

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

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника
 Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электрооборудование и электропривод мешалки для жидкостей

УДК 621.31:66.063

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А7К	Айтенов Раджан Кенжебаевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Чернышев И.А.	К.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Клемашева Елена Игоревна	Канд.экон.наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютева П.В.	К.т.н.		

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

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

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника
 Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Тютеева П.В.
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А7К	Айтенев Раджан Кенжебаевич

Тема работы:

Электрооборудование и электропривод мешалки для жидкостей	
Утверждена приказом директора ИШЭ	Приказ №25-19/с от 25.01.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является электропривод мешалки для жидкостей</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Исследование регулируемого электропривода мешалки для жидкостей по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель; Подбор электрооборудования; Расчет параметров и построение механических и электромеханических характеристик; Имитационное моделирование переходных процессов</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Имитационная модель прямого пуска АД Имитационная модель ПЧ-АД</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Клемашева Елена Игоревна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Черемискина Мария Сергеевна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p> </p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>10.09.2020</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент ОЭЭ ИШЭ</p>	<p>Чернышев И.А.</p>	<p>к.т.н.</p>	<p> </p>	<p> </p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5А7К</p>	<p>Айтенов Раджан Кенжебаевич</p>	<p> </p>	<p> </p>

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 (специальность) 13.03.02. – Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования бакалавриат

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2020 /2021 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:	07.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
09.11.2020 – 20.11.2020	Общие сведения	20
23.11.2020 – 11.12.2020	Расчет и выбор электрооборудования; построение статических характеристик	20
01.02.2021 – 13.03.2021	Моделирование переходных процессов	40
15.02.2021 – 04.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
12.02.2021 – 09.04.2021	Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Чернышев И.А.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тютеева П.В.	к.т.н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А7К	Айтенев Раджан Кенжебаевич

Школа	Отделение школы (НОЦ)
Уровень образования	Направление/специальность
Бакалавриат	13.03.02. «Электроэнергетика и электротехника»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 250000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 150000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 4,5 баллов из 5. Накладные расходы – 16%; Районный коэффициент – 30%; Норма амортизации – 33,3%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ потенциальных потребителей НИ; Оценка потенциала и перспективности реализации НИ посредством проведением SWOT-анализа; Оценка ресурсоэффективности с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика проекта; Формирование бюджета затрат на научное исследование
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка ресурсоэффективности разработки проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Карта сегментирования
2. Календарный план-график

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А7К	Айтенев Раджан Кенжебаевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А7К	Айтенов Раджан Кенжебаевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02. «Электроэнергетика и электротехника»

Тема ВКР:

Электрооборудование и электропривод мешалки для жидкостей	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: мешалка для жидкостей Область применения: пищевая, химическая, волоконная, косметическая сферы
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. ГОСТ 22614-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования ГОСТ EN 894-1-2012. Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Часть 1. Общие руководящие принципы при взаимодействии оператора с индикаторами и органами управления. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ.</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – повышенный уровень шума и вибрации; – недостаточная освещенность рабочих мест. <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования и т.п.; – повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

3. Экологическая безопасность:	Атмосфера: выброс большого количества твердых и газообразных вредных веществ Гидросфера: сброс загрязненных и недостаточно очищенных производственных вод в водные объекты Литосфера: загрязнение хим. веществами и т.п.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: наводнения, ураганы, пожар, внезапное обрушение зданий или сооружений. Наиболее типичная ЧС: короткое замыкание, возникновения пожара.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А7К	Айтенев Раджан Кенжебаевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 87 страниц, 45 рисунка, 17 таблицы, 13 используемых источника.

Ключевые слова: асинхронный частотно-регулируемый электропривод со скалярным управлением, имитационное моделирование, статические и динамические характеристики.

Цель работы – разработать цифровой регулируемый электропривод производственного механизма, удовлетворяющий требованиям технического задания.

В ходе работы был разработан электропривод, отвечающий требованиям технического задания.

Работа выполнена в текстовом редакторе *MicrosoftWord* 2013. Расчеты производились с помощью пакета прикладных программ *MathCAD* 15. Имитационное моделирование электропривода выполнено с помощью пакета программ *MatlabR2019a*.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	12
1. Общие вопросы проектирования	13
1.1 Принципы реализации систем управления частотно - регулируемых электроприводов	17
2. Описание технологического процесса.....	18
2.1 Объект автоматизации	18
2.1.1 Технологические операции на основе смещения	19
2.1.2 Механические мешалки.....	20
3. Выбор электрооборудования	25
4. Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя	33
4.1 Расчет статических характеристик асинхронного двигателя. Анализ полученных результатов	37
5. Расчет и моделирование переходных процессов пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть и при изменении нагрузки.....	40
6. Обоснование и выбор функциональной схемы электропривода переменного тока со скалярным управлением.....	42
6.1. Обоснование и выбор структурной схемы электропривода переменного тока со скалярным регулированием скорости и компенсацией момента	46
6.2. Расчет электромеханических и механических характеристик системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» с IR-компенсацией ..	48
6.3. Расчет переходных процессов пуска асинхронного двигателя при применении скалярного закона управления.....	53
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	61
7.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	61
7.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	61
7.1.2 Оценка перспективности поведения научных исследований	63
7.1.3 SWOT- анализ	64
7.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	66
7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	66

7.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	67
7.2.3	Разработка графика проведения научного исследования	68
7.3	Бюджет научно-технического исследования	72
7.3.1	Расчет материальных затрат НТИ	72
7.3.2	Основная заработная плата исполнителей темы	72
7.3.3	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	74
7.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)....	75
7.3.5	Накладные расходы	75
7.3.6	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	76
7.4	Определение ресурсоэффективности разработки	76
8.	Социальная ответственность	78
8.1	Правовые и организационные вопросы безопасности	78
8.2	Производственная безопасность	79
8.3	Анализ опасных и вредных факторов	80
8.4	Экологическая безопасность	82
8.5	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	82
	Заключение	85
	Список использованной литературы.....	86

ВВЕДЕНИЕ

В состав современного частотно-регулируемого электропривода переменного тока входит электродвигатель, управляемый электрический преобразователь и программируемый микроконтроллер. Структура такого привода для широкого применения представляет собой следующее: сеть – неуправляемый выпрямитель – шины постоянного тока с конденсатором – инвертор напряжения на транзисторных модулях с широтно-импульсной модуляцией, управляемый процессором, – короткозамкнутый асинхронный электродвигатель (рис.). Малая масса преобразователя, совершенная защита, возможность полного диагностирования состояния привода, управление от цифровых и аналоговых сигналов, простое и удобное программирование работы, возможность синхронизации совместной работы электроприводов, взаимодействующих в технологическом процессе, и ряд других пользовательских качеств обеспечили частотно-регулируемому асинхронному электроприводу превосходство в классе массового регулируемого электропривода.

Объектом исследования является система «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель».

Цель работы – исследования динамических режимов работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

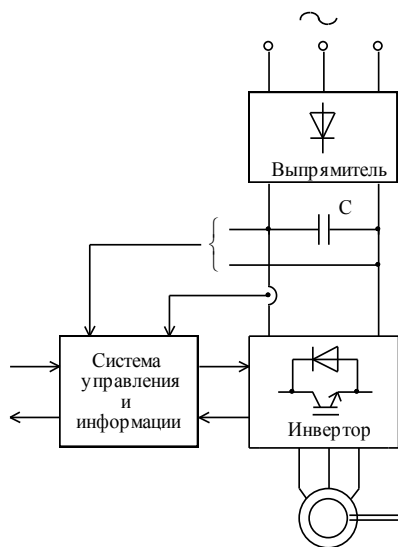


Рисунок 1 – Частотно-регулируемый асинхронный электропривод

1. Общие вопросы проектирования

Наиболее эффективные способы регулирования скорости короткозамкнутого асинхронного двигателя связаны с изменением скорости вращения электромагнитного поля статора

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{z_p}.$$

Отсюда следует два основных способа регулирования скорости вращения электромагнитного поля:

- изменением числа пар полюсов z_p ;
- изменением частоты f_1 напряжения статора двигателя.

Способы частотного регулирования скорости электроприводов переменного тока с короткозамкнутыми асинхронными двигателями находят все большее применение в различных отраслях техники. Преобразование переменного напряжения питающей сети в переменное напряжение с регулируемой частотой, напряжением и током осуществляют преобразователи частоты. В настоящее время преобразователи частоты выполняются на базе силовых полупроводниковых ключей. Быстрый рост преобразователей частоты стал возможен с появлением биполярных транзисторов с изолированным затвором, рассчитанных на токи до нескольких тысяч ампер, напряжения до нескольких киловольт и частоту коммутации 20 кГц и выше.

По типу связи с питающей сетью преобразователи частоты на полупроводниковых элементах делятся на два больших класса:

- преобразователи частоты с непосредственной связью;
- преобразователи частоты со звеном постоянного тока.

Преобразователи частоты со звеном постоянного тока, в свою очередь, подразделяются на:

- автономные инверторы тока (АИТ);
- автономные инверторы напряжения (АИН).

В своей структуре автономные инверторы содержат выпрямитель, силовой фильтр и инвертор, преобразующий постоянное напряжение (ток) в переменное напряжение (ток) заданной частоты.

В последние годы нашли применение автономные инверторы с ключами на силовых транзисторах типа *IGBT* и *MOSFET*. Асинхронный электропривод с автономным инвертором напряжения, выполненным на *IGBT*-транзисторах, приведен на рис. .

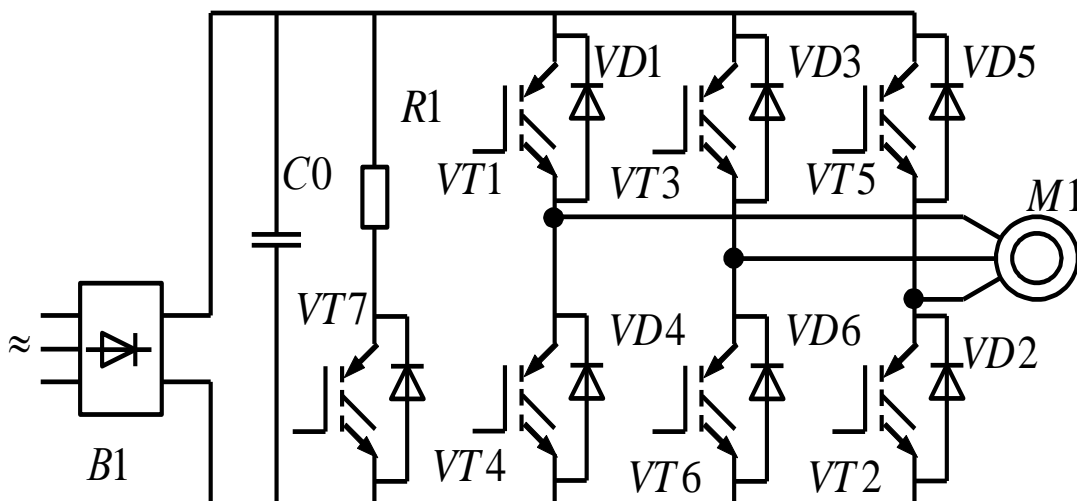


Рисунок 2 – Асинхронный электропривод с автономным инвертором напряжения, выполненным на *IGBT*-транзисторах

Индуктивный характер нагрузки учитывается подключением параллельно транзисторным ключам $VT1..VT6$ диодов $VD1...VD6$, обеспечивающих непрерывность цепи протекания тока в обмотках статора при отключении их от источника питания и возврат запасенной электромагнитной энергии в конденсатор $C0$ фильтра.

Так как *IGBT*-транзисторы могут переключаться при значительно больших частотах, чем тиристорные ключи, то и форма тока, протекающего через обмотки двигателя становится значительно ближе к синусоидальной. Очевидно, что чем выше несущая частота ШИМ, тем меньше амплитуда колебаний тока в обмотках статора двигателя. На рис. приведены осциллограммы токов статора асинхронного двигателя при низкой и высокой несущей частоте опорного напряжения ШИМ модулятора.

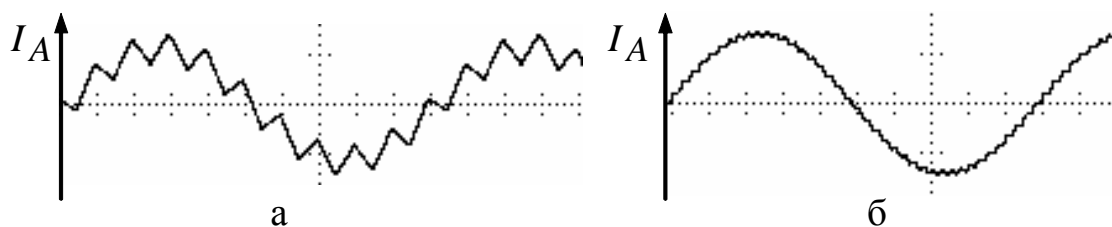


Рисунок 3 – Осциллограммы токов статора асинхронного двигателя при низкой (а) и высокой (б) несущей частоте опорного напряжения ШИМ модулятора

Однако чрезмерное увеличение несущей частоты может привести к перегреву двигателя и ключей инвертора. Чем выше частота коммутации ключей, тем выше потери энергии в них.

В электроприводах, имеющих в цикле работы участки рекуперации энергии, запасенной во вращающихся частях электропривода, или высокую интенсивность тормозных режимов для эффективного торможения приходится предусматривать специальный узел сброса энергии, состоящий из дополнительного ключа $VT7$ и резистора $R1$. Ключ $VT7$ открывается при превышении напряжения на емкости $C0$ сверхдопустимого значения, вследствие чего обеспечивается «сброс» энергии в резистор $R1$, рассеивающий эту энергию.

В структурах электроприводов с автономными инверторами напряжения, охваченными отрицательной обратной связью по току, инвертор приобретает свойства источника тока.

В электроприводах с автономными инверторами напряжения возможен режим векторного управления, что позволяет использовать их для процессов с повышенными требованиями к динамике и пусковому моменту. Кроме того, эти преобразователи совместно с асинхронными двигателями во многих случаях позволяют заменить более дорогой электропривод постоянного тока.

Применение автономных инверторов напряжения с индивидуальной коммутацией ключей позволяет регулировать выходное напряжение с помощью автономного инвертора, при постоянном неизменном напряжении

на его входе. Если при этом частота переключения ключей существенно выше выходной частоты инвертора, то в спектре выходного напряжения кроме основной гармоники присутствуют лишь гармоники весьма высокого порядка, которые легко отфильтровываются индуктивностями двигателя.

Преимущества инверторов напряжения заключаются:

- в более жесткой выходной вольт-амперной характеристики
- в возможности достижения больших пределов регулирования частоты
- способность работать как с одним, так и с несколькими двигателями

Недостатки:

- большая емкость электролитического конденсатора C_0 фильтра
- мощности инверторов напряжения сравнительно небольшие 3-1500 кВА
- трудности обеспечения рекуперации электрической энергии в сеть в тормозных режимах

1.1 Принципы реализации систем управления частотно - регулируемых электроприводов

Под частотным управлением понимается управление электродвигателем переменного тока путем изменения амплитуды и частоты питающего напряжения. Частотное управление асинхронными электродвигателями осуществляется двумя основными способами (методами):

– скалярный (вольт–частотный) в соответствии с функциональной характеристикой, связывающей напряжение и частоту статора электродвигателя

$$\left(\frac{U}{f} = const - \text{линейный закон управления, } \frac{U}{f^2} = const - \text{квадратичный}$$

закон управления);

– векторный.

Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы используют блочно-модульные принципы комплектования и реализуются по структурам скалярного и векторного частотного управления. Выбор структуры реализации и закона скалярного управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода для конкретного производственного механизма определяется требованиями к статическим (в первую очередь к диапазону регулирования скорости) и динамическим характеристикам электропривода.

2. Описание технологического процесса

2.1 Объект автоматизации

Объект управления автоматизированного электропривода – мешалка для жидкостей.

Для производства суспензий, эмульсий, а также смесей твердых веществ, применяется перемешивание. Также этот процесс используется на химических производствах для активизации процессов массообмена и теплообмена. Кроме того, интенсивное перемешивание требуется для проведения многих непрерывных химических процессов.

Существует несколько видов перемешивания и оборудования для его проведения в зависимости от агрегатного состояния смешиваемых материалов. Химическая реакция и перемешивание - процессы, которые могут протекать как отдельно, так и совместно, а также совпадать по времени и по месту проведения. Для отдельного проведения процесса перемешивания используются смесители, а для одновременного проведения перемешивания и химического превращения - реакционные аппараты, оснащенные мешалками.

Наиболее распространенным методом перемешивания жидких сред в промышленности является перемешивание при помощи механических мешалок, совершающих колебательные/вращательные движения. Также существуют и другие методы:

- барботажный;
- перемешивание посредством размещения в потоке статических турбулизирующих устройств;
- перемешивание при помощи центробежных/струйных насосных установок.

Смешивая два вещества или более, мы должны получить смесь, компоненты которой максимально равномерно распределены. Заметим, что вещества в смеси взаимно распределяются, однако химически они не соединяются.

На начальном этапе процесса смешения компоненты существуют отдельно друг от друга или лишь незначительно перемешаны. После длительного перемешивания происходит интенсивное взаимное распределение, которое ведёт к получению общего равномерного распределения.

2.1.1 Технологические операции на основе смешения

Перемешивание, как процесс, решает ряд разнообразных задач технологического характера:

- смешивание двух или более компонентов в виде жидкостей;
- растворение твердых веществ в жидкой фракции;
- эмульгирование (тонкое распределение двух нерастворимых жидкостей друг в друге);
- суспендирование (тонкое распределение нерастворимых твёрдых веществ в жидкости).

Для оценки перемешивания используют показатель M , который показывает степень равномерного распределения в диапазоне от 0 до 1. При нулевом перемешивании степень смешения M составляет 0, а 1 при идеальном равномерном распределении. При смешении показатель M растёт, начиная с 0. Сначала очень быстро, затем нарастание замедляется. И по окончании времени перемешивания он приближается к $M = 1$.



Рисунок 4 – График показателя степени смешения

2.1.2 Механические мешалки

Механические мешалки состоят из трех основных частей таких, как перемешивающая конструкция (лопасти), редуктор и привод.

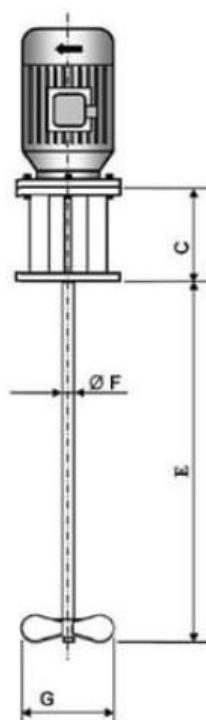


Рисунок 5 – Общий вид на мешалку

Разделяются по устройству лопастей на следующие группы:

- Лопастные — с плоскими лопастями
- Пропеллерные - с винтовыми лопастями
- Турбинные
- Специальные (якорные и др.)

Лопастные мешалки

Простейшие лопастные мешалки имеют две плоские лопасти, установленные в вертикальной плоскости, т. е. перпендикулярно к направлению вращения (рисунок 6). Лопасти укреплены на вертикальном валу, который приводится во вращение от зубчатой или червячной передачи и делает 12 — 80 об/мин. Диаметр лопастей составляет примерно 0,7 диаметра сосуда, в котором вращается мешалка. При малых числах оборотов мешалки жидкость совершает круговое движение, т. е. вращается по окружностям,

лежащим в горизонтальных плоскостях, в которых движутся лопасти. В этих условиях отсутствует смешивание различных слоев жидкости и интенсивность перемешивания низкая

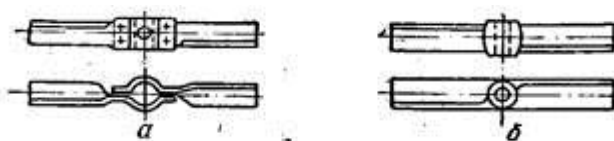


Рисунок 6 - Лопастные мешалки (а - стальная; б – чугунная)

Достоинства лопастных мешалок:

- простота устройства и дешевизна изготовления;
- вполне удовлетворительное перемешивание умеренно вязких жидкостей.

Недостатки:

- малая интенсивность перемешивания вязких жидкостей;
- непригодность для перемешивания легко расслаивающихся веществ.

Основные области применения лопастных мешалок:

- перемешивание жидкостей небольшой вязкости;
- растворение и суспендирование твердых веществ;
- грубое смешение жидкостей.

Пропеллерные мешалки

Лопастные пропеллерные мешалки (рисунок 7) изогнуты по профилю судового винта, т. е. с постепенно меняющимся наклоном, почти от 0° у оси до 90° на конце лопасти. Вращаясь в жидкости, лопасти действуют наподобие винта, а жидкость, окружающая пропеллер, как бы является гайкой и перемещается в направлении оси мешалки. Это осевое движение складывается с круговым перемещением жидкости, благодаря чему возникает ее винтовое движение. Если винтовая поверхность пропеллера правая, а вращение его происходит по часовой стрелке, то осевое движение жидкости направлено вверх и в сосуде возникает циркуляция жидкости, показанная на рисунке 7 (справа)

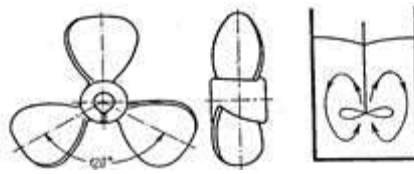


Рисунок 7 – Пропеллерная мешалка

Достоинства пропеллерных мешалок:

- интенсивное перемешивание;
- умеренный расход энергии, даже при значительном числе оборотов;
- невысокая стоимость.

Недостатки:

- малая эффективность перемешивания вязких жидкостей,
- ограниченный объем интенсивно перемешиваемой жидкости.

Пропеллерные мешалки применяются главным образом для следующих, целей:

- интенсивное перемешивание маловязких жидкостей;
- приготовление суспензий и эмульсий;
- взмучивание осадков, содержащих до 10% твердой фазы, состоящей из частиц размером до 0,15 мм.

Турбинные мешалки

Турбинные - мешалки бывают двух типов: открытые (рисунок 9, а и б) и закрытые (рисунок 8, в), имеющие лопастное в: колесо с каналами (наподобие рабочего колеса центробежного насоса). Турбинные мешалки работают при 100 - 350 об/мин и производят интенсивное перемешивание жидкости.

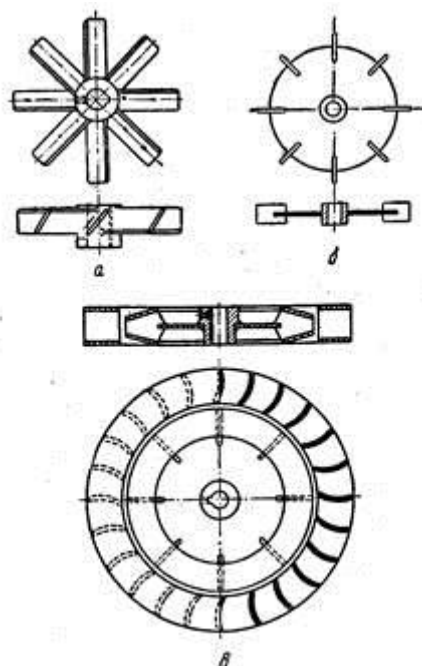


Рисунок 8 – Турбинные мешалки (а и б - открытые; в - закрытая с направляющим аппаратом)

Открытые турбинные мешалки представляют собой, по существу, усовершенствованную конструкцию простых лопастных мешалок. Вращение нескольких лопастей, расположенных под углом к вертикальной плоскости, создает наряду с радиальными потоками осевые потоки жидкости, что способствует интенсивному перемешиванию ее в больших объемах. Интенсивность перемешивания возрастает при установке в сосуде отражательных перегородок.

Достоинства турбинных мешалок:

- быстрота перемешивания и растворения,
- эффективное перемешивание вязких жидкостей,
- пригодность для непрерывных процессов.

Недостатком турбинных мешалок является сравнительная сложность и высокая стоимость изготовления. Области применения турбинных мешалок:

- интенсивное перемешивание и смешивание жидкостей различной вязкости, которая может изменяться в широких пределах (мешалки открытого типа до 10^5 спз, мешалки закрытого типа до $5 \cdot 10^5$ спз);

- тонкое диспергирование и быстрое растворение;
- взмучивание осадков в жидкостях, содержащих 60% и более твердой фазы (для открытых мешалок — до 60%); допустимые размеры твердых частиц: до 1,5 мм для открытых мешалок, до 25 мм для закрытых мешалок.

Специальные мешалки

Для перемешивания вязких жидкостей и пастообразных материалов применяют так называемые якорные мешалки с лопастями, изогнутыми по форме стенок и днища сосуда. Якорные мешалки очищают стенки аппаратов от налипающего на них материала, благодаря чему улучшается теплообмен и предотвращаются местные перегревы перемешиваемых веществ.

Барабанная мешалка (рисунок 9) представляет собой лопастной барабан в виде так называемого беличьего колеса. Мешалки этой конструкции создают большую подъемную силу и потому весьма эффективны при проведении реакций между газом и жидкостью, а также при получении эмульсий, обработке быстро расслаивающихся суспензий и взмучивании тяжелых осадков

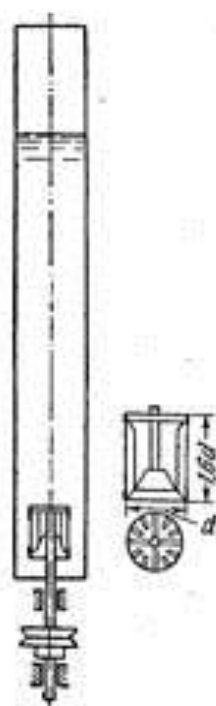


Рисунок 9 – Барабанная мешалка

Рекомендуемые условия применения барабанных мешалок: отношение диаметра барабана к диаметру сосуда от 1:4 до 1:6, отношение высоты жидкости к диаметру барабана не менее 10.

3. Выбор электрооборудования

Полная схема подключения преобразователя частоты и асинхронного двигателя с учетом требований электромагнитной совместимости представлена на рисунке 1.

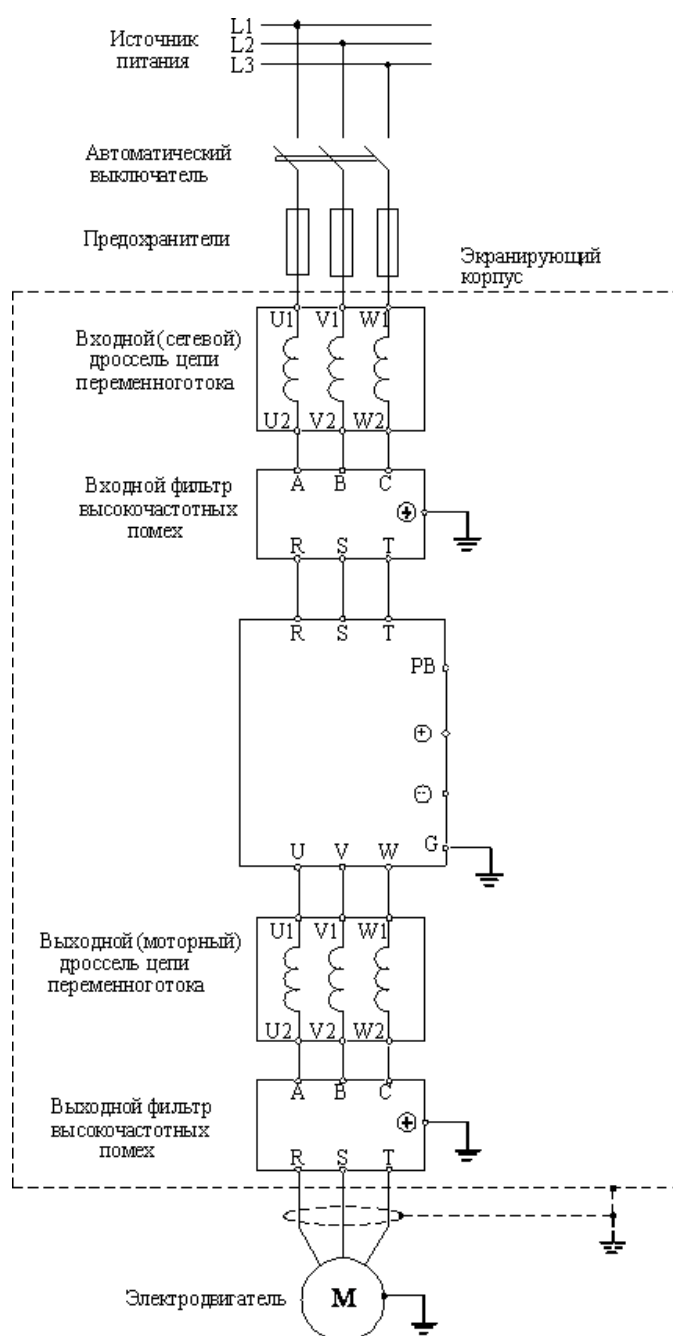


Рисунок 10 – Схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода

Выбор преобразователя частоты

По характеру нагрузки способ управления скоростью двигателя в системе ПЧ-АД был выбран скалярный.

Для начала необходимо определить тип двигателя, для которого подбирается преобразователь частоты. Если трехфазный асинхронный двигатель 380 или 220В, для его управления можно использовать преобразователи частоты серии Micro Drive FC51 или Hvac Drive FC101 фирмы Danfoss. Если используется синхронный двигатель с постоянными магнитами напряжением 380 или 220В, тогда для его управления подойдет только серия FC101. Если двигатель однофазный, тогда для его управления необходимо рассмотреть другие способы регулирования. В случае с двигателем постоянного тока необходимо рассмотреть другие специализированные преобразователи постоянного тока.

Теперь необходимо уточнить напряжение питания в сети. В случае трехфазного напряжения 380В можно использовать серии FC51 и FC101. Если напряжение однофазное 220В, тогда в данном случае двигатель должен быть подключен по схеме на 220 В и ток нужно указывать именно для этого напряжения.

Если мощность двигателя лежит в диапазоне от 0,18 до 22 кВт, то отлично подходят преобразователи серии FC51. Выбираем мощность преобразователя частоты по току двигателя. По заданию был выдан асинхронный двигатель RA132SB2.



Рисунок 11 – Двигатель асинхронный RA132SB2

Таблица 1 – Паспортные данные двигателя RA132SB2

Заданные величины	Условное обозначение	Единица измерения	Численное значение
Фазное напряжение	U_{ϕ}	В	220
Линейное напряжение	$U_{л}$	В	380
Мощность двигателя	$P_{\text{дв.}}$	Вт	7500
КПД	η_n	%	88,1
Синхронная частота вращения	n_c	об/мин	3000
Коэффициент мощности	$\cos \varphi_n$	о.е.	0,89
Номинальное скольжение	S_n	%	3,7
Кратность пускового тока	k_i	о.е.	7
Кратность пускового момента	k_n	о.е.	2,5
Кратность максимального момента	k_{max}	о.е.	3,1
Кратность минимального момента	k_{min}	о.е.	1,7
Коэффициент загрузки двигателя	$P_{\text{жс}}$	о.е.	0,75
Число пар полюсов	p	-	1
Частота питающей сети	f	Гц	50
Число фаз двигателя	m	-	3

Номинальный фазный ток:

$$I_{\phi n} = \frac{P_{\text{дв.}}}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{7500}{3 \cdot 220 \cdot 0,89 \cdot 0,881} = 14,493 \text{ A}$$

По каталогу смотрим, что преобразователь частоты модели Danfoss VLT Micro FC-051 подходит под наши требования электропривода.



Рисунок 12 – Преобразователь частоты Danfoss VLT Micro FC-051

Таблица 2 – Характеристики преобразователя частоты

Модель	Ток, А	Мощность, кВт	Размеры, ВхШхГ	Вес, кг
Danfoss VLT Micro FC-051	15,5	7,5	239x90x194	3

Выбор автоматического выключателя

Для защиты преобразователя частоты применяют автоматические выключатели с время-токовой характеристикой «**В**» и быстродействующие плавкие предохранители.

Аппараты категории **В** обладают меньшей чувствительностью, чем относящиеся к типу А. Электромагнитный расцепитель в них срабатывает при превышении номинального тока на 200%, а время на срабатывание составляет 0,015 сек. Срабатывание биметаллической пластины в размыкателе с характеристикой **В** при аналогичном превышении номинала **АВ** занимает 4-5 сек.

Аппараты защиты решают две основные задачи: предотвращение разрушения, плавления и, что крайне опасно, возгорания изоляции подводящей и приборной электропроводки при сверхтоках, которые могут возникнуть при внутренних коротких замыканиях, а также, по возможности, ограничение токовых нагрузок во входных цепях полупроводниковых приборов преобразователя частоты. Такими входными цепями являются выпрямительные мосты.

Автоматические выключатели являются защитными аппаратами многократного действия и предназначены для защиты вентиляльных преобразователей от внешних коротких замыканий и перегрузок по току. Автоматические выключатели переменного тока устанавливаются перед преобразователем. Так же они обеспечивают разрыв цепи при ремонтных работах. Автоматический выключатель выбирается по условию:

$$I_{авн} \geq (1,5 \div 2,0) \cdot I_{пчн},$$

где $I_{авн}$ – номинальный ток автоматического выключателя, А;

$I_{пчн}$ – номинальный выходной ток преобразователя частоты, А.

Выбираем трёхполюсный автоматический выключатель фирмы IEK ВА 47-29 В25, 25А.



Рисунок 13 – Автоматический трёхполюсный выключатель
IEK ВА 47-29 В25

Выбор предохранителей

Защита силовых цепей частотных преобразователей от токов короткого замыкания необходимо выполнять предохранителями, плавкие вставки которых разрушаются при превышении 10 кратного значения номинального тока в течение 10 миллисекунд.

Известно, что обычные предохранители могут защитить оборудование при условии 15 кратного превышения номинального тока в течении 10 мс., тогда как быстродействующие предохранители срабатывают при 5-6 кратном превышении тока.

По каталогу выбираем для нашего конкретного преобразователя частоты быстрый предохранитель EATON 170M1563D на 40А.



Рисунок 14 – Быстрый предохранитель EATON 170M1563D

Выбор дросселей и фильтров

По номинальному выходному току, выбранного преобразователя частоты, выбираем сетевой и моторный дроссели, входной и выходной фильтры. Выбранные фильтры и дроссели приведены ниже.

Таблица 3 – Характеристики дросселей

Тип сетевого дросселя цепи переменного тока	Ток, А	Мощность, кВт	Индуктивность, мГн
ФС-710-3	18	7,5	0,71

Таблица 4 – Характеристики дросселей

Тип моторного дросселя цепи переменного тока	Ток, А	Мощность, кВт	Индуктивность, мГн
ФМ-390-3	18	7,5	0,39

Таблица 5 – Характеристики фильтров

Тип входного фильтра ВЧ-помех	Ток, А	Мощность, кВт
ФЭМС-LC-5.5-7.5	16	7,5

Таблица 6 – Характеристики фильтров

Тип выходного фильтра ВЧ-помех	Ток, А	Мощность, кВт
ФЭММ-LC-5.5-7.5	16	7,5

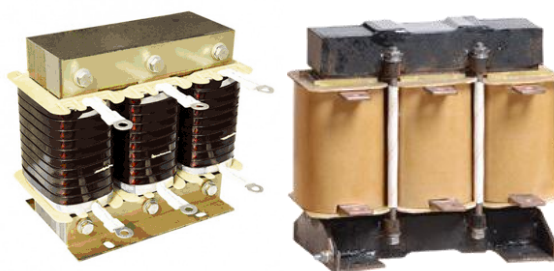


Рисунок 15 – Сетевой и моторный дроссели



Рисунок 16 – Входной и выходной фильтры

Выбор питающих кабелей

Кабели, которые используются для подключения к источнику питания частотного преобразователя, а также для подключения преобразователя частоты к асинхронному двигателю, должны соответствовать требованиям электромагнитной совместимости, номинальному току на выходе частотного преобразователя, температуре нагрева проводников.

При работе преобразователя частоты создается высокий уровень импульсных помех в кабеле преобразователь частоты – электродвигатель. В

зависимости от длины кабеля и условий прокладки будет определяться уровень помех на электронные устройства:

1. При длине кабеля до 2 м необходимость в экранировании обычно отсутствует.

2. В прочих случаях необходимость экранирования кабеля зависит от условий прокладки кабелей (силовых и сигнальных) и насыщенности предприятия (цеха) электронным оборудованием, работа которого может нарушаться помехами от преобразователя частоты.

3. Допускается прокладка обычного кабеля в заземленной металлической трубе или отдельном металлическом коробе без разрывов.

4. Экранированный кабель можно заменить бронированным.

Для увеличения предельной длины кабеля применяют дроссели на выходе преобразователя частоты для снижения импульсов напряжения на зажимах электродвигателя, что позволяет исключить пробой изоляции двигателя и повысить надежность частотно-регулируемого электропривода в целом.

Сечение и марка кабеля выбирается на основании условия:

$$I_{\text{доп}} \geq \sum I_{\text{ном}} \text{ЭО},$$

где $\sum I_{\text{ном}} \text{ЭО}$ – сумма номинальных токов преобразователя частоты и асинхронного двигателя.

По результатам расчета выбирается четырехжильный кабель. Возможно применение кабеля ВВГ 4х4. Это кабель силовой с ПВХ изоляцией и ПВХ оболочкой, для прокладки в трубе или коробе с допустимым током нагрузки до 34 А.

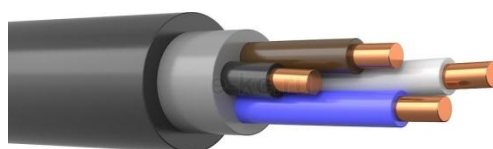


Рисунок 17 – Кабель ВВГ 4х4.

4. Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя.

Синхронная угловая скорость вращения двигателя:

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314,16 \text{ рад / с}$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{\text{об.н}} = (1 - S_n) \cdot n_c = (1 - 0,037) \cdot 3000 = 2889 \text{ об / мин}$$

Номинальная угловая скорость:

$$\omega_{\text{об.н}} = (1 - S_n) \cdot \omega_c = (1 - 0,037) \cdot 314,16 = 302,536 \text{ рад / с}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{об.н}} = \frac{P_{\text{об}}}{\omega_{\text{об.н}}} = \frac{7500}{302,536} = 24,79 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для расчетов статических и динамических характеристик асинхронного двигателя найдем параметры схемы замещения. Т – образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы приведена на рисунке 18

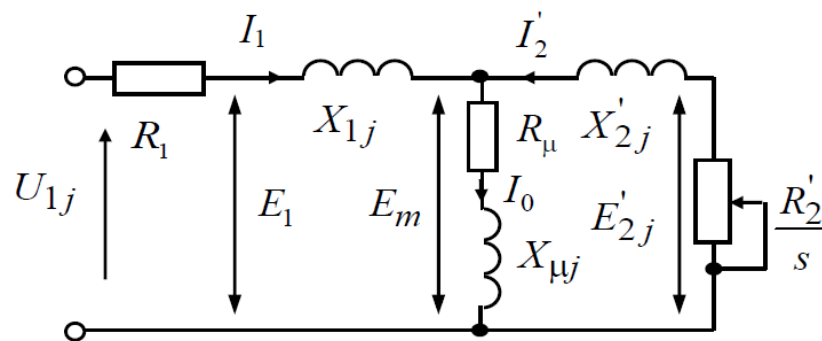


Рисунок 18- Схема замещения асинхронного двигателя

Асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при загрузке на 10 – 15 % меньше номинальной. Коэффициент мощности при нагрузке равной значительно отличается от мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие сильно зависит от мощности двигателя и для известных серий асинхронных двигателей с достаточной для практики точностью подчиняется зависимости, приведённой на рис.19.

Коэффициент мощности при частичной нагрузке:

$$\cos \varphi_{p^*} = 0,963 \cdot \cos \varphi_n = 0,857$$

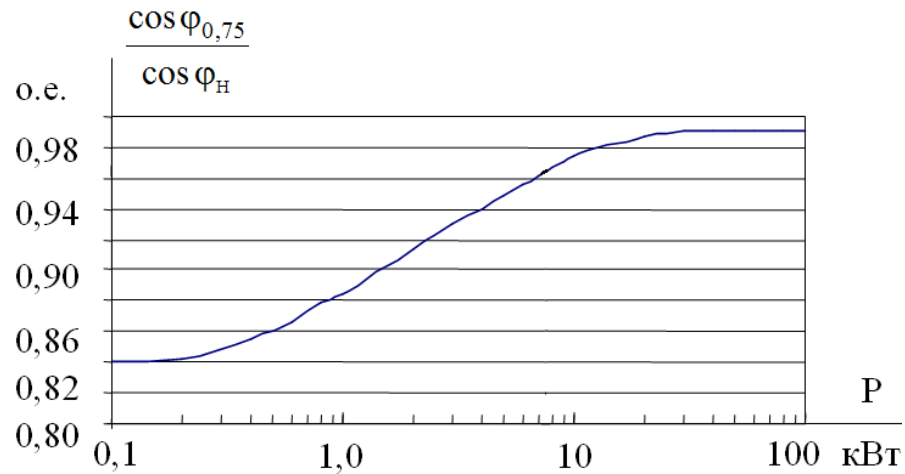


Рисунок 19 – Зависимость $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_n$ от мощности асинхронных двигателей

Коэффициент загрузки двигателя принимаем $p^* = 0,75$ из-за указанных выше особенностей проектирования асинхронных двигателей.

Тогда ток статора двигателя при частичной нагрузке равен:

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_{ог}}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_n} = \frac{0,75 \cdot 7500}{3 \cdot 220 \cdot 0,857 \cdot 0,881} = 11,295 \text{ A}$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{p^* \cdot I_{\phi n} \cdot (1 - S_n)}{1 - p^* \cdot S_n} \right)^2}{1 - \left(\frac{p^* \cdot (1 - S_n)}{1 - p^* \cdot S_n} \right)^2}} = \sqrt{\frac{11,295^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 14,493 \cdot (1 - 0,035)}{1 - 0,75 \cdot 0,035} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot (1 - 0,035)}{1 - 0,75 \cdot 0,035} \right)^2}} = 5,101 \text{ A}$$

Из формулы Клосса следует соотношение для расчета критического скольжения:

$$S_{кр.} = S_n \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} = 0,035 \cdot \frac{3,1 + \sqrt{3,1^2 - (1 - 2 \cdot 0,035 \cdot 1 \cdot (3,1 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,035 \cdot 1 \cdot (3,1 - 1)} = 0,266 \text{ о.е.}$$

где в первом приближении коэффициент $\beta = 1$

Момент критический двигательного режима:

$$M_{кр.} = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_n \cdot C_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 302,536 \cdot 1,025 \cdot \left[0,615 + \sqrt{0,615^2 + 2,235^2} \right]} = 79,82 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Критическое скольжение:

$$S_k = \pm \frac{C_1 R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}} = \pm \frac{1,025 \cdot 0,6}{\sqrt{0,615^2 + 2,235^2}} = \pm 0,266$$

Максимальный момент двигателя:

$$M_{\max} = k_{\max} \cdot M_n = 3,1 \cdot 24,79 = 76,849 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Минимальный момент двигателя:

$$M_{\min} = k_{\min} \cdot M_n = 1,7 \cdot 24,79 = 42,143 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Предварительно для расчёта активных и индуктивных сопротивлений (параметров схемы замещения) обмоток статора и ротора определяются следующие коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{\phi n}} = 1 + \frac{5,101}{2 \cdot 7 \cdot 14,493} = 1,025$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{\phi}^2 \cdot (1 - S_n)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_{\text{дв}}} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,037)}{2 \cdot 1,025 \cdot 3,1 \cdot 7500} = 2,933$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_{кр}} \right) \cdot C_1} = \frac{2,933}{\left(1 + \frac{1}{0,266} \right) \cdot 1,025} = 0,6 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора определяется по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,025 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,615 \text{ Ом}$$

Параметр γ , для определения сопротивления короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_{кр}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,266^2} - 1^2} = 3,631$$

$$X_{\kappa} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 3,631 \cdot 1,025 \cdot 0,6 = 2,235 \text{ Ом}$$

Тогда, индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, приближённо может быть рассчитано:

$$X_2' = 0,58 \cdot \frac{X_{\kappa}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{2,235}{1,025} = 1,264 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{\kappa} = 0,42 \cdot 2,235 = 0,939 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания определяется через значение ЭДС обмотки статора

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{\phi} \cdot \cos \varphi_n - R_1 \cdot I_{\phi n})^2 + (U_{\phi} \cdot \sin \varphi_n - X_1 \cdot I_{\phi n})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,89 - 0,6 \cdot 14,493)^2 + (220 \cdot 0,456 - 0,939 \cdot 14,493)^2} = \\ &= 206,017 \text{ В} \end{aligned}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{206,017}{5,101} = 40,391 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L_{1\delta} = \frac{X_1}{2\pi f} = \frac{0,939}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0029 \text{ Гн}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L_{2\delta}' = \frac{X_2'}{2\pi f} = \frac{1,264}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,004 \text{ Гн}$$

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

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f} = \frac{40,391}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,127 \text{ Гн}$$

Найденные параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Параметры схемы замещения электродвигателя RA132SB2

$R_1, Ом$	$L_{1\delta}, Гн$	$R'_2, Ом$	$L'_{2\delta}, Гн$	$L_m, Гн$
0,615	0,0029	0,6	0,004	0,127

4.1 Расчет статических характеристик асинхронного двигателя. Анализ полученных результатов

Механическая характеристика асинхронного электродвигателя рассчитывается по формуле:

$$M = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R'_2}{\omega_n \cdot s \cdot \left[(R_1 + R'_2 \cdot s^{-1})^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,6}{302,536 \cdot s \cdot \left[(0,615 + 0,6 \cdot s^{-1})^2 + (0,939 + 1,264)^2 \right]};$$

Механическая характеристика асинхронного электродвигателя изображена на рисунке 20. Она справедлива в области номинальных скоростей.

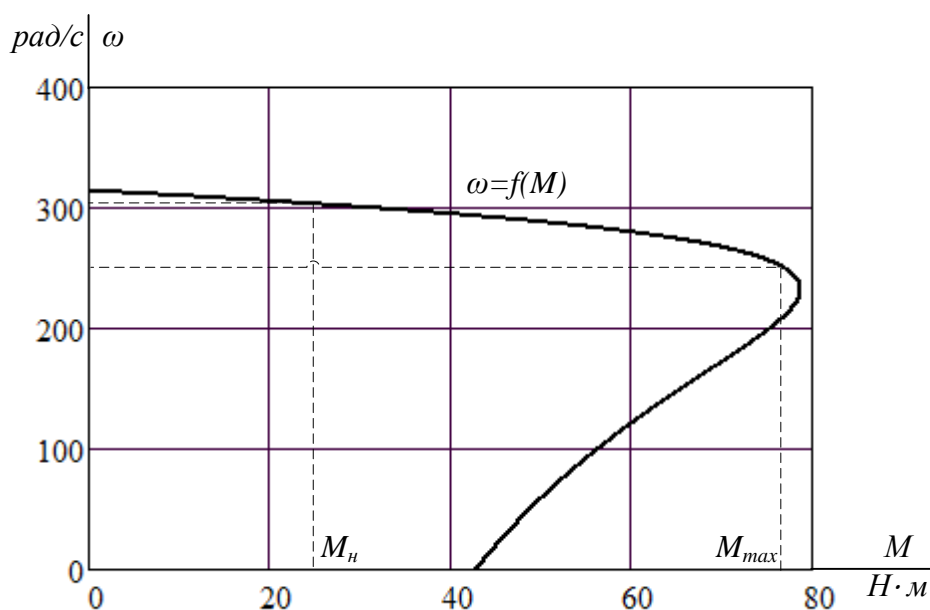


Рисунок 20 – Механическая характеристика асинхронного электродвигателя

Зависимость тока ротора I'_2 , приведенного к обмотке статора, от скольжения S определяется следующим образом:

$$I'_2(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(0,615 + \frac{0,6}{s}\right)^2 + (0,939 + 1,264)^2}} A ;$$

График электромеханической характеристики $\omega = f(I'_2)$ приведен на рисунке 21.

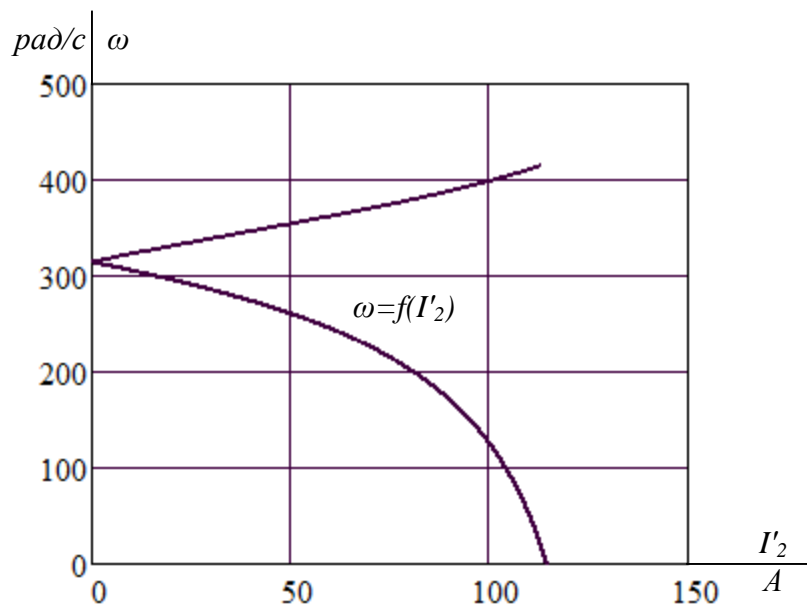


Рисунок 21 – График электромеханической характеристики тока обмотки ротора

Для построения электромеханической характеристики тока ротора использовано следующее выражение:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I'_2(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_2(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}} =$$

$$= \sqrt{5,101^2 + I'_2(\omega)^2 + 2 \cdot 5,101 \cdot I'_2(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}}$$

$$\text{Где, } \sin \varphi_{2H} = \frac{X_k}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_k^2}} = \frac{2,235}{\sqrt{\left(0,615 + \frac{0,6}{s}\right)^2 + 2,235^2}}$$

Номинальная скорость вращения двигателя равна $\omega_H = 302,536$ рад/с, ток ротора двигателя при номинальной скорости равен $I'_2(\omega_H) = 12,96$ А. На

электромеханической характеристике видно пересечение линий скорости и тока, следовательно, номинальная точка характеристики посчитана правильно.

Электромеханические характеристики тока статора двигателя приведены на рисунке 22.

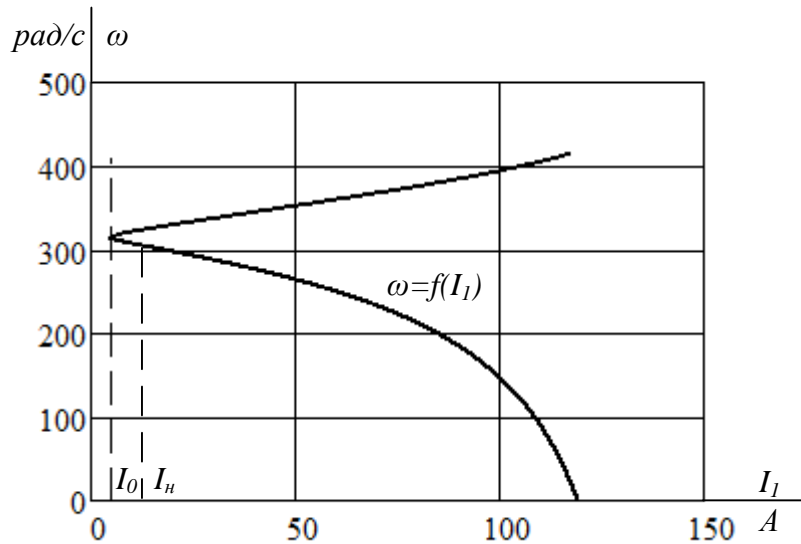


Рисунок 22 – График естественной электромеханической характеристики тока статора $I_1 = f(s)$ асинхронного двигателя

Номинальный ток статора асинхронного двигателя I_n при номинальном скольжении $S_n = 0,037$ в соответствии с электромеханической характеристикой.

Номинальный ток ротора определяется при номинальном скольжении:

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(0,615 + \frac{0,6}{0,037}\right)^2 + (0,939 + 1,264)^2}} = 12,96 \text{ A} ;$$

Синус угла между вектором фазного напряжения и сопряженным вектором тока ротора:

$$\sin \varphi_{2H} = \frac{x_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + x_{KH}^2}} = \frac{2,235}{\sqrt{\left(0,615 + \frac{0,6}{0,037}\right)^2 + 2,235^2}} = 0,132 A ;$$

Номинальный ток статора двигателя:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I'_2(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_2(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}} =$$

$$\sqrt{5,101^2 + 12,96^2 + 2 \cdot 5,101 \cdot 12,96 \cdot 0,132} =$$

$$= 14,54 A;$$

5. Расчет и моделирование переходных процессов пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть и при изменении нагрузки.

Моделирование асинхронного двигателя осуществим с помощью программы MATLAB Simulink.

Для создания имитационной модели необходимо использовать параметры схемы замещения, которые были рассчитаны выше (таблица 7)

Имитационная модель изображена на рис.23.

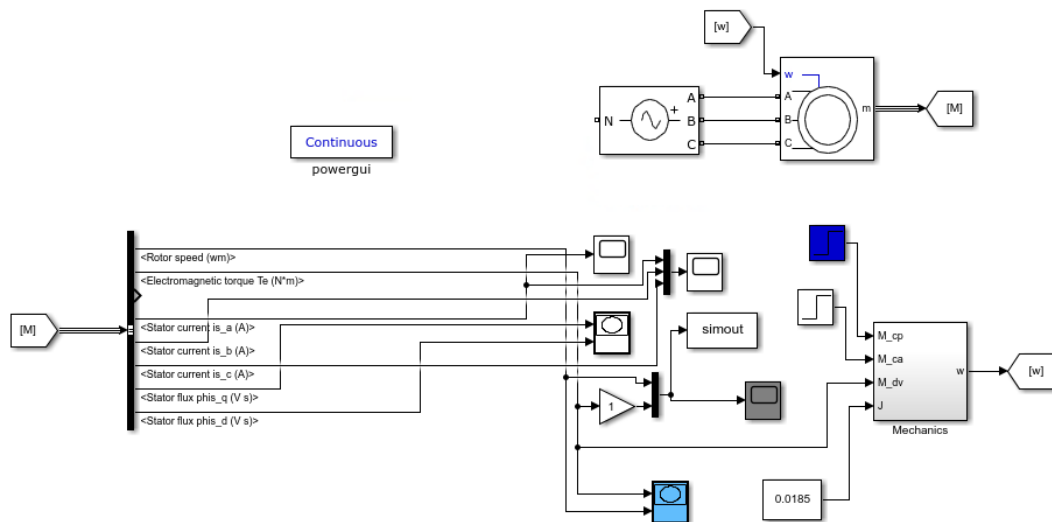


Рисунок 23 – Имитационная модель прямого пуска асинхронного двигателя

На рисунке 24 представлена модель блока двигателя с заданными параметрами схемы замещения.

Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA),Vn(Vrms),fn(Hz)]: [7500, 380, 50] ⋮

Stator resistance and inductance [Rs(ohm) Lls(H)]: [0.615 0.0029] ⋮

Rotor resistance and inductance [Rr'(ohm) Llr'(H)]: [0.6 0.004] ⋮

Mutual inductance Lm (H): 0.127 ⋮

Pole pairs p (:): 1 ⋮

Initial conditions
 [slip, th(deg), ia,ib,ic(A), pha,phb,phc(deg)]:
 [1 0 0 0 0 0 0] ⋮

Рисунок 24 – Модель блока двигателя с заданными параметрами

Ниже представлены переходные характеристики скорости и момента (рис.25), а также динамическая характеристика (рис.26) при прямом пуске АД без нагрузки и при набросе нагрузки.

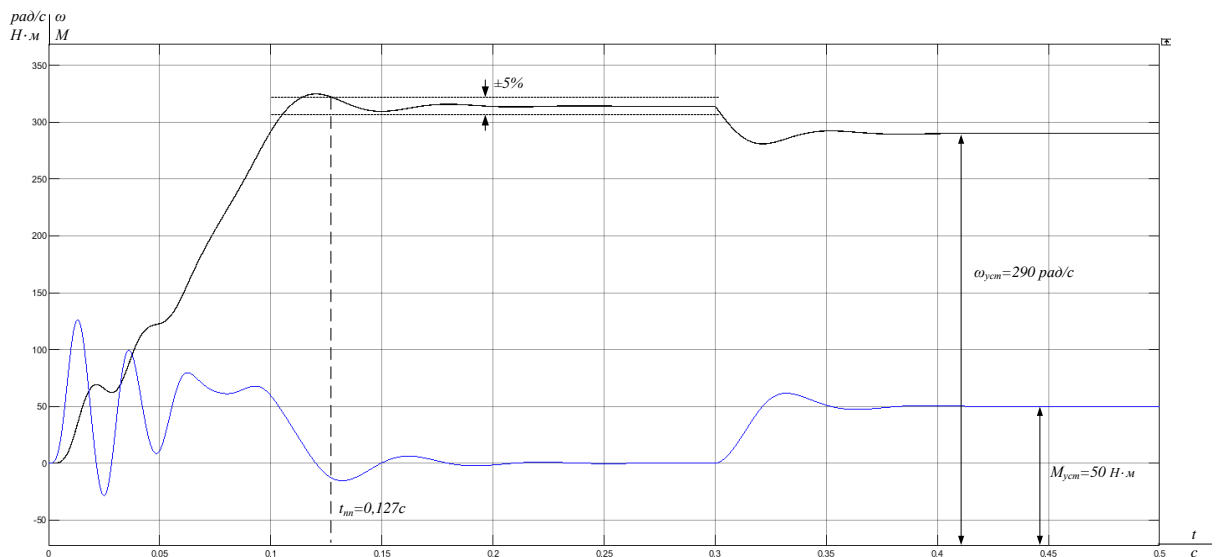


Рисунок 25 – Переходные характеристики скорости ротора и электромагнитного момента момента АД при прямом пуске с набросом нагрузки

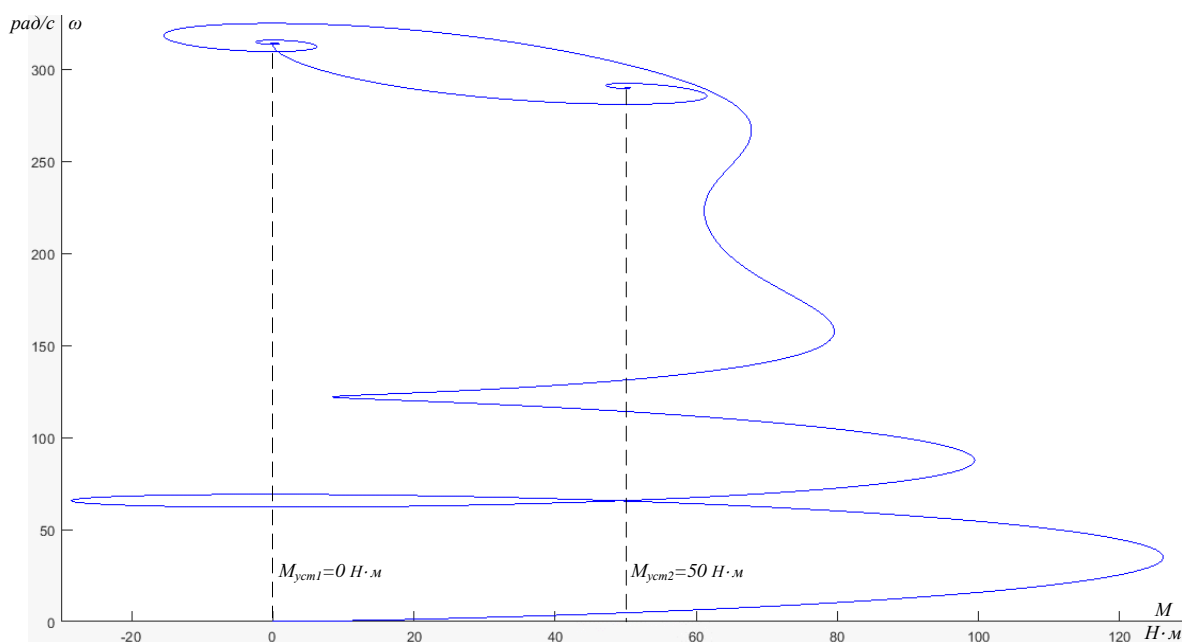


Рисунок 26 – Динамическая механическая характеристика двигателя

Приведенные выше характеристики показывают адекватность работы модели двигателя. В таблице 8 сведены расчетные параметры и параметры, полученные с имитационной модели по скорости и моменту двигателя.

Таблица 8

Параметр	Расчетная модель	Имитационная модель
ω_0 , рад/с	314,16	314,1
ω_n , рад/с	302,536	302,478
M_n , Н·м	24,79	24,795

6. Обоснование выбора функциональной схемы электропривода переменного тока со скалярным управлением

Обобщенная функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением приведена на рис.26. На схеме символом * обозначены сигналы задания и управления и приняты следующие обозначения:

$\Delta f_{1к}^*$, $\Delta U_{1к}^*$ – компенсационные сигналы управления соответственно в канале регулирования частоты и напряжения;

ω – фактическое значение угловой скорости вращения электродвигателя (ротора);

ЗИС – задатчик интенсивности скорости с линейной или S -образной характеристикой;

РС – регулятор скорости;

ФНУ1 – формирователь напряжений управления двухфазным асинхронным двигателем

$$U_{\alpha}^* = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \sin 2\pi f_1, U_{\beta}^* = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \cos 2\pi f_1;$$

ФНУ2 – преобразователь напряжений управления двухфазным двигателем в напряжения управления трехфазным двигателем.

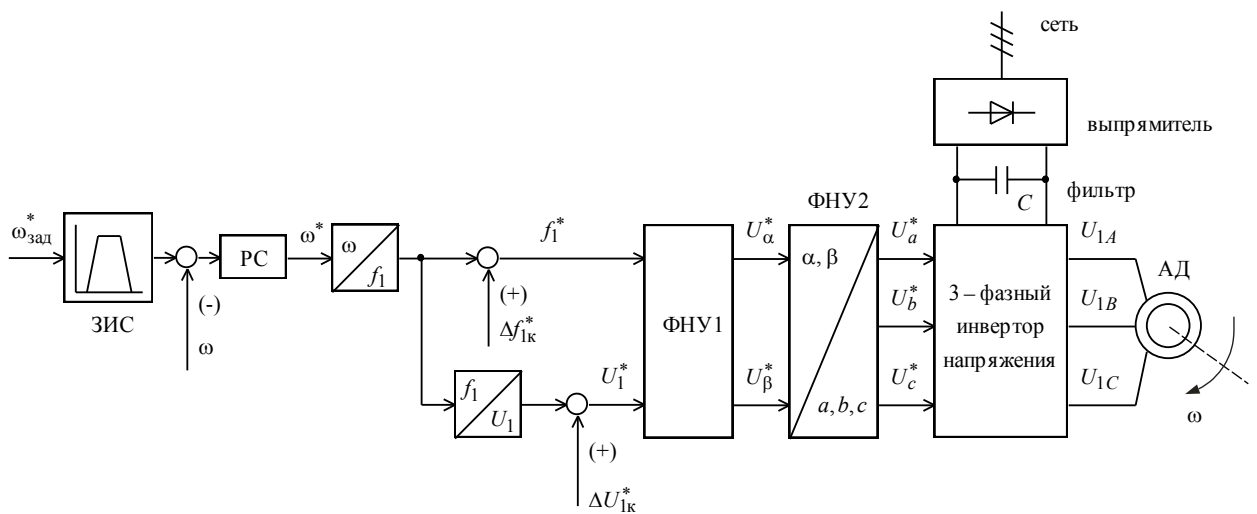


Рисунок 27 – Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

Закон частотного регулирования U/f при скалярном управлении выбирается в зависимости от характера нагрузки производственного механизма. Закон управления с линейной зависимостью между напряжением и частотой ($U_1/f_1 = const$) реализуются в преобразователях частоты для приводов производственных механизмов с постоянным моментом нагрузки.

Поддержание постоянства отношения $U_1/f_1 = const$ обеспечивает постоянство потокосцепления и критического момента двигателя во всем диапазоне регулирования скорости изменением частоты. Однако это справедливо лишь при пренебрежимо малом активном сопротивлении обмотки статора, практически же при уменьшении частоты уменьшается и максимальный момент двигателя. В простейшем случае для повышения момента двигателя на малых скоростях вращения в преобразователях предусмотрена функция повышения начального значения выходного напряжения (начального напряжения вольт-частотной характеристики), применяются модули Ud -коррекции и IR -компенсации.

Для ограничения момента двигателя в пуско-тормозных режимах электропривода механизмов, у которых по технологии невозможны механические перегрузки, применяется задатчик интенсивности (ЗИС) с линейной или S -образной характеристикой, который устанавливается на входе электропривода в канале задания скорости. В электроприводах механизмов, для которых большие кратковременные перегрузки и стопорение двигателя являются рабочими режимами, дополнительно предусматривается система ограничения максимального допустимого тока электропривода с датчиком тока и регулятором тока. Выходной сигнал регулятора тока должен так воздействовать на напряжение и частоту статора, чтобы одновременно с ограничением тока происходило и ограничение момента двигателя на допустимом уровне.

Частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением может быть и двухзонным, когда при частоте (скорости вращения) выше номинальной напряжение двигателя остаётся постоянным, равным номинальному напряжению. Длительно допустимый и кратковременно допустимый моменты двигателя в этом случае должны быть уменьшены на верхних скоростях.

Преобразователи частоты со скалярным управлением могут использоваться в многодвигательных электроприводах (без обратной связи по скорости) для управления параллельно включенными двигателями. Однако в этом случае необходимо будет решить проблемы распределения нагрузок механически взаимосвязанных двигателей и предотвращения перегрузки отдельных не связанных между собой двигателей.

Системы IR -компенсации и компенсации скольжения представляют собой нелинейные положительные обратные связи и их применение необходимо только в области малых скоростей двигателя. Ограничение тока двигателя с помощью датчика и регулятора тока необходимо в системах электроприводов, в которых возможны кратковременные перегрузки. Это исключит аварийное отключение привода средствами защитной аппаратуры. Применение систем управления с датчиками и регуляторами скорости в электроприводах со скалярным управлением представляется нецелесообразным вообще, а тем более для двигателей с самовентиляцией.

Можно рекомендовать в приводах длительного режима работы с постоянной скоростью и диапазоном регулирования скорости не больше 1:10 и без особых требований к динамике применение простейших структур и законов частотного управления:

– при вентиляторном характере нагрузки разомкнутые структуры регулирования с квадратичным законом управления $\frac{U}{f^2} = const$ и возможно с корректировкой вольт-частотной характеристики в интервале малых частот;

– при постоянной нагрузке разомкнутые структуры с линейным законом управления $\frac{U}{f} = const$ с корректировкой вольт-частотной характеристики и возможно IR -компенсации в области малых частот.

Для систем регулируемых электроприводов при диапазоне регулирования скорости более 1:10 или с жесткими требованиями к динамике более целесообразно применять системы векторного управления без датчиков скорости.

6.1 Обоснование и выбор структурной схемы электропривода переменного тока со скалярным регулированием скорости и компенсацией момента

Теоретически и практически доказано, что в классе законов U_{1j} / f_{1j} невозможно одновременно обеспечить удовлетворительные механические и энергетические характеристики в широком диапазоне скоростей и изменения нагрузки. Основная причина этого – возрастания влияния активного сопротивления обмотки статора при снижении частоты питающего напряжения. В асинхронных частотно-регулируемых электроприводах со скалярным управлением, кроме законов U_{1j} / f_{1j} , получили применение и другие законы регулирования: E_1 / f_1 , E_m / f_1 , E'_2 / f_1 .

На практике наибольшее распространение получил такие способы частотного регулирования скорости как $E_{1j} / f_{1j} = const$, $E_{1j} / f_{1j}^2 = const$, $E_{1j} / \sqrt{f_{1j}} = const$. При регулировании скорости в классе законов E_{1j} / f_{1j} необходимо повышать фазное напряжение $U_{1j} = E_{1j} + I_1 \cdot R_1$ на величину падения напряжения $I_1 \cdot R_1$ на активном сопротивлении обмотки статора, а способ регулирования скорости асинхронного двигателя получил название – частотное регулирование с IR -компенсацией.

Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией приведена на рис.28.

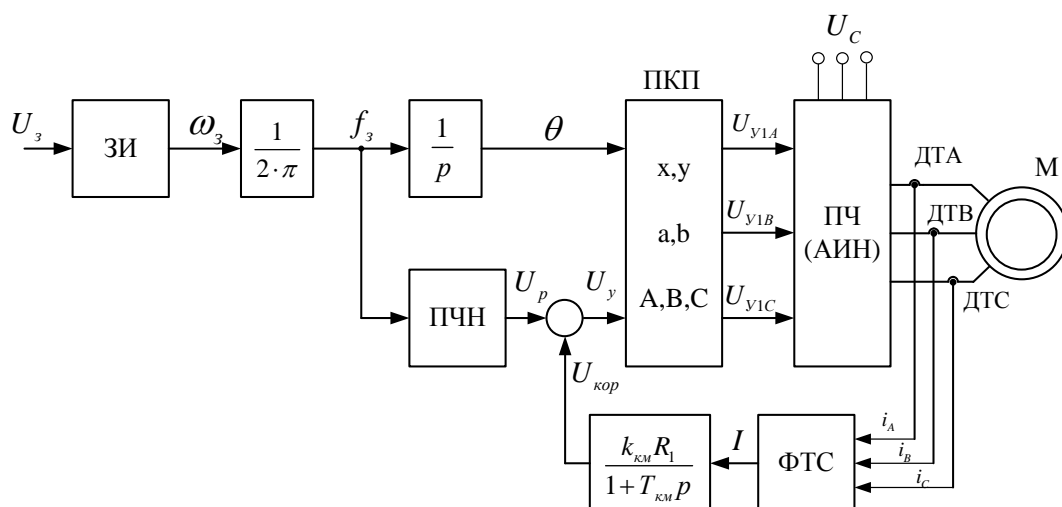


Рисунок 28 – Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией

Задатчик интенсивности формирует кривую и темп разгона двигателя. При дистанционном управлении электроприводом сигналом задания скорости является задающее напряжение U_3 . Ему соответствует задающая частота f_3 местного управления, в этом случае управление пуском и остановом двигателем производится с панели преобразователя. Блок “преобразователь частота-напряжение” ПЧН формирует требуемую зависимость скалярного управления между частотой и напряжением преобразователя, чем и устанавливается принятый закон частотного регулирования $E_{1j}/f_{1j}=\text{const}$.

При скалярной IR-компенсации сигнал управления U_y является суммой сигналов регулирования U_p и положительной обратной связи по току $U_{кор}$:

$$U_y = U_p + U_{кор} = U_p + k_{км} \cdot R_1 \cdot I ,$$

где $k_{км}$ – коэффициент положительной обратной связи по току;

R_1 - активное сопротивление фазы обмотки статора АД;

I – сигнал пропорциональный действующим значениям токов i_a, i_b, i_c обмоток статора АД.

6.2 Расчет электромеханических и механических характеристик системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» с IR-компенсацией

Выбираем частотный закон управления $\frac{U_1}{f} = const$ для электропривода мешалки. Коэффициенты положительной обратной связи по току $k_{км}=0,2; 0,5; 0,75$.

Расчет характеристик производим для частот $f_1=50; 35; 20; 5$ Гц. При законе регулирования:

$$Z_p = \frac{U_{1н}}{f_{1н}} = \frac{220}{50} = 4,4$$

Найдем относительные значения частот питающего напряжения:

$$\text{- при } f_{1н1}=50 \text{ Гц} \quad \text{-} \quad f_{1ж1} = \frac{f_{1н1}}{f_{1н}} = \frac{50}{50} = 1;$$

$$\text{- при } f_{1н2}=35 \text{ Гц} \quad \text{-} \quad f_{1ж2} = \frac{f_{1н2}}{f_{1н}} = \frac{35}{50} = 0,7;$$

$$\text{- при } f_{1н3}=20 \text{ Гц} \quad \text{-} \quad f_{1ж3} = \frac{f_{1н3}}{f_{1н}} = \frac{20}{50} = 0,4;$$

$$\text{- при } f_{1н4}=5 \text{ Гц} \quad \text{-} \quad f_{1ж3} = \frac{f_{1н3}}{f_{1н}} = \frac{5}{50} = 0,1.$$

Найдем фазное напряжение обмотки статора двигателя:

$$U_{1н1} = Z_p \cdot f_{1н1} = 4,4 \cdot 50 = 220 \text{ В.}$$

$$U_{1н2} = Z_p \cdot f_{1н2} = 4,4 \cdot 35 = 154 \text{ В.}$$

$$U_{1н3} = Z_p \cdot f_{1н} = 4,4 \cdot 20 = 88 \text{ В.}$$

$$U_{1H2} = Z_p \cdot f_{1H2} = 4,4 \cdot 5 = 22 \text{ В.}$$

В соответствии с представленными частотами питающего напряжения произведем расчет значений скорости идеального холостого хода:

$$\omega_{01} = \frac{2\pi \cdot f_{1H1}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314,159 \text{ рад/с.}$$

$$\omega_{02} = \frac{2\pi \cdot f_{1H2}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 35}{1} = 219,911 \text{ рад/с.}$$

$$\omega_{03} = \frac{2\pi \cdot f_{1H3}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 20}{1} = 125,664 \text{ рад/с.}$$

$$\omega_{04} = \frac{2\pi \cdot f_{1H4}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 5}{1} = 31,416 \text{ рад/с.}$$

Строим электромеханические характеристики $I_2^1(\omega)$ для выбранных частот по выражениям:

$$I_2^1(s, f) = \frac{U_{1H}(f) - 2 \cdot U_{VD} - 2 \cdot U_{VT}}{\sqrt{\left(R_1 + R_{1\text{доб}} + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1ж}^2(f) + \left(\frac{(R_1 + R_{1\text{доб}}) \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu\text{H}}} \cdot f_{1ж}(f)\right)^2}},$$

также, в одних осях, строим естественную электромеханическую характеристику по выражению:

$$I_2^1(s) = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{1H} + X_{2H}')^2}},$$

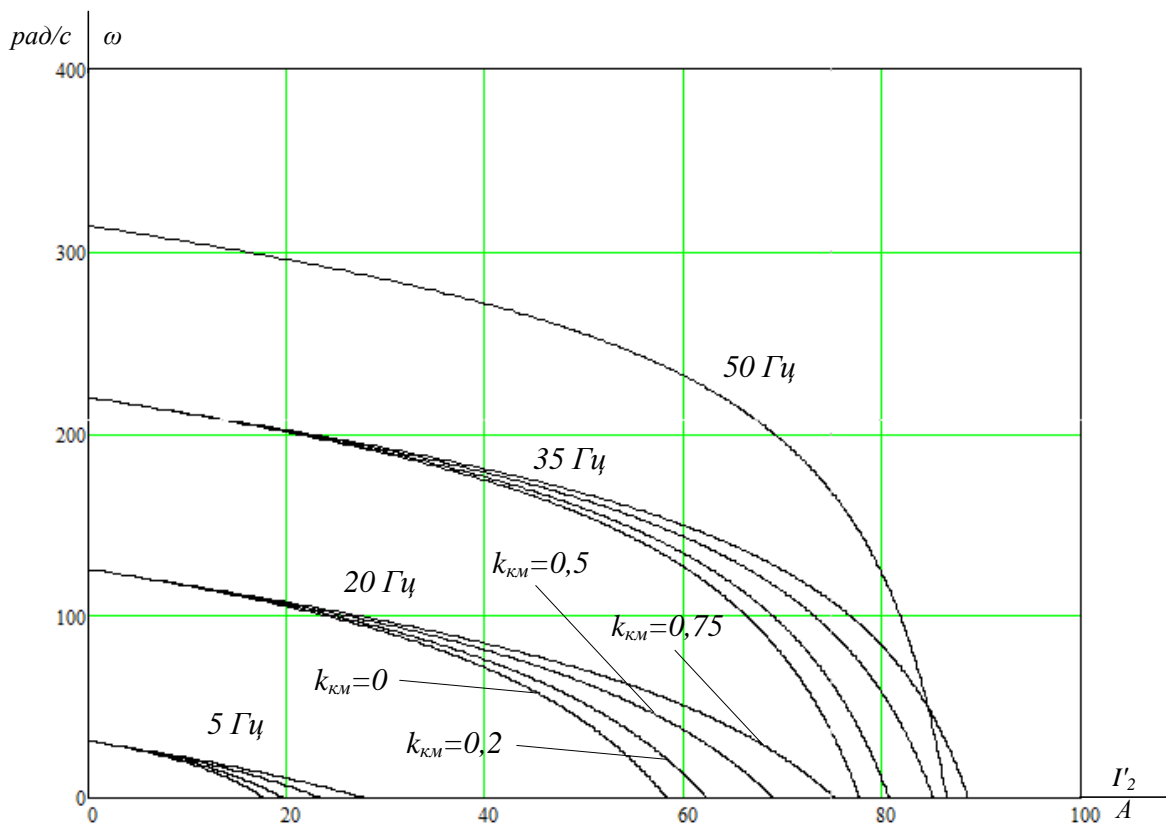


Рисунок 29 – Электромеханические характеристики $I_2^1(\omega)$

Строим электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ для выбранных частот по выражениям:

$$I_1(s, f) = \sqrt{I_0^2 + (I_2^1(s, f))^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2^1(s, f) \cdot \sin \left[\frac{X_{кн} \cdot f_{1ж}(f)}{\sqrt{(R_1 + R_{1доб} + \frac{R_2'}{s})^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1ж}^2(f)}} \right]},$$

также, в одних осях, строим естественную электромеханическую характеристику по выражению:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + (I_2^1(s))^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2^1(s) \cdot \sin \left[\frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + X_{\text{кн}}^2}} \right]}$$

где $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s)$.

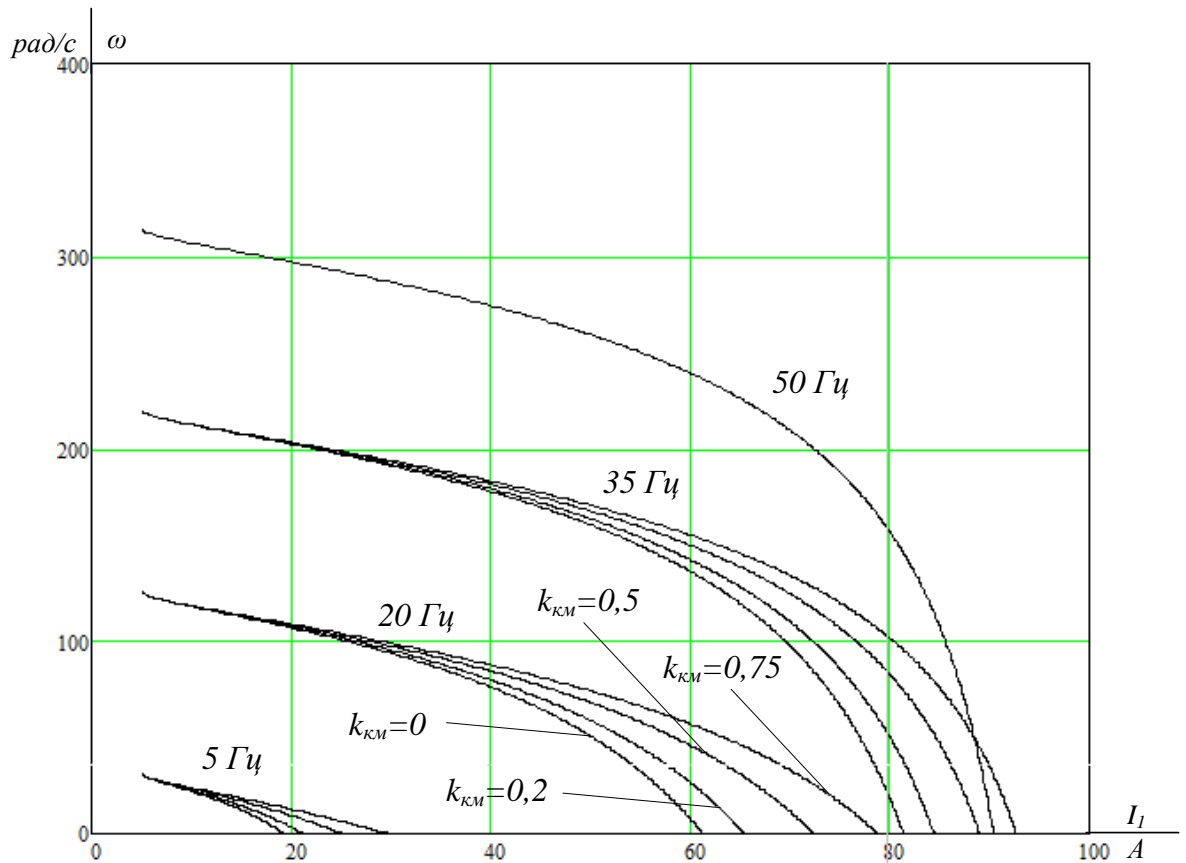


Рисунок 30 – Электромеханические характеристики $I_1(\omega)$

Строим механические характеристики $M(\omega)$ для выбранных частот по выражениям:

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_{1н}(f) - 2 \cdot U_{VD} - 2 \cdot U_{VT})^2 \cdot R_2^1}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 \cdot (f_{1ж}(f))^2 + \left(R_1 + R_{\text{доб}} + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{(R_1 + R_{\text{доб}}) \cdot R_2'}{s \cdot X_{\text{мк}} \cdot f_{1ж}(f)} \right)^2 \right]}$$

также, в одних осях, строим естественную механическую характеристику по выражению:

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

где $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s)$.

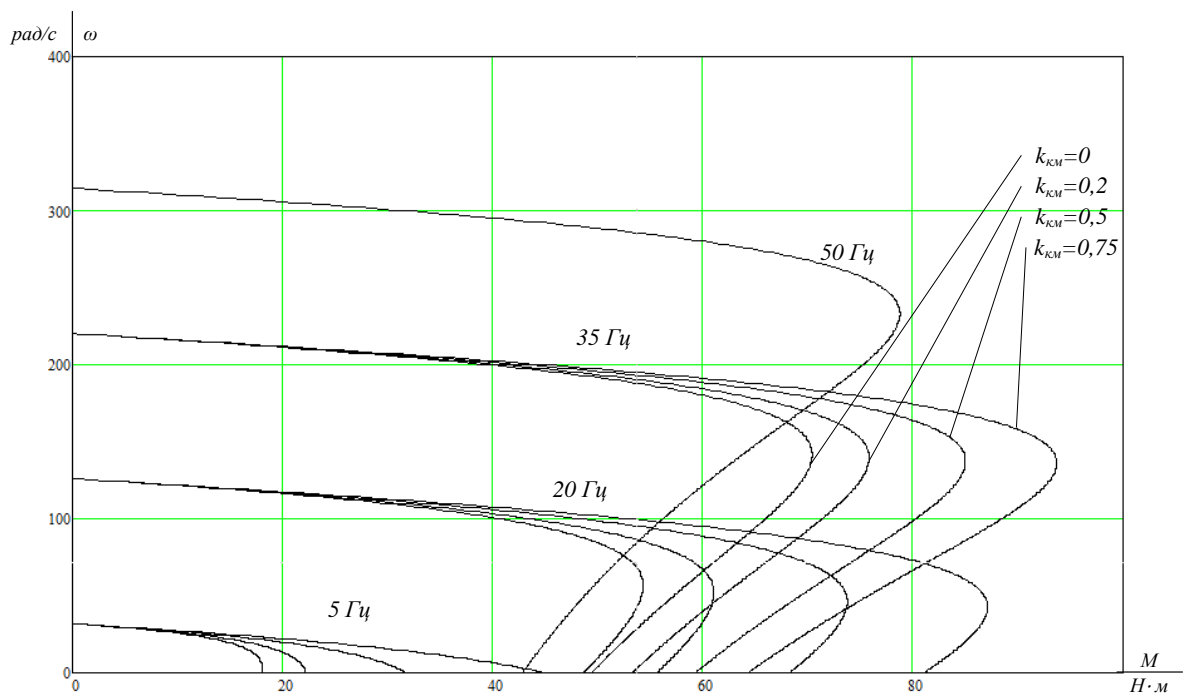


Рисунок 31 – Электромеханические характеристики $M(\omega)$

6.3 Расчет переходных процессов пуска асинхронного двигателя при применении скалярного закона управления

Моделирование асинхронного двигателя осуществим с помощью программы MATLAB Simulink.

Для создания имитационной модели необходимо использовать параметры схемы замещения, которые были рассчитаны выше.

Имитационная модель изображена на рис.31.

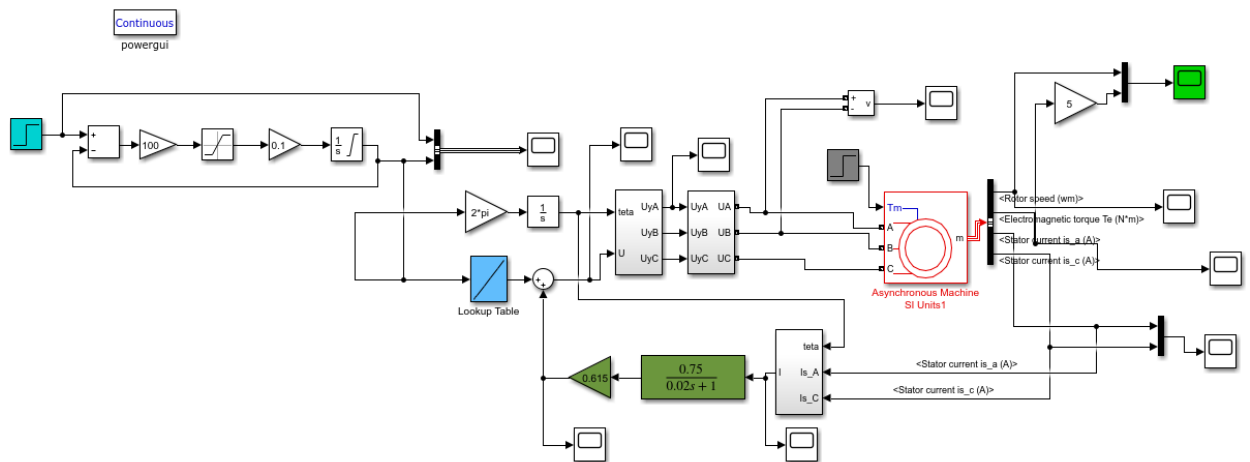


Рисунок 32 – Имитационная модель пуска асинхронного двигателя при применении скалярного закона управления

Для $k_{KM}=0,75$:

На рис. 33 представлены результаты моделирования при частоте 35 Гц. На 3 секунде был произведен наброс нагрузки. Для наглядности зависимость $M(t)$ была увеличена в 5 раз.

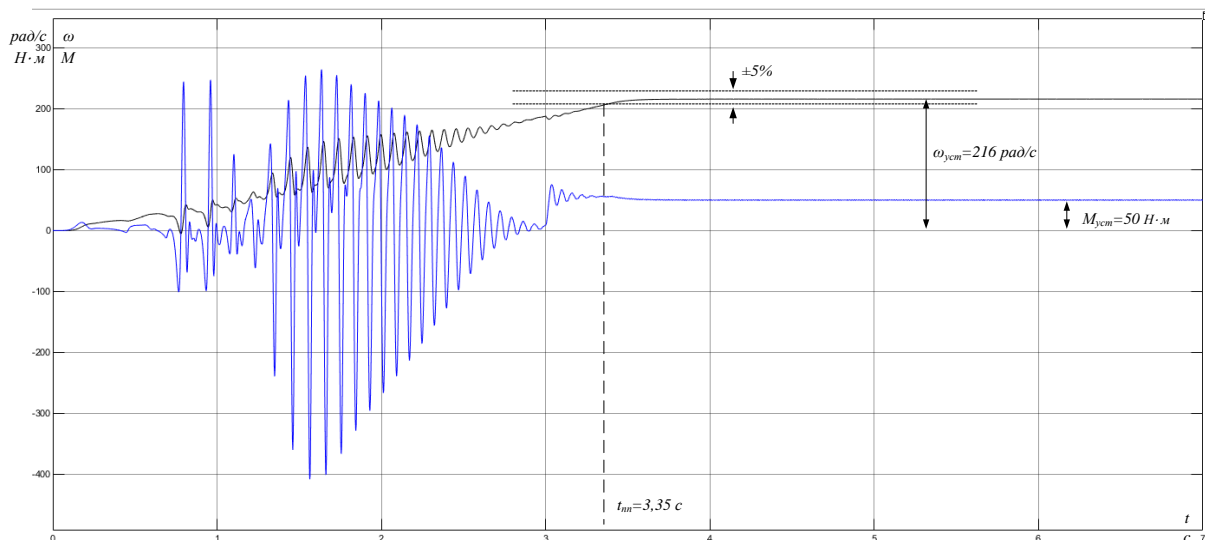


Рисунок 33 – Переходные процессы скорости и момента при частоте 35 Гц

На рис. 34 представлены результаты моделирования при частоте 20 Гц. На 3 секунде был произведен наброс нагрузки. Для наглядности зависимость $M(t)$ была увеличена в 5 раз.

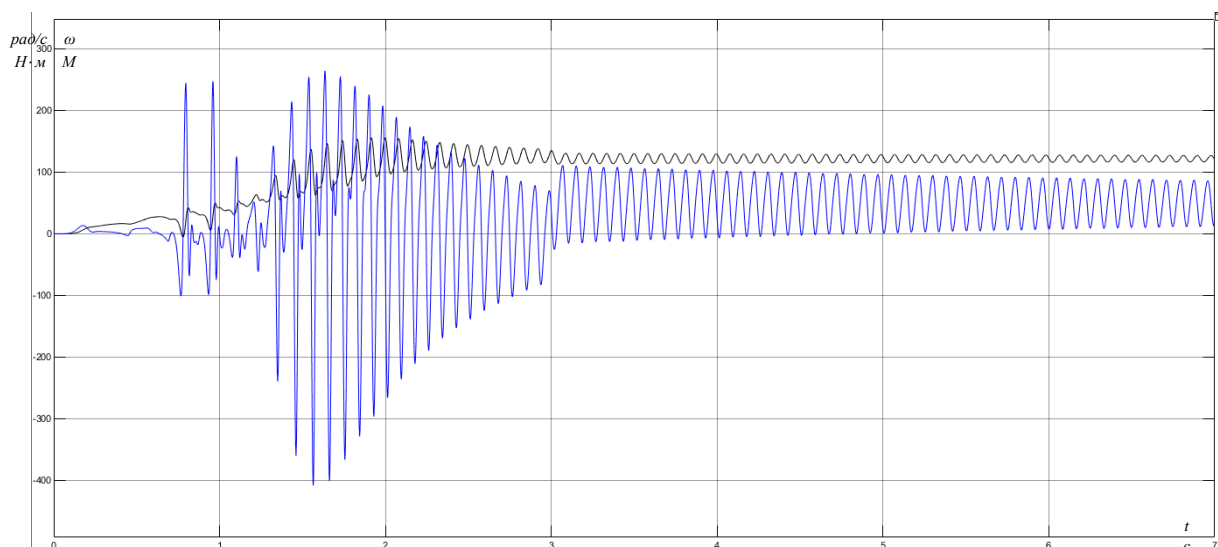


Рисунок 34 – Переходные процессы скорости и момента при частоте 20 Гц

На рис. 35 представлены результаты моделирования при частоте 5 Гц. На 3 секунде был произведен наброс нагрузки. Для наглядности зависимость $M(t)$ была увеличена в 5 раз.

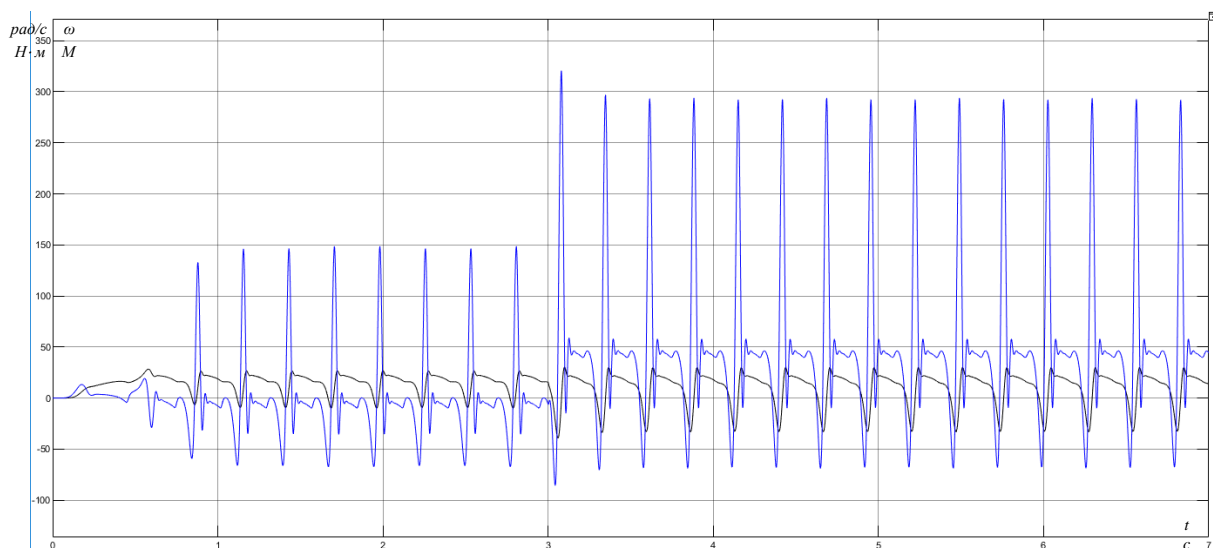


Рисунок 35 – Переходные процессы скорости и момента при частоте 5 Гц

Для $k_{KM}=0,5$:

На рис. 36 представлены результаты моделирования при частоте 35 Гц. На 3 секунде был произведен наброс нагрузки. Для наглядности зависимость $M(t)$ была увеличена в 5 раз.

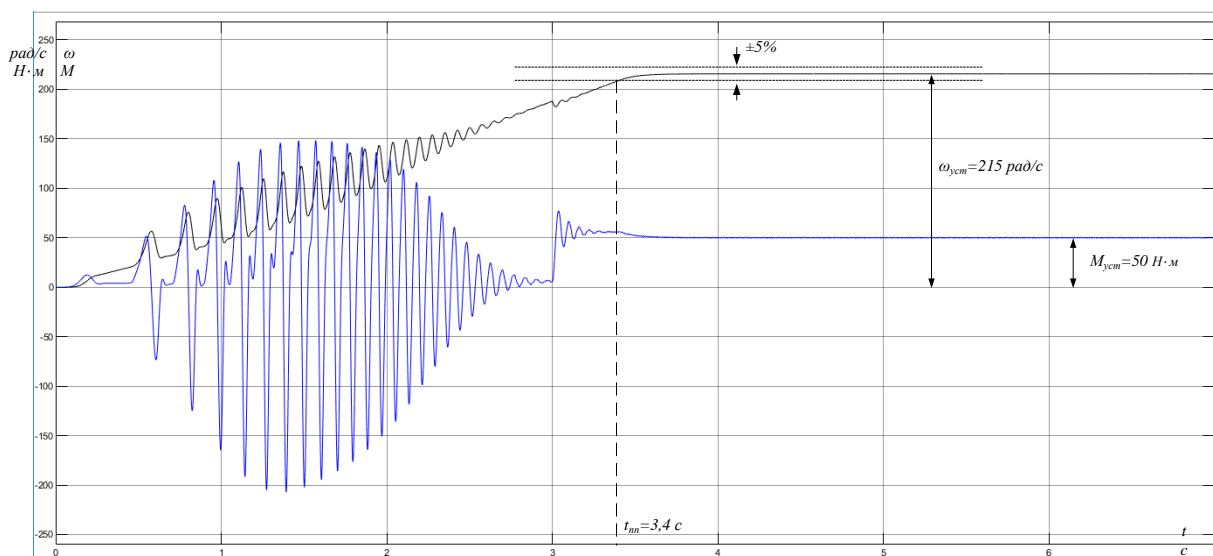


Рисунок 36 – Переходные процессы скорости и момента при частоте 35 Гц

На рис. 37 представлены результаты моделирования при частоте 20 Гц. На 3 секунде был произведен наброс нагрузки. Для наглядности зависимость $M(t)$ была увеличена в 5 раз.

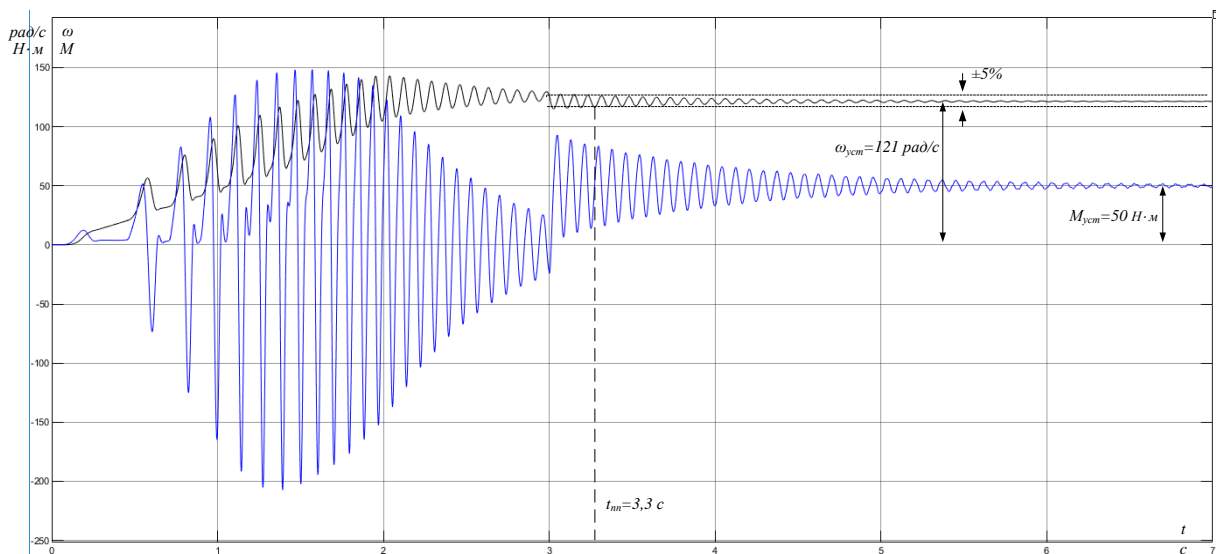


Рисунок 37 – Переходные процессы скорости и момента при частоте 20 Гц

На рис. 38 представлены результаты моделирования при частоте 5 Гц. На 3 секунде был произведен наброс нагрузки. Для наглядности зависимость $M(t)$ была увеличена в 5 раз.

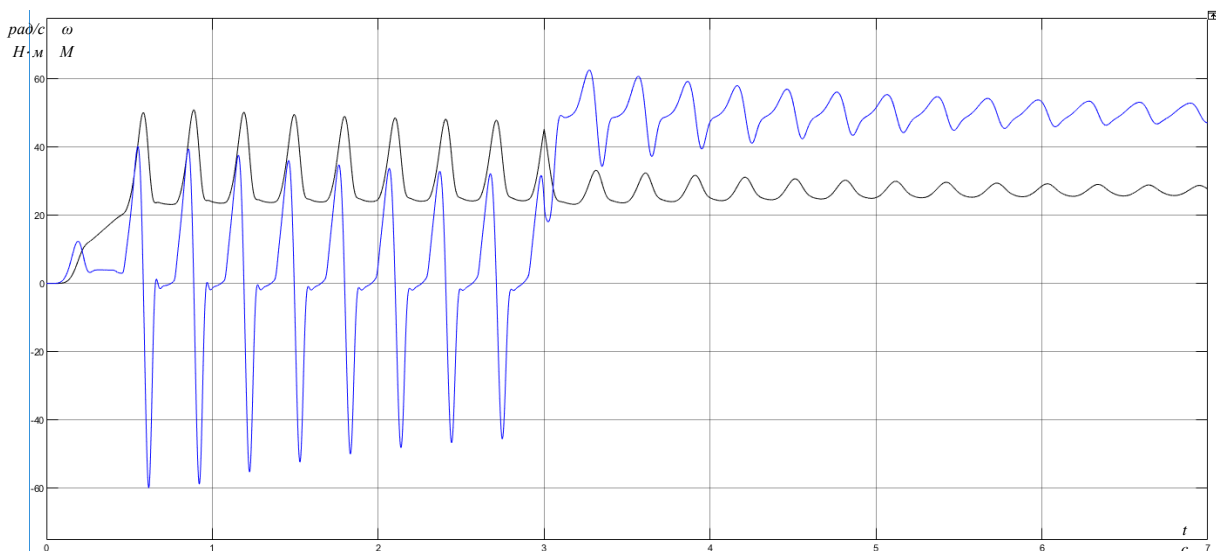


Рисунок 38 – Переходные процессы скорости и момента при частоте 5 Гц

Для $k_{KM}=0,2$:

На рис. 39 представлены результаты моделирования при частоте 35 Гц. На 3 секунде был произведен наброс нагрузки. Для наглядности зависимость $M(t)$ была увеличена в 5 раз.

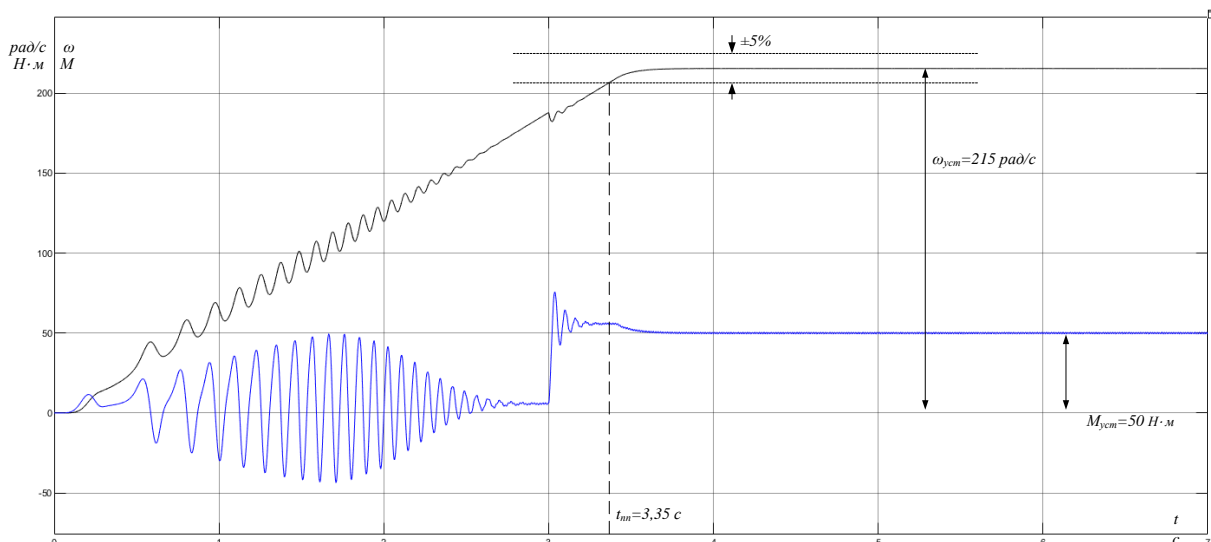


Рисунок 39 – Переходные процессы скорости и момента при частоте 35 Гц

На рис. 40 представлены результаты моделирования при частоте 20 Гц. На 3 секунде был произведен наброс нагрузки. Для наглядности зависимость $M(t)$ была увеличена в 5 раз.

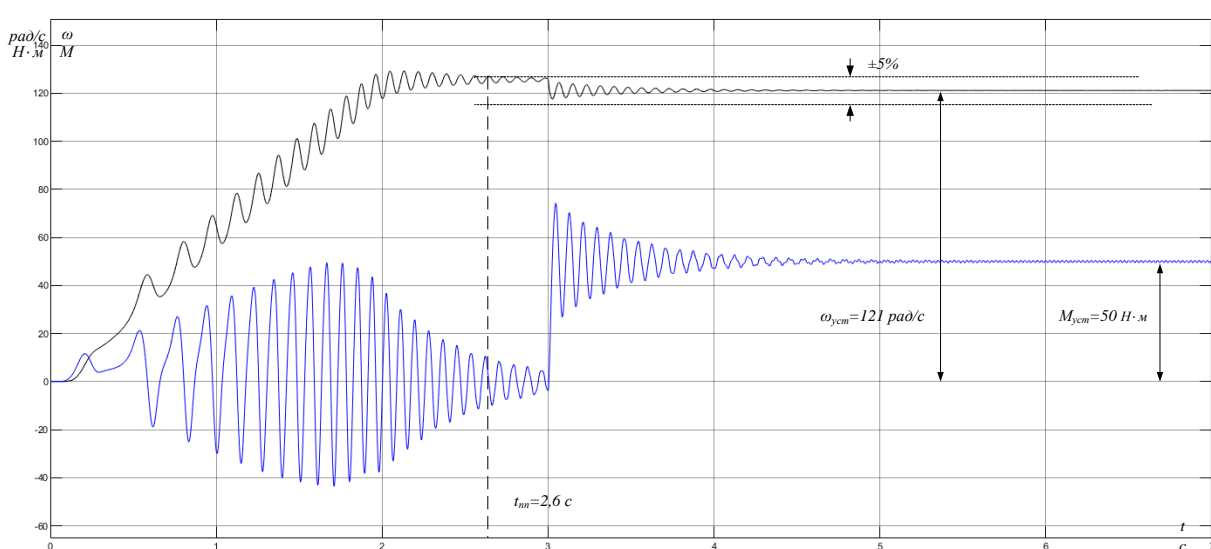


Рисунок 40 – Переходные процессы скорости и момента при частоте 20 Гц

На рис. 41 представлены результаты моделирования при частоте 5 Гц. На 3 секунде был произведен наброс нагрузки. Для наглядности зависимость $M(t)$ была увеличена в 5 раз.

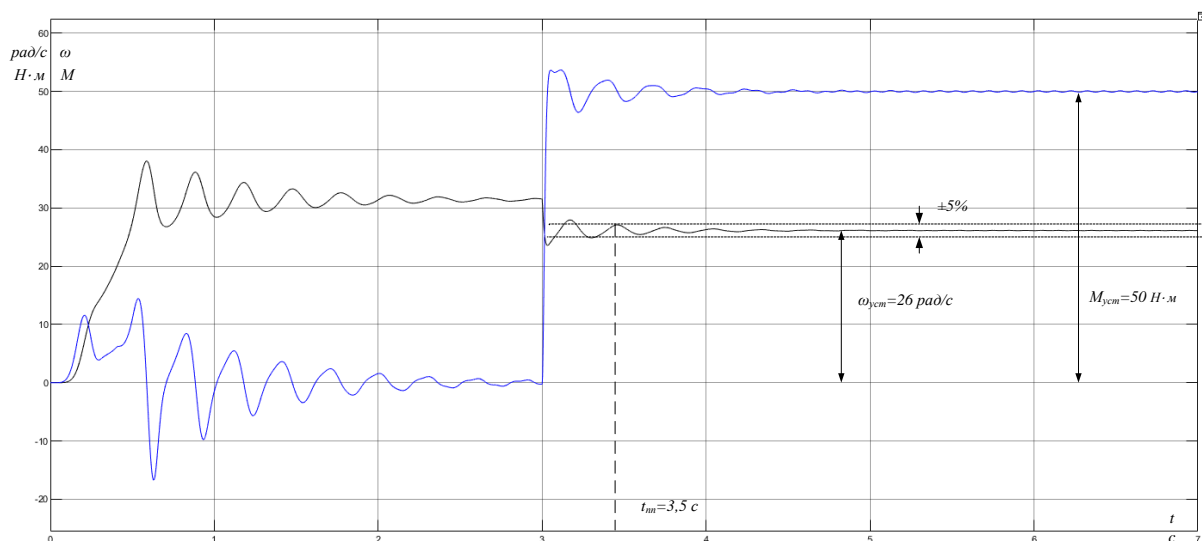


Рисунок 41 – Переходные процессы скорости и момента при частоте 5 Гц

Для $k_{KM}=0$:

На рис. 42 представлены результаты моделирования при частоте 50 Гц. На 3 секунде был произведен наброс нагрузки. Для наглядности зависимость $M(t)$ была увеличена в 5 раз.

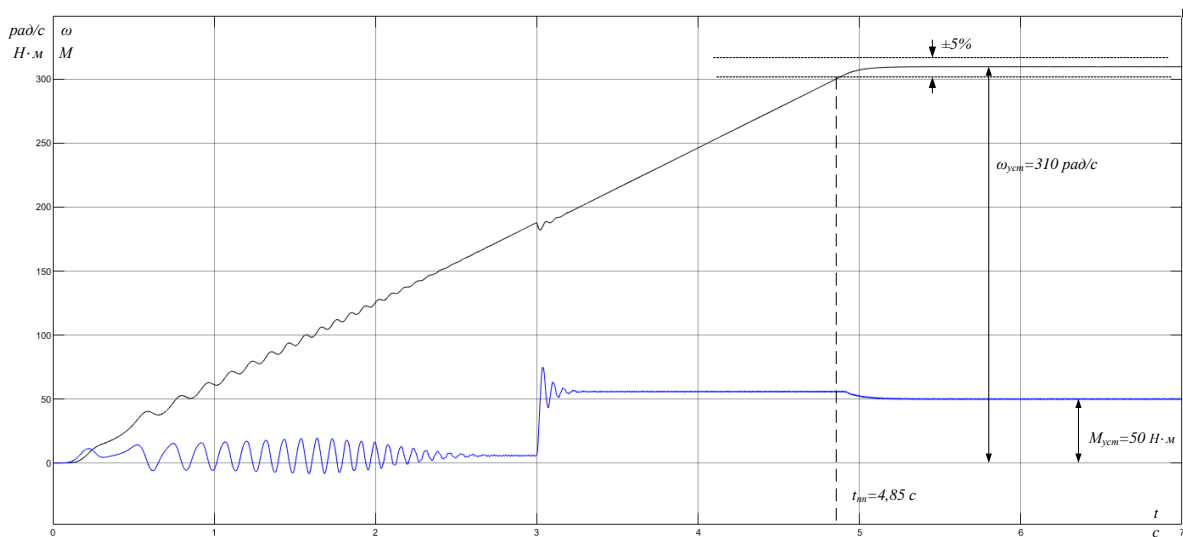


Рисунок 42 – Переходные процессы скорости и момента при частоте 50 Гц

На рис. 43 представлены результаты моделирования при частоте 35 Гц. На 3 секунде был произведен наброс нагрузки. Для наглядности зависимость $M(t)$ была увеличена в 5 раз.

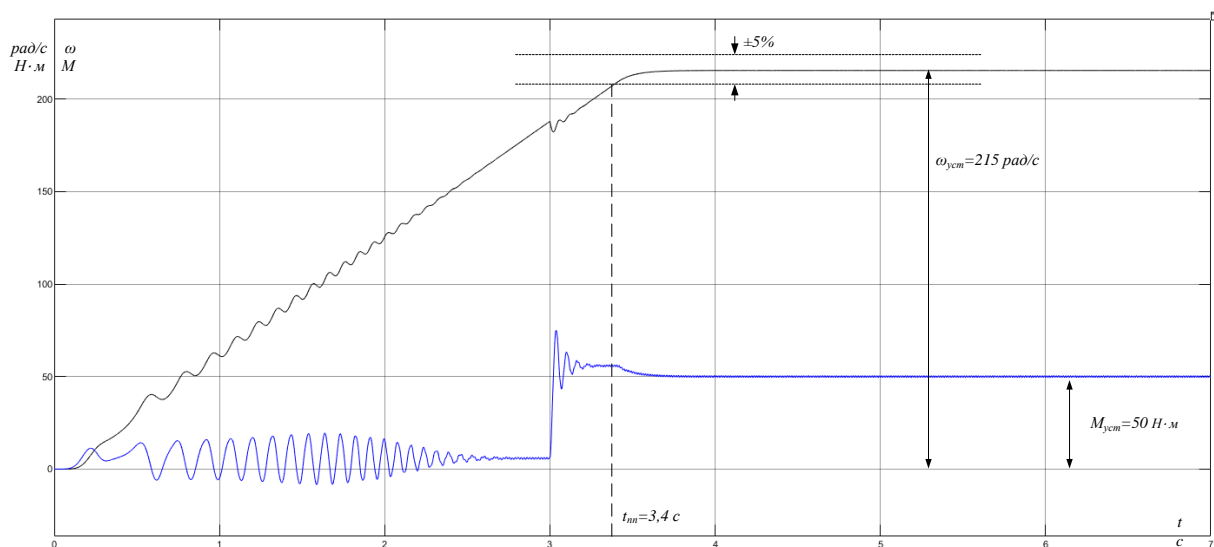


Рисунок 43 – Переходные процессы скорости и момента при частоте 35 Гц

На рис. 44 представлены результаты моделирования при частоте 20 Гц. На 3 секунде был произведен наброс нагрузки. Для наглядности зависимость $M(t)$ была увеличена в 5 раз.

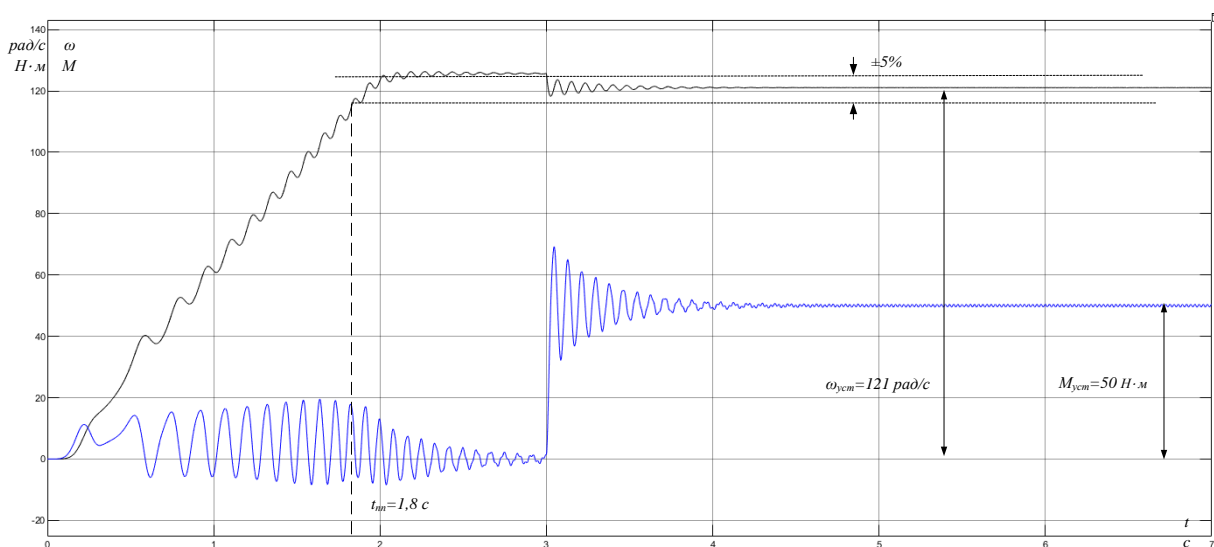


Рисунок 44 – Переходные процессы скорости и момента при частоте 20 Гц

На рис. 45 представлены результаты моделирования при частоте 5 Гц. На 3 секунде был произведен наброс нагрузки. Для наглядности зависимость $M(t)$ была увеличена в 5 раз.

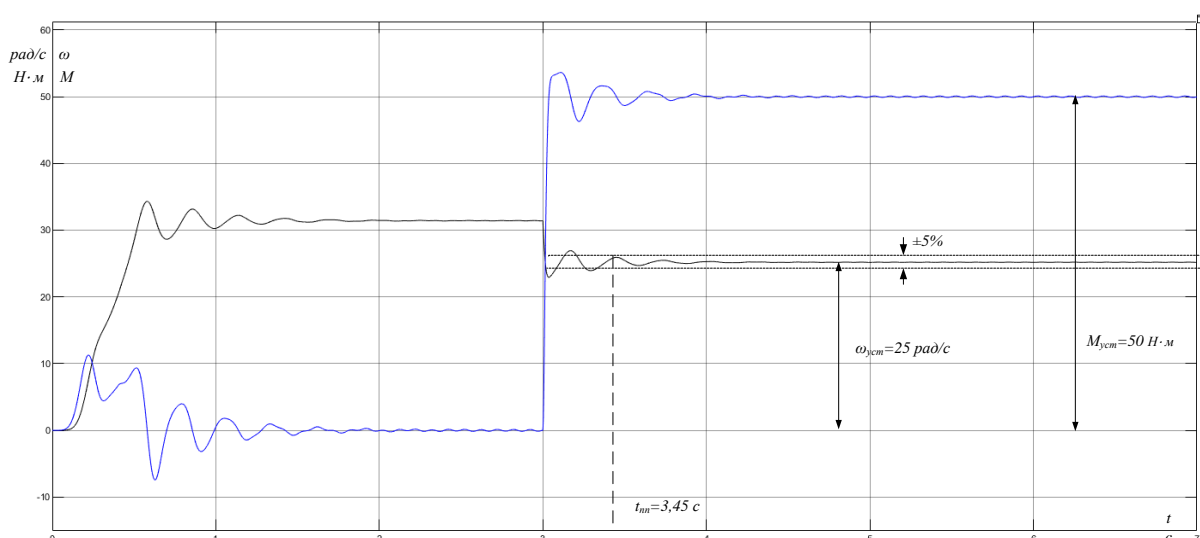


Рисунок 45 – Переходные процессы скорости и момента при частоте 5 Гц

Из полученных графиков переходных процессов видим, что при меньшем коэффициенте положительной обратной связи система принимает установившееся значение при всех частотах.

Время переходного процесса уменьшается с уменьшением частоты на входе преобразователя частоты. Так при $k_{\text{КМ}} = 0,5$ при 35 Гц оно составляет 3,4 с, а при 20 Гц – 3,3 с.

При $k_{\text{КМ}} = 0,2$ при 35 Гц – 3,35 с., а при 20 Гц – 2,6 с.

При $k_{\text{КМ}} = 0,75$ и 0,5 при задании 5 Гц переходный процесс скорости является неустановившимся. Для $k_{\text{КМ}} = 0,75$ при задании 20 Гц переходный процесс скорости также неустановившийся.

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее приемлемый переходный процесс по качеству достигается при $k_{\text{КМ}} = 0,2$. Что можно рекомендовать при настройках системы ПЧ-АД.

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данном разделе рассматривается оценка коммерческой ценности разработки. Ресурсоэффективность и конкурентоспособность оказывают большое влияние на дальнейший успех проекта, его реализацию.

Необходимыми этапами раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» являются:

- Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- Анализ внешней и внутренней среды научно- исследовательского проекта;
- Планирование научно-исследовательских работ
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

7.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

7.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга)[13].

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. В нашем случае для коммерческих организаций критериями

сегментирования могут быть: месторасположение; отрасль; выпускаемая продукция; размер и др.

Сегментируем рынок металлургического оборудования по следующим критериям: размер компании-заказчика, вид электропривода.

Таблица 9 – Карта сегментирования рынка разработок для ЭП

	Электропривод постоянного тока	Электропривод АД с фазным ротором	Электропривод с частотным регулированием
Крупные компании			
Средние компании			
Мелкие компании			
Фирма А		Фирма Б	

В приведенном примере карты сегментирования показано, какие ниши на рынке металлургического оборудования не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок. Результат сегментирования:

- к основным сегментам данного рынка относятся использование электропривода с частотным регулированием крупными компаниями;
- наиболее перспективным сегментом является предложение электропривода с частотным регулированием средним компаниям;
- сегментом рынка, привлекательных для предприятия в будущем, является предложение электропривода с частотным регулированием мелким, динамично развивающимся, компаниям.

7.1.2 Оценка перспективности поведения научных исследований

Качество и перспективность новой разработки, а также целесообразность вложения денежных средств в данную научно-исследовательскую работу, можно определить с помощью технологии QuaD(QualityADvisor)[13].

Технология QuaD(QualityADvisor), как один из способов оценки конкурентоспособности, в своей основе содержит две основные группы показателей:

1. Показатели оценки коммерческого потенциала разработки;
2. Показатели оценки качества разработки.

Учитывая экономические и технические особенности, подбираются показатели качества и перспективности разработки.

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка проводится в табличной форме (табл. 10).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по сто балльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы	Макс. балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5*2)*100%
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,09	90	100	0,9	8,1
2. Помехоустойчивость	0,1	85	100	0,85	8,5
3. Надежность	0,1	96	100	0,96	9,6
4. Унифицированность	0,03	83	100	0,83	2,49
5. Уровень материалоемкости разработки	0,04	95	100	0,95	3,8
6. Уровень шума	0,03	78	100	0,78	2,34
7. Безопасность	0,07	86	100	0,86	6,02
8. Потребность в резервном питании	0,02	70	100	0,7	1,4
9. Функциональная мощность	0,09	84	100	0,84	7,56

10. Простота эксплуатации	0,06	89	100	0,89	5,34
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,02	95	100	0,95	1,9
12. Ремонтпригодность	0,08	96	100	0,96	7,68
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
13. Конкурентоспособность продукта	0,04	90	100	0,90	3,6
14. Уровень проникновения на рынок	0,03	77	100	0,77	2,31
15. Цена	0,06	60	100	0,6	3,6
16. Предполагаемый срок эксплуатации	0,03	87	100	0,87	2,61
17. Послепродажное обслуживание	0,02	75	100	0,75	1,5
18. Финансирование научной разработки	0,04	85	100	0,85	3,4
19. Срок выхода на рынок	0,02	80	100	0,80	1,6
20. Наличие сертификации разработки	0,03	92	100	0,92	2,76
Итого	1				86,11

Благодаря полученному результату средневзвешенного значения показателя качества и перспективности научной разработки ($P_{cp}=86,11$), можно сделать вывод, что разработка является перспективной.

7.1.3 SWOT- анализ

Для исследования внешней и внутренней среды научного проекта используется метод комплексного анализа SWOT- анализ.

Данный метод включает в себя три этапа:

1. Выявление и описание сильных и слабых сторон проекта, и выявление угроз и возможностей для реализации проекта;
2. Выявление соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды;
3. Подведение итогов. Составление итоговой матрицы SWOT- анализа.

При составлении матрицы SWOT были использованы следующие обозначения:

C1- C5 – сильные стороны проекта;

Сл1- Сл3 – слабые стороны проекта;

B1- B4 – возможности проекта;

У1- У4 – угрозы.

Была составлена итоговая матрица SWOT-анализа (табл. 11).

Таблица 11 – Итоговая матрица SWOT- анализа

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	<p>C1. Высокое качество питающего напряжения</p> <p>C2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации</p> <p>C3. Большая экономия потребляемой эл.энергии</p> <p>C4. Квалифицированный персонал</p> <p>C5. Небольшие затраты на ремонт оборудования</p>	<p>Сл1. Повышенный уровень вибрации</p> <p>Сл2. Аварийные ситуации</p> <p>Сл3. Значительная стоимость оборудования</p>
Возможности:	Надежность систем защиты и высокое качество продукции благоприятно влияет на износостойкость элементов деталей электропривода, что в свою очередь обеспечивает большой срок эксплуатации. Это в свою очередь является главным фактором формирования потребительского спроса.	Экономия электроэнергии является хорошим показателем, однако использование преобразователя частоты весьма затратный вариант.
Угрозы:	Не смотря на превосходство сильных сторон, угрозы все же присутствуют. Необходимо совершенствовать технологию.	Улучшение технологии производства приводит к повышению стоимости продукта, что в свою очередь отрицательно скажется на спросе.
	<p>V1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя</p> <p>V2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода</p> <p>V3. Резервное питание электропривода питателя пыли.</p> <p>V4. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	
	<p>У1. Развитая конкуренция технологии производства</p> <p>У2. Риск несвоевременной поставки оборудования</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции</p>	

У4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства		
---	--	--

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

7.2 Планирование научно-исследовательских работ

7.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

На данном этапе составляется перечень работ, сделанных в течении разработки научного проекта. Формируется рабочая группа и дальнейшее распределение исполнителей по видам работ.

Рабочая группа состоит из научного руководителя и инженера. Порядок распределения исполнителей по видам работ приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление технического задания и плана работы, изучение требований к техническому проекту	Научный руководитель
Выбор направления исследования	2	Поиск литературы по теме исследования, изучение темы	Исполнитель
Расчет параметров и проектирование системы электропривода	3	Поиск и сбор исходных данных из изученных источников	Исполнитель
	4	Настройка необходимого программного обеспечения для ввода заданных значений	Исполнитель, научный руководитель
	5	Расчет всех элементов электропривода	Исполнитель
	6	Выбор необходимого оборудования и комплектующих	Исполнитель, научный

			руководитель
	7	Расчет и проверка модели, построение электромеханических и механических характеристик	Исполнитель, научный руководитель
Анализ и систематизация полученных результатов	8	Отладка базы данных и проведение тестовых расчетов	Исполнитель, научный руководитель
Оформление исследования в отчет	9	Формирование пояснительной записки	Исполнитель,
Сдача выпускной квалификационной работы	10	Отправка ВКР на проверку научному руководителю, подготовка к защите	Исполнитель, научный руководитель

7.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемой (средней) величины трудоемкости используется следующая формула[1]:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}}}{5}$$

где: $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{C_i}$$

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

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

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

7.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ[1].

Для удобства составления графика продолжительность каждого из этапов работы с рабочих дней должна быть переведена на календарные дни. Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определен по следующей формуле:

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

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

$T_{\text{кал}}$ – количество выходных дней в году;

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

Расчет трудоемкости и продолжительности работ, на примере «составление технического задания и плана работы»:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел-дней.}$$

$$T_{\text{pi}} = \frac{t_{\text{ож}i}}{C_i} = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня.}$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22.$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы:

$$T_{\text{ki}} = T_{\text{pi}} \cdot k_{\text{кал}} = 1,4 \cdot 1,22 = 1,7 \approx 2 \text{ дня.}$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,477.$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы:

$$T_{\text{ki}} = T_{\text{pi}} \cdot k_{\text{кал}} = 1,4 \cdot 1,477 = 2,1 \approx 3 \text{ дня.}$$

Все полученные значения в календарных днях округляются. Все данные заносятся в таблицу 13.

Таблице 13 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни		Науч. рук-ль	Исполнитель	Науч. рук-ль	Исполнитель
	Науч. рук-ль	Исполнитель	Науч. рук-ль	Исполнитель	Науч. рук-ль	Исполнитель				
Составление технического задания и плана работы	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Поиск литературы по теме исследования, изучение темы	–	8	–	12	–	9,6	–	10	–	15
Сбор исходных данных из изученных источников	–	8	–	12	–	9,6	–	10	–	15
Настройка необходимого программного обеспечения для ввода заданных значений	–	8	–	12	–	9,6	–	10	–	15
Расчет всех элементов электропривода	–	8	–	12	–	9,6	–	10	–	15
Выбор необходимого оборудования	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Расчет и проверка модели, построение электромеханических и механических характеристик	1	8	1	12	1	9,6	1	10	1	15
Отладка базы данных и проведение тестовых расчетов	1	8	1	12	1	9,6	1	10	1	15
Формирование пояснительной записки	–	8	–	12	–	9,6	–	10	–	15
Отправка ВКР на проверку научному руководителю, подготовка к защите	8	1	12	1	9,6	1	10	1	15	1

На основании таблицы 13 строится календарный план-график. График строится в рамках инженерного проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени проектирования.

Таблица 14 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнитель	T _{ки} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ										
				Февраль		Март			Апрель			Май		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление технического задания и плана работы	И	1	■										
		Н.р	1	■										
2	Поиск литературы по теме исследования, изучение темы	И	15	■										
3	Сбор исходных данных из изученных источников	И	15		■									
4	Настройка необходимого программного обеспечения для ввода заданных значений	И	15			■								
5	Расчет всех элементов электропривода	И	15				■							
6	Выбор необходимого оборудования	И	1						■					
		Н.р	1						■					
7	Расчет и проверка модели, построение электромеханических и механических характеристик	И	15						■					
		Н.р.	1						■					
8	Отладка базы данных и проведение тестовых расчетов	И	15							■				
		Н.р.	1							■				
9	Формирование пояснительной записки	И	15									■		
10	Отправка ВКР на проверку научному руководителю, подготовка к защите	И	1										■	
		Н.р.	1										■	■

Принятые обозначения:

■ – научный руководитель;

■ – исполнитель.

7.3 Бюджет научно-технического исследования

7.3.1 Расчет материальных затрат НИИ

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. руб.	Затраты на материалы, руб.
MATLAB Simulink	Подписка на год	1	7240	7240
Итого:				7240

Из таблицы 10 видно, что материальные затраты составляют 7240 рублей.

7.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

На данном этапе рассчитывается основная заработная плата научного руководителя и исполнителя (инженера), участвующих в выполнении данной работы. Расходы по заработной плате определяются исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок[1].

Статья включает основную заработную плату и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где: $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где: $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

T_p – продолжительность работ, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}},$$

где: $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня, $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рад. дн.

Месячный должностной оклад:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

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

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 30 % от $Z_{\text{тс}}$.

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, примем 35 % от $Z_{\text{тс}}$.

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 о.е.

По приведенным формулам, приведен пример расчета заработной платы для научного руководителя проекта.

Месячный должностной оклад:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 25000 \cdot (1 + 0,3 + 0,35) \cdot 1,3 = 53625 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{53625 \cdot 10,4}{229} = 2435,4 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} = 2345,4 \cdot 19 = 46272 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$, руб	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб.дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб
Научный руководитель	25000	0,3	0,35	1,3	53625	2435,4	19	46272
Исполнитель	13000	0,3	0,2	1,3	25350	1151,3	73	84042
Итого $Z_{\text{осн}}$								130314

7.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Пример расчета дополнительной заработной платы для научного руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 46272 = 5552 \text{ руб.}$$

Таблица 17 – Дополнительная заработная плата

Исполнители	$k_{\text{доп}}$, о. е.	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{доп}}$, руб.
Исполнитель	0,12	46272	5552
Научный руководитель	0,12	84042	10085
Итого			15637

7.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется из следующей формулы:

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

где $k_{\text{внеб}} = 0,302$

Отчисления во внебюджетные фонды сведены в таблицу 13.

Таблица 13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	46272	5552
Исполнитель	84042	10085
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
Итого		
Научный руководитель	15650	
Исполнитель	26426	

7.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы, которые могут включать в себя прочие затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи, рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}} = (Z_{\text{м}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot 0,16.$$

Пример расчета:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{пр}} = (Z_{\text{м}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot 0,16 = \\ = (53625 + 25350 + 46272 + 84042 + 5552 + 10085 + 15650 + 26426) \cdot 0,16 = 42720 \text{ руб.}$$

7.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 14.

Таблица 14 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	7240	Пункт 7.5.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	130314	Пункт 7.5.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	15637	Пункт 7.5.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	42076	Пункт 7.5.4
5. Накладные расходы	42720	Пункт 7.5.5
6. Бюджет затрат НИИ	237987	Сумма статей 1-5

7.4 Определение ресурсоэффективности разработки

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования определяется следующим образом:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в виду таблицы 15.

Таблица 15 – Сравнительная оценка характеристики вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Система ТРН-АД	Система ПЧ-АД	Нерегулируемый электропривод
1. Безопасность	0,25	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,10	4	5	4
3. Помехоустойчивость	0,15	5	4	5
4. Энергосбережение	0,15	5	4	4
5. Надежность	0,25	5	4	4
6. Материалоемкость	0,10	4	5	5
Итого:	1,00	4,75	4,5	4,5

Пример расчета показателя ресурсоэффективности для системы ТРН-АД:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i = 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,10 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,10 \cdot 4 = 4,75$$

По приведенным в таблице значениям можно сделать вывод, что показатели ресурсоэффективности данного проекта имеет высокие показатели, что может говорить о высокой конкурентоспособности и надежности исследуемого объекта.

Выводы по разделу

В данном разделе с помощью SWOT- анализа были выявлены сильные и слабые стороны разрабатываемого проекта. Составлен план- график проведения научного исследования с помощью построения ленточного графика в форме диаграммы Ганта. Произведены необходимые расчеты заработной платы, материальных затрат, сформирован бюджет затрат научно-исследовательского проекта, который равен 229059 руб. Определена ресурсоэффективность проекта, интегральный показатель которого составил 4,75.

8. Социальная ответственность

Введение

В данной выпускной квалификационной работе произведен расчет и подбор электрооборудования автоматизированного электропривода – мешалка для жидкостей.

Областью применения является производство суспензий, эмульсий, а также смесей твердых веществ, где применяется перемешивание. Также этот процесс используется на химических производствах для активизации процессов массообмена и теплообмена. Кроме того, интенсивное перемешивание требуется для проведения многих непрерывных химических процессов.

Необходимым является соблюдение техники безопасности для исключения несчастных случаев на производстве. Как можно больше снизить негативное влияние на окружающую среду и расходы ресурсов.

8.1 Правовые и организационные вопросы безопасности

Правовые нормы трудового законодательства изложены в документе «Трудовой кодекс Российской Федерации». Основными задачами являются установление государственных гарантий трудовых прав и свобод граждан, создание благоприятных условий труда, защита интересов и прав работников и работодателей.

Особенности трудового законодательства, применительные к условиям выполнения исследовательской деятельности, изложенного в данной работе, дифференцируются в соответствии с условиями труда: тяжесть и вредность труда, климатические условия, прочие особенности труда.

Продолжительность рабочего времени не должно превышать 40 часов в неделю. Для работников:

- возраст которых меньше 16 лет – не более 24 часов в неделю;
- от 16 до 18 лет – не более 35 часов, как и для инвалидов I и II

группы.

Ежегодный основной оплачиваемый отпуск предоставляется работникам продолжительностью 28 календарных дней. [1]

При эксплуатации оборудования предусматривается, что работник выполняет работу стоя:

- рабочее место для выполнения работ стоя организуют при физической работе средней тяжести и тяжелой, а также при технологически обусловленной величине рабочей зоны, превышающей ее параметры при работе сидя. Категория работ — по ГОСТ 12.1.005—76.

- конструкция, взаимное расположение элементов рабочего места (органы управления, средства отображения информации и т. д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

- рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда. [2]

8.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность – это система организационных мероприятий и технических средств, направленных на повышение защищенности рабочего персонала от вредных воздействий технологических процессов и других факторов, возникающих в рабочей зоне.

Опасные и вредные факторы, возникающие при работе, сведены таблицу 16.

Таблица 16 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работы			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Превышенный уровень шума и вибрации		+	+	Требования к параметрам Шума устанавливает СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки [3]
2.Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования и т.п.		+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [4]
3.Недостаточная освещенность рабочих мест	+	+	+	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [5]
4.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.		+	+	ГОСТ Р 12.1.019-2017 «Система стандартов безопасности труда» [6]

8.3 Анализ опасных и вредных факторов

1. Шум может возникать в процессе работы перемешивание жидкостей. Могут оказывать негативное влияние на организм человека. В частности могут возникнуть проблемы со слухом. Все это может повлиять на производительность труда человека.

Для предотвращения таких последствий следует производить шумоизоляцию емкости для перемешивания и само помещение. Ставить все оборудование на амортизирующие подложки.

Предельно допустимые уровни шума для рабочих мест в помещениях цехового управленческого аппарата приведены в таблице 17. [3]

Таблица 17 – Предельно допустимые уровни шума

Уровни звукового давления, дБ									По шкале
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
93	79	70	68	58	55	52	52	49	60

2. Конструкция мешалки для жидкостей представляет собой наличие подвижных частей, которые могут нанести удары по телу работника. Неправильное обращение или выход из строя оборудования может повлечь собой физические увечья работнику.

Избежать такой фактор можно методом контроля и средствами защиты. Устанавливать таблички предупреждающие наличие опасных подвижных частей. Аварийное отключение при открытии крышки емкости во время работы мешалки.

3. Естественное освещение помещений осуществляется посредством проникновения дневного света через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях. Главной особенностью естественного освещения является его изменчивость в широких диапазонах в зависимости от времени дня и года, ряда других факторов.

Искусственное освещение используется с целью проведения работ в темное время суток, а также в дневное время, при условии невозможности обеспечить нормированное значение коэффициента естественного освещения. Для искусственного освещения применяют электрические люминесцентные лампы.

Нормируемый показатель общего освещения составляет 300 лк. Этот показатель приводится в СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [5].

4. Прикосновение к токоведущим частям, неправильная установка электрооборудования может привести к поражению электрическим током.

Предотвратить их можно посредством использования средств индивидуальной защиты. Правильной установке всего электрооборудования по ПУЭ. Необходимым является также правильный подбор самого электрооборудования, что также производится в данной работе.

Допустимое напряжения и сила тока составляет 2 В и 0,3 А для переменного тока частотой 50 Гц. [6]

8.4 Экологическая безопасность

Проектировка, сборка и дальнейшая эксплуатация мешалки для жидкостей может вредно влиять на окружающую среду.

Атмосфера. Загрязнениями могут послужить газообразные отходы. В процессе изготовления происходят выбросы при сгорании топлива.

Необходимо проветривать помещения, предусматривать вытяжки для емкостей при перемешивании, чем можно предотвратить сильное загрязнение окружающей среды.

Гидросфера. В процессе эксплуатации мешалки могут возникнуть аварийные ситуации, влекущие к выбросу различных жидкостей в окружающую среду.

Следует предусмотреть аварийные клапаны для предотвращения утечки жидкости. Также можно сделать аварийные емкости куда будет сливаться вся жидкость.

Литосфера. Загрязнение почв очень тесно связано с загрязнением гидросферы. Здесь также на почве могут плохо сказаться вытекшие химические жидкости и повлечь за собой их загрязнение.

8.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожар представляет особую опасность, так как он грозит уничтожением аппаратуры, инструментов, документов, которые представляют большую

материальную ценность, и возникновением пожара в соседних помещениях. А также может представлять серьезную угрозу жизни и здоровью персонала.

Основными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций в производственных помещениях являются:

- внутренние, к которым относятся: физический и моральный износ оборудования, низкая трудовая и технологическая дисциплина, проектно-конструкторские недоработки, сложность технологий, недостаточная квалификация персонала.
- внешние чрезвычайные ситуации, это стихийные бедствия, неожиданное прекращение подачи электроэнергии, воды, технологических продуктов, терроризм, войны.

Одним из наиболее вероятных видов ЧС является пожар на рабочем месте. Пожарная безопасность представляет собой единый комплекс организационных, технических, режимных и эксплуатационных мероприятий по предупреждению пожаров и взрывов.

Причиной возгорания могут быть следующие факторы:

- возгорание устройств искусственного освещения.
- возникновение короткого замыкания в электропроводке вследствие неисправности самой проводки или распределительных щитов.
- возгорание аппаратуры вследствие нарушения изоляции или неисправности самой аппаратуры;
- возгорание от неправильного использования дополнительных бытовых электроприборов и электроустановок.

Для профилактики возникновения пожаров необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия:

Организационные мероприятия:

- противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;

- обучение персонала правилам техники безопасности;
- издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

- соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
- содержание в исправности изоляции токоведущих проводников.
- профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.
- обеспечение свободного подхода к оборудованию.

Так же необходимо предусмотреть наличие эвакуационных выходов для персонала. К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³.

Выводы по разделу

В разделе «Социальная ответственность» выявлены опасные и вредные факторы, воздействующие на человека работающего с мешалкой для жидкостей. Рассмотрена безопасность труда персонала, предусмотрены меры обеспечивающие защиту персонала от вредных факторов производства, а также способы снижающие влияние загрязняющих веществ на окружающую среду. Были предложены основные меры по профилактики и ликвидации воздействий пагубных факторов на организм человека. Отталкиваясь от всего вышесказанного в данном разделе, можно прийти к выводу, что, с точки зрения эффективности трудовой деятельности работника, правильная организация рабочего места играет колоссальную роль. Правильные условия труда способствуют повышению эффективности и производительности работ научного сотрудника, в то же время обеспечивая его безопасность.

Заключение

В данной дипломной работе была рассмотрена система “Преобразователь частоты – асинхронный двигатель”. Произведен подбор электрооборудования. Рассчитаны параметры схемы замещения асинхронного двигателя и построены естественные механическая и электромеханические характеристики.

В результате имитационного моделирования были сняты динамические характеристики двигателя при прямом пуске и выяснено, что двигатель является устойчивым звеном, и параметры схемы замещения вычислены правильно.

В проекте были рассчитаны и построены статические характеристики и с помощью имитационного моделирования сняты динамические характеристики системы.

Скалярный закон управления U/f с положительной обратной связью по току был выбран как наиболее подходящий. Поставленная задача выполнена и система соответствует требованиям технологического процесса.

В экономической части произведена оценка затрат на проектирование, покупку лицензионного софта, а также планированию на создание имитационных моделей.

В разделе социальной ответственности проанализированы опасные и вредные производственные факторы, раздел включает в себя описание техники безопасности, регламентацию по проведению обслуживающих работ, даны практические рекомендации по технике безопасности и производственной санитарии.

Список использованной литературы

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ
2. ГОСТ 12.2.033-78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования»
3. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»
4. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
5. СНиП 23-05-95* «Естественное и искусственное освещение»
6. ГОСТ Р 12.1.019-2017 «Система стандартов безопасности труда»
7. Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Расчет характеристики электроприводов переменного тока. Часть 1. Асинхронный двигатель. Учебное пособие./Томский политехнический университет. – Томск: Издательство ТПУ, 2005.–136 с.
8. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 120 с.
9. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие. –Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 244 с.
10. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов. – Томск: Изд. ТПУ, 2011. – 476с.
11. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 4. – тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 152 с.
12. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 8. – Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2010. – 448 с.

13. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Креницына. – Томск: Издательство ТПУ, 2014. – 36с.