

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод клиновой задвижки, на основе ТРН-АД

УДК 62-83-523:621.646

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Щепёткин Егор Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Тимошкин В.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

(Подпись) _____ (Дата) Ю.Н. Дементьев
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Щепёткину Егору Сергеевичу

Тема работы:

Электропривод клиновой задвижки, на основе ТРН-АД	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
------------------------------------------	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации на задвижку
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Подробное изучение технологического процесса, выбор двигателя, частотного преобразователя, исследование динамической модели АД во вращающейся системе координат, исследование ТРН на модели нелинейного асинхронного электропривода на базе модели АД во вращающейся системе координат.
Перечень графического материала	Кинематическая схема Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода Структурная схема ТРН Схема имитационной модели электропривода Переходные процессы асинхронного электропривода.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Тимошкин В.В.	к.т.н.		05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Щепёткин Егор Сергеевич		05.04.2018г.

Реферат

Выпускная квалификационная работа 120 с., 42 рисунка, 16 таблиц, 20 источников.

Ключевые слова: асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, тиристорный регулятор напряжения, динамические режимы работы, задвижка, нефтепровод.

Объектом исследования является система «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель».

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

В процессе работы проводилось моделирование переходных процессов асинхронного двигателя в программной среде MATLAB Simulink.

В результате работы была смоделирована система «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель», реализованы режимы пуска и динамического торможения и проанализированы графики переходных процессов.

Исследуемая система используется в качестве электропривода клиновой задвижки, устанавливаемой на магистральном нефтепроводе.

Экономическая эффективность заключается в значительном повышении ресурса механизма и электрической части электропривода.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007.

Содержание.

Введение	7
1. Технологический процесс перекачки нефти	8
1.1. Описание технологического процесса перекачки нефти	8
1.2. Обзор задвижек	9
1.3. Обзор электрических преобразователей для электроприводов задвижек	13
1.4. Принцип действия тиристорного преобразователя	19
2. Выбор электропривода и расчет его оборудования	24
2.1. Исходные данные	24
2.2. Характеристики электропривода	25
2.2.1. Технические характеристики ЭПЦ-15000	25
2.2.2. Состав электропривода	27
2.2.3. Порядок работы изделия в автоматическом режиме от электродвигателя	27
2.4. Расчет статических характеристик электродвигателя	35
3. Имитационная модель ТРН – АД	37
3.1. Математическое описание асинхронного двигателя	37
3.2. Моделирование АД на основе стандартных блоков MATLAB Simulink	50
3.4. Тиристорный регулятор напряжения	64
4. Исследование динамических режимов ТРН – АД	69
4.1. Динамическое торможение	69
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	74
5. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	76
5.1. Технология QuaD	76

5.1.2. SWOT-анализ	79
5.2. Планирование научно-исследовательских работ	88
5.2.1. Структура работ в рамках научного исследования	88
5.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	90
5.2.3. Разработка графика проведения научного исследования	91
5.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	97
5.3.1. Основная заработная плата исполнителей темы	97
5.3.2. Дополнительная заработная плата исполнителей темы	101
5.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	101
5.3.4. Накладные расходы	102
5.3.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	103
5.4. Определение ресурсоэффективности проекта	103
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	106
6.1. Производственная безопасность	109
6.1.2 Анализ выявленных опасных факторов.	109
6.1.3 Анализ выявленных вредных факторов	110
6.2 Экологическая безопасность	113
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	114
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения	116
Заключение	118
Приложение А	119
Приложение Б	120

Введение

Нефтепромысел, как правило, находится на достаточно большом расстоянии от места переработки. Поэтому вопрос транспортировки нефти является актуальным. Транспортировка нефти осуществляется железнодорожным, морским, речным, автомобильным и трубопроводным видами транспорта. Различаются эти способы транспортировки нефти по пропускной способности, условиям эксплуатации, технико-экономическим показателям. При этом каждый вид транспорта имеет свои особенности, подходящие для перевозки определенной группы нефтяных грузов. Совокупность всех видов транспорта нефти представляется собой единую систему.

Нефтепровод – трубопровод, который служит для перекачки нефти.

Нефтепровод – самый дешевый, надежный и выгодный способ транспортировки нефти и нефтепродуктов. Также этот способ является наиболее экологически безопасным. В России такой способ транспортировки является основным. Преимуществами такого вида транспорта являются следующие факты: возможность прокладки между любыми объектами; нефтепровод – кратчайшее расстояние между объектами; нефтепровод непрерывен, что обеспечивает бесперебойное снабжение потребителей; нет необходимости в хранилищах.

Во время эксплуатации нефтепровода возникают ситуации, в которых необходимо по каким либо причинам приостановить перекачку нефти по нефтепроводу. Это может быть либо запланированная остановка для проведения плановых работ по обслуживанию нефтепровода, либо незапланированная остановка (например, при возникновении аварийной ситуации). Для подобных целей используется такой механизм, как задвижка. Задвижки расположены по всей длине нефтепровода с определенным

интервалом, и в случае необходимости с их помощью можно перекрыть отдельный участок нефтепровода.

Учитывая тот факт, что нефтепроводы имеют большую протяженность, появляется необходимость дистанционного управления открытием и закрытием задвижек. Для таких целей на данный механизм устанавливают электропривод. Такое решение позволяет в кратчайшие сроки совершать определенные действия с задвижками, что значительно упрощает процесс обслуживания нефтепровода. Так же с помощью электропривода можно оперативно реагировать на аварийные ситуации (например, порыв нефтепровода), что в значительной степени снижает последствия аварии на нефтепроводе.

В данной работе будут исследованы динамические режимы работы электропривода клиновой задвижки посредством моделирования переходных процессов в программной среде MATLAB Simulink.

1. Технологический процесс перекачки нефти

1.1. Описание технологического процесса перекачки нефти

Нефть движется по нефтепроводу из-за наличия разницы давлений в начале участка нефтепровода и в конце. Насосные станции, создающие разность давлений, располагаются на нефтепроводе с промежутком в 70-150 км. Скорость движения нефти по нефтепроводу – 3 м/с. Внутренний диаметр трубы нефтепровода может быть в диапазоне от 100 миллиметров до 1400 миллиметров. Пропускная способность нефтепровода диаметром 1200 мм – 80-90 млн. тонн в год [1].

Для изготовления труб нефтепроводов используется высокопластичная сталь, способная выдерживать химические, механические и температурные воздействия. На данный момент существует более технологичный материал –

армированный пластик. Такой материал не подвержен коррозии, поэтому имеет практически неограниченный срок службы.

Нефтепровод бывает наземным и подземным. Достоинством наземного способа является простота постройки и эксплуатации такого нефтепровода. Плюс подземного нефтепровода заключается в том, что он более защищен от внешних воздействий и, как следствие, является более долговечным.

Для того, чтобы иметь возможность производить ремонтные или эксплуатационные работы на каком-либо участке нефтепровода, в нем на расстоянии в 10-30 километров размещают задвижки. С помощью задвижек можно перекрыть отдельный участок нефтепровода при аварии, что предотвратит серьезные последствия и даст возможность ликвидировать эту аварию.

1.2. Обзор задвижек

Задвижка – тип запорной арматуры, в которой запирающий элемент перемещается перпендикулярно оси потока рабочей среды [2].

В общем виде задвижка состоит из корпуса и крышки, которые образуют полость рабочей среды. Внутри этой полости находится элемент, который обеспечивает перекрытие потока жидкости – затвор. Крепление задвижки к корпусу осуществляется одним из трех способов: фланцевый, муфтовый и приварочный.

Для создания максимальной герметичности при закрытии задвижки, внутри корпуса располагаются «седла», к уплотнениям которых прилегает уплотнитель затвора. Движение затвора обеспечивается штоком или шпинделем.

По конструкции задвижки бывают:

1. Клиновые

Седла таких задвижек размещены под углом. Затвор выполнен в форме клина, что обуславливает название клиновой задвижки.

При закрытии затвор плотно входит в промежуток между седлами, что обеспечивает хорошую герметичность. Простота конструкции клиновой задвижки позволяет использовать ее в различных условиях. Также клиновая задвижка имеет малое гидравлическое сопротивление, что особо ценится при использовании в магистральных трубопроводах.

К недостаткам такой конструкции можно отнести большую строительную высоту.

На рисунке 1 изображено устройство клиновой задвижки.

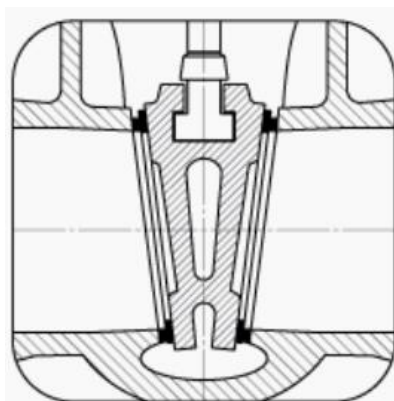


Рисунок 1 – Клиновая задвижка

2. Параллельные

У параллельной задвижки поверхности седел параллельны и перпендикулярны оси движения потока. Как и у клиновой, у параллельной задвижки в основе лежит принцип расклинивания. Только в случае параллельной задвижки клин находится между тарелками затвора.

На рисунке 2 изображено устройство параллельной задвижки.

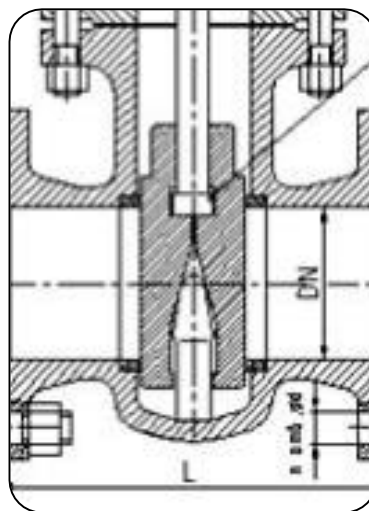


Рисунок 2 – Параллельная задвижка

3. Шиберные

В качестве запорного элемента у шиберной задвижки используется металлическая пластина небольшой толщины, способная разрезать различные включения в рабочей среде. Это свойство шиберной задвижки позволяет использовать ее для перекрытия потока рабочей среды, имеющей высокую вязкость или какие-либо включения.

Шиберная задвижка имеет гораздо меньшую строительную длину, чем все остальные виды задвижек, что значительно экономит место в техническом помещении.

Недостатком шиберных задвижек является малый срок службы уплотнительных поверхностей [3].

На рисунке 3 изображено устройство шиберной задвижки.

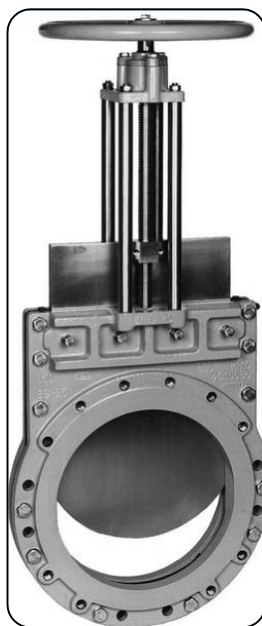


Рисунок 3 – Шибберная задвижка

4. Шланговые

Рабочая среда в такой задвижке идет по гибкому патрубку, который при необходимости пережимается шпинделем задвижки.

Такая конструкция имеет полнопроходное сечение, то есть диаметр патрубка соответствует диаметрам входной и выходной труб. При этом рабочая среда полностью изолирована от окружающей среды.

Недостатком конструкции является тот факт, что гибкий патрубок при эксплуатации постепенно изнашивается. Кроме того, температура рабочей среды определяется тем значением, которое способен выдержать патрубок, что накладывает ограничения на использование задвижек такой конструкции.

На рисунке 4 изображено устройство шланговой задвижки.

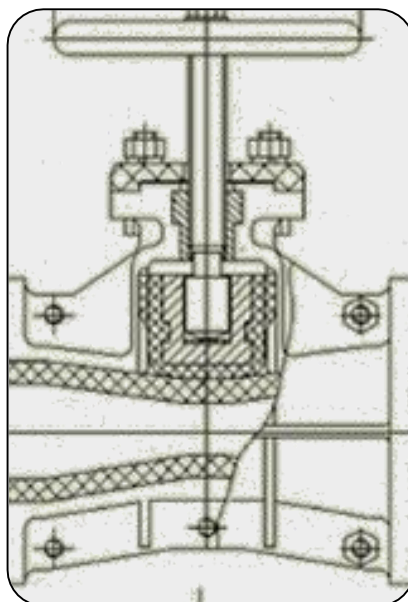


Рисунок 4 - Шланговая задвижка

1.3. Обзор электрических преобразователей для электроприводов задвижек

Для получения возможности удаленно пользоваться задвижками, целесообразно использовать электрический привод в конструкции запорной арматуры. Такое техническое решение позволяет значительно снизить трудозатраты по обслуживанию магистральных трубопроводов. Это обусловлено тем, что отпадает необходимость непосредственного вмешательства человека для закрытия или открытия задвижки. При помощи электропривода можно использовать задвижку, находясь на значительном расстоянии от нее, что актуально в сфере транспортировки нефти и нефтепродуктов. Также применение электропривода в системах запорной арматуры позволяет в определенной мере автоматизировать процесс ремонта и эксплуатации участков нефтепровода.

Для обеспечения требуемых режимов работы электрического привода некоторые переменные, характеризующие работу электропривода, должны регулироваться. Такими переменными (координатами) являются, например, скорость, ускорение, положение исполнительного органа или другого элемента электропривода, токи в электрических цепях двигателя, моменты на

валу и др. За изменение параметров электропривода отвечает преобразователь электрической энергии.

Силовые преобразователи могут быть выполнены на различной элементной базе, а именно с использованием электрических машин, магнитных усилителей, ионных и полупроводниковых элементов. Современные преобразователи являются, как правило, полупроводниковыми, и в них используются главным образом силовые транзисторы, диоды, тиристоры и их разновидности. Электрические преобразователи бывают следующих видов [4]:

1. Управляемые и неуправляемые выпрямители

Преобразуют напряжение переменного тока в напряжение постоянного тока. При этом неуправляемые выпрямители не обеспечивают регулирование напряжения питания двигателя и выполняются на полупроводниковых неуправляемых приборах односторонней проводимости, то есть на диодах. Управляемые же выпрямители выполняются на тиристорах и позволяют регулировать напряжение на двигателе за счет определенного алгоритма управления тиристорами.

На рисунке 5 изображена схема управляемого выпрямителя и принцип работы этой схемы.

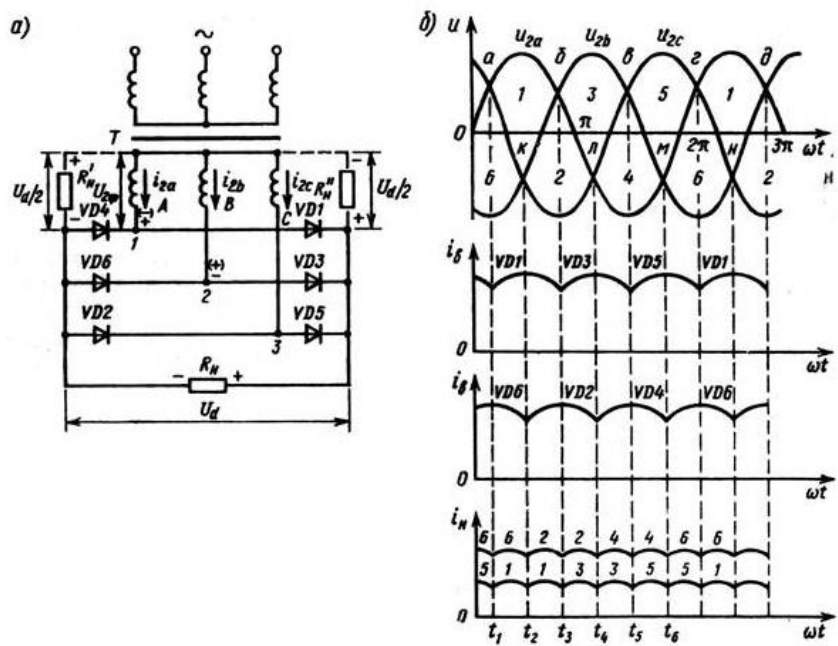


Рисунок 5 – Управляемый выпрямитель: а) схема, б) принцип работы

2. Инверторы

Преобразуют напряжение постоянного тока в напряжение переменного тока. В электроприводе наибольшее распространение получили автономные инверторы напряжения (АИН) и автономные инверторы тока (АИТ).

АИН имеют жесткую характеристику, представляющую собой зависимость выходного напряжения от тока нагрузки, вследствие чего при изменении тока нагрузки их выходное напряжение практически не изменяется. Поэтому АИН имеет свойства источника ЭДС.

АИТ в свою очередь имеют мягкую внешнюю характеристику и обладают свойствами источника тока.

3. Преобразователи частоты переменного тока (ПЧ)

Преобразователем частоты (ПЧ) называется преобразователь напряжения переменного тока одной частоты в напряжение переменного тока другой частоты. Существуют преобразователи частоты двух видов: ПЧ с непосредственной связью, которые позволяют изменять частоту только вниз от стандартного значение; ПЧ с промежуточным звеном постоянного тока,

которые позволяют изменять частоту как вниз от стандартного значения, так и вверх. Последние по понятным причинам нашли более широкое применение в электроприводе.

На рисунке 6 изображена схема включения ПЧ и механические характеристики двигателя при изменении частоты питания.

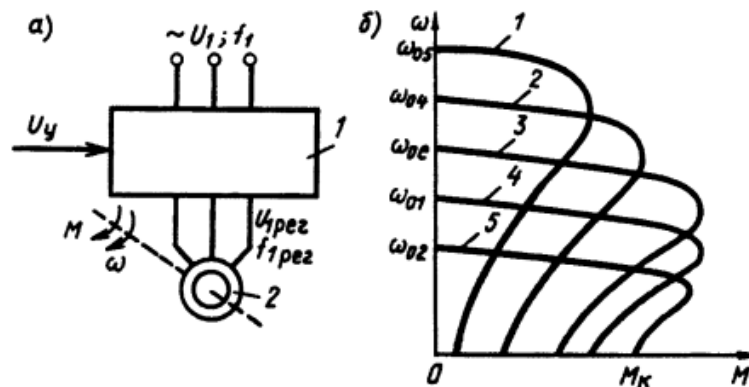


Рисунок 6 – Преобразователь частоты: а) схема включения, б) принцип работы

4. Преобразователи напряжения (ТРН)

Преобразование напряжения переменного тока может быть осуществлено при помощи тиристорного регулятора напряжения (ТРН).

Изменение напряжения, подводимого к статору АД, позволяет осуществлять регулирование координат привода в статических и динамических режимах с хорошими показателями качества и с помощью относительно простых схем управления. Также такой способ управления обеспечивает экономичные режимы работы электродвигателя.

На рисунке 7 изображена схема включения ТРН и механические характеристики двигателя при изменении напряжения питания.

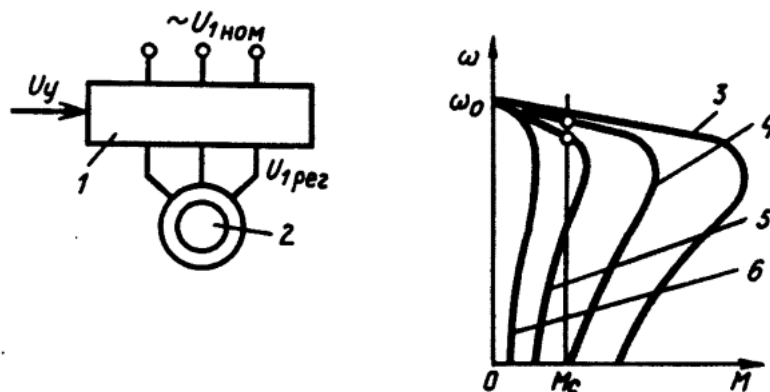


Рисунок 7 – Схема и принцип работы системы ТРН - АД

Для регулирования координат АД между сетью переменного тока со стандартным напряжением $U_{1ном}$ и статором двигателя включен регулятор напряжения (рисунок 7), выходное напряжение которого $U_{1рег}$ изменяется с помощью маломощного внешнего сигнала управления U_y в пределах от значения сетевого напряжения $U_{1ном}$ практически до нуля. При этом частота напряжения не меняется и остается равной стандартной (50 Гц).

Система ТРН – АД будет принята в дипломной работе как объект исследования. Ниже будет приведено более подробное описание работы тиристорного преобразователя, и будут разобраны режимы его работы.

5. Импульсные преобразователи напряжения постоянного тока с различными видами модуляции выходного напряжения постоянного тока

В подобных преобразователях используются силовые полупроводниковые управляемые ключи, работающие в импульсном режиме. Принцип работы импульсных преобразователей основан на модуляции напряжения источника питания. Например, широтно-импульсная модуляция (ШИМ) подразумевает изменение длительности импульсов напряжения при неизменной частоте их подачи.

На рисунке 8 изображен принцип действия импульсного преобразователя напряжения.

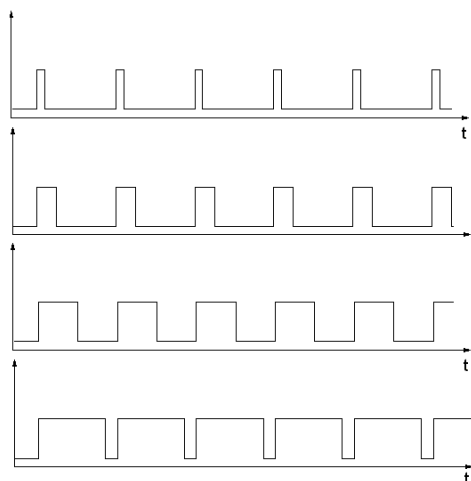


Рисунок 8 - Принцип работы импульсных преобразователей

Анализируя все вышеперечисленные преобразователи электрической энергии, можно сделать следующие выводы.

При передаче электроэнергии на большие расстояния переменный ток использовать выгоднее, чем постоянный. Это помогает избежать больших потерь. Поэтому к электроприводу задвижки будет подводиться переменный ток, который и будет питать этот привод. Таким образом, не требуется преобразовывать электроэнергию переменного тока в электроэнергию постоянного тока. По этой причине для преобразования электрической энергии для электропривода задвижки не подходят выпрямители и инверторы.

Импульсные преобразователи напряжения постоянного тока так же не подходят для электропривода задвижки, так как такие преобразователи работают с постоянным током.

Преобразователь частоты имеет ряд положительных качеств:

- высокий КПД (до 98%);
- экономия электроэнергии;
- возможность удаленного управления электроприводом;
- плавный пуск электродвигателя;

Недостатком такого преобразователя является его высокая стоимость, сложность устройства, высокие затраты на обслуживание.

Тиристорный регулятор напряжения имеет ряд преимуществ над преобразователем частоты:

- простота устройства;
- стоимость ТРН в разы меньше, при этом с увеличением мощности электропривода разница в стоимости увеличивается;
- сравнительно простые алгоритмы управления;
- возможность работать в более жестких погодных условиях;
- сравнительная простота обслуживания;

Недостатком ТРН является малый диапазон регулирования скорости вращения электродвигателя и малый КПД при малых скоростях. Данные недостатки несущественны для электропривода задвижки.

Исходя из преимуществ ТРН, логичнее всего использовать именно этот преобразователь электрической энергии в электроприводе задвижки нефтепровода.

1.4. Принцип действия тиристорного преобразователя

Как было отмечено ранее, ТРН позволяет изменять значение напряжение от номинального значения практически до нуля.

Изменение статорного напряжения не изменяет значение скорости холостого хода $\omega_0 = 2\pi f_1/p$ и критического скольжения s_k . Такой способ регулирования координат изменяет критический момент M_k .

Это можно увидеть из формулы

$$M_k = \frac{3U_\phi^2}{2\omega_0(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + x_k^2})}$$

Изменение критического момента происходит пропорционально квадрату снижения напряжения. В результате при изменении напряжения на статоре искусственные характеристики 3-6 (рисунок 7), построенные при напряжениях $(1; 0,8; 0,6; 0,4) \cdot U_{1ном}$, оказываются малоприменимыми для

регулирования скорости. Это связано с тем, что при уменьшения напряжения резко снижаются критический момент, и соответственно перегрузочная способность асинхронного двигателя. При этом диапазон регулирования скорости весьма мал.

Разомкнутая схема (рисунок 7) применима только во время переходных процессов, для воздействия на момент асинхронного двигателя. Это может потребоваться для обеспечения заданного ускорения движения электропривода или регулирования величины натяжения на исполнительном органе рабочей машины.

Изменение напряжения позволяет также в соответствии с формулой

$$I_2' = \frac{U_\phi}{\sqrt{(R_1 + R_2'/s)^2 + x_k^2}}$$

осуществлять ограничение тока статора в переходных режимах. На рисунке 9 приведены электромеханические характеристики при изменении напряжения на статоре.

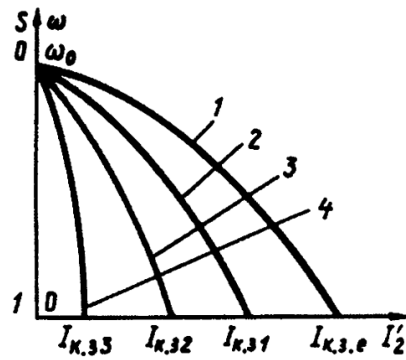


Рисунок 9 - Электромеханические характеристики

Разберем действие тиристорного регулятора напряжения и основанную на его использовании систему ЭП «ТРН – АД».

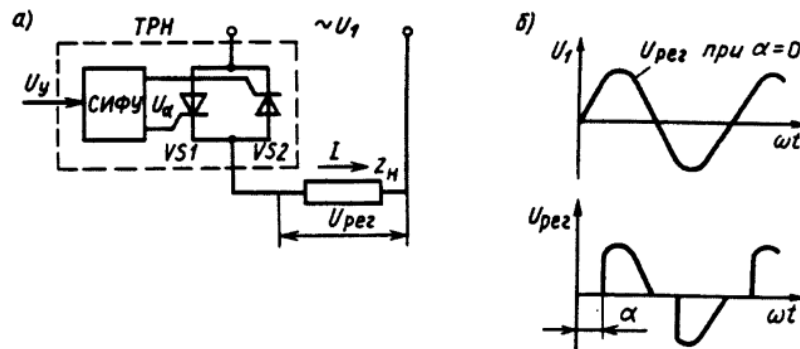


Рисунок 10 - Однофазный ТРН – АД

На рисунке 10а приведена схема регулирования напряжения на однофазной нагрузке переменного тока Z_H . Силовая часть однофазного ТРН состоит из двух тиристоров $VS1$ и $VS2$, включенных по так называемой встречно-параллельной схеме, которая обеспечивает протекание тока в нагрузке в оба полупериода напряжения сети U_1 . Тиристоры получают импульсы управления U_α от СИФУ, обеспечивающей их сдвиг на угол управления α в функции внешнего сигнала управления U_y .

При отсутствии импульсов управления на тиристорах $VS1$ и $VS2$, они закрыты. При этом напряжение на нагрузке $U_{рег}$ равно нулю. При подаче на тиристоры импульсов управления с углом управления $\alpha=0$ они будут полностью открыты и к нагрузке будет приложено все напряжение сети $U_1 =$

$U_{\text{пер}}$ (рисунок. 10, б). При подаче импульсов управления на тиристоры с определенной задержкой относительно предельного режима, то к нагрузке будет прикладываться часть напряжения сети. Изменяя угол управления α от нуля до π , можно регулировать напряжение на нагрузке от полного напряжения сети до нуля.

Используя однофазную схему ТРН, показанную на рисунке 10, а, можно получить трехфазную схему для регулирования напряжения на обмотках статора асинхронного двигателя. Такая схема состоит из шести тиристоров VS1- VS6 (рисунок 11).

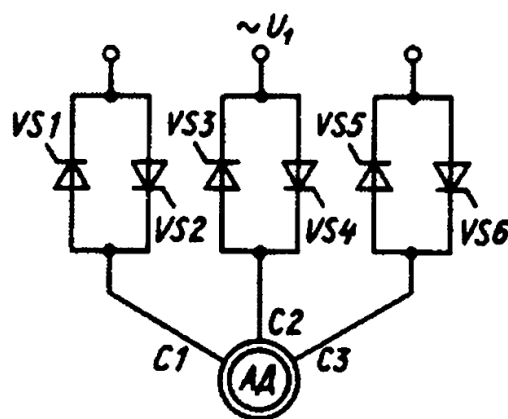


Рисунок 11 – Включение тиристоры в системе ТРН – АД

В таких схемах вместо пары включенных встречно-параллельно тиристоров может применяться полупроводниковый прибор под названием симистор. Этот прибор обеспечивает протекание тока в фазе двигателя в обоих направлениях и имеет такой же принцип действия, что и тиристор. С помощью симистора можно сократить число электронных приборов вдвое, что упростит схему СИФУ.

Необходимо отметить, что напряжение, прикладываемое к нагрузке, является несинусоидальным. Его можно представить совокупностью нескольких синусоидальных гармоник, каждая из которых изменяется с определенной частотой. Частота изменения основной гармоники равна частоте питающего напряжения, а частоты изменения других гармоник

больше, чем первой. Обычно первая гармоника имеет наибольшую амплитуду и по ней ведутся все основные расчеты.

С помощью ТРН можно осуществить реверс электродвигателя. На рисунке 12 приведена схема управления АД, позволяющая реверсировать АД. Такая схема состоит из пяти пар включенных тиристоров встречно-параллельно VS1-VS10. Если сигналы управления от СИФУ подаются на тиристорные пары 1, 3 и 5, то на статоре АД питающее напряжение будет с последовательностью фаз сети ABC и двигатель будет вращаться в прямом направлении. При подаче сигналов управления на тиристорные пары 2, 4 и 5, то на выводах статора АД C1, C2, C3 будет уже другая последовательность фаз сетевого напряжения – В А С. В таком случае направление скорости вращения ротора АД изменится на обратное.

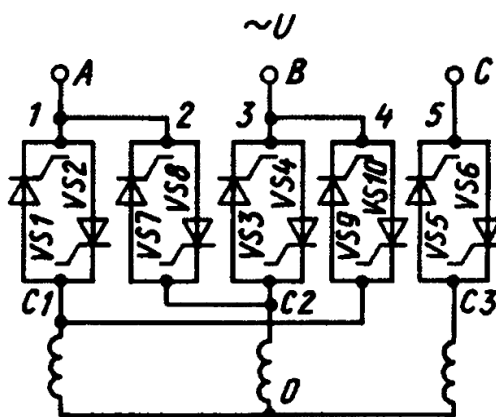


Рисунок 12 - Схема для реверса электродвигателя

Функциональные возможности ТРН по управлению АД этим далеко не исчерпываются. С их помощью можно обеспечивать принудительное электрическое торможение АД, формирование требуемых динамических характеристик ЭП в переходных режимах, обеспечение экономичных режимов АД при его работе с переменной нагрузкой. На базе рассмотренных схем ТРН реализуются тиристорные реверсивные и нереверсивные контакторы (пускатели) для пуска, реверса и торможения АД.

2. Выбор электропривода и расчет его оборудования

2.1. Исходные данные

Существует отдельная группа электроприводов, предназначенная для управления запорной арматурой. Такие электропривода рассчитаны для работы с нагрузками, обусловленными спецификой работы трубопроводной запорной арматуры.

Таким образом, для подбора электропривода для управления конкретной задвижкой требуется знать давление в трубопроводе и диаметр проходного сечения самой задвижки. Эти параметры определяют максимальный крутящий момент на выходном звене электропривода. Исходя из значения максимального момента, выбирают электропривод запорной арматуры.

С целью управления клиновой задвижкой, установленной на магистральном нефтепроводе, выберем электропривод ЭПЦ-15000. Данный привод рассчитан на работу с арматурой, установленной на трубопроводах, давление которых достигает 15 МПа[5]. Учитывая то, что магистральные трубопроводы проектируются на давление до 10 МПа[6], данный привод, установленный на клиновую задвижку, идеально подойдет для достижения целей перекрытия потока рабочей среды.

Данный электропривод позволяет осуществлять:

- закрытие-открытие проходного сечения арматуры и остановку затвора арматуры в любом промежуточном положении по командам оператора с местного или дистанционного поста управления;
- автоматическое отключение электродвигателя по сигналам датчика положения при достижении затвором арматуры крайних положений;
- автоматическое отключение электродвигателя по сигналам муфты ограничения крутящего момента при превышении допустимых нагрузок на выходном звене в любом промежуточном положении затвора арматуры и при его достижении крайних положений;

- выдача дискретных сигналов при достижении затвором арматуры крайних положений и при срабатывании муфты ограничения крутящего момента;
- управление затвором арматуры с помощью привода ручного дублера;
- указание положения затвора арматуры в процессе работы на местном указателе положения;
- автоматическое выключение привода ручного дублера.

2.2 Характеристики электропривода

2.2.1. Технические характеристики ЭПЦ-15000

Режим работы электропривода: повторно-кратковременный S3 с коэффициентом циклической продолжительности включения (ПВ) 25 % по ГОСТ Р 52776. Продолжительность цикла - 60 мин. Время непрерывной работы - 15 мин.

Электропривод «ЭПЦ-15000» комплектуется трехфазным асинхронным взрывозащищенным электродвигателем ДАТЭК-350-03-УХЛ1 ТУ3324-414-20885897-2006 (15 кВт; 1500 об/мин):

- номинальный потребляемый ток нагрузки не более 29,4 А.
- максимальный потребляемый ток нагрузки не более 60 А.

Электропривод климатического исполнения УХЛ1, категории размещения 1 по ГОСТ 15150, сохраняет свою работоспособность при:

- диапазоне температуры окружающего воздуха от минус 60°C до плюс 50°C;
- верхнем значении относительной влажности 95% при 35 °С и более низких температурах без конденсации влаги;
- скорости изменения температуры до 5 °С/ч.

По устойчивости к воздействию атмосферного давления электропривод соответствуют группе P1 по ГОСТ 12997-84: диапазон атмосферного давления, кПа - 84 ... 106,7 на высоте до 1000 м над уровнем моря.

Электропривод изготавливается в исполнении повышенной сейсмостойкости для районов с сейсмичностью свыше 9 и до 10 баллов включительно (по шкале MSK-64).

Рабочее положение электропривода в пространстве - любое выше горизонтальной плоскости, проходящей через ось запорной арматуры.

Основные технические характеристики электроприводов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные технические характеристики электропривода

Наименование параметра	Норма	Примечание
1 Максимальный крутящий момент на выходном звене, Нм	15 000	
2 Максимальная частота вращения выходного звена, об/мин, не менее	10	
3 Диапазон регулирования по положению, в оборотах выходного звена	0 ... 60	
4 Погрешность остановки выходного звена в заданном положении, угл. град, не более	10	
5 Диапазон ограничения крутящего момента на выходном звене, Нм, в пределах	3 000... 15 000	

6 Максимальная погрешность ограничения крутящего момента на выходном звене изделия, в % от заданного значения момента, не более: - в первой половине значений диапазона - во второй половине значений диапазона	±15 ±10	
7 Максимальное усилие на маховике ручного дублера при максимальном моменте на выходном звене, Н, не более	450	
8 Степень защиты изделия по ГОСТ 14254	IP 67	
9 Габаритные размеры (длина x ширина x высота), мм, не более	1000x950x133 0	
10 Масса, кг, не более	1000	

2.2.2. Состав электропривода

Электропривод «ЭПЦ-15000» состоит из следующих основных частей (см. Приложение А): редуктора (позиция 1), привода ручного дублера (позиция 2), блока управления (позиция 3), асинхронного электродвигателя (позиция 4) и электрических кабелей в защитной оболочке (позиции 5 и 6).

Габаритные размеры электропривода и схема строповки при погрузо-разгрузочных работах во время монтажа на месте применения так же приведены в приложении А.

2.2.3. Порядок работы изделия в автоматическом режиме от электродвигателя

При включении электродвигателя (позиция 1) (см. приложение Б) вращение от шестерни (позиция 2), установленной на валу электродвигателя, передается на зубчатое колесо (позиция 3), установленное и вращающееся на ограничителе (позиция 4), жестко закрепленном на входном валу (позиция 5) редуктора с промежуточными телами качения. С зубчатого колеса (позиция 3) вращение через его кулачковую полумуфту передается на кулачковую полумуфту толкателя (позиция 6), который через шлицевое соединение с ограничителем (позиция 5) передает вращение на редуктор с промежуточными телами качения и далее на выходное звено (позиция 7) электропривода.

Шестерня (позиция 8), установленная на входном валу блока управления (позиция 9) и находящаяся в зацеплении с зубчатым колесом (позиция 3), обеспечивает обратную передачу вращательного движения, созданного электродвигателем, на входной вал бесконтактного датчика положения блока управления, по сигналам которого обеспечивается формирование и подача на электродвигатель 3-х фазного напряжения питания в соответствии с заданным алгоритмом и параметрами движения (скорость, положение, моменты трогания и движения). При достижении выходным звеном электропривода заданного конечного или промежуточного положения происходит отключение электродвигателя. Контроль текущего положения выходного звена электропривода в процессе работы ведется в блоке управления по сигналам датчика положения.

Также в процессе работы электропривода от электродвигателя в блоке управления обеспечивается постоянный контроль величины нагрузки на выходном звене (по току электродвигателя) и отключение электродвигателя при превышении нагрузки заданного значения момента ограничения.

Информация об отключении электродвигателя, при достижении выходным звеном электропривода заданного конечного положения или при отключении по заданному моменту ограничения, выводится на индикаторы «Открыто», «Закрыто» или «Муфта» блока управления и передается по дискретным сигнальным выходам или по последовательному интерфейсу в систему телемеханики.

2.3. Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя

Для расчета механических и электромеханических характеристик АД необходимо воспользоваться параметрами схемы замещения электродвигателя. Как правило, используют Т-образную схему замещения асинхронного электродвигателя, так как она является наиболее простой и удобной для расчетов.

Т-образная схема замещения АД представлена на рисунке 15.

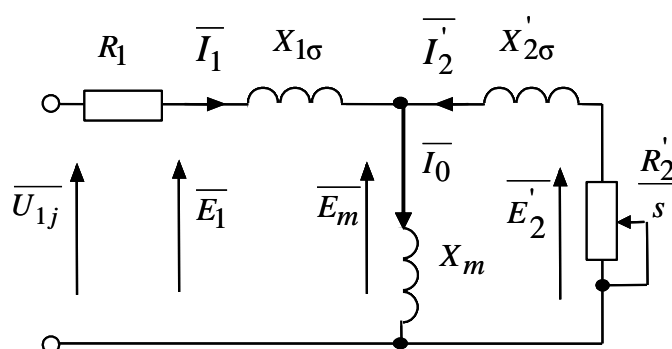


Рисунок 13 - Схема замещения асинхронного двигателя

На рисунке 15 приняты следующие обозначения:

U_{1j} – фазное напряжение статорной обмотки;

R_1 – активное сопротивление статорной обмотки;

$X_{1\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки;

I_1 – ток статорной обмотки;

E_1 – ЭДС статорной обмотки;

R_2' – активное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной обмотке;

$X_{2\sigma}'$ – индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной обмотке;

$s = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$ – скольжение АД;

$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / z_p$ – синхронная угловая скорость АД;

ω – угловая скорость АД;

p – число пар полюсов АД;

f_1 – частота напряжения переменного тока, питающего статорную обмотку;

E_m – ЭДС от главного магнитного потока машины;

E'_2 – ЭДС роторной обмотки, приведенная к статорной обмотке.

Уравнения АД, соответствующие Т-образной схеме замещения:

$$\bar{U}_{1j} - \bar{E}_m - j \cdot X_{1\sigma} \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 = 0,$$

$$\bar{E}_m + j \cdot X'_{2\sigma} \cdot \bar{I}'_2 + R'_2 \cdot \bar{I}'_2 / s = 0,$$

$$\bar{I}_1 + \bar{I}'_2 - \bar{I}_0 = 0.$$

Ток ротора I'_2 , приведенный к статорной обмотке АД, определяется зависимостью, получаемой непосредственно из схемы замещения асинхронного двигателя:

$$I'_2 = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{\text{кн}}^2}},$$

где $X_{\text{кн}} = X_{1\sigma} + X'_{2\sigma}$ – индуктивное сопротивление короткого замыкания.

$I'_2 = f(s)$ – электромеханическая характеристика асинхронного двигателя.

Наибольшую информативность несет в себе зависимость тока статора от скольжения $I_1 = f(s)$. Ток в обмотке статора при этом определяется как сумма вектора тока намагничивания \bar{I}_0 и вектора тока ротора \bar{I}'_2 :

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \bar{I}'_2.$$

Делая предположение о том, что ток намагничивания является реактивным, можно выразить ток статора I_1 через ток ротора, приведенный к статорной обмотке I'_2 [8]:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2},$$

где

$$\sin \varphi_2 = \frac{x_{\text{кн}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + x_{\text{кн}}^2}}.$$

Основной координатой электропривода, представляющей наибольший интерес, является электромагнитный момент. Значение электромагнитного момента для АД можно представить в виде:

$$M_j = \frac{m_1 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot [(R_1 + R_2' \cdot s^{-1})^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')^2]},$$

где m_1 – число фаз статора.

Анализируя выражение электромагнитного момента, можно сделать вывод о том, что механическая характеристика АД имеет точку критического

момента и критического скольжения, которые находятся при условии

$$\frac{dM}{ds} = 0.$$

Тогда критический момент

$$M_{\dot{\epsilon}} = \frac{m_1 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{\dot{\epsilon}i}^2} \right)},$$

критическое скольжение

$$s_K = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}}.$$

Знак «+» ставят в том случае, если двигатель работает в двигательном режиме, знак «-» ставят при работе двигателя в генераторном режиме.

Паспортные данные электродвигателя типа ДАТЭК-350-03:

$P_H = 15$ кВт – номинальная мощность двигателя;

$U_{1H} = 380$ В – номинальное линейное напряжение;

$U_{1\phi} = 220$ В – фазное напряжение;

$n_0 = 1500$ об/мин – синхронная частота вращения;

$s_H = 2,7\%$ – номинальное скольжение;

$\eta_H = 89\%$ – КПД в режиме номинальной мощности (100 %-я нагрузка);

$\cos\varphi_H = 0,87$ – коэффициент мощности;

$k_i = \frac{I_{II}}{I_H} = 6,2$ о.е. – кратность пускового тока;

$k_{II} = \frac{M_{II}}{M_H} = 2,1$ о.е. – кратность пускового момента;

$$k_{max} = \frac{M_k}{M_H} = 2,6 \text{ о.е.} - \text{кратность максимального момента};$$

$$J_{дв} = 0,06 \text{ кг}\cdot\text{м}^2 - \text{момент инерции.}$$

Рассчитаем параметры двигателя.

Синхронная угловая частота вращения:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,08 \text{ рад/с.}$$

Номинальная угловая частота вращения:

$$\omega_H = \omega_0 \cdot (1 - s_H) = 157,08 \cdot (1 - 0,027) = 152,838 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{15000}{152,838} = 98,143 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Номинальный ток статора:

$$I_H = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos\varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{15000}{3 \cdot 220 \cdot 0,87 \cdot 0,89} = 29,352 \text{ А.}$$

Коэффициент мощности при частичной нагрузке:

$$\cos\varphi = 0,98 \cdot \cos\varphi_H = 0,98 \cdot 0,87 = 0,853.$$

Ток статора двигателя при частичной нагрузке:

$$I_1 = \frac{0,75 \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos\varphi \cdot \eta_H} = \frac{0,75 \cdot 15000}{3 \cdot 220 \cdot 0,853 \cdot 0,89} = 22,463 \text{ А.}$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_1^2 - \left[\frac{0,75 \cdot I_H \cdot (1 - s_H)}{1 - 0,75 \cdot s_H}\right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot (1 - s_H)}{1 - 0,75 \cdot s_H}\right]^2}} = \sqrt{\frac{22,463^2 - \left[\frac{0,75 \cdot 29,352 \cdot (1 - 0,027)}{1 - 0,75 \cdot 0,027}\right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot (1 - 0,027)}{1 - 0,75 \cdot 0,027}\right]^2}} = 7,735 \text{ A}$$

Соотношение для расчета критического скольжения (в первом приближении принимаем коэффициент $\beta=1$):

$$s_K = s_H \cdot \frac{k_{max} + \sqrt{k_{max}^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1)} =$$

$$= 0,027 \cdot \frac{2,6 + \sqrt{2,6^2 - [1 - 2 \cdot 0,027 \cdot 1 \cdot (2,6 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,027 \cdot 1 \cdot (2,6 - 1)} = 0,148 \text{ о. е.}$$

Ряд промежуточных коэффициентов для определения внутренних параметров двигателя:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_H} = 1 + \frac{7,735}{2 \cdot 6,2 \cdot 29,352} = 1,021.$$

$$A_1 = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,027)}{2 \cdot 1,021 \cdot 2,6 \cdot 15000} = 1,774.$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_K}\right) \cdot C_1} = \frac{1,774}{\left(1 + \frac{1}{0,148}\right) \cdot 1,021} = 0,224 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2 \cdot \beta = 1,021 \cdot 0,224 \cdot 1 = 0,229 \text{ Ом.}$$

Параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_K^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,148^2} - 1^2} = 6,669.$$

Сопротивление короткого замыкания:

$$X_{kn} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2 = 6,669 \cdot 1,021 \cdot 0,224 = 1,527 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_2 = \frac{0,58 \cdot X_{kn}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 1,527}{1,021} = 0,867 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{kn} = 0,42 \cdot 1,527 = 0,642 \text{ Ом.}$$

ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{(U_{1\phi} \cdot \cos\varphi_H - R_1 \cdot I_H)^2 + (U_{1\phi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2\varphi_H} - X_1 \cdot I_H)^2} \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,87 - 0,229 \cdot 29,352)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,87^2} - 0,642 \cdot 29,352)^2} \\ &= 205,283 \text{ В.} \end{aligned}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_m = \frac{E_m}{I_0} = \frac{205,283}{7,735} = 26,54 \text{ Ом.}$$

2.4. Расчет статических характеристик электродвигателя

Естественная механическая характеристика $M(s)$ асинхронного двигателя рассчитывается по выражению:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_\mu} \right)^2 \right]}.$$

По результатам расчета строится механическая характеристика $\omega(M)$, где $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$. Механические характеристики электродвигателя при изменении питающего напряжения изображены на рисунке 16.

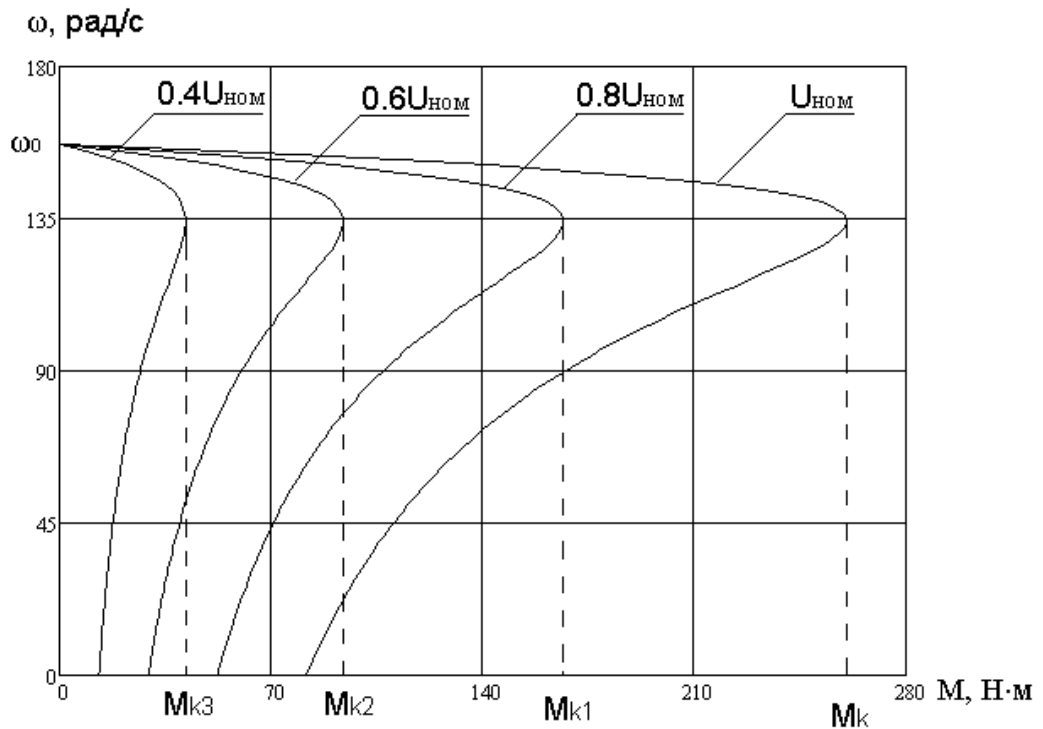


Рисунок 14 - Механические характеристики электродвигателя

Электромеханическая характеристика $I_1(s)$ рассчитывается по выражению:

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

где

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

$$I_0 = \frac{U_{1\text{фн}}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2}}; \quad \sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{\text{кн}})^2}}.$$

Электромеханические характеристики тока статора I_1 и тока ротора I_2 электродвигателя изображена на рисунке 17.

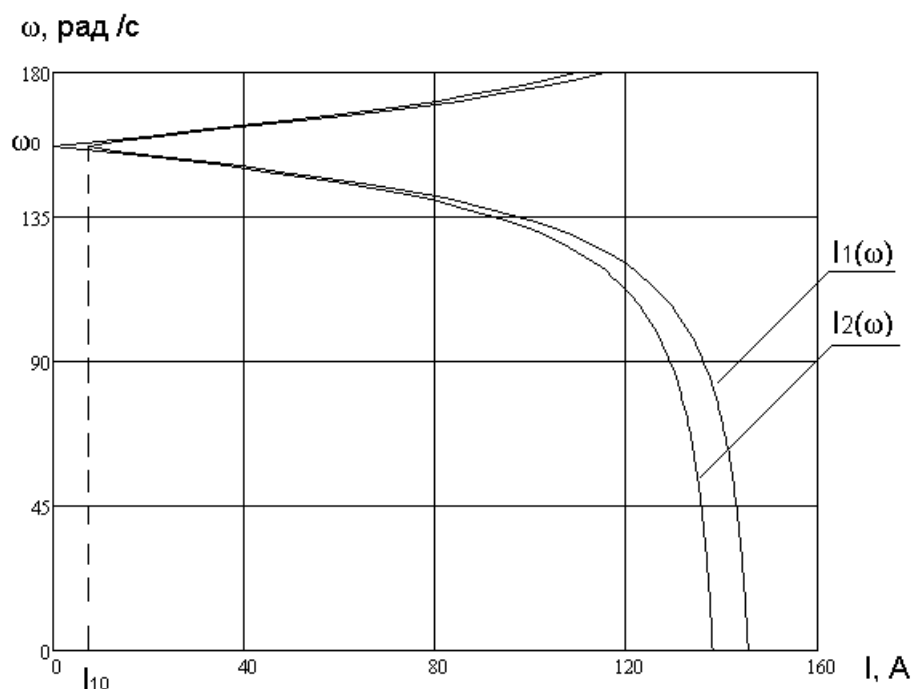


Рисунок 15 - Электромеханическая характеристика тока статора

3. Имитационная модель ТРН – АД

3.1. Математическое описание асинхронного двигателя

Система уравнений, описывающая динамические режимы работы АД, должна включать в себя дифференциальные уравнения напряжений обмоток и уравнения движения вращающихся частей машины. При промышленной частоте 50 Гц обмотки машины рассматриваются как электрические цепи с сосредоточенными параметрами, так как при этом длина электромагнитной волны много больше линейных размеров обмоток [9].

Рассмотрим трехфазную двухполюсную идеализированную машину, имеющую гладкий воздушный зазор, все параметры которой линейны, а напряжения на выводах синусоидальны [9].

Модель такой машины представлена на рисунке 18. Такая модель подразумевает наличие трех обмоток статора с числом витков w_A , w_B , w_C и трех обмоток ротора с числом витков w_a , w_b , w_c . Взаимные индуктивности между обмотками ротора и статора изменяются при вращении ротора АД со

скоростью ω . При этом $\frac{d\theta}{dt} = \omega$, где θ – угол между обмотками ротора и статора.

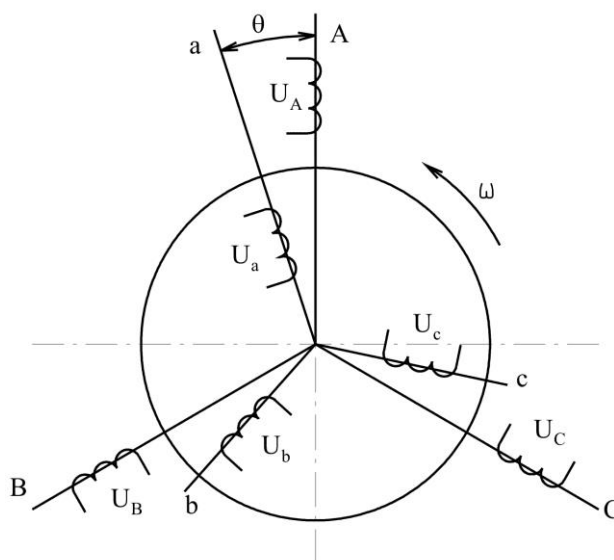


Рисунок 16 - Пространственная модель АД в естественных координатах

Необходимо записать систему дифференциальных уравнений по второму закону Кирхгофа для каждой фазы статора и ротора. Это поможет в дальнейшем найти токи двигателя.

Уравнения для фазных обмоток статора [9]:

$$\begin{aligned}
 U_A &= R_s \cdot i_A + \frac{d\Psi_A}{dt} ; \\
 U_B &= R_s \cdot i_B + \frac{d\Psi_B}{dt} ; \\
 U_C &= R_s \cdot i_C + \frac{d\Psi_C}{dt} .
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Уравнения для фазных обмоток ротора:

$$U_a = R_r \cdot i_a + \frac{d\Psi_a}{dt} ;$$

$$U_b = R_r \cdot i_b + \frac{d\Psi_b}{dt} ; \quad (3.2)$$

$$U_c = R_r \cdot i_c + \frac{d\Psi_c}{dt} ;$$

где индексы А, В, С обозначают обмотки статора, индексы а, b, с обозначают обмотки ротора.

При этом роторные величины приведены к обмотке статора. Потокосцепления с фазами обмоток статора и ротора выражаются через токи фаз и соответствующие индуктивности, для фазы «А» статора:

$$\Psi_A = L_{AA\Sigma} \cdot i_A + L_{AB\Sigma} \cdot i_B + L_{AC\Sigma} \cdot i_C + L_{Aa\Sigma} \cdot i_a + L_{Ab\Sigma} \cdot i_b + L_{Ac\Sigma} \cdot i_c ; \quad (3.3)$$

для фазы «а» ротора:

$$\Psi_a = L_{aA\Sigma} \cdot i_A + L_{aB\Sigma} \cdot i_B + L_{aC\Sigma} \cdot i_C + L_{aa\Sigma} \cdot i_a + L_{ab\Sigma} \cdot i_b + L_{ac\Sigma} \cdot i_c . \quad (3.4)$$

Потокосцепления с другими фазами записываются по тому же принципу. В уравнения для потокосцеплений (3.3), (3.4) входят индуктивности фаз (главные индуктивности и индуктивности рассеяния):

$$L_{AA\Sigma} = L_{AA\sigma} + L_{AA} ;$$

$$L_{BB\Sigma} = L_{BB\sigma} + L_{BB} ;$$

$$L_{CC\Sigma} = L_{CC\sigma} + L_{CC} ;$$

$$L_{aa\Sigma} = L_{aa\sigma} + L_{aa}$$

$$\dots\dots ;$$

взаимные индуктивности между фазами статора:

$$L_{AB\Sigma} = L_{AB\sigma} + L_{AB} ;$$

$$L_{AC\Sigma} = L_{AC\sigma} + L_{AC} ;$$

взаимные индуктивности между фазами ротора:

$$L_{ab\Sigma} = L_{ab\sigma} + L_{ab};$$

$$L_{ac\Sigma} = L_{ac\sigma} + L_{ac};$$

и взаимные индуктивности между фазами статора и ротора:

$$L_{Aa}, L_{Ab}, L_{Ac}, L_{Ba}, L_{Bb}, L_{Bc}, L_{Ca}, L_{Cb}, L_{Cc}.$$

Главные индуктивности всех фаз одинаковы и не зависят от углового положения ротора [9]:

$$L_{AA}, L_{AB}, L_{AC}, L_{aa}, L_{bb}, L_{cc} = L_m; \quad (3.5)$$

где L_m – максимальная приведенная взаимная индуктивность между фазами статора и ротора. Обозначим индуктивность фазы статора L_S как сумму взаимной индуктивности L_m и индуктивности рассеяния $L_{AA\sigma}$:

$$L_S = L_m + L_{AA\sigma};$$

таким же образом для ротора:

$$L_R = L_m + L_{aa\sigma}.$$

Главные взаимные индуктивности между фазами статора

$$L_{AB}, L_{AC}, L_{BC} = -L_m/2; \quad (3.6)$$

и взаимные индуктивности между фазами ротора

$$L_{ab}, L_{ac}, L_{bc} = -L_m/2; \quad (3.7)$$

так же одинаковы по величине и не зависят от углового положения ротора.

И лишь взаимные индуктивности между фазами статора и ротора зависят от углового положения ротора, характеризующегося углом θ между осями фаз «А» и «а»:

$$\begin{aligned} L_{Aa} &= L_{Bb} = L_{Cc} = L_m \cdot \cos \alpha_{Aa}; \\ L_{Ab} &= L_{Bc} = L_{Ca} = L_m \cdot \cos \alpha_{Ab}; \\ L_{Ac} &= L_{Ba} = L_{Cb} = L_m \cdot \cos \alpha_{Ac}; \end{aligned} \quad (3.8)$$

тогда общая формула:

$$L_{kn} = L_m \cdot \cos \alpha_{kn}; \quad (3.9)$$

где α_{kn} – электрические углы между осями фаз статора ($k = A, B, C$) и осями фаз ротора ($n = a, b, c$), которые имеют следующие значения:

$$\begin{aligned} \alpha_{Aa} &= \alpha_{Bb} = \alpha_{Cc} = \alpha = p \cdot \theta; \\ \alpha_{Ab} &= \alpha_{Bc} = \alpha_{Ca} = \alpha + 2\pi/3; \\ \alpha_{Ac} &= \alpha_{Ba} = \alpha_{Cb} = \alpha + 4\pi/3; \end{aligned}$$

где p – число периодов. Угол θ можно в общем случае определить как:

$$\theta = \theta_0 + \int_0^t \omega \cdot dt$$

Взаимные индуктивности (3.8) являются периодическими коэффициентами, изменяющиеся по гармоническому закону при вращении ротора машины. Обозначим эти индуктивности как L_{m1}, L_{m2}, L_{m3} :

$$\begin{aligned} L_{m1} &= L_{Aa} = L_{Bb} = L_{Cc} = L_m \cdot \cos(\alpha); \\ L_{m2} &= L_{Ab} = L_{Bc} = L_{Ca} = L_m \cdot \cos(\alpha + 2\pi/3); \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$L_{m3} = L_{Ac} = L_{Ba} = L_{Cb} = L_m \cdot \cos(\alpha + 4\pi/3).$$

Подставляя обозначенные индуктивности (3.5), (3.6), (3.7) и (3.10) в уравнения потокосцеплений (3.3) и (3.4), а потокосцепления всех фаз, в свою очередь, в исходные уравнения электрического равновесия двигателя (3.1) и (3.2), получаем систему уравнений, описывающую электрическую часть асинхронного двигателя в естественной трехфазной системе координат (с учетом, что фазные напряжения на роторе равны нулю):

$$\begin{aligned} U_A &= R_s \cdot i_A + L_s \frac{di_A}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_B}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_C}{dt} + \frac{d}{dt}(L_{m1} \cdot i_a) + \frac{d}{dt}(L_{m2} \cdot i_b) + \frac{d}{dt}(L_{m3} \cdot i_c); \\ U_B &= R_s \cdot i_B - \frac{L_m}{2} \frac{di_A}{dt} + L_s \frac{di_B}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_C}{dt} + \frac{d}{dt}(L_{m3} \cdot i_a) + \frac{d}{dt}(L_{m1} \cdot i_b) + \frac{d}{dt}(L_{m2} \cdot i_c); \\ U_C &= R_s \cdot i_C - \frac{L_m}{2} \frac{di_A}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_B}{dt} + L_s \frac{di_C}{dt} + \frac{d}{dt}(L_{m2} \cdot i_a) + \frac{d}{dt}(L_{m3} \cdot i_b) + \frac{d}{dt}(L_{m1} \cdot i_c); \\ 0 &= R_r \cdot i_a + \frac{d}{dt}(L_{m1} \cdot i_A) + \frac{d}{dt}(L_{m2} \cdot i_B) + \frac{d}{dt}(L_{m3} \cdot i_C) + L_R \frac{di_a}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_b}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_c}{dt}; \\ 0 &= R_r \cdot i_b + \frac{d}{dt}(L_{m2} \cdot i_A) + \frac{d}{dt}(L_{m1} \cdot i_B) + \frac{d}{dt}(L_{m3} \cdot i_C) - \frac{L_m}{2} \frac{di_a}{dt} + L_R \frac{di_b}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_c}{dt}; \\ 0 &= R_r \cdot i_c + \frac{d}{dt}(L_{m3} \cdot i_A) + \frac{d}{dt}(L_{m2} \cdot i_B) + \frac{d}{dt}(L_{m1} \cdot i_C) - \frac{L_m}{2} \frac{di_a}{dt} - \frac{L_m}{2} \frac{di_b}{dt} + L_R \frac{di_c}{dt}. \end{aligned} \quad (3.11)$$

Уравнение движения электропривода:

$$\frac{J_\Sigma}{p_n} \cdot \frac{d\omega}{dt} = M - M_c \quad (3.12)$$

M – электромагнитный момент двигателя;

M_c – статический момент сопротивления;

J_Σ – суммарный момент инерции вращающихся масс, приведенных к валу двигателя.

При принятых допущениях электромагнитный момент двигателя в (3.12) выражается через производные индуктивностей обмоток по углу θ и фазные токи и может быть рассчитан:

$$M = \sum_{k=A,B,C} i_k \sum_{n=a,b,c} i_n \frac{dL_{kn}}{d\theta}$$

С учетом (3.9) момент можно выразить через токи и углы α_{kn} между фазами:

$$M = -p_n L_m \sum_{k=A,B,C} i_k \sum_{n=a,b,c} i_n \sin \alpha_{kn} \quad (3.13)$$

В естественных координатах каждое уравнение системы (3.11) содержит производные статорных токов двигателя: i_A, i_B, i_C , роторных токов: i_a, i_b, i_c , а также 3 производных переменных индуктивностей: L_{m1}, L_{m2}, L_{m3} . Такую систему дифференциальных уравнений 9-го порядка проблематично решить как аналитически, так и численными методами.

Необходимо упростить систему (3.11). Для этого можно перейти от естественной (вращающейся) к неподвижной системе координат α, β, γ . Данный переход аналогичен переводу АД в двухфазную систему координат α, β (модель в статорных осях). Такой переход позволит получить систему дифференциальных уравнений без периодических коэффициентов L_{m1}, L_{m2}, L_{m3} и понизить порядок системы уравнений до 6-го порядка. Трехфазная машина в неподвижной системе координат (α, β, γ) изображена на рисунке 19.

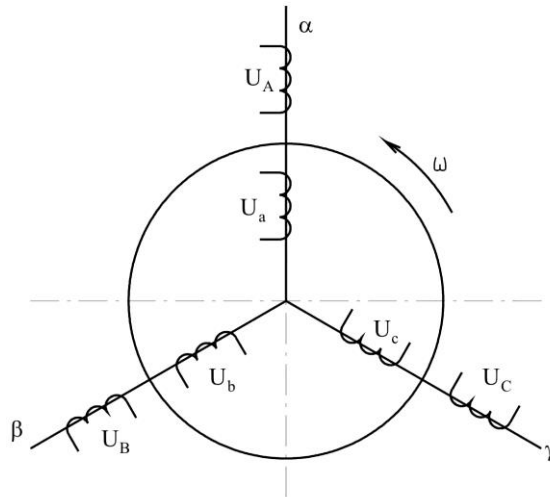


Рисунок 17 - Пространственная модель АД в трехфазной неподвижной системе координат

В трехфазной системе координат имеется круговое поле в воздушном зазоре и его можно представить результирующими векторами токов ротора, напряжений и потокосцеплений, проецируемые на оси статора α , β , γ находят выражения для преобразованных значений. Матрица преобразования для трехфазной системы [9]:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2/3 \cos \theta & 2/3 \cos(\theta + \rho) & 2/3 \cos(\theta - \rho) \\ 0 & 0 & 0 & 2/3 \cos(\theta - \rho) & 2/3 \cos \theta & 2/3 \cos(\theta + \rho) \\ 0 & 0 & 0 & 2/3 \cos(\theta + \rho) & 2/3 \cos(\theta - \rho) & 2/3 \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

где $\rho = 2\pi/3$.

Используя матрицу преобразования (3.14), и с учетом, что фазные напряжения на роторе равны нулю, запишем систему уравнений (3.1), (3.2) в преобразованной трехфазной системе координат:

$$U_A = R_s \cdot i_A + \frac{d\Psi_A}{dt} ;$$

$$U_B = R_s \cdot i_B + \frac{d\Psi_B}{dt} ;$$

$$U_C = R_s \cdot i_C + \frac{d\Psi_C}{dt} ; \quad (3.15)$$

$$0 = R_r \cdot i_a + \frac{d\Psi_a}{dt} + (\Psi_b - \Psi_c) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} ;$$

$$0 = R_r \cdot i_b + \frac{d\Psi_b}{dt} + (\Psi_c - \Psi_a) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} ;$$

$$0 = R_r \cdot i_c + \frac{d\Psi_c}{dt} + (\Psi_a - \Psi_b) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} .$$

Потокосцепления для всех фаз:

$$\Psi_A = L_{SA} \cdot i_A - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_B - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_C + L_m \cdot i_a - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_b - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_c ;$$

$$\Psi_B = -\frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_A + L_{SB} \cdot i_B - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_C - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_a + L_m \cdot i_b - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_c ;$$

$$\Psi_C = -\frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_A - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_B + L_{SC} \cdot i_C - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_a - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_b + L_m \cdot i_c ;$$

$$\Psi_a = L_m \cdot i_A - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_B - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_C + L_{RA} \cdot i_a - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_b - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_c ;$$

$$\Psi_b = -\frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_A + L_m \cdot i_B - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_C - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_a + L_{RB} \cdot i_b - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_c ;$$

$$\Psi_c = -\frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_A - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_B + L_m \cdot i_C - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_a - \frac{1}{2} \cdot L_m \cdot i_b + L_{RC} \cdot i_c .$$

(3.16)

Подставляя потокосцепления (3.16) в (3.15), получаем систему из 6 уравнений и 6 неизвестных: i_A , i_B , i_C , i_a , i_b , i_c . Теперь необходимо привести данную систему дифференциальных уравнений к нормальной форме Коши. Для этого требуется перейти к матричной форме записи уравнений. Перепишем систему (3.15), разрешенную относительно производных потокосцеплений:

$$\frac{d\Psi_A}{dt} = U_A - R_s \cdot i_A ;$$

$$\frac{d\Psi_B}{dt} = U_B - R_s \cdot i_B ;$$

$$\frac{d\Psi_C}{dt} = U_C - R_s \cdot i_C ;$$

$$\frac{d\Psi_a}{dt} = -R_r \cdot i_a - (\Psi_b - \Psi_c) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} ;$$

$$\frac{d\Psi_b}{dt} = -R_r \cdot i_b - (\Psi_c - \Psi_a) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} ;$$

$$\frac{d\Psi_c}{dt} = -R_r \cdot i_c - (\Psi_a - \Psi_b) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} .$$

(3.17)

Подставляя все потокосцепления (3.16) в (3.17) и используя матричную форму записи системы уравнений, получаем выражение (3.18).

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} L_S & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 \\ -L_m/2 & L_S & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 \\ -L_m/2 & -L_m/2 & L_S & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m \\ L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R & -L_m/2 & -L_m/2 \\ -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R & -L_m/2 \\ -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} di_A/dt \\ di_B/dt \\ di_C/dt \\ di_a/dt \\ di_b/dt \\ di_c/dt \end{bmatrix} = \\
& = \begin{bmatrix} U_A - R_s \cdot i_A \\ U_B - R_s \cdot i_B \\ U_C - R_s \cdot i_C \\ -R_r \cdot i_a - \begin{bmatrix} \left(-\frac{1}{2}L_m i_A + L_m i_B - \frac{1}{2}L_m i_C - \frac{1}{2}L_m i_a + L_R i_b - \frac{1}{2}L_m i_c \right) - \\ \left(-\frac{1}{2}L_m i_A - \frac{1}{2}L_m i_B + L_m i_C - \frac{1}{2}L_m i_a - \frac{1}{2}L_m i_b + L_R i_c \right) \end{bmatrix} \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} \\ -R_r \cdot i_b - \begin{bmatrix} \left(-\frac{1}{2}L_m i_A - \frac{1}{2}L_m i_B + L_m i_C - \frac{1}{2}L_m i_a - \frac{1}{2}L_m i_b + L_R i_c \right) - \\ \left(L_m i_A - \frac{1}{2}L_m i_B - \frac{1}{2}L_m i_C + L_R i_a - \frac{1}{2}L_m i_b - \frac{1}{2}L_m i_c \right) \end{bmatrix} \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} \\ -R_r \cdot i_c - \begin{bmatrix} \left(L_m i_A - \frac{1}{2}L_m i_B - \frac{1}{2}L_m i_C + L_R i_a - \frac{1}{2}L_m i_b - \frac{1}{2}L_m i_c \right) - \\ \left(-\frac{1}{2}L_m i_A + L_m i_B - \frac{1}{2}L_m i_C - \frac{1}{2}L_m i_a + L_R i_b - \frac{1}{2}L_m i_c \right) \end{bmatrix} \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} \end{bmatrix}.
\end{aligned} \tag{3.18}$$

Матричная форма записи (3.18) выглядит следующим образом:

$$[L_1] \cdot \frac{d[i]}{dt} = [U] - \left([R] + [L_2] \cdot \frac{\omega}{\sqrt{3}} \right) \cdot [i]; \tag{3.19}$$

где $[i]$ – матрица неизвестных (токи статора и ротора); $[U]$ – матрица напряжений; $[R]$ – матрица сопротивлений; $[L_1]$, $[L_2]$ – матрицы индуктивностей:

$$[i] = \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \\ i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}; \quad [U] = \begin{bmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad [R] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_r \end{bmatrix};$$

$$[L_1] = \begin{bmatrix} L_s & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 \\ -L_m/2 & L_s & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 \\ -L_m/2 & -L_m/2 & L_s & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m \\ L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R & -L_m/2 & -L_m/2 \\ -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R & -L_m/2 \\ -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R \end{bmatrix}; \quad (3.20)$$

$$[L_2] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3}{2}L_m & -\frac{3}{2}L_m & 0 & \left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) & -\left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) \\ -\frac{3}{2}L_m & 0 & \frac{3}{2}L_m & -\left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) & 0 & \left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) \\ \frac{3}{2}L_m & -\frac{3}{2}L_m & 0 & \left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) & -\left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) & 0 \end{bmatrix}$$

Выразим из (3.19) матрицу токов и получим искомое выражения, описывающее АД в трехфазной системе координат:

$$\frac{d[i]}{dt} = [L_1]^{-1} \cdot \left\{ [U] - \left([R] + [L_2] \cdot \frac{\omega}{\sqrt{3}} \right) \cdot [i] \right\}. \quad (3.21)$$

Расчет токов проводился в системе координат, приведенной к обмоткам статора, а значит мгновенные значения токов ротора i_a , i_b , i_c тоже приведены

к обмоткам статора. Для нахождения токов ротора АД, приведенных к ротору, найдем результирующий ток ротора (амплитуда тока):

$$I_2' = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot (i_a^2 + i_b^2 + i_c^2)}$$

Магнитное поле обмотки статора наводит в роторе токи с частотой ω_r , равной частоте вращения ротора относительно частоты вращения магнитного поля статора:

$$\omega_r = \omega_0 - \omega$$

Угол поворота θ_r можно определить как:

$$\theta_r = \theta_{r0} + \int_0^t \omega_r dt$$

Тогда фазные токи ротора можно найти:

$$i_a = I_2' \cdot \sin(\theta_r);$$

$$i_b = I_2' \cdot \sin(\theta_r - 2\pi/3);$$

$$i_c = I_2' \cdot \sin(\theta_r + 2\pi/3).$$

Частота токов ротора: $f_2 = \omega_r / 2\pi$ будет составлять $0,5 \div 2$ Гц.

В трехфазной неподвижной системе координат четко определены углы между всеми фазами статора и ротора, поэтому можно преобразовать выражение (3.13) для электромагнитного момента:

$$M = -p_n \cdot L_m \cdot (i_A \cdot (i_a \cdot \sin \alpha_{Aa} + i_b \cdot \sin \alpha_{Ab} + i_c \cdot \sin \alpha_{Ac}) + i_B \cdot (i_a \cdot \sin \alpha_{Ba} + i_b \cdot \sin \alpha_{Bb} + i_c \cdot \sin \alpha_{Bc}) + i_C \cdot (i_a \cdot \sin \alpha_{Ca} + i_b \cdot \sin \alpha_{Cb} + i_c \cdot \sin \alpha_{Cc}))$$

(3.23)

где $\sin \alpha_{Aa} = \sin \alpha_{Bb} = \sin \alpha_{Cc} = \sin 0^\circ = 0$;

$$\sin \alpha_{Ab} = \sin \alpha_{Bc} = \sin \alpha_{Ca} = \sin(120^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2};$$

$$\sin \alpha_{Ac} = \sin \alpha_{Ba} = \sin \alpha_{Cb} = \sin(-120^\circ) = -\sqrt{3}/2.$$

Результирующее выражение для электромагнитного момента в трехфазной системе координат [9]:

$$M = p_n \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot L_m \cdot [(i_A \cdot i_c + i_B \cdot i_a + i_C \cdot i_b) - (i_A \cdot i_b + i_B \cdot i_c + i_C \cdot i_a)]. \quad (3.22)$$

3.2. Моделирование АД на основе стандартных блоков MATLAB

Simulink

В стандартной библиотеке MATLAB Simulink предусмотрен блок «Asynchronous Machine SI Units». Этот блок моделирует асинхронную электрическую машину в двигательном или генераторном режимах. Режим работы определяется знаком электромагнитного момента машины.

Порты модели А, В и С являются выводами статорной обмотки машины. На выходном потоке формируется векторный сигнал, состоящий из 21 элемента: токов, потоков и напряжений ротора и статора в неподвижной и вращающейся системах координат, электромагнитного момента, скорости вращения вала, а также его углового положения. Для удобства извлечения переменных машины из вектора в библиотеке SimPowerSystems предусмотрен блок Machines Measurement Demux. Модель асинхронной машины включает в себя модель электрической части, представленной моделью пространства состояний четвертого порядка и модель механической части в виде системы второго порядка. Все электрические переменные и параметры машины приведены к статору. Исходные уравнения электрической части машины записаны для двухфазной (dq) системе координат.

На рисунке 20 изображена имитационная модель АД из библиотеки MATLAB Simulink.

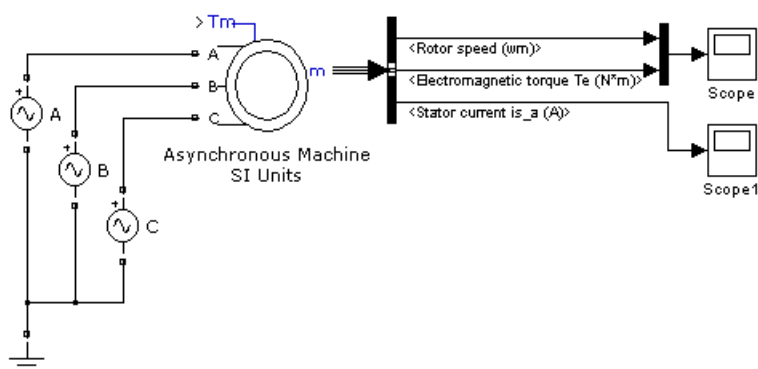


Рисунок 18 - Модель АД из библиотеки MATLAB Simulink

В настройки блока «Asynchronous Machine SI Units» (рисунок 21) внесем параметры асинхронного электродвигателя ДАТЭК-350-03-УХЛ1, рассчитанные в пункте 2.3.

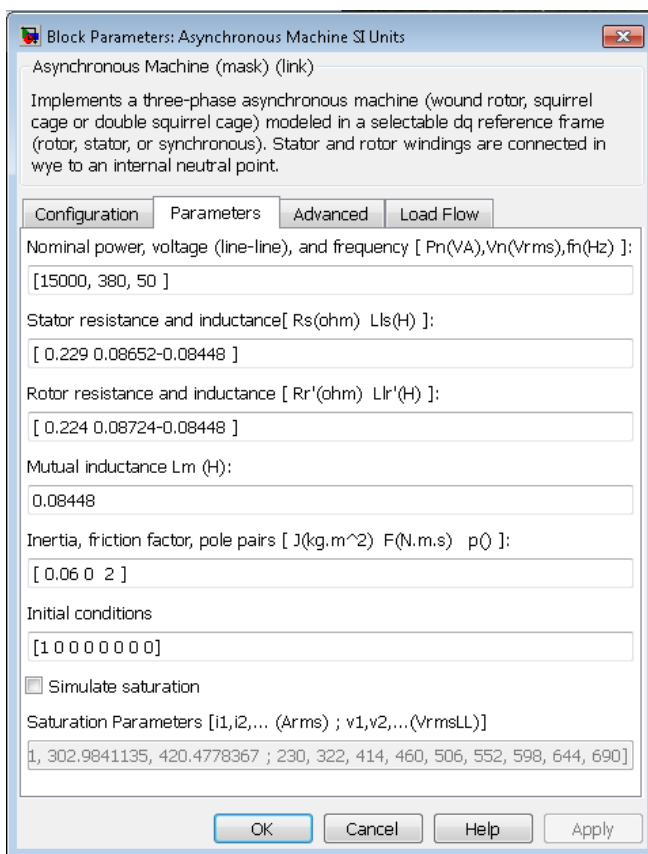


Рисунок 19 - Параметры АД

Результат моделирования, в виде переходного процесса скорости и момента двигателя, изображен на рисунке 22.

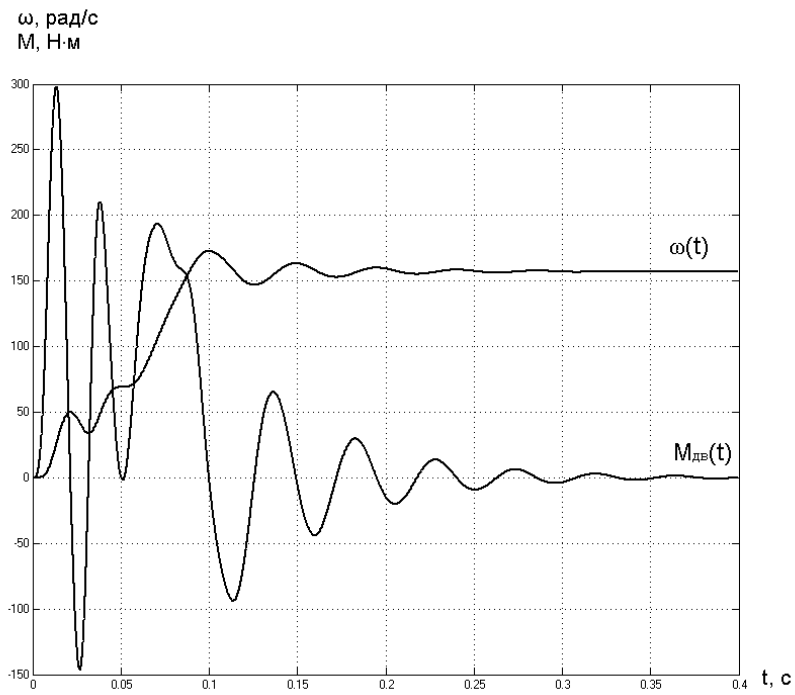


Рисунок 20 - Переходный процесс скорости $\omega(t)$ и $M_{дв}(t)$

Переходный процесс тока в фазе А статора изображен на рисунке 23.

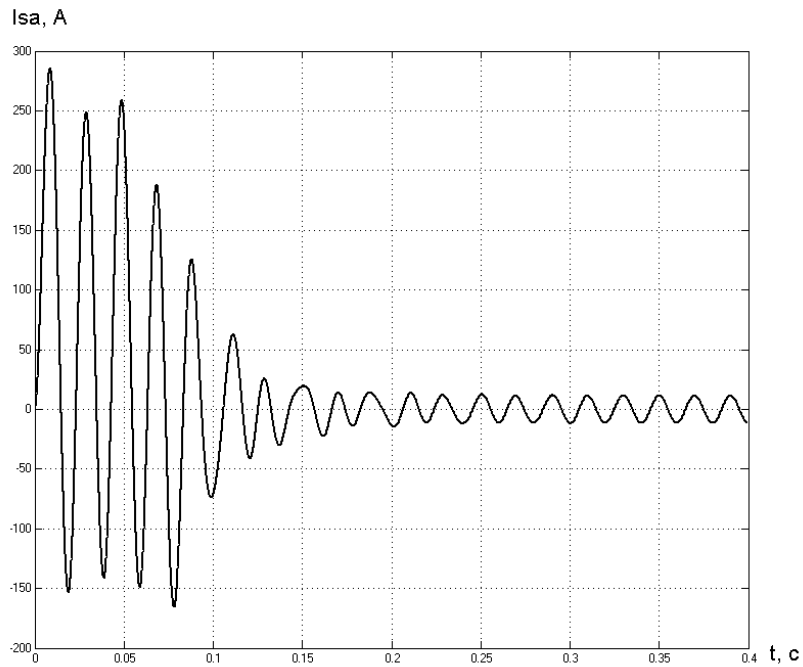


Рисунок 21 – Переходный процесс тока статора в фазе А $I_{са}(t)$

Теперь можно провести пуск АД под нагрузкой. Для этого на вход блока «Asynchronous Machine SI Units» нужно подать сигнал в виде постоянной

величины. Величина момента нагрузки будет составлять $0,46 \cdot M_H$.
Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя при пуске под нагрузкой приведены на рисунке 24.

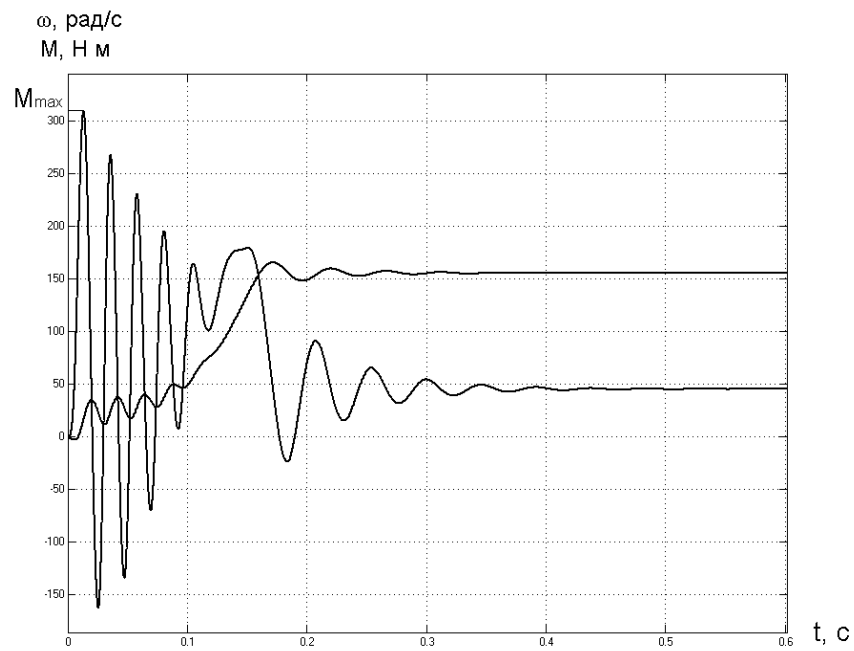


Рисунок 22 - Переходный процесс скорости $\omega(t)$ и $M_{дв}(t)$ при пуске под нагрузкой

Переходный процесс тока в фазе статора изображен на рисунке 25.

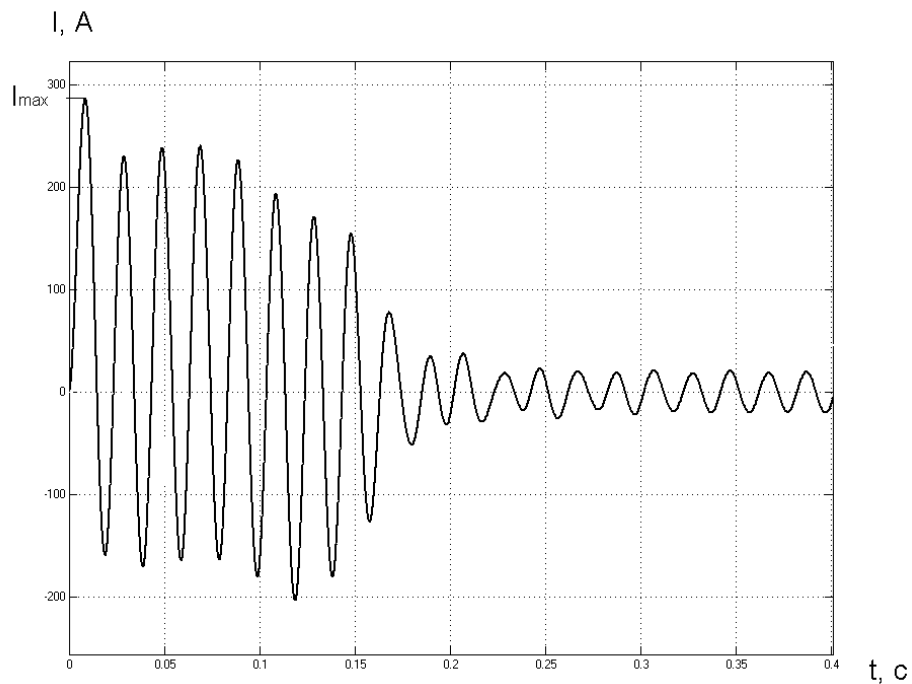


Рисунок 23 - Переходный процесс тока в фазе статора

На рисунках 24 и 25 можно отметить характерные точки: $M_{max} = 310,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ - максимальный момент двигателя при пуске под нагрузкой; $I_{max} = 286,8 \text{ А}$ - максимальный ток статора при пуске под нагрузкой.

3.3. Моделирование АД на основе блока S-Function Builder в MATLAB Simulink

В библиотеке MATLAB Simulink предусмотрен блок под названием «S-Function Builder». Он служит для того, чтобы пользователь имел возможность интегрировать внешний код С в модель Simulink. Используя блок «S-Function Builder», можно создать модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, которая будет полностью соответствовать математическому описанию такого электродвигателя

В данной работе будет построена модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в естественной (трехфазной) системе координат. Математическое описание машины приведено в главе 3.1.

Модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, построенная с помощью блока «S-Function Builder», представлена на рисунке 26.

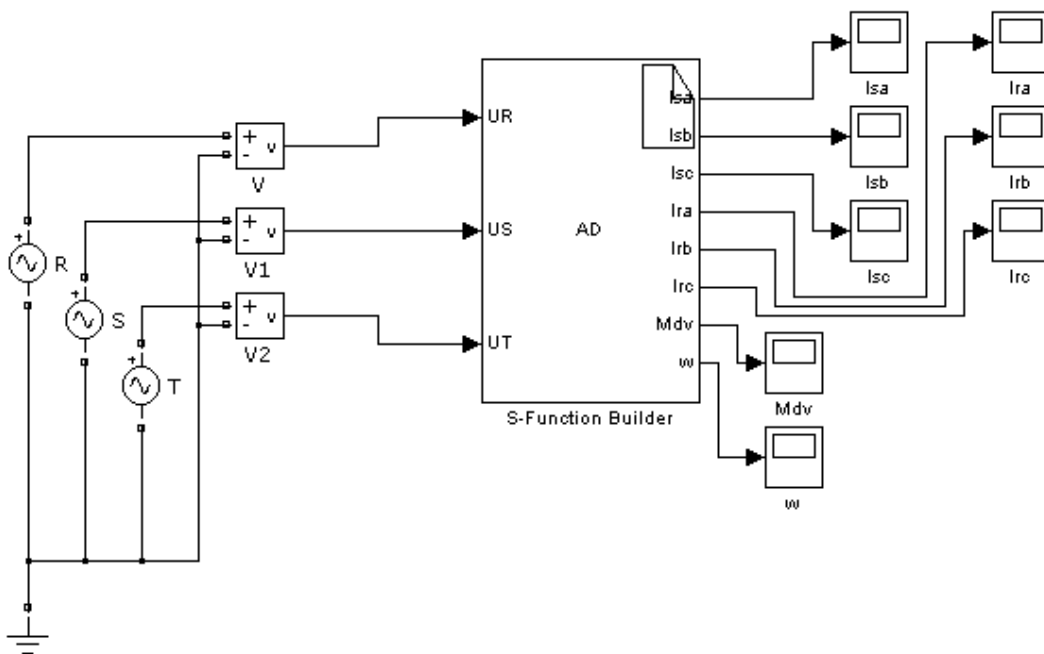


Рисунок 24 – Имитационная модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Блоки R, S и T отвечают за имитацию трехфазного напряжения сети. Амплитуда напряжения в каждом из этих блоков равна $\sqrt{2} \cdot 220 \approx 311$ В, частота равна 50 Гц. Сдвиги по фазам у блоков R, S и T составляют соответственно 0° , 120° и 240° . Блоки V1, V2 и V3 передают сигналы с R, S и T на соответствующие входы блока S-Function Builder, отвечающего за имитацию асинхронного двигателя. На выходе этого блока можно наблюдать сигналы токов в каждой обмотке ротора и статора, момент двигателя и скорость вращения ротора двигателя.

Как было сказано в главе 3.1, необходимо решить дифференциальное уравнение (3.21), описывающее асинхронный двигатель в трехфазной системе координат. Это уравнение записано в матричном виде, и решить его требуется относительно матрицы токов ротора и статора.

Данное уравнение приведено к нормальной форме Коши. Решение будет проводиться методом Эйлера. Суть метода Эйлера заключается в том, что необходимо заменить функцию $y(x)$ на отрезке интегрирования прямой линией, которая является касательной к графику в точке $x = x_i$. Погрешность будет большой, если искомая функция сильно отличается от линейной на отрезке интегрирования. Таким образом необходимо уменьшать значение шага интегрирования h для уменьшения погрешности вычисления. На рисунке 27 отображена суть метода Эйлера для участка функции от x_i до x_{i+1} .

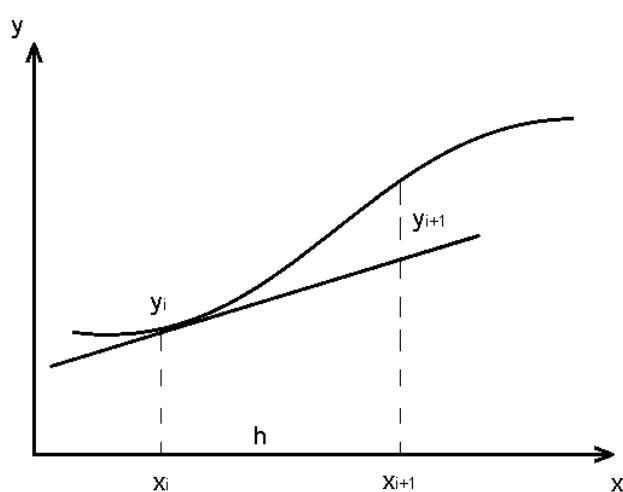


Рисунок 25 - Пояснение к методу Эйлера

Ниже будут приводиться части из кода, записанного в блоке S-Function Builder, и пояснения к ним.

Сначала объявляются все переменные, которые будут использоваться в ходе расчетов. В том числе и параметры электродвигателя, найденные в главе 2.3.

```
const float J=0.06, rs=0.229, xm=0.08448, xr=0.08724, xs=0.08652, rr=0.224,
dt=0.00005555;
unsigned static polus=2, Mc = 0;
float static c, psira, psirb, psirc, cur[6], vol[6], L[6][6], ww=0, M=0;
unsigned static g = 0, p = 0;
```

Здесь J – момент инерции двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; r_s – активное сопротивление статорной обмотки, Ом; r_r – активное сопротивление роторной обмотки,

приведенное к обмотке статора, Ом; x_s – индуктивность фазы статорной обмотки, Гн; x_r – индуктивность фазы роторной обмотки, Гн; x_m – максимальная приведенная взаимная индуктивность между фазами статора и ротора, Гн; dt – шаг интегрирования при решении дифференциального уравнения методом Эйлера, сек; $polus$ – количество пар полюсов электродвигателя; M_c – нагрузка двигателя, Н·м; c, g, p – вспомогательные переменные; $psira, psirb, psirc$ – потокосцепления; ww, M – начальные значения скорости и момента двигателя; $cur[6], vol[6]$ – соответственно матрицы токов и напряжений обмоток ротора и статора; $L[6][6]$ – обратная матрица индуктивностей;

Значения элементов обратной матрицы индуктивностей $L[6][6]$ были найдены по методике, описанной в главе 3.1, и приведены ниже:

```
L[1][1] = 303.748;    L[1][2] = 92.977;    L[1][3] = 92.977;    L
[1][4] = -137.518;  L[1][5] = 68.759;    L[1][6] = 68.759;
L[2][1] = 92.977;    L[2][2] = 303.748;    L[2][3] = 92.977;
L[2][4] = 68.759;    L[2][5] = -137.518;  L[2][6] = 68.759;
L[3][1] = 92.977;    L[3][2] = 92.977;    L[3][3] = 303.748;    L
[3][4] = 68.759;    L[3][5] = 68.759;    L[3][6] = -137.518;
L[4][1] = -137.518;  L[4][2] = 68.759;    L[4][3] = 68.759;
L[4][4] = 260.449;  L[4][5] = 50.849;    L[4][6] = 50.849;
L[5][1] = 68.759;    L[5][2] = -137.518;  L[5][3] = 68.759;
L[5][4] = 50.849;    L[5][5] = 260.449;  L[5][6] = 50.849;
L[6][1] = 68.759;    L[6][2] = 68.759;    L[6][3] = -137.518;  L
[6][4] = 50.849;    L[6][5] = 50.849;    L[6][6] = 260.449;
```

Далее реализуется алгоритм метода Эйлера. Вычисляются значения напряжения обмоток статора и ротора, необходимые для вычисления матрицы токов статора и ротора.

```
vol[1]=UR[0]-rs*cur[1];
vol[2]=US[0]-rs*cur[2];
vol[3]=UT[0]-rs*cur[3];
```

```

psira=
xm*cur[1]-0.5*xm*cur[2]-0.5*xm*cur[3]+xr*cur[4]-0.5*xm*cur[5]-0.5*xm*cur[6];
psirb=-0.5*xm*cur[1]+xm*cur[2]-0.5*xm*cur[3]-0.5*xm*cur[4]+xr*cur[5]-
0.5*xm*cur[6];

psirc=-0.5*xm*cur[1]-0.5*xm*cur[2]+xm*cur[3]-0.5*xm*cur[4]-0.5*xm*cur[5]+xr*cur
[6];
vol[4]=(-1)*rr*cur[4]-polus*ww*(psirb-psirc)/sqrt(3);
vol[5]=(-1)*rr*cur[5]-polus*ww*(psirc-psira)/sqrt(3);
vol[6]=(-1)*rr*cur[6]-polus*ww*(psira-psirb)/sqrt(3);

```

Алгоритм заполнения матрицы токов:

```

for(g = 1; g <= 6; g++)
{
    c=0;
    for(p = 1; p <= 6; p++)
    {
        c=c+L[g][p]*vol[p];
    }
    cur[g]=cur[g]+dt*c;
}

```

Теперь с помощью найденной матрицы токов можно найти момент, создаваемый двигателем, и скорость вращения ротора.

```

M =polus*(sqrt(3)/2)*xm*((cur[1]*cur[6]+cur[2]*cur[4]+cur[3]*cur[5]) -
(cur[1]*cur[5]+cur[2]*cur[6]+cur[3]*cur[4]));
ww = ww + (M-Mc)*dt/J;

```

Выводим найденные зависимости от времени токов обмоток ротора и статора, скорости вращения ротора, момента двигателя на выход блока S-Function Builder.

```

w[0] = ww;
Mdv[0] = M;
Isa[0] = cur[1];
Isb[0] = cur[2];
Isc[0] = cur[3];
Ira[0] = cur[4];
Irb[0] = cur[5];
Irc[0] = cur[6];

```

На рисунке 28 показаны зависимости скорости вращения ротора и момента двигателя от времени, полученные на выходе блока S-Function Builder

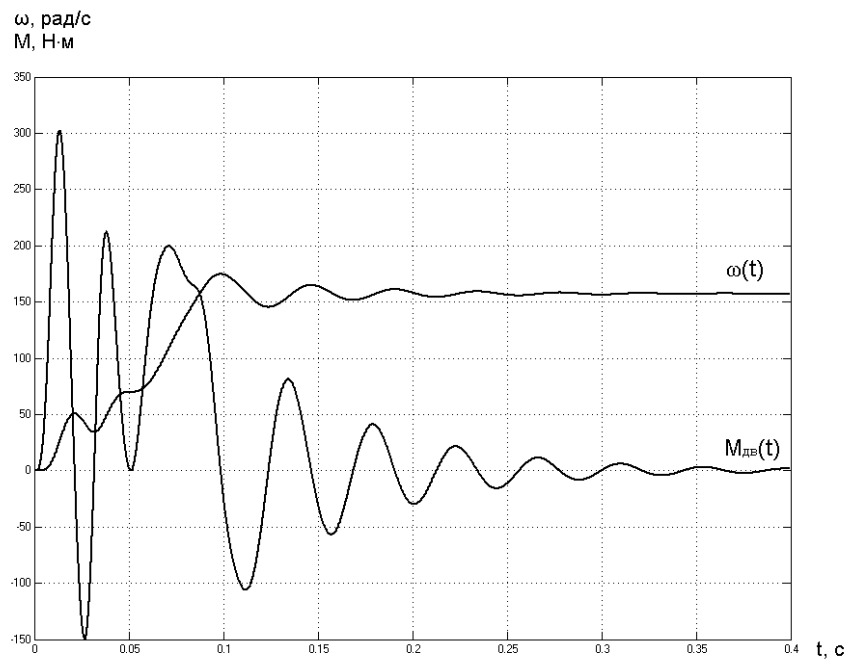


Рисунок 26 – Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя

Переходный процесс тока в фазе А статора изображен на рисунке 29.

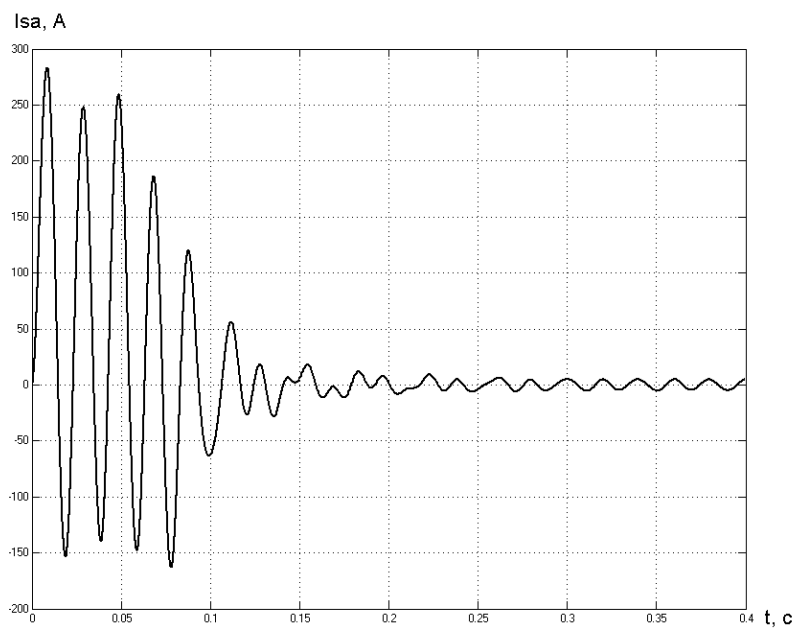


Рисунок 27 – Переходный процесс тока в фазе статора

Теперь можно провести пуск АД под нагрузкой. Для этого в блоке «S-Function Builder» нужно поменять значение момента нагрузки «Mс» на значение требуемой нагрузки. Величина момента нагрузки будет составлять $0,46 \cdot M_H$. Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя при пуске под нагрузкой приведены на рисунке 30.

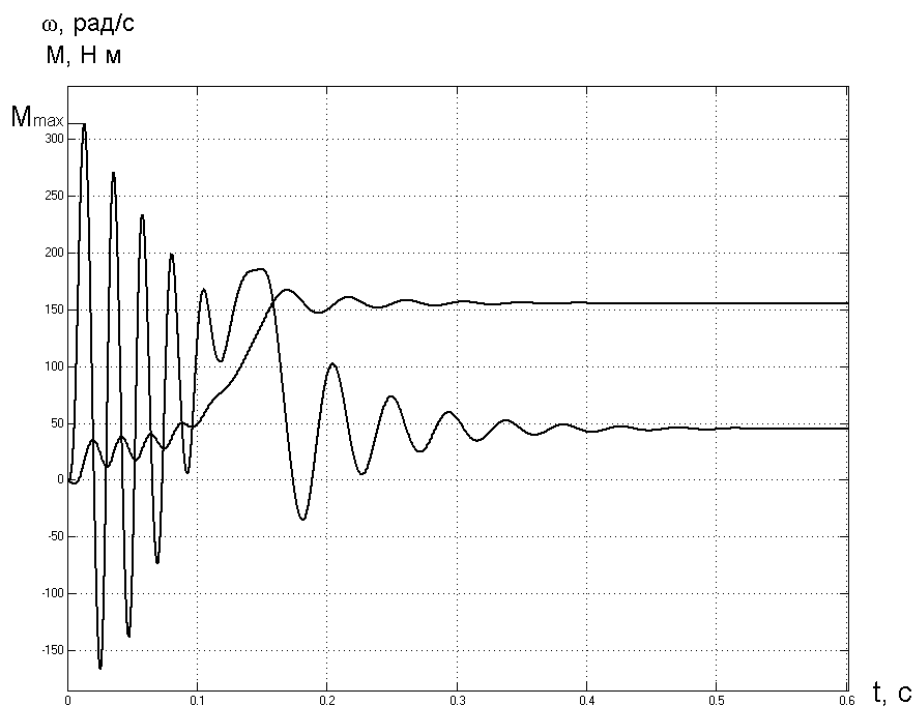


Рисунок 28 – Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя

Переходный процесс тока в фазе статора изображен на рисунке 31.

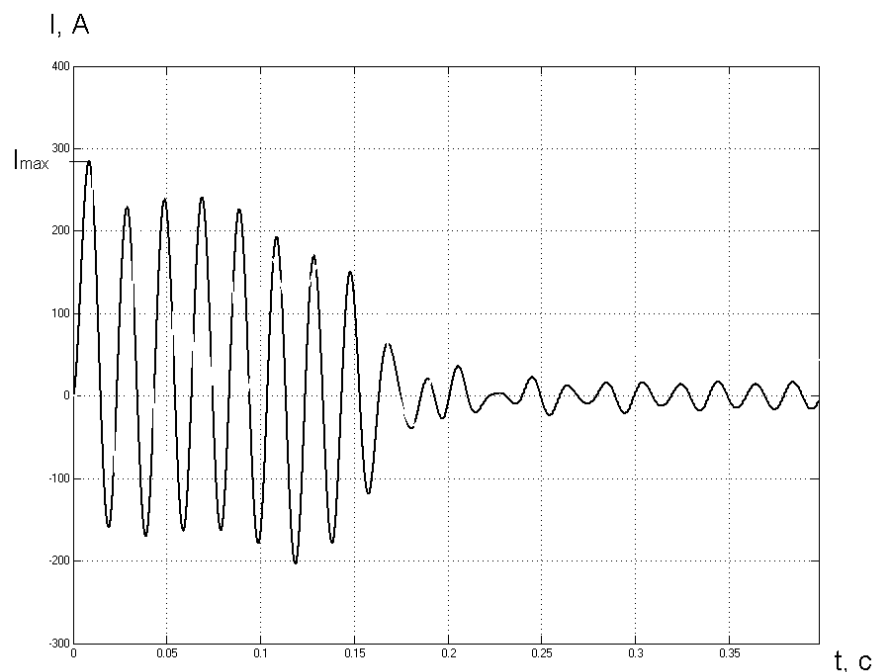


Рисунок 29 – Переходный процесс тока в фазе статора

На рисунках 30 и 31 можно отметить характерные точки: $M_{max} = 313,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ - максимальный момент двигателя при пуске под нагрузкой; $I_{max} = 285 \text{ А}$ - максимальный ток статора при пуске под нагрузкой.

Сравнивая значения характерных точек, найденных в главе 3.2 и 3.3 можно сделать вывод о идентичности модели асинхронного двигателя, построенной на основе стандартного блока MATLAB Simulink «Asynchronous Machine SI Units», и модели, построенной при помощи блока S-Function Builder.

Для подтверждения идентичности моделей можно провести опыт по набросу номинальной нагрузки после достижения асинхронным двигателем установившегося значения скорости.

На рисунке 32 приведен график переходного процесса скорости при набросе нагрузки в модели АД на основе стандартного блока MATLAB Simulink «Asynchronous Machine SI Units».

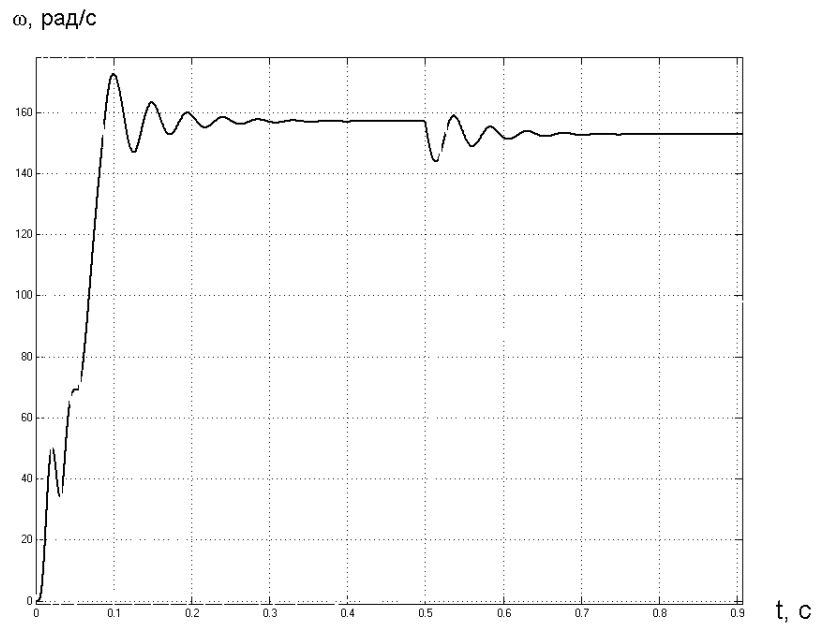


Рисунок 30 – Переходный процесс скорости при набросе нагрузки

На рисунке 33 приведен график переходного процесса скорости при набросе нагрузки в модели АД на основе блока MATLAB Simulink «S-Function Builder».

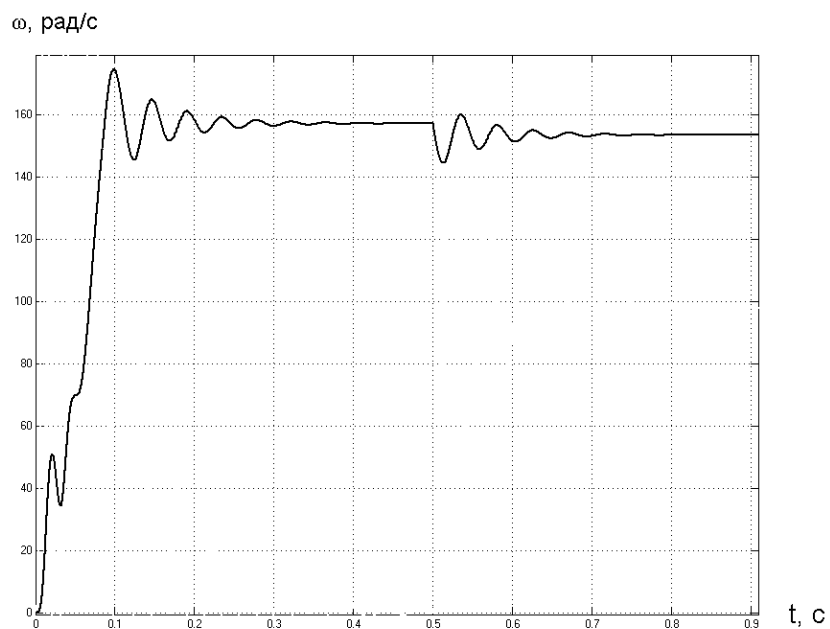


Рисунок 31 - Переходный процесс скорости при набросе нагрузки

В первом случае при набросе нагрузки произошла просадка скорости АД на величину $\Delta\omega = 157,1 - 152,9 = 4,2$ рад/с. Во втором случае $\Delta\omega = 157,1 - 153,4 = 3,7$ рад/с.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что во втором случае модель построена верно. То есть математическое описание асинхронного двигателя в трехфазной системе координат, реализованное при помощи блока S-Function Builder, отображает реально существующие переходные процессы в АД (с учетом допущений, принятых в начале главы 3.1).

В дальнейших исследованиях примем модель, построенную при помощи блока S-Function Builder, за основу.

3.4. Тиристорный регулятор напряжения

Для получения возможности регулировать напряжение на обмотках статора необходимо дополнить исходную схему (рисунок 24) тиристорным регулятором напряжения. В данной работе модель ТРН будет построена при помощи блока S-Function Builder.

Имитационная модель системы ТРН – АД приведена на рисунке 34.

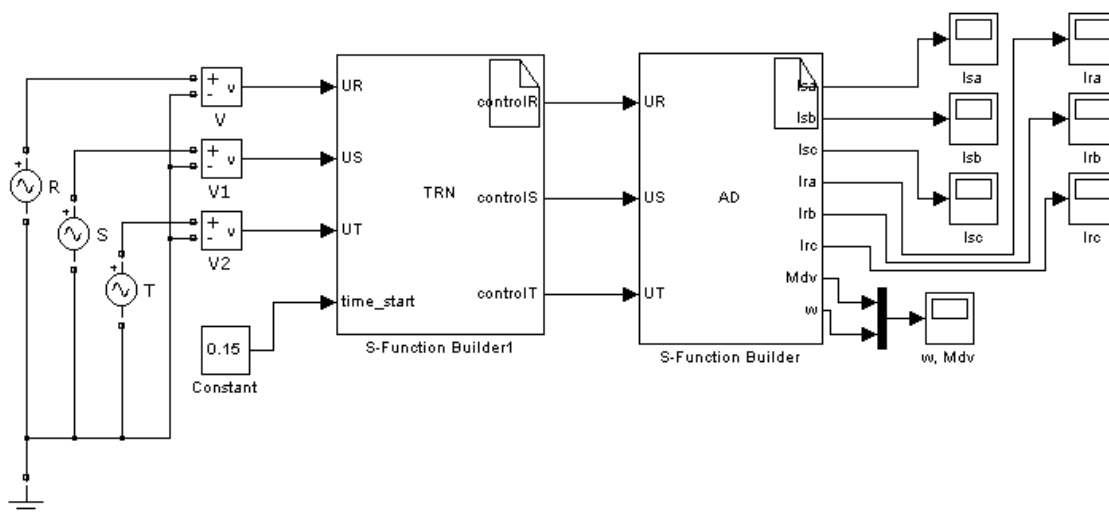


Рисунок 32 - Имитационная модель системы ТРН - АД

В данном случае напряжение сети подается на входы UR, US и UT блока , имитирующего работу ТРН (S-Function Builder1). Форма напряжения меняется в соответствии с алгоритмом, заложенным в блоке ТРН.

Ниже приведен код на языке С, записанный в блоке S-Function Builder1, и комментарии к этому коду.

Сначала необходимо задать переменные:

```
unsigned static pilaR = 0, pilaS = 0, pilaT = 0, alpha = 160, timer_st = 0;  
int static prevUR = 0, prevUS = 0, prevUT = 0;
```

Здесь pilaR, pilaS, pilaT – начальные значения пилообразных сигналов в фазе R, S и T соответственно; alpha – начальное значение угла управления тиристорами; timer_st – начальное значение задерживающего таймера (для реализации алгоритма плавного уменьшения угла управления); prevUR, prevUS, prevUT – начальные значения напряжений на предыдущем интервале времени.

Чтобы иметь возможность изменять время раскрытия угла управления, необходимо на входе блока ТРН создать входную переменную, например, time_start, на которую будет подаваться время раскрытия угла управления с помощью блока константы.

Для плавного раскрытия угла управления будем изменять его в пределах от 160 град (на выходе малое напряжение) до 10 град (на выходе большое напряжение). Данные пределы угла alpha выбраны с небольшим запасом от точки перехода через ноль. Это сделано для исключения возможности подачи импульса за пределами текущей полволны напряжения.

Каждый такт программы мы увеличиваем таймер timer_st на «1». И если таймер достиг некоторого числа (таймаут), то мы уменьшаем угол на «1» и обнуляем таймер. Таймаут рассчитываем исходя из числа операций в секунду

(18000), умножаем на количество секунд заданных блоком Constant, и делим на количество операций, которое надо будет сделать ($160 - 10 = 150$).

Последние две строчки предотвращают выход переменной alpha за обозначенные пределы: 10 и 160 град.

```
if (timer_st++ > (18000*time_start[0]/150))
{
    alpha--;
    timer_st = 0;
}
if( alpha > 160) alpha = 160;
if (alpha < 10)  alpha = 10;
```

Создание бесконечно нарастающего сигнала с единичным шагом:

```
pilaR++;
pilaS++;
pilaT++;
```

Алгоритм нахождения перехода через ноль сигнала напряжения сети. Этот алгоритм обнуляет сигналы pilaR, pilaS и pilaT в момент прохождения через 0 сигнала соответствующей фазы.

```
if (((prevUR <= 0) && (UR[0] > 0)) || ((prevUR >= 0) && (UR[0] < 0)))
    pilaR = 0;
if((( prevUS <= 0) && (US[0] > 0)) || ((prevUS >= 0) && (US[0] < 0)))
    pilaS = 0;
if((( prevUT <= 0) && (UT[0] > 0)) || ((prevUT >= 0) && (UT[0] < 0)))
    pilaT = 0;
```

Присвоение текущего значения напряжения предыдущему:

```
prevUR = UR[0];
prevUS = US[0];
prevUT = UT[0];
```

Формирование напряжения на выходе блока ТРН. Значение напряжения на выходе фазы R будет нулевым до тех пор, пока значение пилообразного

сигнала p_{laR} не станет больше текущего угла управления α . Когда же значение p_{laR} станет больше угла управления α , значение напряжения на выходе блока ТРН станет равным сигналу UR (напряжение фазы R). Аналогично для фаз S и T.

```
if (pilaR < alpha)
    controlR[0] = 0;
else controlR[0] = UR[0];

if( pilaS < alpha)
    controlS[0] = 0;
else controlS[0] = US[0];

if( pilaT < alpha)
    controlT[0] = 0;
else controlT[0] = UT[0];
```

С помощью такого алгоритма формируются сигналы на выходе блока ТРН. Форма напряжения в фазе R показана на рисунке 35.

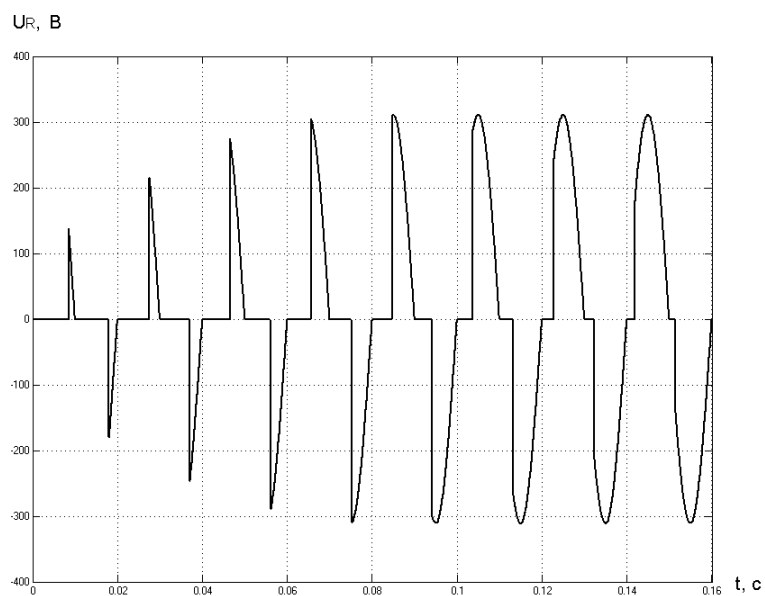


Рисунок 33 - Форма напряжения в фазе R

Видно, что в заданный промежуток времени (0,15 с) происходит изменение угла управления в заданных пределах (от 160° до 10°).

Таким образом реализуется плавный пуск АД. Графики переходных процессов изображены на рисунке 36.

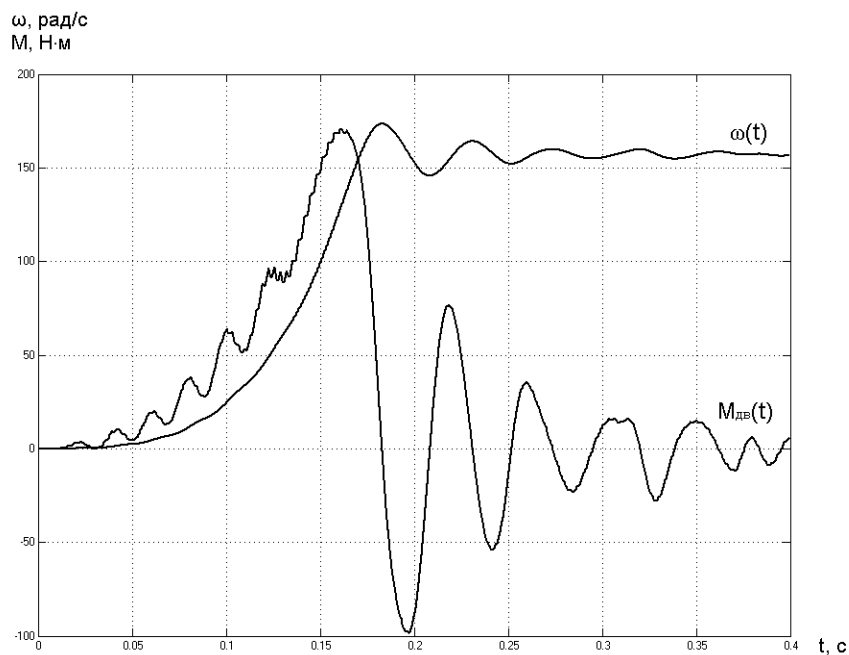


Рисунок 34 - Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя

График переходного процесса тока в фазе статора приведен на рисунке 37.

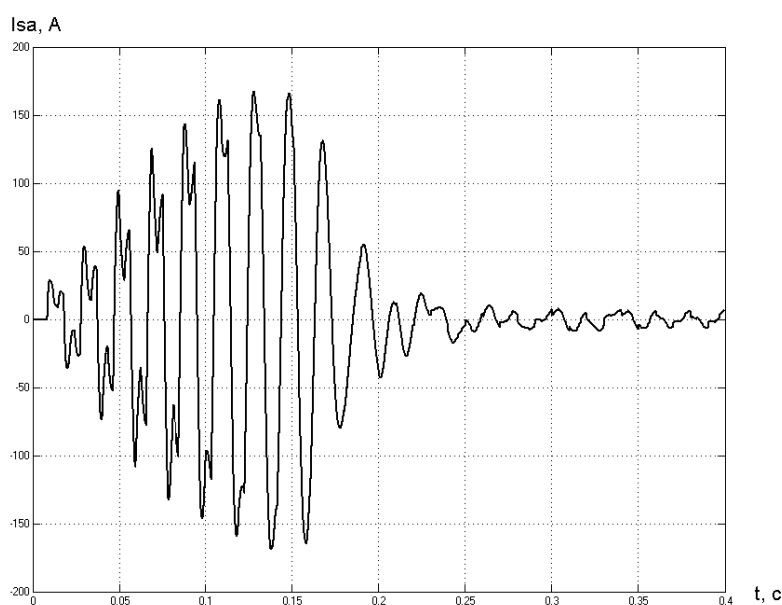


Рисунок 35 - Переходный процесс тока в фазе статора

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие наблюдения.

Максимальное значение момента двигателя при пуске с ТРН составляет $M_{max} = 173 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Максимальное значение тока – $I_{max} = 168 \text{ А}$. Эти значения можно сравнить со значениями максимального момента и тока при прямом пуске АД (рисунки 26 и 27). Максимальное значение момента при прямом пуске – $303 \text{ Н} \cdot \text{м}$, максимальное значение тока – 283 А .

Таким образом, при использовании ТРН можно существенно снизить броски момента и токов асинхронного двигателя при пуске. В данном случае бросок момента снизился на 42 %. Значение пускового тока снизилось на 40 %. За счет этого значительно снижаются удары в механизме при пуске, что позволяет существенно экономить ресурс электропривода и механизма, которым управляет данный электропривод.

4. Исследование динамических режимов ТРН – АД

4.1. Динамическое торможение

Режим динамического торможение АД осуществляется отключением двигателя от сети переменного тока и подключением его двух статорных обмоток к источнику постоянного тока. Величину постоянного тока можно регулировать при помощи сопротивления $R_{п}$.

Схема, с помощью которой реализуется режим динамического торможения, изображена на рисунке 38.

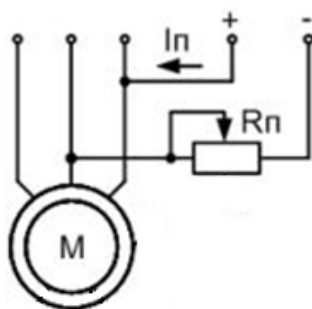


Рисунок 36 - Схема динамического торможения АД

При отключении АД от сети переменного тока, перестает существовать переменное магнитное поле. При подключении АД к источнику постоянного тока, появляется постоянное магнитное поле, которое наводит ЭДС в роторе. Таким образом, в роторе начинает протекать ток, который создает неподвижный относительно статора магнитный поток. Взаимодействие тока ротора и результирующего магнитного поля асинхронного двигателя создает тормозной момент.

Механическая характеристика динамического торможения приведена на рисунке 39.

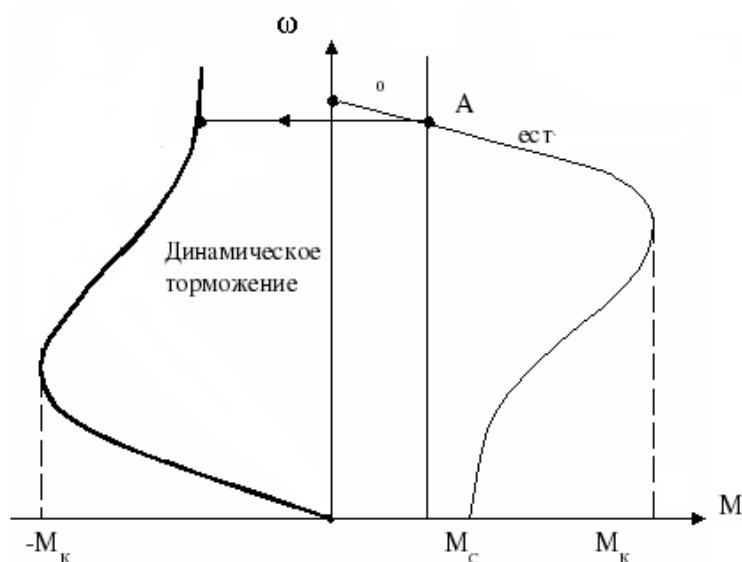


Рисунок 37 - Механические характеристики при динамическом торможении

На рисунке 40 стрелками показан путь протекания тока I , создающего постоянное магнитное поле, в системе ТРН – АД при динамическом

Для полученных сигналов aR и aS задается угол управления α_1 , и эти сигналы выводятся на выход блока ТРН. В фазу Т прекращается подаваться напряжение.

```
if (pilaR < alpha1[0])
    controlR[0] = 0;
else controlR[0] = aR;

if (pilaS < alpha1[0])
    controlS[0] = 0;
else controlS[0] = aS;

controlT[0] = 0;
```

Добавлены новые переменные: aR и aS – переменная, необходимая для формирования требуемой формы напряжения на выходе ТРН; $torm[0]$ – вход блока ТРН, отвечающий за отсчет времени; $\alpha_1[0]$ – угол управления, с которым будет осуществляться динамическое торможение (170°).

Переменная $torm[0]$ является счетчиком. При достижении этим счетчиком определенного значения, начинает осуществляться алгоритм динамического торможения двигателя. То есть в фазы R и S начинают подаваться сигналы aR и aS соответственно, а на фазу Т перестает подаваться напряжение.

На рисунке 41 показаны графики переходных процессов скорости вращения ротора и момента двигателя. При чем в момент времени $t=0.5$ с происходит наброс нагрузки до значения $0,46 \cdot M_H$, а в момент времени $t=0.8$ с начинается процесс динамического торможения. Угол управления, с которым происходит торможения двигателя, равен 170° .

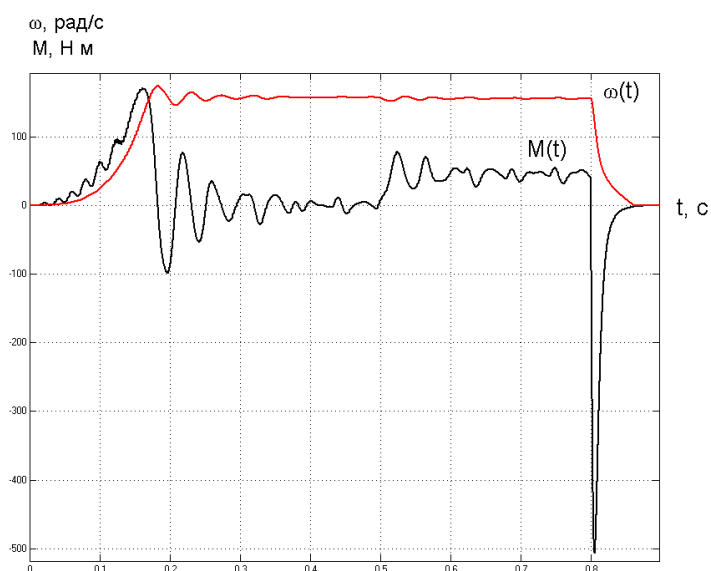


Рисунок 39 – Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя при динамическом торможении

График переходного процесса тока в фазе статора приведен на рисунке 42.

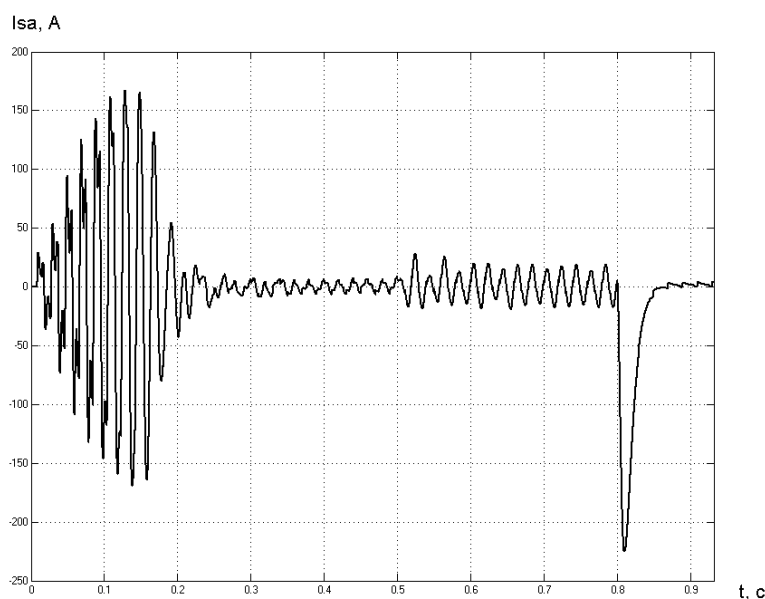


Рисунок 40 - Переходный процесс тока фазы статора

Как видно из полученных результатов, во время динамического торможения в фазах статора возникают большие токи ($I_{sa} = -255 A$). Следствием этого является большой тормозной момент, который позволяет затормозить ротор АД наиболее эффективно.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Щепёткин Егор Сергеевич

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	1. Для научно-исследовательского проекта необходимо три человека: руководитель проекта, инженер-программист и студент-дипломник. На ПНР было задействовано 4 человека. 2. Список литературы состоит из необходимых источников для данного раздела.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления по страховым взносам – 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	1. Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование, 1.1 Потенциальные потребители результатов НТП. 1.2 SWOT-анализ. 1.3 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
2. <i>Планирование и формирование бюджета</i>	2.1 Планирование научно-исследовательских работ. 2.2 Пусконаладочные работы. 2.3 Состав бригады для проведения ПНР. 2.4 Стоимость ПНР. 2.5 Расчет расходов при эксплуатации электропровода.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования</i>	3.1 Интегральный финансовый показатель. 3.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности. 3.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Щепёткин Егор Сергеевич		

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

5.1. Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) помогает принять решение о разумности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

1) Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;
- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность.
- правовая защищенность и др.

2) Показатели оценки качества разработки:

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;
- энергоэффективность;
- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки и др.

Учитывая технические и экономические особенностей разработки, ее создания и коммерциализации, можно подобрать показатели оценки качества и перспективности новой разработки.

Оценка по технологии QuaD проводится в табличной форме (таблица 2).

Каждому показателю качества дается экспертная оценка в стобалльной системе, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять единицу.

Таблица 2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)x100
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,07	95	100	0,95	6,65
2. Помехоустойчивость	0,12	87	100	0,87	10,44
3. Надежность	0,03	90	100	0,9	2,7
4. Унифицированность	0,11	90	100	0,9	9,9
5. Уровень материалоемкости разработки	0,06	97	100	0,97	5,82
6. Уровень шума	0,03	80	100	0,8	2,4
7. Безопасность	0,01	80	100	0,8	2,4
8. Потребность в ресурсах памяти	0,02	75	100	0,75	1,5
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	85	100	0,85	3,4
10. Простота эксплуатации	0,04	98	100	0,98	3,92
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	96	100	0,96	4,8
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,06	100	100	1	6
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					

1. Конкурентоспособность продукта	0,04	90	100	0,9	3,6
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	70	100	0,7	2,8
3. Цена	0,1	65	100	0,65	6,5
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	95	100	0,95	6,65
5. Послепродажное обслуживание	0,03	90	100	0,9	2,7
6. Финансирование научной разработки	0,05	78	100	0,78	3,9
7. Срок выхода на рынок	0,03	71	100	0,71	2,13
8. Наличие сертификации разработки	0,04	80	100	0,8	3,2
Итого	1				92,5

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i = 0,07 \cdot 95 + 0,12 \cdot 87 + \dots + 0,04 \cdot 80 = 92,5,$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя P_{cp} получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

По результатам оценки качества и перспективности делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направлениях ее дальнейшего улучшения.

Технология может использоваться при проведении различных маркетинговых исследований, существенным образом снижая их трудоемкость и повышая точность и достоверность результатов.

Значение P_{cp} составило 92,5. Таким образом, можно признать подобную разработку эффективной.

5.1.2. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. С помощью SWOT-анализа можно провести исследование внешней и внутренней среды проекта.

SWOT-анализ проводится в несколько этапов.

На первом этапе необходимо описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим определение каждому из этих понятий.

1. Сильные стороны. Сильные стороны представляют собой факторы, которые характеризуют конкурентоспособность научно-исследовательского проекта. Сильные стороны говорят о том, что проект имеет преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Иначе говоря, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которые имеет руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. Так же необходимо рассмотреть сильные стороны с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован. При этом рекомендуется затрагивать такие вопросы как:

- Какие технические преимущества вы имеете по сравнению с конкурентами?

- Что участники вашего проекта умеют делать лучше всех?

- Насколько ваш проект близок к завершению по сравнению с конкурентами?

2. **Слабые стороны.** Слабость – это упущение, недостаток или ограниченность научно-исследовательского проекта, мешающие достижению целей данного проекта. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами. Чтобы прояснить, где именно данный проект превосходят конкуренты, необходимо задать следующие вопросы:

- Что можно улучшить?

- Что делается плохо?

- Чего следует избегать?

3. **Возможности.** Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию. Формулирование возможностей проекта можно провести с помощью таких вопросов, как:

- Какие возможности вы видите на рынке?

- В чем состоят благоприятные рыночные возможности?

- Какие интересные тенденции отмечены?

- Какие потребности, пожелания имеются у покупателя, но не удовлетворяются конкурентами?

Проводите поиск свободных ниш, но необходимо учесть то, что свободными они остаются недолго. Благоприятная возможность, увиденная сегодня, может перестать существовать уже через несколько месяцев.

Благоприятные возможности могут возникать в силу действия следующих факторов:

- изменения в технологической сфере и на рынке – как мирового, так и регионального масштаба;
- изменения правительственной политики в отношении отрасли, где проводится научное исследование;
- изменения социальных стандартов, профиля населения, стиля жизни и т.д.

4. **Угроза** представляет собой любую нежелательную тенденцию, ситуацию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту. Для выявления угроз проекта рекомендуется ответить на следующие вопросы:

- Какие вы видите тенденции, которые могут уничтожить ваш научно-исследовательский проект или сделать его результаты устаревшими?
- Что делают конкуренты?
- Какие препятствия стоят перед вашим проектом (например, изменения в законодательстве, снижение бюджетного финансирования проекта, задержка финансирования проекта и т.п.)?
- Изменяются ли требуемые спецификации или стандарты на результаты научного исследования?
- Угрожает ли изменение технологии положению вашего проекта?
- Имеются ли у руководства проекта проблемы с материально-техническим обеспечением?

Результаты первого этапа SWOT-анализа представляем в табличной форме (таблица 3).

Таблица 3 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Повышение производительности труда.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p> <p>С6. Высокий срок эксплуатации.</p> <p>С7. Надежность данной системы по сравнению с другими.</p> <p>С8. Высокое качество продукции.</p> <p>С9. Простота системы управления.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>Сл2. Большой срок выхода на рынок</p> <p>Сл3. Меньший диапазон регулирования электропривода</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Снижение стоимости на электроэнергию</p>		

В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Развитие технологий в данной отрасли		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос. У5. Появление новых конкурентных разработок.		

Вывод:

Основными сильными сторонами разрабатываемого проекта являются заявленная экономичность и энергоэффективность технологии, высокий срок эксплуатации, надежность данной системы по сравнению с другими, повышение производительности труда.

Слабыми сторонами проекта являются отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой, большой срок выхода на рынок

Возможностью проекта является использование инновационной инфраструктуры ТПУ при проектировании, возможность уменьшения затрат на электроэнергию, а также развитие технологий в данной отрасли.

Основными угрозами данному проекту являются отсутствие спроса на новые технологии производства, введения дополнительных государственных

требований к сертификации продукции, появление новых конкурентных разработок.

Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз должно происходить на основе результатов анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Полученная интерактивная матрица проекта представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта								
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Возможности проекта	B1	0	+	0	0	+	0	+	+	+
	B2	+	+	+	+	-	+	+	+	+
	B3	+	-	+	+	-	+	+	0	+
	B4	+	-	-	0	+	+	+	+	+
	B5	+	0	+	+	+	+	+	+	+

Результаты анализа таблицы:

B2B3B4C1C6C7C9

B1C2C5C7C8C9

B4C1C5C6C7C8C9

B5C1C3C4C5C6C7C8C9

Продолжение таблицы 4

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	-
	B2	-	-	-
	B3	-	-	-
	B4	-	-	0
	B5	+	0	+

Результаты анализа таблицы:

B5Сл1Сл3

Продолжение таблицы 4

Сильные стороны проекта										
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	У1	-	-	-	-	+	-	-	-	-
	У2	0	0	-	-	-	-	-	-	+
	У3	+	0	+	+	-	+	0	0	0
	У4	-	-	-	0	-	-	-	-	-
	У5	0	-	-	-	+	-	-	-	-

У1С5 Результаты анализа таблицы:

У3С1С3С4С6

У2С9

У5С5

Окончание таблицы 4

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	0	0
	У2	-	0	+
	У3	+	+	+
	У4	+	-	+
	У5	+	0	+

Результаты анализа таблицы:

У1Сл1

У2Сл3

У3Сл1Сл2Сл3

У4У5Сл1Сл3

Вывод:

В результате проведения второго этапа SWOT- анализа была получена интерактивная матрица проекта. Анализ таблицы представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, угроз и слабых сторон и возможностей, угроз.

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 5).

Таблица 5 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.	Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей
	С2. Экологичность технологии.	квалифицированных кадров по работе с научной разработкой
	С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.	Сл2. Большой срок выхода на рынок
	С4.Повышение производительности труда.	Сл3. Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения
	С5. Квалифицированный персонал.	
	...	

<p>Возможности:</p> <p>В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследований</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В5. Развитие технологий в данной отрасли</p>	<p>В2В3В4С1С6С7С9</p> <p>В1С2С5С7С8С9</p> <p>В4С1С5С6С7С8С9</p> <p>В5С1С3С4С5С6С7С8С9</p>	<p>В5Сл1Сл3</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p> <p>У4.Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос.</p> <p>У5. Появление новых конкурентных разработок.</p>	<p>У1С5</p> <p>У3С1С3С4С6</p> <p>У2С9</p> <p>У5С5</p>	<p>У1Сл1</p> <p>У2Сл3</p> <p>У3Сл1Сл2Сл3</p> <p>У4У5Сл1Сл3</p>

Вывод:

Из проведенного SWOT-анализа видно, что сильных сторон у проекта больше, чем слабых. Проект имеет высокую энергоэффективность, повышенную безопасность и экологичность технологии, более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями, которые в

свою очередь обеспечивают высокое качество продукции, а также большой срок эксплуатации.

Среди слабых сторон можно выделить Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой, высокая стоимость лицензионного программного обеспечения.

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

5.2. Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ. Результат представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер
	6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер
	7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер
	8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	Инженер
	9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Инженер

	10	Оптимизация САР электропривода	Инженер
	11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	13		Инженер
	14		Инженер
	15		Инженер

5.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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

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

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

5.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

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

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

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

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 определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

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

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

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

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

Все рассчитанные значения сводим в таблицу (табл. 6).

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

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

$$T_p = \frac{t_{\text{ож}}}{\text{Ч}} = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 116 - 14} = 1,553;$$

$$T_k = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,553 = 3,106 \approx 4 \text{ дня}.$$

Таблица 7 – 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		$t_{ожсi}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	1		2		2		2		4	
Подбор и изучение материалов по теме		5		8		7		7		11
Описание объекта автоматизации (модернизации)		3		4		4		4		7
Календарное планирование работ по теме	3		5		4		4		7	
Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП		4		9		6		6		10
Расчет параметров двигателя и модели		4		6		5		5		8
Выбор способа регулирования скорости		2		4		8		8		12
Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»		2		4		3		3		5

Разработка математической модели системы АУ ЭП	3		6		5		5		8	
Оптимизация САР электропривода		4		8		6		6		10
Разработка программы имитационного моделирования		5		8		7		7		11
Оценка эффективности полученных результатов	2		3		3		3		5	
Технико-экономические расчеты		3		7		5		5		8
Вопросы безопасности и экологичности проекта		3		7		5		5		8
Составление пояснительной записки		1		3		2		2		4

На основе таблицы 7 строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяем различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 8 – Календарный план-график проведения НИОКР

№ ра бо т	Вид работ	Исполн ители	T _{кп} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				фев.		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	11													
3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер	7													
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	7													

5.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

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

Все необходимое оборудование и материалы имеются в лаборатории, поэтому расчет материальных затрат проводить не будем.

5.3.1. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 9.

Таблица 9 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Зарплата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	2351	9404
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	11	1523	16753

Продолжение таблицы 9

3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер	7	1523	10661
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	7	2351	16457
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер	10	1523	15230
6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер	8	1523	12184
7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер	12	1523	18276
8	Расчет предельных характ. системы «преобр.– электродвиг.»	Инженер	5	1523	7615
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Руководитель	3	2351	7053
10	Оптимизация САР электропривода	Инженер	10	1523	15230
11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер	11	1523	16753
12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	2	2351	4702
13	Технико-экономические расчеты	Инженер	8	1523	12184
14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер	8	1523	12184
15	Составление пояснительной записки	Инженер	4	1523	6092
Итого:					180778

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (8)$$

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

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

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (9)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 8);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{53594 \cdot 10,4}{237} = 2351 \text{ руб.},$$

где Z_m – 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_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 9).

Таблица 9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	14	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	237

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 27484 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 53594 \text{ руб}$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{TC});

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Z_{TC});

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата Z_{TC} находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{ci} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_T и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в табл.9.

Таблица 10 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб	$Z_{дн}$, руб.	$T_{р}$, раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	27484	0,3	0,2	1,3	53594	2351	16	37616
Инженер	17808	0,3	0,2	1,3	34725	1523	95	144685
Итого $Z_{осн}$								182301

5.3.2. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 37616 = 4514 \text{ руб}$$

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

5.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (37616 + 4514) = 11417 \text{ руб}$$

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

На 2018 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2018 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представляем в табличной форме (таблица 11).

Таблица 11 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	37616	4514
Студент-дипломник	144685	17362
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого		
Руководитель	11417	
Инженер	43914	

5.3.4. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{нр} = (Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб}) \cdot 0,16 = \\ = (182301 + 21876 + 55331) = 41521$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

5.3.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Расчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	182301	Пункт
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21876	Пункт
3. Отчисления во внебюджетные фонды	55631	Пункт
4. Накладные расходы	41521	16 % от суммы ст.
5. Бюджет затрат НТИ	301329	Сумма ст.

5.4. Определение ресурсоэффективности проекта

Оценку финансовой эффективности проекта можно провести при помощи интегрального финансового показателя.

$$I_{фин}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где:

$I_{фин}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Расчёт интегрального финансового показателя проводится в виде табличной формы.

Таблица 13 – Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

Вариант схемы	Φ_{\max} , млн.руб.	Φ_{pi} , млн.руб.	$I_{фин}^{исп.i}$, о.е.
1	2	2	1
2		0,2	0,76
3		1,4	0,709

Величина интегрального финансового показателя разработки схемы 3 (электропривод клиновой задвижки магистрального нефтепровода) показывает численное уменьшение стоимости электропривода при одинаковой мощности электродвигателя. Наименьший интегральный показатель среди трёх выбранных технических решений имеет схема 2. Но такая схема непригодна для использования по поставленным задачам. Таким образом наиболее приемлемой является схема 3.

Определение ресурсоэффективности проекта схемы 3 можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности схем проводим в виде табличной формы.

Таблица 14 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент	Система ПЧ - АД	Нерегулируемый электропривод	Система ТРН - АД
1. Безопасность	0,25	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,10	5	2	5
3. Помехоустойчивость	0,10	4	4	4
4. Энергосбережение	0,15	4	2	5
5. Надёжность	0,25	3	5	4
6. Материалоёмкость	0,15	4	4	5
Итого:	1,00	4,4	4	4,7

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности выбранной системы:

$$I_p = 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,7.$$

Рассчитанный показатель ресурсоэффективности выбранной схемы имеет достаточно высокое значение. Это говорит об эффективности использования технического проекта по разработке электропривода на основе системы «ТРН – АД».

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Щепёткин Егор Сергеевич

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Описание рабочего места оператора клиновой задвижки. Рабочая площадка находится в закрытом помещении. Основное рабочее оборудование – электропривод переменного тока. Область применения – сети магистральных трубопроводов и других объектов трубопроводного транспорта ОАО «ТРАНСФЕФТЬ»</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p>1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: 1.2. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Анализ опасных и вредных производственных факторов; - механические травмы; - электробезопасность; - шум и вибрации; - микроклимат на рабочем месте;
<p>2. Экологическая безопасность:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - охрана окружающей среды
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - пожарная безопасность - устойчивость работы предприятия в чрезвычайных ситуациях.
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Требования федерального закона - Социальный пакет

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Щепёткин Егор Сергеевич		

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе объектом исследования является электропривод клиновой задвижки нефтепровода. Область применения – сети магистральных трубопроводов и других объектов трубопроводного транспорта ОАО «ТРАНСФЕФТЬ» Нефтепровод предназначен для перекачки больших объемов нефти от нефтепромысла к нефтеперерабатывающему предприятию. Нефтепровод, как и любая другая система, требует своевременного и качественного обслуживания. Такие механизмы, как задвижка, дают возможность выполнить эту задачу.

С помощью задвижек можно перекрыть отдельный участок нефтепровода при аварии, что предотвратит серьезные последствия и даст возможность ликвидировать эту аварию. Перекрытие в задвижках осуществляется за счет запорного элемента, перегораживающего поток.

В общем виде задвижка состоит из корпуса и крышки, которые образуют полость рабочей среды. Внутри этой полости находится элемент, который обеспечивает перекрытие потока жидкости – затвор. Крепление задвижки к корпусу осуществляется одним из трех способов: фланцевый, муфтовый и приварочный.

Внутри корпуса задвижки находятся седла, к уплотнением которых прилегает уплотнитель затвора. Таким образом, достигается максимальная герметичность закрытой задвижки. Затвор приводится в движение штоком или шпинделем. Седла таких задвижек размещены под углом. Затвор выполнен в форме клина, что обуславливает название клиновой задвижки.

С целью управления клиновой задвижкой, установленной на магистральном нефтепроводе, используется электропривод ЭПЦ-15000. Данный привод рассчитан на работу с арматурой, установленной на трубопроводах, давление которых достигает 15 МПа.

6.1. Производственная безопасность

6.1.2 Анализ выявленных опасных факторов.

Опасные факторы:

Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования.

Так как речь идет о механизме задвижки, составные части которого могут совершать вращательные и поступательные движения, то существует опасность несчастного случая при неправильной эксплуатации данного механизма. Поэтому до таких работ допускается персонал, имеющий достаточную квалификацию. Порядок проведения работ должны соответствовать [10].

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала, конструкция спроектирована таким образом, чтобы все подвижные части находились внутри корпуса.

В приложении Б показано конструктивное исполнение электропривода «ЭПЦ-15000».

Все подвижные части конструкции электропривода (шестерни, зубчатые колеса, валы, редуктор) находятся внутри корпуса. К штоку – подвижной части самой задвижки, так же нет прямого доступа. Шток закрывается кожухом. Таким образом, воздействие данного опасного фактора на обслуживающий персонал сведено к минимуму.

Электробезопасность

Электропривод задвижки питается от источника переменного напряжения. Поэтому существует опасность поражения человека, обслуживающего данную систему, электрическим током.

При ремонте электропривода должны соблюдаться следующие правила:

- Ремонт производить с соблюдением требований [11, 12, 13];
- Электропривод должен быть надежно заземлен;

- Приступая к разборке привода, необходимо убедиться, что он отключен от сети, а в ЩСУ на автоматическом выключателе вывешена табличка с надписью «Не включать, работают люди»;
- Разборку и сборку электропривода производить только исправным штатным инструментом;

Мероприятия по защите человека от поражения электрическим током – защитное заземление.

Искусственное групповое защитное заземляющее устройство (УЗЗ) выполняется в соответствии с главой 1.7 [14] может состоять из вертикальных электродов и горизонтально расположенной соединительной полосы. Для обеспечения надежной защиты от электропоражения устройство заглубляется в землю на 0,7-0,8 м.

6.1.3 Анализ выявленных вредных факторов

Вредные факторы:

Повышенный уровень шума на рабочем месте

В производственных условиях разнообразные машины, аппараты и механизмы являются агрегатами динамически неуравновешенными. Длительное систематическое воздействие шума на организм человека приводит к следующим негативным последствиям:

- снижает производительность труда;
- снижает чувствительность слуха;
- количество ошибок возрастает;
- нарушает артериальное давление и ритм сердечной деятельности.

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления. Для ориентировочной оценки (например, при проверке органами надзора, выявлении необходимости осуществления мер по шумоглушению и др.) допускается в качестве характеристики постоянного широкополосного шума на рабочих местах принимать уровень звука значение

которого приведено в ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности» [25].

Допустимый уровень звукового давления для цеха 75 дБ в октавных полосах со среднегеометрической частотой 1000 Гц и уровень звука 80 дБА [25]. В механических устройствах часто причинами не допустимого шума являются износ подшипников, неточная сборка деталей при ремонтах и т. п. Поэтому в процессе эксплуатации всех видов машин и механизмов следует точно выполнять все требования Правил технической эксплуатации. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. «Средства и методы защиты от шума. Квалификация» [26]. предусматривает следующие меры для снижения уровня шума:

- устройство кратковременных перерывов в работе.
- установка в помещениях звукопоглощающих конструкций и экранов.
- применение средств индивидуальной защиты (беруши, противозумные наушники, шлемофоны и др.).

Повышенный уровень вибрации

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием СН 2.2.4/2.1.8.556-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [27].

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда.

Физические вибрации характеризуются частотой (Гц, 1/с), амплитудой виброперемещения (м), виброскоростью и виброускорением.

Таблица 15– Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест

Вид вибрации: Технологическая	Среднегеометрические частоты, Гц.					
	2	4	8	16	32,5	63
Предельно допустимые значения виброскорости, дБ	108	99	93	92	92	92
Предельно допустимые значения виброускорения, дБ	103	100	100	106	112	110

Вибрацию в рассматриваемом помещении (площадке) можно наблюдать при работе большинства оборудования. Для снижения уровня вибрации производится тщательное наблюдение за узлами оборудования, и в случае необходимости, настройка оборудования и замена изношенных частей установки, виброизоляция, применение динамических виброгасителей, уравнивание, балансировка, жесткое присоединение агрегата к фундаменту большой массы. Применение средств индивидуальной защиты: рукавицы с прокладкой на ладонной поверхности и обувь на толстой мягкой подошве.

Микроклимат на рабочем месте

Для обеспечения нормальных условий труда персонала немаловажную роль играет микроклимат, т.е. факторы производственной среды, влияющие на физическое и эмоциональное состояние человеческого организма. Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [22]. Показателями, характеризующими микроклимат, являются:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Человек постоянно находится в процессе теплового взаимодействия с окружающей средой. Для того чтобы физиологические процессы в его организме протекали нормально, тепло должно отводиться в окружающую

среду. В нормальных условиях у человека не возникает беспокоящих его тепловых ощущений – перегрева или переохлаждения. Оптимальные показатели микроклимата распространяются на всю рабочую зону, допустимые показатели устанавливаются дифференцировано для постоянных и непостоянных рабочих мест.

Допустимые макроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьми часовой рабочей смены. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенные в таблице 15 [22].

Таблица 16– Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Пе го рия рабо т	Кате го рия рабо т	Температ ура воздуха		Темпе рату ра	Относ итель ная влаж ность	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диа пазон	Диа пазон			Для диапа зона темпер. от 16 до 24	Для диапа зона темпер. от 15 до 75
		пониже	выше				
Хо лод	Па ра	17	21	16-24	15-75	0,1	0,3
Теп ло	Па ра	18	22	17-28	15-75	0,1	0,4

Мероприятия по созданию условий для нормальной терморегуляции организма:

- механизация и автоматизация производств.
- теплоизоляция и экранизация.
- Естественная вентиляция, кратковременные перерывы в работе, спецодежда.

6.2 Экологическая безопасность

Нефтепровод – самый дешевый, надежный и выгодный способ транспортировки нефти и нефтепродуктов. Также этот способ является наиболее экологически безопасным.

Возможность утечки нефти в окружающую среду (гидросферу, литосферу) появляется при повреждении определенного участка нефтепровода. Система задвижек, установленная по всей длине нефтепровода

на определенном расстоянии друг от друга, помогает минимизировать утечку нефти в окружающую среду. Происходит это путем перекрытия поврежденного участка нефтепровода. Электропривод, установленный на задвижках, имеет возможность дистанционного управления, что позволяет перекрыть нефтепровод при минимальных затратах времени. Таким образом, электропривод задвижки позволяет сделать транспортировку нефти максимально безопасной для окружающей среды. Мероприятия по экологической безопасности регламентируются ГОСТ 17.1.3.13-86. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования охране поверхностных вод от загрязнений» [30], СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.«Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» [31], ГН 2.2.5.2308-07. «Ориентировочна безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [32].

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации. Основные причины и ликвидация последствий Мероприятия по безопасности и защите населения и территорий регламентируются ГОСТ Р 22.0.07-95 «Безопасность в ЧС. Источники техногенных ЧС. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров» , ФЗ от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера» [33],ГОСТР 22.3.03-94.«Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения» [34].К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, катастрофы, пожары, стихийные бедствия. К стихийным бедствиям обычно относят землетрясения, наводнения, селевые потоки, оползни и др. [33].

3.1 Пожаро- взрывобезопасность

Вероятной чрезвычайной ситуацией при работе электропривода задвижки может стать пожар или взрыв. Опасность возникновения пожара или взрыва связана с наличием нефти и ее паров на месте работы электропривода

задвиги. Потенциальное короткое замыкание в электроприводе может спровоцировать пожар или взрыв.

Предотвратить подобные ситуации помогает конструктивное исполнение составных частей электропривода (электродвигатель ДАТЭК-350-03 и блок управления «БУР-15,0»). Пожаро- и взрывобезопасность обеспечивается заключением электрических частей во взрывонепроницаемую оболочку, выдерживающую давление взрыва внутри нее и исключаящую передачу взрыва в окружающую взрывоопасную среду. Также в данном электроприводе используется искробезопасная электрическая цепь, что существенно снижает риск возникновения пожара или взрыва при эксплуатации данного электропривода.

Действия обслуживающего персонала при возникновении подобных ситуаций должны соответствовать требованиям [40].

3.2 Действия персонала, обслуживающего нефтепровод должны соответствовать [41].

При получении сообщения об аварии на нефтепроводе или обнаружении каких либо признаков такой аварии, оператор должен сообщить об этом диспетчеру РДП, РНУ (УМН) и начальнику ЛПДС, НПС.

Аварийно-восстановительные службы, обходчики нефтепроводов при осмотре трассы нефтепровода и обнаружении нарушения целостности нефтепровода должны:

- сообщить о нарушении целостности нефтепровода оператору НПС и диспетчеру РДП;
- продублировать сообщение по радию или телефону с ближайшей ЛПДС (НПС);
- начать устранение аварии, действуя согласно ПЛА.

При облете трассы и обнаружении целостности нефтепровода летный наблюдатель или бортовой оператор должны:

- сообщить диспетчеру РНУ (УМН) об обнаруженном месте нарушения целостности нефтепровода;

- сделать круг над ближайшей ЛПДС (НПС) и сбросить вымпел с сообщением об обнаружении нарушения целостности нефтепровода;

- продублировать свое сообщение диспетчеру РДП с ближайшего аэропорта;

- находиться на связи в ожидании указаний диспетчера РДП.

Руководитель ЛПДС, на участке которого произошла авария, при получении сообщения об аварии, должен сообщить руководству РНУ (УМН), взять на себя руководство по ликвидации аварии до прибытия на место аварии руководителя работ от РНУ (УМН) или ответственного руководителя по ликвидации аварии, назначенного приказом по ОАО МН.

Диспетчер РДП, получив сообщение об аварии, обязан:

- отключить аварийный участок в режиме телеуправления в соответствии с Регламентом действия оперативного персонала при аварийных ситуациях;

- немедленно сообщить об аварии руководству РНУ (УМН), начальнику ЦРС (СУПЛАВ), диспетчеру ОАО МН, диспетчеру связи ПТУС;

- обеспечить выезд аварийно-восстановительной бригады, патрульной группы. Диспетчер ОАО МН, получив известие об аварии, обязан:

- немедленно уведомить о возникновении аварии генеральному директору ОАО МН, его заместителям, руководству ПТУС, диспетчеру ОАО "АК "Транснефть" по форме указанной в Регламенте представления срочных донесений об авариях и отказах на магистральных нефтепроводах, НПС и РП и их учет согласно [39].

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Сферы деятельности и специальности связаны с вредными условиями труда, указывается в постановлении РФ, должности с вредными условиями труда в нефтяной промышленности и строительстве, на меры социальной поддержки, Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ « Об специальной оценке условий труда» [38].Люди, работающие на вредных

производствах, обеспечиваются льготами и компенсациями, Трудовой кодекс РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и компенсаций». Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливаются статьей Трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия. Ежегодно на социальные программы предприятие выделяет средства на;

организация санаторно-курортного лечения, оздоровление работников и их детей, оказание медицинских услуг, развитие корпоративного спорта и культурно-массовой деятельности, материальная помощь работникам, нуждающимся в дополнительной социальной поддержке, единовременные компенсационные выплаты увольняющимся работникам в связи с выходом на пенсию, пенсионные социальные программы, предусматривающие досрочное оформление пенсии работникам; выплаты ежеквартальной материальной помощи для частичного покрытия расходов по квартплате, коммунальным услугам, единовременной материальной помощи на оплату медикаментов и т.д. Сотрудники предприятия имеют ряд социальных гарантий, а также спектр финансовых льгот, таких как социальное страхование, кредитование, материнские выплаты. Предусмотрено бесплатное обучение в ВУЗах, регулярное повышение квалификациям. К организационным мероприятиям, обеспечивающим, безопасность работ электромонтера согласно Межотраслевым правилам по охране труда относятся: инструктаж; оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации, допуск к работе, надзор во время работы, оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончание работы.

Заключение

Целью данной работы является исследование таких динамических режимов работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, как пуск и динамическое торможение.

Для достижения поставленных целей была создана модель системы ТРН - АД в программной среде MATLAB Simulink. Основой модели является блок «S-Function Builder», который позволяет пользователю интегрировать внешний код С в модель Simulink, что позволяет значительно расширить возможности стандартной библиотеки MATLAB.

В качестве математического описания асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором была выбрана трехфазная модель идеализированной обобщенной машины. Данный выбор был сделан исходя из того, что трехфазная модель наиболее точно описывает поведение АД в динамических режимах работы.

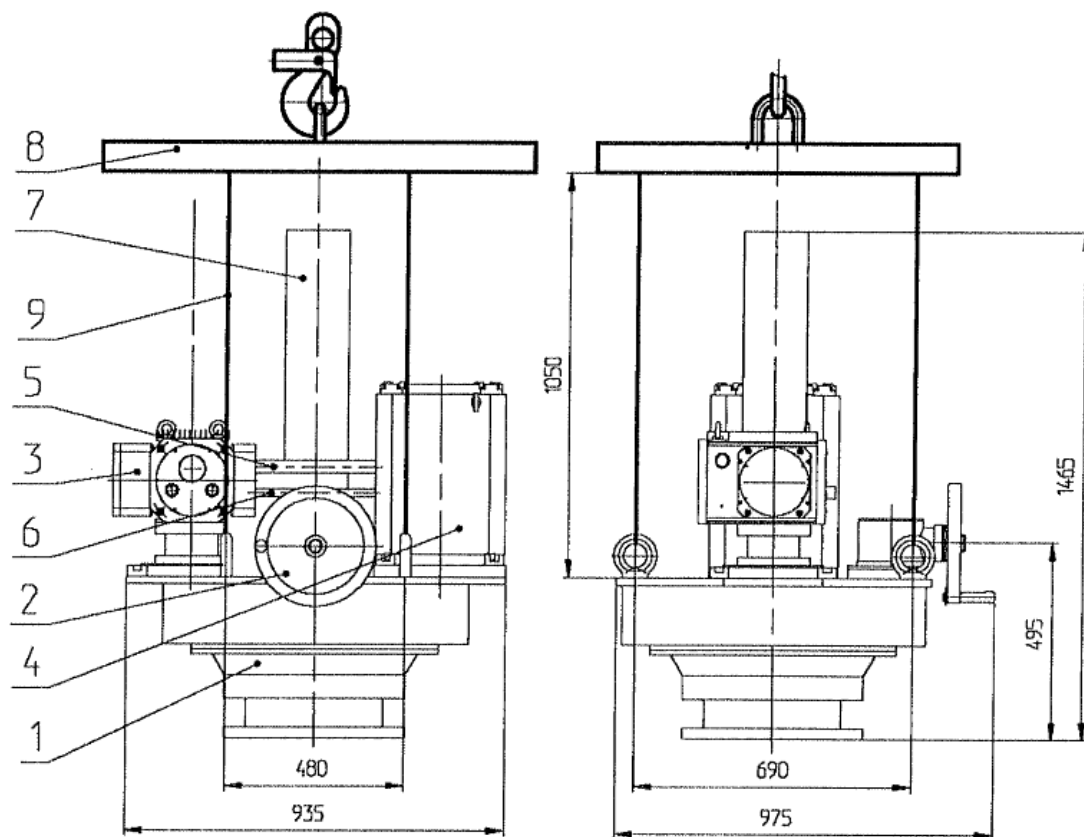
В данной работе был выбран электропривод «ЭПЦ – 15000», который предназначен для дистанционного и местного управления запорной арматурой магистральных нефтепроводов. Данный электропривод комплектуется асинхронным двигателем «ДАТЭК – 350.03», параметры которого были взяты за основу построенной модели.

Смоделированный процесс пуска АД вхолостую показал преимущества использования системы ТРН – АД. А именно значительное снижение пусковых токов и моментов двигателя, что значительно экономит ресурс электрической и механической частей электропривода.

В качестве тормозного режима был выбран режим динамического торможения, так как такой метод является самым эффективным для остановки АД.

Приложение А

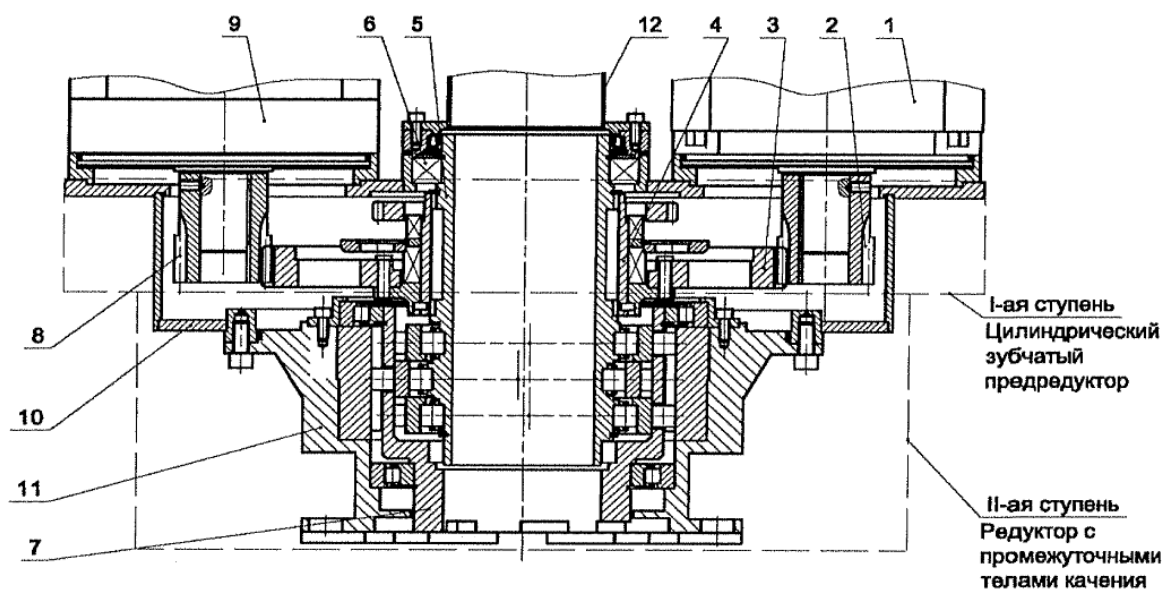
Общий вид электропривода «ЭПЦ-15000» со схемой строповки



1 – редуктор; 2 – привод ручного дублера; 3 – блок управления регулируемый «БУР»; 4 – асинхронный электродвигатель; 5, 6 – электрические кабели в защитной оболочке; 7 – колпак защитный; 8 – траверса для монтажа/демонтажа (грузоподъемностью до 3 т); 9 – стропы монтажные в составе траверсы

Приложение Б

Конструктивное исполнение электропривода «ЭПЦ-15000»



1 – электродвигатель; 2 – шестерня; 3 – зубчатое колесо; 4 – ограничитель; 5 – входной вал редуктора II ступени; 6 – толкатель; 7 – выходной вал; 8 – шестерня; 9 – блок управления регулируемый; 10 – корпус; 11 – редуктор; 12 – кожух