TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

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

# БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|---|
| **Частотно-регулируемый электропривод подъемной лебедки мостового крана грузоподъемностью 20 тонн.** |

УДК 62-83-523:621.864:621.874

Студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---|---|---|---|
| З-5Г4А2 | Сайфиддинов Саидазим Сайфиддинович | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|---|---|---|---|
| Доцент | Ляпунов Д.Ю. | к.т.н. | | |

Консультант

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|---|---|---|---|
| Ассистент | Клыжко Е.Н. | к.т.н. | | |

## КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|---|---|---|---|
| Ассистент | Сотникова А.А. | | | |

## ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|---|---|---|---|
| Доцент | Ивашутенко А.С. | к.т.н. | | |

Томск – 2019 г.

## Планируемые результаты обучения по ООП

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

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

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

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

**ЗАДАНИЕ**
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

| Бакалаврской работы |
|---|

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

Студенту:

| **Группа** | **ФИО** |
|---|---|
| З-5Г4А2 | Сайфиддинову Саидазиму Сайфиддиновичу |

Тема работы:

| **Частотно-регулируемый электропривод подъемной лебедки мостового крана грузоподъемностью 20 тонн.** | |
|---|---|
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | № 3483/с от 06.05.2019г |

| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 31.05.2018г. |
|---|---|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

| | |
|---|---|
| **Исходные данные к работе** | Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации |
| **Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов** | введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик; безопасность и экологичность проекта; экономическая часть; заключение. |

| | |
|---|---|
| **Перечень графического материала** | Функциональная схема и имитационная модель электропривода<br>Динамические характеристики электропривода<br>Статические характеристики электродвигателя и электропривода<br>Технико-экономические показатели |

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

| Раздел | Консультант |
|---|---|
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Мелик-Гайказян Мария Вигеновна |
| Социальная ответственность | Сотникова Анна Александровна |

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Заключение

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

**Задание выдал руководитель:**

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|---|---|---|---|
| Доцент | Ляпунов Д.Ю. | к.т.н. | | 05.04.2018г. |
| Ассистент | Клыжко Е.Н | к.т.н. | | |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---|---|---|---|
| З-5Г4А2 | Сайфиддинов Саидазим Сайфиддинович | | 05.04.2018г. |

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

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

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)
Отделение Электроэнергетики и электротехники
Профиль Электропривод и автоматика
Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

| Бакалаврская работа |
|---|

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

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

| | |
|---|---|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 31.05.2019г. |

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---|---|---|
| 23.05.2019 | Основная часть | 60 |
| 15.05.2019 | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 20 |
| 17.05.2019 | Социальная ответственность | 20 |

**СОСТАВИЛ:**
Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|---|---|---|---|
| Доцент | Ляпунов Д.Ю. | к.т.н. | | |

Консультант

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|---|---|---|---|
| Ассистент | Клыжко Е.Н. | к.т.н. | | |

**СОГЛАСОВАНО:**

**И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ**

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

**Техническое задание**

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

1. Режим работы – повторно-кратковременный.

2. Электропривод реверсивный, диапазон регулирования D =1:20.

3. Погрешность поддержания заданной частоты не более 10 % на нижней рабочей скорости.

4. Управление электроприводом - ручное, с пульта управления обслуживающим персоналом, в автоматизированном режиме поддержания давления с перспективой интеграции в систему управления более высокого уровня.

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

6. Преобразователь должен быть предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающего воздуха от 5° до 45°С 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, $380 \pm 10\%$ В, $50 \pm 1$Гц.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 113 страницу, 29 рисунка, 19 таблиц, 28 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 20 тонн.

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

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

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

Оглавление

Введение ..... 10
1 Технологическая часть ..... 12
1.1 Описание промышленной установки и анализ технологического процесса ..... 12
1.2 Анализ кинематической схемы, определение параметров и проектирование расчетной схемы механической части электропривода ..... 19
2 Выбор системы электро привода и автоматизация промышленной установки ..... 21
2.1 Предьявляемые требования к автоматизированному электроприводу и системе автоматизации ..... 23
2.2 Определение возможных вариантов и выбор рациональной системы электропривода ..... 25
3 Выбор элементов силового канала электропривода и расчет параметров .. 26
3.1 Выбор электродвигателя и расчет параметров ..... 26
3.1.1 Расчетные параметры электродвигателя ..... 29
3.1.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя по каталожным данным ..... 30
3.1.3 Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик электродвигателя ..... 35
3.2 Механическая система электропривода подъема ..... 39
3.2.1 Параметры элементов механической системы привода ..... 39
3.3 Определение заданной области работы ..... 41
3.4 Выбор преобразователя частоты ..... 43
3.4.1 Параметры преобразователя частоты ..... 44
4 Разработка и исследование систем электропривода с векторным управлением ..... 46
4.1 Разработка имитационной модели регулируемого электропривода с векторным управлением ..... 46
4.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода мостового крана с векторным управлением ..... 59
4.2.1 Программа исследований электропривода ..... 59
4.3 Исходные параметры настройки САР РЭП ..... 60
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ» ..... 72
5. Социальная ответственность ..... 74
Введение. ..... 74
5.1. Производственная безопасность ..... 74
5.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов. ..... 76
5.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего) ..... 79
5.4 Экологическая безопасность. ..... 83
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. ..... 84
5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. .. 85
5.7 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны ..... 86

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» ..... 88
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ..... 89
6.1. SWOT-анализ по разработке проекта электропривод подъемной лебедки мостового крана..... 89
6.2. Организация работ технического проекта..... 93
6.2.1.Структура работ в рамках технического проектирования..... 93
6.2.2.Определение трудоемкости выполнения ТП ..... 94
6.2.3. Разработка графика проведения технического проекта..... 96
6.3.Составление сметы затрат на разработку ТП..... 98
6.3.1. Расчет материальных затрат ..... 98
6.3.2. Расчет полной заработной платы исполнителей темы..... 99
6.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)..... 100
6.3.4. Накладные расходы..... 101
6.4. Формирование сметы затрат технического проекта ..... 101
6.5 Определение ресурсоэффективности проекта ..... 102
Заключение ..... 106
Список использованных источников ..... 109

## Введение

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

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

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

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

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

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

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

– повышение качества и значительная рационализация системы управления;

– автоматическое передвижение груза по заданной программе, т.е. введение крана в систему АСУ ТП;

– возможность согласованного действия нескольких кранов по заданной программе, например при монтажно-сборочных работах;

– увеличение надежности и срока службы как самого привода, так

и всех его механизмов;

– упрощение процесса обслуживания;

– экономия электроэнергии;

– создание предпосылок для дальнейшего совершенствования как самих кранов, так и систем управления: введение дистанционного управления, ликвидация приборов контроля грузоподъемности, снижение передаточного отношения редуктора, ликвидация полиспастов и т.д.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка и исследование электропривода механизма подъема мостового крана

грузоподъемностью 20 т.

# 1 Технологическая часть

## 1.1 Описание промышленной установки и анализ технологического процесса

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

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

Металлоконструкция мостового крана состоит из двух основных частей: моста и тележки. Мост перекрывает рабочий пролёт производственного помещения или склада. Он состоит из двух главных и двух концевых балок. Через ходовые колёса механизма передвижения мост опирается на надземные крановые рельсы. Последние закреплены на

подкрановых балках, смонтированных на консолях колонн здания или крановой эстакады. Колёса приводятся через передаточный механизм одним или двумя электродвигателями. Ходовые колёса кранов выполняют двухребордными либо безребордными с горизонтальными направляющими роликами. На главных балках закреплены рельсы, по которым перемещается тележка с помощью своего привода. На её раме размещены один или два механизма подъёма груза, каждый из которых состоит из крюковой подвески, канатного полиспаста, барабана, передаточного механизма, тормоза и электродвигателя. Механизмами крана управляют из кабины, подвешенной к металлоконструкции моста, что позволяет иметь наилучший обзор и безопасность работы, а при необходимости - на тележке (имеет возможность автономно перемещаться вдоль пролёта крана).

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

По назначению разнообразные грузоподъемные машины можно объединить в три группы:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ряд кранов, предназначенных для технологических комплексов, в последнее время проектируется для использования при более сложных режимах работы электропривода по сравнению с режимом ВТ, определяемым действующей классификацией Госгортехнадзора. Этот режим

характеризуется продолжительностью включения до ПВ=100% при числе включений в час 600 и выше. Для этих случаев вводится новая категория режима: особо тяжелый - ОТ. В настоящее время существует стандарт, предусматривающий пять категорий режимов, включая режим ОТ.

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

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

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

Скорости грузоподъемных механизмов выбираются исходя из следующих предпосылок:

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

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

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

номинальная скорость должна обеспечить наибольшую производительность при наименьших затратах энергии.

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

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

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

Производительность и число включений в час грузоподъемных машин неразрывно связаны со скоростными параметрами. Производительность машин соответствует времени завершения операции по переработке груза. Сокращение времени одной операции при определенной траектории движения груза определяет повышение производительности машины.

Каждая машина может иметь фактический или условный цикл проведения грузоподъемной операции.

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

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

В данном проекте мы выбираем двухбалочный мостовой кран, который относится к среднему режиму работы с грузоподъёмностью до 20 тонн,

который осуществляет подъём и перемещение грузов в ремонтно-механических и сборочных цехах со следующим циклом работы:

1. Подъём номинального груза с номинальной скоростью на расчетную высоту;

2. Пауза (перемещение груза в заданное место);

3. Опускание номинального груза с расчетной высоты на нулевую отметку с номинальной скоростью;

4. Пауза (разгрузка);

5. Подъём пустого крюка на расчетную высоту с повышенной скоростью;

6. Пауза (перемещение крана в исходное положение);

7. Опускание пустого крюка с расчетной высоты на нулевую отметку с повышенной скоростью;

8. Пауза (загрузка).

## 1.2 Анализ кинематической схемы, определение параметров и проектирование расчетной схемы механической части электропривода

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

Таблица №1

| Наименование, ед. изм. | Обозначение | Значение |
|---|---|---|
| Грузоподъемность, т | $m_{гр}$ | 15 |
| Масса грузозахватывающего устройства, кг | $m_{у}$ | 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, кгм2 | Jб | 1200 |
| Редуктор | | |
| Номинальный к. п. д. передачи | | 0,9 |
| Передаточное число редуктора | $i_{ред}$ | 32.4 |
| Кратность полиспаса | i | 4 |

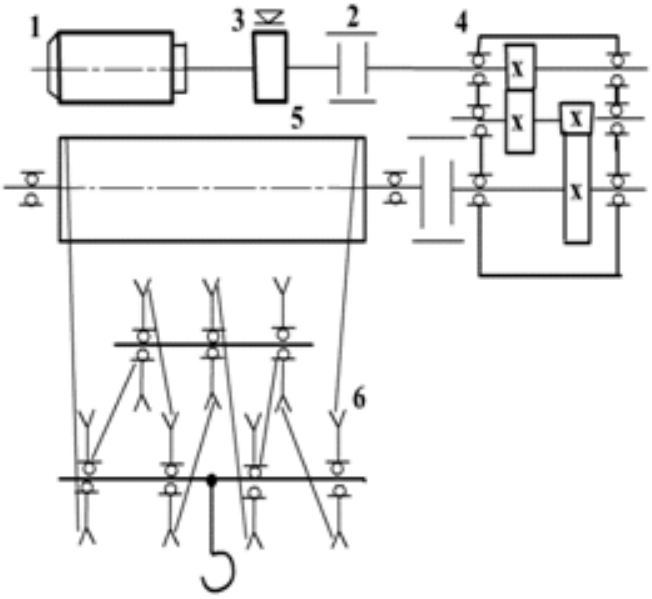



Рисунок 1 - Кинематическая схема механизма подъема

где:

1 - электродвигатель;

2 - муфта;

3 - тормоз;

4 - редуктор;

5-барабан;

6 - полиспаст.

## 2 Выбор системы электро привода и автоматизация промышленной установки

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2.1 Предъявляемые требования к автоматизированному электроприводу и системе автоматизации

При выборе структуры электропривода следует учитывать особенности технологического процесса, требования надежности, гибкости в управлении, удобства наладки. К электроприводам механизмов подъема мостовых кранов, которые в большинстве случаев управляются оператором, предъявляются жесткие требования к простоте их эксплуатации и надежности при обеспечении необходимого диапазона регулирования скорости. Диапазон регулирования при подъеме и опускании номинального груза определяется минимальной скоростью при посадке грузов. Величина этого диапазона зависит от технологического процесса и номинальной грузоподъемности крана. Так, для кранов грузоподъемностью более 20 тонн среднего режима работы диапазон регулирования D20:1, 1,5-2 раза больше, чем скорость при подъёме номинального груза. Важным требованием для электроприводов указанного класса является плавное изменение скорости в переходном процессе, что резко снижает рывок и, следовательно, уменьшает амплитуду раскачивания груза.

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

Основные требования к системе электропривода мостового крана можно сформулировать так:

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2.2 Определение возможных вариантов и выбор рациональной системы электропривода

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

1. Система с тиристорным преобразователем напряжения (система ТП-Д);

2. Система с тиристорным регулятором напряжения (ТРН-АД);

3. Система с преобразователем частоты (система ПЧ-АД);

4. Система с асинхронным двигателем и импульсным регулятором в цепи выпрямленного тока без рекуперации энергии скольжения (система АД-ИР);

5. Система с асинхронным двигателем и импульсным регулятором в цепи выпрямленного тока с рекуперацией энергии скольжения в сеть (система АД-ИР-И).

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

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

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

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

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

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

# 3 Выбор элементов силового канала электропривода и расчет параметров

## 3.1 Выбор электродвигателя и расчет параметров

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

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

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

Рисунок 2 - Двигатель 5АИ280S8.

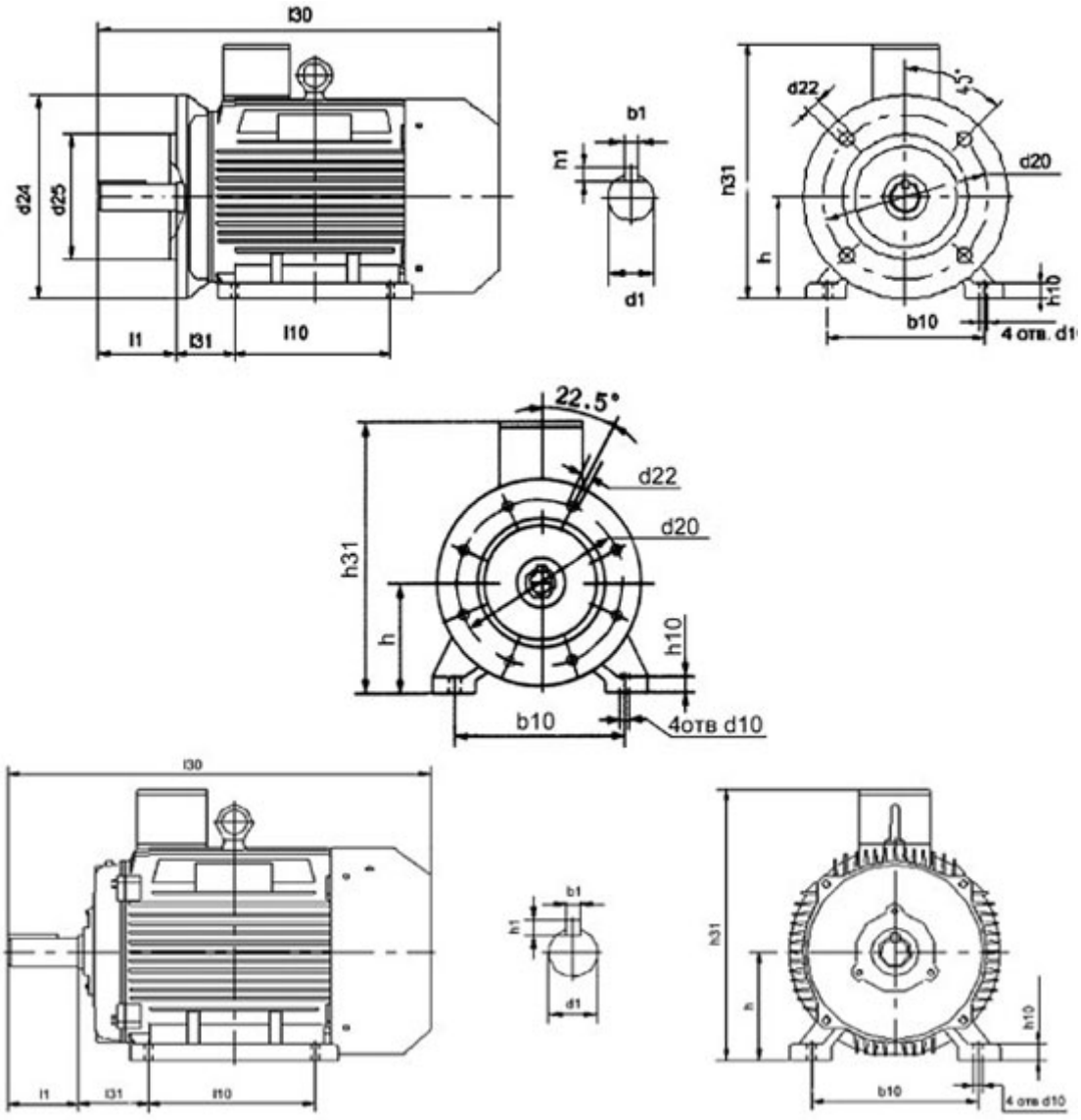



Рисунок 3 - Типоразмер двигателя

Технические данные электродвигателя 5АИ280S8 приведены в таблице № 2

Таблица № 2

| Типоразмер двигателя | Мощность $P_2$, кВт | Синхронная частота вращения $n_0$, об/мин | При номинальной нагрузке | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | частота вращения $n_н$, об/мин | КПД $\eta_н$, % | $\cos\varphi_н$ |
| 5АИ280S8 | 55 | 750 | 740 | 93.6 | 0.86 |
| $M_{макс}$/Mn | $M_{пуск}$/Mn | $I_{пуск}$ | $J_{дв.}$ 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

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

Номинальное скольжение двигателя

$$s_н = \frac{n_0 - n_{ном}}{n_0} = \frac{750 - 740}{750} = 1,33.$$

Номинальная частота вращения двигателя

$$\omega_{дв\,н} = \frac{n_{ном}}{9,55} = \frac{740}{9,55} = 77,495 \frac{рад}{с}.$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{дв\,н} = \frac{P_н \times 1000}{\omega_{дв.}} = \frac{55000}{77,495} = 709,721\, Н \times м.$$

Определим кратность максимального и пускового момента двигателя

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

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

и кратность пускового тока

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

### 3.1.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя по каталожным данным

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

Таблица № 3

| $R_1$, Ом | $X_{1\sigma}$, м | $L_{1\sigma}$, Гн | $R_2'$, Ом | $X'_{2\sigma}$, Ом | $L'_{2\sigma}$, Гн | $X_\mu$, Ом | $X_k$, Ом | $L_\mu$, Гн |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,054 | 0,218 | $6,95\cdot10^{-4}$ | 0,031 | 0,294 | $9,354\cdot10^{-4}$ | 5,721 | 0,52 | 0,01821 |

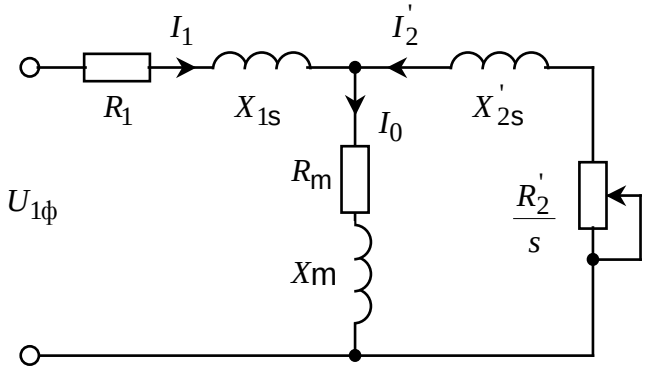



Рисунок 4 – Схема замещения асинхронного двигателя

Номинальный ток статора

$$I_{1н} = \frac{P_н \times 1000}{3 \times U_{1н} \times \cos\varphi_н \times \eta_н} = \frac{55000}{3 \cdot 220 \cdot 0{,}86 \cdot 0{,}936} = 103{,}525\ A$$

.

Ток статора двигателя при частичной загрузке

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

.

где:

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

$\eta_{p^*}$ – КПД при частичной загрузке, принимаем $\eta_{p^*} = \eta_н$.

Коэффициент мощности при частичной загрузке

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

Ток холостого хода асинхронного двигателя

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

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

.

Критическое скольжение

$$s_к = s_н \times \frac{k_м + \sqrt{k_м^2 - (1 - 2 \times s_н \times \beta \times (k_м - 1))}}{1 - 2 \times S_н \times \beta \times (k_м - 1)}$$

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

где: β – коэффициент, значение которого находится в диапазоне 0,6–2,5, принимаем b =1.7.

Определим коэффициенты

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

$$A_1 = \frac{m \times U_{1н}{}^2 \times (1 - s_н)}{2 \times C_1 \times k_м \times P_н} = \frac{3 \times 220^2 \times (1 - 0,0133)}{2 \times 1,026 \times 2,2 \times 55000} = 0,57 .$$

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2^{'} = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_к}\right) \times C_1} = \frac{0,57}{\left(1,7 + \frac{1}{6,1}\right) \times 1,026} = 0,031\ Ом .$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению

$$R_1 = C_1 \times R_2^{'} \times \beta = 1,026 \times 0,031 \times 1 = 0,054\ Ом .$$

Определим параметр $\gamma$, который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_к$

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

тогда

$$X_к = \gamma \times C_1 \times R_2^{'} = 16,298 \times 1,026 \times 0,031 = 0,52\ Ом .$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению

$$X_{1\sigma} = 0,42 \times X_к = 0,42 \times 0,52 = 0,218\ Ом .$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

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

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

$$X'_{2\sigma} = \frac{0,58 \times X_к}{C_1} = \frac{0,58 \times 0,52}{1,026} = 0,294\ Ом.$$

Индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

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

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

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

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

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания

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

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

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

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

$$M^{*}_{эм.н} = \frac{3 \times U^{2}_{1фн} \times R^{'}_{2}}{w_0 \times s_н \times \left[ X^{2}_{кн} + \left( R_1 + \frac{R^{'}_{2}}{s_н} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \times R^{'}_{2}}{s_н \times X_m} \right)^2 \right]}, =$$

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

;

$$M^{**}_{эм.н} = \frac{3}{2} \times z_p \times \frac{L_m}{(L_m + L^{'}_{2s})} \times \Psi_{2н} \times \sqrt{2} \times \sqrt{I^2_{1н} - I^2_0}, Н \times м$$

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

где:

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

Должны выполняться условия:

$$M_{дв.н} < M^{*}_{эм.н} \le 1.1 \times M_{дв.н} = 709,721 < 721,339 \le 780,693;$$

$$M^{**}_{эм.н} \approx M^{*}_{эм.н}. \ 721,274 \approx 721,339$$

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 | $X_{\mu}$, Ом | $X_{\text{k}}$, Ом | $L_{\mu}$, 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:

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

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

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

Критический момент и критическое скольжение двигателя на естественной характеристике

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

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

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

Номинальный электромагнитный момент двигателя

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

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

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

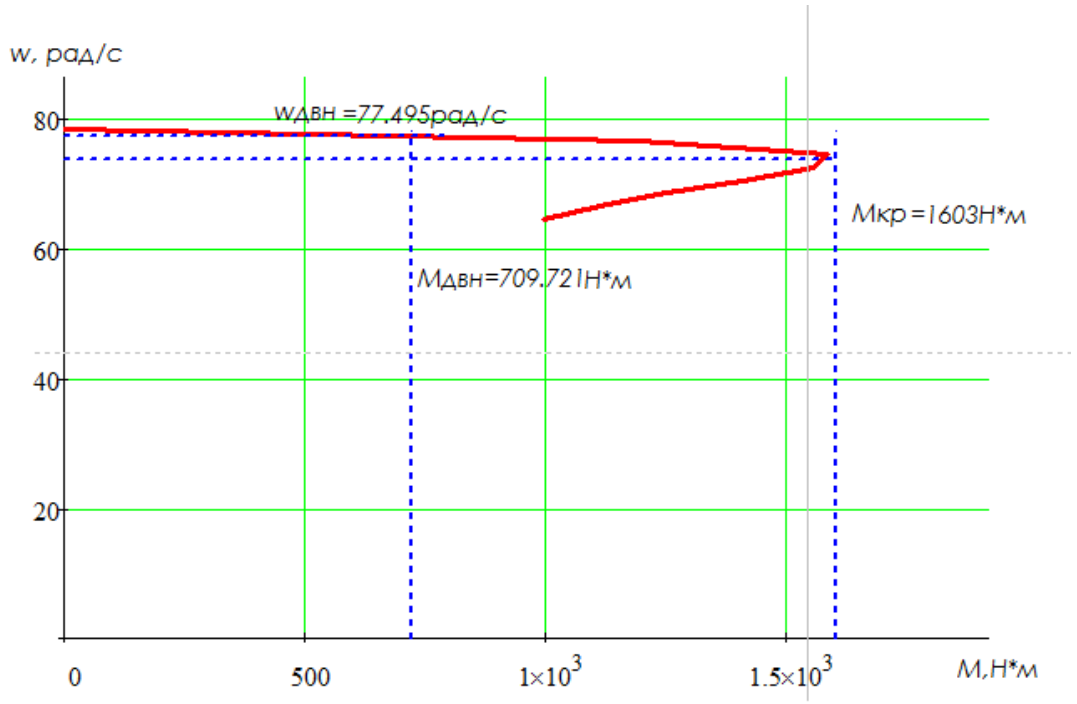



Рисунок 5 – Естественная механическая характеристика АД

Момент от силы трения на валу электродвигателя

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

По полученным результатам определяем:

– кратность пускового момента

$$m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{эм п}}}{M_{\text{эм н}}} = 2,2$$

– кратность максимального (критического) момента

$$m_{\text{к}} = \frac{M_{\text{эм к}}}{M_{\text{эм н}}} = 1,8$$

– критическое скольжение

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

Естественные электромеханические характеристики двигателя $I_1(s,\ f_1)$ и $I_2^{'}(s,\ f_1)$ рассчитываются по выражениям:

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

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

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

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

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

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

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

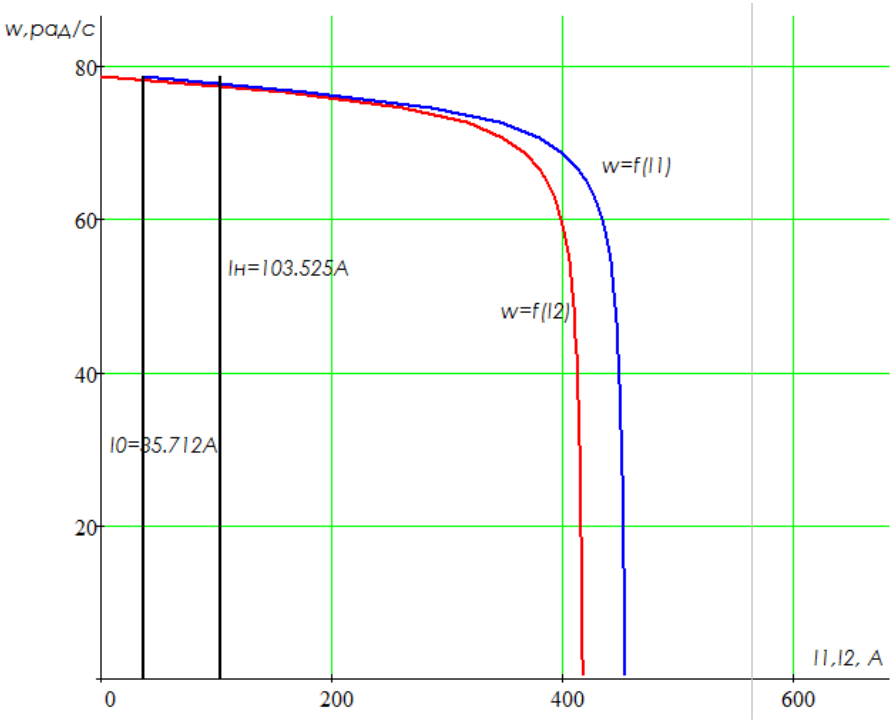



Рисунок 6 – Естественные электромеханические характеристики АД $\omega(I_1),\ \omega(I_2')$

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

По полученным результатам определяем кратность пускового тока

$$k_i=\frac{I_п}{I_н}=6,6$$

.

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

## 3.2 Механическая система электропривода подъема

### 3.2.1 Параметры элементов механической системы привода

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

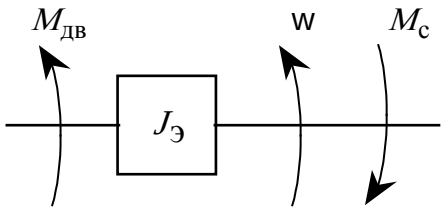



Рисунок 9 - Расчетная схема механической системы привода

На рисунке 9 приняты следующие обозначения:

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

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

$w$ – угловая скорость, $рад/с$;

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

Коэфициент передачи

$$K_{пер} = \frac{V_н}{w_{двн}} = 3{,}871 \times 10^{-3},$$

Момент инерции барабана приведенный

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

Приведенный момент инерции максимальный

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

Приведенный момент инерции минимальный

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

Эквивалентный момент инерции максимальный

$$J_{привмакс} = J_{привмакс} \times 1.25 \times J_{дв} \times J_{барприв} = 3.521 кг \times м^2,$$

Эквивалентный момент инерции минимальный

$$J_{привмин} = J_{привмин} \times 1.25 \times J_{дв} \times J_{бар} = 8,992 \times 10^{-3} \times 1,25 \times 2,63 \times 1,143 = 3,296 кг \times м^2,$$

где: $m_{кр} = 600$ - масса крюка;

$m_{гр} = 20000$ - масса груза максимальная.

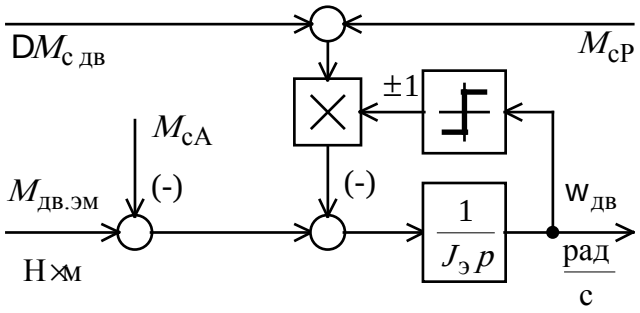



Рисунок 10 – Структурная схема одномассовой механической системы регулируемого электропривода

### 3.3 Определение заданной области работы

Момент сопротивления на валу двигателя

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

КПД передачи в номинальном режиме

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

где

$h_{мех} = 0,9$ - КПД механической системы;

$h_{ред} = 0,93$ - КПД редуктора.

Коэффициенты постоянных и переменных потерь

$$a = \frac{1 - h_{мех} \times h_{ред}}{2 \times (h_{мех} \times h_{ред})} = \frac{1 - 0,9 \times 0,93}{2 \times (0,9 \times 0,93)} = 0,097.$$

Приведенный к валу двигателя момент, обусловленный грузом:

– при максимальном грузе

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

где $m_{кр} = 600$ - масса крюка;

$m_{гр} = 20000$ - масса груза максимальная.

– при минимальном грузе

$$M_{грпривмин} = \frac{g \times m_{rh} \times R_{бар}}{i_{пол}} \times \frac{1}{i_{ред}} = \frac{9,81 \times 600 \times 0,502}{4} \times \frac{1}{32,4} = 22.786 H \times м.$$

Величина постоянных потерь в механизме

$$DM_{смех} = a \times M_{грпривмакс} = 0,097 \times 592,436 = 57,686 H \times м.$$

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

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

Статические моменты:

– при подъеме максимального груза

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

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

– при подъеме пустого грузозахватного устройства

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

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

– при спуске максимального груза

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

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

– при спуске пустого грузозахватного устройства

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

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

Заданная область работы приведена на рисунке 11.

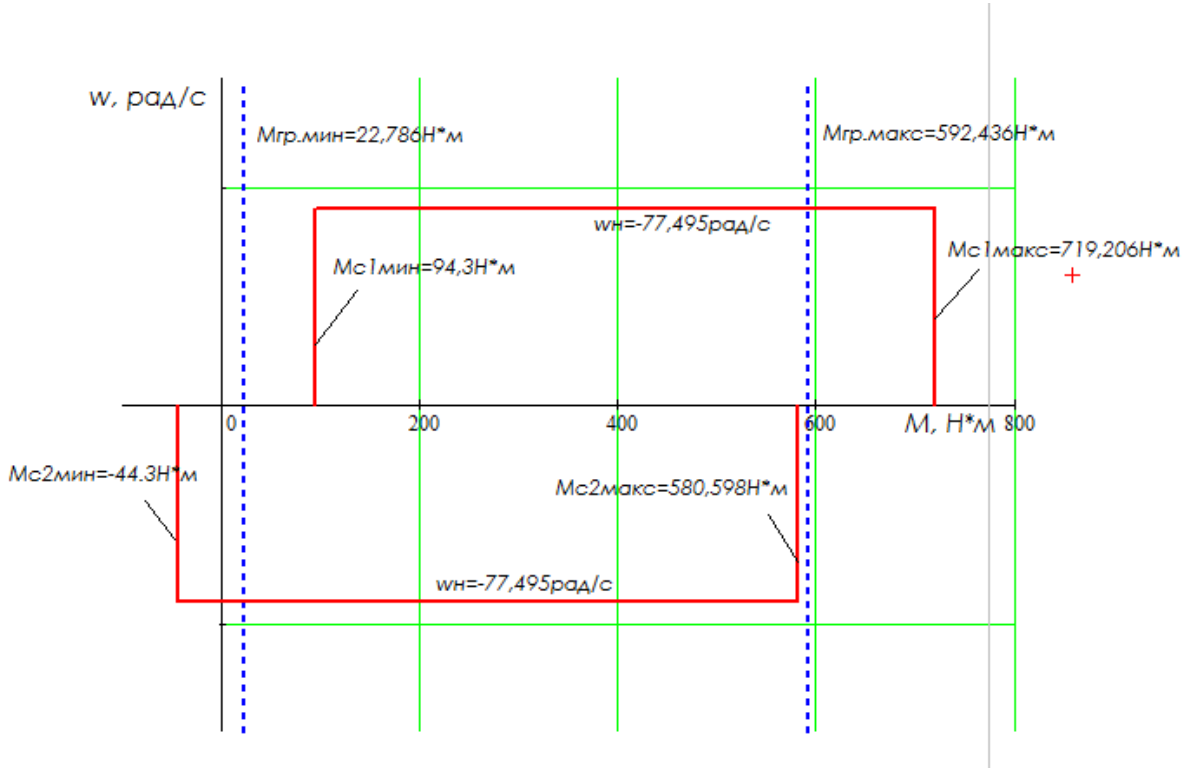



Рисунок 11 – Заданная область работы электропривода

### 3.4 Выбор преобразователя частоты

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

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

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

### 3.4.1 Параметры преобразователя частоты

С учетом перечисленных выше требований выбираем преобразовательчастоты *AITIVAR 71HD75N4*

Параметры преобразователя частоты приведены в таблице № 5

Таблица 5

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

Рисунок 12 - Преобразователи частоты Altivar 71

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

Отличительные особенности:

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

- Повышенная точность при работе на очень низкой скорости и улучшенные динамические характеристики

- Плавное, безударное управление несбалансированными механизмами с помощью системы адаптации мощности (Energy Adaptation System - ENA)

- Расширенный диапазон выходной частоты для высокоскоростных двигателей

# 4 Разработка и исследование систем электропривода с векторным управлением

## 4.1 Разработка имитационной модели регулируемого электропривода с векторным управлением

Система векторного частотного управления асинхронным двигателем базируется на представлении физических переменных двигателя пространственными векторами, у которых могут изменяться как модули так и положения в пространстве. Основой для реализации систем управления частотного – регулируемых асинхронных электроприводов с векторным управлением является структурная схема двухфазного асинхронного двигателя во вращающейся системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора $Y_2^*$.

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

– с моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ (рисунок 13)

– схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с точной моделью двухфазного асинхронного двигателя без датчика потока и скорости (рисунок 24). Общим для модели является 4-х контурная система автоматического управления (САУ) регулируемого асинхронного электропривода (РЭП). Управляющими сигналами на входе РЭП постоянное значение потокосцепления ротора $Y_2^*$ и заданное значение скорости вращения двигателя $w^*$.

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

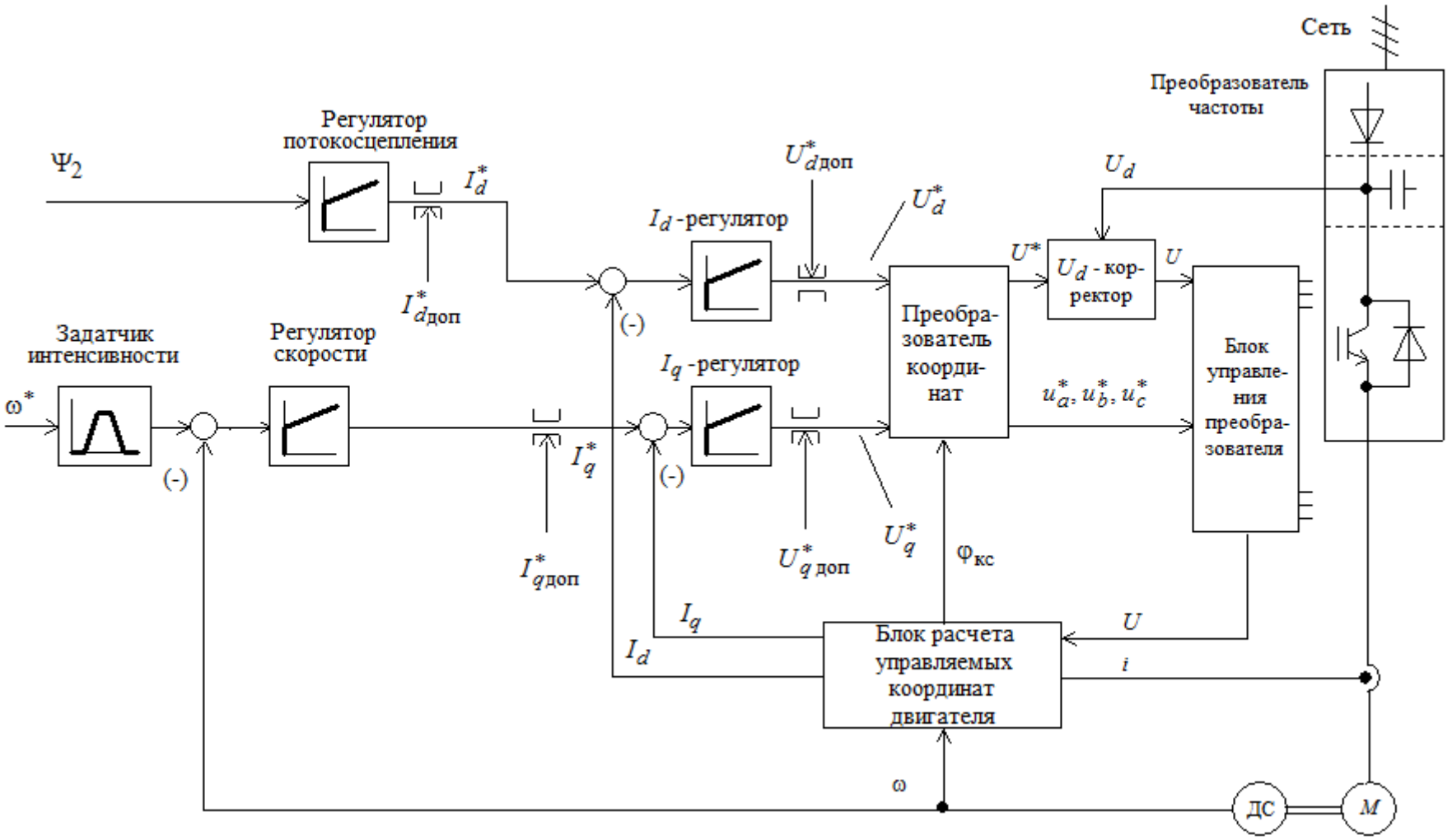



Рисунок 13 – Функциональная схема асинхронного электропривода с частотным векторным управлением и моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ с датчиком скорости  без датчика потока.

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

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

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

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

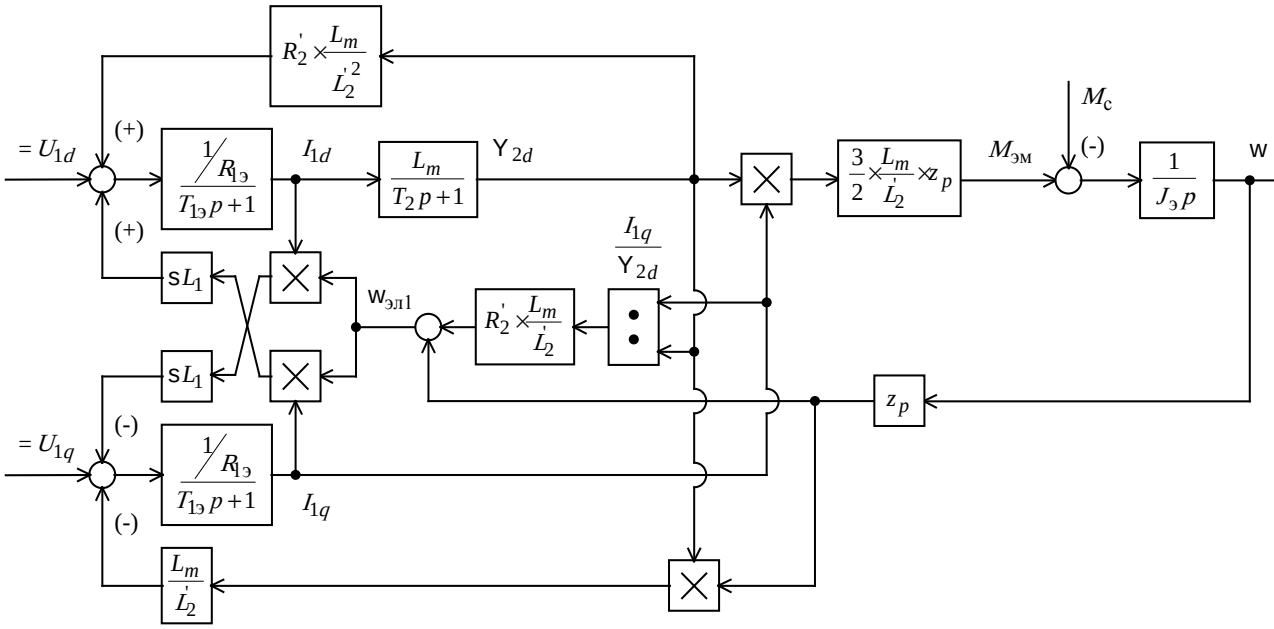



Рисунок. 14 – Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

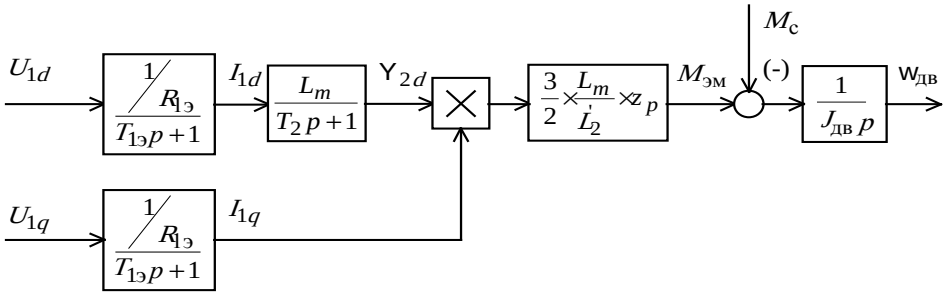



Рисунок 15 – Структурная схема двухфазного асинхронного электродвигателя во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, с компенсированными внутренними

обратными связям

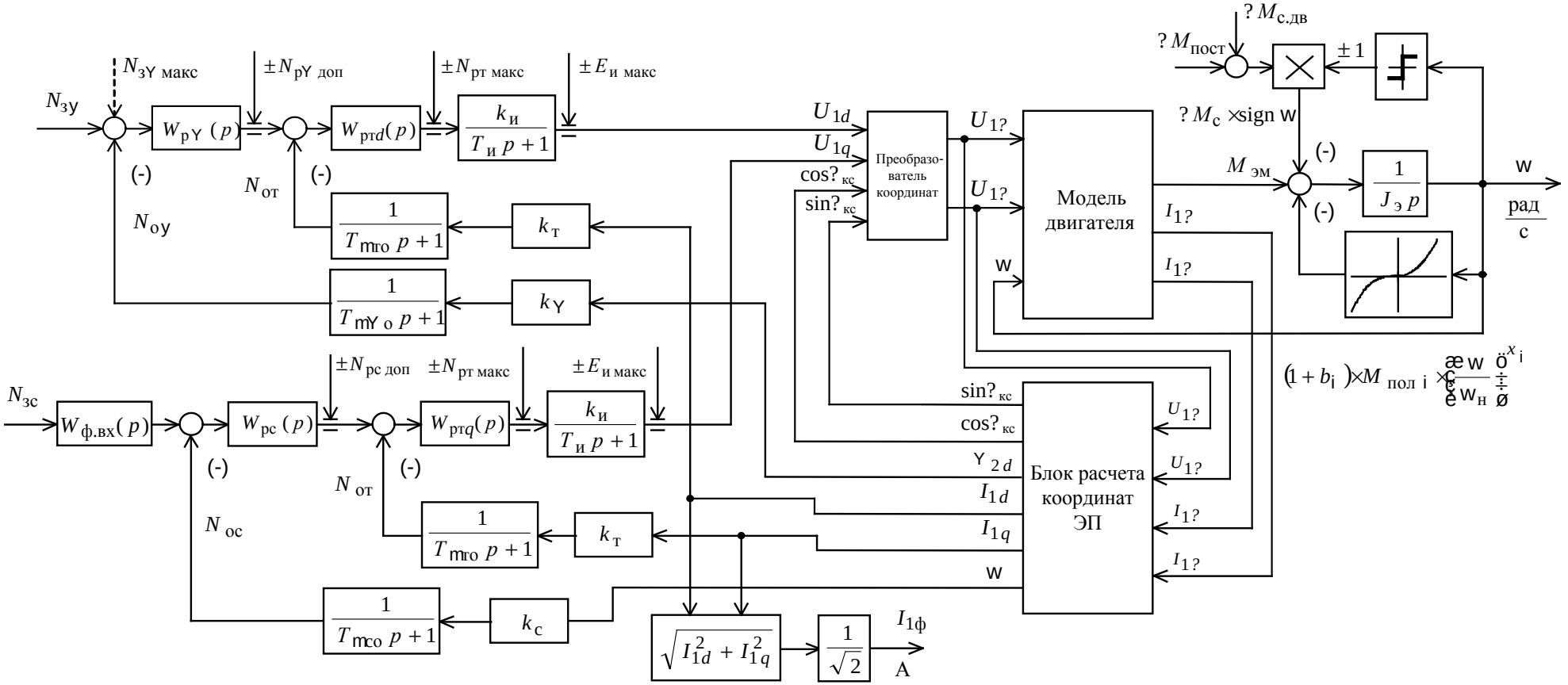



Рисунок 16 – Структурная схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с точной моделью двухфазного асинхронного двигателя

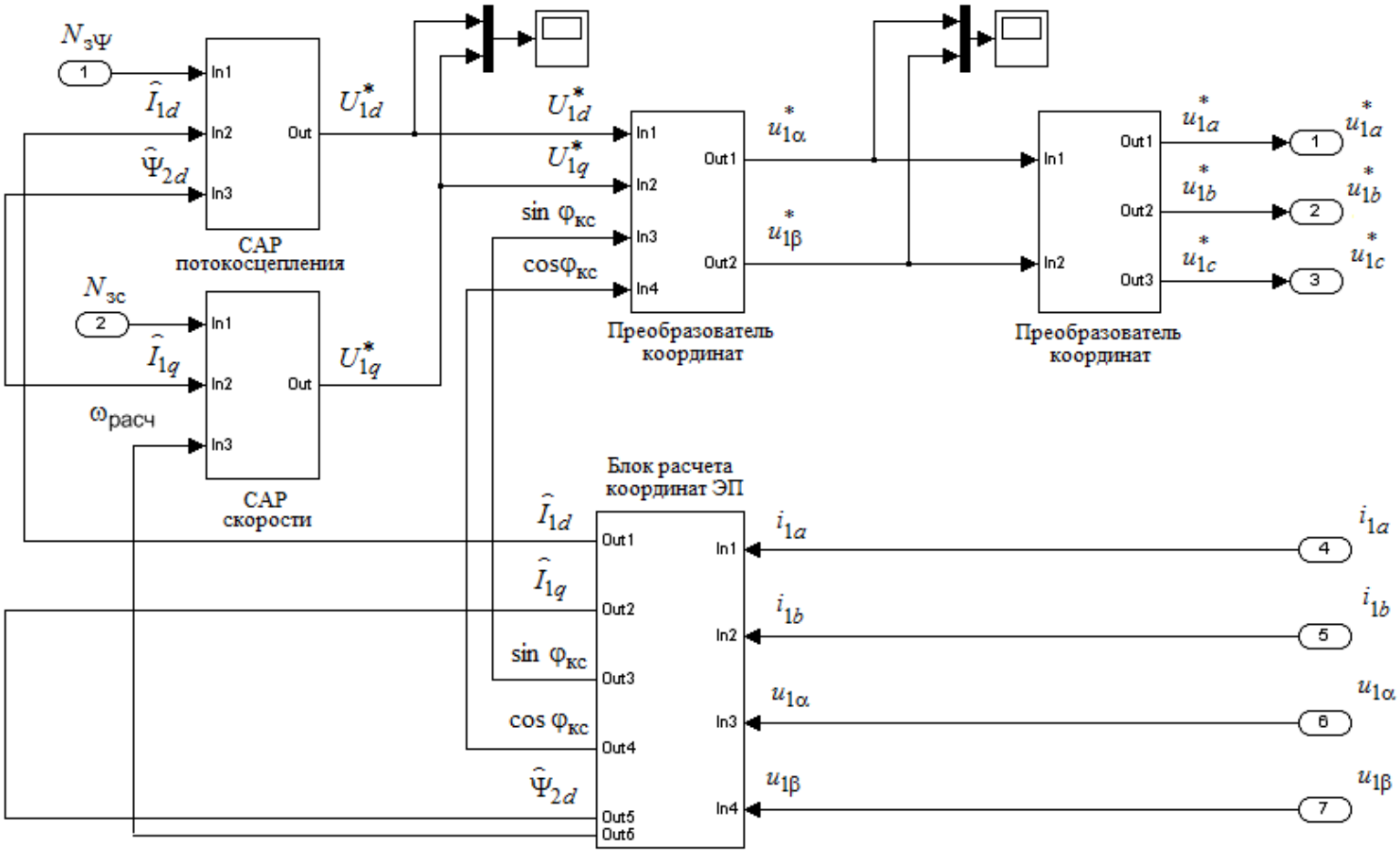



Рисунок 17 – Имитационная модель блока расчета управлений и преобразования координат системы векторного управления регулируемого асинхронного электропривода

Структурные схемы блоков преобразования координат двигателя

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

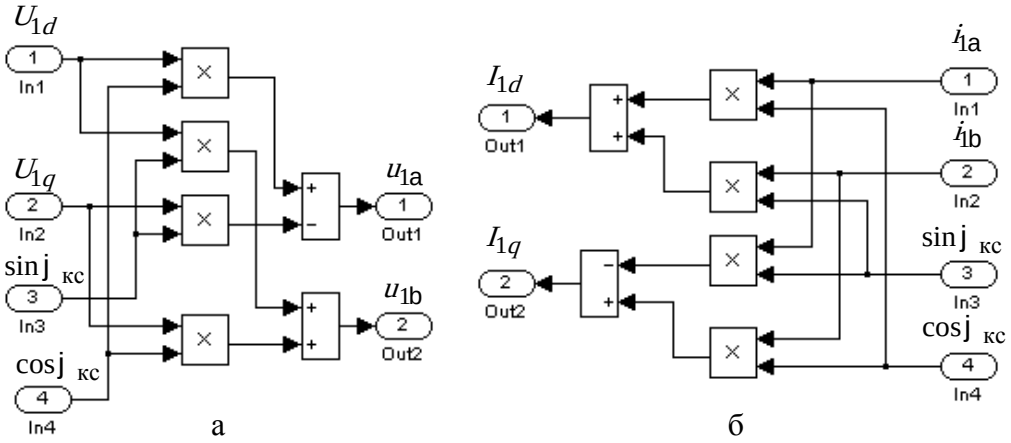
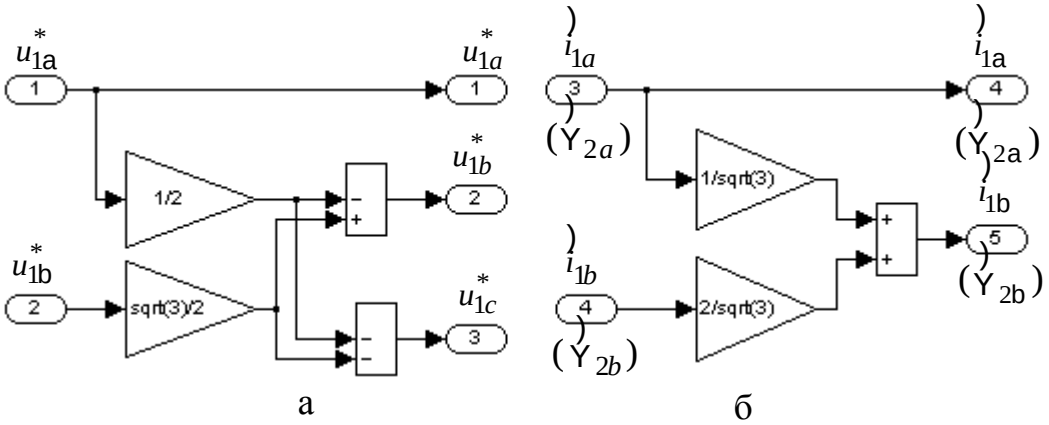



Рисунок 18 − Имитационные модели преобразователей координат:

а – из вращающейся системы координат d, q в неподвижную систему a, b;

б – из неподвижной системы координат a, b во вращающуюся систему d, q




а б

Рисунок 19 − Имитационные модели преобразователей координат:

а – из неподвижной двухфазной координатной системы a, b в неподвижную

трехфазную систему координат a, b, c; б – из неподвижной трехфазной системы координат a, b, c в неподвижную двухфазную координатную систему a, b

Структурные схемы ПИ-регуляторов

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

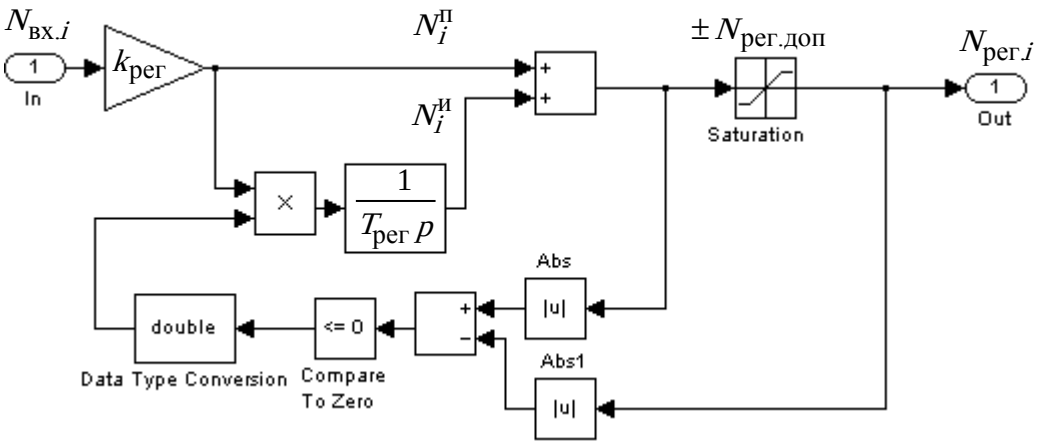



Рисунок 20. Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с отключением интегральной составляющей сигнала при насыщении

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

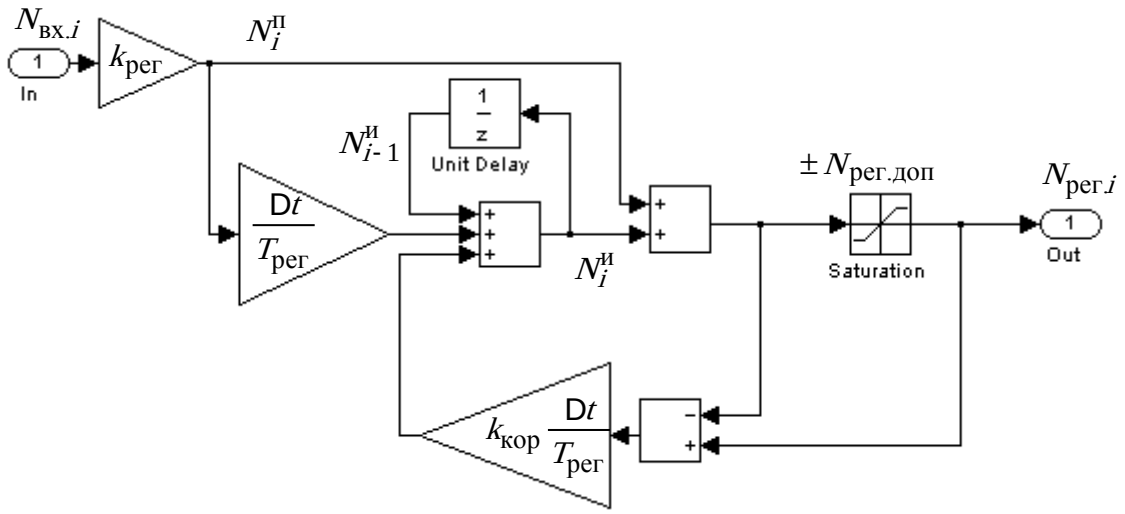



Рисунок 21. Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с регулируемымзначением интегральной составляющей сигнала в режиме насыщения

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

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

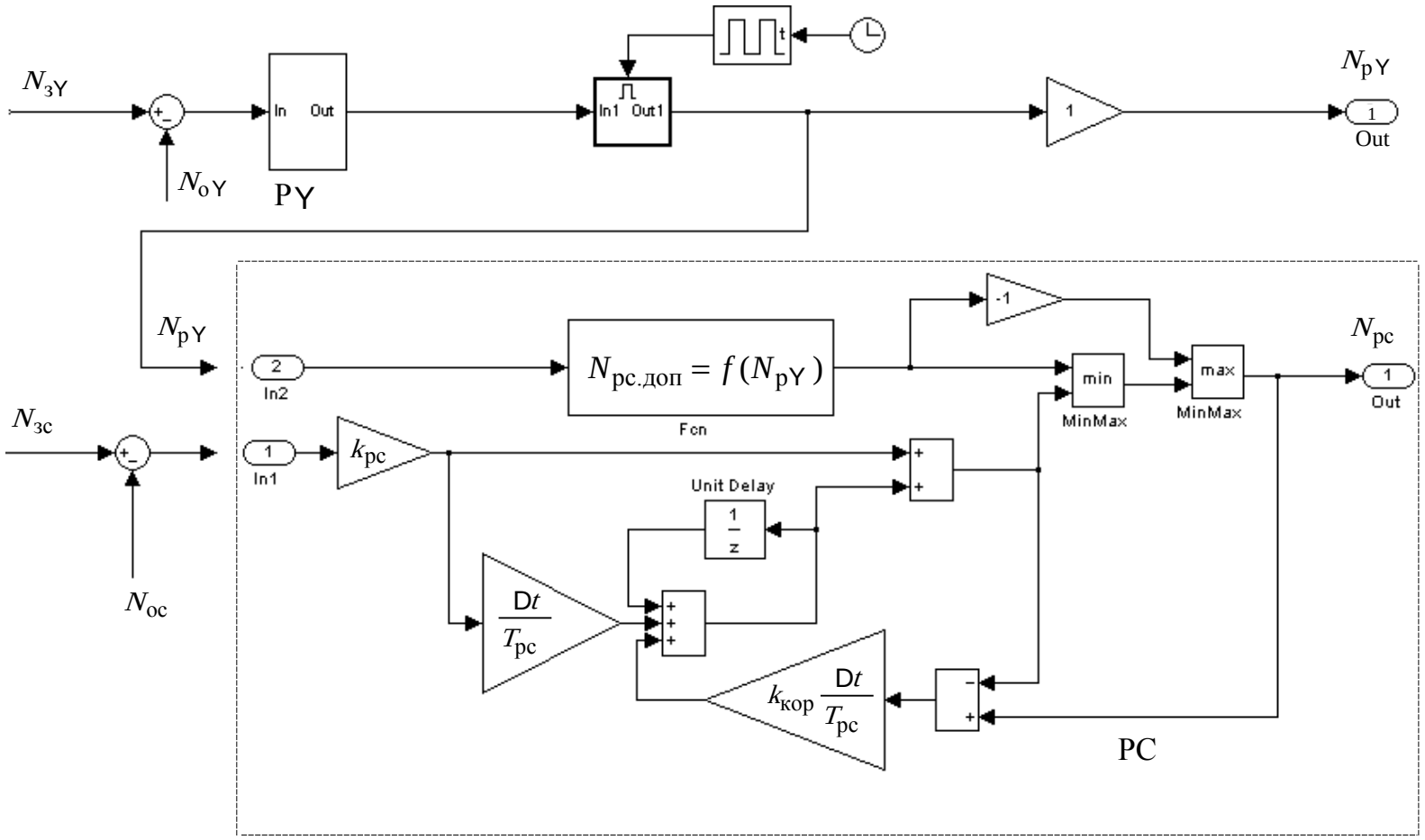



Рисунок 22. Имитационная модель ПИ-регулятора скорости с управляемым значением ограничения выходного сигнала

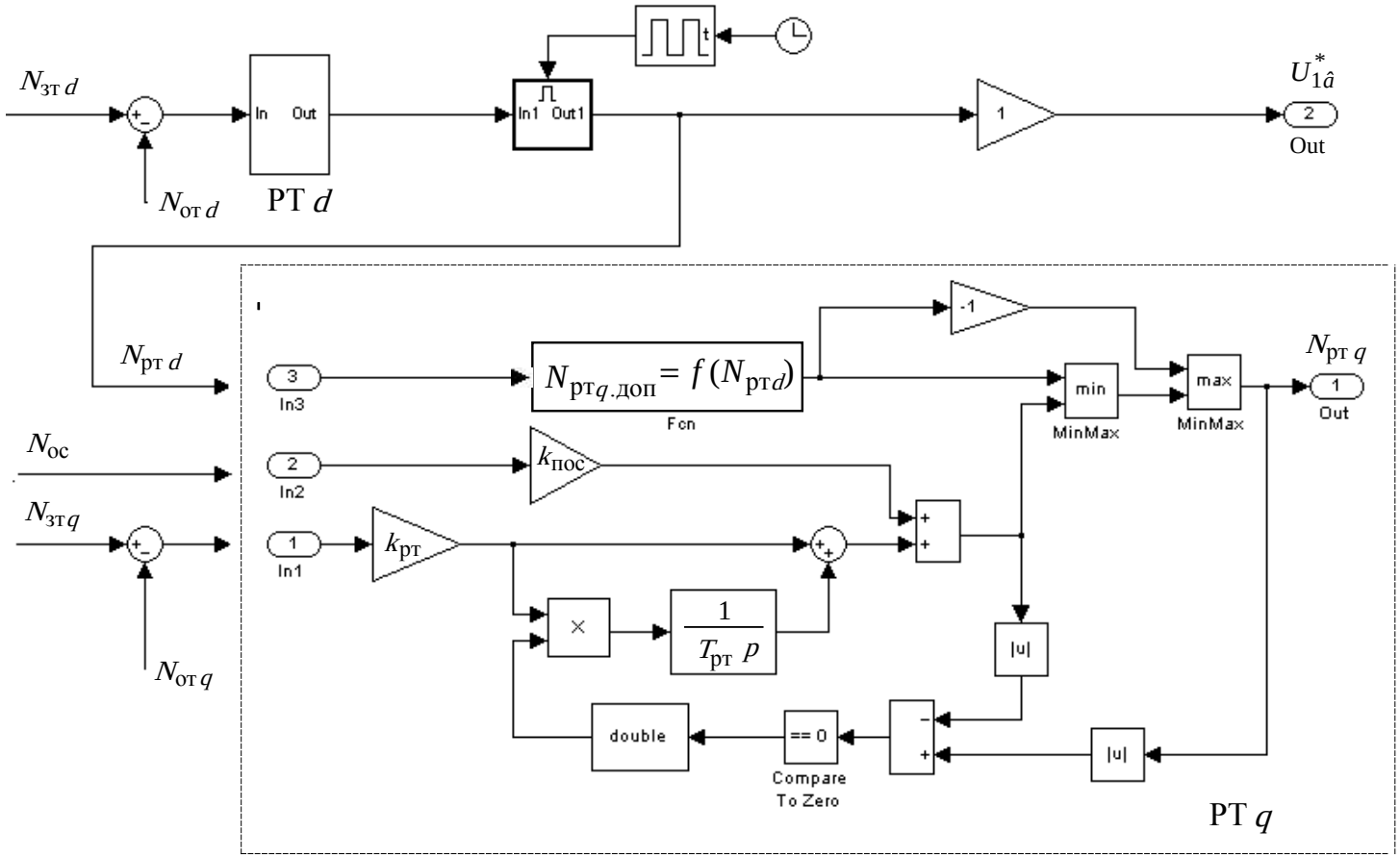



Рисунок 23. Имитационная модель ПИ-регулятора тока $I_q$ с положительной обратной связью по скорости двигателя и управляемым значением ограничения выходного сигнала

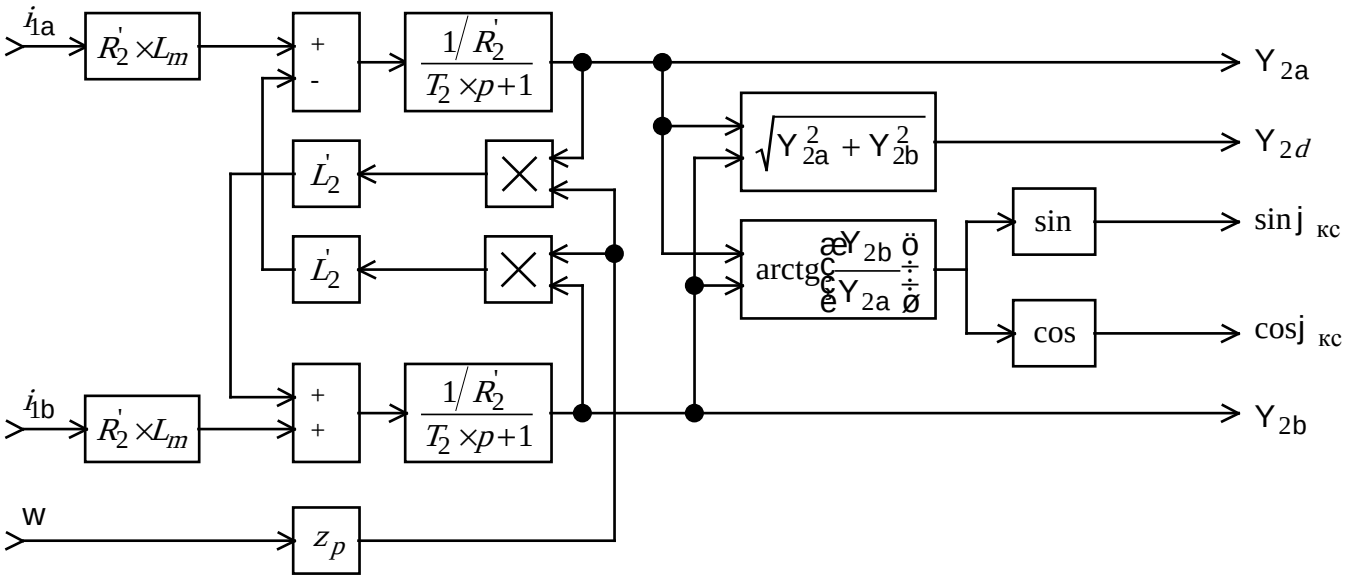



Рисунок 24. Схема расчета угла поворота вращающейся координатной системы с использованием значений измеренных токов $i_{1a}$, $i_{1b}$ и скорости w двигателя

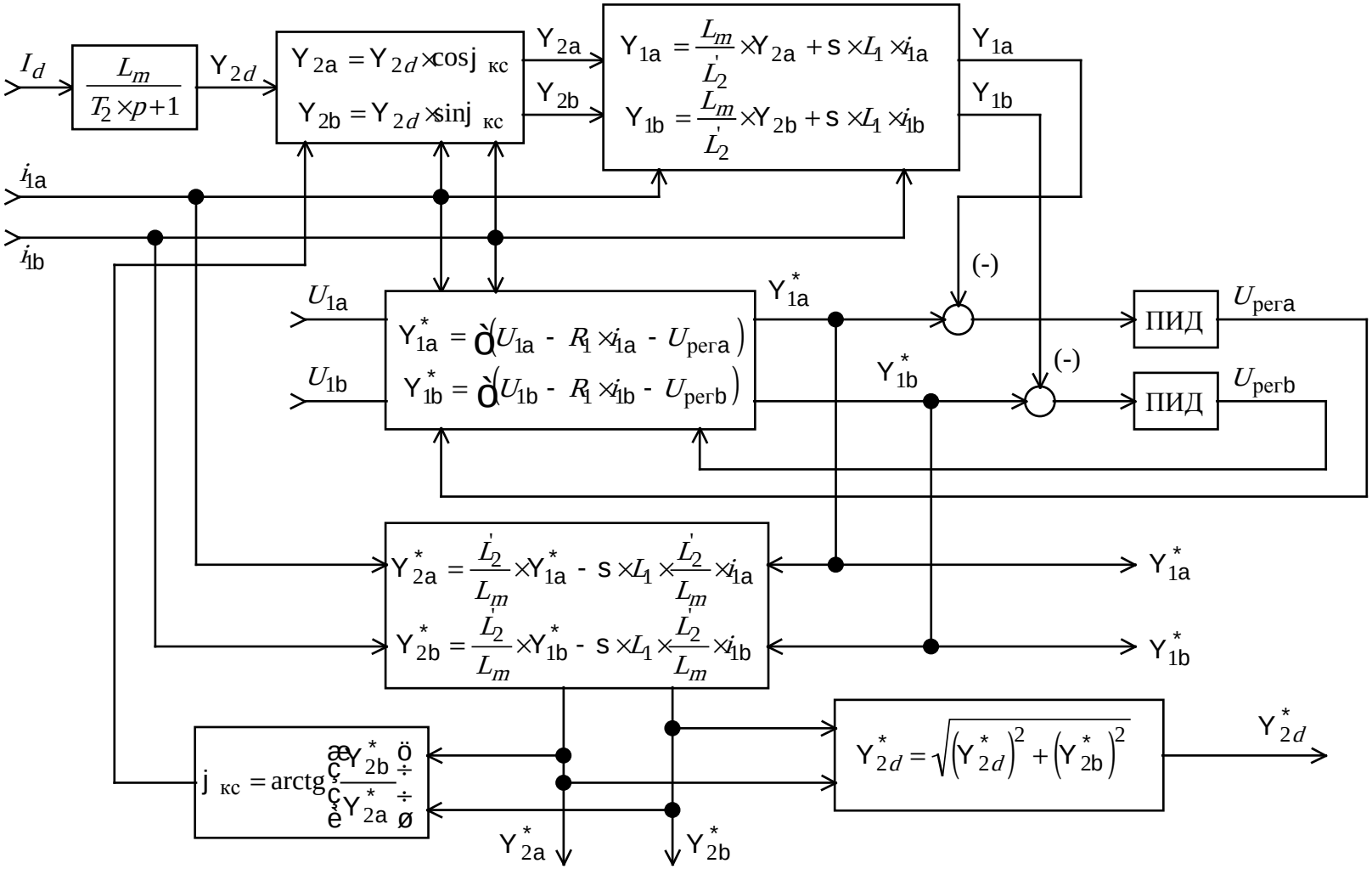



Рисунок 25. Схема расчета угла поворота вращающейся координатной системы с использованием значений токов $i_{1a}$, $i_{1b}$, $I_d$ и напряжений $U_{1a}$, $U_{1b}$

## 4.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода мостового крана с векторным управлением

### 4.2.1 Программа исследований электропривода

Работа электропривода крана исследуется в режиме:

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

Модели частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана с векторным управлением

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

– с импульсным датчиком скорости.

Библиотека моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода крана с векторным управлением

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

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

### 4.3 Исходные параметры настройки САР РЭП

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

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

– ротора

$$L_2' = L_{2\sigma}' + L_m = 9,354 \times 10^{-4} + 0,01821 = 0,0191454 \ Гн.$$

Коэффициент рассеяния магнитного потока:

$$s = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \times L_2'} = 1 - \frac{0,010821^2}{0,018905 \times 0,0191454} = 0,083824.$$

Эквивалентное сопротивление цепи статора:

$$R_{1э} = R_1 + R_2' \times \frac{L_m^2}{L_2'^2} = 0,054 + 0,031 \times \frac{0,01821^2}{0,0191454^2} = 0,082045 \ Ом.$$

Электромагнитные постоянные времени статора и ротора:

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

$$T_2 = \frac{L_2'}{R_2'} = \frac{0,0191454}{0,031} = 0,6176 \ с.$$

Период ШИМ:

$$T_{шим} = \frac{1}{f_{шим}} = \frac{1}{5 \times 10^3} = 2 \times 10^{-4} \ с.$$

Напряжение звена постоянного тока преобразователя:

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

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

Линейное напряжение источника питания преобразователя:

$$U_{\text{с}} = \frac{U_{d0}}{1{,}35} = \frac{567{,}25}{1{,}35} = 420{,}185 \quad B.$$

Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя:

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

Значение номинального потокосцепления двигателя

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

Значение номинального тока $I_{1d}$:

$$I_{1d\text{н}} = \sqrt{2} \times I_0 = \sqrt{2} \times 37{,}042 = 52{,}385 \quad A,$$

Эквивалентный момент нагрузки, приведенный к валу двигателя:

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

Значение максимального тока $I_{1q}$:

$$I_{1q.\text{макс}} = \frac{M_{\text{эп.макс}}}{\frac{3}{2} \times \frac{L_m}{L_2} \times z_{\text{р}} \times \Psi_{2\text{н}}} = \frac{1419}{\frac{3}{2} \times \frac{0{,}01821}{0{,}0191454} \times 2 \times 0{,}954} = 260{,}61 \quad A.$$

Модуль вектора тока статора:

$$\operatorname{mod} \dot{I}_{1\text{макс}} = \sqrt{I_{1q\text{макс}}^2 + I_{1d\text{н}}^2} = \sqrt{260{,}61^2 + 52{,}385^2} = 265{,}823 \quad A.$$

Максимальный ток электропривода:

$$I_{\text{эп.макс}} = \frac{\operatorname{mod} \dot{I}_{1\text{макс}}}{\sqrt{2}} = \frac{265{,}823}{\sqrt{2}} = 187{,}965 \quad A.$$

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

$187{,}965 < 250{,}5 \; A$

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

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):

$$I_{\text{изм.макс}} = \sigma_{\text{т}} \times \sqrt{2} \times I_{\text{эп.макс}} = 1,4 \times \sqrt{2} \times 200 = 400 \; A,$$

где $\sigma_{\text{т}} \geq 1.2$ – коэффициент, учитывающий возможное увеличение тока за счет перерегулирования.

Коэффициент передачи датчика тока:

$$k_{\text{дт}} = \frac{0,5 \times 2^{n_{\text{ацп.дт}}}}{I_{\text{изм.макс}}} = \frac{0,5 \times 2^{12}}{400} = 4,827 \; 1/A.$$

Принимаем $N_{\text{от.макс}} = 1.$

Коэффициент обратной связи по току:

$$k_{\text{т}} = \frac{1}{I_{\text{изм.макс}}} = \frac{1}{400} = 0,002357 \; 1/A.$$

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

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

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

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

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

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

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

Принимаем коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном:

$n_{\text{т}} = 2$.

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура тока

$$T_{\text{тэ}} = \frac{T_{\text{ос.т}}}{n_{\text{т}}} + T_{\text{зу.и}} + T_{\text{ф.от}} = \frac{2 \times 10^{-4}}{2} + 2 \times 10^{-4} + 0 = 3 \times 10^{-4} \quad c.$$

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

Постоянная времени регулятора тока:

$T_{\text{рт}} = T_{1\text{э}} = 0,019315$ $c$.

Коэффициент усиления регулятора тока:

$$k_{\text{рт}} = \frac{T_{1\text{э}} \times R_{1\text{э}}}{k_{\text{и}} \times k_{\text{т}} \times a_{\text{т}} \times T_{\text{тэ}}} = \frac{0,019315 \times 0,082045}{327,502 \times 0,02357 \times 2 \times 3 \times 10^{-4}} = 3,421.$$

$$T_{\text{т}} = a_{\text{т}} \times T_{\text{тэ}} = 2 \times 3 \times 10^{-4} = 6 \times 10^{-4} \quad c.$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора тока $I_{1d}$:

$N_{\text{рт}d\ \text{доп}} = 1$.

Допустимое значение выходного сигнала регулятора тока $I_{1\text{q}}$:

$$N_{\text{рт}q\ \text{доп}} = \sqrt{1^2 - N_{\text{рт}d}^2} = \sqrt{1^2 - 1^2} = 0.$$

Параметры контура потокосцепления с ПИ-регулятором без датчика

Разрядность АЦП датчика потока

$n_{\text{ацп. дY}} = 12.$

Максимальное значение измеряемого потока

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

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

Коэффициент передачи датчика потока:

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

Принимаем: $N_{\text{оY .макс}} = 1.$

Коэффициент обратной связи по потоку:

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

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

$$k_{\text{ос.Y}} = \frac{1}{0,5 \times 2^{n_{\text{ацп.дY}}}} = \frac{1}{0,5 \times 2^{12}} = 4,883 \times 10^{-4}.$$

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

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

Интервалы квантования сигналов в цепи обратной связи контура потока:

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

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

Принимаем коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном:

$n_{\text{Y}} = 1$.

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура потокосцепления:

$$T_{\text{m}\Upsilon\text{э}} = T_{\text{т}} + \frac{T_{\text{ос.Y}}}{n_{\text{Y}}} + T_{\text{ф.оY}} = T_{\text{т}} + \frac{T_{\text{ос.Y}}}{n_{\text{Y}}} + T_{\text{ф.оY}} = 6 \cdot 10^{-4} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{1} = 0,0026 \quad c.$$

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

Постоянная времени регулятора:

$$T_{\text{рY}} = T_2 = 0,6176 \quad c.$$

Коэффициент усиления регулятора:

$$k_{\text{рY}} = \frac{T_2 \cdot k_{\text{т}}}{L_m \cdot k_{\text{Y}} \cdot a_{\text{Y}} \cdot T_{\text{m}\Upsilon\text{э}}} = \frac{0,6176 \cdot 0,02357}{0,01821 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0,0026} = 15,373.$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора потока:

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

Параметры контура скорости с ПИ-регулятором
с импульсным датчиком скорости

Максимальное значение измеряемой скорости:

$$\omega_{\text{изм.макс}} = \sigma_{\text{с}} \cdot \omega_{\text{эп.макс}} = 1,29 \cdot 77,456 = 100 \ \textit{рад}/c,$$

где $\sigma_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий возможное увеличение скорости за счет перерегулирования.

Принимаем $N_{\text{ос.макс}} = 1$.

Коэффициент обратной связи по скорости:

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

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:

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

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

Коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном:

$$n_{\text{с}} = 2.$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура скорости:

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

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

Постоянная времени регулятора:

$$T_{\text{рс}} = b_c \times a_c \times T_{\text{мсэ}} = 2 \times 2 \times 0,0016 = 0,0064 \ c.$$

Коэффициент усиления регулятора:

$$k_{\text{рс}} = \frac{J_{\text{э}} \times k_{\text{т}}}{\gamma_{\text{2н}} \times \frac{3}{2} \times \frac{L_{\text{m}}}{L_2} \times z_{\text{р}} \times k_{\text{с}} \times a_{\text{с}} \times T_{\text{мсэ}}} = \frac{3,521 \times 0,02357}{0,954 \times \frac{3}{2} \times \frac{0,01821}{0,0191454} \times 4 \times 0,01 \times 2 \times 0,0016} = 47,639$$

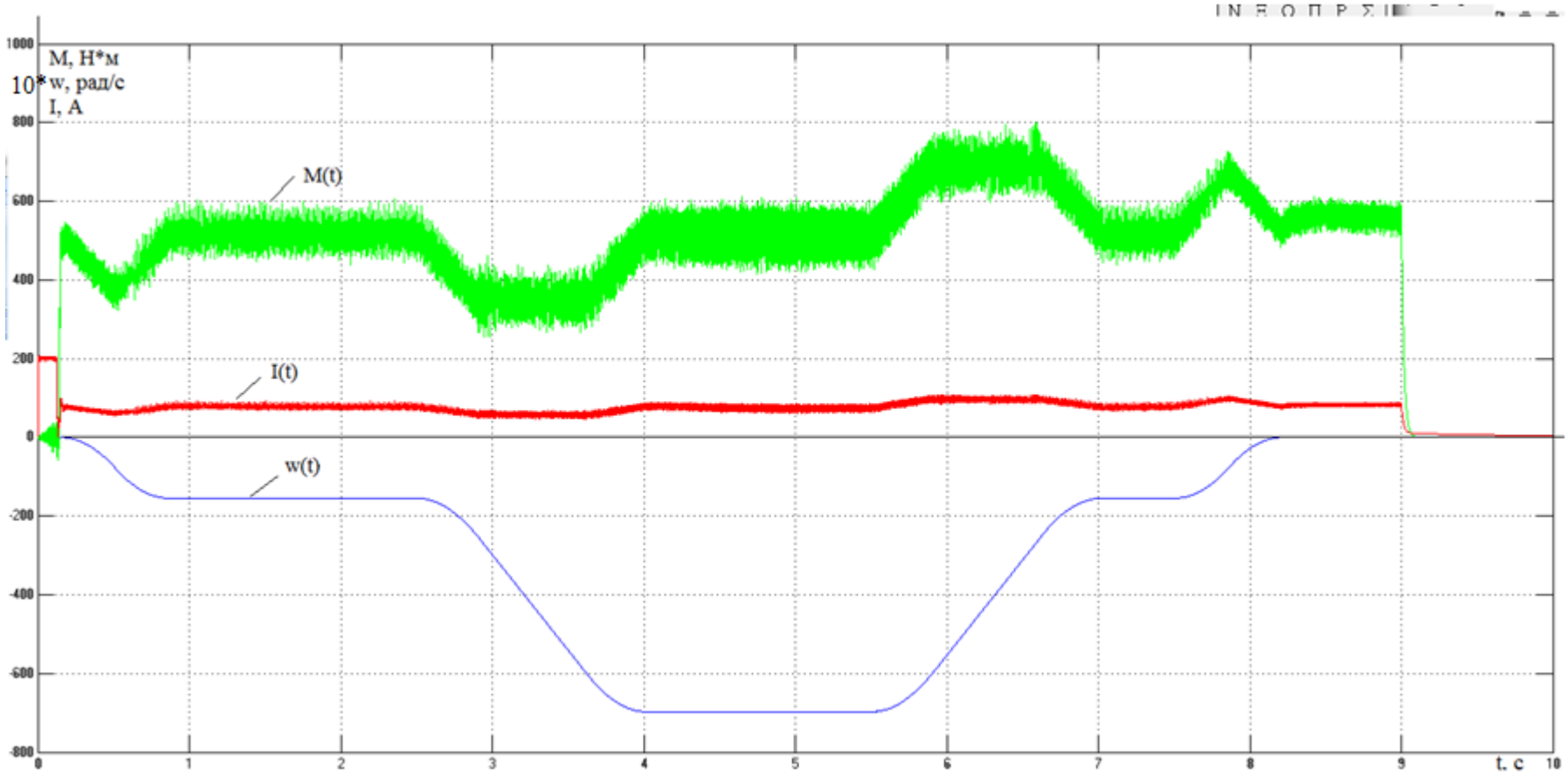



Рисунок 26 – Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при спуске краном груза массой 20 т.

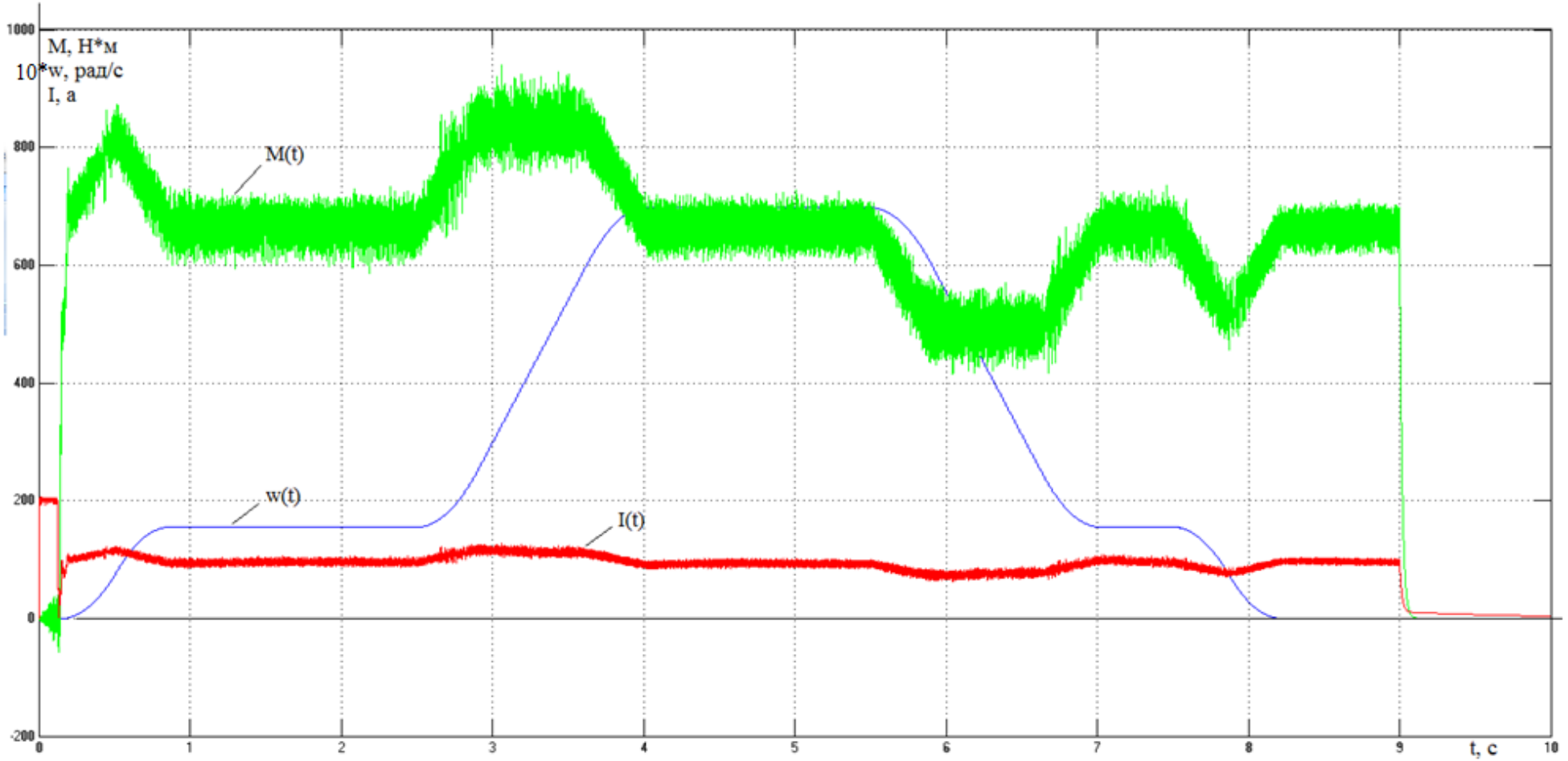



Рисунок 27– Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при подъеме краном груза массой 20 т.

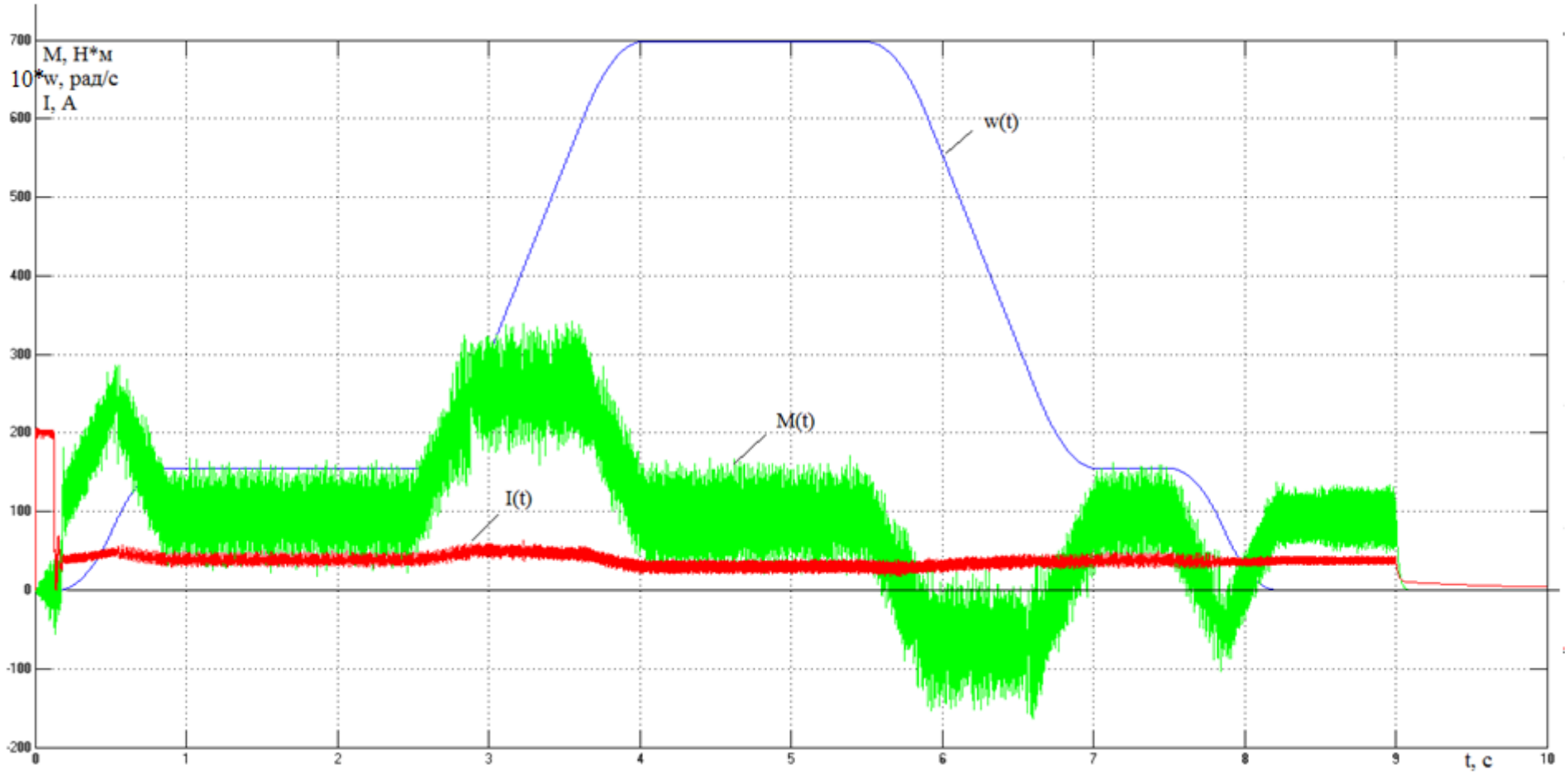



Рисунок 28– Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при подъеме краном пустого крюка

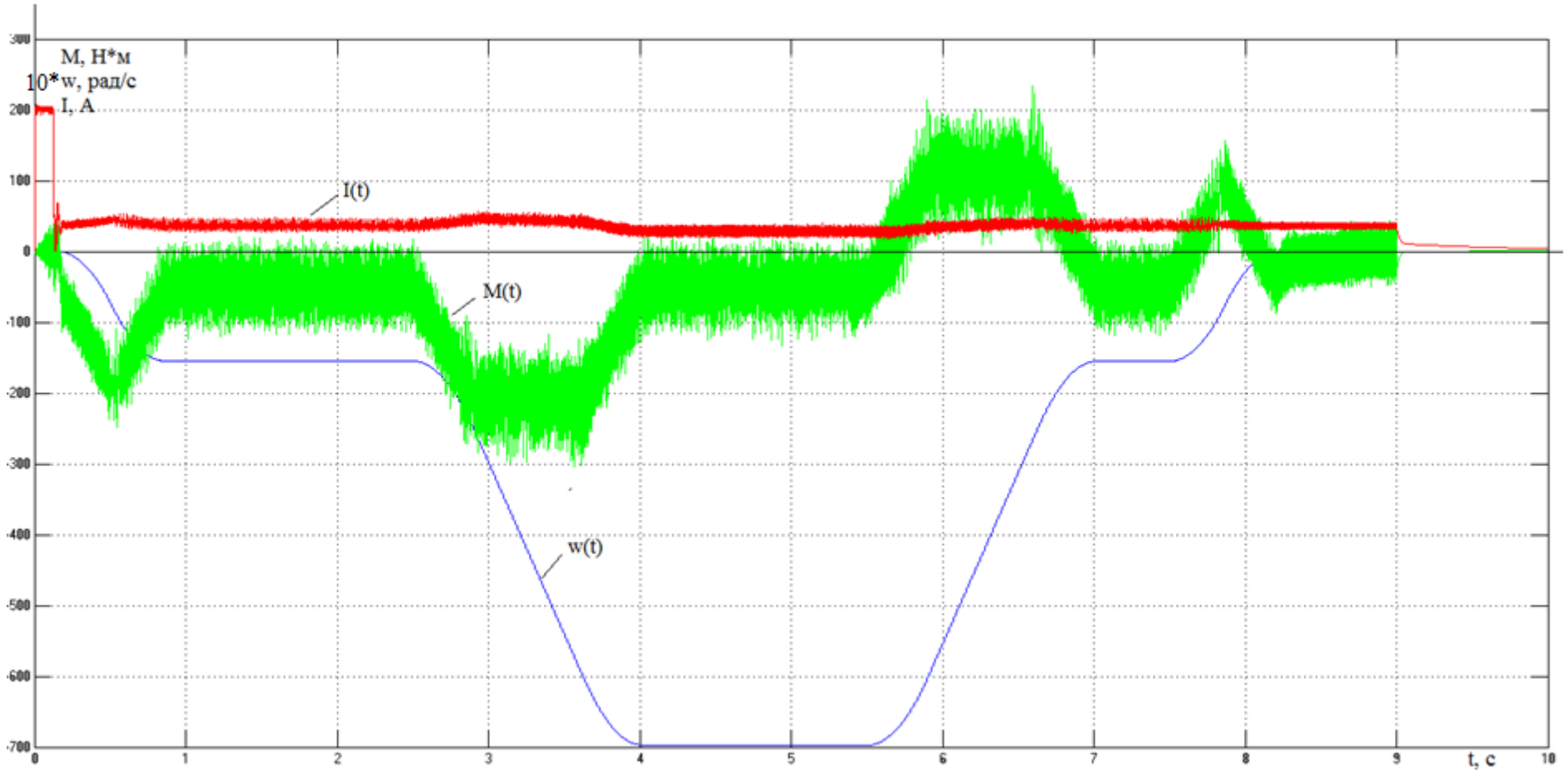



Рисунок 29– Переходные процессы в электроприводе с векторным управлением при спуске краном пустого крюка

Вывод к разделу:

Преимущества векторного метода управления асинхронным двигателем:

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

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

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

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| Группа | ФИО |
|---|---|
| З-5Г4А2 | Сайфиддинов Саидазим Сайфиддинович |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Школа** | Инженерная школа энергетиков | **Отделение** | Электроэнергетика и электротехника |
| **Уровень образования** | Бакалавриат | **Направление/специальность** | Электроэнергетика и электротехника |

| | |
|---|---|
| **Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: Частотно-регулирумый электропривод подъемной лебедки мостового крана грузоподъемностью 20 тонн.** | |
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | Объектом исследования являются: электропривод механизма подъемной лебедки крана КМ20, применяемого для выполнения крановщиком погрузочно-разгрузочных работ, монтажа, демонтажа и ремонта оборудования, перемещения грузов. |
| **Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:** | |
| **1. Производственная безопасность**<br><br>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.<br><br>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. | 1. Отклонение параметров микроклимата<br>2. Повышенный уровень вибрации<br>3. Повышенный уровень шума<br>4. Недостаток необходимого освещения<br><br>1. Движущиеся машины и механизмы<br>2. Поражение электрическим током<br>3. Падение с высоты |
| **2. Экологическая безопасность** | Загрязнение окружающей среды смазочными материалами.<br>Проведение мероприятий по утилизации. |
| **3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях** | 1. Аварии, связанные с поломкой крана<br>2. Пожар |

| | |
|---|---|
| **4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:** | Возрастное ограничение, требования к образованию. Специальные нормы, предусмотренные спецификой выполняемых работ. Эргономика кабины крана и ее оснащение. |

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

**Задание выдал консультант:**

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|---|---|---|---|
| Ассистент | Сотникова Анна Александровна | | | |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---|---|---|---|
| З-5Г4А2 | Сайфиддинов Саидазим Сайфиддинович | | |

## 5. Социальная ответственность

**Введение.**

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

### 5.1. Производственная безопасность

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

Перечень опасных и вредных факторов представлены в табл. № 6.

*Табл.6. Возможные опасные и вредные факторы*

| Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) | Этапы работ | | | Нормативные документы |
|---|---|---|---|---|
| | Разработка | Изготовление | Эсплуатация | |
| 1. Отклонение параметров микроклимата | | | + | Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в кабине управления должны соответствовать ГОСТ 12.2.130-91 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2. Повышенный уровень вибрации | | | + | Допустимые корректированные значения виброускорения не должны превышать значений согласно ГОСТ 12.1.012-90 |
| 3. Повышенный уровень шума | | | + | Уровень шума согласно ГОСТ 12.1.003.83 не должен превышать 80 дБА |
| 4. Недостаток необходимого освещения | | | + | Нормы освещенности должны удовлетворять требованиям ГОСТ Р 55710-2013.СНиП 23-05-95 Естественное и искуственное освещение. |
| 5.Движущиеся машины и механизмы | | | + | Требуемая норма(расстояние) от двигающихся механизмов и машин 1м, согласно СниП 10-01-93[33]. СТ СЭВ 790-77 |
| 6.Поражение электрическим током | | | + | ГОСТ Р 52726-2007, пункт 3.16] Наличие высокого напряжения на рабочем месте, ГОСТ Р МЭК 536-94-Средства зажиты от поражения эл.током. |
| 7.Падение с высоты | | | + | Система стандартов безопасности труда (СББТ). Средства индивидуальной защиты от падения с высоты |

## 5.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов.

**Отклонение параметров микроклимата.** При проведении работ происходит выделение диоксида углерода, паров влаги и тепла от работника. Также следует учесть условия солнечной инсоляции, которые в летнее время года приводят к избыточному теплу, особенно в летнее время года, а при проведении работ в зимнее время, напротив, возможен недостаток тепла.

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в кабине управления должны соответствовать для категорий работ средней тяжести IIа и IIб значениям, указанным в табл.7.

Таблица 7

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

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

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

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

**Перегрев.** При температуре воздуха более 30 °С и значительном тепловом излучении от нагретых поверхностей наступает нарушение терморегуляции организма, что может привести к перегреву организма, особенно если потеря пота в смену приближается к 5 л. Наблюдается нарастающая слабость, головная боль, шум в ушах, искажение цветного восприятия, тошнота, рвота, повышается температура тела. Дыхание и пульс

учащаются, артериальное давление вначале возрастает, затем падает. В тяжелых случаях наступает тепловой, а при работе на открытом воздухе — солнечный удар. Возможна судорожная болезнь, являющаяся следствием нарушения водно-солевого баланса и характеризующаяся слабостью, головной болью, резкими судорогами.

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

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

**Повышенный уровень вибрации.** Вибрация — это механические колебания машин и механизмов, которые характеризуются такими параметрами, как частота, амплитуда, колебательная скорость, колебательное ускорение. Вибрацию порождают неуравновешенные силовые воздействия, возникающие при работе машин.

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

***Категория 2***– транспортно-технологическая вибрация, воздействующая на человека -оператора на рабочих местах машин с ограниченной подвижностью при перемещении их по специально подготовленным поверхностям производственных помещений,

промышленных площадок и горных выработок; при этом оператор может лишь иногда регулировать воздействие вибрации.

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

нарушение функций органов внутренней секреции, что влечет за собой возникновение вибрационной болезни.

Допустимые корректированные значения виброускорения не должны превышать значений, приведенных в табл.8.

Таблица 8

| Вид вибрации | Допустимые корректированные значения виброускорения, м/с |
|---|---|
| Категория 2 :<br>на сиденье машиниста в направлении* | 0,27 |
| Локальная:<br>на рукоятках управления в направлении движения руки | 2,0 |

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

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

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

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

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

Согласно ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест должно удовлетворять следующимтабличным данным:

Таблица 9 – Нормы освещенности погрузочно-разгрузочной зоны

| Наименование помещения | $E_{экс}$, лк |
|---|---|
| Погрузочно-разгрузочные зоны | 150 |

Для соблюдения требуемых нор освещенности целесообразно применение дополнительных источников освещения.

## 5.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)

**Движущиеся машины и механизмы**

Основными видами опасности, воздействующими на крановщика, являются:

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

-Опасность, вызванная поступательным движением машины, грузовых тележек: движение во время запуска двигателя; движение при отсутствии машиниста на своем месте; движение при отсутствии надежного закрепления

всех составных частей, деталей; чрезмерно высокая скорость крана, машины, грузовой тележки, управляемых с пола; слишком высокие колебания крана (груза) при движении; недостаточная способность крана или машины к замедлению, выключению, остановке и удержанию.

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

**Поражение электрическим током**

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

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

**Падение с высоты**

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

Так техническое обслуживание, осмотр, регулировка и ремонт частей крана, расположенных на высоте более 4,0 м, разрешается выполнять только

при наличии у крановщика предохранительного пояса или при условии, что он находится внутри металлоконструкций и опирается па лестницу.

Организация современного производства немыслима без четкого соблюдения норм, правил безопасности и производственной санитарии. В решении этих вопросов должны участвовать все, кто создает и осваивает новые технику и технологию, кто контролирует их соответствие требованиям системы стандартов безопасности труда (ССБТ), гигиены и психологии труда. Организационно-технические средства обеспечения безопасности защищают человека от производственных травм и профессиональных заболеваний.

*Электропоражение персонала*, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо:

а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;

б) требования к электрооборудованию;

в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;

г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;

д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Основные мероприятия по электробезопасности направлены на то, чтобы полностью исключить электротравмы. это достигается таким устройством электроустановки, при котором ее токо-ведущие части недоступны для случайного прикосновения благодаря ограждению, расположению на недоступной высоте, блокировкам и т. д. Защитное заземление при повреждении изоляции и переходе напряжения на части металлической конструкции электроустановки автоматически отключает

поврежденное электрооборудование или снижает напряжение на частях конструкции до безопасной величины. Индивидуальные защитные средства (изоляционные коврики, перчатки, галоши, штанги) и применение тока безопасного напряжения 12 в для переносных ламп делают электроустановки полностью безопасными.

Основным документом, регламентирующим воздействие электрического тока в производственных условиях, является ГОСТ 12.1.009-76. Для защиты персонала от поражения электрическим током в цехах завода используются следующие меры: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защита от случайного прикосновения; защитное заземление; защитное отключение; зануление. Кроме того, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В рекомендуется использовать диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

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

Все средства защиты от воздействия вредных и опасных факторов производственной среды подразделяются на два больших класса: средства индивидуальной защиты (СИЗ) и средства коллективной защиты.

Все СИЗ подразделяются на 12 классов, например средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), специальная одежда, средства защиты рук и ног, средства защиты глаз, лица и головы, средства защиты органов слуха, средства защиты от вибрации. Для защиты от поражения электрическим током применяются диэлектрические средства защиты. При работе на высоте, в емкостях, колодцах и т.п. применяются предохранительные пояса со страховочной цепью или веревкой. Для защиты

от вредных и ионизирующих излучений служат специальные индивидуальные средства защиты.

К коллективным средствам защиты относятся, например, знаки безопасности, предупредительные плакаты для электроустановок, предупреждающая окраска, знаки опасности для грузов и т.д.

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

## 5.4 Экологическая безопасность.

В процессе эксплуатации крана возможно загрязнение окружающей среды смазочными материалами.

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

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

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

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

При утилизации должны соблюдаться следующие правила:

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

-при утилизации должны быть выдержаны нормы охраны окружающей среды;

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

## 5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

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

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

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

## 5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Специальные правовые нормы трудового законодательства.

До работ на кране допускаются только обученные и аттестованные крановщики не моложе 18 лет, имеющие образование не ниже 8 классов, годные по состоянию здоровья, что должно быть подтверждено результатами медицинского освидетельствования.

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

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

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

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

## 5.7 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

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

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

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

Кресло должно иметь следующие основные размеры, мм:

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

Кроме того кабина крановщика должна быть оборудована средствами или устройствами:

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

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

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

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

5) для аварийного покидания кабины.

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

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

**Студенту:**

| Группа | ФИО |
|---|---|
| З-5Г4А2 | Сайфиддинов Саидазим Сайфиддинович |

| Школа | ИШЭ | Отделение | ОЭЭ |
|---|---|---|---|
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 13.03.02 |

| Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»: | |
|---|---|
| *1.* Стоимость затрат технического проекта | .Для проекта необходимо два человека (руководитель, дипломник) Затраты на материальные ценности определяются согласно прейскуранта. Заработная плата расчитывается в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ |
| *2.* Продолжительность выполнения | Приблизительная оценка продолжительности выполнение технического проекта определяется исходя из ожидаемой трудоёмкости работ |
| **Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:** | |
| 1.Планирование и формирование графика работ по реализации технического проекта | Для составления графика по проектированию электропривода подъемной лебедки мостового крана<br>- оценить технический проект с проведением SWOT-анализа выявляя при этом сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы<br>- определить трудоемкость работ для каждого исполнителя.<br>По полученным данным построить диаграмму Ганта, которая позволяет спланировать процесс реализации технического проекта |
| 2.Формирование сметы технического проекта | В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат:<br>- материальные затраты<br>- полная заработная плата исполнителей<br>- отчисления во внебюджетные фонды<br>- накладные расходы |
| 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта | Оценка эффективности проекта производится с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности |
| **Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей)**:** | |
| 1. График Ганта | |

| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 11.02.2019 |
|---|---|

**Задание выдал консультант:**

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|---|---|---|---|
| Доцент, отделение социально-гуманитарных наук | Мелик-Гайказян Мария Вигеновна | к.э.н., доцент | | |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|---|---|---|---|
| З-5Г4А2 | Сайфиддинов Саидазим Сайфиддинович | | |

# 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 частотно-регулируемый электропривод подъемной лебедки, 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 подъемной лебедки ·

планирование проектно-конструкторских работ;

· определение ресурсной эффективности проекта.

## 6.1. SWOT-АНАЛИЗ ПО РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДЪЕМНОЙ ЛЕБЕДКИ МОСТОВОГО КРАНА

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой комплексное исследование технического проекта. [15] Применительно к проектируемому частотно-регулируемому электроприводу подъемной лебедки, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы. [15]

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT-анализа стоит использовать следующие обозначения: **С** – сильные стороны проекта; **Сл** – слабые стороны проекта; **В** –возможности; **У** – угрозы.

Таблица 10 - Матрица SWOT

| | **Сильные стороны проекта:**<br>С1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологи.<br><br>С2. Экологичность технологии.<br><br>С3. Повышение безопасности производства<br><br>С4. Большая экономия электрической энергии<br><br>С5. Снижение затрат на содержание и обслуживание | **Слабые стороны проекта:**<br>Сл1. Высокая цена на оборудование и комплектующие<br><br>Сл2. Отсутствие квалифицированного персонала<br><br>Сл3. Сложность эксплуатации элеткроборудования |
|---|---|---|
| **Возможности:**<br><br>В1. Увеличение производительности электрооборудования<br><br>В2. Автоматизация технологического процесса<br><br>В3. Снижение затрат на транспортировку готовой продукции<br>В4. Снижение затрат на техническом обслуживании | В1С1С2С3С4;<br><br>В2С1;С4;С5;<br><br>В3С5;<br><br>В4С1С2С5; | В1Сл3;Сл4;<br><br>В2Сл1Сл2;Сл3<br><br>В3Сл2;<br><br>В4Сл1; Сл2; |
| **Угрозы:** | | |

| | | |
|---|---|---|
| У1. Отсутствие спроса на технологии производства<br><br>У2. Ограничения на экспорт технологии<br><br>У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции<br><br>У4. Угрозы выхода из строя сложного энергоемкого оборудования | У1С3;<br><br>У2С3;<br><br>У3С5;<br><br>У4С2С4 | У1Сл1Сл2;<br><br>У2Сл1;<br><br>У3Сл1Сл2;<br><br>У4Сл1. Сл3 |

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

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие) [27].

Таблица 11 – Интерактивная матрица возможностей

| | Сильные стороны проекта | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Возможности | С1 | С2 | С3 | С4 | С5 |
| В1 | + | + | + | + | - |
| В2 | + | - | - | + | + |
| В3 | - | - | - | - | + |
| В4 | + | + | - | - | + |
| | Слабые стороны проекта | | | | |
| Возможности | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 | |
| В1 | - | - | + | + | |
| В2 | + | + | + | - | |
| В3 | - | + | - | - | |
| В4 | + | + | - | - | |

Таблица 12 – Интерактивная матрица угроз

| Угрозы | Сильные стороны проекта | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | С1 | С2 | С3 | С4 | С5 |
| У1 | - | - | + | - | - |
| У2 | - | - | + | - | - |
| У3 | - | - | - | - | + |
| У4 | - | + | - | + | + |
| Угрозы | Слабые стороны проекта | | | | |
| | Сл1 | Сл2 | Сл3 | - | - |
| У1 | + | + | - | | |
| У2 | + | - | - | | |
| У3 | + | + | - | | |
| У4 | + | - | + | | |

При разработке технического проекта инженер нацелен на проектирование с возможно большим внедрением сильных сторон. Это влияет, прежде всего, на качество и востребованность спроектированного электрооборудования, что немало важно для потребителей.

Также не стоит исключать случай, когда какая-либо из слабых сторон окажет наиболее сильное негативное воздействие, влияющее на работу системы электроснабжения, чем все вместе взятые сильные стороны. Для данного случая таким фактором может быть сложно эксплуатация

оборудование. К примеру, при любом проектировании электрооборудования простой конструкции требуется использование дорогостоящих составляющих в силу их предварительной проектировки. Но за счет появления новых возможностей, закупка такого оборудования становится целесообразной, так как их преимущества минимизируют влияние слабых сторон.

### 6.2. Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования частотно-регулируемого привода подъемной лебедки.

#### 6.2.1. Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 3.:

№ 1 – Составление и утверждение технического задания – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 – Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – Выбор электродвигателя – расчет электрических характеристик, требуемых для технологического процесса, и выбор из каталога необходимого двигателя;

№ 4 – Расчет механических и эксплуатационных характеристик двигателя;

№ 5 – Расчет силовой части преобразователя частоты;

№ 6 – Оценка эффективности полученных результатов – проверка соответствия выполненного проекта исходным требованиям с учетом ресурсо- и энергоэффективности;

№ 7 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;

№ 8 – Проверка выпускной квалификационной работы руководителем - в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов инженером;

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

### 6.2.2.Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула [27]:

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

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.

В таблице 13. приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ.

Таблица 13. – Расчет продолжительности выполнения работ, раб.дн.

| № | Вид работ | Исполнители | Минимально возможная трудоемкость | Максимально возможная трудоемкость | Ожидаемая трудоемкость |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Составление ТЗ | Руководитель | 1 | 1 | 1 |
| 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Инженер | 2 | 5 | 3 |
| 3 | Расчет и выбор двигателя | Инженер | 17 | 22 | 21 |
| 4 | Расчет механических и эксплуатационных характеристик двигателя | Руководитель | 1 | 1 | 1 |
| | | Инженер | 18 | 25 | 24 |
| 5 | Расчет силовой части преобразавателя частоты, | Руководитель | 1 | 1 | 1 |
| | | Инженер | 21 | 28 | 26 |
| 6 | Оценка эффиктивности полученных результатов | Руководитель | 1 | 1 | 1 |
| | | Инженер | 3 | 7 | 5 |
| 7 | Составление пояснительной записку | Инженер | 6 | 12 | 8 |
| 8 | Проверка выпускной квалификационной работы руководителем | Руководитель | 1 | 1 | 1 |
| 9 | Сдача и защита выпускной квалификационной работы | Руководитель | 1 | 1 | 1 |
| | | Инженер | 3 | 4 | 3 |

Примечание: минимальное $t_{min}$ и максимальное время $t_{max}$ получены на основе экспертных оценок.

### 6.2.3. Разработка графика проведения технического проекта

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [27].

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР [27].

В данном пункте был рассчитан и построен календарный график выполнения работ. Судя по графику, следует вывод, что проектирование нужно начать 11 февраля и закончить 7 июня 2019 года. График строится с разбивкой по месяцам и декадам за период времени дипломирования. Всего вышло 12 декад в сумме дающее 116 календарных дней, куда входит 16 выходных и 4 праздника.

Общая продолжительность выполнения расчетов составила 94 рабочих дней. Из них:

90 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

7 дней – продолжительность выполнения работ научный руководителя;

На основе таблицы 14 строим план-график проведения работ (таблица 5)

Таблица 14– Диаграмма Ганта

| № | Вид работ | Исп-ли | $T_{pi}$, раб. дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Февр. | | Март | | | Апрель | | | Май | | | Июнь | | | |
| | | | | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | |
| 1 | Составление и утверждение технического задания | Руководитель | 1 | – | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Инженер | 3 | – | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Расчет и выбор двигателя | Инженер | 21 | – | – | – | – | | | | | | | | | | |
| 4 | Расчет механических и эксплуатационных характеристик двигателя | Руководитель | 1 | | | | | | | – | | | | | | | |
| | | Инженер | 24 | | | | | – | – | – | | | | | | | |
| 5 | Расчет силовой части преобразователя частоты | Руководитель | 1 | | | | | | | | | | – | | | | |
| | | Инженер | 26 | | | | | | | | – | – | – | | | | |
| 6 | Оценка эффективности полученных результатов | Руководитель | 1 | | | | | | | | | | | – | | | |
| | | Инженер | 5 | | | | | | | | | | | – | | | |
| 7 | Составление пояснительной записки | Инженер | 8 | | | | | | | | | | | – | – | | |
| 8 | Проверка выпускной квалификационной работы руководителем | Руководитель | 1 | | | | | | | | | | | | – | | |
| 9 | Сдача и защита выпускной квалификационной работы | Руководитель | 1 | | | | | | | | | | | | – | | |
| | | Инженер | 3 | | | | | | | | | | | | – | | |

## 6.3.Составление сметы затрат на разработку ТП

Смета затрат включает в себя следующие статьи [14]:

материальные затраты;

полная заработная плата исполнителей технического проекта;

отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

накладные расходы.

### 6.3.1. Расчет материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_м = \sum_{i=1}^{m} Ц_i \times N_{расхi},$$

где $m$ – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов $i$-го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы $i$-го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, размещенным на сайте канцелярского магазина ТД „Канцелярский мир”.

Таблица 15 – Материальные затраты

| Наименование | Количество | Цена за ед., руб. | Затраты на материалы, руб. |
|---|---|---|---|
| Бумага | 1 | 250 | 250 |
| Ручка | 2 | 86 | 180 |
| Папка | 1 | 50 | 50 |
| Калькулятор | 1 | 750 | 750 |
| Линейка | 1 | 22 | 20 |
| Переплет | 1 | 50 | 50 |
| Итого | | | 1300 |

### 6.3.2. Расчет полной заработной платы исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как :

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) исполнителя рассчитывается исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле

$$З_{осн} = З_{дн} \times Т_{р},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

$Т_р$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$З_{дн} = \frac{З_{тс} + З_{р.к.}}{F_д},$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$З_{р.к.}$ – районная доплата, руб.;

$F_д$ – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 7.

Таблица 16 – Расчёт основной заработной платы

| Исполнители | Заработная плата по тарифной ставке, руб. | Районная доплата, руб | Среднемесячная заработная плата, руб | Среднедневная заработная плата работника | Продолжительность работ, дн. | Основная заработная плата, руб. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Руководитель | 33664 | 10099 | 43763 | 1683 | 7 | 11781 |
| Инженер | 12300 | 3690 | 15990 | 615 | 90 | 55350 |
| Итого | | | | | | 67131 |

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \times З_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15) [27].

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 8.

Таблица 17 – Расчет полной заработной платы

| Исполнители | Коэффициент дополнительной заработной платы руб. | Основная заработная плата одного работника руб. | Дополнительная заработная плата руб. | Полная заработная плата руб. |
|---|---|---|---|---|
| Руководитель | 0,15 | 11781 | 1767 | 13500 |
| Инженер | 0,12 | 55350 | 6642 | 61900 |
| Итого | | 67131 | 9870 | 75400 |

### 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:

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

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.) [27].

На 2019 г. в соответствии с Федерального закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0{,}302 \cdot 75{,}4 = 22{,}7 \text{ руб}$$

### 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, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

## 6.4. Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции [27].

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Смета затрат технического проекта

| Наименование статьи | Сумма, тыс. руб. | Структура затраты % |
|---|---|---|
| 1. Материальные затраты ТП | 1,3 | 1.1 |
| 2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы | 75,4 | 63,7 |
| 3. Отчисления во внебюджетные фонды | 22,7 | 19,1 |
| 4. Накладные расходы | 18,9 | 16,0 |
| 5. Итого | 118,3 | 100,0 |

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 90 раб. дней для инженера и 7 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 118,3 тыс.руб, из которых более половины (63,7 %) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

## 6.5 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [27]:

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

где $I_{pi}$ – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$ – весовой коэффициент разработки;

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

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиями к системе электроснабжения промышленных предприятий:

1. Экономичность:  оптимизация затрат на электрическую часть предприятия на стадии проектирования приводит к их уменьшению на доли процентов, в абсолютном же измерении речь идет об экономии значительных средств.
2. Гибкость:  возможность частых перестроек технологии производства и развития предприятия.
3. Безопасность: обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического;
4. Помехоустойчивость: устойчивость ПЧ к внешним электрическим сигналам.
5. Надежность:  бесперебойная работоспособность рабочего органа в пределах допустимых показателей его производительности и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.
6. Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом  более доступного, автоматизированного и адаптивного по конструкции техническим характеристикам элеткроборудования на предприятии.
7. Энергоэффективность:  использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня потребления энергии в зданиях либо при технологических процессах на производстве

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 19.

Таблица 19 - Сравнительная оценка характеристик проекта

| Критерии | Весовой коэффициент | Балльная оценка разработки |
|---|---|---|
| 1. Экономичность | 0,15 | 4 |
| 2. Гибкость | 0,10 | 4 |
| 3. Безопасность | 0,15 | 5 |
| 4. Помехоустойчивость | 0,18 | 5 |
| 5. Надежность | 0,20 | 5 |
| 6. Простота и удобство в эксплуатации | 0,07 | 5 |
| 7.Энергоэффективность | 0,15 | 4 |
| Итого: | 1,00 | 4,6 |

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит [15]:

$$I_{p\text{-}исп1} = 4 \times 0,15 + 4 \times 0,1 + 5 \times 0,15 + 5 \times 0,18 + 5 \times 0,2 + 5 \times 0,07 +$$
$$+5 \times 0,15 + 4 \times 0,15 = 4,6$$

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

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

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

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

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

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

## 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 случаи уже практически не управляются при максимальном грузе, особенно при его подъеме на определенную высоту.

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

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

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

*Преимущества векторного метода управления асинхронным двигателем:*

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

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

Удовлетворяющий следующим техническим требованиям и характеристикам.

1. Режим работы – повторно-кратковременный.

2. Электропривод реверсивный, диапазон регулирования D =1:20.

3. Погрешность поддержания заданной частоты не более 10 % на нижней рабочей скорости.

4. Управление электроприводом - ручное, с пульта управления обслуживающим персоналом, в автоматизированном режиме поддержания давления с перспективой интеграции в систему управления более высокого уровня.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Список использованных источников


1. ГОСТ Р 12.3.047-98 "ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования.
2. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. СП 2.13130.2009
3. Онищенко Г.Б., Ред. Автоматизированный электропривод промышленных установок: Уч. пособие для ВУЗов, М.: Энергоатомиздат, 2001
4. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электроприводах.– Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1998. 172 с.
5. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами.-Л.: Энергоатомиздат, 1982
6. Ключев В.И. Теория Электропривода – М.: Энергоатомиздат, 1985
7. Кабели и провода / под ред. Привезенцева В.А. – М.: Машиностроение, 1964
8. Справочник по электрическим машинам. Под общ. ред. И. П. Копылова и Б. К. Клокова. Т.1. – М.:Энергоатомиздат, 1988.
9. СНиП 2.01.02–85 - Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений, Стройиздат, 1976
10. ГОСТ 12.1.038-82 - ***Предельно допустимые*** значения напряжений прикосновения и токов.
11. Егорин В.Н. Расчёт опасности поражения электрическим током. – Томск: изд-во ТПИ, 1969
12. ГОСТ 12.3.002-75 ССБТ - Требования безопасности к производственным процессам.
13. *ГОСТ* Р 22.0.02-94 - Безопасность в чрезвычайных ситуациях
14. Управление проектами. / под.ред. Шапиро С.И. – С-Петербург,1993

15. Удут Л.С, Мальцева О.П. Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч 5. Применение программы DORA-FUZZY для имитационного моделирования автоматизированных электроприводов. - издание 2-е переработанное и дополненное - Томск: Изд-во ТПУ, 2007. - 180 с

16. Правила по охране труда на предприятиях- ПОТ РО 14000-001-98

17. Определение в отношении опасности поражения людей электрическим током - ПУЭ (6-е изд.) в разд. 1.1.13

18. Охрана природы. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями - ГОСТ 17.23.02-78

19. СанПиН 2.2.4.548-96 - Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

20. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч 6. Механическая система электропривода. - издание 2-е переработанное и дополненное - Томск: Изд-во ТПУ, 2007. - 148 с

21. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления электроприводов: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2007. - 152 с.

22. Яуре А. Г. Певзнер Е. М. Крановый электропривод: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 334 с.

23. Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Расчет характеристик электроприводов переменного тока. Ч. 1. Асинхронный электродвигатель: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2005. - 136 с.

24. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 7 Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. - 164 с.

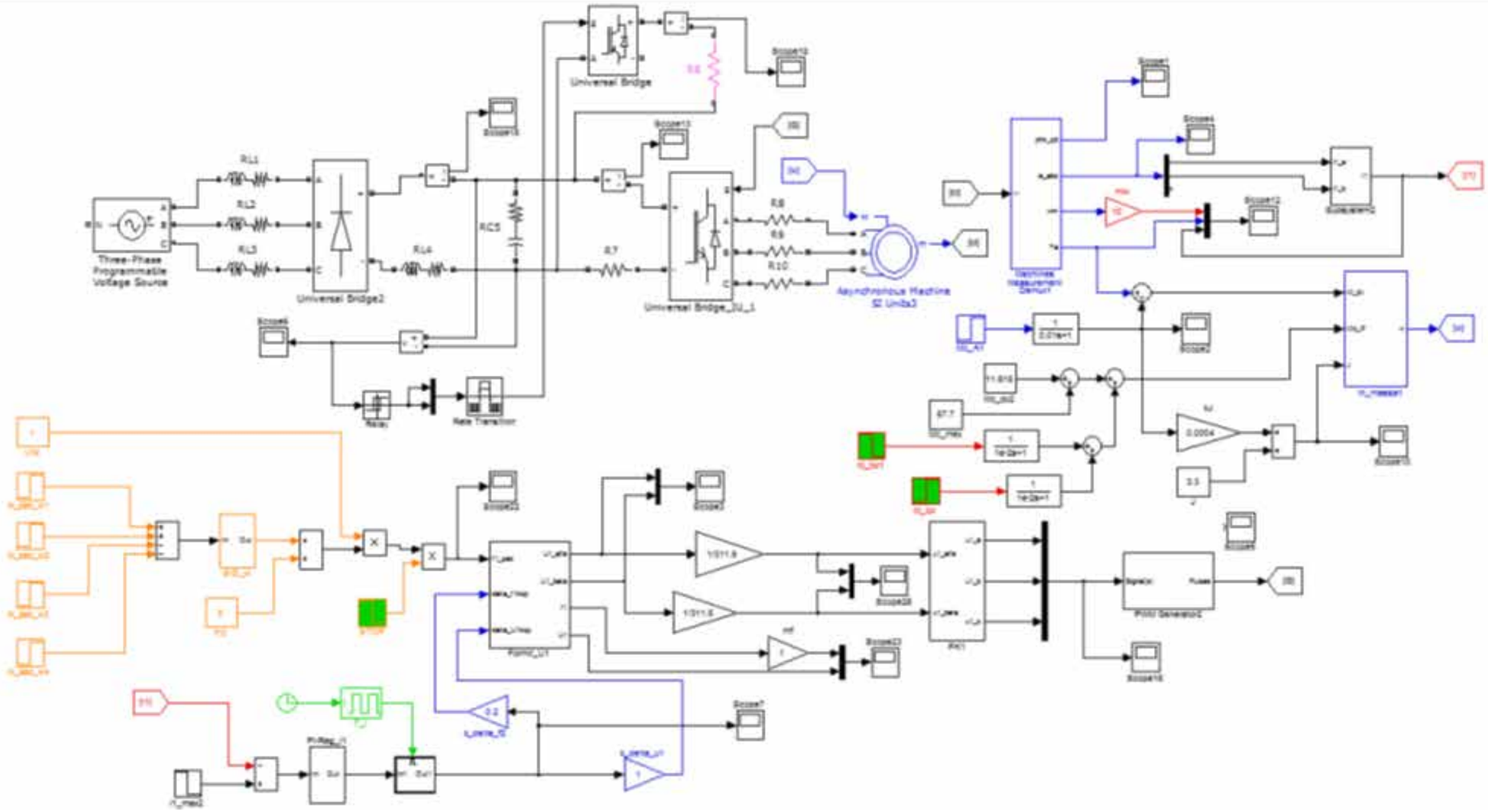
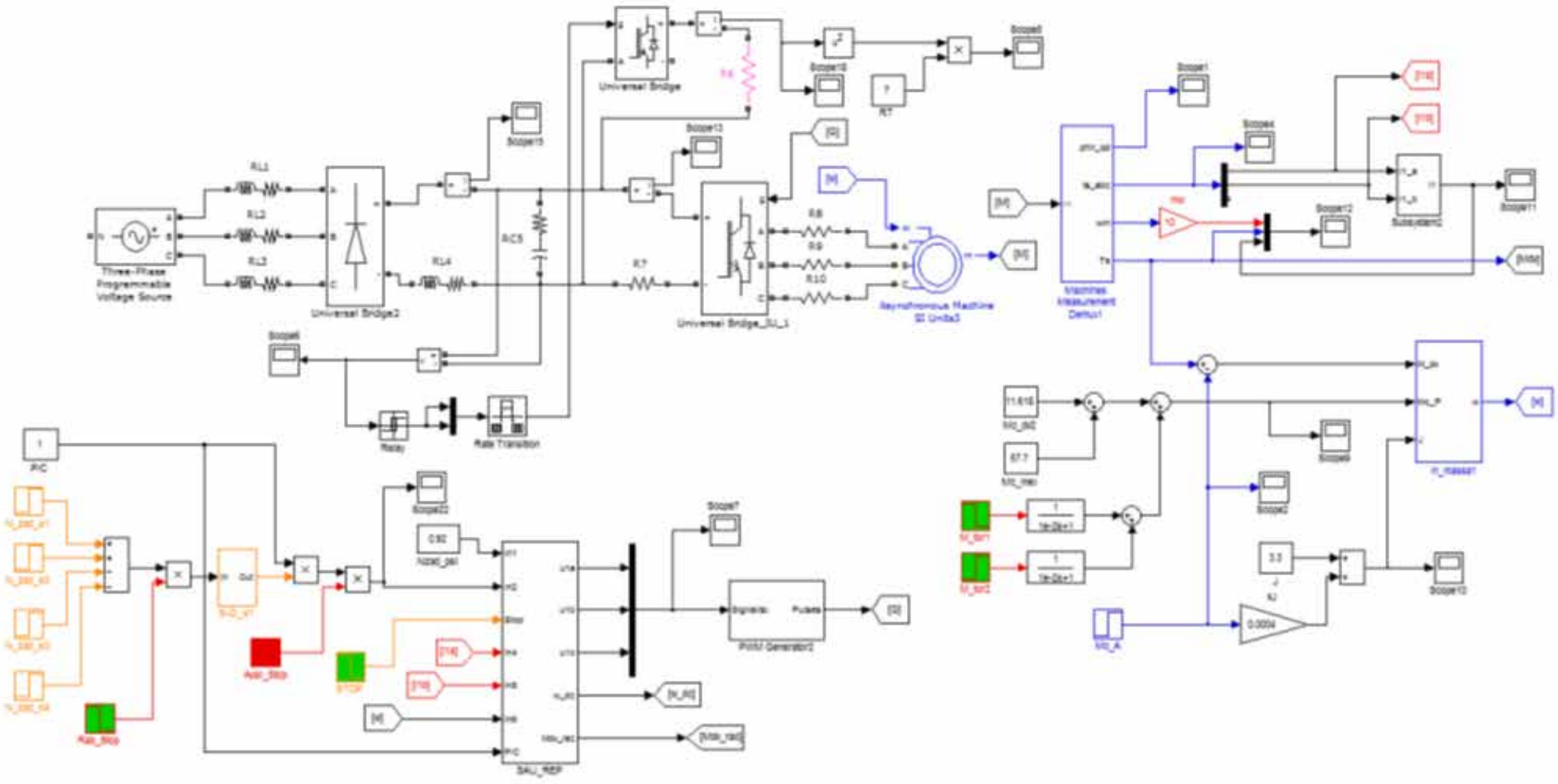
25. Системы управления электроприводов: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. - 152 с.

26. Ласточкин В.М., Шамрай Ф.А. Методика по силовому расчету частотно-регулируемых электроприводов крановых механизмов. - техническая коллекция Schneider Electric, 2007 г., 19 с.

27 Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.

28 Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Технико-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**



**ПРИЛОЖЕНИЕ 2**