

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

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»
Кафедра Электропривод и электрооборудование

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы			
Электропривод механизма подъема мостового крана УДК 62-83-523:621.874-8			
Студент			
Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Ковалев А.С.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Дементьев Ю.Н.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электропривод и электрооборудование	Дементьев Ю.Н.	к.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

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

Институт Энергетический
 Направление подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»
 Кафедра Электропривод и электрооборудование

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Дементьев Ю.Н.
 (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
3-5Г12	Ковалеву Александру Сергеевичу

Тема работы:

Электропривод механизма подъема мостового крана
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p align="center">Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Объектом исследования является Электропривод механизма подъема мостового крана. В качестве исходных данных представлены: Описание промышленной установки и анализ технологического процесса Выбор системы электропривода и автоматизация промышленной установки Расчетные параметры электродвигателя Выбор преобразователя частоты</i></p>
<p align="center">Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - постановка задачи проектирования; - проектирование электропривода механизма подъема мостового крана; - детальное рассмотрение особенностей электропривода, выбор преобразователя частоты, расчет и выбор электродвигателя; - обоснование результатов выполненной работы; - разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; - разработка раздела «Социальная ответственность»; - заключение.
<p align="center">Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - схемы набора имитационных моделей электропривода

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
«Социальная ответственность»	Романцов Игорь Иванович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.03.2016г
---	-------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Дементьев Ю.Н.	К.Т.Н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Ковалев А.С.		

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

Студенту:

Группа 3-5Г12	ФИО Ковалеву Александру Сергеевичу
-------------------------	--

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электропривод и автоматика

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

1. <i>Стоимость затрат технического проекта</i>	<i>В техническом проекте были задействованы 2 человека (руководитель, бакалавр). Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г.Томску. Зарботная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ</i>
2. <i>Продолжительность выполнения</i>	<i>Приблизительная оценка продолжительности выполнения технического проекта определяется исходя из ожидаемой трудоёмкости работ.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Планирование и формирование графика работ по реализации технического проекта</i>	<i>Для составления графика по проектированию электропривода мостового крана</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>оценить технический проект выявляя при этом сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы</i> • <i>определить трудоемкость работ для каждого исполнителя. По полученным данным построить диаграмму Ганта, которая, позволяет спланировать процесс реализации технического проекта</i>
2. <i>Формирование сметы технического проекта</i>	<i>В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям:</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>материальные затраты;</i> • <i>полная заработная плата исполнителей;</i> • <i>отчисления во внебюджетные фонды;</i> • <i>накладные расходы;</i>
3. <i>Ресурсоэффективность технического проекта</i>	<i>Оценка эффективности проекта производится с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности</i>

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Ковалев Александр Сергеевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г12	Ковалеву Александру Сергеевичу

Институт	Энергетический	Кафедра	Электропривод и электрооборудование
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) - негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) - чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p align="center"><i>Описание рабочего места на предмет возникновения:</i></p> <p align="center"><i>-вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</i></p> <p align="center"><i>- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, электрической, природы)</i></p>
<p><i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p align="center"><i>ПУЭ, СН-245, НПБ 105-03, ГОСТ 12.1.012-90, ГОСТ 12.0.002-97, ГОСТ 12.1.005-97, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; - действие фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<ul style="list-style-type: none"> - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; - действие фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)

<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); <ul style="list-style-type: none"> – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактич. мероприятия, средства пожаротушения) 	<ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – разработка и принятие решений по обеспечению экологической безопасности предприятия.
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; <ul style="list-style-type: none"> – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; <ul style="list-style-type: none"> – эвакуация людей из зданий и помещений.
<p>Перечень графического материала:</p>	
<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию</p>	

<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	<p>01.03.2016г</p>
--	--------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г12	Ковалев А.С.		

Техническое задание

Разработать регулируемый электропривод мостового крана грузоподъемностью 15 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 126 страниц, 42 рисунка, 15 таблиц, 23 используемых источников, 2 листа графического материала.

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

Объектом модернизации является электропривод мостового крана грузоподъемностью 15 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, статическом редакторе Microsoft Excel, графическом редакторе Visio SP1. Расчёты производились с помощью пакета прикладных программ MathCAD Professional Rus. Имитационное моделирование электропривода выполнено с помощью пакета программ MatLab

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	15
1 Технологическая часть	17
1.1 Описание промышленной установки и анализ технологического процесса	17
1.2 Анализ кинематической схемы, определение параметров и проектирование расчетной схемы механической части электропривода	18
2 Выбор системы электропривода и автоматизация промышленной установки	20
2.1 Литературный обзор по теме выпускной квалификационной работы	20
2.2 Определение возможных вариантов и выбор рациональной системы электропривода	21
3 Выбор элементов силового канала электропривода и расчет параметров	23
3.1 Выбор электродвигателя и расчет параметров	23
3.1.1 Расчетные параметры электродвигателя	25
3.1.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя по каталоговым данным	26
3.1.3 Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик электродвигателя	31
3.1.4. Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода	35
3.2 Механическая система электропривода подъема	38
3.2.1 Параметры элементов механической системы привода	38
3.3 Определение заданной области работы	40
3.4 Выбор преобразователя частоты	42

3.4.1	Параметры преобразователя частоты	43
3.4.2	Проверка правильности выбора преобразователя	44
4	Разработка и исследование электроприводов со скалярным управлением	46
4.1	Разработка имитационных моделей электропривода со скалярным управлением	46
4.2	Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана со скалярным управлением	54
4.2.1	Программа исследований электропривода	54
4.2.2	Параметры элементов силового канала электропривода мостового крана	55
5	Разработка и исследование систем электропривода с векторным управлением	62
5.1	Разработка имитационной модели регулируемого электропривода с векторным управлением	62
5.2	Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода мостового крана с векторным управлением	76
5.2.1	Программа исследований электропривода	76
5.3	Исходные параметры настройки САР РЭП	77
6.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и Ресурсосбережение	90
6.1	SWOT-анализ по разработке проекта электропривода мостового крана	9
6.2	Планирование технического проекта	93
6.2.1.	Определение структуры работ в рамках технического проектирования	93
6.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	95
6.3	Составление сметы технического проекта	97
6.3.1	Затраты на специализированное оборудование	97

6.3.2	Полная заработная плата исполнителей ВКР	98
6.3.3	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	100
6.3.4	Накладные расходы	100
6.3.5	Формирование сметы технического проекта	101
6.4	Определение ресурсоэффективности проекта	101
7	Социальная ответственность	104
7.1	Анализ опасных и вредных факторов	105
7.2	Техника безопасности	105
7.3	Производственная санитария	106
7.4	Расчёт опасности поражения электрическим током	109
7.5	Расчёт заземления	110
7.6	Пожарная безопасность	113
7.7	Охрана окружающей среды	115
7.8	Защита от чрезвычайных ситуаций	119
	Заключение	122
	Список использованных источников	126
	Приложение 1	
	Приложение 2	

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.

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.

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 15 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.

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.

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

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	$V_{макс}$	0,3
Барабан		
Диаметр, м	$D_б$	502
Момент инерции барабана, кгм ²	$J_б$	1200
Редуктор		
Номинальный к. п. д. передачи		0,9
Передаточное число редуктора	$i_{ред}$	32,4
Кратность полиспаса	i	4

□

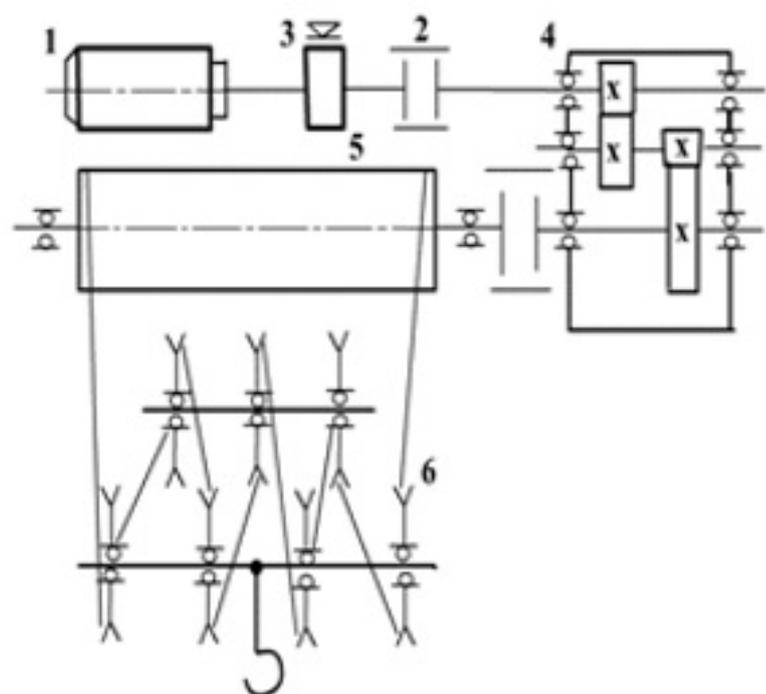


Рисунок 1 – Кинематическая схема механизма подъема

где:

1 - электродвигатель;

2 - муфта;

3 - тормоз;

4 - редуктор;

5 - барабан;

6 - полиспаст.

2 Выбор системы электропривода и автоматизация промышленной установки

2.1 Литературный обзор по теме выпускной квалификационной работы

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.

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.

2.2 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 $PВ=40\%$, 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.

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 5AI280S8.

Рисунок 2 - Двигатель 5АИ280S8.

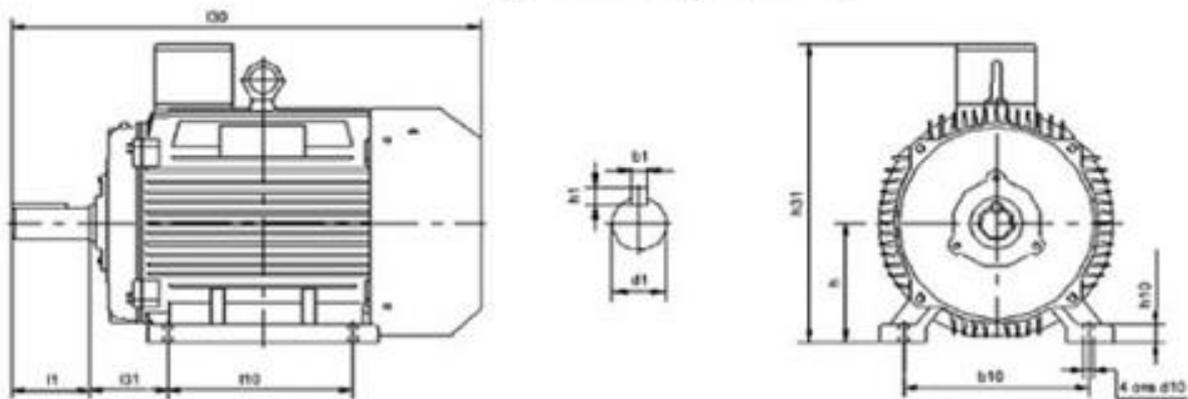
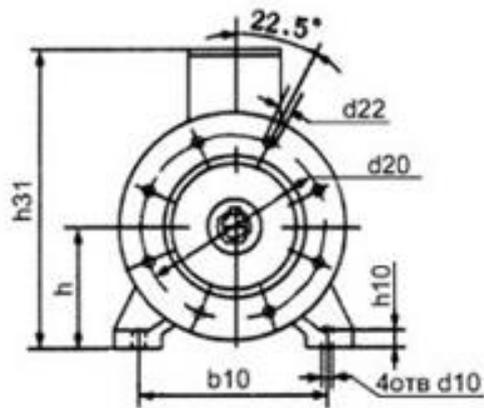
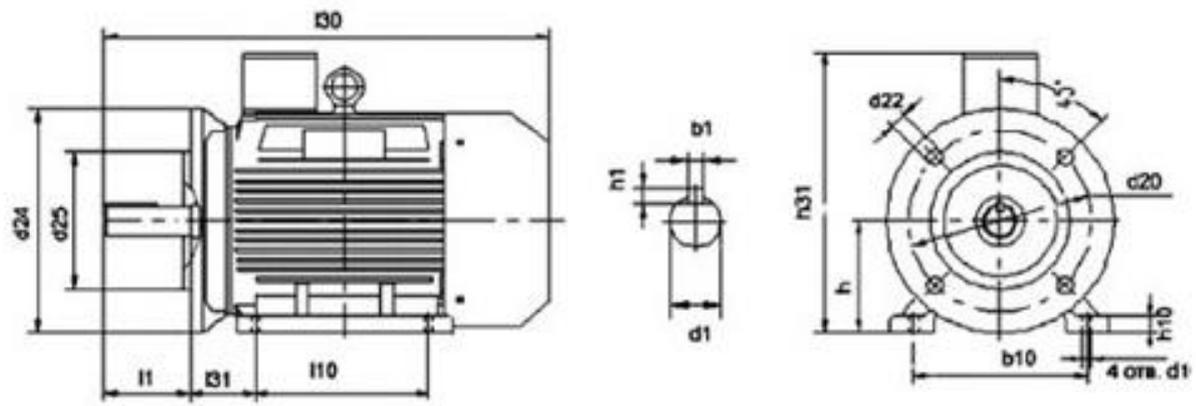


Рисунок 3 - Типоразмер двигателя

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 , %	$\cos\varphi_n$
5AI280S8	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

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

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

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

3.1.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя

по каталоговым данным

Параметры схемы замещения асинхронного двигателя, приведенной на рисунке 4, определим по методике, изложенной выше 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	$X_{\mu},$ Ом	$X_k,$ Ом	$L_{\mu},$ 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

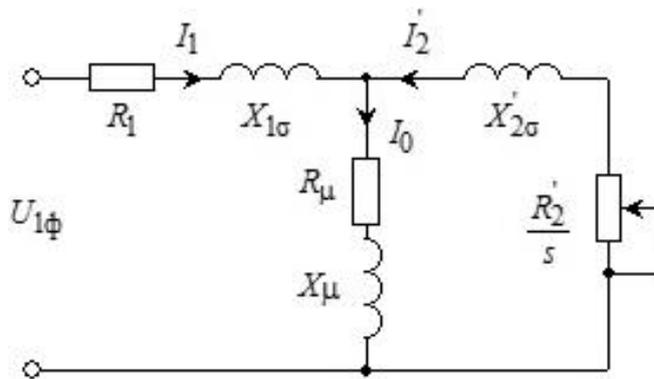


Рисунок 4 – Схема замещения асинхронного двигателя

Номинальный ток статора

$$I_{1н} = \frac{P_n \cdot 1000}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{55000}{3 \cdot 220 \cdot 0,86 \cdot 0,936} = 103,525 \text{ А}$$

Ток статора двигателя при частичной нагрузке

$$I_{1п} = \frac{P_n \cdot p^*}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}} = \frac{55000}{3 \cdot 220 \cdot 0,83 \cdot 0,936} = 80,938 \text{ А}$$

где:

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

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

Коэффициент мощности при частичной нагрузке

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

Ток холостого хода асинхронного двигателя

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

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

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

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1н}} = 1 + 103,525 = 1,026$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1н}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_M \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,0133)}{2 \cdot 1,026 \cdot 2,2 \cdot 55000} = 0,57$$

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

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

$$E_1 = \sqrt{(U_{1н} \cdot \cos \varphi_n - I_{1н} \cdot R_1)^2 + (U_{1н} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_n} - I_{1н} \cdot X_{1\sigma})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0,86 - 103,525 \cdot 0,054)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,86^2} - 103,525 \cdot 0,218)^2} = 204,31 \text{ В.}$$

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)

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

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

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

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

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

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

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:

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{змн}}^* \leq 1.1 \cdot M_{\text{дв.н}} = 709,721 < 721,339 \leq 780,693.$$

$$M_{\text{змн}}^{\infty} \approx M_{\text{змн}}^* . 721,274 \approx 721,339$$

По результатам расчета эти условия выполняются

Рассчитанные параметры схемы замещения сведены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, Ом	$L_{1\sigma}$, 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	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:

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

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

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

Критический момент и критическое скольжение двигателя на естественной характеристике

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

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

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

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

Номинальный электромагнитный момент двигателя

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

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

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

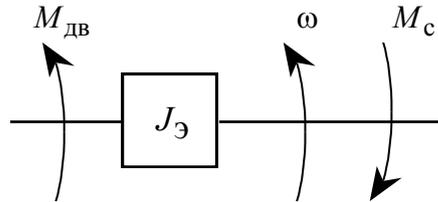


Рисунок 5 – Расчетная схема механической системы привода

На рисунке 5 приняты следующие обозначения:

$M_{дв}$ – вращающий момент, развиваемый на валу электродвигателя, Н×м;

$M_{с}$ – момент нагрузки с учетом потерь в механизме, приведенный к валу двигателя, Н×м;

ω – угловая скорость, рад/с;

$J_{э}$ – эквивалентный момент инерции привода, приведенный к валу двигателя, кг×м².

Коэффициент передачи

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

Момент инерции барабана приведенный

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

Приведенный момент инерции максимальный

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

Приведенный момент инерции минимальный

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

Эквивалентный момент инерции максимальный

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

Эквивалентный момент инерции минимальный

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

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

$m_{\text{гр}} = 15000$ – масса груза максимальная.

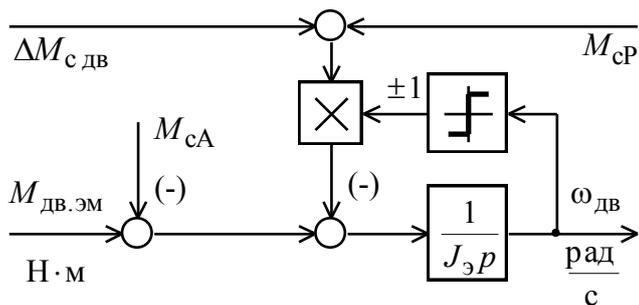


Рисунок 6 – Структурная схема одномассовой механической системы регулируемого электропривода

3.3 Определение заданной области работы

Момент сопротивления на валу двигателя

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

КПД передачи в номинальном режиме

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

где

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

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

Коэффициенты постоянных и переменных потерь

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

Приведенный к валу двигателя момент, обусловленный грузом:

– при максимальном грузе

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

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

$m_{\text{гр}} = 15000$ – масса груза максимальная.

– при минимальном грузе

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

Величина постоянных потерь в механизме

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

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

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

Статические моменты:

– при подъеме максимального груза

$$M_{\text{с1макс}} = M_{\text{с.дв.}} + M_{\text{с.пост}} + (1 + b) \cdot M_{\text{гр.макс}} = 11,618 + 57,686 + (1 + 0,097) \cdot 592,436 = 719,206 \text{ Н} \times \text{м};$$

– при подъеме пустого грузозахватного устройства

$$M_{\text{с1мин}} = M_{\text{с.дв.}} + M_{\text{с.пост}} + (1 + b) \cdot M_{\text{гр.мин}} = 11,618 + 57,686 + (1 + 0,097) \cdot 22,786 = 94,3 \text{ Н} \times \text{м};$$

– при спуске максимального груза

$$M_{\text{с2макс}} = -M_{\text{с.дв.}} - M_{\text{с.пост}} + (1 - b) \cdot M_{\text{гр.макс}} = -11,618 - 57,686 + (1 - 0,097) \cdot 592,436 = 580,598 \text{ Н} \times \text{м};$$

– при спуске пустого грузозахватного устройства

$$M_{\text{с2мин}} = -M_{\text{с.дв.}} - M_{\text{с.пост}} + (1 - b) \cdot M_{\text{гр.мин}} = -11,618 - 57,686 + (1 - 0,097) \cdot 22,786 = -44,3 \text{ Н} \times \text{м};$$

Заданная область работы приведена на рисунке 7.

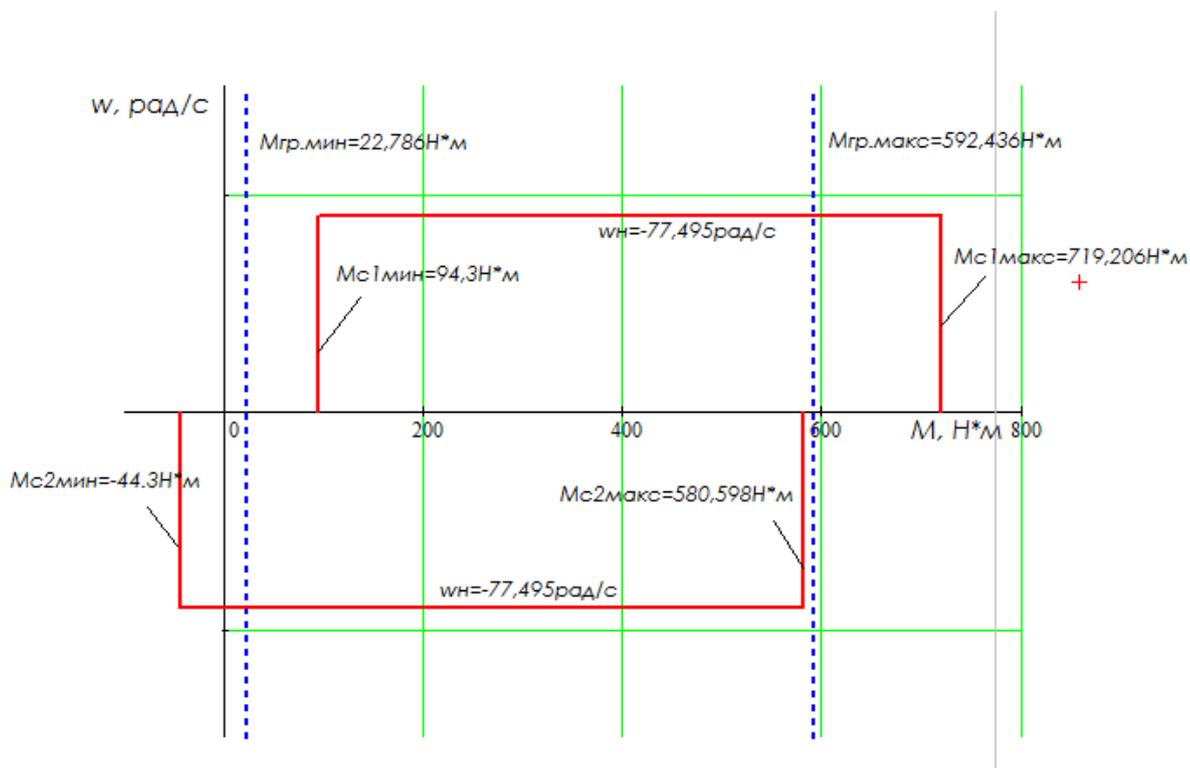


Рисунок 7 – Заданная область работы электропривода

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 измерения веса.
- 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)
<i>ALTIVAR 71HD75N4</i>	380-480	50/60	0-120	167	250.5



Рисунок 8 – 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
- 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

3.4.2 Проверка правильности выбора преобразователя

На рисунке 9 в плоскости электромеханических характеристик построены характеристики нагрузки и характеристики преобразователя частоты

$$I_{\text{ин}}(\omega) = \text{const} = 167 \text{ A},$$

$$I_{\text{имакс}}(\omega) = \text{const} = 250,5 \text{ A}.$$

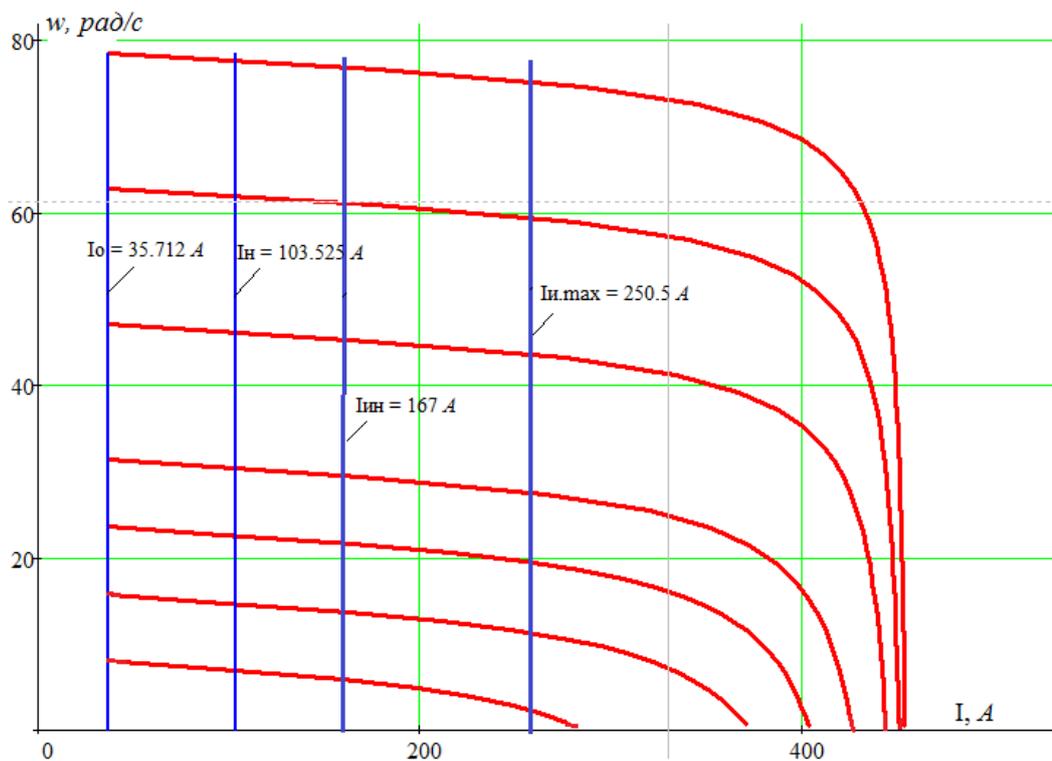


Рисунок 9 – Электромеханические характеристики разомкнутой системы

электропривода, преобразователя и нагрузки

Условия проверки правильности выбора преобразователя частоты

$$I_n < I_{\text{имакс}}$$

Анализ приведенных на рисунке 9 электромеханических характеристик разомкнутой системы электропривода, характеристик преобразователя частоты и нагрузки показывает, что условие выполняется, следовательно, преобразователь выбран правильно.

4 Разработка и исследование электроприводов со скалярным управлением

4.1 Разработка имитационных моделей электропривода со скалярным управлением

На рисунок 10 приведена функциональная схема реализации асинхронного частотно-регулируемого электропривода со скалярным управлением без датчика скорости. Основными функциональными элементами регулируемого асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением являются:

- преобразователь частоты;
- блок управления преобразователем, включающий в себя формирователь 3-фазной системы управляющих напряжений u_{1a} , u_{1b} и u_{1c} , формирователь 6-канального ШИМ-сигнала и блок драйверов;
- формирователь $\frac{U}{f}$ - характеристики;
- датчики в общем случае линейного тока двигателя;
- блок расчета фактического значения действующего фазного тока двигателя;
- элемент сравнения допустимого максимального и фактического значения действующего фазного тока двигателя и регулятор ограничения тока;
- блок компенсации скольжения;
- блок коррекции управления напряжением инвертора в функции фактического значения напряжения звена постоянного тока U_d преобразователя.

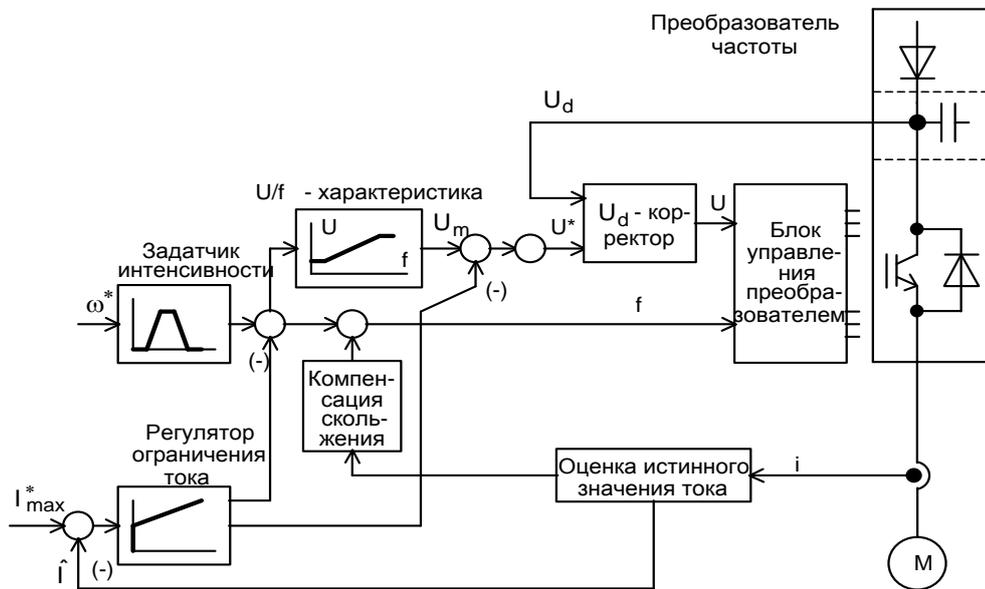
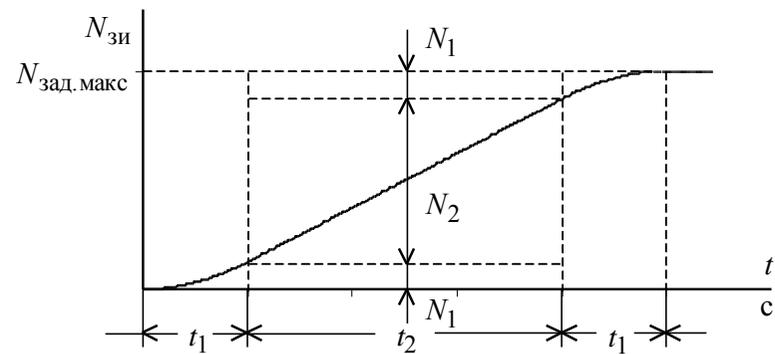


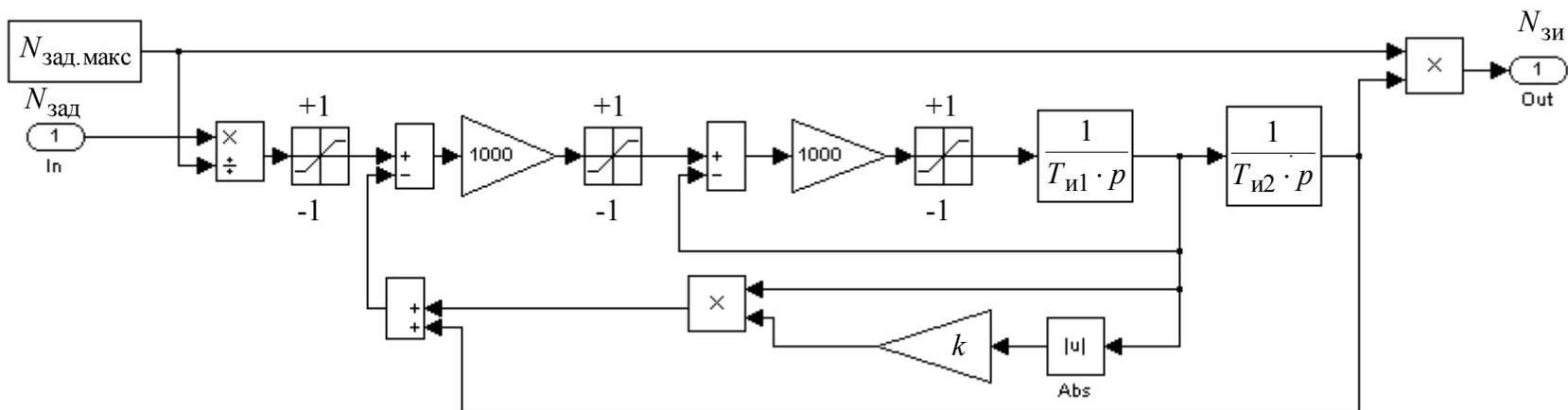
Рисунок 10 – Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным частотным управлением без датчика скорости

В функциональной схеме асинхронного электропривода со скалярным управлением используются следующие варианты реализации моделей:

- Имитационная модель задатчика скорости с S – образной характеристикой: а – временная характеристика; б – имитационная модель, рисунок 11.
- Имитационная модель электрической части силового канала насоса системы преобразователь частоты синхронного электродвигателя рисунок 12
- Имитационная модель механической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с насосной нагрузкой рисунок 12;
- Имитационная модель электрической части двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат рисунок 13;
- имитационная модель блока одномассовой механической системы рисунок 14;
- модель задание на силовой канал системы преобразователь частоты асинхронного электродвигателя рисунок 15.



а



б

Рисунок 15 — Задатчик скорости с S – образной характеристикой: а – временная характеристика; б – имитационная модель

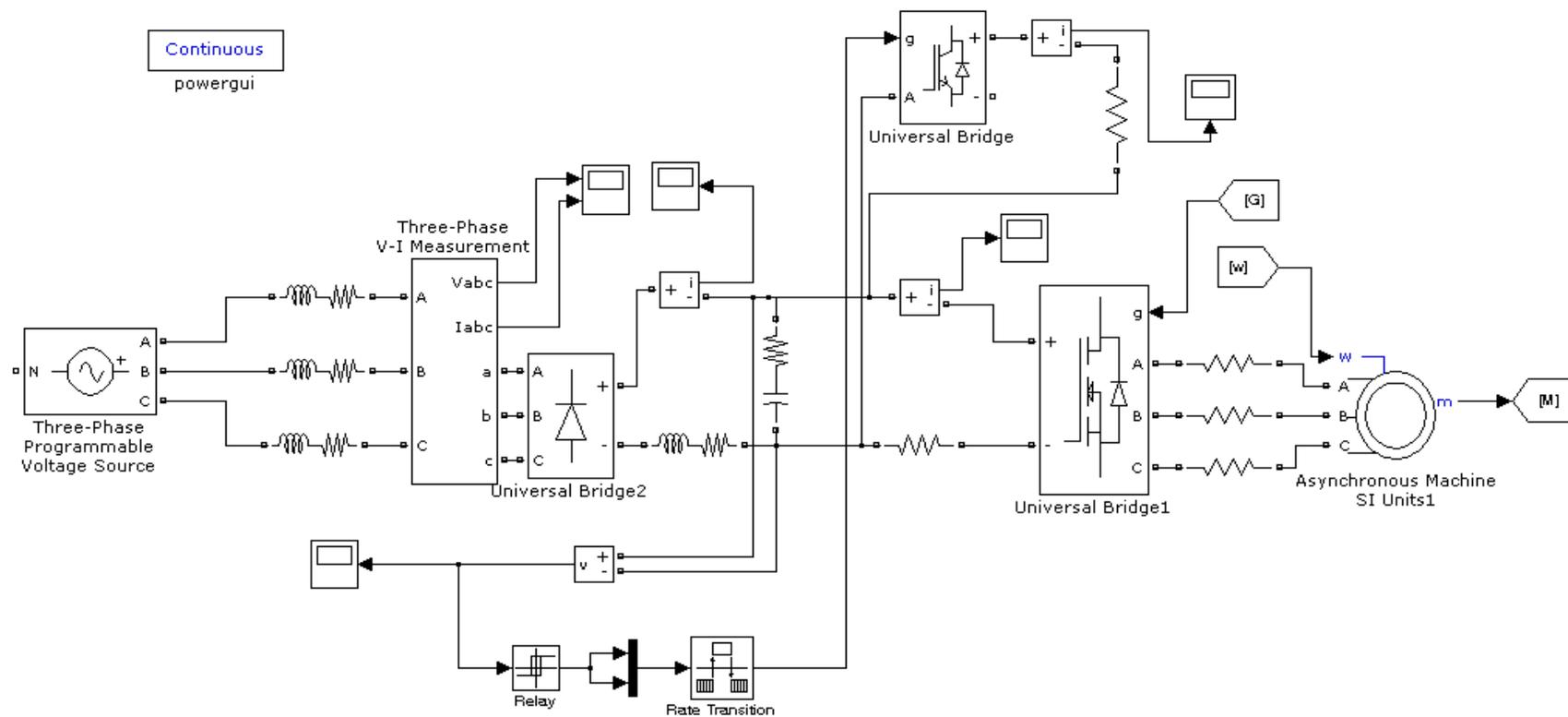


Рисунок 16 – Имитационная модель электрической части силового канала насоса системы преобразователь частоты синхронного электродвигателя

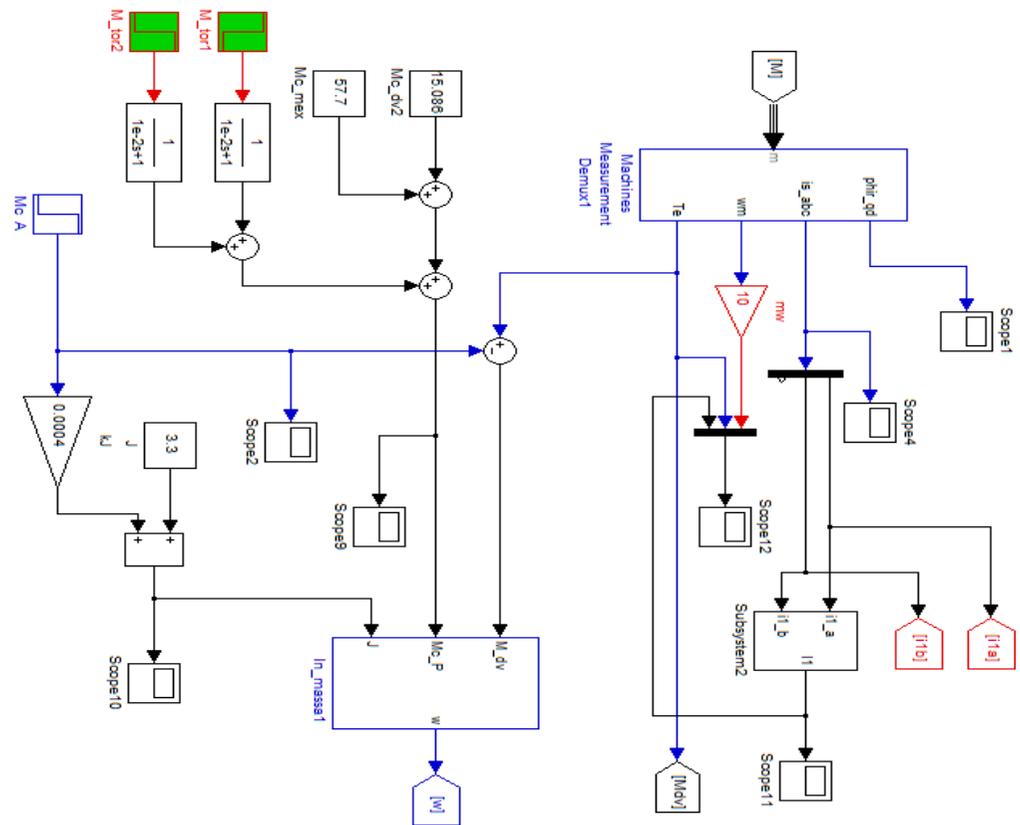


Рисунок 17 – Имитационная модель механической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с насосной нагрузкой.

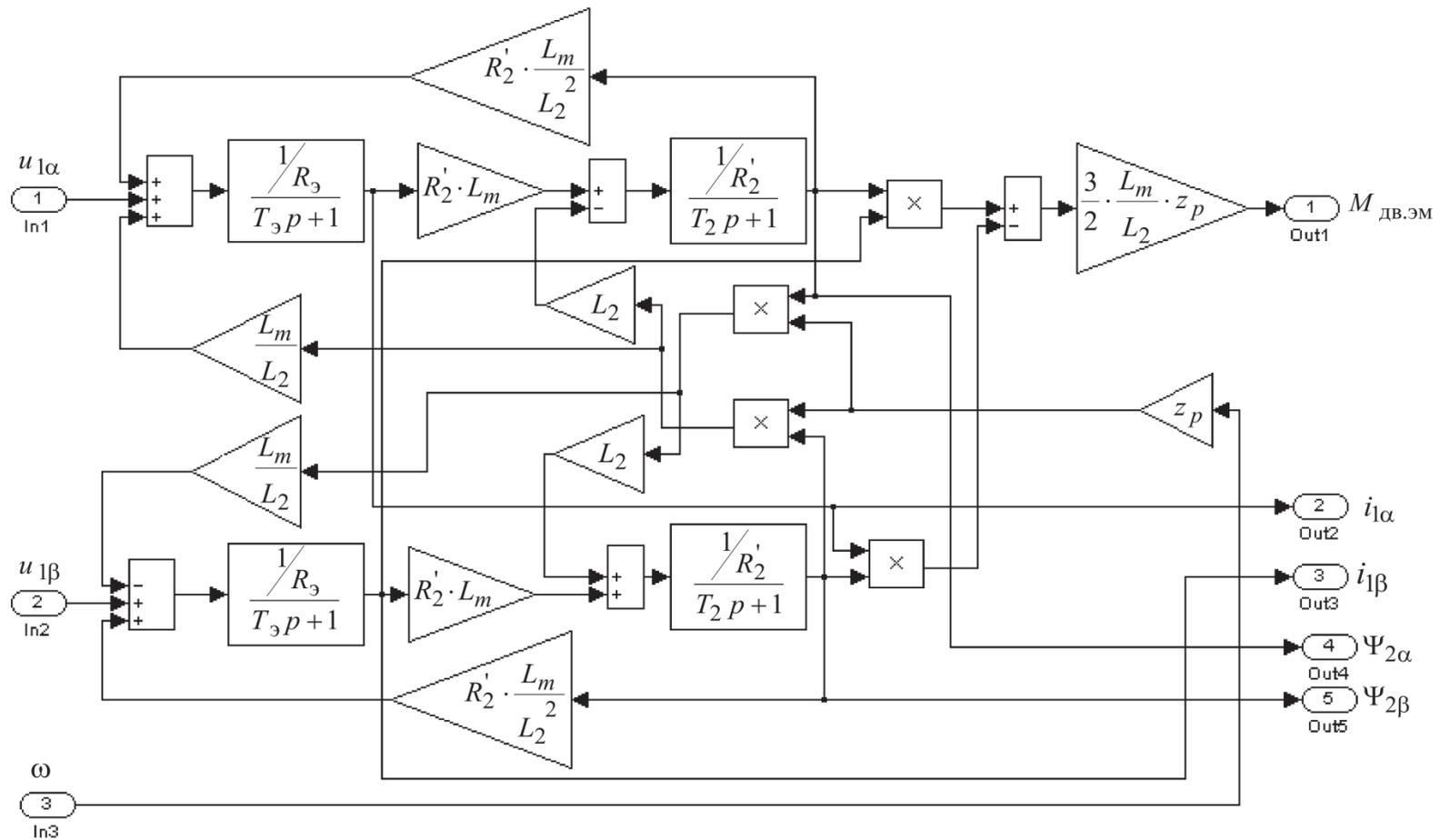


Рисунок 18 – Имитационная модель электрической части двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат

Одномассовая механическая система.

Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера, используемая при моделировании систем электропривода, представлена на рисунок 19.

На схеме рисунка 19 приняты следующие дополнительные обозначения:

M_{CP} – приведенный к валу двигателя статический момент реактивного характера, $\text{H} \times \text{м}$;

$J_э$ – приведенный к валу двигателя эквивалентный момент инерции движущихся масс, $\text{кг} \times \text{м}^2$;

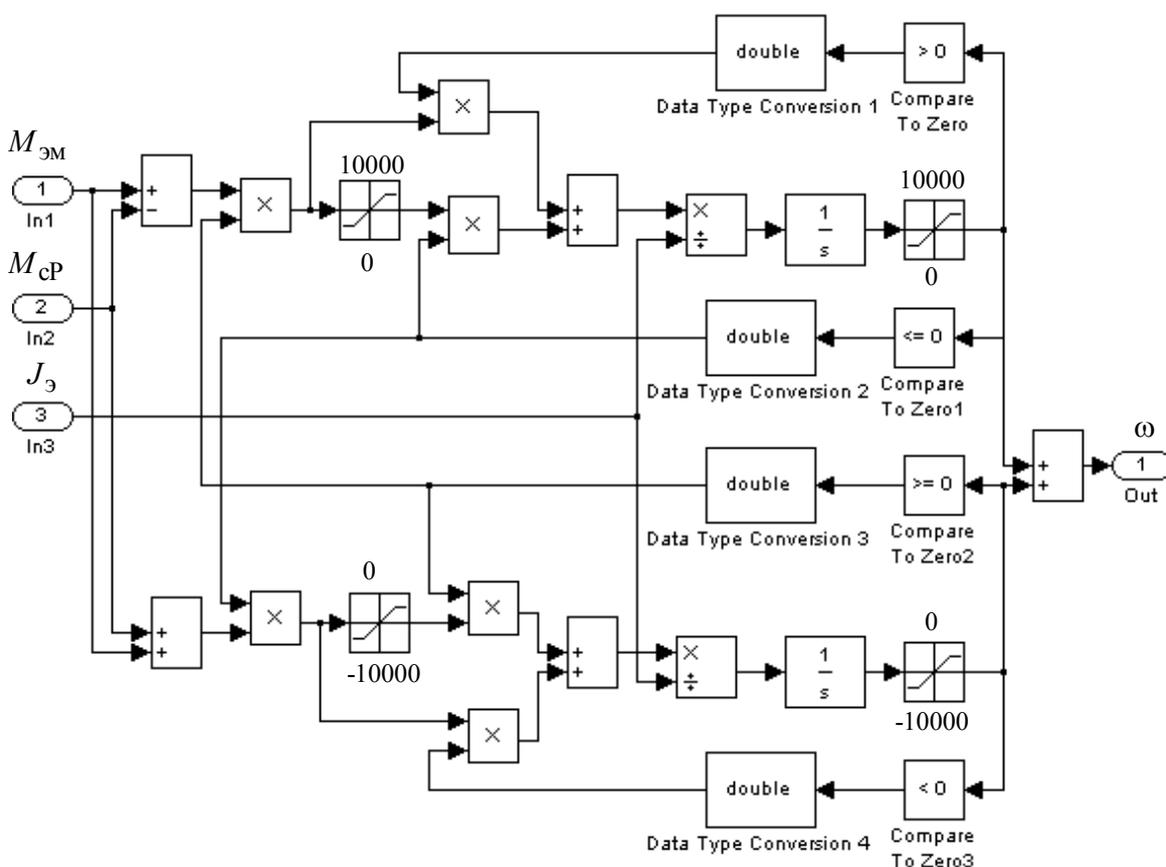


Рисунок 19 – Имитационная модель блока одномассовой механической системы

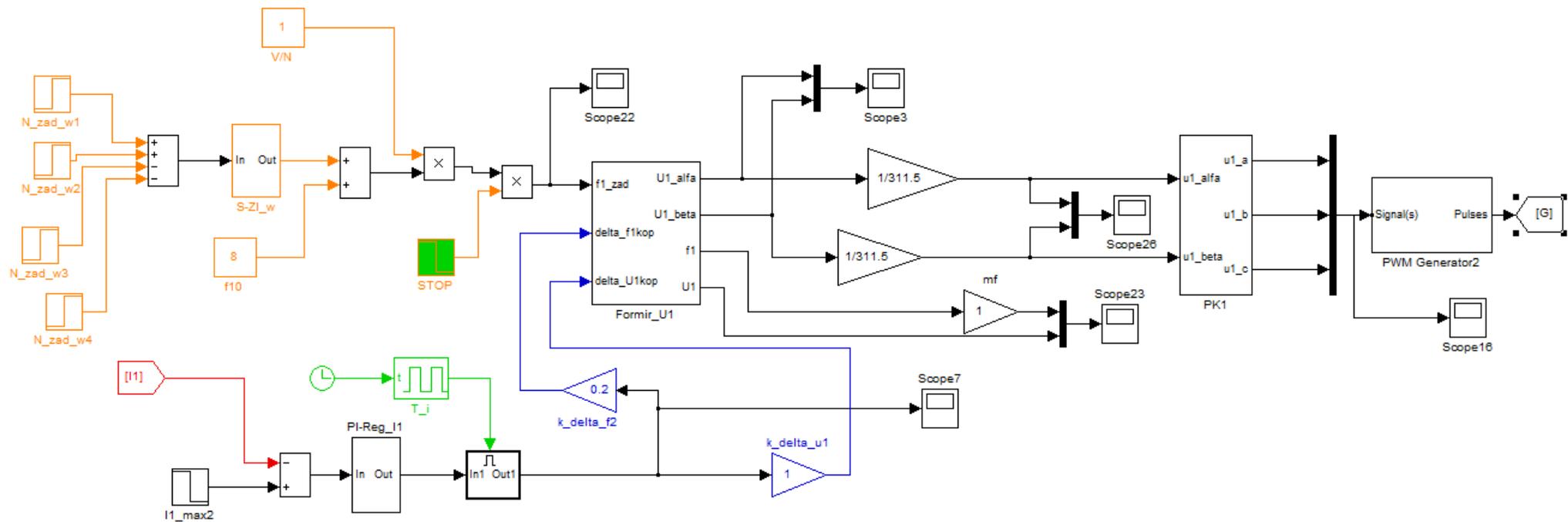


Рисунок 20 – Имитационная модель задание на силовой канал системы преобразователь частоты – асинхронного электродвигателя

4.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана со скалярном 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 при скалярном управлении.

В данной работе рассматривается модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана со скалярным управлением с коррекцией вольт-частотной характеристики;

Библиотека моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана при скалярном управлении.

Modell.mdl – модель асинхронного электропривода крана с частотным скалярным 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} , коррекцией вольт-частотной характеристики $\frac{U_1}{f_1} = const$.

Схемы набора имитационных моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана при скалярном управлении приведены в приложении 1.

4.2.2 Параметры элементов силового канала электропривода мостового крана

Справочные технические параметры электродвигателя мостового крана приведены в таблице № 2, пункт 3.1.

Параметры двигателя, принятые при расчете:

$$\eta_{0.85} = 0,936 \quad , \quad \cos \phi_{0.84} = 0,825 \quad ; \quad \beta = 1,7 \quad .$$

Расчетные параметры асинхронного электродвигателя:

$$R_1 = 0,054 \text{ Ом}, \quad L_{1\sigma} = 6.95 \cdot 10^{-4} \text{ Гн},$$

$$R_2' = 0,031 \text{ Ом}, \quad L_{2\sigma}' = 9.354 \cdot 10^{-4} \text{ Гн},$$

$$L_m = 0,01821 \text{ Гн}, \quad z_p = 4, \quad \omega_H = 77.495 \text{ рад/с},$$

$$I_H = 103.525 \text{ А}, \quad M_H = 709.721 \text{ Н}\times\text{м}.$$

Параметры преобразователя частоты серии *AITIVAR* приведены в таблице № 5, пункт 3.5.1.

Параметры элементов силового канала электропривода

Выбираем параметры сетевого трансформатора или реактора в соответствии с таблицей № 6 для расчетного значения номинального тока обмотки фазы

$$I_{рфн} = I_{1фн} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_{1фн}}{U_c} = 103,525 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 220}{420,185} = 93,88 \text{ А}$$

Таблица № 6

$I_{рфн}, \text{ А}$	12.3	20.5	41	82	165	265	410	660	820
$L_p, \text{ мГн}$	3	2	1	0.5	0.25	0.156	0.1	0.064	0.05
$R_p, \text{ мОм}$	450	265	100	37	13	7.2	3.8	2.1	1.4
$I_{дн}, \text{ А}$	15	25	50	100	200	320	500	800	1000

Принимаем: $R_p = 0,03$ Ом, $L_p = 0,4 \cdot 10^{-3}$ Гн.

Принимаем: $C = 100 \cdot 55 \cdot 10^{-6}$ из условия

$C \approx (100 \div 300) \cdot P_H$, мкФ, где P_H – номинальная мощность двигателя, кВт.

Параметры механической системы электропривода мостового крана рассчитаны в пункте 3.2.

Коэффициент передачи

$$K_{\text{пер}} = 3,871 \cdot 10^{-3},$$

Момент инерции барабана приведенный

$$J_{\text{барприв}} = 1,143 \text{ кг} \times \text{м}^2$$

Приведенный момент инерции максимальный

$$J_{\text{привмакс}} = 0,234 \text{ кг} \times \text{м}^2,$$

Приведенный момент инерции минимальный

$$J_{\text{привмин}} = 8,992 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \times \text{м}^2,$$

Эквивалентный момент инерции максимальный

$$J_{\text{привмакс}} = 3,521 \text{ кг} \times \text{м}^2,$$

Эквивалентный момент инерции минимальный

$$J_{\text{привмин}} = 3,296 \text{ кг} \times \text{м}^2,$$

где $m_{кр} = 600$ – масса крюка;

$m_{гр} = 15000$ – масса груза максимальная.

Момент сопротивления на валу двигателя

$$M_{\text{с.дв.}} = 11,618 \text{ Н} \times \text{м}.$$

КПД передачи в номинальном режиме

$$\eta_{\text{пер.н.}} = 0,837,$$

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

$\eta_{ред} = 0,93$ – КПД редуктора.

Коэффициенты постоянных и переменных потерь

$$a = 0,097$$

Приведенный к валу двигателя момент, обусловленный грузом:

– при максимальном грузе

$$M_{грпривмакс} = 592,436 \text{ Н} \times \text{м}$$

– при минимальном грузе

$$M_{грпривмин} = 22,786 \text{ Н} \times \text{м}$$

Величина постоянных потерь в механизме

$$\Delta M_{смех} = 57,686 \text{ Н} \times \text{м}$$

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

$$M_c = 69,304 \text{ Н} \times \text{м}$$

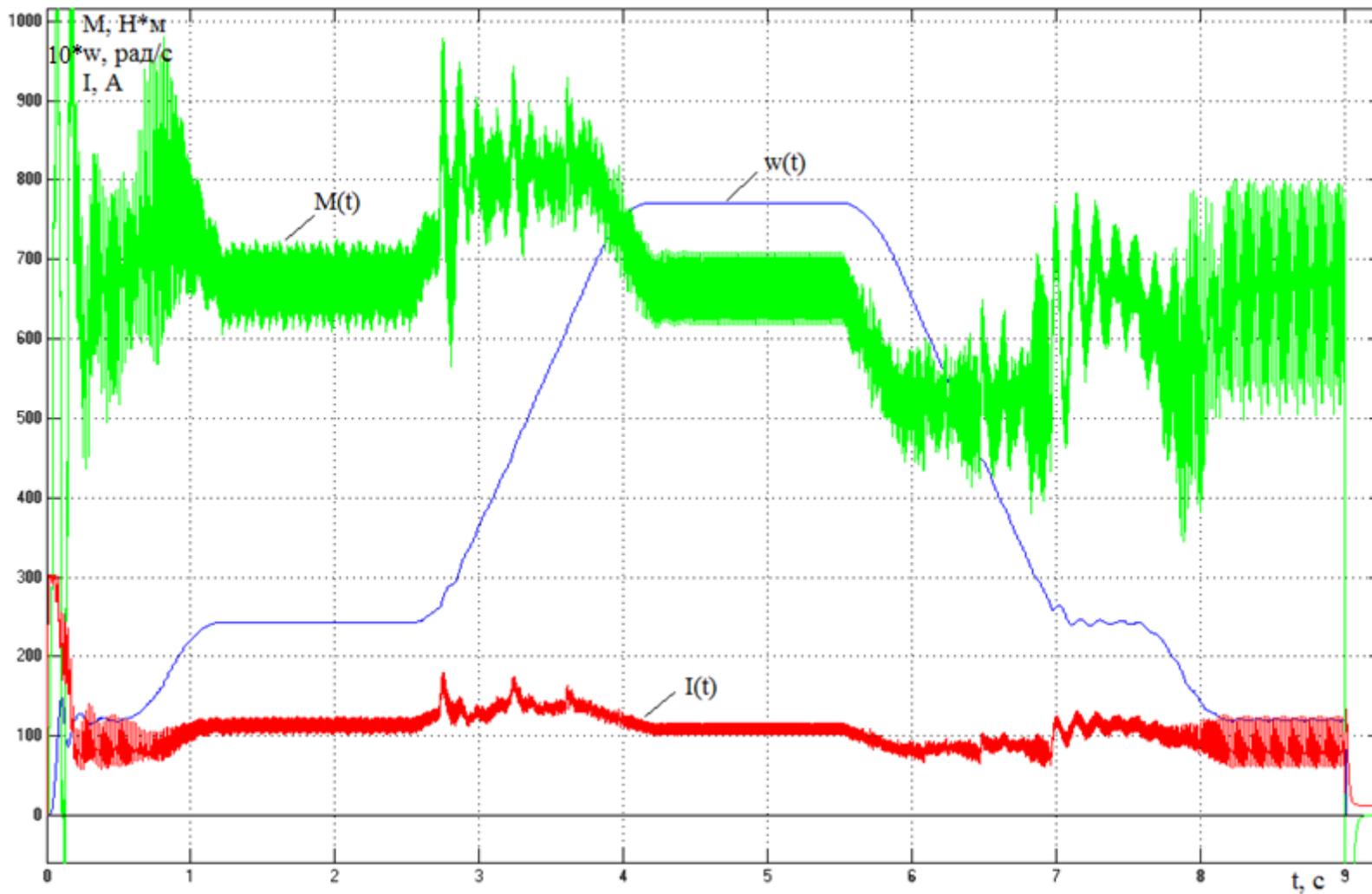


Рисунок 21 – Переходные процессы в электроприводе со скалярным управлением при подъеме краном груза массой 15 ТОНН

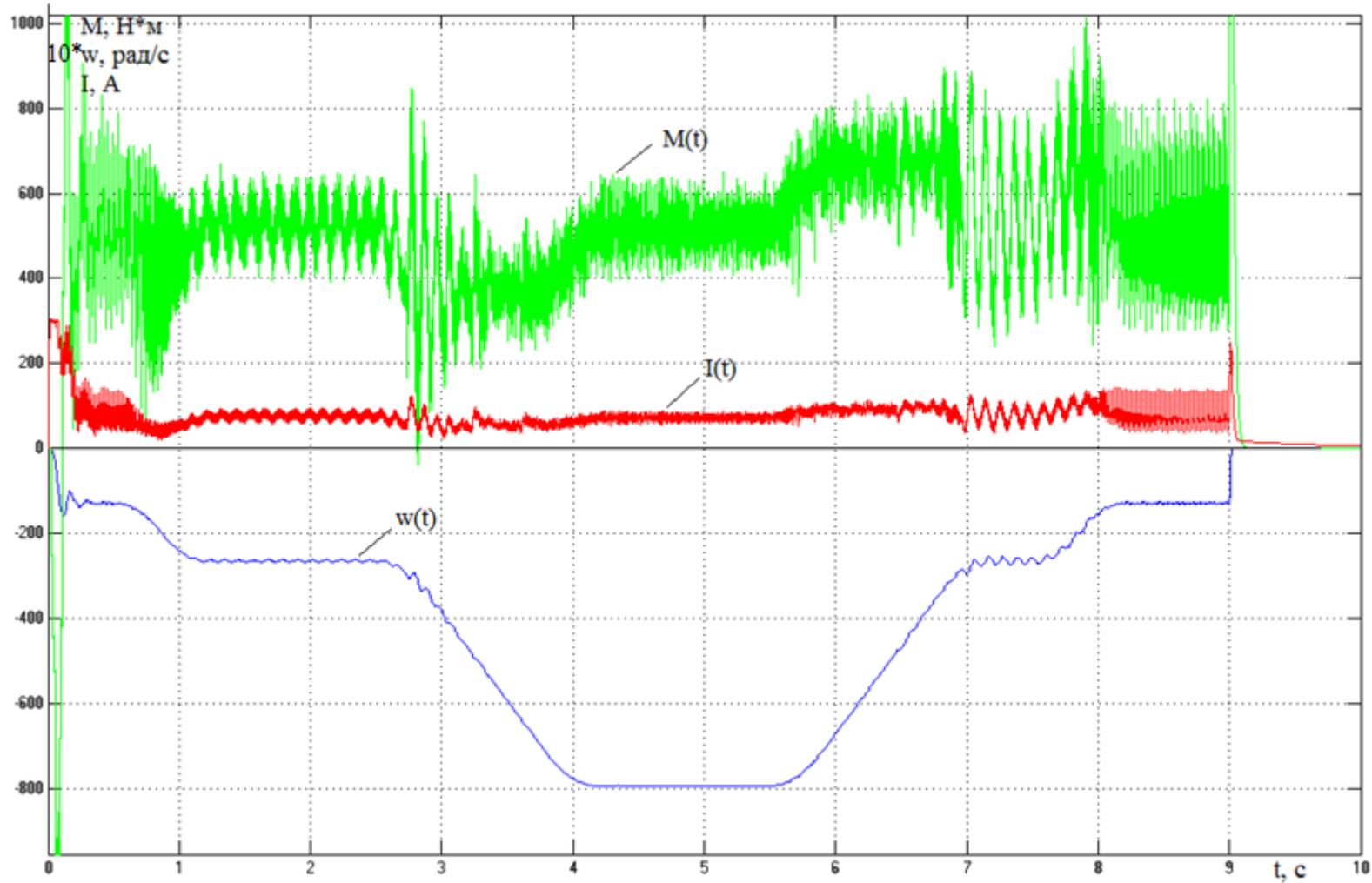


Рисунок 22 – Переходные процессы в электроприводе со скалярным управлением при спуске краном груза массой 15

ТОНН

По результатам исследования были получены характеристики:

Если электроприводу подать задание на обработку определенного цикла технологического процесса, то это значит, что в пуско - тормозных режимах электропривода будет ограничивать значения динамического момента и тока двигателя, а при S -образной выходной характеристики задатчика – дополнительно и скорость их наименьшая. Однако, фактическое значение момента на валу двигателя и тока двигателя будут зависеть еще и от величины статического момента и характера нагрузки, а также от конкретного вида пуска- тормозного режима.

В рассмотренном электроприводе механизмов, для которых кратковременные большие перегрузки и стопорения двигателя являются рабочими режимами необходимо не только ограничивать величину тока и момента, но и поддерживать допустимые значения момента на валу двигателя в течении всего времени перегрузки. Большие кратковременные перегрузки вызывают провал скорости двигателя и затем восстановление её после исчезновения перегрузки. Процессы торможения и разгона двигателя в этом случаи уже не управляется от задатчика скорости и могут сопровождаться большими бросками тока и момента двигателя, если их величину не ограничивать.

Вывод к разделу:

Скалярное управление одно из простейших вариантов реализации частотного – регулируемого асинхронного электропривода, имеющие не высокие качественные показатели: небольшой диапазон регулирования скорости, большая погрешности скорости и малое быстродействие , что обусловлено необходимостью применения задатчика интенсивности скорости.

Приведенные простейшие электроприводы со скалярным управлением во многих случаях полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к электроприводу производственного механизма. Они широко применяются для решения задач регулирования скорости механизмов во вновь проектируемом технологическом оборудовании скорость механизмов во вновь проектируемом технологическом оборудовании, а так же в качестве замены нерегулируемого электропривода переменного тока и регулируемого электропривода постоянного тока с обратными связями по напряжению и ЭДС двигателя. Сильные пульсации в момент пуска и момент торможения и на средней частоте вращения предотвратить практически не возможно даже благодаря скалярному управлению.

На рисунках 21 и 22 можно заметить значительные пульсации тока, момента и особенно скорости, что не позволяет говорить о плавных характеристиках процесса.

По этому для крана оставляем скалярное управление, а воспользуемся векторным частотным – регулированием .

5 Разработка и исследование систем электропривода с векторным управлением

5.1 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 23)
- 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.

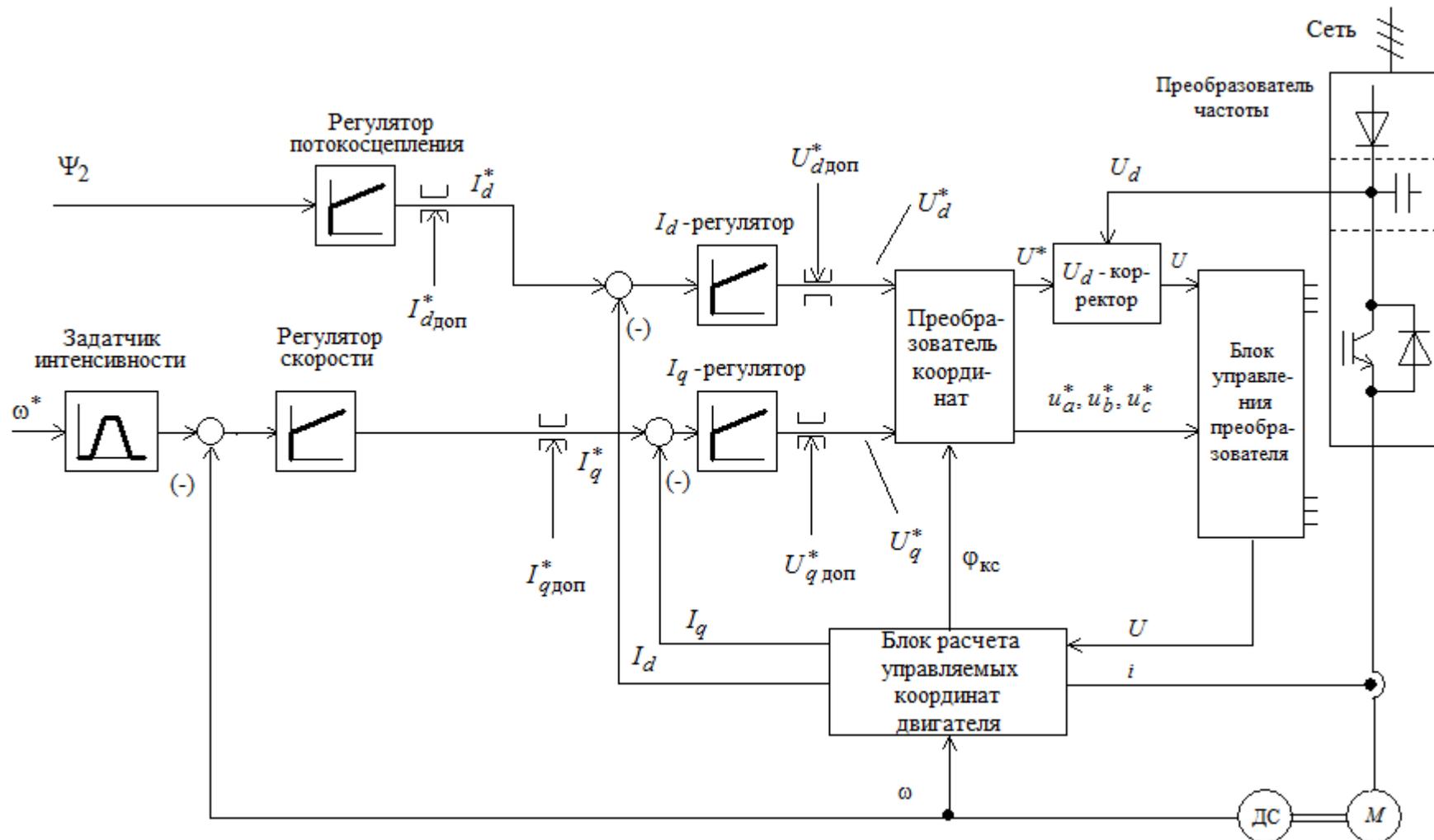


Рисунок 23 – Функциональная схема асинхронного электропривода с частотным векторным управлением и моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ с датчиком скорости без датчика потока.

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 25 (полная схема) и рисунке 26 (упрощенная схема);
- двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора α, β (рисунке 27)
- трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора a, b, c (рисунке 28);

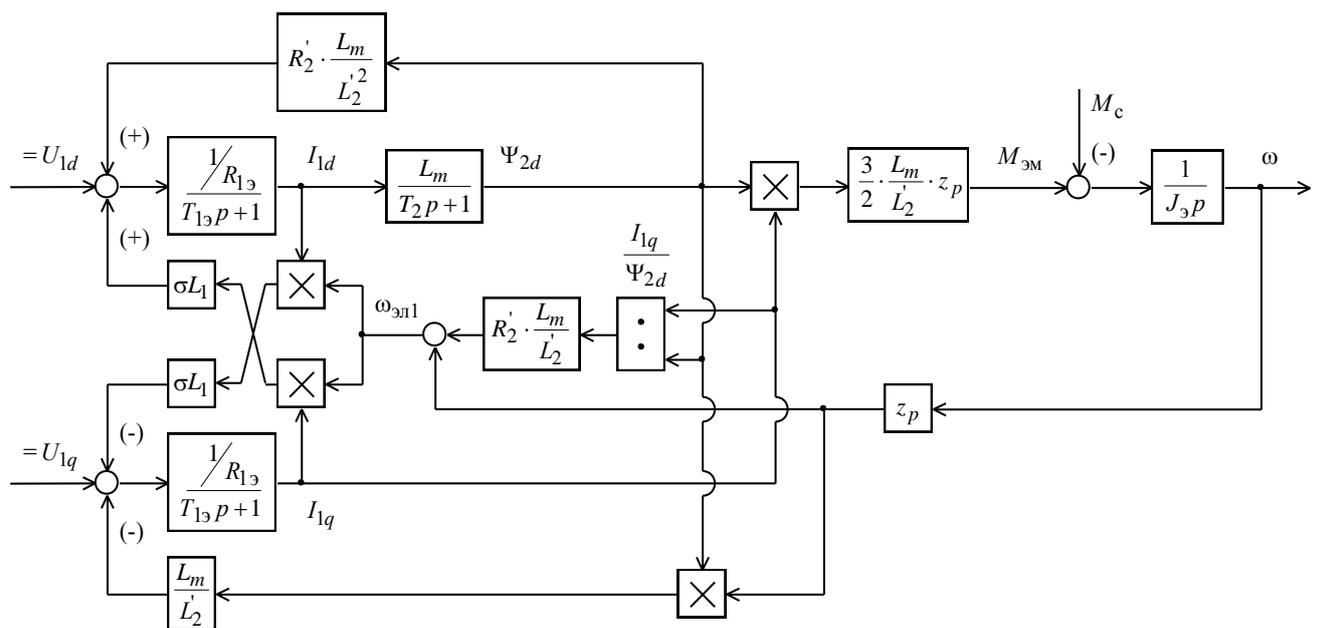


Рисунок 24 – Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

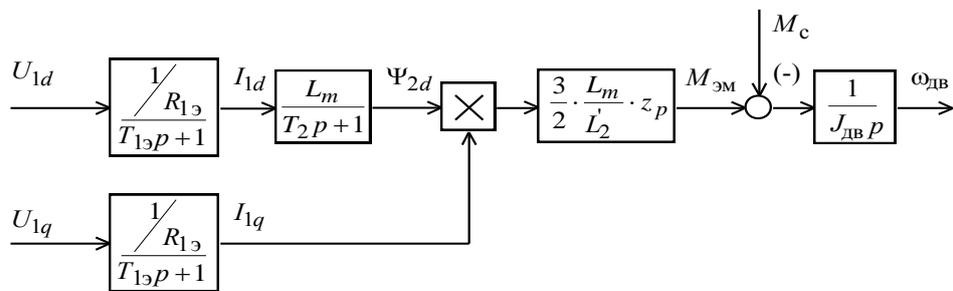


Рисунок 25 – Структурная схема двухфазного асинхронного электродвигателя во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, с компенсированными внутренними обратными связям

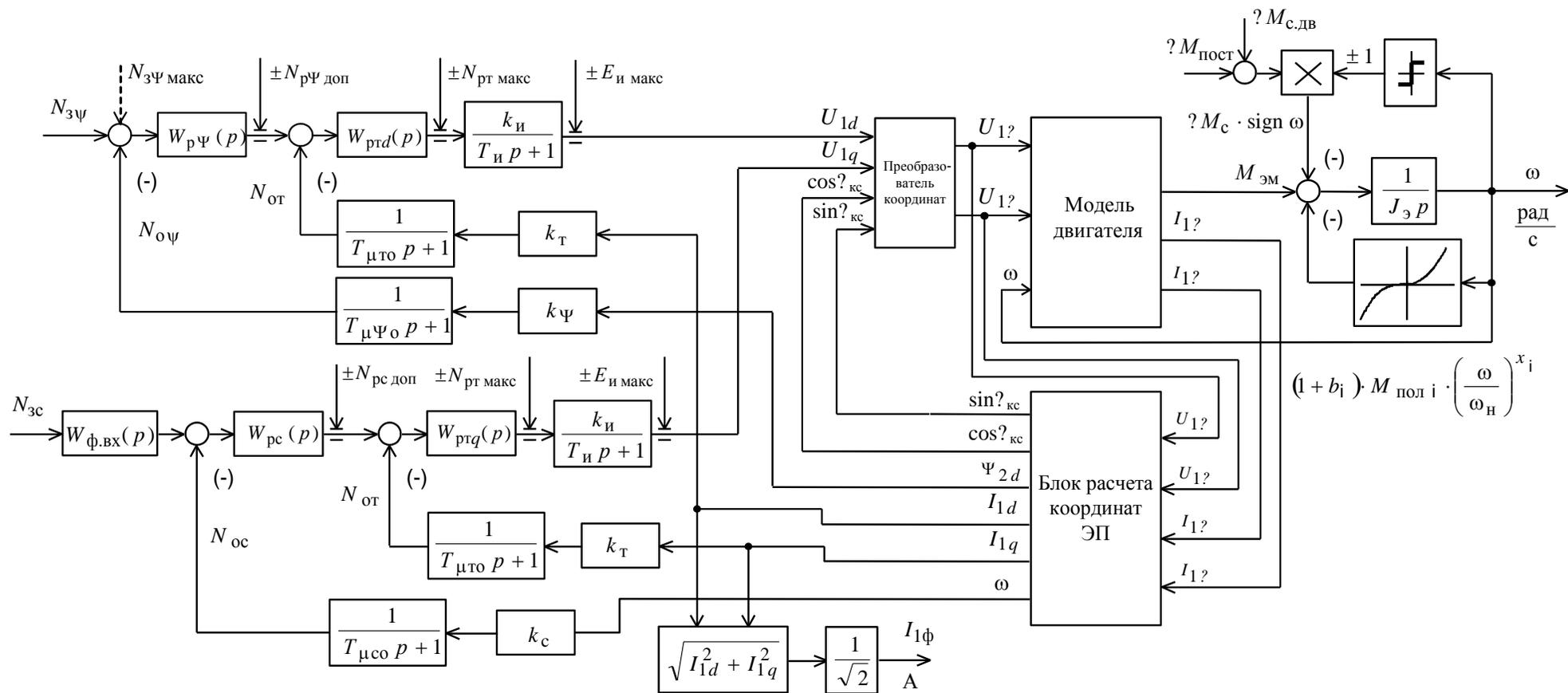


Рисунок 26 – Структурная схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с точной моделью двухфазного асинхронного двигателя

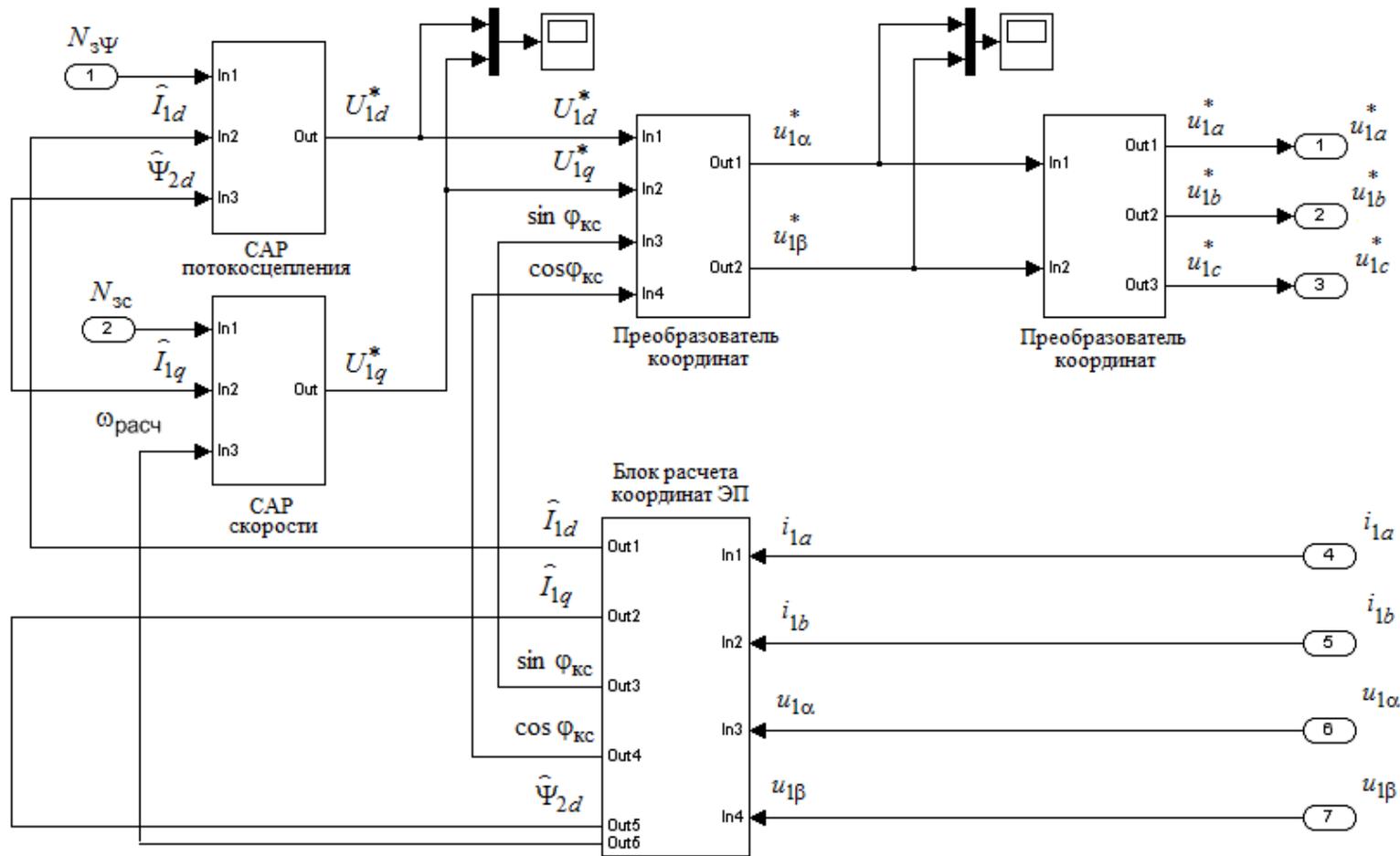


Рисунок 27 – Имитационная модель блока расчета управлений и преобразования координат системы векторного управления регулируемого асинхронного электропривода

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 28 и 29. Для преобразования не указанных на приведенных схемах координат двигателя блоки идентичные.

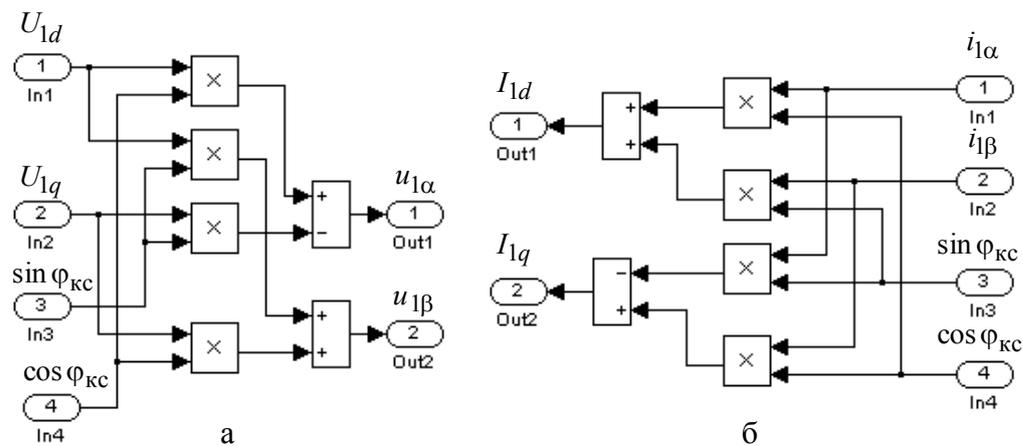


Рисунок 28 – Имитационные модели преобразователей координат:

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

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

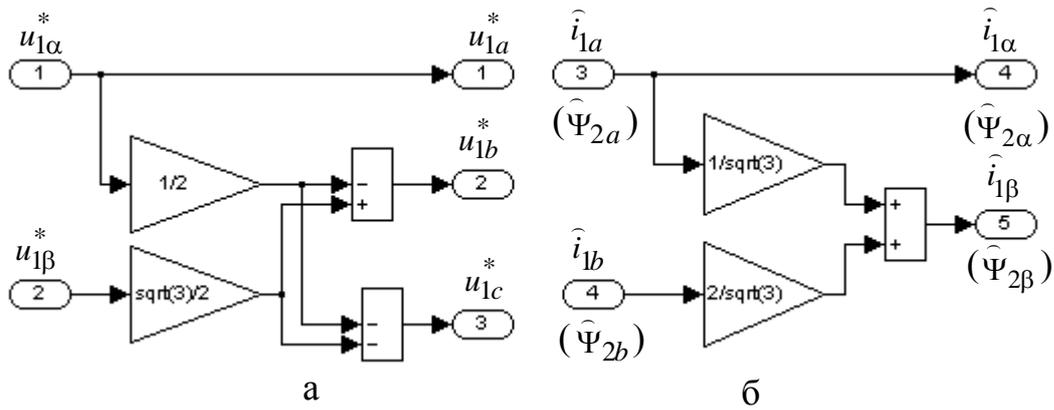


Рисунок 29 – Имитационные модели преобразователей координат:

а – из неподвижной двухфазной координатной системы α, β в неподвижную трехфазную систему координат a, b, c; б – из неподвижной трехфазной системы координат a, b, c 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 30.

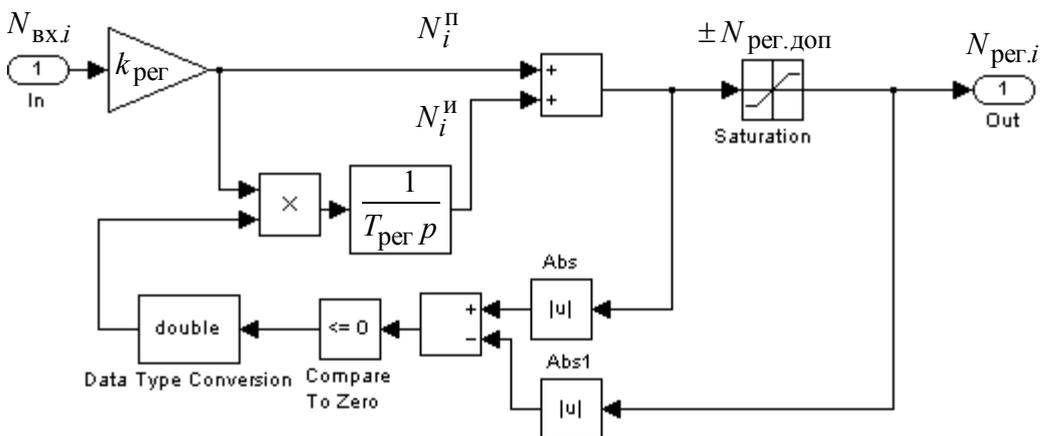


Рисунок 30 – Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с отключением интегральной составляющей сигнала при насыщении

Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с управляемым значением уровня ограничения интегральной составляющей выходного сигнала в режиме насыщения приведена на рисунке 31.

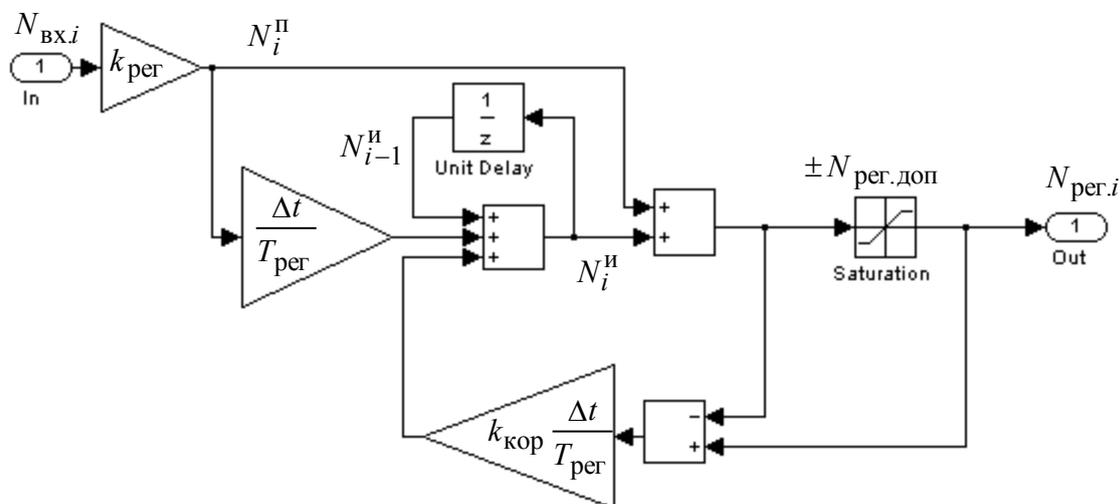


Рисунок 31 – Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с регулируемым значением интегральной составляющей сигнала в режиме насыщения

Для ограничения выходного сигнала регулятора скорости в зависимости от фактического значения сигнала регулятора потокосцепления используется модель ПИ-регулятора скорости, приведенная на рисунке 32.

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 33. Для компенсации влияния ЭДС вращения, наводимой в статоре потокосцеплением ротора, в регуляторе тока I_q предусмотрена положительная обратная связь по скорости двигателя с коэффициентом $k_{\text{пос}}$.

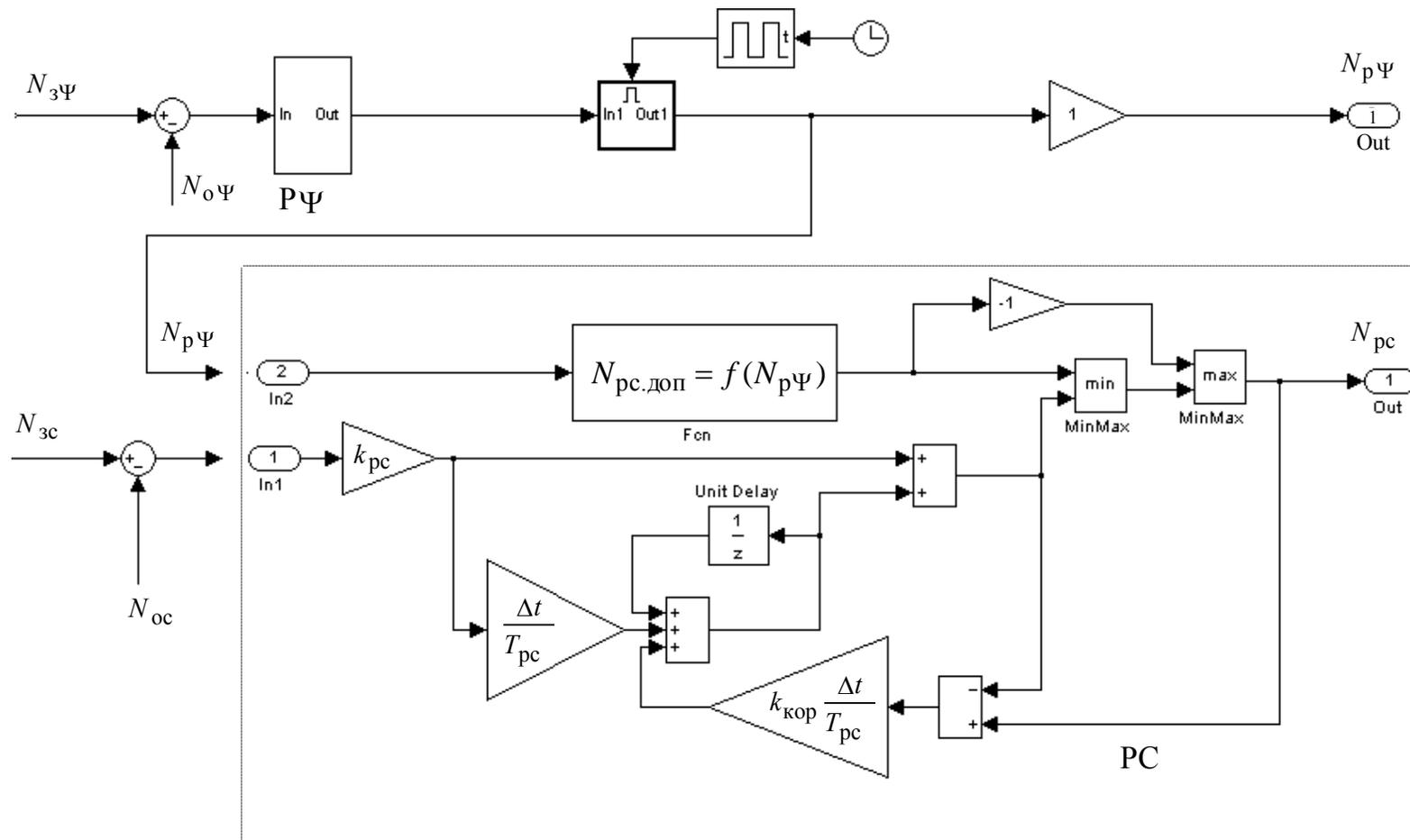


Рисунок 32 – Имитационная модель ПИ-регулятора скорости с управляемым значением ограничения выходного сигнала

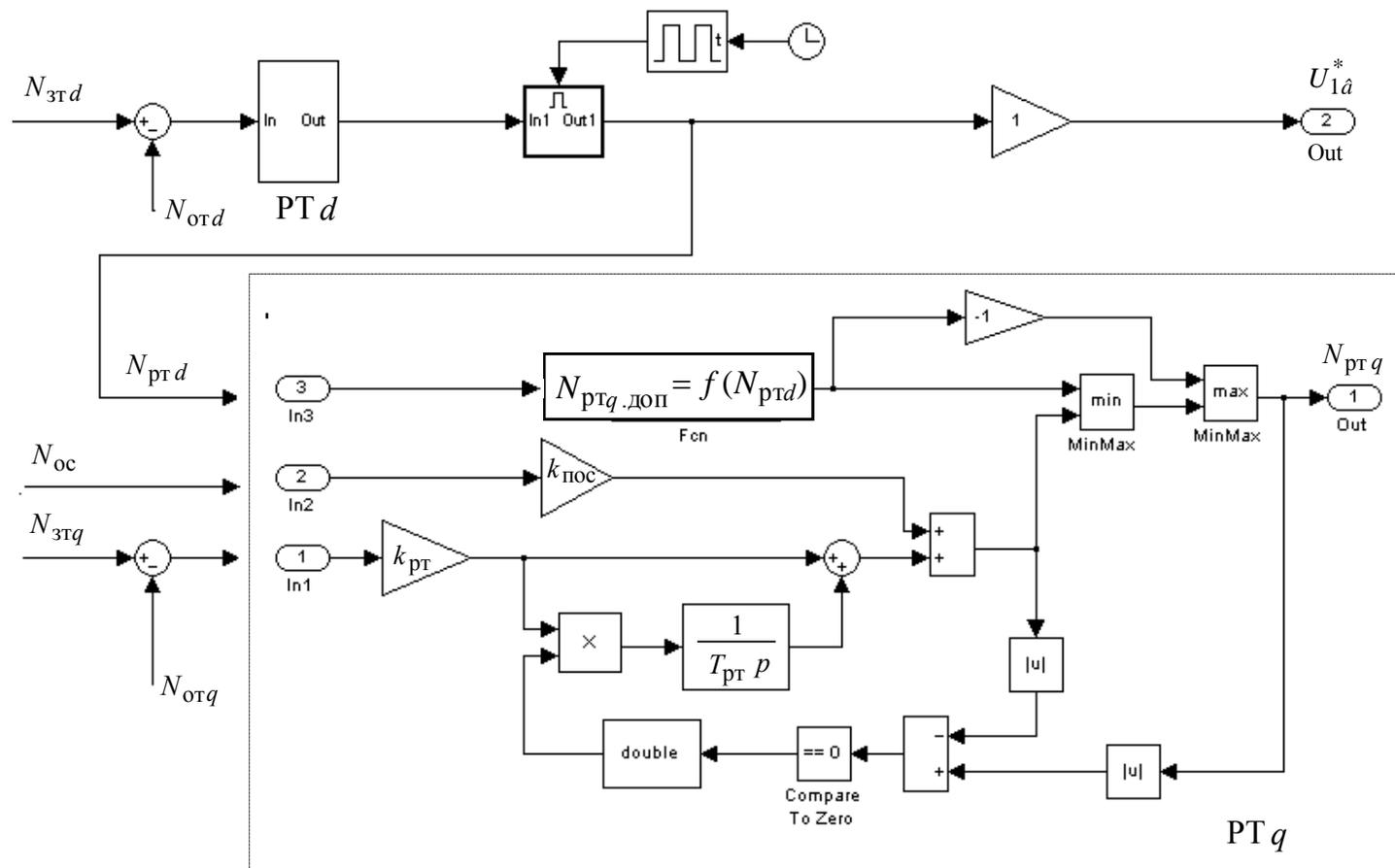


Рисунок 33 – Имитационная модель ПИ-регулятора тока I_q с положительной обратной связью по скорости двигателя и управляемым значением ограничения выходного сигнала

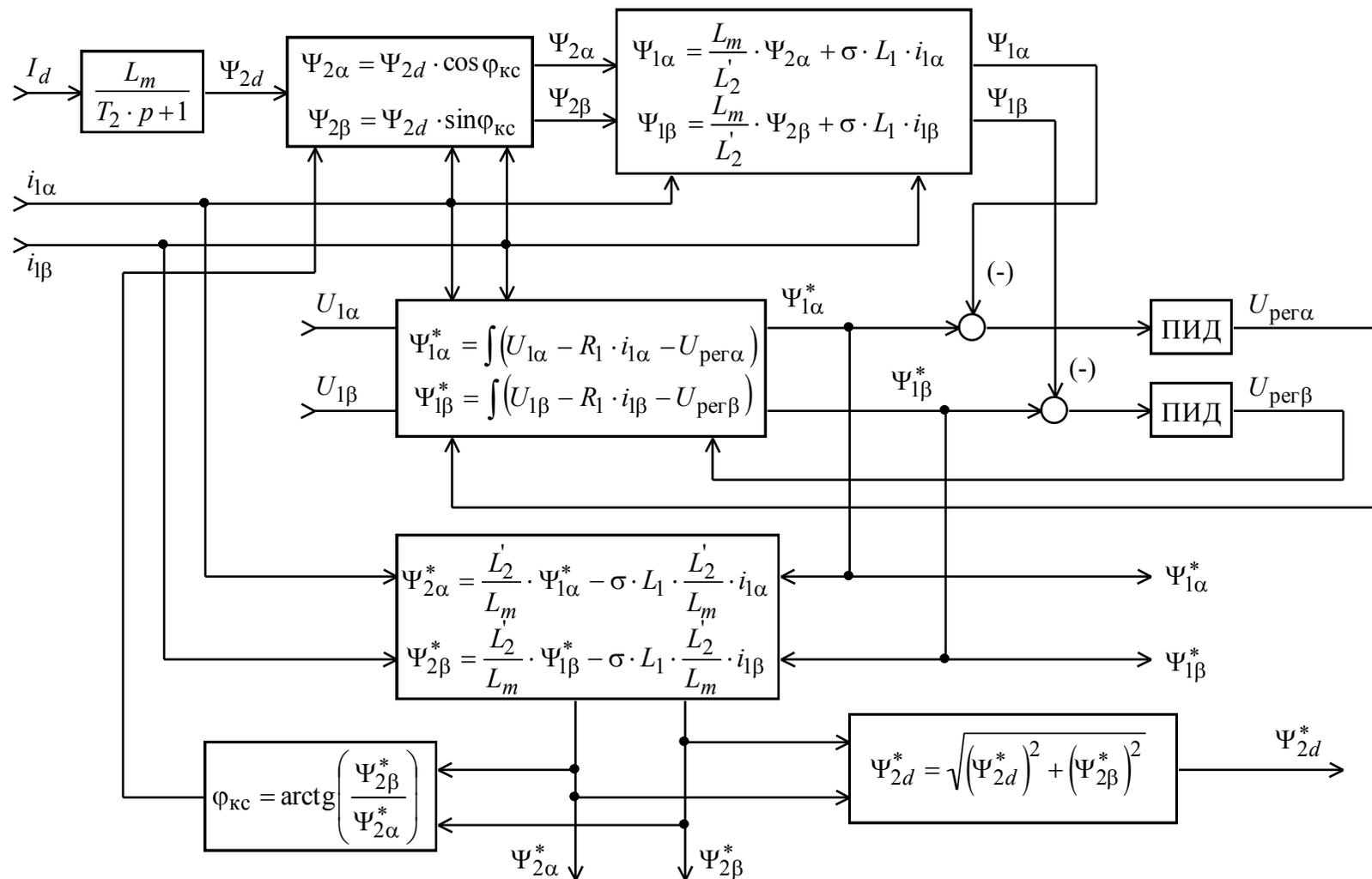


Рисунок 35 – Схема расчета угла поворота вращающейся координатной системы с использованием значений токов $i_{1\alpha}$,

$i_{1\beta}$, I_d и напряжений $U_{1\alpha}$, $U_{1\beta}$

5.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода мостового крана с векторным управлением

5.2.1 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

Model2.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.

5.3 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:

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

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} :

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

Эквивалентный момент нагрузки, приведенный к валу двигателя:

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

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

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

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

Коэффициент передачи датчика тока:

$$k_{\text{дт}} = \frac{0,5 \cdot 2^{n_{\text{апп.дт}}}}{I_{\text{изм.макс}}} = \frac{0,5 \cdot 2^{12}}{400} = 4,827 \text{ 1/А}.$$

Принимаем $N_{\text{от.макс}} = 1$.

Коэффициент обратной связи по току:

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

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

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

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:

$$n_T = 2$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура тока

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

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:

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

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

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

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

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

Коэффициент передачи датчика потока:

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

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:

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

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

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

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:

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

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:

$$k_{p\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_\Psi \cdot a_\Psi \cdot T_{\mu\Psi_3}} = \frac{0,6176 \cdot 0,02357}{0,01821 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0,0026} = 15,373$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора потока:

$$N_{p\Psi \text{ доп}} = N_{зт. макс} = 0,667$$

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:

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

Интервалы квантования сигналов в цепи обратной связи контура скорости:

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

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

Коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном:

$$n_c = 2.$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура скорости:

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

Принимаем коэффициенты типовой настройки контура скорости на симметричный оптимум (СО) : $b_{\text{с}} = a_{\text{с}} = 2$.

Постоянная времени регулятора:

$$T_{\text{рс}} = b_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}} \cdot T_{\text{мсэ}} = 2 \cdot 2 \cdot 0,0016 = 0,0064 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора:

$$k_{\text{рс}} = \frac{J_{\text{э}} \cdot k_{\text{т}}}{\Psi_{2\text{н}} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_{\text{м}}}{L'_2} \cdot z_{\text{р}} \cdot k_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}} \cdot T_{\text{мсэ}}} = \frac{3,521 \cdot 0,02357}{0,954 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,01821}{0,0191454} \cdot 4 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 0,0016} = 47,639$$

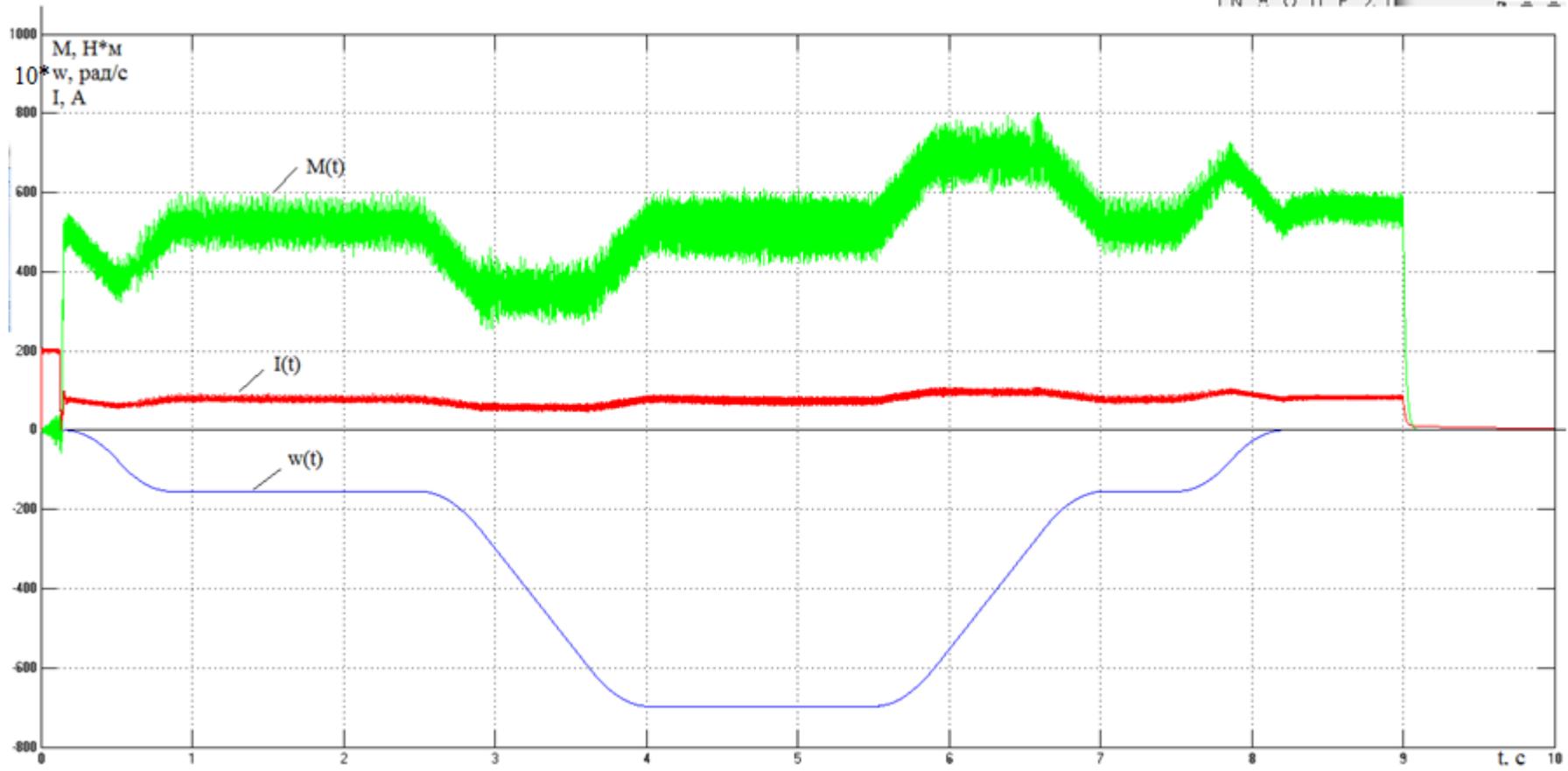


Рисунок 36 – Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при спуске краном груза массой 15 т.

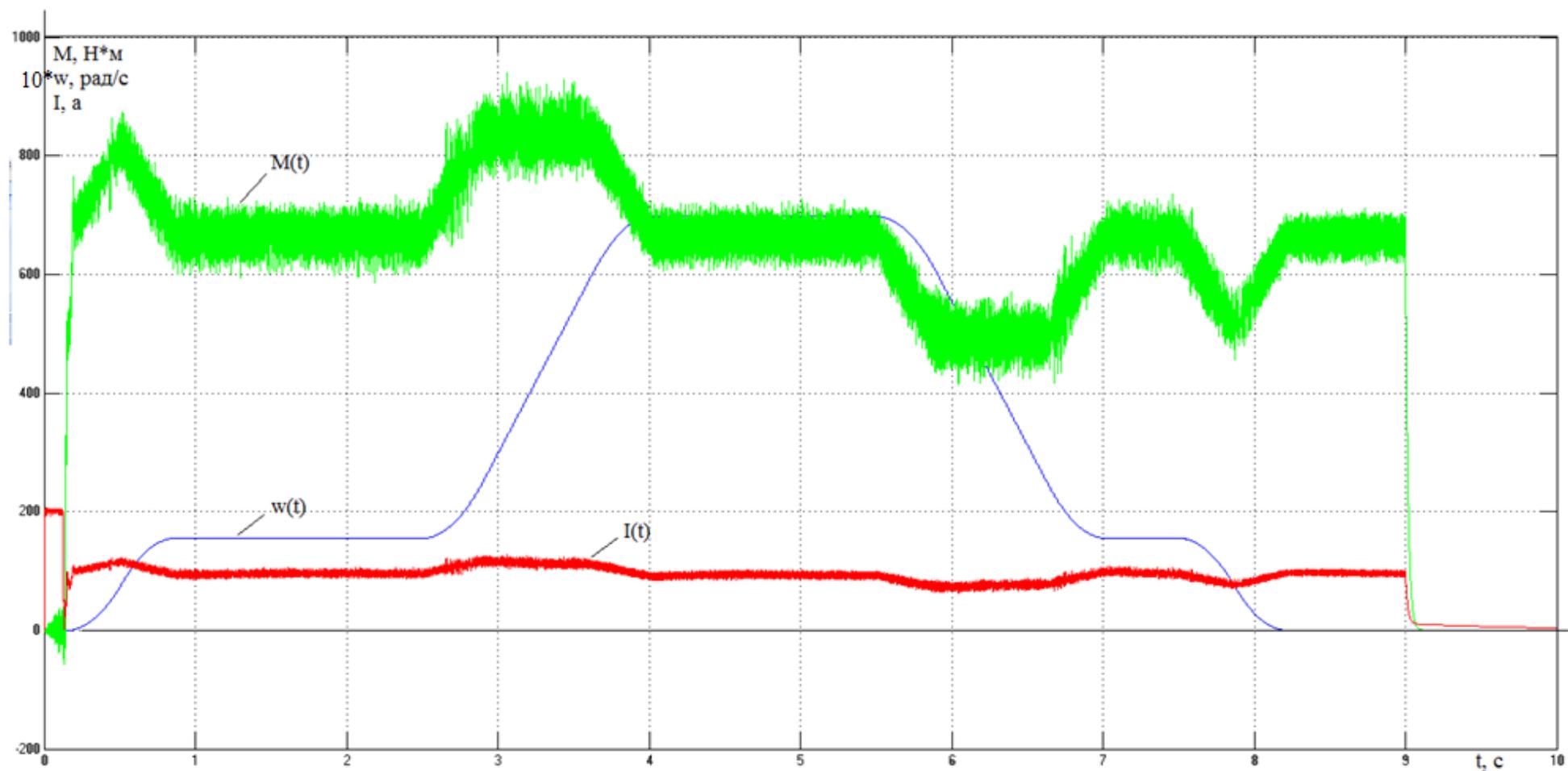


Рисунок 37– Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при подъеме краном груза массой 15 т.

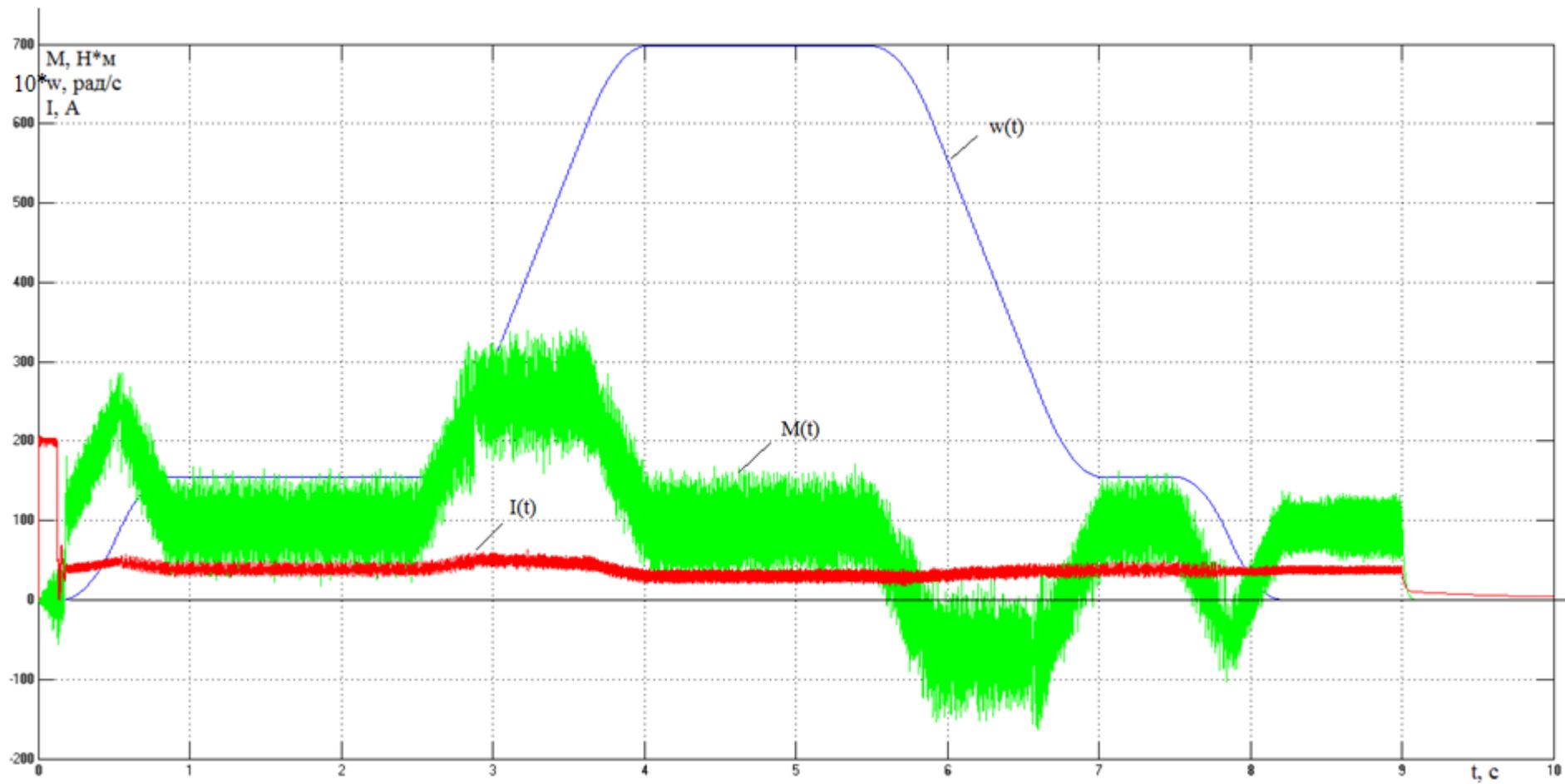


Рисунок 38– Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при подъеме краном пустого крюка

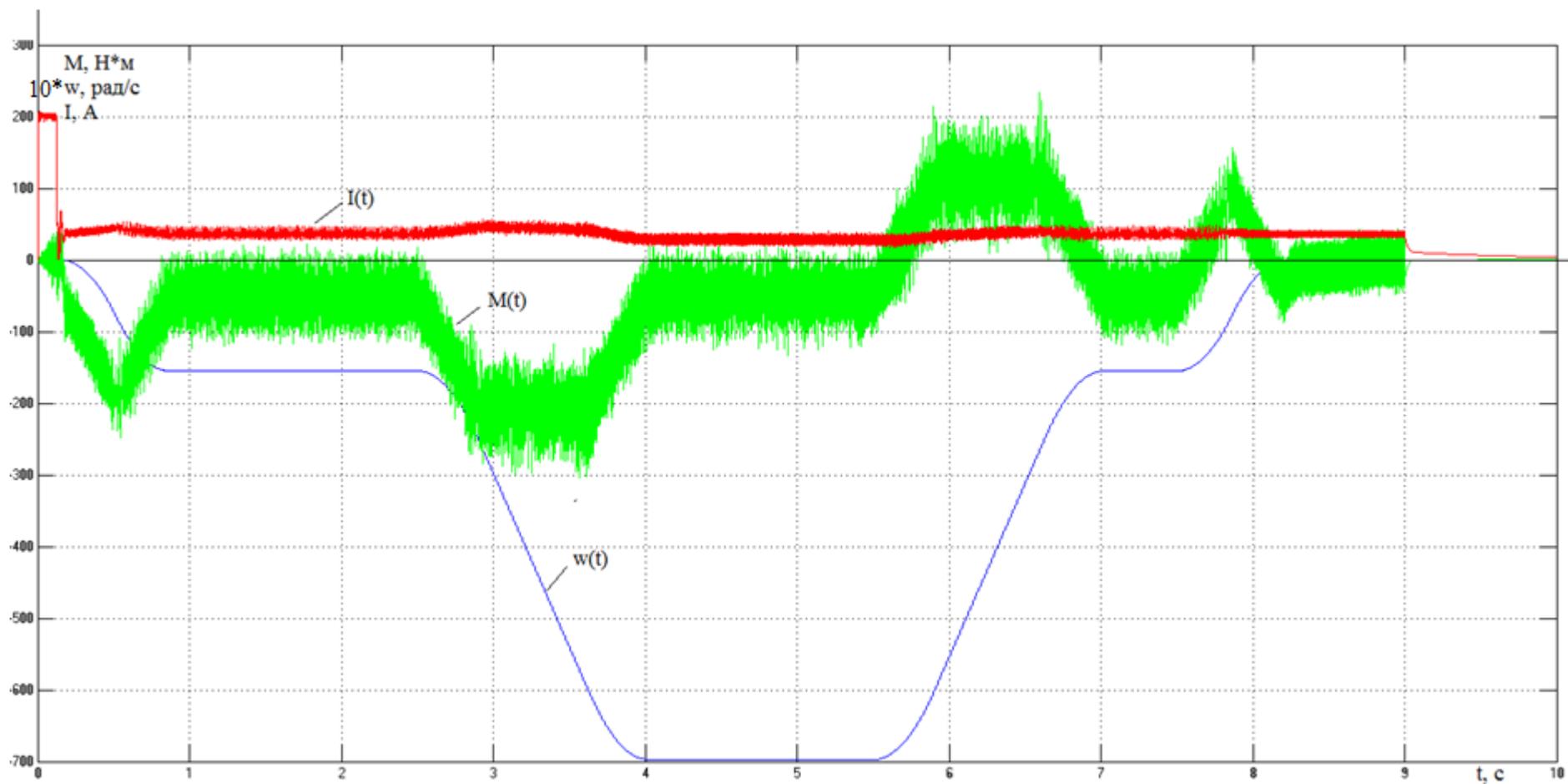


Рисунок 39– Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при спуске краном пустого крюка

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 36-39 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.

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является проектирование и создание технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования. В данном разделе рассчитывается сумма затрат на проектирование асинхронного электропривода мостового крана и сумма затрат на покупку оборудования для реализации проекта.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка технического проекта при помощи SWOT-анализа;
- расчет затрат на проектные работы электропривода мостового крана;
- планирование проектно-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

6.1 SWOT-АНАЛИЗ ПО РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОСТОВОГО КРАНА

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [14].

Применительно к проекту по разработке электропривода мостового крана, SWOT-анализ позволит оценить положительные и отрицательные стороны проекта.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, которая помогает выявить соответствия слабых и сильных сторон проекта, а также их возможности и угрозы. При составлении матрицы SWOT-анализа стоит использовать следующие обозначения: С – сильные стороны проекта; Сл – слабые стороны проекта; В – возможности; У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Матрица SWOT-анализа технического проекта

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	С1. Высокое качество питающего напряжения С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии С4. Квалифицированный персонал С5. Небольшие затраты на ремонт оборудования	Сл1. Повышенный уровень вибрации Сл2. Аварийные ситуации Сл3. Значительная стоимость оборудования
Возможности: В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода В3. Резервное питание электропривода мостового крана. В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	В1С1С2С3С4 В2С2С4С5 В3С1С2С4С5 В4С1С3С5	В1Сл2Сл3; В2Сл1Сл2 В3Сл2Сл3.
Угрозы: У1. Развитая конкуренция технологии производства У2. Риск несвоевременной поставки оборудования У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции У4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства	У1С5 У2С5 У3С4 У4С5	У1Сл3 У3Сл1 У4Сл3

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие.

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 6.2 и 6.3.

Таблица 6.2 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	V1	+	+	+	+	-
	V2	-	+	-	+	+
	V3	+	+	-	+	+
	V4	+	-	+	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	V1	-	+	+		
	V2	+	+	-		
V3	-	+	+			
V4	-	-	-			

Таблица 6.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	-	+
	У2	-	-	-	-	+
	У3	-	-	-	+	-
	У4	-	-	-	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	У1	-	-	+		
	У2	-	-	-		
У3	+	-	-			
У4	-	-	+			

По

результатам интерактивных матриц, приведенных в ниже, видно, что самой сильной стороной проекта является надежность защит и аварийной сигнализации, так как несвоевременное ликвидация ошибок и аварий может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение технологического процесса. Кроме того, большая экономия потребляемой электрической энергии и высокое качество питающего напряжения показывают перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

6.2 ПЛАНИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ В СЛЕДУЮЩЕМ ПОРЯДКЕ:

- ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ РАБОТ В РАМКАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ;

- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;

- разработка графика проведения технического проектирования.

6.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ РАБОТ В РАМКАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В данном разделе, представлен весь перечень этапов и работ, а так же дано краткое описание работ выполненных в ходе технического проектирования:

- №1 – разработка технического задания (ТЗ) – представляет собой изучение первичной информации об объекте, требования к техническому проекту, составление задания и плана на работу;
- №2 – сбор и изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, в том числе области применения оборудования, касающихся различных сторон технического проекта;
- №3 – сбор исходных данных – это выбор из изученных источников электрических схем соединения; параметров двигателя; параметров частотного преобразователя.
- №4 – подготовка данных для ввода в базу комплекса – составление схем замещения, расчет естественных характеристик электродвигателя, расчет параметров схемы замещения;
- №5 – отладка базы данных и проведение тестовых расчетов – перепроверка всех введенных значений, формул и схем;
- №6 – выбор оборудования – необходимо произвести выбор оборудования из изученных ранее источников. Данная работа формируется из приводного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, частотного преобразователя и определения типа мостового крана;
- №7 – расчёт и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MATLAB при холостом пуске и пуске с нагрузкой ;
- №8 – расчёт и проверка модели АД-ПЧ – расчет статических характеристик системы преобразователь-двигатель, расчет и построение семейства

механических $\omega(M_{эм})$ и электромеханических $\omega(I_1)$ характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты в среде MATLAB;

№ 9 – оформление пояснительной записки – окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовку к защите, подготовка презентации;

№10 – сдача проекта – это заключительный этап выполнения ВКР, в котором, студент осуществляет защиту своей работы.

6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Методика оценки приведена в [14].

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

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

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

$t_{\max i}$ – 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_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

Результаты расчетов продолжительности выполнения работ приведены в таблице 6.4

Таблица 6.4 – Расчет продолжительности выполнения работ, чел.дн.

№ этапа работы	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы,	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы,	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы,
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1
2	Сбор и изучение литературы	Дипломник	8	12	10
3	Сбор исходных данных	Дипломник	8	12	10
4	Подготовка данных для ввода в базу	Дипломник	8	12	10
5	Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	14	16	15
		Руководитель	1	1	1
6	Выбор оборудования	Дипломник	4	6	5
7	Расчёт и проверка модели АД	Дипломник	14	16	15
		Руководитель	1	1	1
8	Расчёт и проверка модели АД-ПЧ	Дипломник	14	16	15
		Руководитель	1	1	1
9	Оформление пояснительной записки	Дипломник	8	12	10
		Руководитель	1	3	2
10	Сдача проекта	Дипломник	1	1	1
		Руководитель	1	1	1

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [14].

Исходя из диаграммы продолжительности работ, определяется участие каждого специалиста рабочей группы в разработке проекта: руководитель 7 дней, дипломник 91 день. Общая продолжительность выполнения ВКР составила 92 рабочих дня.

6.3 СОСТАВЛЕНИЕ СМЕТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- затраты на спец.оборудование;
- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Материальные затраты в данном техническом проекте не рассчитываются.

6.3.1 Затраты на специализированное оборудование

Стоимость специализированного оборудования для запуска мостового крана приведена в таблице 6.6.

Таблица 6.6 Стоимость специализированного оборудования

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена, тыс.руб.
Электродвигатель 5АИ280S8	4	80
Преобразователь частоты Avitar 71HD75N4	1	60
Датчики скорости, грузоподъемности	8	16
Итого		156

Первоначальная стоимость оборудования рассчитывается по формуле:

$$C_{OB} = Ц \cdot k_{Tp}$$

где: C_{OB} - первоначальная стоимость оборудование

Ц - цена оборудование

$k_{\text{тр}}$ - коэффициент учитывавшее транспортные расходы принимаем $k = 1,11$

$$C_{\text{об}} = 156 * 1,11 = 173,16 \text{ тыс.руб.}$$

6.3.2 Полная заработная плата исполнителей ВКР

В этом разделе включена основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. (таблица 6.7).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{допл}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_d},$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$Z_{\text{допл}}$ – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{\text{р.к.}}$ – районная доплата, руб

F_d – количество рабочих дней в месяце, раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Оклад	Доплаты и надбавки, руб.	Районная доплата, руб.	Зарплата месячная, руб	Среднедневная заработная плата в день, руб.	Продолжительность работ, раб. дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	23264	2200	7639	33103	1273	7	8911
Дипломник	7864	–	2359	10223	393	91	35763
Итого $Z_{осн}$, руб.							44674

Дополнительная заработная плата, составляет 12-15% от основной. Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 6.8.

Таблица 6.8. – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб.
Руководитель	0,15	8900	1300	10200
Дипломник	0,12	35763	4237	40000
Итого		44663	5537	50200

6.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются: обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам, органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС); от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

$k_{\text{внеб}} = 30,2\%$ в условиях ТПУ.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 50200 = 15,1 \text{ тыс. руб.}$$

6.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, и т.д.

Величину накладных расходов принимаем в размере 16% от общей суммы затрат.

6.3.5 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение затрат на технический проект приведен в таблице 6.9

Таблица 6.9 – Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты ТП	173,16	60,5
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	50,2	18,1
3. Отчисления во внебюджетные фонды	15,1	5,4
4. Накладные расходы	38,15	16,0
Итого	276,61	100,0

Исходя из представленной выше таблицы 6.9, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 277 тыс.руб. Большая часть (60,5 %) составляют затраты на спец.оборудование.

6.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА

Определение ресурсоэффективности [14] проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию электропривода мостового крана рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

- Надежность мостового крана – это длительный эксплуатационный ресурс (в частности, в условиях электросетей, не гарантирующих стабильное напряжение).

Надежность электроснабжения обеспечивается дополнительным резервным питанием, что позволяет обеспечить бесперебойность в работе.

- энергосбережение мостового крана – это экономия электрической энергии.

Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.

- материалоемкость мостового крана – это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме. При проектировании мостового крана значительную часть общего электропотребления компенсируем за счет энергосберегающей политики.

- помехоустойчивость мостового крана – это способность сигнала противостоять действию помех (т.е. сохранять содержащуюся в нём информацию, несмотря на действие помех). Помехоустойчивость достигается за счет классификации всех электроприемников по степени их помехоустойчивости и выбора точки их

подключения с учетом электромагнитной обстановки. Эти меры позволяют снизить помехи электроприемников.

- удобство – это возможность для лёгкого управления и демонтажа мостового крана.

Удобство управления и регулирования скорости мостового крана (движение, подъем и опускание грузов) осуществляется за счет использования преобразователя частоты.

- производительности труда – это показатель, характеризующий результативность труда, обеспечивается в проекте благодаря автоматизации, но при этом капиталовложения возрастают.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Надежность	0,25	5
2. Энергосбережение	0,20	5
3. Материалоемкость	0,15	4
4. Помехоустойчивость	0,15	4
5. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5
6. Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	4
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 = 4,6$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и энергосбережения позволяют судить о надежности системы.

В данном разделе были рассмотрены и раскрыты следующие вопросы:

- произведен SWOT-анализ, который выявил, приоритетные стороны этого проекта, указывающие на перспективность проекта в целом. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.
- составлена диаграмма продолжительности работ , позволяющая скоординировать работу исполнителей.
- рассчитана смета затрат на выполнение технического проекта, которая составила 277 тыс.руб.
- определен показатель ресурсоэффективности проекта, который имеет достаточно высокое значение – 4,6 (по 5- балльной шкале).

7. Социальная ответственность

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов при работе на ТЭЦ-1 в электроцехе, разработка требований и мероприятий по технике безопасности, анализ пожарной безопасности и чрезвычайных ситуаций, выработка мероприятий, направленных на их предотвращение.

Характеристика помещения

Высота помещения обеспечивает хорошую освещённость. Для безопасной работы человека большое значение имеет покрытие, сопротивление которого более 0,2 МОм и относится к токонепроводящему. Помещение цеха выполнено из негорючих материалов первой степени огнестойкости. Здание цеха состоит из сборных железобетонных конструкций, которые относятся к негорючим материалам первой степени огнестойкости и имеют предел огнестойкости 5,5[12]. Напряжение питания линии 220 и 380 В. Линия относится к электроустановкам до 1000 В. Обслуживание поручается лицам, имеющим квалификацию, соответствующую действующим требованиям.

7.1 Анализ опасных и вредных факторов

Основные виды опасностей согласно [9,1] относятся к физической группе воздействий. Данные травмы могут возникнуть:

- при обрыве жил, возможность поражения электрическим током.;
- при попадании частей одежды и волос в крутящиеся механизмы;
- при небрежном использовании паяльника напряжением питания 220 В и мощностью 30,70 Вт;

7.2 Техника безопасности

Исследуемый электропривод работает в помещении, которое относится к первому классу, помещение без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность, сухое не запылённое[17]. К работе на допускаются лица, хорошо изучившие правила обслуживания и управления и прошедшие инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

К работам по наладке электропривода допускаются не менее двух человек по письменному разрешению руководителя.

При настройке схем, замене предохранителей и т.д. необходимо использовать приборы и средства защиты, предназначенные для работ на электроустановках до 1000 В. Средства защиты, к которым относятся резиновые галоши, коврики, изоляция инструмента и т.д., должны проверяться перед каждым использованием. При наладке привода необходимо[17] применение запрещающих и предупреждающих плакатов. Испытание электропривода осуществляется сначала на холостом ходу затем под нагрузкой.

Для безопасной работы механической части электропривода необходимо иметь ограждения, обладающие соответствующей прочностью. Во время работы линии не допускается брать пучок жил в руки вблизи работающих органов линии[17].

Все токопроводящие части электропривода, проводка должны быть ограждены и не доступны для случайного прикосновения. С этой целью электропривод размещается в корпусе, защищенном от доступа. Часть проводки в рабочей зоне линии заключается в металлорукав или в специальные защитные щитки. Все металлические части, которые могут оказаться под напряжением, должны быть заземлены. Электропривод должен быть обеспечен аварийным выключателем для полного снятия напряжения с электродвигателя, проводки и приборов.

Работа с паяльником требует большой осторожности и соблюдением ряда правил:

1. Неправильная организация рабочего места может вызвать падение паяльника, что приведёт к разбрызгиванию припоя на большое расстояние, вызывая ожоги и другие травмы, например попадание в глаза.
2. При работе с паяльником необходимо осмотреть инструмент перед началом работы. Ручка не должна иметь трещины, она плотно крепится на патрубке. Изоляция проводов не должна иметь видимых внешних повреждений, прогаров.
3. Во время работы необходимо быть внимательным, всегда использовать подставку и ёмкость с флюсом. При пайке элементов и проводов нужно поддерживать их не рукой, а пользоваться пинцетом во избежании ожогов.

7.3 Производственная санитария

Неблагоприятные условия окружающей среды вредно воздействуют на организм работающего, снижают реакцию, повышают утомляемость. К производственным вредностям относятся неблагоприятный микроклимат, производственная пыль, вредные газы и пары, недостаточная освещенность. Микроклимат производственного помещения для категории работ *I* (легкая) согласно [16] характеризуются по таблице №20:

Таблица №20

Сезон года	Категория работ	Температура, град. С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Холодный и переходный периоды года	Легкая I	20 - 23	60 - 40	0,2
	Средней тяжести IIа	18 - 20	60 - 40	0,2
	Средней тяжести IIб	17 - 19	60 - 40	0,3
	Тяжелая III	16 - 18	60 - 40	0,3
Теплый период года	Легкая I	20 - 25	60 - 40	0,2
	Средней тяжести IIа	21 - 23	60 - 40	0,3
	Средней тяжести IIб	20 - 22	60 - 40	0,4
	Тяжелая III	18 - 21	60 - 40	0,5

- температурой воздуха:
 - в холодный период года $t=(18\div 20)^{\circ}\text{C}$;
 - в тёплый период года $t=(21\div 23)^{\circ}\text{C}$;

- влажностью воздуха:
 - в холодный период года (40÷60)%;
 - в тёплый период года (40÷60)%;
- скорость движения воздуха:
 - в холодный период года 0,2 м/с;
 - в тёплый период года 0,3 м/с.

Допустимые нормы температуры представлены в таблице № 21:

Таблица №21

Категория работ	Температура воздуха, град. С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха вне постоянных рабочих мест, град. С
Легкая I	19 - 25	75	0,2	15 - 26

Категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт).

Данная работа относится к категории Iб это работы с интенсивностью энергозатрат 121-150 ккал/ч (140-174 Вт), производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением [19].

Рекомендуемые величины согласно [19] интегрального показателя тепловой нагрузки среды (ТНС-индекса) для профилактики перегревания организма представлены в таблице № 22:

Таблица №22

Категория работ по уровню энергозатрат	Величины интегрального показателя, °С
Iа (до 139)	22,2-26,4
Iб (140-174)	21,5-25,8
IIа (175-232)	20,5-25,1
IIб (233-290)	19,5-23,9
III (более 290)	18,0-21,8

Время пребывания на рабочих местах при температуре воздуха выше допустимых величин указано в таблице №23:

Таблица №23

Температура воздуха на рабочем месте, °С	Время пребывания, не более при категориях работ, ч		
	Iа-Iб	IIа-IIб	III
32,5	1	-	-
32,0	2	-	-
31,5	2,5	1	-
31,0	3	2	-
30,5	4	2,5	1
30,0	5	3	2
29,5	5,5	4	2,5
29,0	6	5	3
28,5	7	5,5	4
28,0	8	6	5
27,5	-	7	5,5
27,0	-	8	6
26,5	-	-	7
26,0	-	-	8

Время пребывания на рабочих местах при температуре воздуха ниже допустимых величин указано в таблице №23:

Таблица №23

Температура воздуха на рабочем месте, °С	Время пребывания, не более при категориях работ, ч				
	Iа	Iб	IIа	IIб	III
6	-	-	-	-	1
7	-	-	-	-	2
8	-	-	-	1	3
9	-	-	-	2	4
10	-	-	1	3	5
11	-	-	2	4	6
12	-	1	3	5	7
13	1	2	4	6	8
14	2	3	5	7	-
15	3	4	6	8	-
16	4	5	7	-	-
17	5	6	8	-	-
18	6	7	-	-	-
19	7	8	-	-	-
20	8	-	-	-	-

Система отопления цеха - водяная, со встроенными в строительные конструкции нагревательными элементами.

Наличие в производственных помещениях вредных паров и газов вызывают отравления и профессиональные заболевания. Отравление вредными веществами может возникнуть при пайке. Пары свинца и его соединений относятся к первому классу опасности (чрезвычайно опасные вещества) [9,1], поэтому рабочее место должно быть снабжено местной вентиляцией. Производственные пыли относятся к четвертому классу опасности (малоопасные) [9,1]. В рассматриваемом производстве борьба с пылью ведётся с помощью промышленного пылесоса, так как технологический процесс требует ликвидации пыли. Производственный процесс

относится к 1а группе (избытки явного тепла незначительны, отсутствуют значительные выделения влаги, пыли, особо загрязняющих веществ).

Работа выполняется в спецодежде. Вспомогательные помещения имеют гардеробное оборудование и душевые комнаты. Производство относится к третьей категории вибрации, производственные шумы не значительны.

Безопасность на производстве в значительной мере зависит от освещения. Основная задача освещения на производстве - создание наилучших условий для зрения трудящихся. Эту задачу можно решить только осветительной системой, которая должна соответствовать требованиям приведённым в [9,1]. Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. В данном случае работы относятся к разряду IV Г. Требуемая норма освещения $E_{НОР}=200$ Лк. Для создания $E_{НОР}$ применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное освещение.

Для создания рациональных условий освещения важное значение имеет тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения.

Необходимо следить за исправностью схем включения, регулярно заменять перегоревшие лампы. На предприятиях должно быть специально выделенное лицо, заведующее эксплуатацией освещения.

На производстве для защиты органов зрения от ультрафиолетового и инфракрасного излучения и слепящей яркости видимого света применяют защитные очки, щитки, шлемы.

Для защиты органов слуха применяют: наушники, антифоны, беруши.

На предприятиях необходимо регулярно проводить организационные мероприятия по обеспечению безопасности труда.

7.4 Расчёт опасности поражения электрическим током

Возможность поражения электрическим током зависит от вида тока, его величины, времени действия, пути протекания через тело, от частоты тока и ряда других факторов.

Величина тока, проходящего через сердце человека I_C зависит от пути прохождения тока через тело человека $I_ч$. Наиболее опасным считается правая рука - ноги.

Значение тока, проходящего через тело человека, определяется по выражению:

$$I_ч = \frac{U}{Z_ч},$$

где U - напряжение между точками включения в электрическую цепь,

$Z_ч$ - электрическое сопротивление тела человека, в расчётах принимаем $Z_ч = 1000$ Ом.

Величина тока через тело человека при прикосновении к двум фазам определяется по выражению:

$$I_ч = \frac{U}{Z_ч} = \frac{380}{1000} = 0,38 \text{ A} = 380 \text{ mA}$$

Согласно [10] предельно допустимый ток через тело человека $I_ч$ при минимальном времени действия $\tau_в$ равен: $I_ч=300$ мА при $\tau_в=0,2$ с.

Расчётное значение превышает допустимое $I_ч=380$ мА >300 мА.

Для обеспечения электрической безопасности на линии необходимо использовать заземление всех металлоконструкций, нормально не находящихся под напряжением.

7.5 Расчёт заземления

Данные для расчёта заземления:

1. Заземление необходимо выполнить для установки, работающей под напряжением 380 В.
2. Для заземления используем трубы диаметром 4 мм и длиной 2,5 м и сталь полосовую 18х4 мм.
3. Заземлители расположены в ряд.
4. Характер грунта в месте установки заземления — глина. Заземлители установлены на глубину (от верхнего конца трубы) 17 см, а расстояние между трубами принимаем равной трём длинам заземлителей, т.е. $a=7,5$ м.

Верхние концы соединены с помощью полосовой стали. Согласно [9,1] определим, что для данного случая по нормам допускается сопротивление не более 4 Ом.

Удельное сопротивление глины составляет $\rho_T = 0,6 \cdot 10^4$ Ом·см.

Учитывая применение грунта зимой и просыхания его летом, определяем расчётные значения ρ_ε и ρ_n при использовании трубчатых заземлителей соединительной полосы и соединительной полосы:

$$\rho_\varepsilon = \rho_T \cdot \kappa_\varepsilon = 0,6 \cdot 10^4 \cdot 1,9 = 1,14 \cdot 10^4 \text{ (Ом·см)},$$

где $\kappa_\varepsilon = 1,9$ - коэффициент для вертикальных электродов;

$$\rho_n = \rho_T \cdot \kappa_n = 0,6 \cdot 10^4 \cdot 5 = 3 \cdot 10^4 \text{ (Ом·см)},$$

где $\kappa_n = 5$ - коэффициент для горизонтальных электродов.

Определим величину сопротивлений одной забитой в землю трубы по выражению:

$$R_\varepsilon = \frac{\rho_\varepsilon}{2 \cdot \pi \cdot l_m} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_m}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot h_m + l_m}{4 \cdot h_m \cdot l_m} \right),$$

где h_m - глубина заземления, $h_m = 180$ см;

l_m - длина заземления, $l_m = 250$ см;

d - диаметр заземления, $d = 0,4$ см.

$$R_\varepsilon = \frac{1,14 \cdot 10^4}{6,28 \cdot 250} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 250}{0,4} + 0,5 \cdot \ln \frac{750 + 250}{750 \cdot 250} \right) = 54,4 \text{ Ом.}$$

Определим число заземлителей:

$$n = \frac{R_\varepsilon}{z} = \frac{54,4}{4} = 14 \text{ шт.}$$

Учитывая, что трубы соединены заземлительной полосой, которая выполняет роль заземлителя, уменьшаем число труб до 11 штук. Определим длину соединительной полосы:

$$l_m = 1,05 \cdot a \cdot (n-1) = 1,05 \cdot 7,5 \cdot (11-1) = 78,75 \text{ м,}$$

где n - число заземлителей;

a - расстояние между заземлителями.

Размер помещения 40x120 м, длина соединительной полосы вписывается в его размер.

Результирующее сопротивление (полосы и трубы) с учётом коэффициента использования труб $J_{\text{э}}=0,85$ и полосы $J_{\text{п}}=0,86$ определяется по формуле:

$$R_c = \frac{R_{\text{э}} \cdot R_{\text{п}}}{R_{\text{э}} \cdot J_{\text{п}} + R_{\text{п}} \cdot J_{\text{э}} \cdot n} = \frac{54,4 \cdot 7,26}{54,4 \cdot 0,86 + 7,26 \cdot 0,85 \cdot 11} = 3,42 \text{ Ом.}$$

Схема расположения устройства защитного заземления по отношению к зданию показана на рисунке 41.

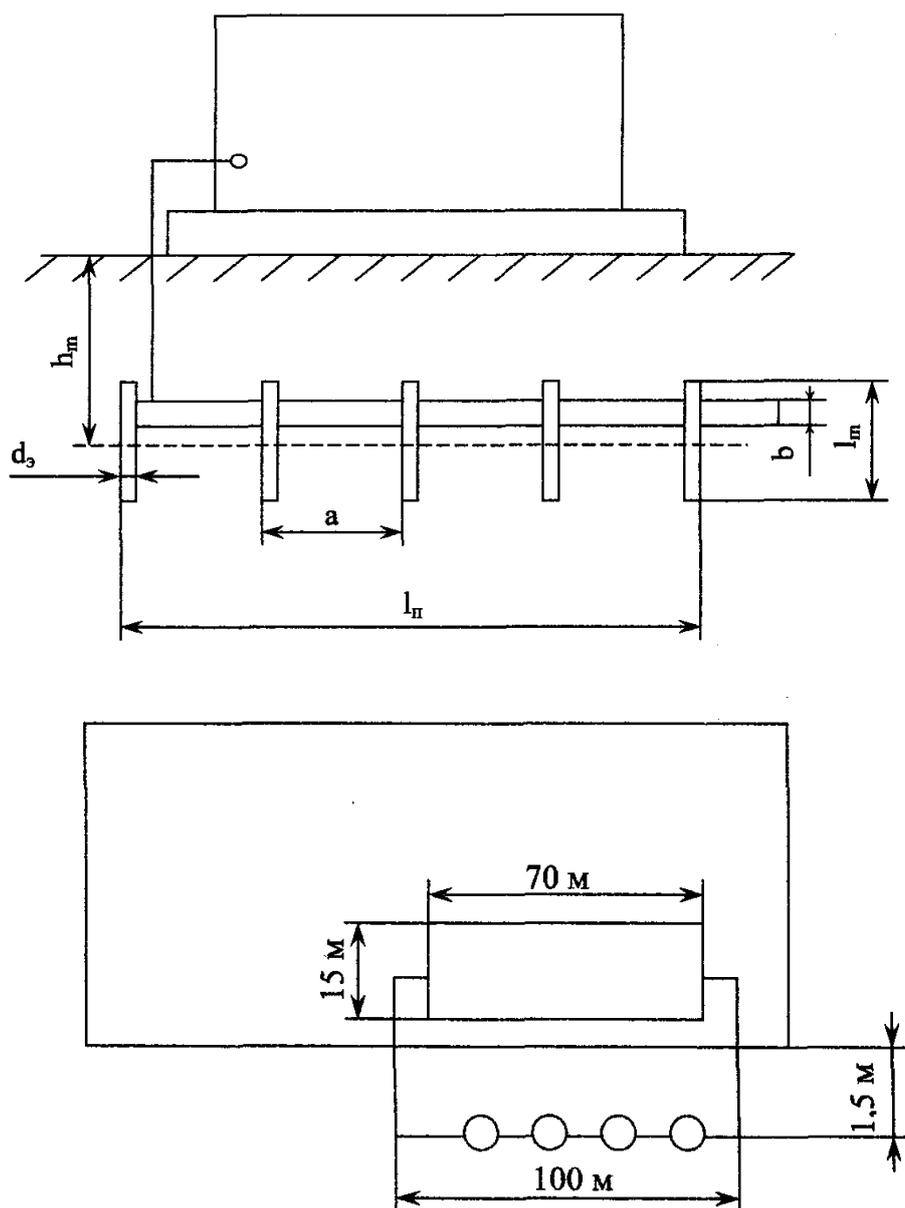


Рисунок 41 – Схема защитного заземления

В данном случае выполняем выносное заземление. Заземлители располагаются на некотором удалении от здания. Поэтому заземление корпуса находится вне поля

растекания и человек, касаясь корпуса, оказывается под полным напряжением относительно земли. Выносное заземление защищает за счёт малого сопротивления заземлителей.

7.6 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность является одним из важнейших разделов охраны труда на производстве. Существенную роль в профилактике и предотвращении пожаров играет правильный выбор режима работы электрооборудования с учётом класса по пожароопасности, применения молниеотводов. Все производственные помещения по пожароопасности разделяются на пять основных категорий. В процессе работы видимые признаки, обуславливающие возникновения пожара, отсутствуют и, следовательно, данное производство согласно [9,1] можно отнести к категории Д (производство, в котором негорючие вещества и материалы находящиеся в холодном состоянии). Помещение относится к классу П-1(К ним относят помещения, в которых применяют или хранят горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 45°С (например, склады масел, установки регенерации масел и т. п.)). Однако, в данном технологическом процессе пожар может возникнуть из-за таких короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагревания проводников, что приводит к их выплавлению из изоляционного материала. В этом отношении опасны недопустимые электрические перегрузки проводов и обмоток электрических машин. В местах плохого контакта соединения проводников вследствие большого переходного сопротивления выделяется большое количество тепла. Это приводит к повышению температуры и воспламенения изоляции. Были установлены общие требования пожарной безопасности к объектам различного назначения всех отраслей народного хозяйства при строительстве и эксплуатации. Пожарная безопасность должна обеспечиваться:

- системой предотвращения пожара;
- системой противопожарной защиты;
- организационно-техническими мероприятиями.

Системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, обеспечивающих сохранность материальных ценностей, следует применять при наличии экономической эффективности от их внедрения. Экономическая эффективность должна рассчитываться с учётом вероятности возникновения пожара и возможного ущерба от него. Предотвращение пожара должно достигаться предотвращением образования горючей среды. Это должно обеспечиваться минимально возможным применением горючих материалов. Содержание газов, паров, взвесей и легко воспламеняющихся жидкостей должно быть по возможности вне пределов воспламенения.

Автоматические установки пожаротушения и установки пожарной сигнализации, введённые в объект, должны удовлетворять требованиям проектной документации и отраслевым стандартам.

Огнетушители различных видов относятся к классу переносных средств пожаротушения. Огнетушители, годные к эксплуатации, должны иметь бирку и маркировку и должны быть окрашены в красный цвет. Зарядка и перезарядка всех типов огнетушителей должна выполняться в соответствии с инструкциями по эксплуатации. Огнетушители должны располагаться в заметных и легко доступных местах, где исключено попадание солнечных лучей. Количество первичных средств пожаротушения определяется по [9,1]:

Таблица 25 – Количество первичных средств пожаротушения

Цех	S _{цеха} , м ²	Огнетушители		Ящик с песком, м ²
		ОУ-5	ОХП-10	
Экструзионная линия	300	1	2	1

Пожарный ручной инструмент и инвентарь, размещенный на объекте, подлежит периодическому обслуживанию, включающему следующее:

1. Очистка от пыли, грязи и коррозии;
2. Восстановление соответствующей окраски.

Ящики с песком должны быть укомплектованы лопатой и иметь вместимость до 3 м³.

Для курения должны быть отведены специальные места. В производственных помещениях должна обеспечиваться возможность эвакуации людей и оборудования в случае пожара. План эвакуации на случай пожара представлен на рисунке 42.

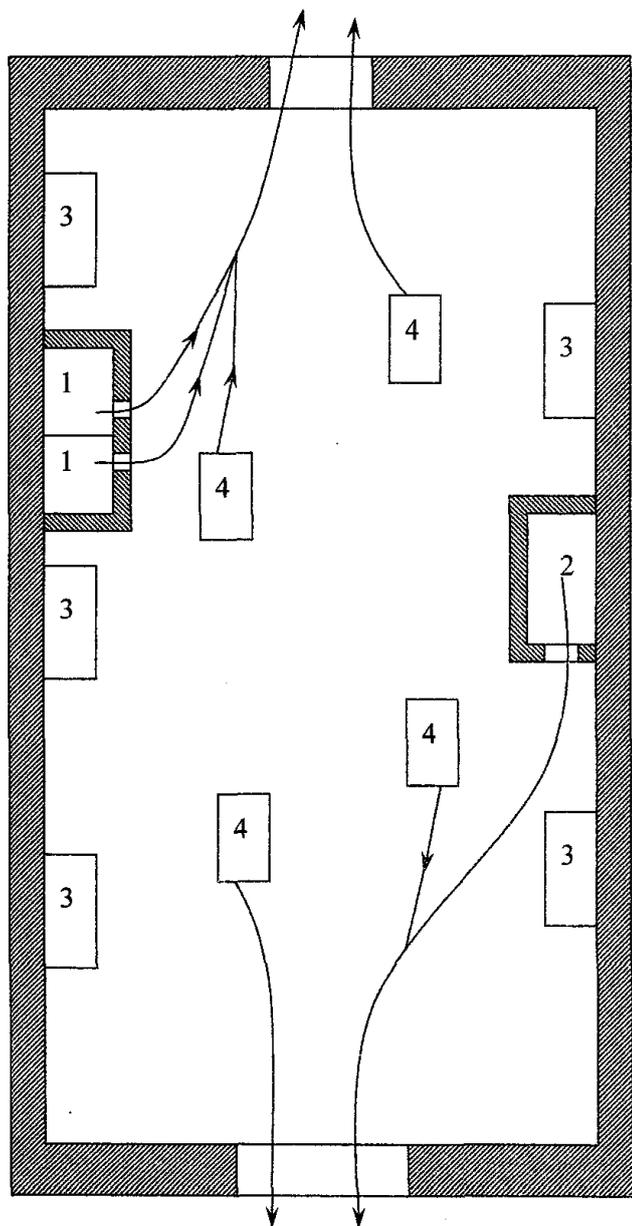


Рисунок 42 – План эвакуации на случай пожара: 1- руководство цеха; 2- ОТК; 3- первичные средства пожаротушения; 4- рабочие места.

7.7 Охрана окружающей среды

Проблема защиты окружающей среды - одна из важнейших задач современности. Выбросы промышленных предприятий в атмосферу, водоёмы и недра на современном этапе развития достигли таких размеров, что в ряде районов земного

шара, особенно в крупных промышленных центрах, уровень загрязнений существенно превышает допустимые санитарные нормы.

Обмен веществ и энергии на ТЭЦ-1 с окружающей средой представлен на рисунке 43.

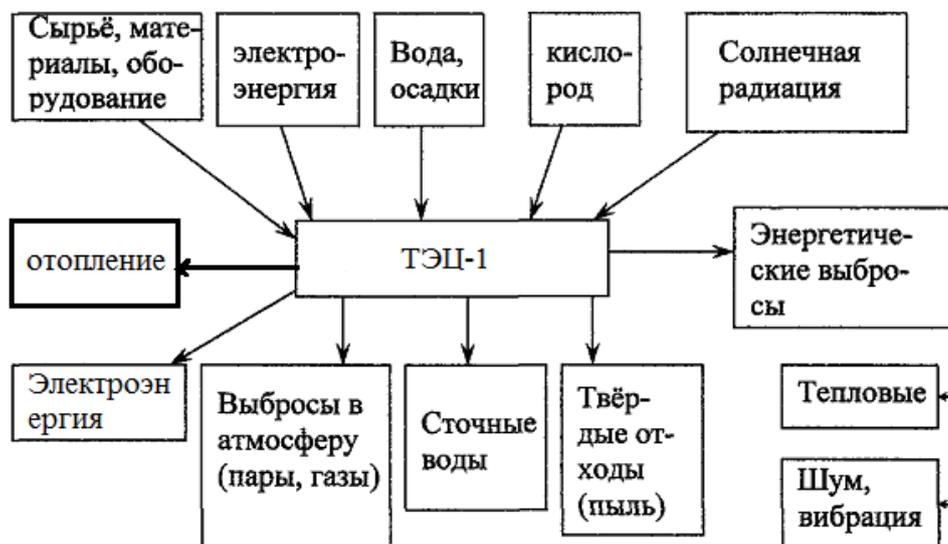


Рисунок 43 – Обмен веществ и энергии

В соответствии с требованиями [19] для каждого источника загрязнения атмосферы устанавливается предельно допустимый выброс вредных веществ из условия, что выбросы вредных веществ от данного и совокупности источников города или другого населённого пункта с учётом перспективы развития промышленных предприятий и рассеивания вредных веществ в атмосфере не создадут приземную концентрацию, превышающую ПДК для населения, растительного и животного мира.

Вода используется для вспомогательных целей: охлаждение (подогрев) исходных материалов и продукции предприятия, охлаждение деталей и узлов технологического оборудования, промывки и очистки продукции, что приводит к загрязнению воды растворимыми и нерастворимыми примесями; хозяйственно бытового обслуживания работников предприятия. И основная цель циркуляция и отопление Томской области.

"Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами" запрещают выбрасывать в водоёмы сточные воды, если этого можно избежать, используя более рациональную технологию и системы повторного и оборотного водоснабжения.

Под загрязнением окружающей среды от ТЭЦ следует понимать изменение свойств среды (химических, механических, физических, биологических и связанных с ними информационных), происходящие в результате естественных или искусственных процессов и приводящие к ухудшению функций среды по отношению к любому биологическому или технологическому объекту. Используя различные элементы окружающей среды в своей деятельности, человек изменяет её качество. Часто эти изменения выражаются в неблагоприятной форме загрязнения. По масштабам антропогенные изменения становятся сопоставимыми с природными, а в ряде случаев даже превышают их. Естественные процессы загрязнения имеют в природе антиподы, способные нейтрализовать действие природного загрязнителя, а многие вещества, созданные человеком, являются инородными по отношению к природе. Естественные источники загрязнения обычно удалены от среды обитания человека, а антропогенные расположены в районах концентрации населения.

По масштабам загрязнение окружающей среды от ТЭЦ можно разделить на локальное, региональное и глобальное. Эти три вида загрязнения тесно связаны между собой. Как правило, первичным является локальное загрязнение, которое, если скорость процесса загрязнения больше скорости естественного очищения, переходит в региональное и затем при накоплении количественных изменений - в глобальное изменение качества окружающей среды. Для глобального загрязнения наиболее важным является временный фактор.

Существование таких процессов свидетельствует об ограниченности ресурсов атмосферы и о пределах её естественного самовосстановления. Например, использование воздуха в производственных процессах издавна предполагало естественные способности атмосферы к восстановлению первоначальных качеств. В частности, дымовые выбросы в атмосферу, содержащие микрочастицы и токсичные вещества, представляют собой не что иное, как метод разбавления. И даже в наши дни при строительстве высотных и сверхвысотных труб ТЭЦ продолжают пользоваться этим древним методом. Однако резкое возрастание объемов выбросов привело к тому, что масштабы загрязнения вплотную приблизились и даже часто перешагивают пределы самовосстановления атмосферы.

При современных уровнях загрязнения вредные вещества от источника загрязнения распространяются на десятки и сотни километров. И даже само понятие источник загрязнения несколько меняет смысл. Если в каком-либо промышленном районе можно выделить точечные источники загрязнения, то в масштабе региона целый промышленный район, например крупный город, может рассматриваться как единый источник с системой точечных, линейных и групповых источников. Более того, даже весь регион и даже целая страна может выступать в роли единого источника загрязнения .

Актуальность данной темы в том, что современное индустриальное производство ТЭЦ оказывает значительное воздействие на природу в глобальных масштабах. Хотя большая часть загрязняющих веществ и тепловой энергии ТЭЦ вырабатывается на ограниченной площади, главным образом в промышленных районах России, вследствие особенностей циркуляции атмосферы и перемещений в водной оболочке Земли значительная часть некоторых, относительно долго живущих загрязняющих веществ рассеивается на огромных пространствах и даже по всей Земле, приводя к региональному и глобальному загрязнению.

Современное индустриальное производство ТЭЦ оказывает значительное воздействие на природу в глобальных масштабах. Хотя большая часть загрязняющих веществ и тепловой энергии ТЭЦ вырабатывается на ограниченной площади, главным образом в промышленных районах России, вследствие особенностей циркуляции атмосферы и перемещений в водной оболочке Земли значительная часть некоторых, относительно долго живущих загрязняющих веществ рассеивается на огромных пространствах и даже по всей Земле, приводя к региональному и глобальному загрязнению.

7. 8 Защита от чрезвычайных ситуаций

Мероприятия по обеспечению устойчивости работы объектах[13], прежде всего должны быть направлены на защиту рабочих и служащих от последствий ЧС; они тесно связаны с мероприятиями по подготовке и проведению спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ в очагах поражения, так как без людских резервов и успешной ликвидации последствий ЧС в очагах поражения

проводить мероприятия по обеспечению устойчивой работы объектов народного хозяйства практически невозможно. Для исследования подготовки объекта к защите от последствий ЧС, оценки физической устойчивости и разработки мероприятий привлекаются инженерно-технический персонал и работники штаба ГО объекта

Возможные причины:

1. транспортные аварии (катастрофы) - могут быть двух видов: происходящие на производственных объектах, не связанных непосредственно с перемещением транспортных средств (депо, станции, автовокзалы, порты и др.), и случающиеся во время движения транспортных средств. Первый вид носит общий характер, второй - специфический, связанный в большинстве своём с тяжёлыми последствиями. Такие происшествия, как удаление места катастрофы от крупных населённых пунктов, трудность доставки туда спасательных формирований и большое число пострадавших, нуждающихся в срочной хирургической помощи считаются отдельным типом ЧС.
2. пожары, взрывы, угроза взрывов - самые распространённые ЧС в современном индивидуальном обществе наиболее часто встречающиеся и, как правило, с тяжёлыми социальными, экономическими последствиями.
3. аварии с выбросом (угрозой выброса) ХОВ - классификация ЧС с ними может быть проведена, например, по масштабу распространения ядовитого вещества, его поражающим свойствам, продолжительности действия и т.д. Некоторые токсические вещества в определённых условиях (при пожарах) в результате химических реакций могут образовывать ядовитые соединения. Все эти ситуации также требуют отдельного учёта.
4. внезапное обрушение зданий, сооружений - подобного типа происшествия происходят не сами по себе, а инициируются какими-то побочными факторами: большое скопление людей на ограниченной площади, сильная вибрация, вызванная проходящими железнодорожными составами, чрезмерная нагрузка на верхние этажи зданий и т.д. Последствия их трудно предсказуемы. Обычно они приводят к большим человеческим жертвам.

5. аварии на электроэнергетических системах и аварии в коммунальных системах жизнеобеспечения - редко сопровождаются гибелью людей. Однако они создают существенные затруднения в жизнедеятельности населения, особенно в холодное время года, могут служить причиной серьёзных нарушений и даже приостановки работы объектов сельского хозяйства и промышленности.

6. аварии на очистных сооружениях - это связано не только с резким отрицательным их воздействием на обслуживающий персонал объектов и жителей близлежащих населённых пунктов, но и с залповыми выбросами отравляющих токсических и просто вредных веществ в окружающую среду.

7. Аварии на электроэнергетических системах:

аварии на автономных электростанциях с долговременным перерывом электроснабжения всех потребителей;

аварии на электроэнергетических системах (сетях) с долговременным перерывом электроснабжения основных потребителей или обширных территорий;

выход из строя транспортных электроконтактных сетей.

8. Аварии в коммунальных системах жизнеобеспечения:

аварии в канализационных системах с массовым выбросом загрязняющих веществ;

аварии на тепловых сетях (системах горячего водоснабжения) в холодное время года;

аварии на коммунальных газопроводах.

Одним из основных способов защиты является своевременный и быстрый вывод или вывод людей из опасной зоны, т.е. эвакуация. Вид эвакуации определяется видом, характером и условиями ЧС. Плановая и экстренная эвакуации различаются временными рамками. Экстренная эвакуация вызывается быстротекущими процессами накопления негативных факторов в зоне ЧС или изначально высокими уровнями этих факторов.

В числе мероприятий по защите персонала предприятия, которые разрабатываются объектовой комиссией, указываются действия по эвакуации работающей смены, как при угрозе, так и при возникновении ЧС. Исходя из прогнозируемой возможности возникновения аварий, катастрофы или стихийного бедствия которые могут повлечь за собой человеческие жертвы, принести ущерб здоровью людей, нарушить условия

их жизнедеятельности, намечаются следующие мероприятия и временные параметры по эвакуации:

- определяется вид эвакуации (плановая или экстренная);
- производится расчёт рабочих и служащих, необходимых для проведения эвакуации;
- устанавливаются мероприятия по безаварийной остановке производства;
- намечаются схемы движения эвакуируемых из зоны ЧС к пунктам временного размещения и др.

Вопросы эвакуации для изучения включаются в тематику занятий с рабочими и служащими в системе ГО.

Организация эвакуации различна для персонала предприятия и для населения в городе, посёлке.

С учётом анализа и оценки ситуации руководитель объектовой комиссии по ЧС может принять одно из решений:

- провести эвакуацию внутри объекта;

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 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.

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
- Кабели и провода / под ред. Привезенцева В.А. – М.: Машиностроение, 1964
- 7.Справочник по электрическим машинам. Под общ. ред. И. П. Копылова и Б. К. Клокова. Т.1. – М.:Энергоатомиздат, 1988.
- 8.СНиП 2.01.02–85 - Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений, Стройиздат, 1976
- 9.ГОСТ 12.1.038-82 - Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
- 10.Егорин В.Н. Расчёт опасности поражения электрическим током. – Томск: изд-во ТПИ, 1969
- 11.ГОСТ 12.3.002-75 ССБТ - Требования безопасности к производственным процессам.
- 12.ГОСТ Р 22.0.02-94 - Безопасность в чрезвычайных ситуациях
- 13.Управление проектами. / под.ред. Шапиро С.И. – С-Петербург,1993
- 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
14. Правила по охране труда на предприятиях- ПОТ РО 14000-001-98
Определение в отношении опасности поражения людей электрическим током - ПУЭ (6-е изд.) в разд. 1.1.13
15. Охрана природы. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями - ГОСТ 17.23.02-78
16. СанПиН 2.2.4.548-96 - Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
17. 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
18. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления электроприводов: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2007. - 152 с.
19. Яуре А. Г. Певзнер Е. М. Крановый электропривод: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 334 с.
20. Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Расчет характеристик электроприводов переменного тока. Ч. 1. Асинхронный электродвигатель: Учебное пособие. -Томск: Изд-во ТПУ, 2005. - 136 с.
21. 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.
22. Системы управления электроприводов: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. - 152 с.
23. Ласточкин В.М., Шамрай Ф.А. Методика по силовому расчету частотно-регулируемых электроприводов крановых механизмов. - техническая коллекция Schneider Electric, 2007 г., 19 с.

