характеристики электродвигателя и электропривода Технико-экономические показатели
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.03.2020г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н.		20.03.2020г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Закиев Рамиль Дамирович		20.03.2020г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.05.2020	Основная часть	60
15.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
18.05.2020	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Техническое задание

Разработать регулируемый электропривод мостового крана грузоподъемностью 20 тонн, удовлетворяющий следующим техническим требованиям и характеристикам.

1. Режим работы – повторно-кратковременный.
2. Электропривод реверсивный, диапазон регулирования $D = 1:20$.
3. Погрешность поддержания заданной частоты не более 10 % на нижней рабочей скорости.
4. Управление электроприводом - ручное, с пульта управления обслуживающим персоналом, в автоматизированном режиме поддержания давления с перспективой интеграции в систему управления более высокого уровня.
5. Электродвигатель должен быть предназначен для работы в условиях повышенной температуры, иметь закрытое исполнение со степенью защиты не ниже IP21.
6. Преобразователь должен быть предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающего воздуха от 5° до 45°C и относительной влажности не более 80% , степень защиты не ниже IP21.
7. Система управления электроприводом должна обеспечивать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания.
8. Сеть трёхфазная, $380 \pm 10\% \text{ В}$, $50 \pm 1 \text{ Гц}$.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 119 страниц, 29 рисунка, 19 таблиц, 36 используемых источников, 2 приложения .

Мостовой кран, асинхронный частотно – регулируемый электропривод, преобразователь частоты, система автоматического управления, статические и динамические характеристики.

Объектом модернизации является электропривод мостового крана грузоподъемностью 20 тонн.

Цель работы - разработка частотно регулируемого электропривода в соответствии с требованиями технического задания и исследование его работы методом моделирования на ЭВМ.

В ходе работы был разработан электропривод, удовлетворяющий условиям технического задания.

ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010, статическом редакторе Microsoft Excel 2010, графическом редакторе Visio 2010 SP1. Расчёты производились с помощью пакета прикладных программ MathCAD 2010 Professional Rus. Имитационное моделирование электропривода выполнено с помощью пакета программ MatLab 8.1.

Содержание

Введение.....	10
1 Технологическая часть	12
1.1 Описание промышленной установки и анализ технологического процесса	12
1.2 Анализ кинематической схемы, определение параметров и проектирование расчетной схемы механической части электропривода	19
2 Выбор системы электро привода и автоматизация промышленной установки.....	21
2.1 Предъявляемые требования к автоматизированному электроприводу и системе автоматизации.....	23
2.2 Определение возможных вариантов и выбор рациональной системы электропривода.....	25
3 Выбор элементов силового канала электропривода и расчет параметров ..	26
3.1 Выбор электродвигателя и расчет параметров	26
3.1.1 Расчетные параметры электродвигателя	29
3.1.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя по каталожным данным	30
3.1.3 Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик электродвигателя.....	35
3.2 Механическая система электропривода подъема	39
3.2.1 Параметры элементов механической системы привода	39
3.3 Определение заданной области работы	41
3.4 Выбор преобразователя частоты	43
3.4.1 Параметры преобразователя частоты	44
4 Разработка и исследование систем электропривода с векторным управлением.....	46
4.1 Разработка имитационной модели регулируемого электропривода с векторным управлением.....	46
4.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода мостового крана с векторным управлением.....	59
4.2.1 Программа исследований электропривода.....	59
4.3 Исходные параметры настройки САР РЭП.....	60
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	72
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	73
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	74
5.1.1 Анализ конкурентных технических решений	74
5.1.2 SWOT анализ	76
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	79
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	79

5.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	81
5.3	Бюджет исследовательской работы	87
5.3.1	Материальные затраты ИП	88
5.3.2	Расчет амортизации специального оборудования	88
5.3.3	Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	90
5.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	93
5.3.5	Накладные расходы.....	93
5.4	Определение ресурсоэффективности исследования	94
	ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	99
6	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	100
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	101
6.1.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	101
6.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	102
	Производственная безопасность.....	103
6.2.1	Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования	103
6.2.2	Анализ опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования	106
6.3	Экологическая безопасность.....	107
6.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	108
	Заключение	110
	Список использованных источников	113
	Приложение	116

ВВЕДЕНИЕ

Крановое оборудование является одним из основных средств комплексной механизации всех отраслей народного хозяйства. Расширение отрасли машиностроения, занимающейся производством грузоподъемных машин, является важным направлением развития народного хозяйства для решения задачи всемерного сокращения и ликвидации тяжелого ручного труда.

В настоящее время грузоподъемные машины выпускаются большим числом заводов во многих отраслях народного хозяйства и эти машины используются практически во всех сферах народного хозяйства: при добыче полезных ископаемых, в металлургии, машиностроении, строительстве, на транспорте и др. Подавляющее большинство грузоподъемных машин, изготавливаемых отечественной промышленностью, имеет электрический привод основных рабочих механизмов и поэтому эффективность действия этих машин в значительной степени зависит от качественных показателей используемого кранового электрооборудования.

Электропривод большинства грузоподъемных машин характеризуется повторно-кратковременным режимом работы при большой частоте включений, широком диапазоне регулирования скорости и постоянно возникающих значительных перегрузках при разгоне и торможении механизмов. Особые условия использования электропривода в грузоподъемных машинах явились основой для создания специальных серий электрических двигателей и аппаратов кранового исполнения. В настоящее время крановое электрооборудование имеет в своем составе серии крановых электродвигателей переменного и постоянного тока, серии силовых и магнитных контроллеров, командоаппаратов, кнопочных постов, конечных выключателей, тормозных электромагнитов и электрогидравлических толкателей, пускотормозных резисторов и ряд других аппаратов, комплектующих различные крановые электроприводы.

В крановом электроприводе начали довольно широко применяться различные системы тиристорного регулирования и дистанционного управления по радиоканалу или одному проводу.

Для обеспечения механизированной транспортировки ферромагнитных материалов промышленностью изготавливается две серии грузоподъемных электромагнитов. Производство кранового электрооборудования стало одной из важнейших отраслей электротехнической промышленности.

Для проведения практических инженерных расчетов в настоящее время созданы и внедрены в практику новые прогрессивные и доступные для широкого круга работников методы проектирования большинства крановых электроприводов, отражающие современные направления оптимизации систем и их технико-экономического обоснования.

Среди направлений повышения эффективности использования кранового оборудования можно выделить два основных: снижение энергопотребления и повышение надежности. Использование частотно-регулируемого электропривода на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором позволяет решить обе задачи достаточно невысокими затратами и является на сегодняшний день наиболее эффективным способом модернизации кранового оборудования. Преимуществами применения частотно-регулируемого электропривода по сравнению с другими схемами управления двигателями являются:

- повышение качества и значительная рационализация системы управления;
- автоматическое передвижение груза по заданной программе, т.е. введение крана в систему АСУ ТП;
- возможность согласованного действия нескольких кранов по заданной программе, например при монтажно-сборочных работах;
- увеличение надежности и срока службы как самого привода, так и всех его механизмов;

- упрощение процесса обслуживания;
- экономия электроэнергии;
- создание предпосылок для дальнейшего совершенствования как самих кранов, так и систем управления: введение дистанционного управления, ликвидация приборов контроля грузоподъемности, снижение передаточного отношения редуктора, ликвидация полиспастов и т.д.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка и исследование электропривода механизма подъема мостового крана грузоподъемностью 20 т.

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 ОПИСАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Мостовой кран - кран мостового типа, мост которого опирается на надземный рельсовый крановый путь, а грузозахватный орган подвешен к грузовой тележке или электротали, перемещающейся по мосту. Мостовые краны общего назначения изготавливают грузоподъемностью до 320т, специального назначения - до 630 т, пролёты - 60 м, высота подъёма - 50 м.

Краны общего назначения используют при монтаже оборудования, производстве ремонтных работ, для технологических работ в цехах основного производства, на складах, при перегрузочных работах.

Металлоконструкция мостового крана состоит из двух основных частей: моста и тележки. Мост перекрывает рабочий пролёт производственного помещения или склада. Он состоит из двух главных и двух концевых балок. Через ходовые колёса механизма передвижения мост опирается на надземные крановые рельсы. Последние закреплены на подкрановых балках, смонтированных на консолях колонн здания или крановой эстакады. Колёса приводятся через передаточный механизм одним или двумя электродвигателями. Ходовые колёса кранов выполняют

двухребордными либо безребордными с горизонтальными направляющими роликами. На главных балках закреплены рельсы, по которым перемещается тележка с помощью своего привода. На её раме размещены один или два механизма подъёма груза, каждый из которых состоит из крюковой подвески, канатного полиспаста, барабана, передаточного механизма, тормоза и электродвигателя. Механизмами крана управляют из кабины, подвешенной к металлоконструкции моста, что позволяет иметь наилучший обзор и безопасность работы, а при необходимости - на тележке (имеет возможность автономно перемещаться вдоль пролёта крана).

При работе крана направления движения крана, тележки и крюка постоянно чередуются. Работа механизма подъёма состоит из периодов подъёма и опускания груза и периодов подъёма и опускания пустого крюка. Для увеличения производительности крана используют совмещение операций, например одновременное передвижение крана и тележки. Во время навешивания груза на крюк и освобождения крюка двигатель отключён и механизм подъёма не работает.

По назначению разнообразные грузоподъемные машины можно объединить в три группы:

- Универсальные грузоподъемные машины - краны, лебедки, тали, служащие для подъема и перемещения различных грузов при помощи крюкового подвеса на грузовом тросе;

- Грузоподъемные машины для выполнения определенных технологических операций в промышленности, на транспорте и в строительстве;

- Краны для выполнения строительных, монтажных и ремонтных работ, связанных с перемещением машинного оборудования.

В свою очередь, по условиям работы грузоподъемные машины могут быть условно разделены на следующие группы:

машины универсального назначения, используемые для работы в помещениях при повторно-кратковременном режиме и средней продолжительности работы до 16 ч в сутки;

машины универсального назначения, используемые для работы в помещениях при повторно-кратковременном режиме и средней продолжительности работы от 8 до 24 ч в сутки;

машины для выполнения определенных технологических операций, используемые как в помещениях, так и на открытом воздухе при повторно-кратковременном режиме и продолжительностью работы до 24 ч в сутки;

машины для выполнения разовых и эпизодических грузоподъемных операций, используемые в кратковременных и в повторно-кратковременных режимах с общим годовым числом часов работы не более 500.

Универсальные грузоподъемные машины изготавливаются с учетом различных условий использования по нагрузке и времени работы, интенсивности проведения операций, степени ответственности операций и в связи с этим могут быть дополнительно отнесены к нескольким усредненным категориям использования.

Механизмы для выполнения определенных технологических операций, а также механизмы для эпизодической работы имеют вполне определенные условия использования соответственно их назначению. С целью систематизации всего многообразия режимов работы грузоподъемных машин Госгортехнадзор установил следующие категории режимов работы механизмов с машинным приводом: легкий - Л; средний - С; тяжелый - Т; весьма тяжелый - ВТ.

Ряд кранов, предназначенных для технологических комплексов, в последнее время проектируется для использования при более сложных режимах работы электропривода по сравнению с режимом ВТ, определяемым действующей классификацией Госгортехнадзора. Этот режим характеризуется продолжительностью включения до ПВ=100% при числе включений в час 600 и выше. Для этих случаев вводится новая категория

режима: особо тяжелый - ОТ. В настоящее время существует стандарт, предусматривающий пять категорий режимов, включая режим ОТ.

Скорости перемещения грузов определяют производительность и мощность механизмов и выбираются с учетом эффективности выполнения грузоподъемных операций, т.е. получения необходимого времени операции при наименьшей первоначальной стоимости механизмов крана. Выбор оптимальной скорости является важной задачей, необходимое решение которой может быть найдено только на основе учета факторов производительности, затрат энергии, возможности и эффективности регулирования скорости, а также технико-экономической оценки системы регулирования.

За последние годы были проведены исследования, связанные с оптимизацией скоростных параметров быстроходных грузоподъемных машин. В результате этих исследований установлено, что при повышении скоростей до определенных пределов производительность машин растет вместе со скоростью, однако при дальнейшем повышении скоростей может произойти снижение производительности за счет увеличения времени разгона и торможения механизмов крана.

Анализ скоростных параметров показывает, что для каждого вида механизмов (подъема, поворота и горизонтального перемещения) имеются пределы скоростей, превосходить которые нецелесообразно.

Скорости грузоподъемных механизмов выбираются исходя из следующих предпосылок:

номинальная скорость определяется условиями технологического процесса, т.е. временем выполнения цикла;

номинальная скорость ограничивается мощностью питающей сети или возможностью установки приводного двигателя определенных размеров;

номинальная скорость является функцией диапазона регулирования при заданной минимальной скорости механизма.

номинальная скорость должна обеспечить наибольшую производительность при наименьших затратах энергии.

Для всех перечисленных случаев, кроме первого, предельное значение скорости не должно превышать установленных значений, а для четвертого случая это значение и является искомым. Для первого случая скорость может иметь любое необходимое значение, но при этом следует иметь в виду, что при превышении определенных значений скоростей время операции сокращаться не будет, если не будут применены системы со специальными параметрами регулирования.

При выборе номинальной скорости иногда решающее значение имеют минимальные скорости, определяемые технологией переработки разнообразных грузов. В настоящее время для большинства технологических процессов переработки грузов получены оптимальные значения минимальных скоростей для точной установки грузов.

Выбор промежуточных фиксированных скоростей, прежде всего, зависит от способностей человека воспринять разницу скоростей соседних фиксированных положений и на основе восприятия этой разницы осуществлять последующие операции управления. Регулирование скорости механизмов горизонтального перемещения в промежутке между максимальной и минимальной скоростями часто осуществляется путем изменения интенсивности разгона или торможения с учетом необходимых ускорений.

Производительность и число включений в час грузоподъемных машин неразрывно связаны со скоростными параметрами. Производительность машин соответствует времени завершения операции по переработке груза. Сокращение времени одной операции при определенной траектории движения груза определяет повышение производительности машины. Каждая машина может иметь фактический или условный цикл проведения грузоподъемной операции.

Под полным циклом грузоподъемной операции следует иметь в виду застроповку груза, выбор слабины каната, подъем груза и его перемещение в необходимую точку, спуск и установку груза, расстроповку и обратное перемещение для начала новой операции. При этом механизмы грузоподъемного устройства имеют минимально необходимое обязательное число включений. Однако по разным причинам в течение цикла оператор производит еще ряд дополнительных включений, связанных с несовершенством системы регулирования, колебаниями груза на гибкой подвеске, недостаточным опытом управления и т.п. Количество таких дополнительных включений может в 2-4 раза превысить число необходимых включений.

Важной задачей разработки высокоэффективных грузоподъемных машин является приближение фактического числа включений к минимально необходимому. В настоящее время наиболее качественные системы регулирования позволяют обеспечить выполнение операций со средним числом включений лишь в 1,5 раза большим минимально необходимого, в то время как наиболее массовые системы параметрического регулирования требуют до 20-30 включений на один цикл перемещения груза, что в 5-6 раз превышает минимально необходимое число включений. Число включений в час у различных механизмов может составлять от 40-60 при режиме Л; до 500-600 - для режима ВТ. При создании и освоении производства систем управления, обеспечивающих устойчивые скорости с широким диапазоном их изменения, происходит общая тенденция снижения числа включений механизмов при одновременном повышении производительности перегрузочных работ.

В данном проекте мы выбираем двухбалочный мостовой кран, который относится к среднему режиму работы с грузоподъемностью до 20 тонн, который осуществляет подъем и перемещение грузов в ремонтно-механических и сборочных цехах со следующим циклом работы:

1. Подъём номинального груза с номинальной скоростью на расчетную высоту;
2. Пауза (перемещение груза в заданное место);
3. Опускание номинального груза с расчетной высоты на нулевую отметку с номинальной скоростью;
4. Пауза (разгрузка);
5. Подъём пустого крюка на расчетную высоту с повышенной скоростью;
6. Пауза (перемещение крана в исходное положение);
7. Опускание пустого крюка с расчетной высоты на нулевую отметку с повышенной скоростью;
8. Пауза (загрузка).

**1.2 АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И
ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ
ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Кинематическая схема представлена на рисунке 1 и ее параметры в таблице №1

Таблица №1

Наименование, ед. изм.	Обозначение	Значение
Грузоподъемность, т	$m_{гр}$	15
Масса грузозахватывающего устройства, кг	m_y	600
Высота подъема, м	h	16,5
Максимальная скорость подъема, м/с	V_{\max}	0,3
Барабан		
Диаметр, м	D_{δ}	502
Момент инерции барабана, кгм ²	J_{δ}	1200
Редуктор		
Номинальный к. п. д. передачи		0,9
Передаточное число редуктора	$i_{ред}$	32,4
Кратность полиспаса	i	4

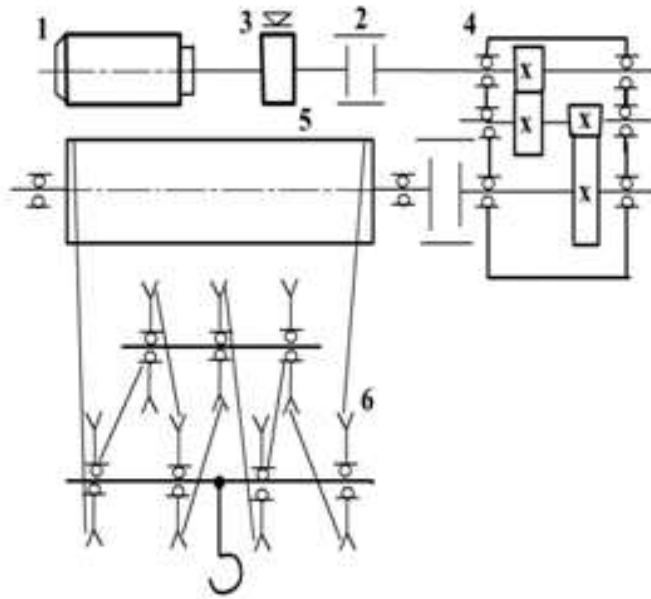


Рисунок 1 - Кинематическая схема механизма подъема

где:

- 1 - электродвигатель;
- 2 - муфта;
- 3 - тормоз;
- 4 - редуктор;
- 5-барабан;
- 6 - полиспаст.

2 ВЫБОР СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРО ПРИВОДА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ

Значительная роль в осуществлении комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, ликвидации ручных погрузочно-разгрузочных работ принадлежит подъемно-транспортному машиностроению. Существенное сокращение тяжелого труда при перегрузочных работах осуществляется главным образом путем автоматизации грузозахватных операций, точной установки грузов, а также автоматизации процессов управления грузоподъемными машинами. Поскольку эти задачи решаются с помощью электропривода, то значение совершенствования и внедрения современных электроприводов постоянно возрастает.

В крановом электроприводе в настоящее время широко применяют как полностью тиристорные системы регулирования, так и различные неуправляемые и управляемые полупроводниковые выпрямители, а также отдельные силовые полупроводниковые приборы, что позволяет при сравнительно невысоких затратах получать системы с достаточно значительным регулированием скорости перемещения механизмов. Для сокращения эксплуатационного персонала применяют системы управления грузоподъемными машинами, в частности кранами, по радиоканалу (дистанционно). В этих системах максимальный эффект достигается также при обеспечении устойчивого регулирования скорости.

Основное внимание уделяется новым методам выбора электрооборудования для кранов с учетом уже введенной новой классификации нагружения механизмов и электрооборудования, а также новым системам управления, включая управление по радиоканалу, и различным системам регулирования скорости.

Механизмы подъема мостовых кранов относятся к механизмам циклического действия с активной нагрузкой. В общем случае цикл работы

этих механизмов определяется технологическим процессом, но на выбор приводных двигателей существенное влияние оказывают динамические режимы: пуск, реверс, торможение.

подавляющее большинство грузоподъемных машин, изготавливаемых отечественной промышленностью, имеет электрический привод механизмов, и поэтому эффективность действия и производительность этих машин в значительной степени зависят от качественных показателей используемого кранового электрооборудования. Для наиболее массовых кранов общего назначения начинают широко применяться электроприводы на основе короткозамкнутых двигателей, значительная часть кранов изготавливается с управлением с пола, а быстроходные краны для тяжелых режимов работы комплектуются различными тиристорными системами, обеспечивающими глубокое регулирование скорости, плавность пуска и торможения при постоянно повышающихся требованиях к экономии энергоресурсов.

Большинство грузоподъемных кранов характеризуется постоянно меняющимися условиями использования при переработке грузов, и поэтому механизмы кранов, имеющие в своем составе электроприводы, должны быть в максимальной степени приспособлены к постоянно видоизменяющейся работе с грузами, разнообразными по массе, размерам, форме, и в условиях производственных помещений или на открытых грузовых площадках.

Чрезвычайно широкий диапазон изменения нагрузок практически любого из крановых электроприводов является одним из главных факторов, требующих особого подхода к выбору расчетных параметров приводных электродвигателей, аппаратуры управления и защиты.

2.1 ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ЭЛЕКТРОПРИВОДУ И СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ

При выборе структуры электропривода следует учитывать особенности технологического процесса, требования надежности, гибкости в управлении, удобства наладки. К электроприводам механизмов подъема мостовых кранов, которые в большинстве случаев управляются оператором, предъявляются жесткие требования к простоте их эксплуатации и надежности при обеспечении необходимого диапазона регулирования скорости. Диапазон регулирования при подъеме и опускании номинального груза определяется минимальной скоростью при посадке грузов. Величина этого диапазона зависит от технологического процесса и номинальной грузоподъемности крана. Так, для кранов грузоподъемностью более 20 тонн среднего режима работы диапазон регулирования $D_{20}:1$, 1,5-2 раза больше, чем скорость при подъеме номинального груза. Важным требованием для электроприводов указанного класса является плавное изменение скорости в переходном процессе, что резко снижает рывок и, следовательно, уменьшает амплитуду раскачивания груза.

Для выполнения отмеченных требований система управления электроприводом должна быть полу- или полностью автоматической, особенно при работе в переходных режимах.

Основные требования к системе электропривода мостового крана можно сформулировать так:

На первых положениях контроллера подъема двигатель должен развивать такой пусковой момент, чтобы исключалась возможность спуска номинального груза при напряжении питающей сети 90% номинального и в то же время желательная минимальная скорость составляла при наименьшей нагрузке не более 30% номинального значения.

При перемещении рукоятки командоконтроллера в направлении снижения скорости последняя не должна повышаться даже кратковременно.

Это в первую очередь относится к переключению с первого положения в нулевое, когда запаздывание механического торможения не должно приводить к повышению малой скорости спуска.

Система электрического торможения должна иметь необходимый запас, обеспечивающий надежное замедление груза, равного 125% номинального, при напряжении питающей сети 90% номинального.

Движение груза должно происходить только в направлении, устанавливаемом командоаппаратом, да же при неисправностях в схеме. В последнем случае груз может оставаться неподвижным.

Выбор системы электропривода для крановых механизмов осуществляется на основе анализа сравнительных показателей.

Экономическая оценка систем электропривода должна базироваться на принципе минимальных расходов, связанных с первоначальными затратами, эксплуатационными затратами на ремонт, а также затратами энергии, потребляемой из сети на разгон и торможение крановых механизмов за период эксплуатации до капитального ремонта (10 лет).

Экономическая оценка может быть осуществлена расчетом по определённой методике. Выбирается система, обладающая наилучшими экономическими показателями. Если экономические показатели сравниваемых систем близки (расхождение не превышает 15%), то производится дополнительная оценка по массогабаритным показателям и условиям размещения электрооборудования. Существенным требованием к электроприводу механизма подъёма является обеспечение надежного торможения при действии активного момента нагрузки. При этом, в целях энергосбережения, целесообразно применять рекуперативное торможение, особенно при мощностях двигателей более 30 кВт.

2.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Для регулируемых крановых электроприводов с диапазоном регулирования скорости более 20: 1 наиболее применимы следующие системы электропривода:

1. Система с тиристорным преобразователем напряжения (система ТП-Д);
2. Система с тиристорным регулятором напряжения (ТРН-АД);
3. Система с преобразователем частоты (система ПЧ-АД);
4. Система с асинхронным двигателем и импульсным регулятором в цепи выпрямленного тока без рекуперации энергии скольжения (система АД-ИР);
5. Система с асинхронным двигателем и импульсным регулятором в цепи выпрямленного тока с рекуперацией энергии скольжения в сеть (система АД-ИР-И).

В этой работе выполнен сравнительный анализ энергетических и экономических показателей названных систем крановых электроприводов, причем более эффективной считается та система электропривода, которая потребляет меньше электроэнергии при выполнении единицы механической работы технологического цикла.

В цикл работы крана входят этапы подъема груза, перемещения его на необходимое расстояние, опускания груза и пауза для строповки. Задана стандартная продолжительность включения ПВ=40%, причем в цикле работы имеются участки движения с пониженной скоростью.

При определении рациональных границ применения системы электропривода следует оценивать не только энергетические показатели сравниваемых систем, но и годовые приведенные затраты.

Исходя из того, что рассматриваемый нами кран, который осуществляет подъем и перемещение грузов в ремонтно-механических и

сборочных цехах, относится к среднему режиму работы с грузоподъемностью до 20 тонн с мощностью двигателя механизма подъема более 55 кВт и диапазоном регулирования D20:1, то на основании изложенного можно обоснованно принять в качестве рациональной системы электропривода подъема мостового крана систему ПЧ-АД.

Кроме того, следует учесть, что система ПЧ-АД лучше приспособлена для реализации дистанционного телемеханического управления, чем другие системы электропривода.

3 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ

3.1 ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ

Частотные преобразователи используются с асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором. Зачастую разработчики или изготовители кранов, модернизируя крановый электропривод, применяют для частотно-регулируемого электропривода традиционные электродвигатели крановой серии, имеющие роторы специального исполнения, залитые сплавом повышенного сопротивления. Это продиктовано, в первую очередь, требованиями обеспечения повышенного момента в процессе частых пусков. Для создания удовлетворительного теплового режима принимаются специальные меры по снижению кратности пусковых токов, увеличивается расход активных материалов. Все это приводит к увеличению массы и стоимости двигателя. Система изоляции и подшипниковые узлы серийных двигателей не приспособлены для работы с преобразователями частоты, что приводит к преждевременному выходу из строя обмоток статора, выплавлению стержней ротора, разрушению подшипников и датчиков положения, применяющихся в электроприводе главного подъема. Система управления получается нерациональной из-за

необходимости применения более мощных преобразователей частоты и двигателей больших габаритов. Очевидно, что для частотно-регулируемого электропривода необходимо применять специальные двигатели.

С учетом вышесказанного, для электропривода механизма подъема крана выбираем асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором крановой серии типа 5АИ280S8, адаптированный для работы от преобразователя частоты, представлен на рисунке №2 и его типоразмер на рисунке №3



Рисунок 2 - Двигатель 5АИ280S8.

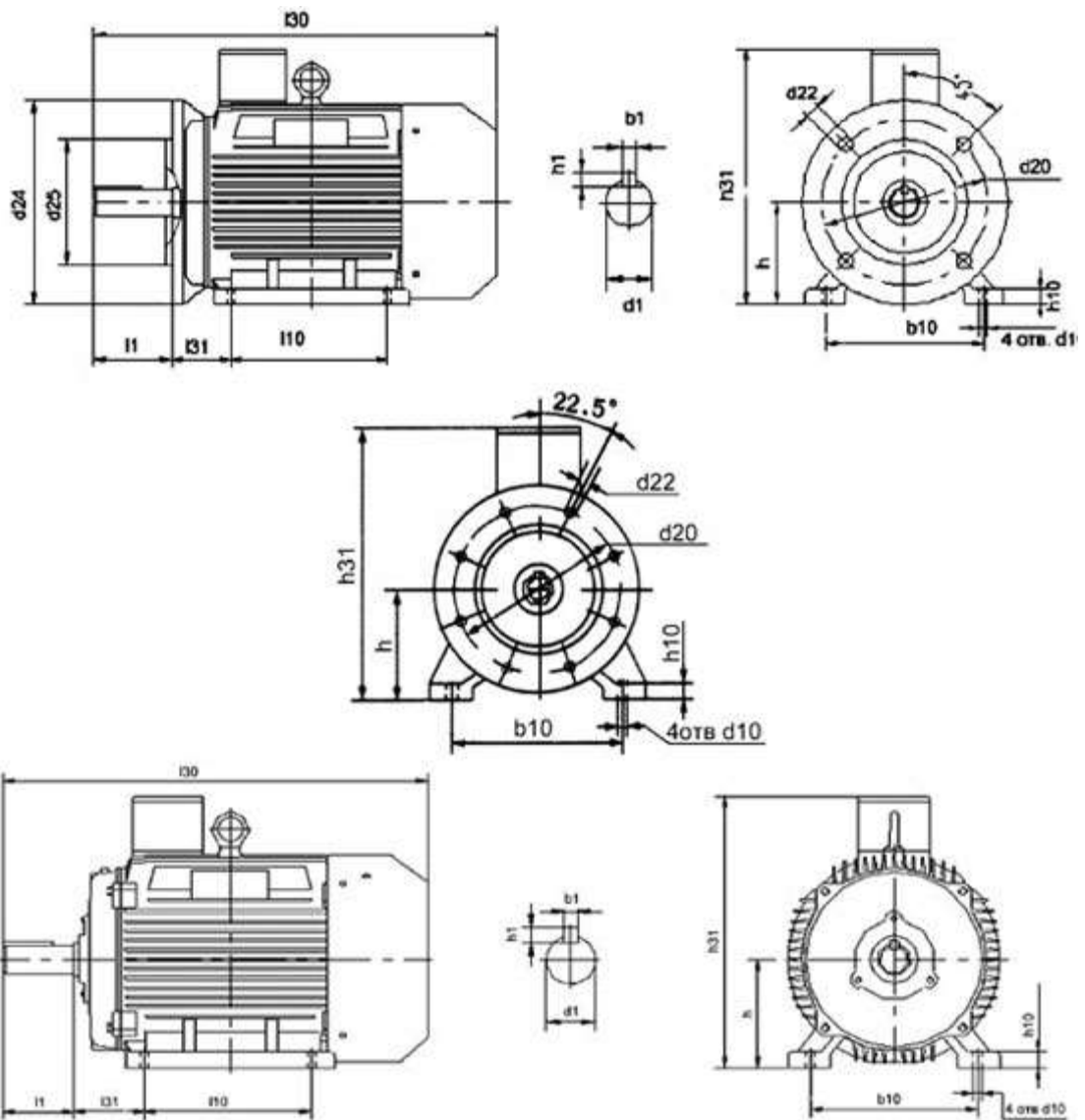


Рисунок 3 - Типоразмер двигателя

Технические данные электродвигателя 5АИ280S8 приведены в таблице

№ 2

Таблица № 2

Типоразмер двигателя	Мощность P_2 , кВт	Синхронная частота вращения n_0 , об/мин	При номинальной нагрузке		
			частота вращения n_n , об/мин	КПД η_n , %	$\cos\varphi_n$
5АИ280S8	55	750	740	93.6	0.86
M_{\max}/M_n	$M_{\text{пуск}}/M_n$	$I_{\text{пуск}}$	$J_{\text{дв.}}$ кг·м ²	Степень защиты	Климат. испол.
2,2	1,8	712,8 А	2.63	IP54	У3

Примечания:

1. Технические характеристики приведены для основного режима работы S3 (ПВ = 40 %).

2. Диапазон изменения частоты питания – от 5 до 50 Гц.

3.1.1 РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 1000}{30} = 78,54 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальное скольжение двигателя

$$s_n = \frac{n_0 - n_{\text{ном}}}{n_0} = \frac{750 - 740}{750} = 1,33$$

Номинальная частота вращения двигателя

$$\omega_{\text{двн}} = \frac{n_{\text{ном}}}{9,55} = \frac{740}{9,55} = 77,495 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{двн}} = \frac{P_n \cdot 1000}{\omega_{\text{дв.}}} = \frac{55000}{77,495} = 709,721 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определим кратность максимального и пускового момента двигателя

$$m_{\text{макс}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{двн}}} = 2,2 ;$$

$$m_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{двн}}} = 1,8$$

и кратность пускового тока

$$k_{\text{пуск}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{1н}} = 6,6$$

3.1.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО КАТАЛОЖНЫМ ДАННЫМ

Параметры схемы замещения асинхронного двигателя, приведенной на рисунке 4, определим по методике, изложенной в и сведем их в таблицу № 3

Таблица № 3

R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, м	$L_{1\sigma}$, Гн	R_2' , Ом	$X_{2\sigma}'$, Ом	$L_{2\sigma}'$, Гн	X_{μ} , Ом	X_k , Ом	L_{μ} , Гн
0,054	0,218	$6,95 \cdot 10^{-4}$	0,031	0,294	$9,354 \cdot 10^{-4}$	5,721	0,52	0,01821

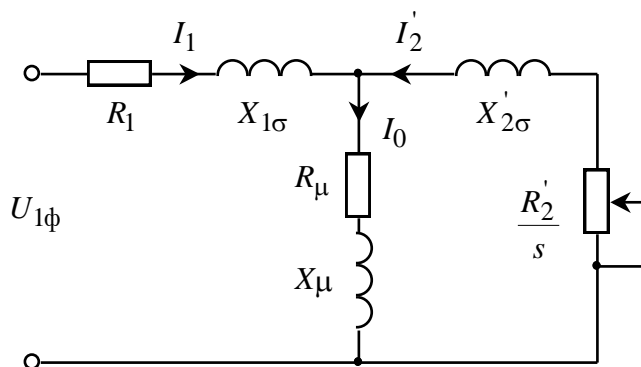


Рисунок 4 – Схема замещения асинхронного двигателя

Номинальный ток статора

$$I_{1H} = \frac{P_H \cdot 1000}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{55000}{3 \cdot 220 \cdot 0,86 \cdot 0,936} = 103,525 \text{ A}$$

Ток статора двигателя при частичной нагрузке

$$I_{11} = \frac{P_H \cdot p^*}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}} = \frac{55000}{3 \cdot 220 \cdot 0,83 \cdot 0,936} = 80,938 \text{ A}$$

где:

p^* – коэффициент загрузки двигателя, принимаем $p^* = 0,75$;

η_{p^*} – КПД при частичной нагрузке, принимаем $\eta_{p^*} = \eta_H$.

Коэффициент мощности при частичной нагрузке

$$\cos \varphi_{p^*} = 0,99 \cdot \cos \varphi_H = 0,99 \cdot 0,86 = 0,825.$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p^* \cdot I_{1H} \cdot \frac{1 - s_H}{1 - p^* \cdot s_H} \right)^2}{1 - \left(p^* \cdot \frac{1 - s_H}{1 - p^* \cdot s_H} \right)^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{80,938^2 - \left(0,75 \cdot 103,525 \cdot \frac{1 - 0,0133}{1 - 0,75 \cdot 0,0133} \right)^2}{1 - \left(0,75 \cdot \frac{1 - 0,0133}{1 - 0,75 \cdot 0,0133} \right)^2}} = 35,721 \text{ A}$$

Критическое скольжение

$$s_k = s_H \cdot \frac{k_M + \sqrt{k_M^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_M - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_M - 1)}$$

$$= 0,0133 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - (1 - 2 \cdot 0,0133 \cdot (2,2 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,0133 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,061.$$

где: β – коэффициент, значение которого находится в диапазоне 0,6–2,5, принимаем $\beta = 1,7$.

Определим коэффициенты

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + 103,525 = 1,026$$
$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_M \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,0133)}{2 \cdot 1,026 \cdot 2,2 \cdot 55000} = 0,57$$

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_K}\right) \cdot C_1} = \frac{0,57}{\left(1,7 + \frac{1}{6,1}\right) \cdot 1,026} = 0,031 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,026 \cdot 0,031 \cdot 1 = 0,054 \text{ Ом}$$

Определим параметр γ , который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_K

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{S_K^2}\right) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,061^2}\right) - 1^2} = 16,298$$

тогда

$$X_K = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 16,298 \cdot 1,026 \cdot 0,031 = 0,52 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_K = 0,42 \cdot 0,52 = 0,218 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,218}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 6,95 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$$

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

$$X'_{2\sigma} = \frac{0,58 \cdot X_k}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 0,52}{1,026} = 0,294 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,294}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 9,354 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$$

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

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi_H - I_{1H} \cdot R_1)^2 + (U_{1H} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - I_{1H} \cdot X_{1\sigma})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,86 - 103,525 \cdot 0,054)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,86^2} - 103,525 \cdot 0,218)^2} = 204,31 \text{ В.} \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = \frac{204,31}{35,712} = 5,721 \text{ Ом}$$

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

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2\pi \cdot f_{1H}} = \frac{5,721}{2\pi \cdot 50} = 0,018 \text{ Гн}$$

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

$$M_{эм.н}^* = \frac{3 \cdot U_{1\phi н}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_n \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_n} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_n \cdot X_\mu} \right)^2 \right]}, =$$

$$\frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,031}{78,54 \cdot 1,33 \cdot \left[0,52^2 + \left(0,054 + \frac{0,031}{1,33} \right)^2 + \left(\frac{0,054 \cdot 0,031}{1,33 \cdot 5,721} \right)^2 \right]} = 721,339 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{эм.н}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2н} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1н}^2 - I_0^2}, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$= \frac{3}{2} \cdot 4 \cdot \frac{0,01821}{(0,01821 + 0,000695)} \cdot 0,92 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{103,525^2 - 35,712^2} = 721,274 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где:

$$\Psi_{2н} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 35,712 \cdot 0,01821 = 0,92, \text{ Вб.}$$

Должны выполняться условия:

$$M_{об.н} < M_{эм.н}^* \leq 1,1 \cdot M_{об.н} = 709,721 < 721,339 \leq 780,693,$$

$$M_{эм.н}^{**} \approx M_{эм.н}^* \cdot 721,274 \approx 721,339$$

По результатам расчета эти условия выполняются

Рассчитанные параметры схемы замещения сведены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры схемы замещения электродвигателя

$R_1,$	$X_{1\sigma},$	$L_{1\sigma},$	$R_2',$	$X_{2\sigma},$	$L_{2\sigma},$	$X_\mu,$	$X_k,$	$L_\mu,$
Ом	Ом	Гн	Ом	Ом	Гн	Ом	Ом	Гн
0,054	0,218	0,000695	0,031	0,294	0,0009354	5,721	0,52	0,01821

3.1.3 РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя рассчитывается по выражениям:

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot \left[U_{1\Phi\Phi}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 \right]^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot S \cdot \left(\left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right)} =$$

$$= \frac{3 \cdot \left[220^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 \right] \cdot 0,031}{78,54 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot S \cdot \left(\left(0,52 \cdot \frac{f_1}{50} \right)^2 + \left(0,054 + \frac{0,031}{S} \right)^2 + \left(\frac{0,054 \cdot 0,031}{S \cdot 5,721 \cdot \frac{f_1}{50}} \right)^2 \right)};$$

$$\omega(s, f) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1 - s).$$

Критический момент и критическое скольжение двигателя на естественной характеристике

$$M_k = 3 \cdot \frac{U_{1H}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left(R_1 + \sqrt{[R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')^2]} \cdot \left(1 + \frac{R_1^2}{X_\mu^2} \right) \right)} =$$

$$= 3 \cdot \frac{220^2}{2 \cdot 78,54 \cdot \left(0,054 + \sqrt{[0,054^2 + (0,218 + 0,294)^2]} \cdot \left(1 + \frac{0,054^2}{5,721^2} \right) \right)} = 1603 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1^2}{X_\mu^2} + 1}{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')^2}} = 0,128 \cdot \sqrt{\frac{\frac{0,054^2}{5,721^2} + 1}{0,054^2 + (0,218 + 0,294)^2}} = 0,059$$

Номинальный электромагнитный момент двигателя

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

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,031}{78,54 \cdot 0,0133 \left(0,52^2 + \left[\left(0,54 + \frac{0,031}{0,0133} \right)^2 + \left(0,054 + \frac{0,031^2}{0,0133 \cdot 5,721} \right)^2 \right] \right)} = 721,339$$

Естественная механическая характеристика двигателя $\omega = f(M)$ при $f_1 = f_{1н} = 50$ Гц приведена на рисунке 5.

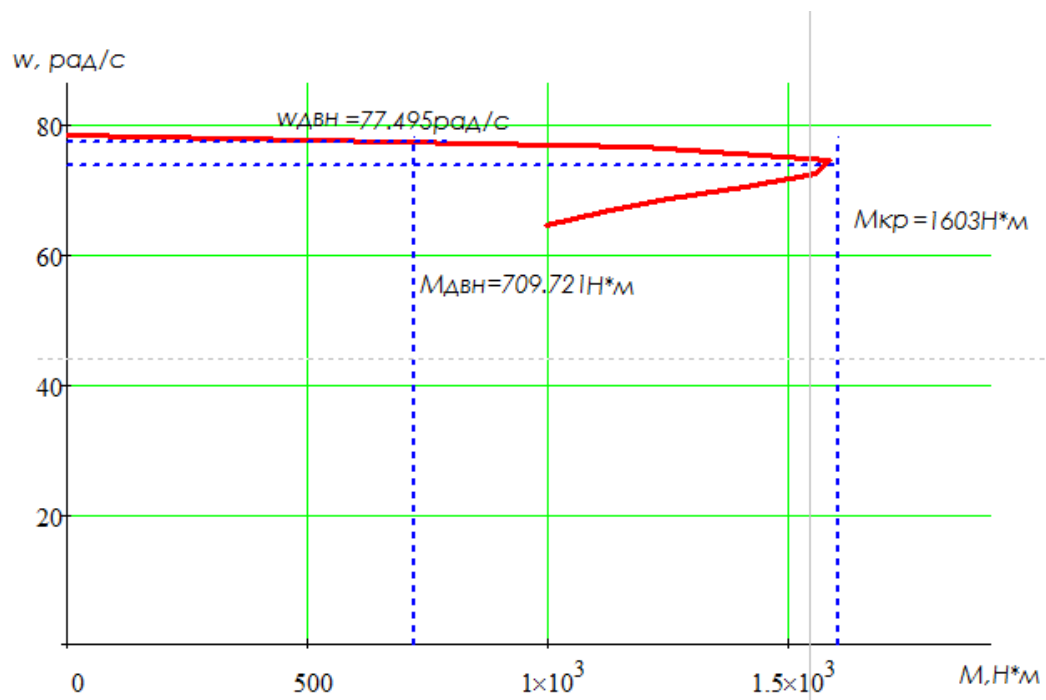


Рисунок 5 – Естественная механическая характеристика АД

Момент от силы трения на валу электродвигателя

$$M_c = M_{эм} - M_{дв.н} = 721,339 - 709,721 = 11,618 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

По полученным результатам определяем:

– кратность пускового момента

$$m_{\pi} = \frac{M_{\text{эм}\pi}}{M_{\text{эмн}}} = 2,2$$

– кратность максимального (критического) момента

$$m_{\kappa} = \frac{M_{\text{эм}\kappa}}{M_{\text{эмн}}} = 1,8$$

– критическое скольжение

$$s_{\kappa} = \frac{\omega_0 - \omega_{\kappa}}{\omega_0} = \frac{78,54 - 73,906}{78,54} = 0,059$$

Естественные электромеханические характеристики двигателя $I_1(s, f_1)$

и $I_2(s, f_1)$ рассчитываются по выражениям:

$$I_1(S, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2^2(S, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2(S, f_1) \cdot \sin \varphi_2(S, f_1)} ;$$

$$I_2(S, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{\kappa} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(0,054 + \frac{0,031}{s}\right)^2 + \left(0,52 \cdot \frac{f_1}{50}\right)^2 + \left(\frac{0,054 \cdot 0,031}{s \cdot 5,721 \cdot \frac{f_1}{50}}\right)^2}} ;$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_{\mu})^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0,054^2 + (0,218 + 5,721)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} ;$$

$$\sin \varphi_2(S, f_1) = \frac{\frac{f_1}{f_{1H}} \cdot X_k}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + \left(X_k \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} = \frac{\frac{f_1}{f_{1H}} \cdot 0,52}{\sqrt{\left(0,054 + \frac{0,031}{s}\right)^2 + \left(0,52 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}};$$

$$\omega(S, f) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1 - S).$$

По результатам расчета на рисунке 6 построены естественные электромеханические характеристики $\omega(I_1)$, $\omega(I_2)$ при $f_1 = f_{1H} = 50$ Гц.

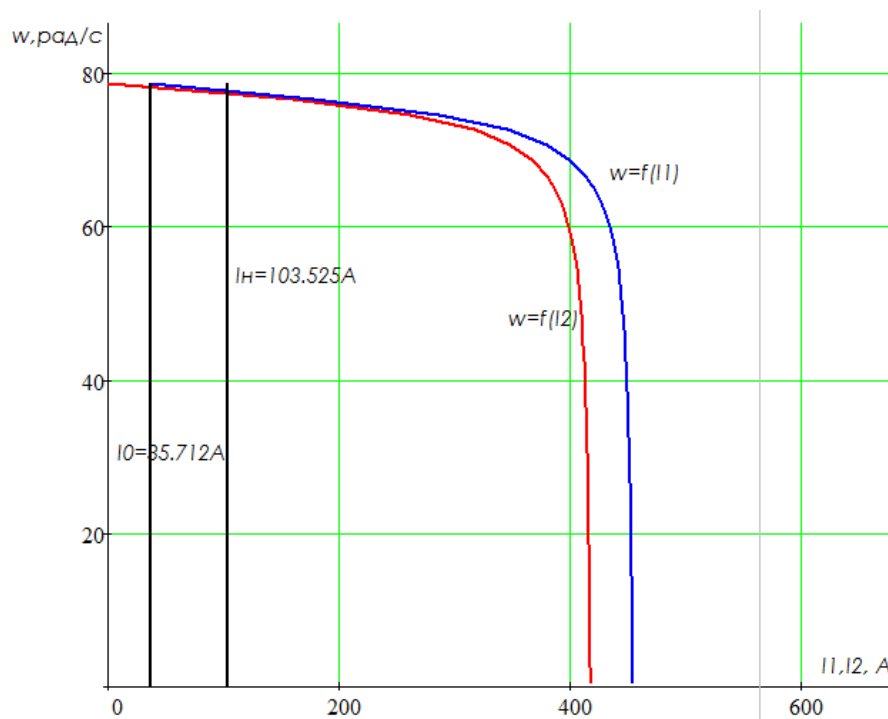


Рисунок 6 – Естественные электромеханические характеристики АД $\omega(I_1)$, $\omega(I_2)$

По результатам расчета электромеханической характеристики $\omega(I_1)$ найдены значения тока холостого хода (намагничивания) $I_0 = 35,712$ А, номинального тока $I_H = 103,525$ А и пускового тока двигателя $I_H = 683,265$ А.

По полученным результатам определяем кратность пускового тока

$$k_i = \frac{I_H}{I_0} = 6,6$$

Параметры расчетных механической и электромеханической характеристик двигателя оказались близки к приведённым в таблице 2 справочным параметрам двигателя.

3.2 МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМА

3.2.1 ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИВОДА

Расчетная схема замещения механической системы электропривода может быть представлена в виде одномассовой системы

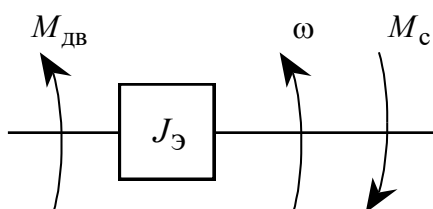


Рисунок 9 - Расчетная схема механической системы привода

На рисунке 9 приняты следующие обозначения:

$M_{дв}$ – вращающий момент, развиваемый на валу электродвигателя, $H \cdot м$;

$M_с$ – момент нагрузки с учетом потерь в механизме, приведенный к валу двигателя, $H \cdot м$;

ω – угловая скорость, $рад/с$;

$J_э$ – эквивалентный момент инерции привода, приведенный к валу двигателя, $кг \cdot м^2$.

Коэффициент передачи

$$K_{пер} = \frac{V_n}{\omega_{двн}} = 3,871 \cdot 10^{-3}$$

Момент инерции барабана приведенный

$$J_{\text{барприв}} = J_{\text{бар}} \cdot \frac{1}{i_{\text{ред}}^2} = 1200 \cdot \frac{1}{32,4^2} = 1,143 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Приведенный момент инерции максимальный

$$J_{\text{привмакс}} = (m_{\text{кр}} + m_{\text{гр}}) \cdot K_{\text{пер}}^2 = (600 + 20000) \cdot 0,003871^2 = 0,234 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

Приведенный момент инерции минимальный

$$J_{\text{привмин}} = m_{\text{кр}} \cdot K_{\text{пер}}^2 = 600 \cdot 0,003871^2 = 8,992 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

Эквивалентный момент инерции максимальный

$$J_{\text{привмакс}} = J_{\text{привмакс}} \cdot 1,25 \cdot J_{\text{дв}} \cdot J_{\text{барприв}} = 3,521 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

Эквивалентный момент инерции минимальный

$$J_{\text{привмин}} = J_{\text{привмин}} \cdot 1,25 \cdot J_{\text{дв}} \cdot J_{\text{бар}} = 8,992 \cdot 10^{-3} \cdot 1,25 \cdot 2,63 \cdot 1,143 = 3,296 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где: $m_{\text{кр}} = 600$ – масса крюка;

$m_{\text{гр}} = 20000$ – масса груза максимальная.

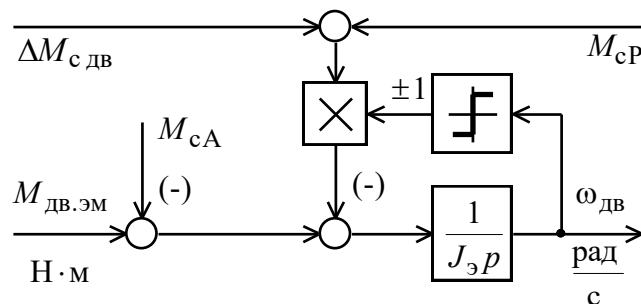


Рисунок 10 – Структурная схема одномассовой механической системы регулируемого электропривода

3.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАННОЙ ОБЛАСТИ РАБОТЫ

Момент сопротивления на валу двигателя

$$M_{с.дв.} = M_{эм} - M_{дв.н.} = 721,339 - 709,721 = 11,618 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

КПД передачи в номинальном режиме

$$\eta_{пер.н.} = \eta_{мех} \cdot \eta_{ред} = 0,93 \cdot 0,9 = 0,837$$

где

$$\eta_{мех} = 0,9 - \text{КПД механической системы};$$

$$\eta_{ред} = 0,93 - \text{КПД редуктора.}$$

Коэффициенты постоянных и переменных потерь

$$a = \frac{1 - \eta_{мех} \cdot \eta_{ред}}{2 \cdot (\eta_{мех} \cdot \eta_{ред})} = \frac{1 - 0,9 \cdot 0,93}{2 \cdot (0,9 \cdot 0,93)} = 0,097$$

Приведенный к валу двигателя момент, обусловленный грузом:

– при максимальном грузе

$$M_{эпривмакс} = \frac{g \cdot (m_{кр} + m_{зр}) \cdot R_{бар}}{i_{пол}} \cdot \frac{1}{i_{ред}} = \frac{9,81 \cdot (600 + 15000) \cdot 0,502}{4} \cdot \frac{1}{32,4} = 592,436 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где $m_{кр} = 600$ – масса крюка;

$m_{зр} = 20000$ – масса груза максимальная.

– при минимальном грузе

$$M_{эпривмин} = \frac{g \cdot m_{rh} \cdot R_{бар}}{i_{пол}} \cdot \frac{1}{i_{ред}} = \frac{9,81 \cdot 600 \cdot 0,502}{4} \cdot \frac{1}{32,4} = 22,786 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Величина постоянных потерь в механизме

$$\Delta M_{смех} = a \cdot M_{эпривмакс} = 0,097 \cdot 592,436 = 57,686 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент трения на валу первой массы двухмассовой электромеханической системы при максимальном грузе

$$M_{с} = M_{с.дв.} + M_{с.пост} = 11,618 + 57,686 = 69,304 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Статические моменты:

– при подъеме максимального груза

$$M_{с1макс} = M_{с.дв.} + M_{с.пост} + (1 + b) \cdot M_{гр.макс} =$$

$$11,618 + 57,686 + (1 + 0,097) \cdot 592,436 = 719,206 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– при подъеме пустого грузозахватного устройства

$$M_{с1мин} = M_{с.дв.} + M_{с.пост} + (1 + b) \cdot M_{гр.мин} =$$

$$11,618 + 57,686 + (1 + 0,097) \cdot 22,786 = 94,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– при спуске максимального груза

$$M_{с2макс} = -M_{с.дв.} - M_{с.пост} + (1 - b) \cdot M_{гр.макс} =$$

$$= -11,618 - 57,686 + (1 - 0,097) \cdot 592,436 = 580,598 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– при спуске пустого грузозахватного устройства

$$M_{с2мин} = -M_{с.дв.} - M_{с.пост} + (1 - b) \cdot M_{гр.мин} =$$

$$= -11,618 - 57,686 + (1 - 0,097) \cdot 22,786 = -44,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Заданная область работы приведена на рисунке 11.

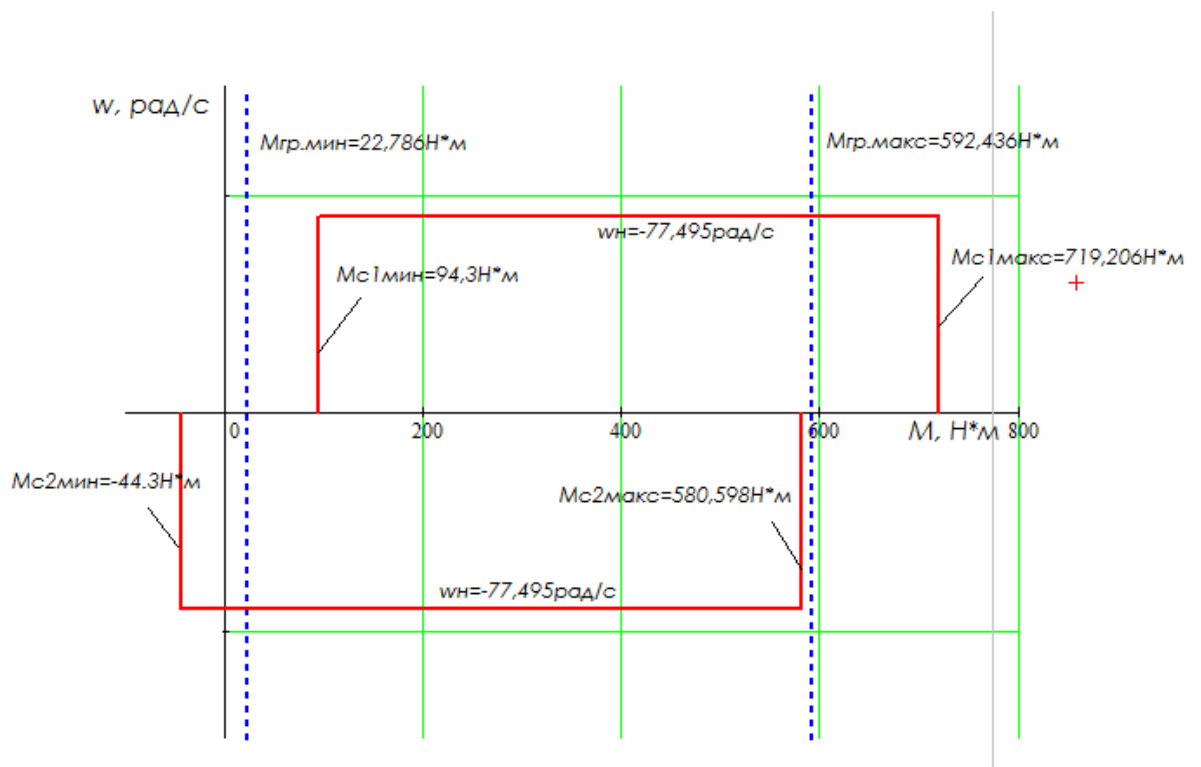


Рисунок 11 – Заданная область работы электропривода

3.4 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Для кранового частотно-регулируемого электропривода требуются преобразователи частоты, специально адаптированные к применению в грузоподъемных кранах и обладающие необходимыми функциональными возможностями:

- функция управления тормозом предназначена для выдачи сигнала на открытие тормоза при достижении двигателем необходимого момента и сигнала на наложение тормоза при снижении скорости до минимального уровня. Для корректировки снятия тормоза может использоваться функция весоизмерения.
- функция подъема с повышенной скоростью. Максимальная скорость подъема определяется автоматически в зависимости от массы груза.
- функция ограничения момента электродвигателя с формированием желаемой механической характеристики в двигательном и генераторном режимах.
- функция формирования заданного темпа разгона и торможения.

функция торможения электропривода с использованием тормозного резистора или блока рекуперации. Экономический эффект от внедрения модулей рекуперации увеличивается: с увеличением мощности электроприводов, при резких торможениях инерционных механизмов, а также при опускании груза на большую глубину (лифты, шахтные подъемники). Учитывая сложившееся мнение о низкой эффективности рекуперации для систем с током потребления до 100 А, а также относительно высокую стоимость модулей рекуперации и сложность внедрения, принято решение использовать тормозной резистор.

3.4.1 ПАРАМЕТРЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

С учетом перечисленных выше требований выбираем преобразователь частоты *ALTIVAR 71HD75N4*

Параметры преобразователя частоты приведены в таблице № 5

Таблица 5

Тип	Параметры питающей сети		Выходная частота		Выходной ток	
	$U_{1л}$, В	f_c , Гц	$f_{и}$, Гц		$I_{ин}$, А	$I_{ин макс}$, А (60 с)
ALTIVAR 71HD75N4	380-480	50/60	0-120		167	250.5



Рисунок 12 - Преобразователи частоты Altivar 71

Преобразователи частоты Altivar 71 имеет разнообразные законы управления двигателем и многочисленные функциональные возможности, отвечают самым строгим требованиям применений.

Отличительные особенности:

- Встроенные алгоритмы управления: U/f-регулирование, векторное управление в разомкнутой и замкнутой системе
- Встроенные протоколы Modbus и CANopen
- ПИД-регулятор

- Повышенная точность при работе на очень низкой скорости и улучшенные динамические характеристики
- Плавное, безударное управление несбалансированными механизмами с помощью системы адаптации мощности (Energy Adaptation System - ENA)
- Расширенный диапазон выходной частоты для высокоскоростных двигателей

4 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

4.1 РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Система векторного частотного управления асинхронным двигателем базируется на представлении физических переменных двигателя пространственными векторами, у которых могут изменяться как модули так и положения в пространстве. Основой для реализации систем управления частотного – регулируемых асинхронных электроприводов с векторным управлением является структурная схема двухфазного асинхронного двигателя во вращающейся системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора Ψ_2^* .

Модели регулируемого асинхронного электропривода с частотным векторным управлением реализуются на основе базовой функциональной схемы:

- с моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ (рисунок 13)
- схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с точной моделью двухфазного асинхронного двигателя без датчика потока и скорости (рисунок 24). Общим для модели является 4-х контурная система автоматического управления (САУ) регулируемого асинхронного электропривода (РЭП). Управляющими сигналами на входе РЭП постоянное значение потокосцепления ротора Ψ_2^* и заданное значение скорости вращения двигателя ω^* .

В частном случае возможно отсутствие контура и регулятора потокосцепления ротора. В этом случае задается значение тока I_d , которое затем удерживается постоянным в процессе работы привода. Развитие моделей осуществляется путем исключения датчиков потока и скорости вращения двигателя и реализации позиционных и следящих систем электропривода.

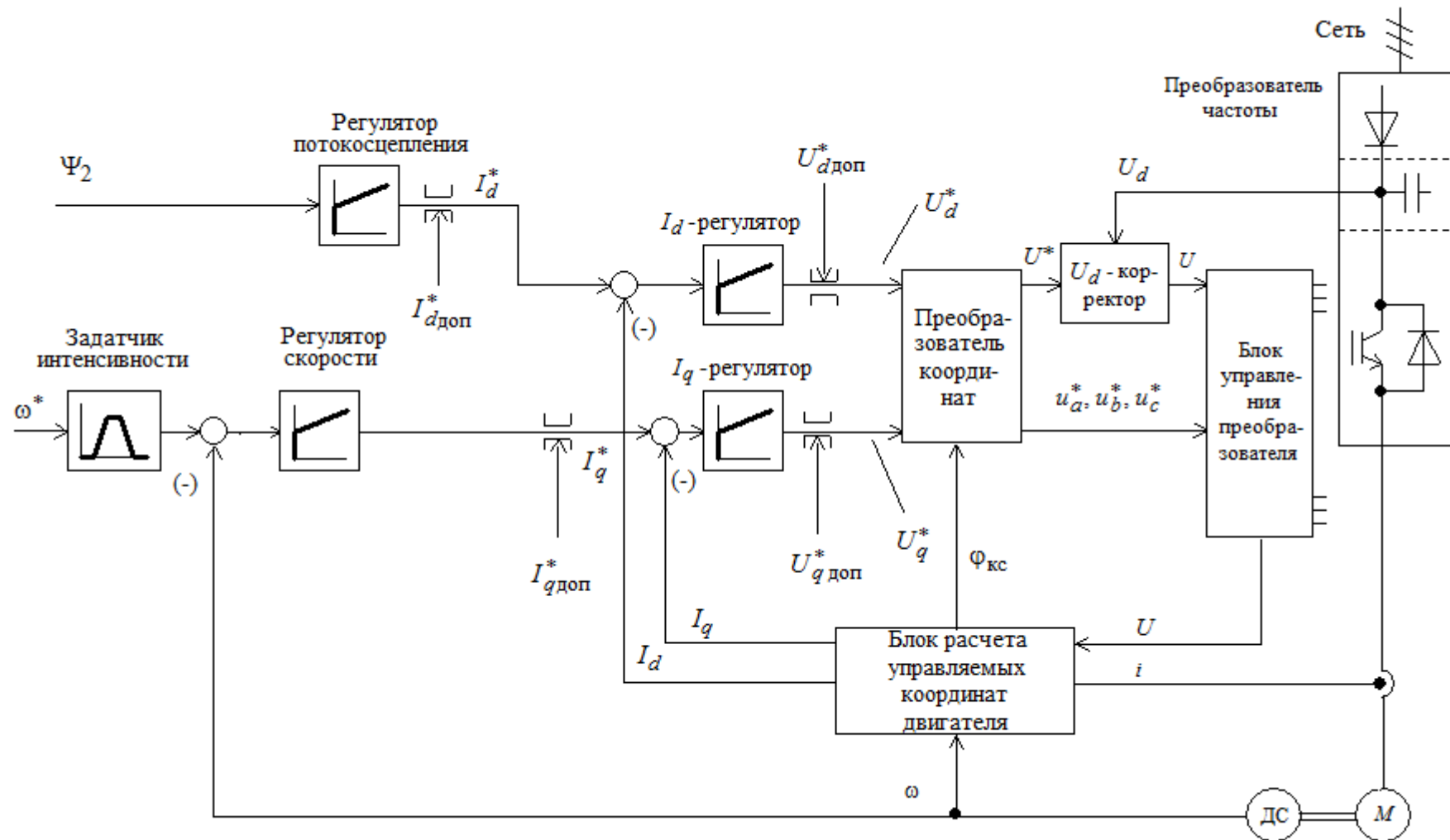


Рисунок 13 – Функциональная схема асинхронного электропривода с частотным векторным управлением и моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ с датчиком скорости без датчика потока.

В моделях асинхронного электропривода с **частотным векторным управлением** используются следующие модели асинхронного электродвигателя:

– двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, структурная схема которого представлена на рисунке 15 (полная схема) и рисунке 16 (упрощенная схема);

– двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора α, β (рисунке 17)

– трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора a, b, c (рисунке 18);

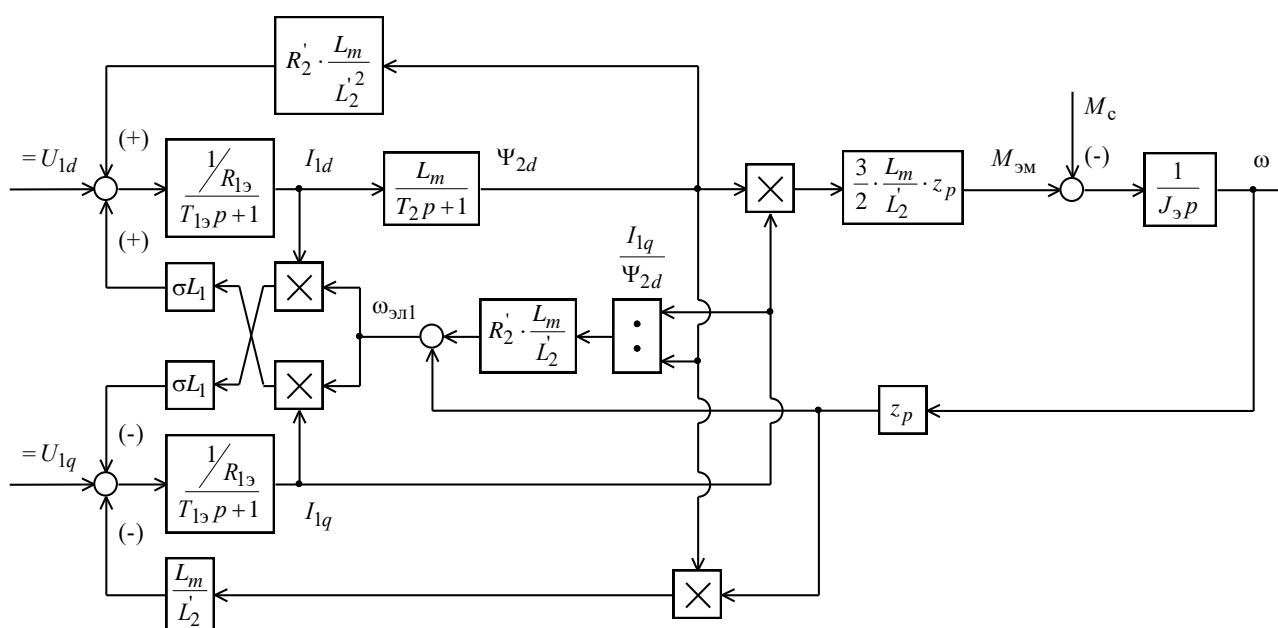


Рисунок. 14 – Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

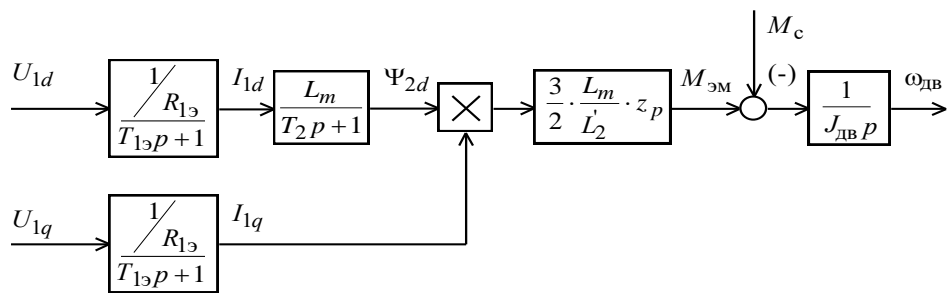


Рисунок 15 – Структурная схема двухфазного асинхронного электродвигателя во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, с компенсированными внутренними обратными связям

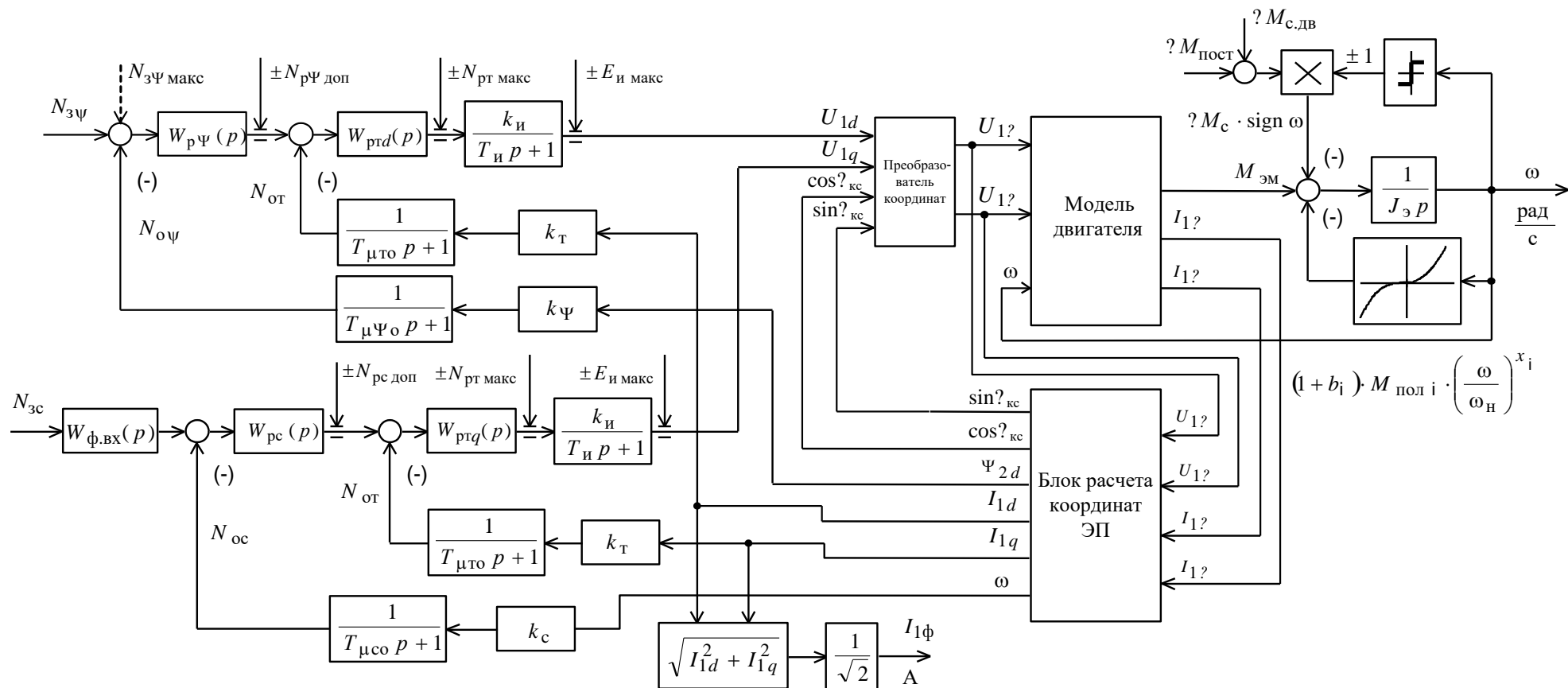


Рисунок 16 – Структурная схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с точной моделью двухфазного асинхронного двигателя

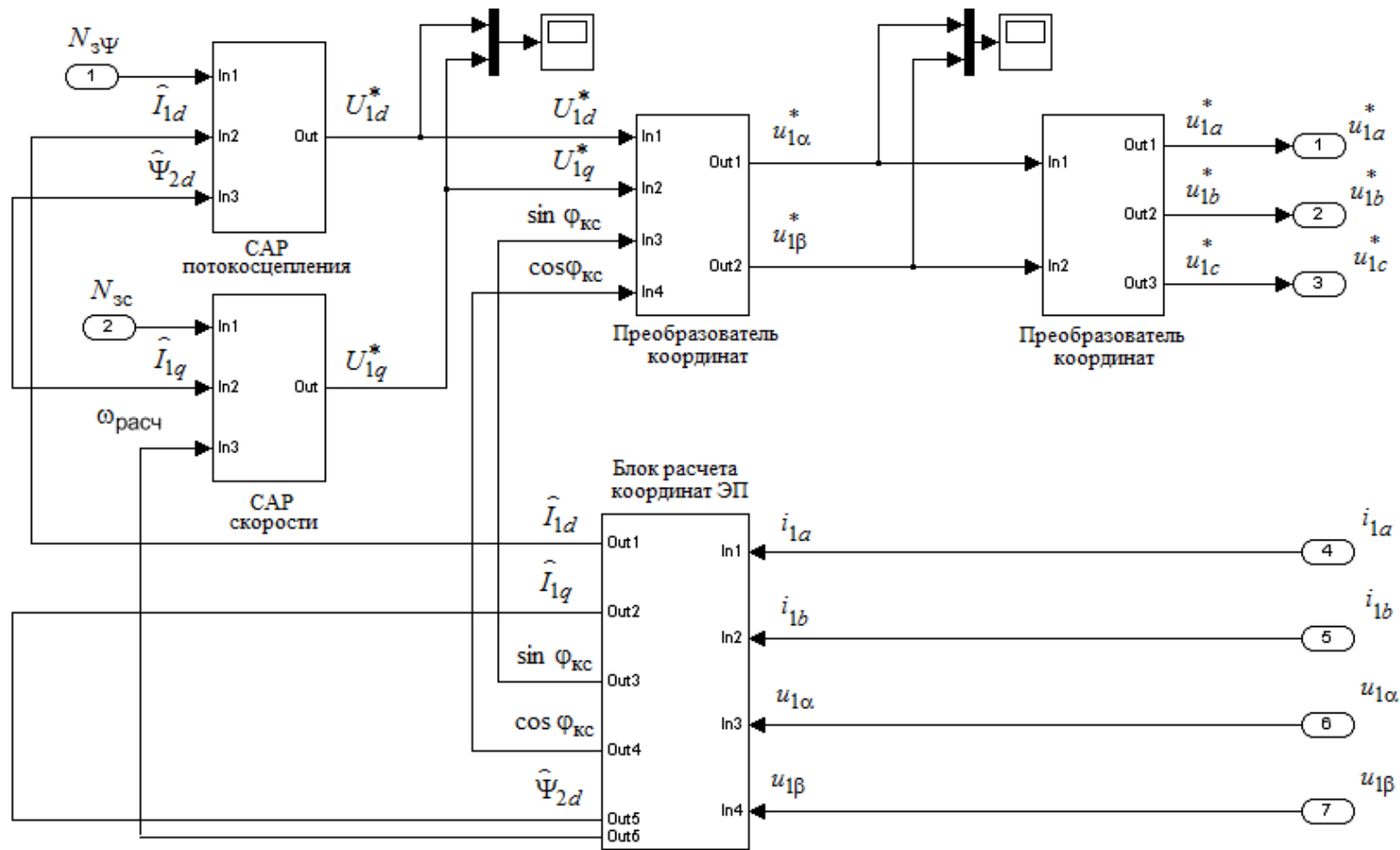


Рисунок 17 – Имитационная модель блока расчета управлений и преобразования координат системы векторного управления регулируемого асинхронного электропривода

Структурные схемы блоков преобразования координат двигателя

Поскольку управления трехфазным асинхронным двигателем формируется в двухфазной системе координат, в моделях электропривода используются блоки прямого и обратного преобразования координат двигателя. Схемы моделей блоков преобразователей координат приведены на рисунок 18 и 19. Для преобразования не указанных на приведенных схемах координат двигателя блоки идентичные.

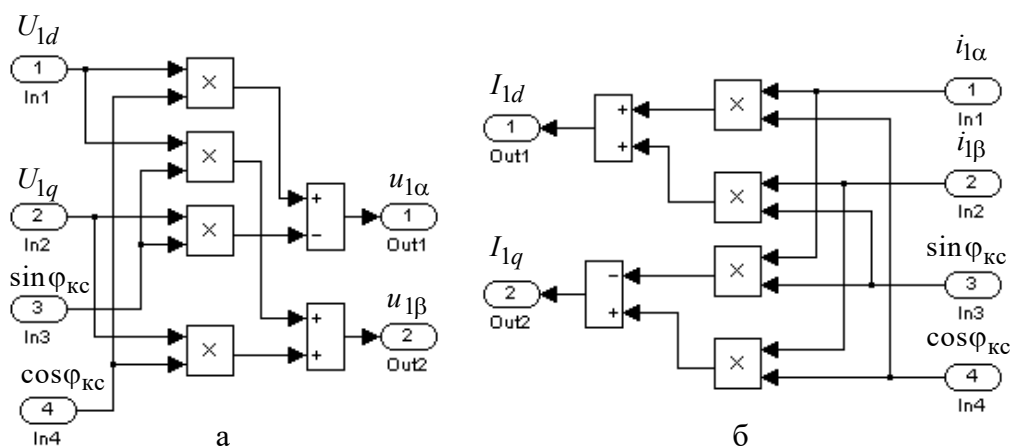


Рисунок 18 – Имитационные модели преобразователей координат:

а – из вращающейся системы координат d, q в неподвижную систему α, β ;

б – из неподвижной системы координат α, β во вращающуюся систему d, q

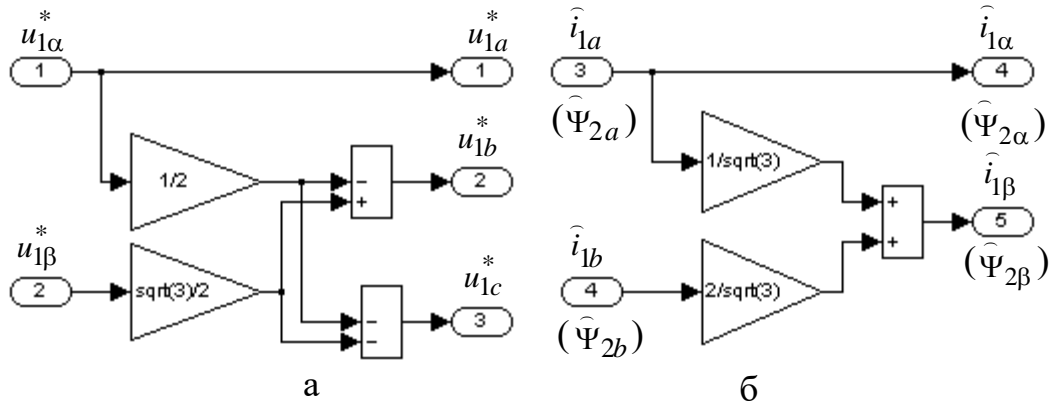


Рисунок 19 – Имитационные модели преобразователей координат:

а – из неподвижной двухфазной координатной системы α, β в

неподвижную

трехфазную систему координат а, б, с; б – из неподвижной трехфазной

системы координат а, б, с в неподвижную двухфазную координатную

систему α, β

Структурные схемы ПИ-регуляторов

Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с неуправляемым значением уровня ограничения интегральной составляющей выходного сигнала в режиме насыщения приведена на рисунке 20.

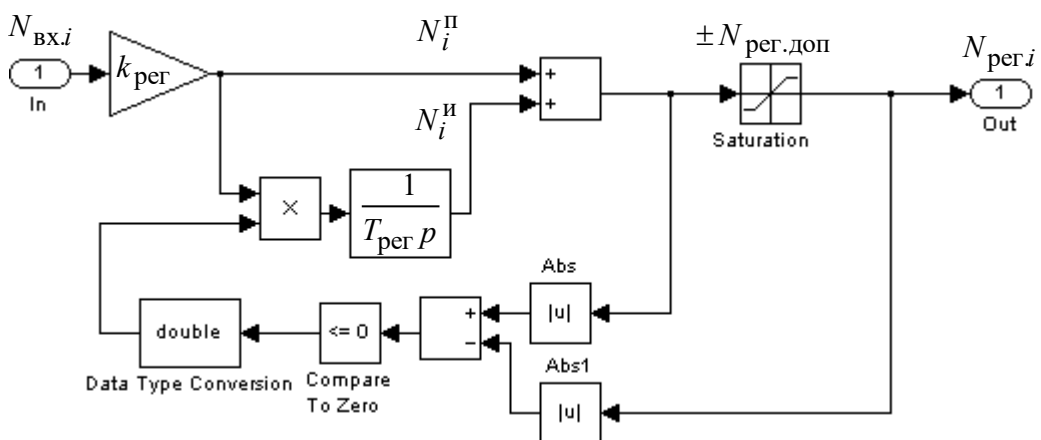


Рисунок 20. Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с

отключением интегральной составляющей сигнала при насыщении

Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с управляемым значением уровня ограничения интегральной составляющей выходного сигнала в режиме насыщения приведена на рисунке 21.

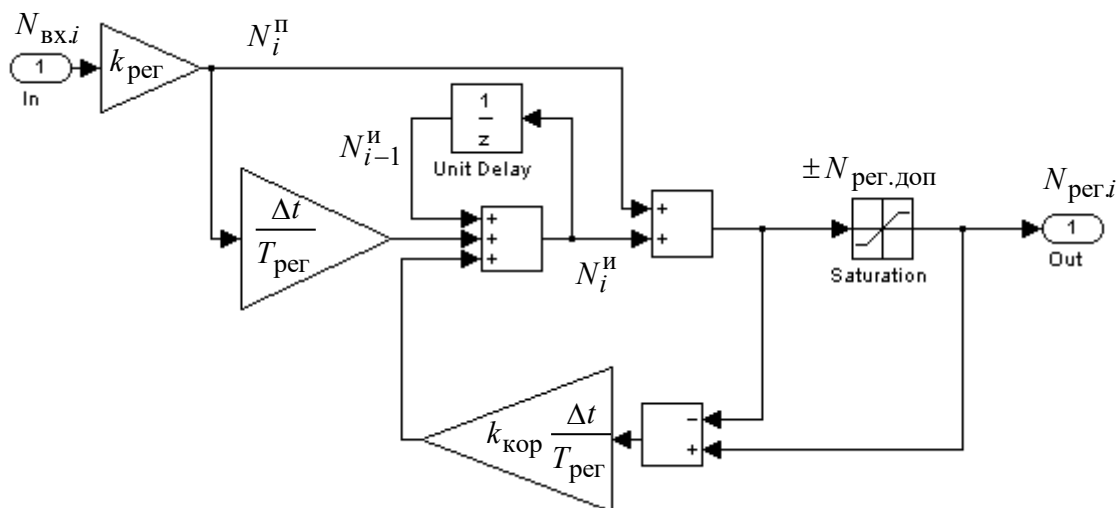


Рисунок 21. Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с регулируемым значением интегральной составляющей сигнала в режиме насыщения

Для ограничения выходного сигнала регулятора скорости в зависимости от фактического значения сигнала регулятора потокосцепления используется модель ПИ-регулятора скорости, приведенная на рисунке 22.

Для ограничения выходного сигнала регулятора тока I_q в зависимости от фактического значения сигнала регулятора тока I_d используется модель ПИ-регулятора тока, приведенная на рисунке. 23. Для компенсации влияния ЭДС вращения, наводимой в статоре потокосцеплением ротора, в регуляторе тока I_q предусмотрена положительная обратная связь по скорости двигателя с коэффициентом $k_{пос}$.

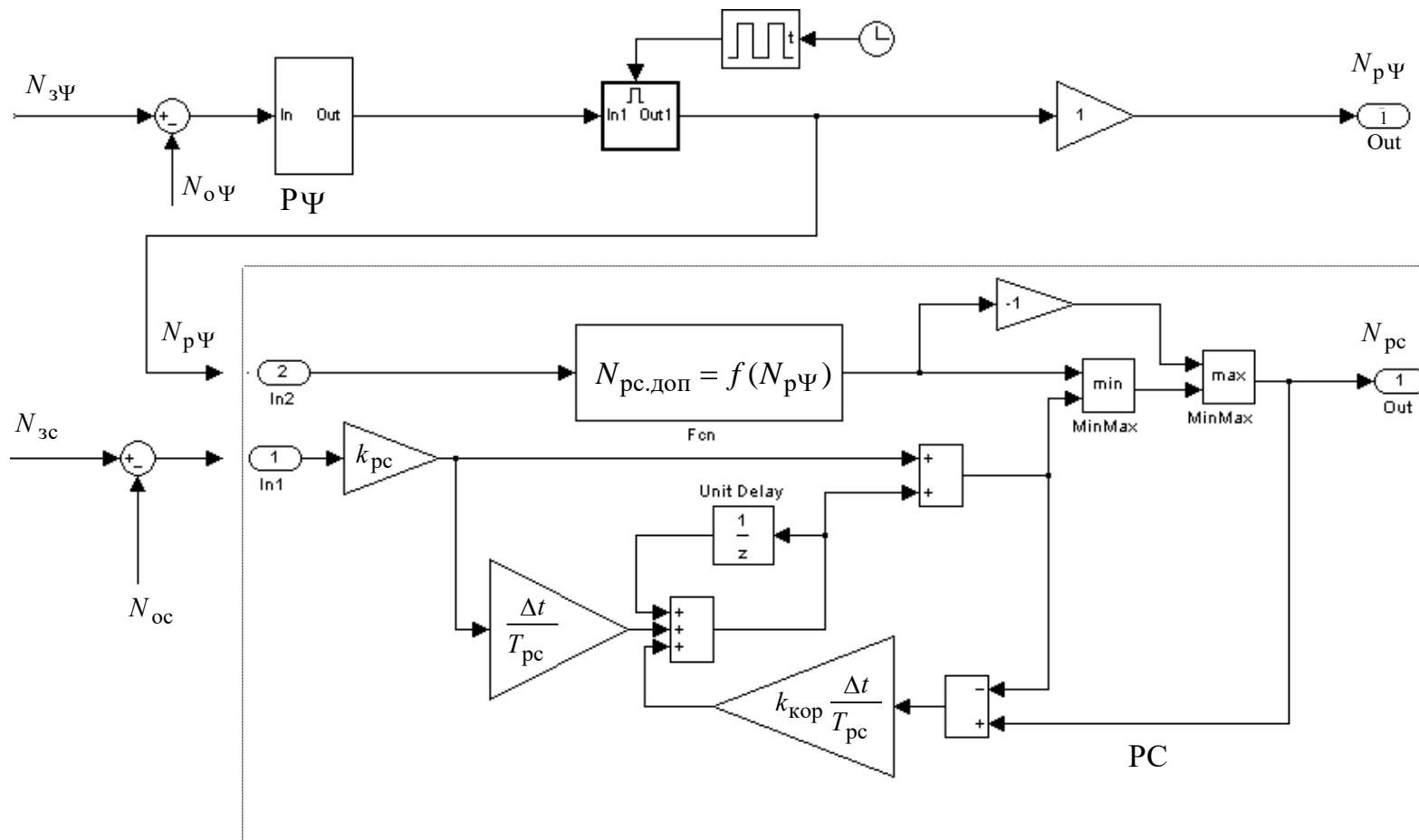


Рисунок 22. Имитационная модель ПИ-регулятора скорости с управляемым значением ограничения выходного сигнала

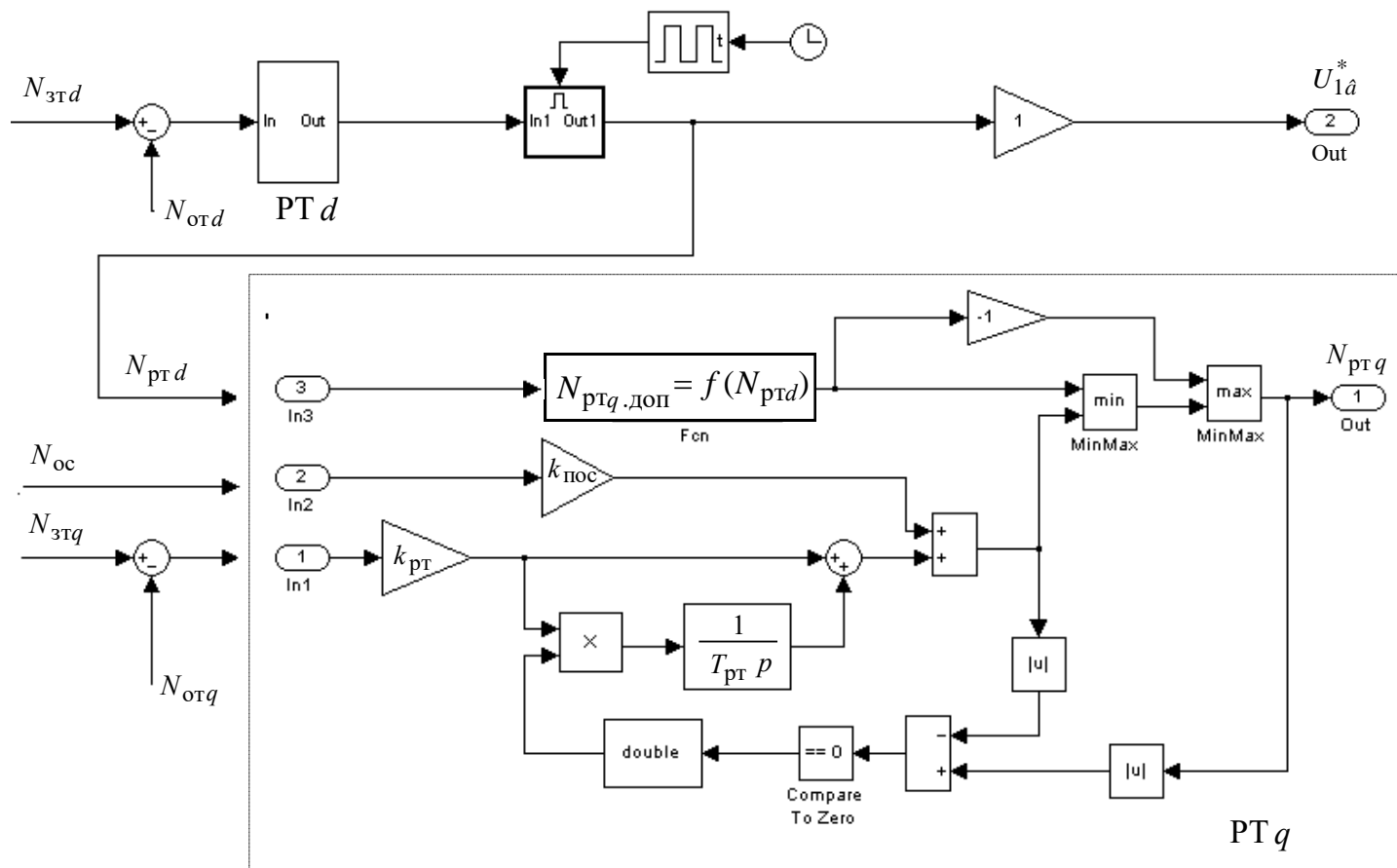


Рисунок 23. Имитационная модель ПИ-регулятора тока I_q с положительной обратной связью по скорости двигателя и управляемым значением ограничения выходного сигнала

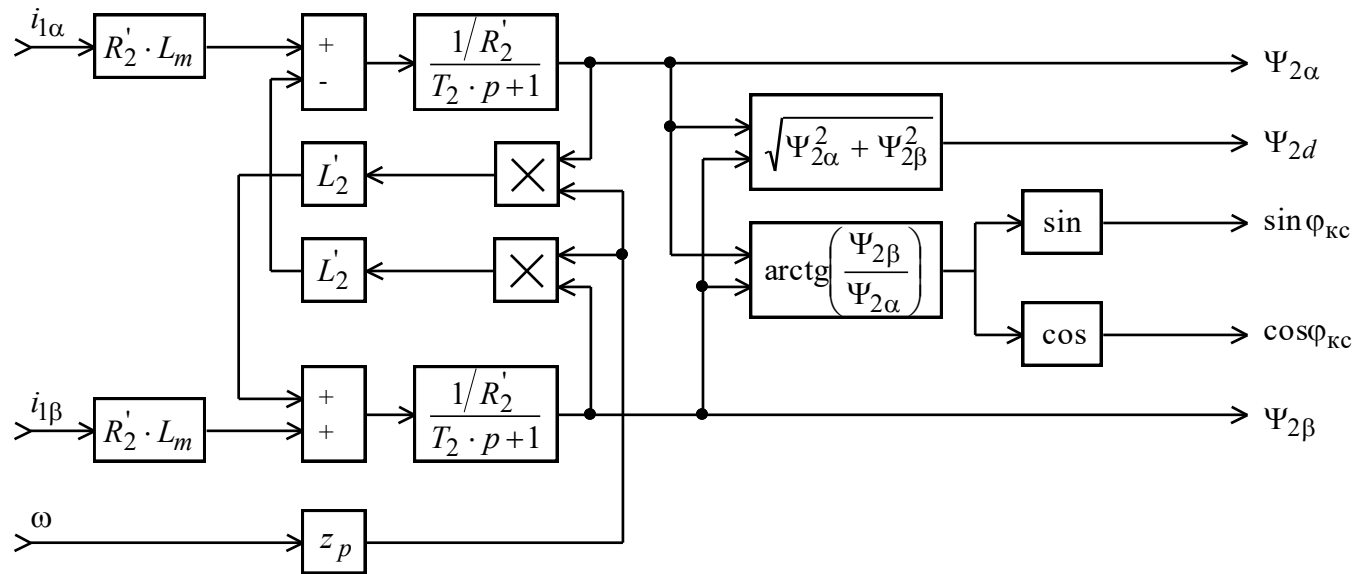


Рисунок 24. Схема расчета угла поворота вращающейся координатной системы с использованием значений измеренных токов $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$ и скорости ω двигателя

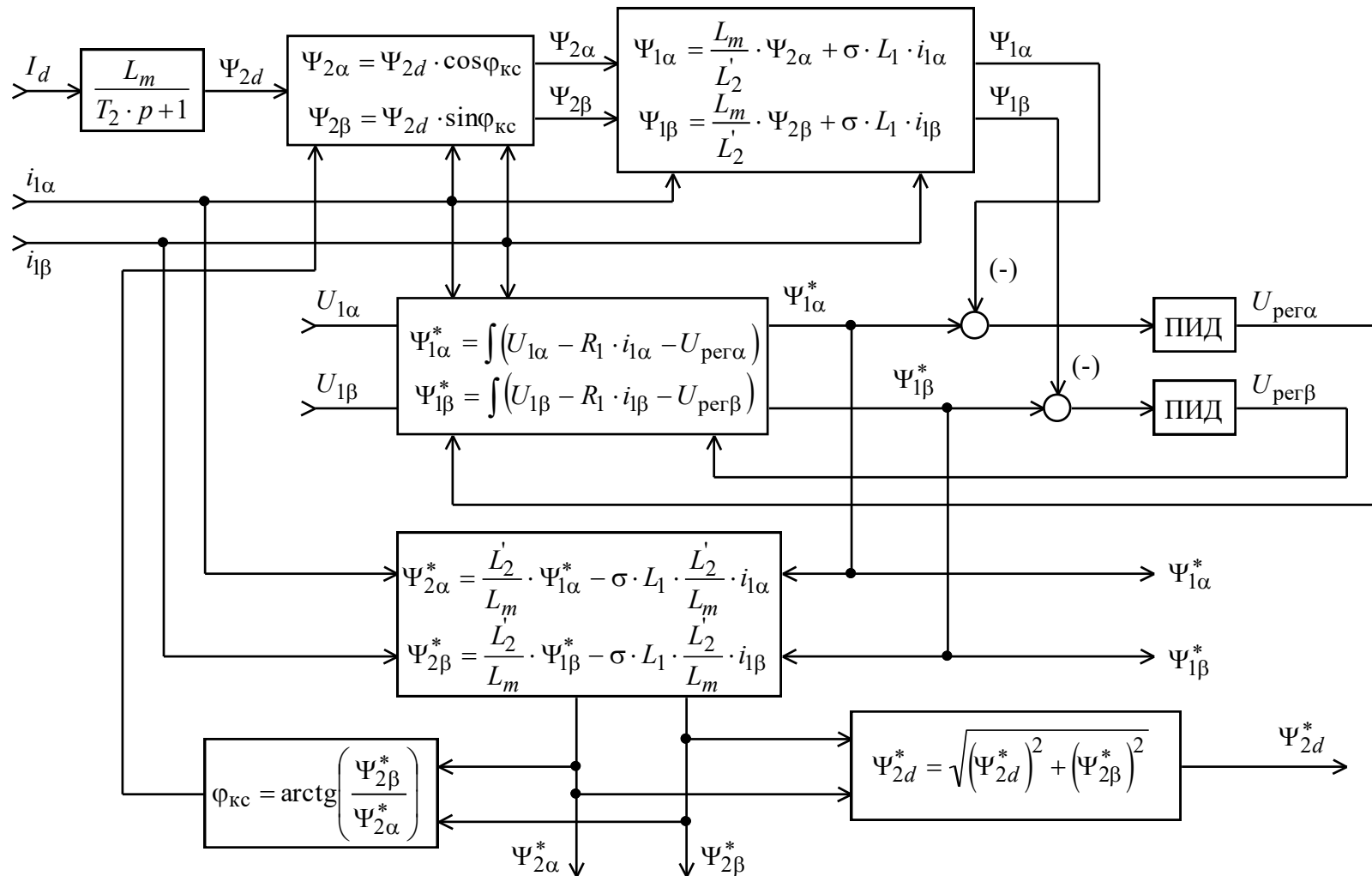


Рисунок 25. Схема расчета угла поворота вращающейся координатной системы с использованием значений токов $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$, I_d и напряжений $U_{1\alpha}$, $U_{1\beta}$

4.2 ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОСТОВОГО КРАНА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

4.2.1 ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Работа электропривода крана исследуется в режиме:

Плавный пуск – разгон до частоты 10Гц – выход(разгон) на максимальную скорость – снижение частоты до 10Гц - торможение и останов.

Модели частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана с векторным управлением

Рассматривается модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана при векторном управлении:

– с импульсным датчиком скорости.

Библиотека моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана с векторным управлением

REP_AD_KranKI_Vect_idc1.mdl – модели асинхронного электропривода крана с частотным векторным управлением на базе модели электрической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель из пакета Simulink системы MATLAB, с датчиками токов i_{1a} , i_{1b} , без датчиков потока и с импульсным датчиком скорости вращения двигателя.

Схемы набора имитационных моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана при векторном управлении приведены в приложении 2.

4.3 ИСХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАСТРОЙКИ САР РЭП

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 6,95 \cdot 10^{-4} + 0,01821 = 0,018905 \text{ Гн};$$

– ротора

$$L'_2 = L'_{2\sigma} + L_m = 9,354 \cdot 10^{-4} + 0,01821 = 0,0191454 \text{ Гн}.$$

Коэффициент рассеяния магнитного потока:

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L'_2} = 1 - \frac{0,01821^2}{0,018905 \cdot 0,0191454} = 0,083824$$

Эквивалентное сопротивление цепи статора:

$$R_{1\sigma} = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_2'^2} = 0,054 + 0,031 \cdot \frac{0,01821^2}{0,0191454^2} = 0,082045 \text{ Ом}.$$

Электромагнитные постоянные времени статора и ротора:

$$T_{1\sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{1\sigma}} = \frac{0,083824 \cdot 0,018905}{0,082045} = 0,019315 \text{ с}.$$

$$T_2 = \frac{L'_2}{R'_2} = \frac{0,0191454}{0,031} = 0,6176 \text{ с}.$$

Период ШИМ:

$$T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = \frac{1}{5 \cdot 10^3} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с}.$$

Напряжение звена постоянного тока преобразователя:

$$U_{d0} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1\text{фн}}}{\gamma_{\text{макс}}} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 220}{0,95} = 567,25 \text{ В},$$

где: $\gamma_{\text{макс}} = 0,95$ – максимальное значение коэффициента относительной продолжительности включения ключей инвертора.

Линейное напряжение источника питания преобразователя:

$$U_c = \frac{U_{d0}}{1,35} = \frac{567,25}{1,35} = 420,185 \text{ В.}$$

Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя:

$$k_n = \frac{U_{d0}}{\sqrt{3}} = \frac{567,25}{\sqrt{3}} = 327,502$$

Значение номинального потокосцепления двигателя

$$\Psi_{2н} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 37,042 \cdot 0,01821 = 0,954 \text{ Вб.}$$

Значение номинального тока I_{1d} :

$$I_{1dн} = \sqrt{2} \cdot I_0 = \sqrt{2} \cdot 37,042 = 52,385 \text{ А,}$$

Эквивалентный момент нагрузки, приведенный к валу двигателя:

$$M_{\text{эп.макс}} = 1,7M_{\text{дв.н}} + \Delta M_{\text{с.дв}} = 1,7 \cdot 709,721 + 0,697 = 1218 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Значение максимального тока I_{1q} :

$$I_{1q.\text{макс}} = \frac{M_{\text{эп.макс}}}{\frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L'_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2н}} = \frac{1419}{\frac{3}{2} \cdot \frac{0,01821}{0,0191454} \cdot 2 \cdot 0,954} = 260,61 \text{ А.}$$

Модуль вектора тока статора:

$$\text{mod } \vec{I}_{1\text{макс}} = \sqrt{I_{1q.\text{макс}}^2 + I_{1dн}^2} = \sqrt{260,61^2 + 52,385^2} = 265,823 \text{ А.}$$

Максимальный ток электропривода:

$$I_{\text{эп.макс}} = \frac{\text{mod } \vec{I}_{1\text{макс}}}{\sqrt{2}} = \frac{265,823}{\sqrt{2}} = 187,965 \text{ А.}$$

Условие $I_{\text{эп.макс}} \leq I_{\text{и.макс}}$ выполняется:

$$187,965 < 250,5 \text{ А}$$

Принимаем в дальнейших расчетах $I_{\text{эп.макс}} = 200 \text{ А.}$

Параметры настройки контура тока с ПИ-регулятором
и аналоговым датчиком

Принимаем разрядность АЦП датчика тока преобразователя:

$$n_{\text{ацп.дт}} = 12.$$

Принимаем максимальное значение измеряемого тока (амплитудное значение переменного тока):

$$I_{\text{изм.макс}} = \sigma_T \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 200 = 400 \text{ A},$$

где $\sigma_T \geq 1.2$ – коэффициент, учитывающий возможное увеличение тока за счет перерегулирования.

Коэффициент передачи датчика тока:

$$k_{\text{дт}} = \frac{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.дт}}}}{I_{\text{изм.макс}}} = \frac{0,5 \cdot 2^{12}}{400} = 4,827 \text{ I/A.}$$

Принимаем $N_{\text{от.макс}} = 1$.

Коэффициент обратной связи по току:

$$k_T = \frac{1}{I_{\text{изм.макс}}} = \frac{1}{400} = 0,002357 \text{ I/A.}$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на входе контура тока:

$$k_{\text{ос.т}} = \frac{1}{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.дт}}}} = \frac{1}{0,5 \cdot 2^{12}} = \frac{1}{2048} = 4,883 \cdot 10^{-4}$$

Максимальное значение задания на входе контура тока, соответствующее максимальному действующему значению тока электропривода $I_{\text{эп.макс}}$:

$$N_{\text{зт.макс}} = \frac{\sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}}}{I_{\text{изм.макс}}} = k_T \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 200}{400} = 0,667$$

Принимаем: $T_{\text{ос.т}} = T_{\text{пк.т}} = T_{\text{зу.и}} = T_{\text{шим}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с},$

где: $T_{\text{ос.т}}$ – интервал квантования сигналов в цепи обратной связи контура тока; $T_{\text{пк.т}}$ – интервал квантования управления в прямом канале контура тока; $T_{\text{зу.и}}$ – интервал времени задержки подачи управления от регулятора тока к ключам инвертора.

Принимаем постоянную времени аналогового фильтра в цепи измерения тока $T_{\text{ф.от}} = 0$.

Принимаем коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном:

$$n_{\text{т}} = 2.$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура тока

$$T_{\text{птэ}} = \frac{T_{\text{ос.т}}}{n_{\text{т}}} + T_{\text{зу.и}} + T_{\text{ф.от}} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{2} + 2 \cdot 10^{-4} + 0 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Принимаем коэффициент типовой настройки контура тока на модульный оптимум (МО): $a_{\text{т}} = 2$.

Постоянная времени регулятора тока:

$$T_{\text{рт}} = T_{\text{лэ}} = 0,019315 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора тока:

$$k_{\text{рт}} = \frac{T_{\text{лэ}} \cdot R_{\text{лэ}}}{k_{\text{и}} \cdot k_{\text{т}} \cdot a_{\text{т}} \cdot T_{\text{птэ}}} = \frac{0,019315 \cdot 0,082045}{327,502 \cdot 0,02357 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 10^{-4}} = 3,421$$

$$T_{\text{т}} = a_{\text{т}} \cdot T_{\text{птэ}} = 2 \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора тока I_{ld} :

$$N_{\text{ртд доп}} = 1$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора тока $I_{\text{лq}}$:

$$N_{\text{ртq доп}} = \sqrt{1^2 - N_{\text{ртд}}^2} = \sqrt{1^2 - 1^2} = 0$$

Параметры контура потокосцепления с ПИ-регулятором без датчика

Разрядность АЦП датчика потока

$$n_{\text{ацп.д}\Psi} = 12.$$

Максимальное значение измеряемого потока

$$\Psi_{2\text{изм.макс}} = \sigma_{\Psi} \cdot \Psi_{2\text{н}} = 1,048 \cdot 0,954 = 1 \text{ Вб},$$

где $\sigma_{\Psi} = 1,048$ – коэффициент, учитывающий возможное увеличение потокосцепления за счет перерегулирования.

Коэффициент передачи датчика потока:

$$k_{\text{д}\Psi} = \frac{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.д}\Psi}}}{\Psi_{2\text{изм.макс}}} = \frac{0,5 \cdot 2^{12}}{1} = 2048 \text{ 1/Вб}.$$

Принимаем: $N_{\text{о}\Psi.\text{макс}} = 1.$

Коэффициент обратной связи по потоку:

$$k_{\Psi} = \frac{1}{\Psi_{2\text{изм.макс}}} = \frac{1}{1} = 1 \text{ 1/Вб}.$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на входе контура потокосцепления:

$$k_{\text{ос.}\Psi} = \frac{1}{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.д}\Psi}}} = \frac{1}{0,5 \cdot 2^{12}} = 4,883 \cdot 10^{-4}.$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на входе контура потокосцепления:

$$N_{3\Psi\text{ макс}} = \frac{\Psi_{2\text{н}}}{\Psi_{2\text{изм.макс}}} = k_{\Psi} \cdot \Psi_{2\text{н}} = \frac{0,954}{1} = 0,954.$$

Интервалы квантования сигналов в цепи обратной связи контура потока:

$$T_{\text{ос.}\Psi} = T_{\text{пк.}\Psi} = 10 \cdot T_{\text{шим}} = 10 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

Принимаем постоянную времени аналогового фильтра в цепи измерения потока $T_{\text{ф.о}\Psi} = 0.$

Принимаем коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном:

$$n_{\Psi} = 1$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура потокосцепления:

$$T_{\mu\Psi\Delta} = T_{\tau} + \frac{T_{\text{ос.}\Psi}}{n_{\Psi}} + T_{\text{ф.о}\Psi} = T_{\tau} + \frac{T_{\text{ос.}\Psi}}{n_{\Psi}} + T_{\text{ф.о}\Psi} = 6 \cdot 10^{-4} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{1} = 0,0026 \text{ с.}$$

Принимаем коэффициент типовой настройки контура потокосцепления на модульный оптимум (МО): $a_{\Psi} = 2$.

Постоянная времени регулятора:

$$T_{\text{р}\Psi} = T_2 = 0,6176 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора:

$$k_{\text{р}\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_{\tau}}{L_m \cdot k_{\Psi} \cdot a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi\Delta}} = \frac{0,6176 \cdot 0,02357}{0,01821 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0,0026} = 15,373$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора потока:

$$N_{\text{р}\Psi \text{ доп}} = N_{\text{эт. макс}} = 0,667$$

Параметры контура скорости с ПИ-регулятором с импульсным датчиком скорости

Максимальное значение измеряемой скорости:

$$\omega_{\text{изм. макс}} = \sigma_c \cdot \omega_{\text{ЭП. макс}} = 1,29 \cdot 77,456 = 100 \text{ рад/с,}$$

где σ_c – коэффициент, учитывающий возможное увеличение скорости за счет перерегулирования.

Принимаем $N_{\text{ос. макс}} = 1$.

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$k_c = k_{\text{ос.с}} = \frac{1}{\omega_{\text{изм. макс}}} = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ с/рад.}$$

Значение максимального задания на входе контура скорости:

$$N_{зс.макс} = \frac{\omega_{эп.макс}}{\omega_{изм.макс}} = \frac{77,456}{100} = 0,775$$

Интервалы квантования сигналов в цепи обратной связи контура скорости:

$$T_{ос.с} = T_{пк.с} = 10 \cdot T_{шим} = 10 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Принимаем постоянную времени аналогового фильтра в цепи измерения скорости $T_{ф.ос} = 0$.

Коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном:

$$n_c = 2.$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура скорости:

$$T_{мэз} = T_{т} + \frac{T_{ос.с}}{n_c} + T_{ф.ос} = 6 \cdot 10^{-4} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2} + 0 = 0,0016 \text{ с.}$$

Принимаем коэффициенты типовой настройки контура скорости на симметричный оптимум (СО) : $b_c = a_c = 2$.

Постоянная времени регулятора:

$$T_{рс} = b_c \cdot a_c \cdot T_{мэз} = 2 \cdot 2 \cdot 0,0016 = 0,0064 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора:

$$k_{рс} = \frac{J_{э} \cdot k_{т}}{\Psi_{2н} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L'_2} \cdot z_p \cdot k_c \cdot a_c \cdot T_{мэз}} = \frac{3,521 \cdot 0,02357}{0,954 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,01821}{0,0191454} \cdot 4 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 0,0016} = 47,639$$

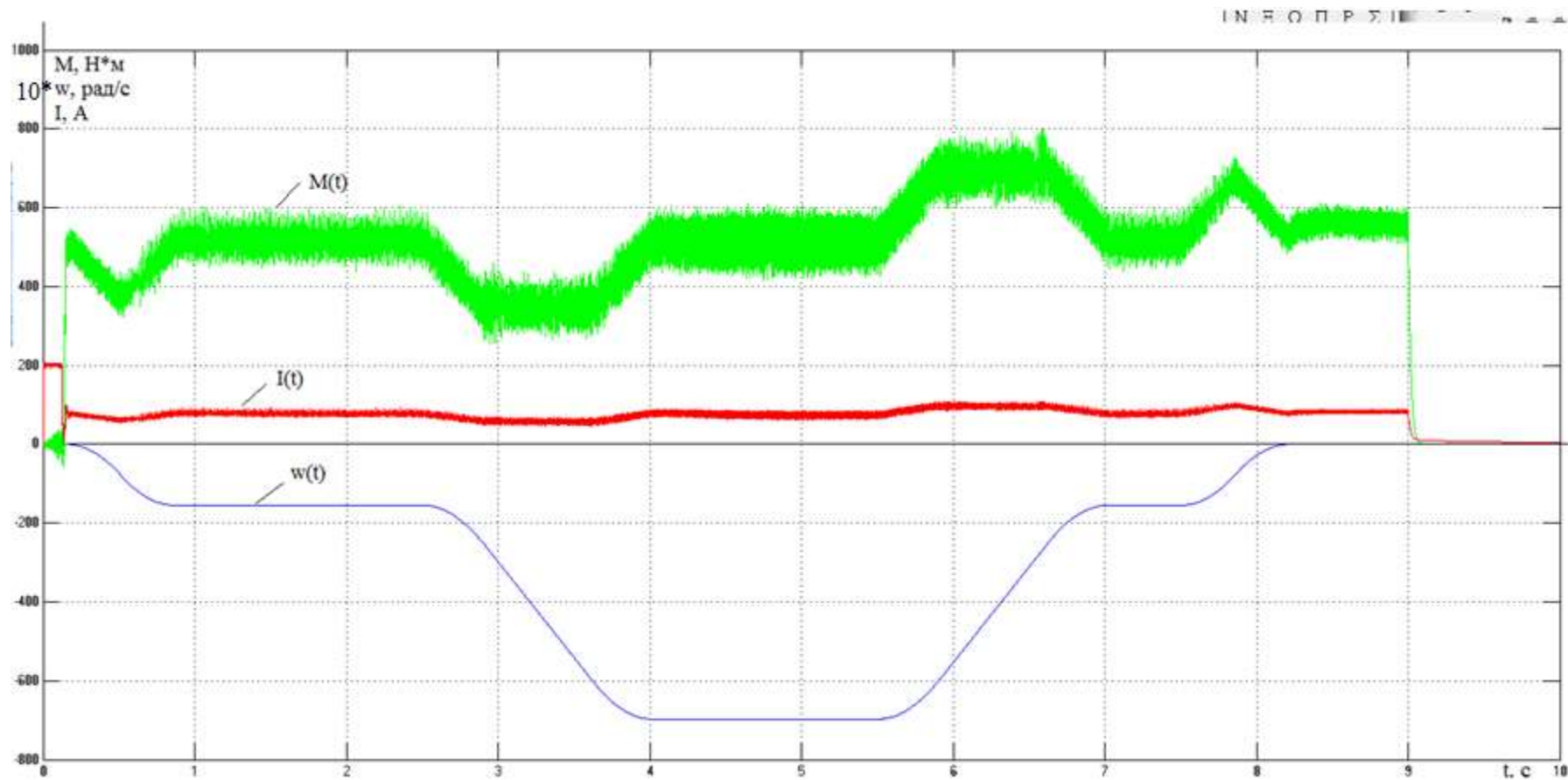


Рисунок 26 – Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при спуске краном груза массой 20 т.

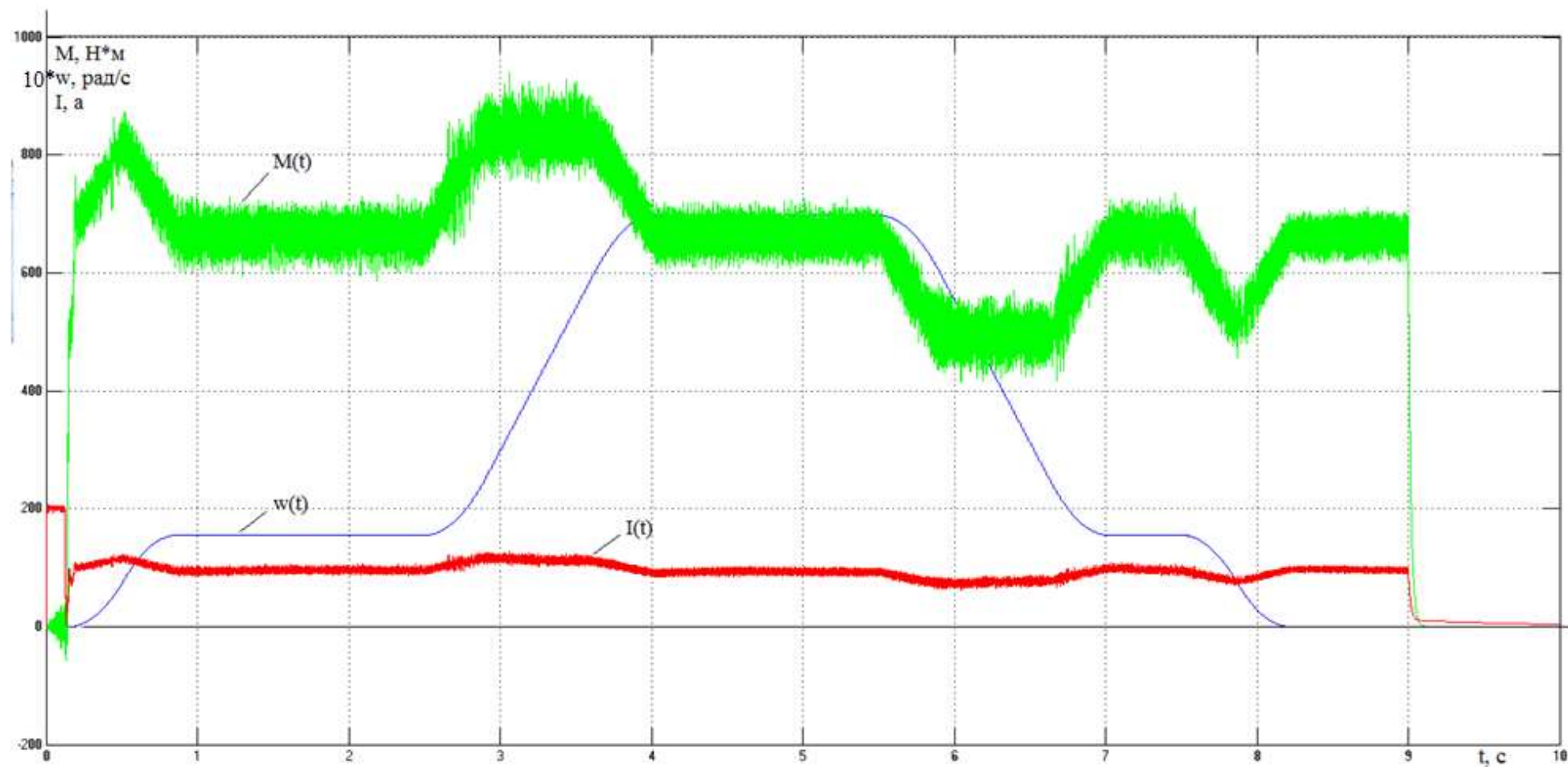


Рисунок 27– Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при подъеме краном груза массой

20 т.

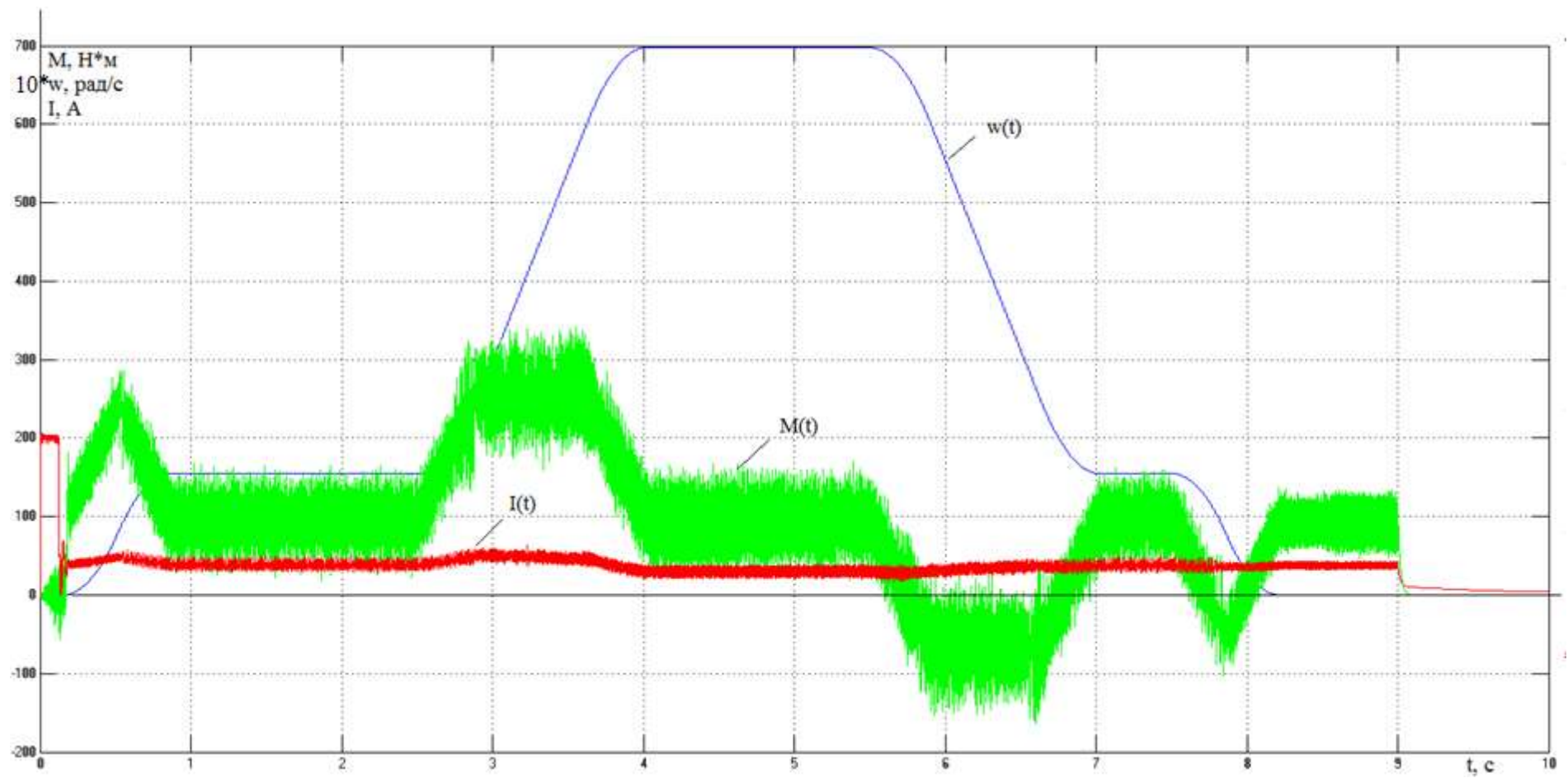


Рисунок 28– Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при подъеме краном пустого крюка

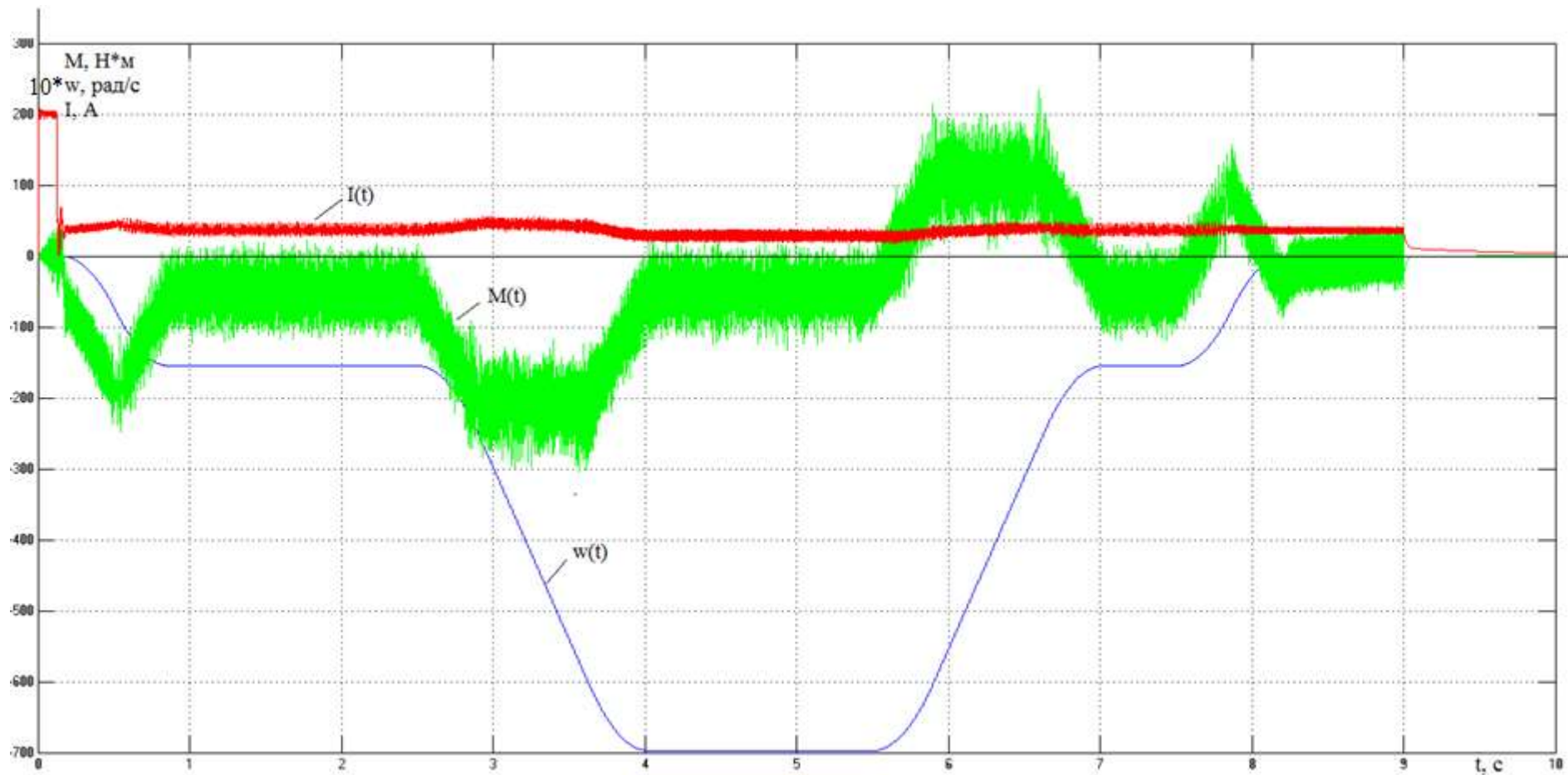


Рисунок 29– Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при спуске краном пустого крюка

Вывод к разделу:

Преимущества векторного метода управления асинхронным двигателем:

- Высокий уровень точности при регулировании скорости вращения вала, несмотря даже на возможное отсутствие датчика скорости;
- Осуществление вращения двигателя на малых частотах происходит без рывков, плавно;
- Установлен датчик скорости, с помощью его достигли номинального значения момента на валу даже при нулевом значении скорости;
- Быстрое реагирование на возможное изменение нагрузки – резкие скачки нагрузки практически не отражаются на скорости электропривода;
- Высокий уровень КПД двигателя, за счет сниженных потерь из-за намагничивания и нагрева.

Несмотря на очевидные преимущества, метод векторного управления имеет и определенные недостатки – большая сложность вычислений, для работы необходимо знание параметров двигателя. Помимо всего прочего колебания значения скорости при постоянной нагрузке значительно больше, нежели при скалярном методе управления. Кстати, существуют такие сферы, где используются электроприводы исключительно со скалярным методом управления. К примеру, групповой электропривод, в котором один преобразователь подпитывает несколько двигателей.

На рисунках 26-29 можно заметить значительные изменения, пульсации тока, момента заметно уменьшились, а переходный процесс скорости происходит без колебаний и скачков как с максимальным грузом, так и без него. По этому в связи с такими выводами, можно сказать, что векторное управление для электропривода мостового крана удовлетворяет всеми условиями технического задания.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5А1	Закиев Рамиль Дамирович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

<i>1. Стоимость ресурсов инженерного проекта(ИП): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием производства..</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Анализ конкурентных технических решений ИП</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
<i>2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИП</i>	<i>Структура работ; Определение трудоемкости; Разработка графика проведения исследования</i>
<i>3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости ИП по разработке стенда</i>
<i>4. Оценка ресурсной эффективности ИП</i>	<i>Расчет интегрального критерия: Интегральный финансовый показатель разработки; Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки; Интегральный показатель эффективности; Сравнительная эффективность вариантов исполнения</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности ИП
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Инвестиционный план. Бюджет ИП
5. Основные показатели эффективности ИП

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н. Доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Закиев Рамиль Дамирович		

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Важнейшим фактором успешного функционирования любого промышленного предприятия, в рамках жесткой конкуренции с отечественными и иностранными производителями, является постоянное совершенствование технологии и продукции. Новые технологии и модернизация — это необходимый фактор для успешного продвижения продукции. Современный рынок требует от отечественного производителя коренной реконструкции и модернизации устаревшего технологического оборудования. Совершенствование технологий производства с целью повышения качества продукции, экономии затраченных средств, внедрение новых идей и соответственно появление новых видов продукции с новыми качествами - все это в условиях свободной конкуренции на рынке требует от товаропроизводителя совершенствоваться и внедрять новое технологическое оборудование.

Данный раздел выпускной квалификационной работы посвящен выбору наиболее выгодного варианта электропривода для рассматриваемого объекта автоматизации. В данном проекте рассматривается частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Преимуществами такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока являются:

- более низкая стоимость;
- минимальные затраты на обслуживание;
- обеспечение требуемой степени защиты.

Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Это важно для рассматриваемого применения, так как оно связано с высокой концентрацией угольной пыли в окружающей среде и требует степени защиты электрических машин не ниже IP54.

В данном разделе будут рассмотрены следующие аспекты:

- Оценка коммерческого потенциала внедрения данной методики;
- Планирование инженерного проекта;
- Расчет бюджета инженерного проекта;
- Определение ресурсной эффективности проекта.

5.1 ОЦЕНКА КОММЕРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

5.1.1 АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

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

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в табл 1. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырёх конкурентных товаров и разработок. В качестве конкурентных товаров были рассмотрены электроприводы (Б_ф – 5АИ280S8, Б_{к1} - 5АМ132М6У3, Б_{к2} -

5AM112M2У3) Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Таблица 1- Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособности		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	4	3	2	0,28	0,21	0,14
3. Энергоэкономичность	0,12	5	4	4	0,6	0,48	0,48
4. Надежность	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
5. Уровень шума	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
6. Безопасность	0,08	4	2	2	0,32	0,16	0,16
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	3	3	0,16	0,12	0,12
2. Цена	0,16	4	5	3	0,64	0,8	0,48
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,13	5	5	3	0,65	0,65	0,39
4. Послепродажное обслуживание	0,05	3	4	1	0,15	0,2	0,05
Итого	1				4,25	3,92	3,22

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Итогом данного анализа является определение конкурентных преимуществ, которые отличающихся высоким уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров. Из данного анализа видно, что наиболее перспективен электропривод *5AI280S8*.

5.1.2 SWOT АНАЛИЗ

SWOT расшифровывается как: Strengths – сильные стороны, Weakness – слабые стороны, Opportunities – возможности, Threats – угрозы.

SWOT анализ-представляет собой комплексный анализ стратегического планирования. С помощью SWOT анализа можно провести исследование сильных и слабых сторон внутренней и внешней сред проекта.

Как правило проведения SWOT анализа производится в три этапа.

Первый этап описывает сильные и слабые стороны проекта. Описание производится путем составления предварительной SWOT матрицы.

Таблица 2 – SWOT анализ

На втором этапе выявляется соответствие сильных и слабых сторон проекта. Эти соответствия должны помочь выявить степень необходимости проведения

стратегических изменений.

	<p>Strengths (сильные стороны) S1. Техническая простота реализации проекта; S2. Экономичность и энергоэффективность технологии. S3. Значительно низкая цена по сравнению с европейскими комплектными приводами S4. Возможность реализации проекта не более чем двумя участниками S5. Высокий срок эксплуатации. S6. Универсальность технологии в применении S7. Пониженные вибро-шумовые характеристики</p>	<p>Weaknesses (слабые стороны) W1. Значительная стоимость оборудования. W2. Повышенная аварийность по сравнению с не регулируемым электроприводом. W3. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по ТО оборудования. W4. Повышенные требования к качеству электроэнергии.</p>
<p>Opportunities (возможности) O1. Экономия электроэнергии за счет использования преобразователя частоты. O2. Увеличение срока эксплуатации электродвигателя за счет снижения частоты вращения. O3. Появление дополнительного спроса на новый продукт. O4. Повышение стоимости импортного оборудования за счет снижения курса пары рубль/доллар США; рубль/евро. O5. Использование отечественных комплектующих.</p>		
<p>Threats (угрозы) T1. Незаинтересованность крупных теплогенерирующих компаний. T2. Отказ привода при снижении качества электроэнергии T3. Развитие отечественных конкурентных разработок T4. Введение дополнительных требований по повышению надежности электропривода котловых установок со стороны государственной инспекции</p>		

Таблица 3 – Связь сильных сторон с возможностями

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
O1	-	+	-	-	-	-	-
O2	-	-	-	-	+	-	+
O3	+	-	-	-	-	-	-
O4	-	-	+	-	-	-	-
O5	-	-	+	+	-	+	-

Таблица 4 – Связь слабых сторон с возможностями

	W1	W2	W 3	W4
O1	+	-	-	-
O2	+	-	-	-
O3	-	-	-	-
O4	+	-	-	
O5	+	-	+	+

Таблица 5 – Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
T1	-	-	-	-	-	-	-
T2	+	-	-	-	-	-	-
T3	-	-	-	-	-	-	-
T4	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 6 – Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2	W 3	W4
T1	-	-	-	-
T2	+	+	-	-
T3	+	-	-	-
T4	-	+	+	+

На третьем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа.

Таблица 7 –Итоговая SWOT матрица

	<p>Strengths (сильные стороны)</p> <p>S1. Техническая простота реализации проекта;</p> <p>S2. Экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>S3. Значительно низкая цена по сравнению с европейскими комплектными приводами</p> <p>S4. Возможность реализации проекта не более чем двумя участниками</p> <p>S5. Высокий срок эксплуатации.</p> <p>S6. Универсальность технологии в применении</p> <p>S7. Пониженные вибро-шумовые характеристики</p>	<p>Weaknesses (слабые стороны)</p> <p>W1. Значительная стоимость оборудования.</p> <p>W2. Повышенная аварийность по сравнению с не регулируемым электроприводом.</p> <p>W3. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по ТО оборудования.</p> <p>W4. Повышенные требования к качеству электроэнергии.</p>
<p>Opportunities (возможности)</p> <p>O1. Экономия электроэнергии за счет использования преобразователя частоты.</p> <p>O2. Увеличение срока эксплуатации электродвигателя за счет снижения частоты вращения.</p> <p>O3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>O4. Повышение стоимости импортного оборудования за счет снижения курса пары рубль/доллар США; рубль/евро.</p> <p>O5. Использование отечественных комплектующих.</p>	<p>O1 S2</p> <p>O2 S5,S7</p> <p>O3 S1</p> <p>O4 S3</p> <p>O5 S3,S4,S6</p>	<p>O1 W1</p> <p>O2 W1</p> <p>O4 W1</p> <p>O5 W1,W3,W4</p>
<p>Threats (угрозы)</p> <p>T1. Незаинтересованность крупных теплогенерирующих компаний.</p> <p>T2. Отказ привода при снижении качества электроэнергии</p> <p>T3. Развитие отечественных конкурентных разработок</p> <p>T4. Введение дополнительных требований по повышению надежности электропривода котловых установок со стороны государственной инспекции</p>	<p>S1 T2</p>	<p>T2 W1,W2</p> <p>T3 W1</p> <p>T4 W2,W3,W4</p>

SWOT анализ показывает, что данная система является перспективной, являясь простой и в то же время высокоэнергоэффективной, а так же конкурентоспособной на отечественном рынке. Недостатками системы являются: высокая по сравнению с нерегулируемым электроприводом аварийность,

вызванная низким качеством электроэнергии, а так же увеличивающаяся конкуренция, ввиду активного развития данного направления в настоящее время.

5.2 ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

5.2.1 СТРУКТУРА РАБОТ В РАМКАХ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выполнения данного проекта необходимо сформировать рабочую группу, в состав которой входят руководитель и инженер. Для каждой из запланированных работ, необходимо выбрать исполнителя этой работы.

Разработанный список задач и производимых работ, в рамках проектирования, а также распределение исполнителей по этим работам, представлен в виде таблицы.

Трудоемкость характеризуется количеством живого труда, затраченного на изготовление какой-либо продукции. Все этапы работы и значения трудоемкости занесены в план-график, таблица 8.

Таблица 8- Этапы и содержание ИП

Основные этапы	Должность исполнителя
1. Разработка ТЗ на проектирование	Р
2. Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	Р, И
3. Описание объекта автоматизации (модернизации)	Р, И
4. Кинематическая схема механизма	И
5. Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	И
6. Расчет мощности и выбор электродвигателя	И
7. Выбор способа регулирования скорости	И
8. Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	И
9. Разработка математической модели системы АУ ЭП	И
10. Оптимизация САР электропривода	И

11. Разработка программы имитационного моделирования	Р, И
12. Вопросы безопасности и экологичности проекта	И
13. Техничко-экономические расчеты	И
14. Составление пояснительной записки	И
15. Разработка графического сопровождения проекта	И
16. Сдача проекта	И

5.2.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ И РАЗРАБОТКА ГРАФИКА ПРОВЕДЕНИЯ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется следующая формула, на примере задачи «Выбор способа регулирования скорости»:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{маxi}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4, \quad (3)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{мини}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{маxi}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{1,4}{1} = 1,4, \quad (4)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, с расчетом для «Выбор способа регулирования скорости» для инженера :

$$T_{ki.рук} = T_{pi} \cdot k_{кал}$$

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 1,4 \cdot 1,47 = 2,058 \approx 2, \quad (5)$$

Где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней.

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 52 - 15} = 1,224 \approx 1,22,$$

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 103 - 15} = 1,4758 \approx 1,47 \quad (6)$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (табл. 9).

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Исполнители	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
		t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
1. Разработка ТЗ на проектирование	Р	1	–	2	–	1,4	–	1,4	–	2	–
2. Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	Р, И	3	4	4	5	3,4	4,4	1,7	2,2	2	3
3. Описание объекта автоматизации (модернизации)	Р, И	4	5	5	6	4,4	5,4	2,2	3,7	3	5
4. Кинематическая схема механизма	И	–	2	–	5	–	3,2	–	3,2	–	5
5. Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	И	–	4	–	5	–	4,4	–	4,4	–	6
6. Расчет мощности и выбор электродвигателя	И	–	1	–	3	–	1,8	–	1,8	–	3
7. Выбор способа регулирования скорости	И	–	1	–	2	–	1,4	–	1,4	–	2
8. Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	И	–	5	–	6	–	5,4	–	5,4	–	8

9. Разработка математической модели системы АУ ЭП	И	–	8	–	10	–	8,8	–	8,8	–	13
10. Оптимизация САР электропривода	И	–	5	–	7	–	5,8	–	5,8	–	9
11. Разработка программы имитационного моделирования	Р, И	5	5	6	7	5,4	5,8	2,7	2,9	3	4
12. Вопросы безопасности и экологичности проекта	И	–	2	–	4	–	2,8	–	2,8	–	4
13. Техничко-экономические расчеты	И	–	5	–	7	–	5,8	–	5,8	–	8
14. Составление пояснительной записки	И	–	7	–	9	–	7,8	–	7,8	–	11
15. Разработка графического сопровождения проекта	И	–	3	–	5	–	3,8	–	3,8	–	6
16. Сдача проекта	И	–	1	–	2	–	1,8	–	1,8	–	3

На основе табл. 9 строится календарный план-график (Рисунок 1). График строится в рамках инженерного проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.



Рисунок 1 - Календарный план-график

Таблица 10– Сводная таблица по календарным дням и часам

	Количество дней	Трудо-затраты, час.
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	88	704
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	10	80
Общее количество календарных дней для выполнения работы	98	784

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

5.3 БЮДЖЕТ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

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

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

5.3.1 МАТЕРИАЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ ИП

Данная статья включает затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 11.

Таблица 11– Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Кол-во	Цена, руб	Общая стоимость, руб
Выключатель автоматический однополюсный IEK С ВА47-29 16 А	1	350	350
Кнопка управления	2	200	400
Лампа индикации	2	150	300
Колодка клеммная	3	120	360
Провод силовой ВВГ(НГ)LS4x4	5 м	130	650
Итого:			2060

5.3.2 РАСЧЕТ АМОРТИЗАЦИИ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования

производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 12 – Специальное оборудование для монтажных и наладочных работ

Наименование оборудования	Количество единиц, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Перфоратор электрический	1	6500	6500
Дрель электрическая	1	3500	3500
Инструмент с изолированной рукоятью(набор)	1	2750	2750
Мультиметр МУ64С	1	5900	5900
Итого		18650	

Таким образом затраты на монтажные и наладочные работы составили 88560 рублей.

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов.

Таблица 13 – Специальное оборудование для экспериментальных работ

Наименование оборудования	Количество единиц, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Компьютер	1	45000	45000
Осциллограф Tektronix TDS 1012B	1	60000	60000
Итого		105000	

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m,$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для компьютера, с учётом, что срок полезного использования 8 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{8} = 0,125.$$

Рассчитаем амортизацию для осциллографа, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Компьютер:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,125 \cdot 40000}{12} \cdot 3 = 1250 \text{ руб.}$$

Осциллограф:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 60000}{12} \cdot 3 = 1500 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 1250 + 1500 = 2750 \text{ руб.}$$

5.3.3 ОСНОВНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА ИСПОЛНИТЕЛЕЙ ТЕМЫ

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_{mc} * (1 + k_{np} + k_d) * k_p = 25000 * (1 + 0,3 + 0,2) * 1,3 = 48750 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_{mc} * (1 + k_{np} + k_d) * k_p = 18000 * (1 + 0,3 + 0,2) * 1,3 = 35100 \text{ руб.}$$

где Z_{mc} – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m * M}{F_d} = \frac{48750 * 10,3}{243} = 2066,3 \text{ руб.,}$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн. (табл. 16); M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m * M}{F_d} = \frac{35100 * 11,2}{243} = 1845,6 \text{ руб.,}$$

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_p,$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Таблица 14 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366

Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	103
- праздничные дни	15	15
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	24
- невыходы по болезни	8	11
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	213

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, руб$	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}, руб$	$Z_{дн}, руб$	$T_{р}, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	25000	0,3	0,2	1,3	48750	2066,3	10	20663
Инженер	18000	0,3	0,2	1,3	35100	1845,6	88	162412,8
Итого:								183075,8

Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн} = 0,14 * 20663 = 2892,8 \text{ руб.},$$

Для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн} = 0,14 * 162412,8 = 22737,7 \text{ руб.},$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,14).

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	Дополнительная заработная плата
Руководитель	2892,8

Инженер	22737,7
Итого	25630,5

5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб}(З_{осн} + З_{доп}) = 0,3*(20663+2892,8) = 7066,7 \text{ руб.},$$

Для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб}(З_{осн} + З_{доп}) = 0,3*(162412,8+22737,7) = 55545,1 \text{ руб.},$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

Таблица 17 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	Отчисления во внебюджетные фонды
Руководитель	7066,7
Инженер	55545,1
Итого	62611,8

5.3.5 НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 6) * k_{\text{нр}}$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 16%.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ (название темы) по форме, приведенной в таблице 18.

Таблица 18 – Группировка затрат по статьям

Статьи								
Сырье, материалы	Специальное оборудование	Амортизация	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
2060	18650	2750	183075,8	25630,6	62611,8	362628,1	58020,4	420648,5

5.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги:

1. Регулируемый электропривод состоящий из электродвигателя 5AM132M6У3 и преобразователя частоты Danfoss.
2. Регулируемый электропривод состоящий из электродвигателя 5AM112M2У3 и преобразователя частоты Веспер.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{исп.1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\max}} = \frac{420648.5}{515000} = 0.81 ;$$

$$I_{финр}^{исп.2} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\max}} = \frac{515000}{515000} = 1 ;$$

$$I_{финр}^{исп.3} = \frac{\Phi_{p3}}{\Phi_{\max}} = \frac{394500}{515000} = 0,77 .$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности

В данном разделе необходимо произвести оценку ресурсоэффективности проекта, определяемую посредством расчета интегрального критерия, по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i ,$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i – весовой коэффициент проекта; b_i – бальная оценка проекта, устанавливаемая опытным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 19.

Таблица 19 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Вес критерия	Баллы		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	4	3	2
3. Энергоэффективность	0,12	5	4	4
4. Надежность	0,2	4	4	4
5. Уровень шума	0,05	3	4	4
6. Безопасность	0,08	4	2	2
7. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	3	3
8. Цена	0,16	4	5	3
9. Предполагаемый срок эксплуатации	0,13	5	5	3
10. Послепродажное обслуживание	0,05	3	4	1
Итого	1	4,25	3,92	3,22

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,1 \cdot 5 + 0,07 \cdot 4 + 0,12 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,08 \cdot 4 + 0,04 \cdot 4 + 0,16 \cdot 4 + 0,13 \cdot 5 + 0,05 \cdot 3 = 4,25$$

$$I_{p2} = 0,1 \cdot 3 + 0,07 \cdot 3 + 0,12 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,08 \cdot 2 + 0,04 \cdot 3 + 0,16 \cdot 5 + 0,13 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 = 3,92$$

$$I_{p3} = 0,1 \cdot 4 + 0,07 \cdot 2 + 0,12 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,08 \cdot 2 + 0,04 \cdot 3 + 0,16 \cdot 3 + 0,13 \cdot 3 + 0,05 \cdot 1 = 3,22$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп.1}}{I_{исп.1}} = \frac{4,25}{0,81} = 5,24 ;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (табл. 20). Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = \frac{4,4}{6,25} = 0,7.$$

Таблица 20 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,81	1	0,77
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25	3,92	3,22
3	Интегральный показатель эффективности	5,24	3,92	4,18
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,76	0,81

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации устройства, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;
2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 90 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 88 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 10;
3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 420648,5 руб;
4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:
 - Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,81, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;

- Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,25, по сравнению с 3,92 и 3,22;
- Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,24, по сравнению с 3,92 и 4,18, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
---------------	------------

3-5Г5А1	Закиев Рамиль Дамирович
---------	-------------------------

Школа	Инженерная школа энергетиков	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электропривод и автоматика

Тема ВКР: Частотно- регулируемый электропривод подъемной лебедки мостового крана

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Электропривод механизма подъемной лебедки крана КМ20, применяемого для выполнения крановщиком погрузочно-разгрузочных работ, монтажа, демонтажа и ремонта оборудования, перемещения грузов.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Конституция Российской Федерации, ГОСТ 12.0.002-2014, Трудовой кодекс Российской Федерации, ГОСТ 12.0.004-2015, ГОСТ 12.2.003–91, ГОСТ 12.0.004-2015, СанПиН 2.2.4.3359-16, ГОСТ 12.4.011-89, ГОСТ 23120-2016.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. 2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	1. Повышенный уровень вибрации; 2. Повышенный уровень шума; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 1. Движущиеся машины и механизмы; 2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.
3. Экологическая безопасность	Загрязнение окружающей среды смазочными материалами. Проведение мероприятий по утилизации.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	- Возможные ЧС: пожар, стихийные бедствия. - Типичные ЧС: авария.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5А1	Закиев Рамиль Дамирович		

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Социальная ответственность (socialresponsibility) - ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения;
- интегрировано в деятельность всей организации и применяется в ее взаимоотношениях.

Темой дипломного проекта является частотно-регулируемый электропривод подъемной лебедки мостового крана.

Рабочее место крановщика – кабина крана, являющаяся ограниченным рабочим пространством. Правильная, научно обоснованная организация рабочего места, учитывающая физиологические особенности организма человека и конкретные условия эксплуатации крана, способствует повышению производительности труда машиниста. Поэтому при организации рабочего места машиниста учитываются эргономические показатели кабины управления, оптимальная освещенность рабочей площадки и т. п. Конструкция кабины должна обеспечивать хороший обзор любой точки рабочей площадки, защиту машиниста от избыточного тепла, шума и вибраций, электробезопасность, легкость и удобство управления краном.

6.1 ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

6.1.1 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРАВОВЫЕ НОРМЫ ТРУДОВОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА

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

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

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

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

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

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

6.1.2 ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ КОМПОНОВКЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Для подъема на рабочее место машиниста на экскаваторе должна быть установлена безопасная лестница с высотой перил от поверхности ступени 850-950 мм. согласно ГОСТ 23120-2016.

Дверной проем должен иметь высоту не менее 1900 мм, ширину не менее 650 мм (для исполнения ХЛ - не менее 750 мм) с учетом уплотнения.

Запорное устройство и уплотнение должны обеспечивать герметичность и безотказное открывание и закрывание двери.

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

Кресло должно иметь следующие основные размеры, мм:

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

Кроме того кабина крановщика должна быть оборудована средствами или устройствами:

1) для предотвращения запотевания и обмерзания стекол при температуре наружного воздуха до минус 40 °С, по требованию заказчика для исполнения ХЛ по ГОСТ 15150 – 69 - до минус 55 °С;

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

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

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

5) для аварийного покидания кабины.

Остекление кабины должно быть устойчивым к механическому воздействию по ГОСТ 32565-2013. Окна должны иметь форточки или частично открываться. Стекла по периметру должны иметь вибродемпфирующую прокладку.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

6.2.1 АНАЛИЗ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ, КОТОРЫЕ МОГУТ ВОЗНИКНУТЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Монтаж	Эксплуатация	
1. Превышение уровня шума		+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
2. Превышение уровня вибрации		+	+	ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.009-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность.
5. Движущиеся машины и механизмы		+	+	ГОСТ 32576.5-2013 Краны грузоподъемные. Средства доступа, ограждения и защиты. Часть 5.

Превышение уровня вибрации

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

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека: повышение утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений, что ведет к снижению работоспособности и производительности труда, соответственно, а также происходит развитие нервных заболеваний, нарушение функций сердечно-сосудистой системы, нарушение функций опорно-двигательного аппарата, поражение мышечных тканей и суставов, нарушение функций органов внутренней секреции, что влечет за собой возникновение вибрационной болезни. Согласно пункту 2.4.22 ГОСТ 27584-88, допустимые значения вертикальной и горизонтальной виброскорости на сиденье и полу кабины в децибелах не должны превышать значений, указанных в табл.2 [8].

Таблица 2

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	2	4	8	16,3	31	63
Значения виброскорости, дБ	112	103	97	96	96	96

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

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

Превышения уровня шума

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

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

Уровни шума не должны превышать норм, установленных действующими нормативными документами государств, упомянутых в предисловии как проголосовавшие за принятие межгосударственного стандарта согласно пункту 13.12. ГОСТ 13556-2016 Краны грузоподъемные.

Конкретные значения допустимых уровней вибрации и шума следует указывать в технических условиях и эксплуатационной документации на кран.

Мероприятия по борьбе с шумом подразделяются на организационно-технические, архитектурно-планировочные и лечебно-профилактические, а именно:

- устранение причин возникновения шума или снижение его в источнике;
- применение звукоизоляции, звукопоглощения, демпфирования и глушителей шума (активных, резонансных, комбинированных);
- использование средств индивидуальной защиты;
- введение регламентированных дополнительных перерывов;

Недостаточная освещенность рабочей зоны

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

Согласно пункту 5.1.4 ГОСТ 33173.1-2014, кабина должна быть оборудована внутренним освещением. Локальное освещение органов управления устанавливается при необходимости. Оно не должно давать бликов и отражений на поверхностях. Локальное освещение должно включаться отдельным выключателем. Освещенность от источников общего освещения кабины (плафона) на рабочих поверхностях органов управления должна быть не менее 20 лк.

6.2.2 АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ, КОТОРЫЕ МОГУТ ВОЗНИКНУТЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Движущиеся машины и механизмы

Основными видами опасности, воздействующими на крановщика, являются:

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

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

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

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

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

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

6.3 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

В процессе эксплуатации крана возможно загрязнение окружающей среды смазочными материалами.

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

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

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

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

При утилизации должны соблюдаться следующие правила:

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

- при утилизации должны быть выдержаны нормы охраны окружающей среды;

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

6.4 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

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

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

Под аварией понимается опасное происшествие на промышленном объекте или на транспорте, создающее угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению производственных помещений и сооружений, повреждению или уничтожению оборудования, механизмов, транспортных средств, сырья и готовой продукции, к нарушению производственного процесса и нанесению ущерба окружающей среде

Под стихийным бедствием понимается разрушительное природное или природно-техногенное явление, в результате которого может возникнуть или возникает угроза жизни и здоровью людей, происходит разрушение или уничтожение материальных ценностей и элементов окружающей среды.

Выводы по разделу

В моей работе рассмотрено крановое оборудование которое является одним из основных средств комплексной механизации всех отраслей

народного хозяйства. Расширения отрасли машиностроения, занимающейся производством грузоподъемных машин, является важным направлением развития народного хозяйства для решения задачи всемерного сокращения и ликвидации тяжелого ручного труда.

В данном разделе «Социальная ответственность» проанализированы и определены вредные и опасные факторы среды, негативные воздействия на окружающую среду, чрезвычайные ситуации при работе в процессе эксплуатации частотно- регулируемого электропривода подъемной лебедки мостового крана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе произведено исследование между скалярным и векторным управлением методом моделирования на ЭВМ и вследствие этого можно сказать, что при скалярном управлении возникают провалы скорости двигателя и затем восстановление её после исчезновения перегрузки. Процессы торможения и разгона двигателя в этом случае уже практически не управляются при максимальном грузе, особенно при его подъеме на определенную высоту.

Значительные пульсации тока, момента и особенно скорости, не позволяют говорить о плавных характеристиках процесса.

По этому для для данной работы скалярное управление не удовлетворяет нашим условиям.

Векторное управление по отношению к скалярному в данном случае имеет значительные преимущества, что доказали исследования.

Преимущества векторного метода управления асинхронным двигателем:

- Высокий уровень точности при регулировании скорости вращения вала;
- Осуществление вращения двигателя на малых частотах происходит без рывков, плавно;
- Установлен датчик скорости, с его помощью достигли номинального значения момента на валу даже при нулевом значении скорости;
- Быстрое реагирование на возможное изменение нагрузки – резкие скачки нагрузки практически не отражаются на скорости электропривода,
- Высокий уровень КПД двигателя, за счет сниженных потерь из-за намагничивания и нагрева.

Вследствие всего был разработан частотно регулируемый электропривод мостового крана грузоподъемностью 20 тонн с векторным управлением в соответствии с требованиями технического задания.

Удовлетворяющий следующим техническим требованиям и характеристикам.

1. Режим работы – повторно-кратковременный.
2. Электропривод реверсивный, диапазон регулирования $D = 1:20$.
3. Погрешность поддержания заданной частоты не более 10 % на нижней рабочей скорости.
4. Управление электроприводом - ручное, с пульта управления обслуживающим персоналом, в автоматизированном режиме поддержания давления с перспективой интеграции в систему управления более высокого уровня.

5. Электродвигатель должен быть предназначен для работы в условиях повышенной температуры, иметь закрытое исполнение со степенью защиты не ниже IP21.

6. Преобразователь должен быть предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающего воздуха от 5° до 45°С и относительной влажности не более 80% .

7. Система управления электроприводом должна обеспечивать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания.

8. Сеть трёхфазная, $380 \pm 10\%$ В, 50 ± 1 Гц.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства участка путем улучшения энергоэффективности, энергосбережения при внедрении более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

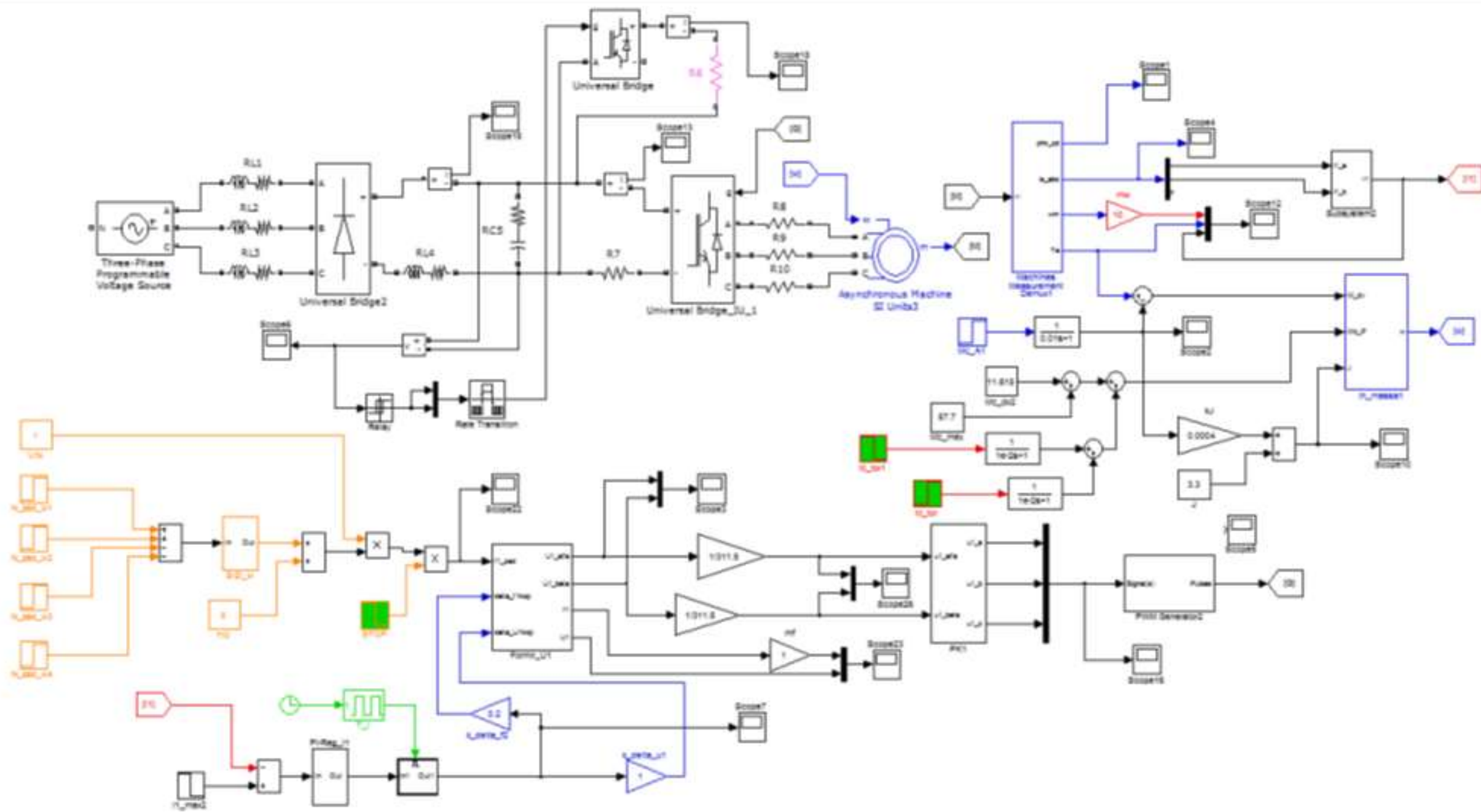
1. ГОСТ Р 12.3.047-98 "ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования.
2. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. СП 2.13130.2009
3. Онищенко Г.Б., Ред. Автоматизированный электропривод промышленных установок: Уч. пособие для ВУЗов, М.: Энергоатомиздат, 2001
4. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электроприводах.– Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1998. 172 с.

5. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами.-Л.: Энергоатомиздат, 1982
6. Ключев В.И. Теория Электропривода – М.: Энергоатомиздат, 1985
7. Кабели и провода / под ред. Привезенцева В.А. – М.: Машиностроение, 1964
8. Справочник по электрическим машинам. Под общ. ред. И. П. Копылова и Б. К. Клокова. Т.1. – М.:Энергоатомиздат, 1988.
9. СНиП 2.01.02–85 - Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений, Стройиздат, 1976
10. ГОСТ 12.1.038-82 - **Предельно допустимые** значения напряжений прикосновения и токов.
11. Егорин В.Н. Расчёт опасности поражения электрическим током. – Томск: изд-во ТПИ, 1969
12. ГОСТ 12.3.002-75 ССБТ - Требования безопасности к производственным процессам.
13. *ГОСТ Р 22.0.02-94* - Безопасность в чрезвычайных ситуациях
14. Управление проектами. / под.ред. Шапиро С.И. – С-Петербург,1993
15. Удут Л.С, Мальцева О.П. Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч 5. Применение программы DORA-FUZZY для имитационного моделирования автоматизированных электроприводов. - издание 2-е переработанное и дополненное - Томск: Изд-во ТПУ, 2007. - 180 с
16. Правила по охране труда на предприятиях- ПОТ РО 14000-001-98
17. Определение в отношении опасности поражения людей электрическим током - ПУЭ (6-е изд.) в разд. 1.1.13
 18. Охрана природы. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями - ГОСТ 17.23.02-78
 19. СанПиН 2.2.4.548-96 - Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

20. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч 6. Механическая система электропривода. - издание 2-е переработанное и дополненное - Томск: Изд-во ТПУ, 2007. - 148 с
21. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления электроприводов: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2007. - 152 с.
22. Яуре А. Г. Певзнер Е. М. Крановый электропривод: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 334 с.
23. Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Расчет характеристик электроприводов переменного тока. Ч. 1. Асинхронный электродвигатель: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2005. - 136 с.
24. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 7 Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. - 164 с.
25. Системы управления электроприводов: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. - 152 с.
26. Ласточкин В.М., Шамрай Ф.А. Методика по силовому расчету частотно-регулируемых электроприводов крановых механизмов. - техническая коллекция Schneider Electric, 2007 г., 19 с.
27. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.
28. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Техничко-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.
29. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий.
30. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
31. ГОСТ 21753-76 Система "человек-машина". Рычаги управления. Общие эргономические требования (с Изменением N 1).

- 32 ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
- 33 ГОСТ 32565-2013 Стекло безопасное для наземного транспорта. Общие
технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3).
- 34 ГОСТ 12.1.003-2014 Шум. Общие требования безопасности.
- 35 ГОСТ 12.1.012-2004 ВИБРАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. Общие
требования.
- 36 ГОСТ 27584-88 Краны мостовые и козловые электрические. Общие
технические условия (с Изменением N 1).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1



ПРИЛОЖЕНИЕ 2

