

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

---

Институт электронного обучения

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Кафедра электропривода и электрооборудования

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Электрический привод для плавного пуска асинхронного двигателя

УДК 62-83:621.313.333

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б2	Деев Николай Сергеевич		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А. А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король И.С.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., к.т.н.		

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

Институт электронного обучения  
 Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)  
 Кафедра электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой  
 \_\_\_\_\_ Ю.Н. Дементьев  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

**Бакалаврской работы**

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

Студент:

Группа	ФИО
3-5Г2Б1	Деев Николай Сергеевич

Тема работы:

**Электрический привод для плавного пуска асинхронного двигателя**

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 1655/с от 09.03.2017г
---	-------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2017г.
--	--------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации на задвижку
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	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.
<b>Перечень графического материала</b>	Кинематическая схема Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода Структурная схема ТРН Схема имитационной модели электропривода Переходные процессы асинхронного электропривода.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко Аркадий Альбертович
Социальная ответственность	Король Ирина Степановна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	06.03.2017г.
---	--------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Глазырин Александр Савельевич	Кандидат технических наук		06.03.2017г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Деев Николай Сергеевич		06.03.2017г.

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 114 с., 40 рисунка, 23 таблиц, 40 источников.

Ключевые слова: двигатель асинхронный с ротором короткозамкнутым, регулятор напряжения реализованный на тиристорах, динамические режимы работы, задвижка регулируемая, нефтепроводная магистраль.

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

Цель работы – исследование режимов работы в динамике двигателя асинхронного с ротором короткозамкнутым.

В процессе выполнения работы проводились расчет параметров системы и моделирование процессов переходных двигателя асинхронного с использованием программы MATLAB Simulink.

В результате выполнения работы была построена модель системы «регулятор напряжения тиристорный – двигатель асинхронный», реализованы основные режимы работы пуск торможение так же проведен анализ полученных графических результатов переходных процессов.

Данная исследуемая система применяется в качестве регулируемого электропривода задвижки клинового типа, которая установлена на магистральном нефтепроводе.

Экономическая эффективность работы заключается в существенном увеличении ресурса механической части и электрической части данного электропривода.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью текстового редактора Microsoft Word .

## Оглавление

Введение	7
1. Технологический процесс перекачки нефти	8
1.1. Описание технологического процесса перекачки нефти	8
1.2. Обзор задвижек	6
1.3. Обзор электрических преобразователей для электроприводов задвижек	12
1.4. Принцип действия тиристорного преобразователя	17
2. Выбор электропривода и расчет его оборудования	20
2.1. Исходные данные	20
2.2. Характеристики электропривода	21
2.2.1. Технические характеристики ЭЩ-15000	21
2.2.2. Состав электропривода	23
2.3. Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя	24
2.4. Расчет статических характеристик электродвигателя	30
3. Имитационная модель ТРН – АД	31
3.1. Математическое описание асинхронного двигателя	31
3.2. Моделирование АД на основе стандартных блоков MATLAB Simulink	43
3.3. Моделирование АД на основе блока S-Function Builder в MATLAB Simulink	46
3.4. Тиристорный регулятор напряжения	54
4. Исследование динамических режимов ТРН – АД	58
4.1. Динамическое торможение	58
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	64
5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	65
5.2. Планирование научно-исследовательских работ	68

5.2.1. Структура работ в рамках научного исследования	68
5.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	69
5.2.3. Разработка графика проведения научного исследования	70
5.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	74
5.3.1. Основная заработная плата исполнителей темы	74
5.3.2. Дополнительная заработная плата исполнителей темы	77
5.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	77
5.3.4. Накладные расходы	78
5.3.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	78
5.4. Определение ресурсоэффективности проекта	79
6. Социальная ответственность	82
6.1 Производственная безопасность	86
6.2 Анализ выявленных вредных факторов	85
6.3 Анализ выявленных опасных факторов	87
6.4 Экологическая безопасность	101
6.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	103
6.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	106
Заключение	109
Список используемой литературы	110
Приложение А	113
Приложение Б	114

## **Введение**

Нефтепромысел, обычно, располагается на довольно большом расстоянии от места переработки. Потому вопрос транспортировки нефти считается животрепещущим. Перевозка нефти выполняется жд, морским, речным, авто и трубопроводным видами автотранспорта. Различаются данные методы транспортировки нефти по пропускной возможности, правилам использования, технико-экономическим признакам. При всем этом любой способ передвижения имеет собственные отличительные черты, пригодные для перевозки конкретной группы нефтяных грузов.

Совокупность всех способов передвижения нефти представляется собой общую систему.

Нефтепровод – трубопровод, который работает для перекачки нефти.

Нефтепровод – самый дешевенький, верный и прибыльный метод транспортировки нефти и нефтепродуктов. И еще данный метод считается более экологически неопасным. В РФ таковой метод транспортировки считается главным.

Превосходствами такого способа передвижения считаются последующие прецеденты: вероятность прокладки меж хоть какими объектами; нефтепровод – наименьшее расстояние меж объектами; нефтепровод постоянен, собственно гарантирует бесперебойное снабжение покупателей; нет надобности в хранилищах.

В период эксплуатации нефтепровода появляются ситуации, в каких нужно по каким или первопричинам остановить перекачку нефти по нефтепроводу. Такое может быть или задуманная остановка для проведения плановых дел по обслуживанию нефтепровода, или незапланированная остановка (к примеру, при появлении при которой вероятна авария).

Для схожих целей употребляется таковой приспособление, как задвижка. Задвижки размещены по всей протяженности нефтепровода с особым промежутком, и если возникнет такая необходимость с помощью их возможно закрыть отдельный участок нефтепровода.

Беря во внимание тот прецедент, собственно нефтепроводы имеют огромную длину, возникает надобность дистанционного управления открытием и закрытием задвижек. Для этих целей на этот приспособление устанавливают электропривод. Это решение разрешает как можно быстрее

осуществлять конкретные деяния с задвижками, собственно существенно упрощает процесс профилактики нефтепровода. Аналогично при помощи эл-привода всевозможно практически сразу обращать внимание на при которой вероятна авария (к примеру, порыв нефтепровода), собственно в значимой степени снижает последствия аварии на нефтепроводе.

В этой работе станут изучены динамические режимы работы эл-привода клиновой задвижки средством прогнозирования переходных действий в программной среде MATLAB Simulink.

## **1. Технологический процесс перекачки нефти**

### **1.1. Описание технологического процесса перекачки нефти**

Нефть перемещается по нефтепроводу в связи присутствия различия давлений сначала участка нефтепровода и в конце. Насосные станции, творящие разницу давлений, размещаются на нефтепроводе с интервалом в 70-150 километрах. Скорость перемещения нефти по нефтепроводу – 3 м/с. Внутренний поперечник трубы нефтепровода быть может в спектре от Сто мм до 1400 мм. Пропускная способность нефтепровода поперечником 1200 мм – 80-90 млн.тонн в год [1].

Для производства труб нефтепроводов употребляется высокопластичная высококачественная сталь, способная выдерживать хим, мех-ские и температурные действия. Сейчас присутствует наиболее технологичный который был использован – армированный пластик. Таковой который был использован не подвержен ржавчины, потому имеет фактически нелимитированный срок службы.

Нефтепровод случается наземным и подземным. Достоинством наземного метода считается простота сооружения и эксплуатации такового нефтепровода. Плюс подземного нефтепровода состоит в том, собственно он наиболее защищен от наружных действий и, как следствие, считается наиболее долговременным.

Чтобы в сила создавать ремонтные либо эксплуатационные работы на некотором участке нефтепровода, в нем на дистанции в 10-30 км располагают задвижки. При помощи задвижек можнож закрыть отдельный участок нефтепровода при трагедии, собственно предупредит суровые результаты и позволит устранить данную катастрофу.

## 1.2. Обзор задвижек

Задвижка – вид запорной арматуры, в какой замыкающий составляющее перемещается перпендикулярно оси потока рабочей среды [2]. В целом облике задвижка состоит из корпуса и крышки, которые образуют полость рабочей среды. Снутри данной полости пребывает составляющее, который гарантирует перекрытие потока воды – затвор. Крепление задвижки к корпусу исполняется одним из 3-х методов: фланцевый, муфтовый и приварочный.

Для сотворения наибольшей плотности при закрытии задвижки, снутри корпуса размещаются «седла», к уплотнениям которых прилегает уплотнитель затвора. Перемещение затвора поддерживается штоком либо шпинделем.

По сборки задвижки бывают:

### *1. Клиновые*

Седла таковых задвижек расположены под углом. Затвор исполнен в форме клина, собственно обуславливает заглавие клиновой задвижки.

При закрытии затвор тесно заходит в просвет меж седлами, собственно гарантирует неплохую плотность. Простота сборки клиновой задвижки дает возможность использовать ее в разных критериях. И еще клиновая задвижка имеет маленькое гидравлическое противодействие, собственно наиболее ценится при применении в магистральных трубопроводах.

К недочетам такой устройства можно отнести крупную строительную высоту.

На рисунке 1 представлено механизм задвижки клиновой.

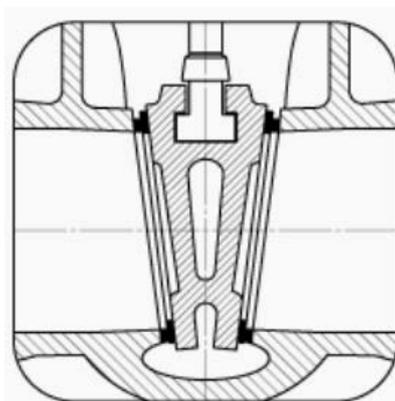


Рисунок 1 – Клиновая задвижка

## 2. Параллельные

У задвижки параллельной плоскости седел перпендикулярны и параллельны в отношении оси перемещения потока. К примеру у клиновой, у задвижки параллельной в базе реализован принцип расклинивания. Исключительно в случае задвижки параллельной ее клин размещаться между тарелками затвора.

На рисунке 2 представлено приспособление задвижки параллельной.

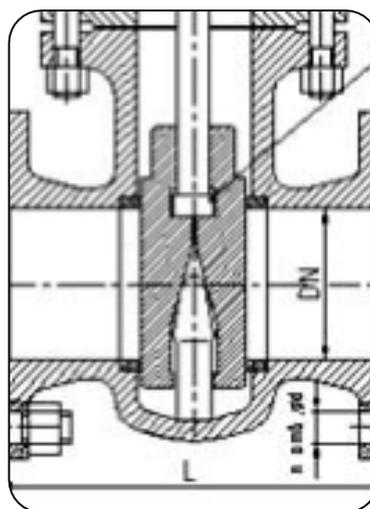


Рисунок 2 – Параллельная задвижка

## 3. Шиберные

В виде запорного составляющей у шиберной задвижки употребляется железная пластинка маленькой толщины, способная разрезать разные подключения в рабочей среде. Данное свойство шиберной задвижки дает возможность использовать ее для перекрывания потока рабочей среды, имеющей высшую вязкость либо некоторые подключения.

Шиберная задвижка имеет еще наименьшую строительную длину, нежели все другие виды задвижек, собственно существенно сберегает место в техническом помещении.

Недочетом шиберных задвижек считается небольшой срок эксплуатации уплотнительных плоскостей [3].

На рисунке 3 изображено прибор шиберной задвижки.

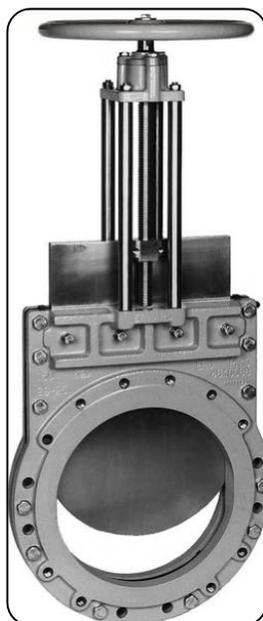


Рисунок 3 – Шиберная задвижка

#### *4. Шланговые*

Рабочая среда в таковой задвижке следует по эластичному патрубку, который по мере надобности пережимается шпинделем задвижки. Эта система имеет полнопроходное сечение, другими словами поперечник патрубка подходит поперечникам входной и выходной труб. При всем этом рабочая среда стопроцентно отделена от находящейся вокруг среды.

На рисунке 4 изображено устройство шланговой задвижки.

Недочетом сборки считается тот прецедент, собственно эластичный патрубок при эксплуатации равномерно изнашивается. Помимо всего этого, температура рабочей среды ориентируется тем значением, которое способен вынести патрубок, собственно прикладывает лимитирования на внедрение задвижек таковой сборки.

На рисунке 4 изображено прибор шланговой задвижки.

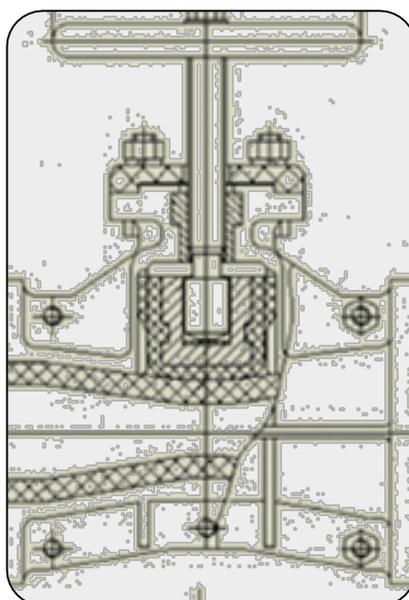


Рисунок 4 - Шланговая задвижка

### **1.3. Обзор электрических преобразователей для электроприводов задвижек**

Для получения способности удаленно воспользоваться задвижками, целенаправлено принимается на вооружение электронный привод в сборки запорной арматуры. Это техническое решение позволяет существенно понизить трудовые затраты по обслуживанию магистральных трубопроводов. Данное обосновано тем, собственно отпадает потребность конкретного вмешательства жителя нашей планеты для погашения либо открытия задвижки.

С помощью эл-привода применяют задвижку, находясь на значимом расстоянии от нее, собственно животрепещуще в области транспортировки нефти и нефтепродуктов. Помимо прочего использование эл-привода в системах запорной арматуры позволяет в определенной мере заавтоматизировать процесс ремонтных работ и эксплуатации участков нефтепровода.

Для обеспечения необходимых режимов работы электронного привода некие переменные, описывающие работу эл-привода, обязаны регулироваться. Таковыми переменными (координатами) считаются, к примеру, скорость, ускорение, положение исправного органа либо иного составляющего эл-привода, токи в электронных цепях мотора, эпизоды на валу и другие. За перемена характеристик эл-привода отвечает преобразователь электронной энергии.

Силовые преобразователи имеют все шансы быть исполнены на разной элементной базе, а конкретно с внедрением электронных автомашин, магнитных усилителей, ионных и полупроводниковых частей. Прогрессивные преобразователи считаются, обычно, полупроводниковыми, и в их употребляются преимущественно силовые транзисторы, диоды, тиристоры и их типы. Электронные преобразователи посещают последующих видов [4]:

### 1. Управляемые и неуправляемые выпрямители

Конвертируют напряжение переменного тока в напряжение неизменного тока. При всем этом неуправляемые выпрямителя не гарантируют регулировку напряжения кормления мотора и производятся на полупроводниковых неуправляемых устройствах однобокой проводимости, другими словами на диодиках. Контролируемые ведь выпрямители производятся на тиристорах и свидетельством регулировать напряжение на движке за счет определенного алгоритма управления тиристорами.

На рисунке 5 изображена схема контролируемого выпрямителя и принцип дел этой схемы.

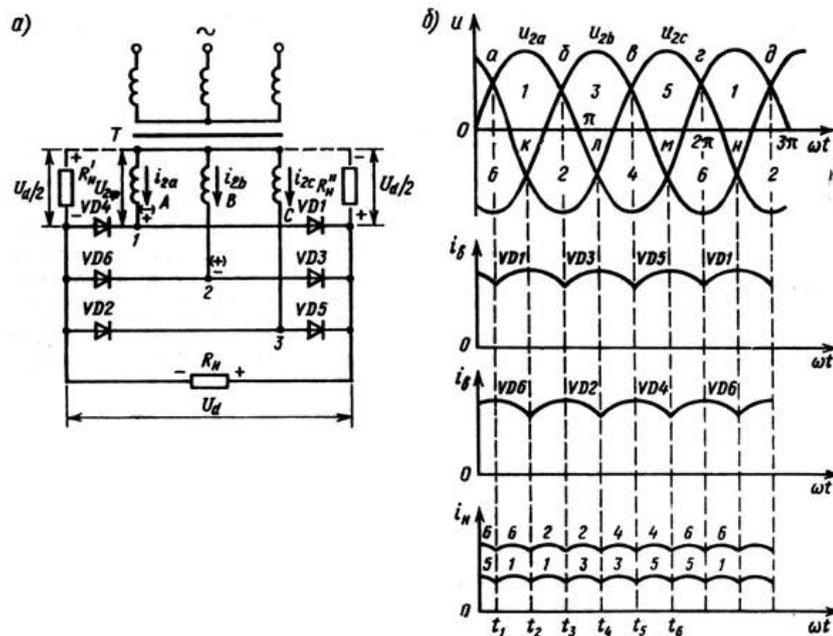


Рисунок 5 – Управляемый выпрямитель: а) схема, б) принцип работы

### 2. Инверторы

Конвертируют напряжение неизменного тока в напряжение переменного тока. В электроприводе величайшее распространение возымели автономные инверторы напряжения (АИН) и автономные инверторы тока (АИТ).

АИН имеют строгую характеристику, являющую собой зависимость выходного напряжения от тока перегрузки, из-за этого при изменении тока перегрузки их выходное напряжение фактически не меняется. Потому АИН имеет характеристики источника ЭДС.

АИТ так же имеют не жесткую наружную характеристику и обладают свойствами источника тока.

### 3. Преобразователи частоты переменного тока (ПЧ)

Преобразователем частоты (ПЧ) именуется преобразователь напряжения переменного тока одной частоты в напряжение переменного тока иной частоты. Есть преобразователи частоты 2-ух видов: ПЧ с конкретной взаимосвязью, которые свидетельством изменять частоту лишь вниз от шаблонного значение; ПЧ с промежуточным звеном неизменного тока, которые свидетельством изменять частоту как вниз от типового ценности, но и ввысь. Заключение по ясным первопричинам отыскали наиболее обширное использование в электроприводе

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

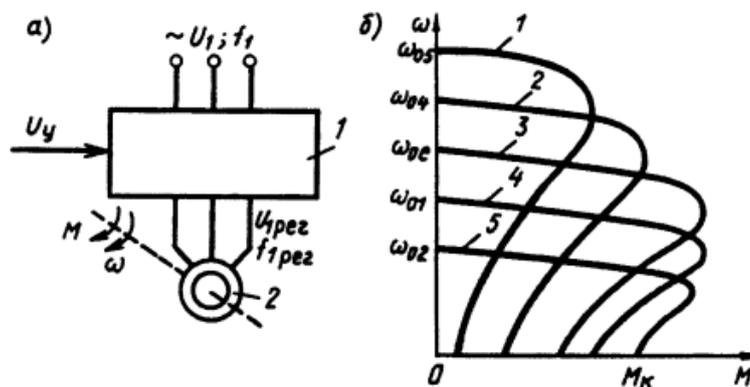


Рисунок 6 – Преобразователь частоты: а) схема включения, б) принцип работы

### 4. Преобразователи напряжения (ТРН)

Переустройство напряжения переменного тока быть может было совершено при помощи тиристорного регулятора напряжения (ТРН).

Перемена напряжения, подводимого к статору АД, позволяет производить регулировку координат привода в статических и динамических режимах с неплохими признаками свойства и при помощи что же касается

обычных схем управления. И еще таковой метод управления гарантирует экономные режимы работы электродвигателя.

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

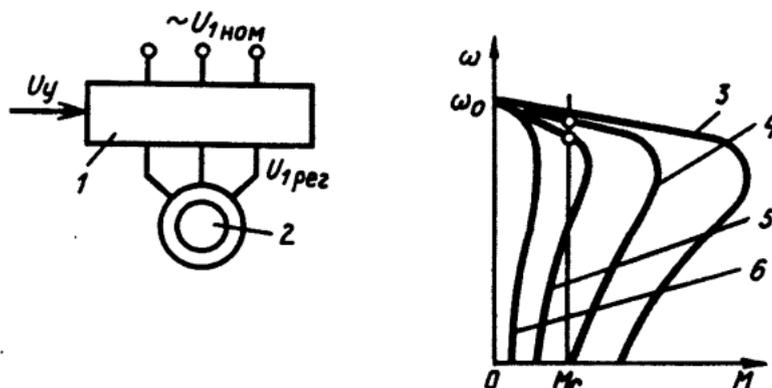


Рисунок 7 – Схема и принцип работы системы ТРН - АД

Для регулировки координат АД меж сетью переменного тока со шаблонным напряжением  $U_{1ном}$  и статором мотора интегрирован регулятор напряжения (набросок 7), выходное напряжение которого  $U_{1рег}$  меняется при помощи маломощного наружного сигнала управления  $U_y$  около от ценности сетевого напряжения  $U_{1ном}$  вплоть до нулевой отметки. При всем этом частота напряжения не изменяется и остается одинаковой обычной (50 Гц).

Система ТРН – АД станет принята в дипломной работе как объект изыскания. Ниже станет приведено наиболее доскональное описание работы тиристорного преобразователя, и станут разобраны режимы его работы.

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

В схожих преобразователях употребляются силовые полупроводниковые контролируемые ключи, работающие в импульсном режиме. Механизм работы импульсных преобразователей базируется на модуляции напряжения источника кормления. К примеру, широтно-импульсная модуляция (ШИМ) предполагает перемена продолжительности импульсов напряжения при постоянной частоте их подачи.

На рисунке 8 изображен принцип деяния импульсного преобразователя напряжения.

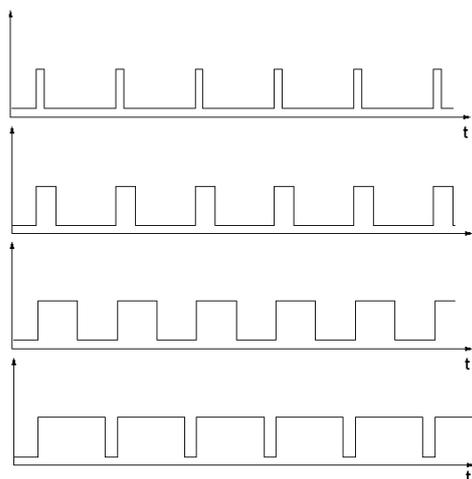


Рисунок 8 - Принцип работы импульсных преобразователей

Анализируя все перечисленные выше преобразователи электронной энергии, возможно устроить следующие выводы.

При передаче электричества на огромные расстояния переменный ток применять прибыльнее, нежели неизменный. Данное может помочь недопустить огромных утрат. Потому к электроприводу задвижки станет подводиться переменный ток, который и станет питать данный привод.

Таким образом, не потребуется преобразовывать электричество переменного тока в электричество постоянного тока. По данной первопричине для преобразования электронной энергии для эл-привода задвижки не подходят выпрямители и инверторы.

Импульсные преобразователи напряжения постоянного тока аналогично не подходят для эл-привода задвижки, потому что эти преобразователи действуют с постоянным током.

Преобразователь частоты имеет ряд полезных свойств:

- высочайший КПД (до 98%);
- бережливость электричества;
- вероятность удаленного управления электроприводом;
- мягкий запуск электродвигателя;

Недочетом такового преобразователя считается его большая цена, сложность прибора, высочайшие издержки на сервис.

Тиристорный регулятор напряжения имеет ряд положительных сторон над преобразователем частоты:

- простота прибора;
- цена ТРН в разы менее, при всем этом с повышением силы эл-привода разница в цены возрастает;
- сравнительно простые методы управления;
- вероятность действовать в наиболее строгих атмосферных критериях;
- сравнительная простота профилактики;

Недочетом ТРН считается небольшой спектр регулировки скорости вращения электродвигателя и небольшой КПД при небольших скоростях. Эти недочеты не имеют большого значения для эл-привода задвижки.

Отталкиваясь от превосходств ТРН, логичнее всего принимать на вооружение конкретно данный преобразователь электронной энергии в электроприводе задвижки нефтепровода.

#### 1.4. Принцип действия тиристорного преобразователя

Как было замечено раньше, ТРН разрешает изменять значение напряжение от номинального ценности вплоть до нулевой отметки.

Изменение статорного напряжения не изменяет значение скорости холостого хода  $\omega_0 = 2\pi f_1 / p$  и критичного скольжения  $s_k$ . Таковой метод регулировки координат изменяет критичный момент  $M_k$ .

Данное возможно заметить из формулы

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

Перемена критичного эпизода случается гармонично квадрату понижения напряжения. В следствии при изменении напряжения на статоре искусственного происхождения свойства 3-6 (набросок 7), возведённые при напряжениях (1; 0,8; 0,6; 0,4) ·  $U_{1ном}$ , оказываются малопригодными для регулировки скорости. Данное соединено с тем, собственно при сокращения напряжения быстро понижаются критичный эпизод, и в соответствии с этим перегрузочная способность асинхронного мотора. При всем этом спектр регулировки скорости очень мал.

Разомкнутая схема (набросок 7) применима лишь в период переходных действий, для действия на день асинхронного мотора. Такое может

требоваться для обеспечения данного ускорения движения эл-привода либо регулировки величины натяжения на исправном органе рабочей машинки.

На основании представленной формулы путем изменения напряжения возможно осуществлять ограничение статорного тока в режимах переходных.

Характеристики электромеханические при изменении напряжения питающего статор, приведены на рисунке 9.

$$I'_2 = \frac{U_\phi}{\sqrt{(R_1 + R'_2/s)^2 + x_k^2}}$$

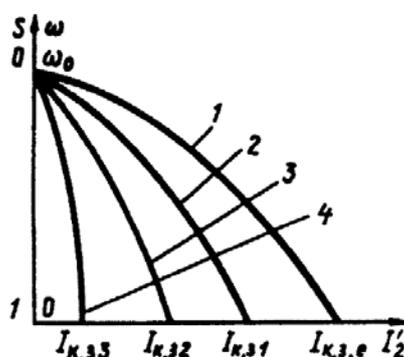


Рисунок 9 - Электромеханические характеристики

Проанализируем работу тиристорного регулятора напряжения и образованную на его применении систему ЭП «ТРН – АД».

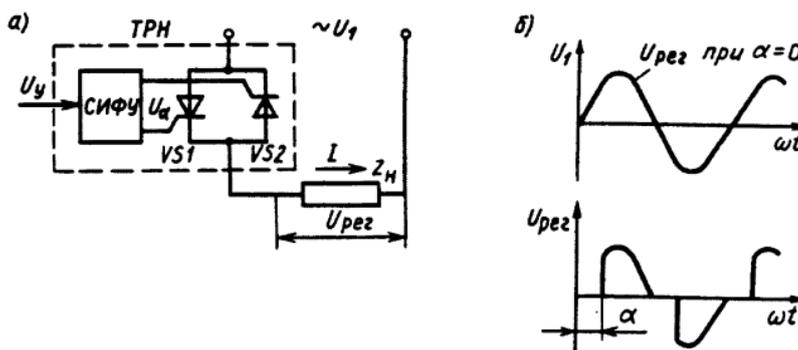


Рисунок 10 - Однофазный ТРН – АД

На рисунке 10а приведена схема регулировки напряжения на однофазной перегрузке переменного тока  $z_n$ . Силовая часть однофазного ТРН состоит из 2-ух тиристоров VS1 и VS2, включенных по так именуемой встречно-параллельной схеме, коя обеспечивает протекание тока в перегрузке в два полупериода напряжения сети  $U_1$ . Тиристоры получают

импульсы управления  $U_\alpha$  от СИФУ, обеспечивающей их сдвиг на угол управления  $\alpha$  в функции наружного сигнала управления  $U_y$ .

При неимении импульсов управления на тиристорах VS1 и VS2, они перекрыты. При всем этом напряжение на перегрузке  $U_{рег}$  точно также нулю. При подаче на тиристоры импульсов управления с углом управления  $\alpha=0$  они станут стопроцентно открыты и к перегрузке станет приложено все напряжение сети  $U_1=U_{рег}$  (набросок. 10, б). При подаче импульсов управления на тиристоры с явной задержкой что касается предельного режима, то к перегрузке станет прикладываться часть напряжения сети. Изменяя угол управления  $\alpha$  от нулевой отметки до  $\pi$ , можно регулировать напряжение на нагрузке от полного напряжения сети до нуля.

Используя однофазовую схему ТРН, показанную на рисунке 10, а, можнож обрести трехфазную схему для регулировки напряжения на обмотках статора асинхронного мотора. Эта схема состоит из шести тиристоров VS1-VS6 (набросок 11).

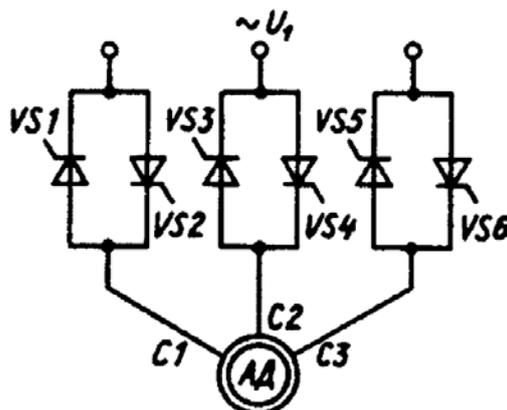


Рисунок 11 – Включение тиристоры в системе ТРН – АД

В этих схемах заместо пары включенных встречно-параллельно тиристоров сможет применяться полупроводниковый устройство с именем симистор. Данный устройство гарантирует протекание тока в фазе мотора в двух инстуркциях и имеет тот же принцип деяния, собственно и тиристор. При помощи симистора можнож уменьшить количество элек-тронных устройств в два раза, собственно упростит схему СИФУ.

Стоит отметить, собственно напряжение, прикладываемое к перегрузке, считается несинусоидаль-ным. Его возможно предположить совокупой нескольких синусо-идальных гармоник, любая из которых меняется с конкретной частотой. Частота конфигурации главной гармоники одинакова частоте питающего напряжения, а частоты конфигурации иных гармоник

более, нежели 1. Обычно 1-ая гармоника имеет самую большую амплитуду и по ней проводятся все основные расчеты.

При помощи ТРН возможно выполнить реверс электродвигателя. На рисунке 12 приведена схема управления АД, позволяющая реверсировать АД. Эта схема состоит из 5 пар включенных тиристоров встречно-параллельно VS1-VS10. Когда сигналы управления от СИФУ сервируются на тиристорные пары 1, 3 и 5, то на статоре АД питающее напряжение будет с последовательностью фаз сети ABC и движок станет крутиться в прямом направлении. При сигнализации 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.

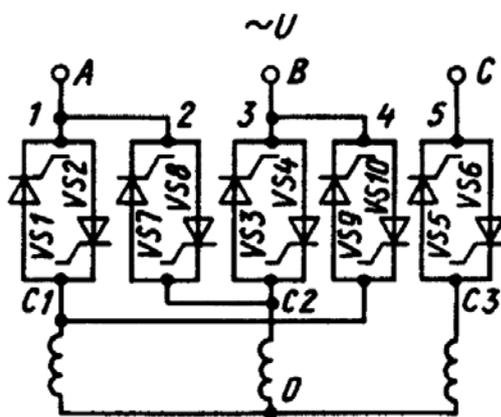


Рисунок 12 - Схема для реверса электродвигателя

Многофункциональные способности ТРН по управлению АД данным далеко не исчерпываются. С помощью их возможно гарантировать принудительное электронное торможение АД, составление требуемых динамических черт ЭП в переходных режимах, обеспечение эконом режимов АД при его работе с переменной перегрузкой. На базе рассмотренных схем ТРН реализуются тиристорные реверсивные и нереверсивные контакторы (пускатели) для запуска, реверса и торможения АД.

## 2. Выбор электропривода и расчет его оборудования

### 2.1. Исходные данные

Присутствует отдельная категория электроприводов, созданная для управления запорной арматурой. Эти эл-привода рассчитаны для работы с

перегрузками, обусловленными специфичностью работы трубопроводной запорной арматуры.

Таким образом, для подбора эл-привода для управления определенной задвижкой потребуется знать давление в трубопроводе и диаметр проходного сечения лично задвижки. Данные характеристики характеризуют наибольший вращающий момент на выходном звене эл-привода. Как следует из ценности максимального момента, выбирают электропривод запорной арматуры.

Имея цель управления клиновой задвижкой, установленной на магистральном нефтепроводе, подберем электропривод ЭПЦ-15000. Этот привод рассчитан на работу с арматурой, установленной на трубопроводах, давление которых добивается 15 МПа[5]. Помня о том, собственно магистральные трубопроводы задумываются на давление до 10 МПа[6], этот привод, установленный на клиновую задвижку, совершенно подойдет для заслуги целей перекрытия потока рабочей среды.

Этот электропривод разрешает производить:

- закрытие-открытие проходного сечения арматуры и остановку затвора арматуры во всяком среднем положении по командам оператора с районного либо дистанционного поста управления;
- автоматическое отключение электродвигателя по сигналам измерителя положения при достижении затвором арматуры последних положений;
- автоматическое отключение электродвигателя по сигналам муфты лимитирования крутящего этапа при превышении возможных нагрузок на выходном звене в любом промежуточном положении затвора арматуры и при его достижении крайних положений;
- выдача дискретных сигналов при достижении затвором арматуры последних положений и при срабатывании муфты лимитирования вращающего эпизода;
- управление затвором арматуры с поддержкой привода ручного дублера;
- указание положения затвора арматуры в ходе работы на районном 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 соответствует группе Р1 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	

Окончание таблицы 1

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	$\pm 15$ $\pm 10$	
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 T-образную схему замещения асинхронного электродвигателя, так как она является наиболее простой и удобной для расчетов.

Т-образная схема замещения АД представлена на рисунке 15.

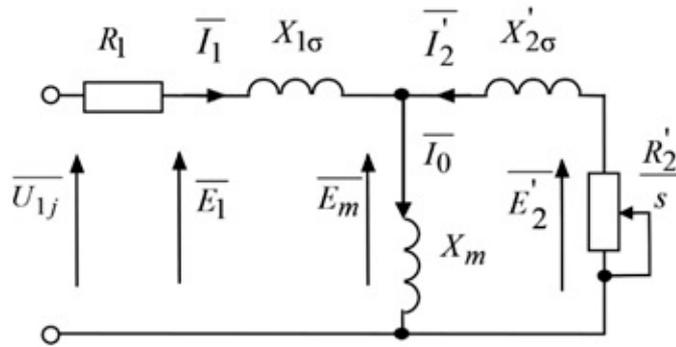


Рисунок 13 - Схема замещения асинхронного двигателя

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;

$\omega$  – 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:

$$\begin{aligned}\bar{U}_{1j} - \bar{E}_m - j \cdot X_{1\sigma} \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 &= 0, \\ \bar{E}_m + j \cdot X'_{2\sigma} \cdot \bar{I}'_2 + R'_2 \cdot \bar{I}'_2 / s &= 0, \\ \bar{I}_1 + \bar{I}'_2 - \bar{I}_0 &= 0.\end{aligned}$$

Ток ротора  $\bar{I}'_2$ , 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  $dM/ds = 0$ .

Тогда критический момент

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

критическое скольжение

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

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:

$P_n = 15$  кВт – номинальная мощность двигателя;

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

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

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

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

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

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

$$k_i = \frac{I_n}{I_H} = 6,2 \text{ о.е.} - \text{кратность пускового тока};$$

$$k_n = \frac{M_n}{M_H} = 2,1 \text{ о.е.} - \text{кратность пускового момента};$$

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

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

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:

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

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

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

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

Ряд промежуточных коэффициентов для определения внутренних параметров двигателя:

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

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

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

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

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  $\gamma$ , 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:

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

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:

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

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.

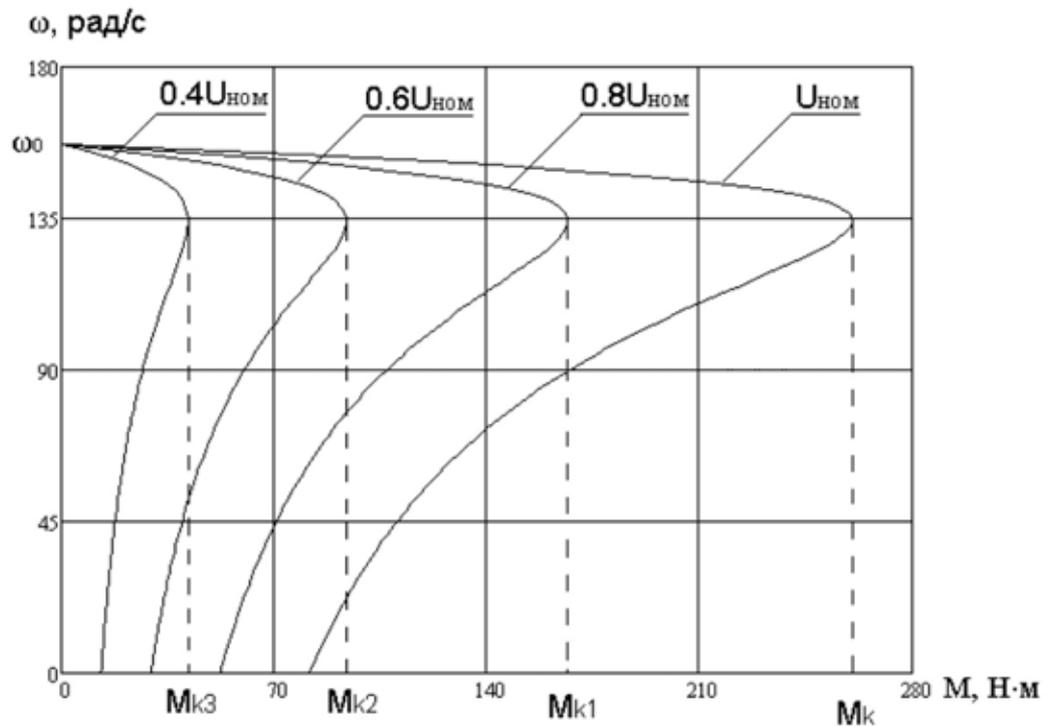


Рисунок 14 - Механические характеристики электродвигателя

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.

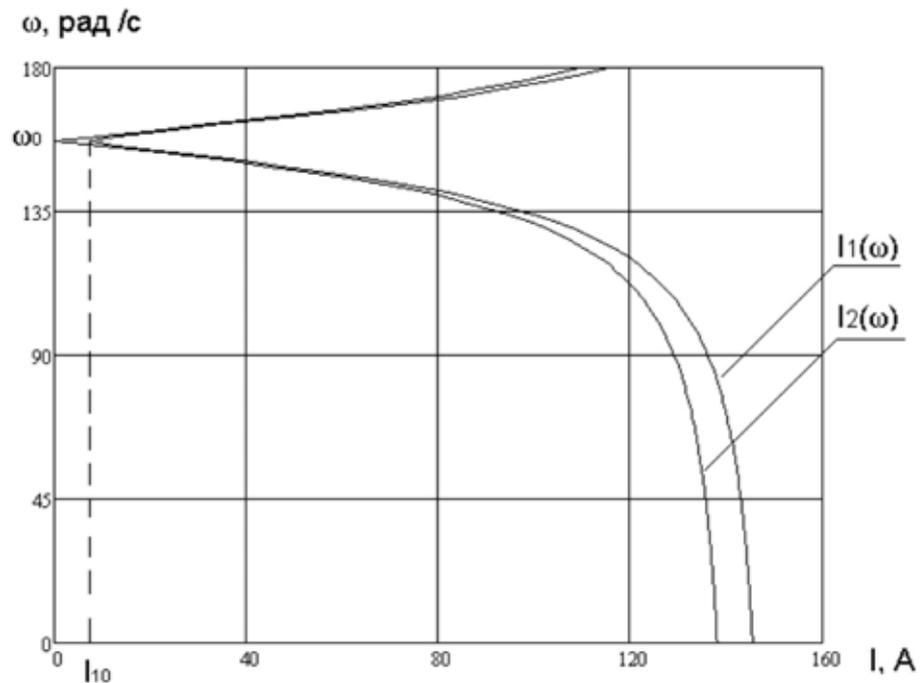


Рисунок 15 - Электромеханическая характеристика тока статора

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

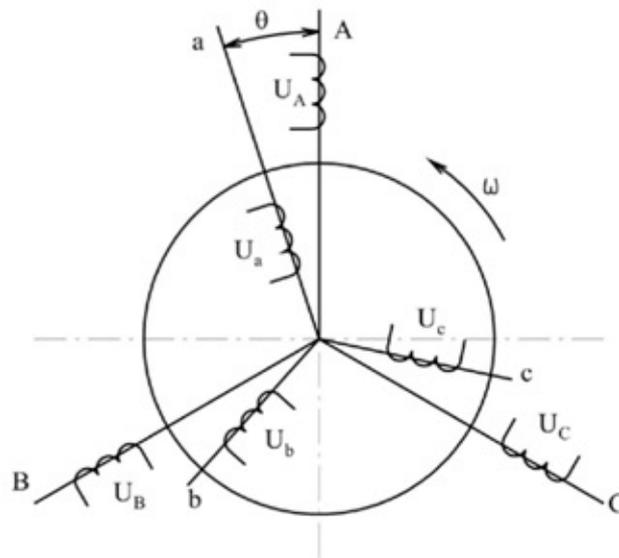


Рисунок 16 - Пространственная модель АД в естественных координатах

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:

$$\begin{aligned}
 U_a &= R_r \cdot i_a + \frac{d\Psi_a}{dt} ; \\
 U_b &= R_r \cdot i_b + \frac{d\Psi_b}{dt} ; \\
 U_c &= R_r \cdot i_c + \frac{d\Psi_c}{dt} ;
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

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  $\theta$  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  $\alpha_{kn}$  – 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  $\theta$  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  $L_{m1}$ ,  $L_{m2}$ ,  $L_{m3}$ :

$$\begin{aligned} L_{m1} &= L_{Aa} = L_{Bb} = L_{Cc} = L_m \cdot \cos(\alpha); \\ L_{m2} &= L_{Ab} = L_{Bc} = L_{Ca} = L_m \cdot \cos(\alpha + 2\pi/3); \\ L_{m3} &= L_{Ac} = L_{Ba} = L_{Cb} = L_m \cdot \cos(\alpha + 4\pi/3). \end{aligned} \quad (3.10)$$

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;

$J_\Sigma$  – 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  $\theta$  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  $\alpha_{kn}$  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  $\alpha, \beta, \gamma$ . Данный переход аналогичен переводу АД в двухфазную систему координат  $\alpha, \beta$  (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  $(\alpha, \beta, \gamma)$  изображена на рисунке 19.

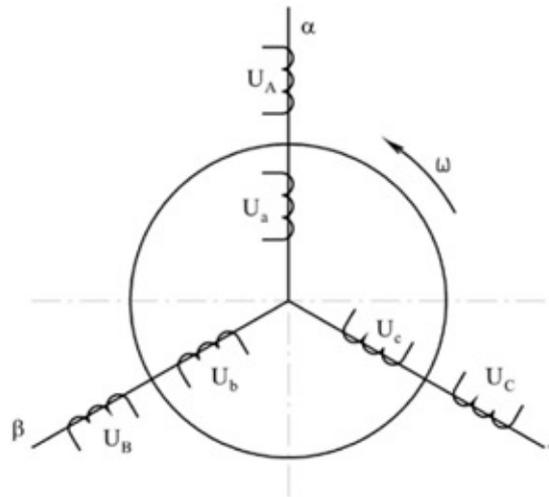


Рисунок 17 - Пространственная модель АД в трехфазной неподвижной системе координат

В трехфазной системе координат имеется круговое поле в воздушном зазоре и его можно представить результирующими векторами токов ротора, напряжений и потокоцеплений, проецируя которые на оси статора  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  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:

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

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

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

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

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

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

Потокосцепления для всех фаз:

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

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

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

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

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

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

(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:

$$\begin{aligned}
\frac{d\Psi_A}{dt} &= U_A - R_s \cdot i_A ; \\
\frac{d\Psi_B}{dt} &= U_B - R_s \cdot i_B ; \\
\frac{d\Psi_C}{dt} &= U_C - R_s \cdot i_C ; \\
\frac{d\Psi_a}{dt} &= -R_r \cdot i_a - (\Psi_b - \Psi_c) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} ; \\
\frac{d\Psi_b}{dt} &= -R_r \cdot i_b - (\Psi_c - \Psi_a) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} ; \\
\frac{d\Psi_c}{dt} &= -R_r \cdot i_c - (\Psi_a - \Psi_b) \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} .
\end{aligned}
\tag{3.17}$$

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

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} L_S & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 \\ -L_m/2 & L_S & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 \\ -L_m/2 & -L_m/2 & L_S & -L_m/2 & -L_m/2 & L_m \\ L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R & -L_m/2 & -L_m/2 \\ -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R & -L_m/2 \\ -L_m/2 & -L_m/2 & L_m & -L_m/2 & -L_m/2 & L_R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} di_A/dt \\ di_B/dt \\ di_C/dt \\ di_a/dt \\ di_b/dt \\ di_c/dt \end{bmatrix} = \\
& \begin{bmatrix} U_A - R_s \cdot i_A \\ U_B - R_s \cdot i_B \\ U_C - R_s \cdot i_C \\ -R_r \cdot i_a - \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}L_m i_A + L_m i_B - \frac{1}{2}L_m i_C - \frac{1}{2}L_m i_a + L_R i_b - \frac{1}{2}L_m i_c \\ -\left(-\frac{1}{2}L_m i_A - \frac{1}{2}L_m i_B + L_m i_C - \frac{1}{2}L_m i_a - \frac{1}{2}L_m i_b + L_R i_c\right) \end{bmatrix} \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} \\ -R_r \cdot i_b - \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}L_m i_A - \frac{1}{2}L_m i_B + L_m i_C - \frac{1}{2}L_m i_a - \frac{1}{2}L_m i_b + L_R i_c \\ -\left(L_m i_A - \frac{1}{2}L_m i_B - \frac{1}{2}L_m i_C + L_R i_a - \frac{1}{2}L_m i_b - \frac{1}{2}L_m i_c\right) \end{bmatrix} \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} \\ -R_r \cdot i_c - \begin{bmatrix} L_m i_A - \frac{1}{2}L_m i_B - \frac{1}{2}L_m i_C + L_R i_a - \frac{1}{2}L_m i_b - \frac{1}{2}L_m i_c \\ -\left(-\frac{1}{2}L_m i_A + L_m i_B - \frac{1}{2}L_m i_C - \frac{1}{2}L_m i_a + L_R i_b - \frac{1}{2}L_m i_c\right) \end{bmatrix} \cdot p_n \cdot \omega / \sqrt{3} \end{bmatrix} = \\
& \hspace{20em} (3.18)
\end{aligned}$$

Матричная форма записи (3.18) выглядит следующим образом:

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

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  $\omega_r$ , равной частоте вращения ротора относительно частоты вращения магнитного поля статора:

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

Угол поворота  $\theta_r$  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:

$$M = -p_n \cdot L_m \cdot (i_A \cdot (i_a \cdot \sin \alpha_{Aa} + i_b \cdot \sin \alpha_{Ab} + i_c \cdot \sin \alpha_{Ac}) + i_B \cdot (i_a \cdot \sin \alpha_{Ba} + i_b \cdot \sin \alpha_{Bb} + i_c \cdot \sin \alpha_{Bc}) + i_C \cdot (i_a \cdot \sin \alpha_{Ca} + i_b \cdot \sin \alpha_{Cb} + i_c \cdot \sin \alpha_{Cc})) \quad (3.23)$$

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 A, B и C являются выводами статорной обмотки машины. На выходном порту m 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.

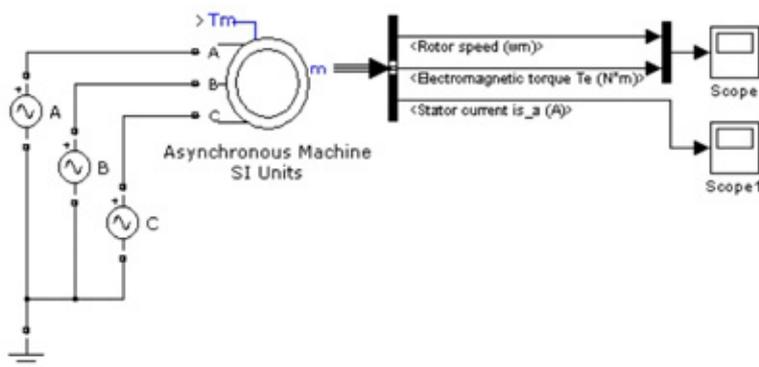


Рисунок 18 - Модель АД из библиотеки MATLAB Simulink

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

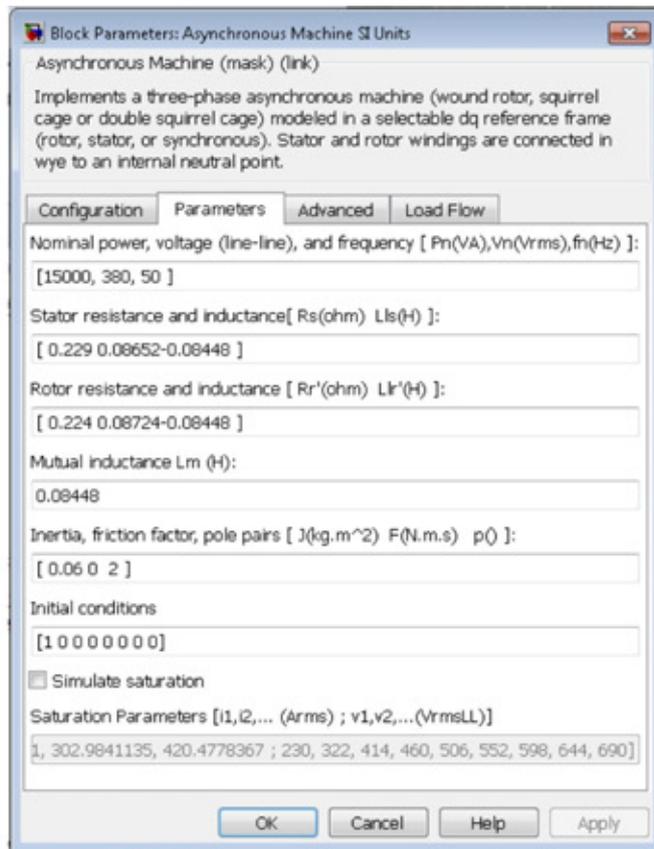


Рисунок 19 - Параметры АД

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

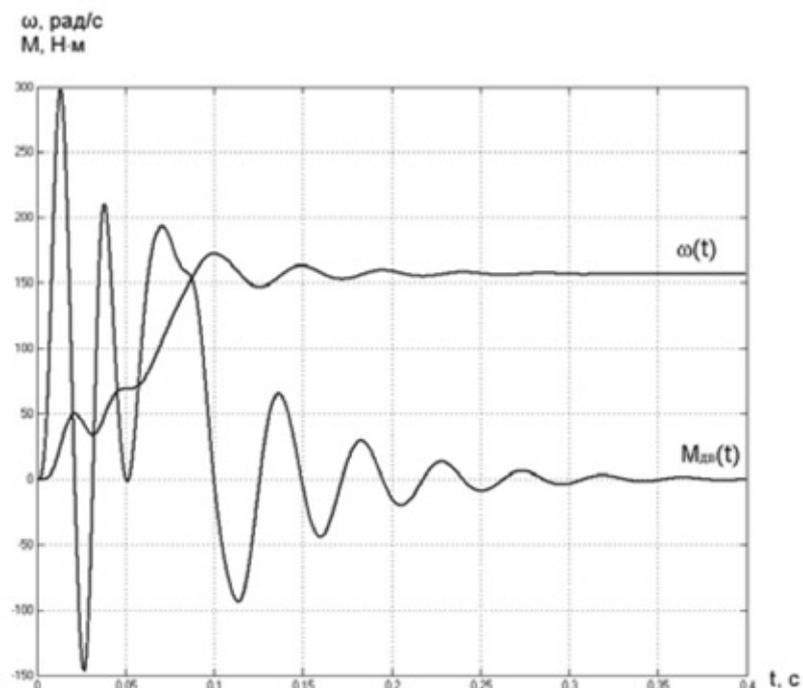


Рисунок 20 - Переходный процесс скорости  $\omega(t)$  и  $M_{дв}(t)$

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

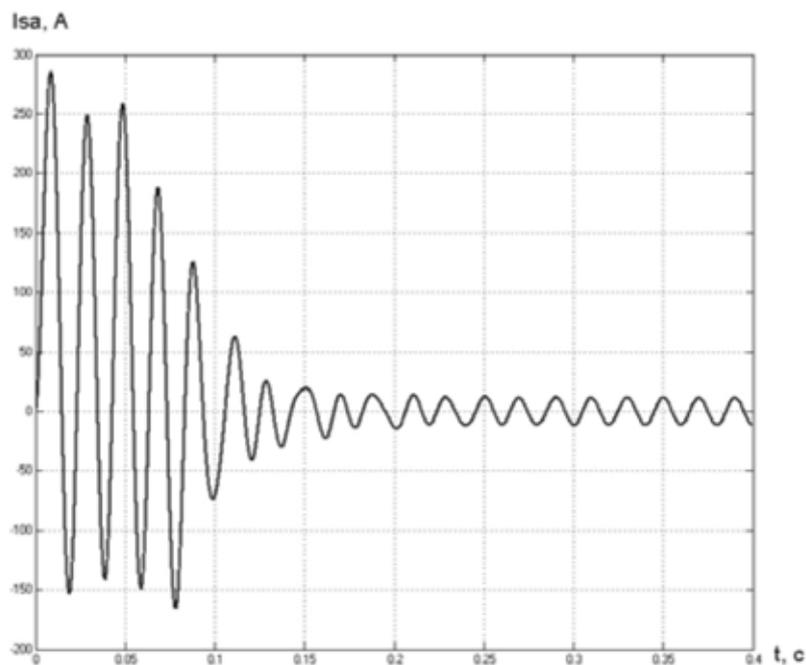


Рисунок 21 – Переходный процесс тока статора в фазе А  $I_{sa}(t)$

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.

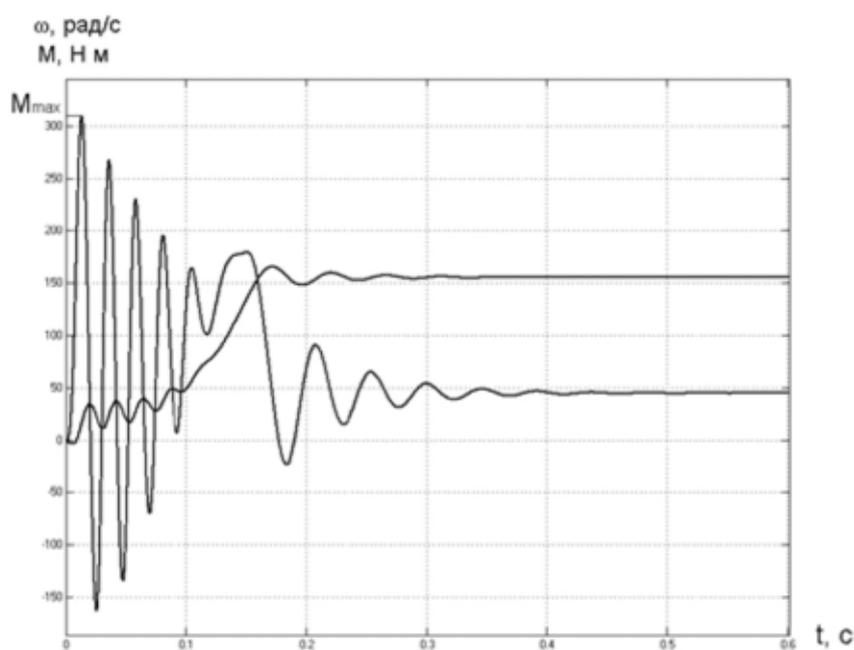


Рисунок 22 - Переходный процесс скорости  $\omega(t)$  и  $M_{дв}(t)$  при пуске под нагрузкой

Переходный процесс тока в фазе статора изображен на рисунке 25.

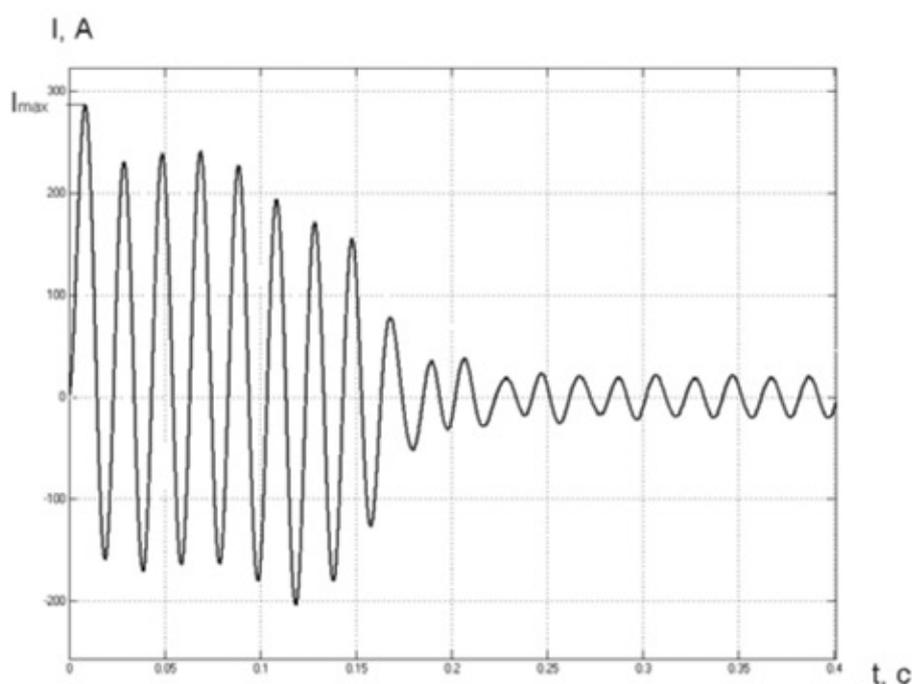


Рисунок 23 - Переходный процесс тока в фазе статора

На рисунках 24 и 25 можно отметить характерные точки:  $M_{max} = 310,5$  Н·м - максимальный момент двигателя при пуске под нагрузкой;  $I_{max} = 286,8$  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», представленная на рисунке 26.

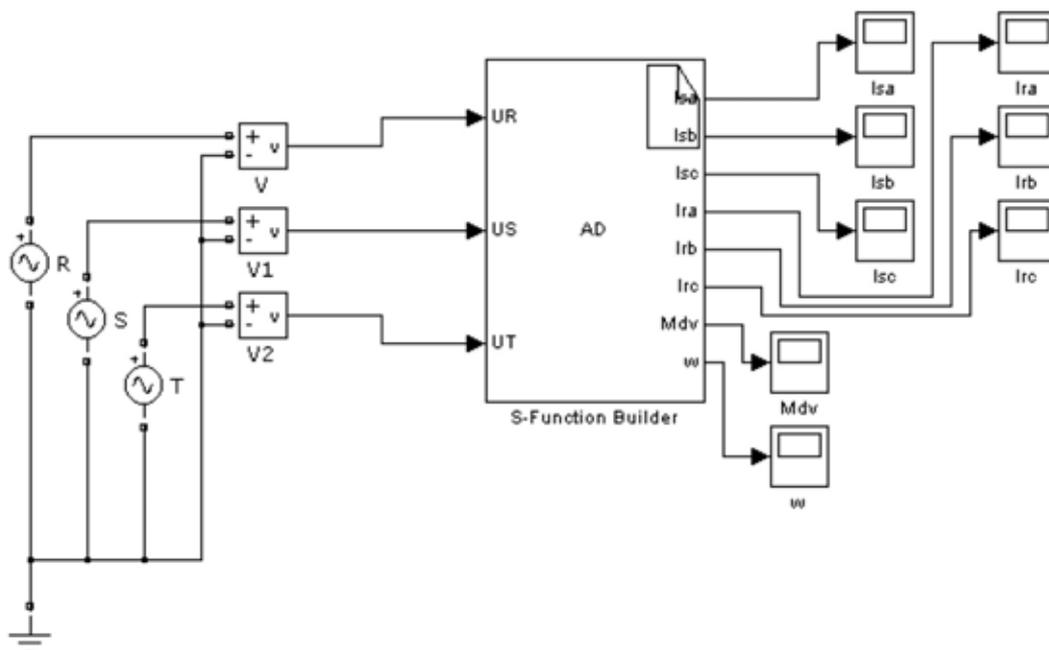


Рисунок 24 – Имитационная модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

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  $0^\circ$ ,  $120^\circ$  и  $240^\circ$ . 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  $x_{i+1}$ .

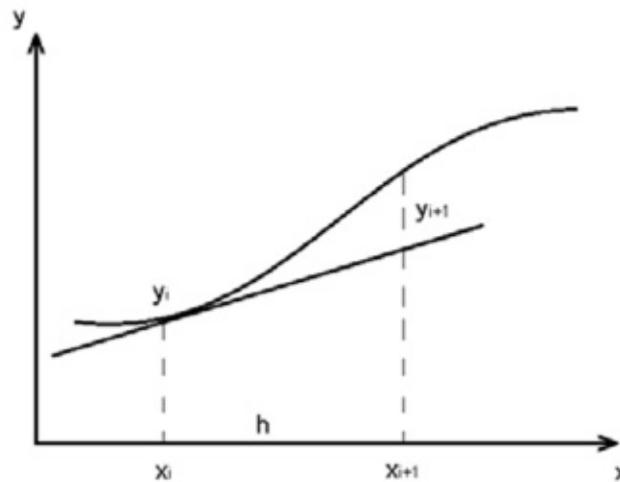


Рисунок 25 - Пояснение к методу Эйлера

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,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;  $c, g, p$  – 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.

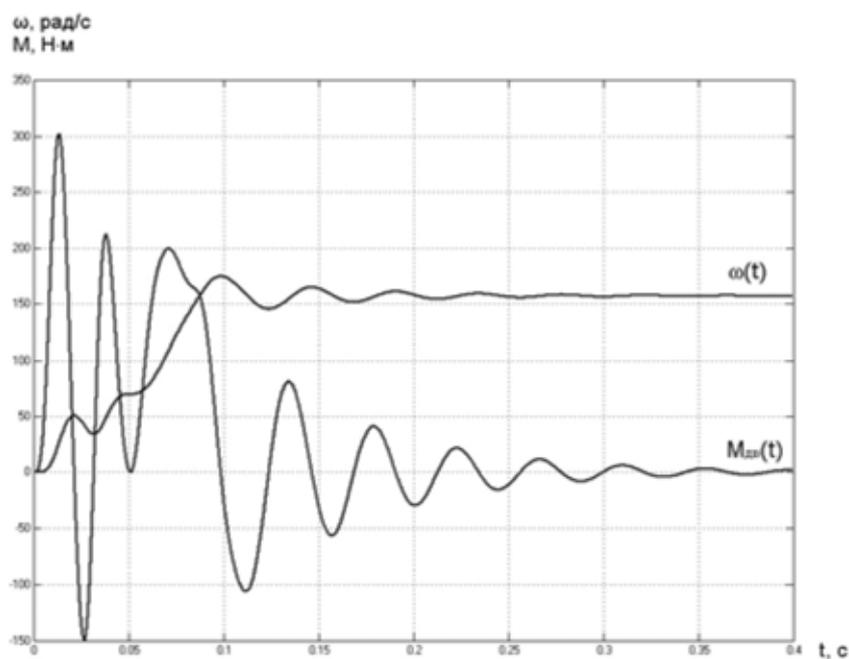


Рисунок 26 – Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя

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

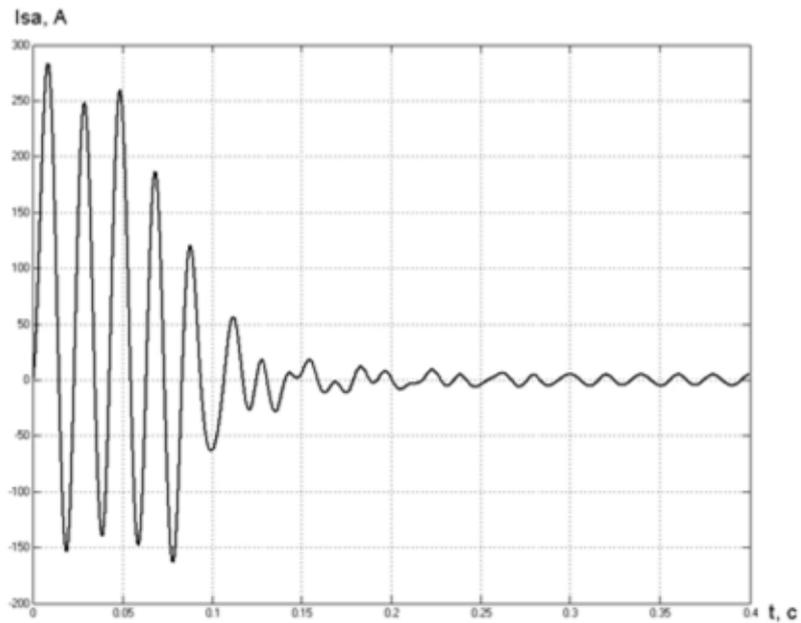


Рисунок 27 – Переходный процесс тока в фазе статора

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  $0,46 \cdot M_n$ . Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя при пуске под нагрузкой приведены на рисунке 30.

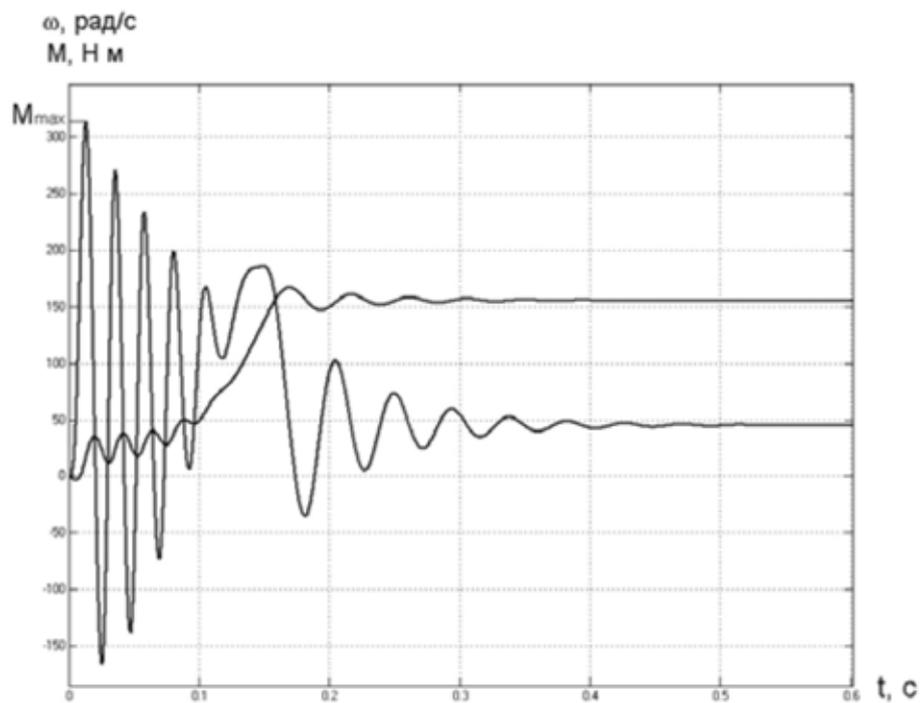


Рисунок 28 – Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя

Переходный процесс тока в фазе статора изображен на рисунке 31.

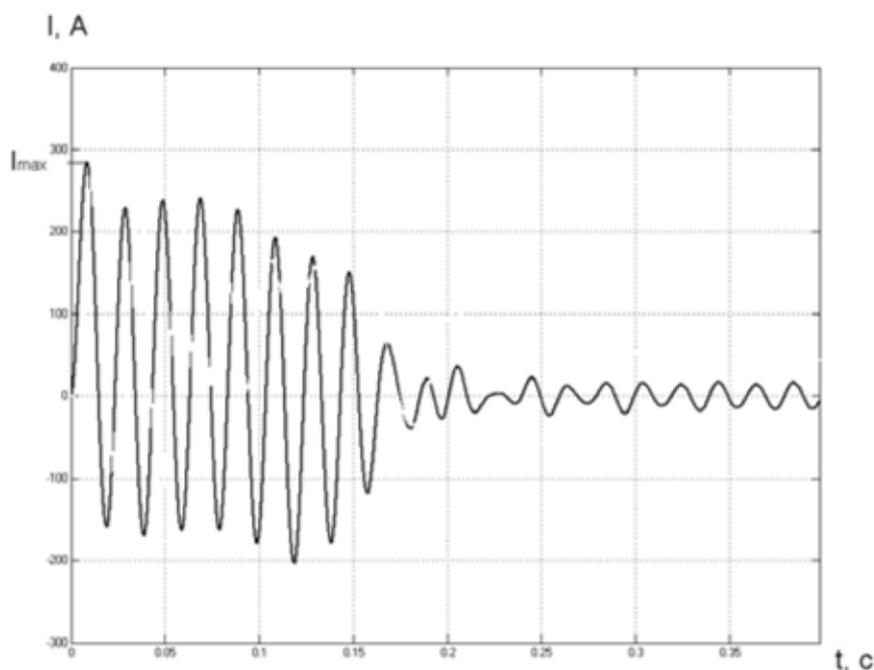


Рисунок 29 – Переходный процесс тока в фазе статора

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».

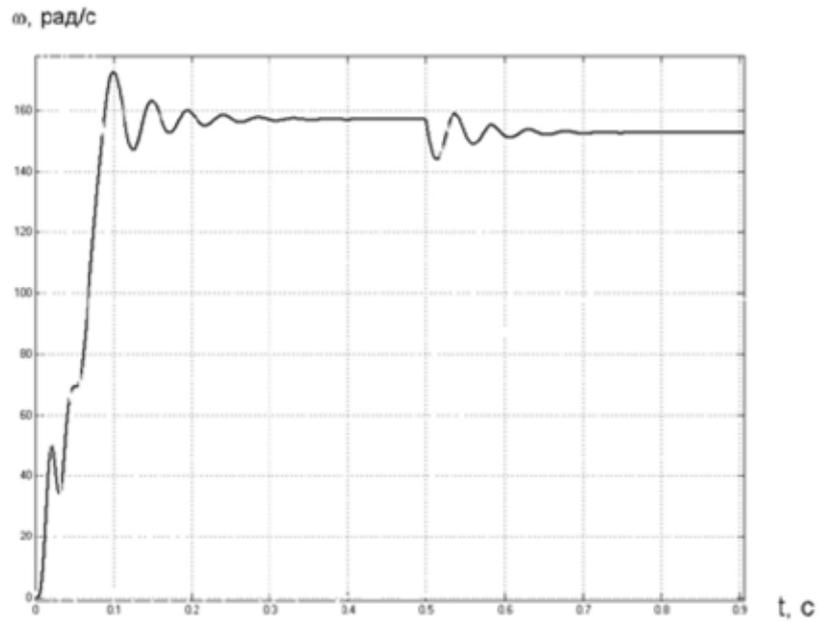


Рисунок 30 – Переходный процесс скорости при набросе нагрузки

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

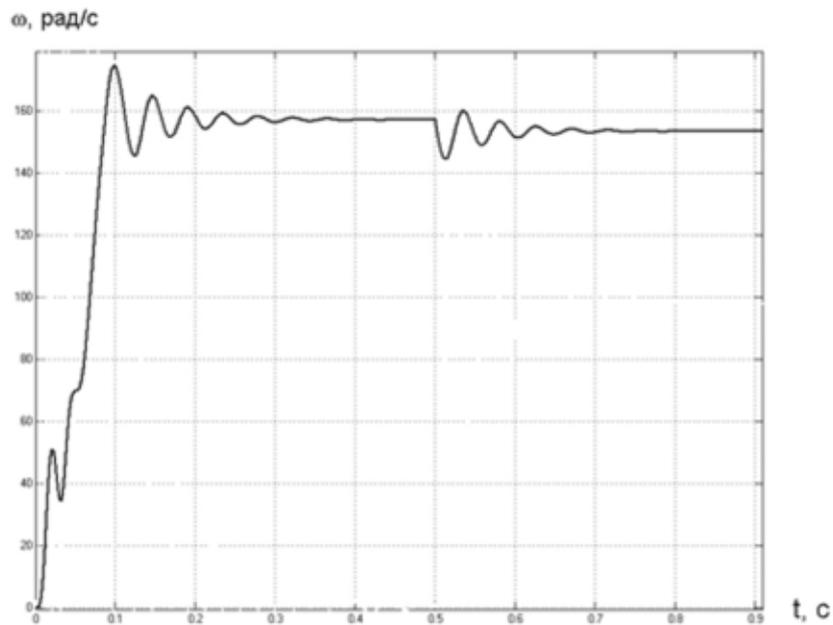


Рисунок 31 - Переходный процесс скорости при набросе нагрузки

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.

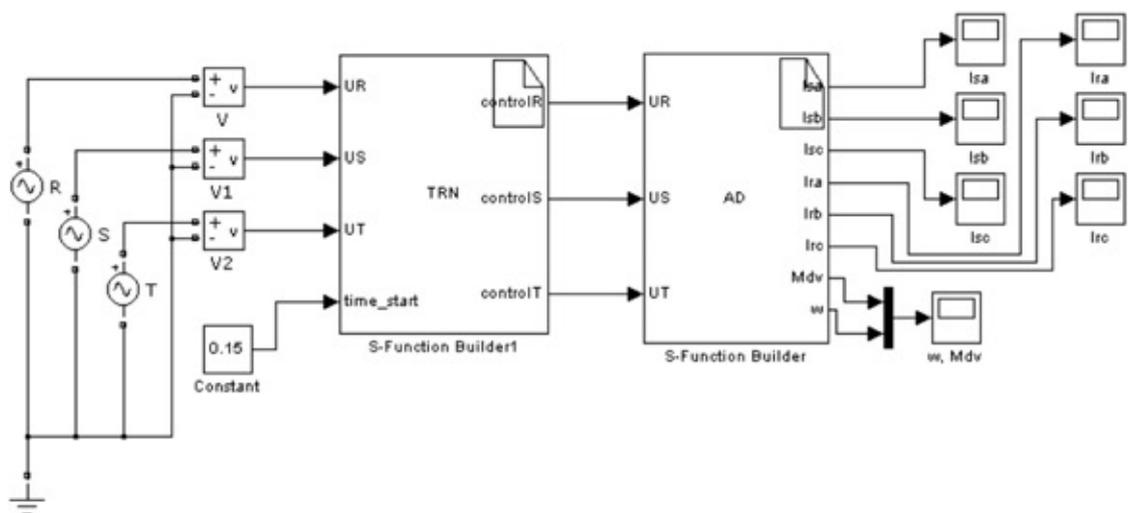


Рисунок 32 - Имитационная модель системы ТРН - АД

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 C, 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  $pilaR$  не станет больше текущего угла управления  $\alpha$ . Когда же значение  $pilaR$  станет больше угла управления  $\alpha$ , 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.

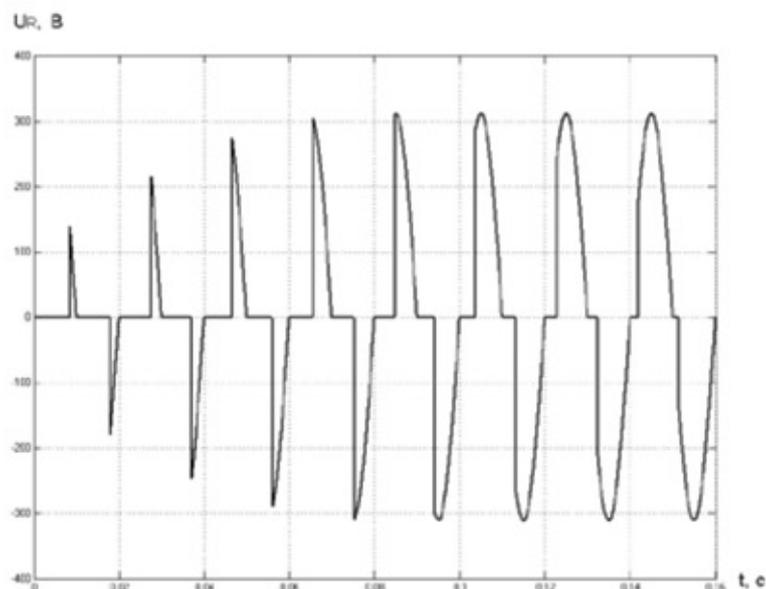


Рисунок 33 - Форма напряжения в фазе R

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

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

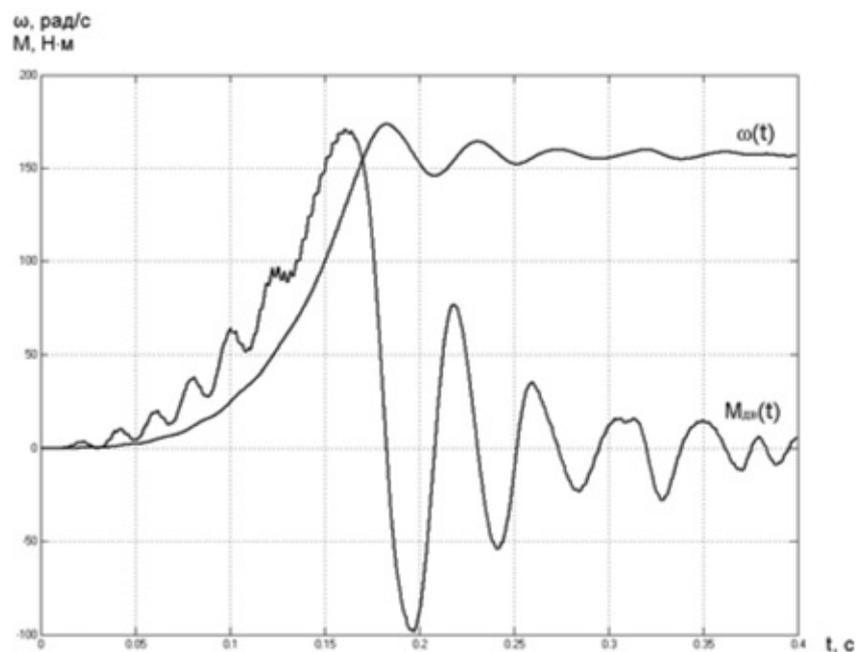


Рисунок 34 - Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя

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

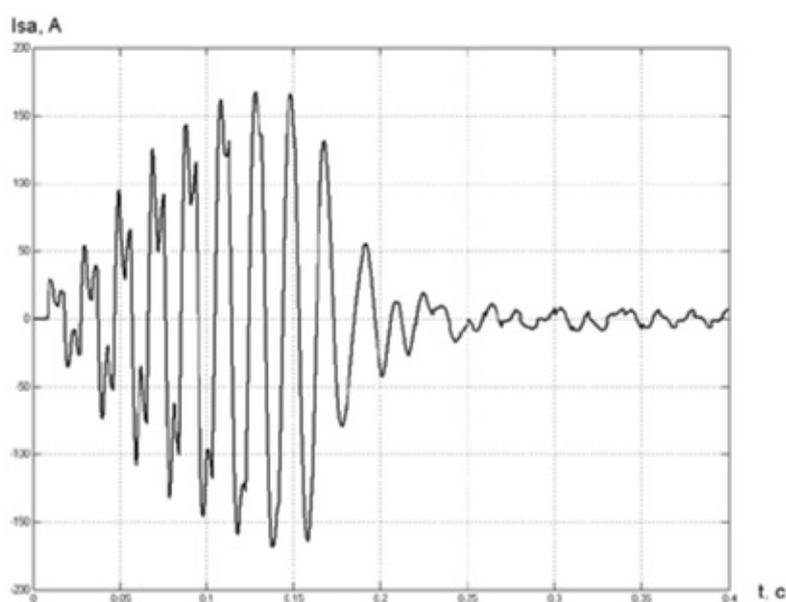


Рисунок 35 - Переходный процесс тока в фазе статора

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 –  $283 \text{ А}$ .

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.

## **Заключение**

Целью данной выпускной квалификационной работы является изучение и исследование таких режимов динамической работы двигателя асинхронного с ротором короткозамкнутым, как пуск и торможение.

В результате выполнения работы, была создана имитационная модель системы ТРН - АД в программе MATLAB Simulink. Ее основой является блок «S-Function Builder», с помощью которого возможно пользователю интегрировать внешний код С в модель MATLAB Simulink, что в свою очередь позволяет существенно расширить возможности библиотеки стандартной которая представлена в пакетах MATLAB.

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

В работе выбрали электропривод «ЭПЦ – 15000», который назначен для местного и дистанционного управления запорной арматурой на магистральных нефтепроводах. Электропривод «ЭПЦ – 15000» комплектуется двигателем асинхронным «ДАТЭК – 350.03», его рабочие параметры были взяты за основу и использовались для построения модели.

Смоделированный имитационный процесс пуска АД на холостой ход, который показал существенные преимущества применения системы ТРН – АД. А собственно значительное уменьшение пусковых токов и моментов электродвигателя, что существенно экономит ресурс механической и электрической частей привода.

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

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г2Б1	Деев Николай Сергеевич

<b>Институт</b>	Институт электронного обучения (ИнЭО)	<b>Кафедра</b>	ЭПЭО
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	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 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

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко Аркадий Альбертович	Кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Г2Б1	Деев Николай Сергеевич		

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

## **5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

### **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 столбальной 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	
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
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
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
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
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>92,5</b>

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, существенно образом снижая их трудоемкость и повышая точность и достоверность результатов.

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

## 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 3.

Таблица 3 – 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:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (1)$$

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

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

$t_{maxi}$  – 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{q_i}, \quad (2)$$

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. 3).

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

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

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

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

$$T_{\text{к}} = T_{\text{р}} \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,553 = 3,106 \approx 4 \text{ дня.}$$

Таблица 4 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{\text{рi}}$		Длительность работ в календарных днях $T_{\text{кi}}$	
	$t_{\text{min}}$ , чел-дни		$t_{\text{max}}$ , чел-дни		$t_{\text{ожe}}$ , 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 5 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 5 – Календарный план-график проведения НИОКР

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ , 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 6.

Таблица 6 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудо-емкость, 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 6

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.5 );

$Z_{дн}$  – 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 7).

Таблица 7 – 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:

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

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

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

$k_d$  – 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  $Z_{ТС}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 30%.

Тарифная заработная плата  $Z_{тс}$  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.8.

Таблица 8 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , 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 2017 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 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представляем в табличной форме (таблица 9).

Таблица 9 – 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	
<b>Итого</b>		
<b>Руководитель</b>	<b>11417</b>	
<b>Инженер</b>	<b>43914</b>	

#### 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.

#### 5.3.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная 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 10.

Таблица 10 – 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;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Расчёт интегрального финансового показателя проводится в виде табличной формы.

Таблица 11 – Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

Вариант схемы	$\Phi_{max}$ , млн.руб.	$\Phi_{pi}$ , 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 12 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии \ Объект исследования	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:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г2Б1	Деев Николай Сергеевич

<b>Институт</b>	<b>ИнЭО</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭПЭО</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	140400/140610.65

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	«Электропривод переменного тока клиновой задвижки»; - область применения – нефтяная промышленность; - рабочая зона - площадка в закрытом помещении оператора клиновой задвижки.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– показатели микроклимата;</li> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).</li> </ul>	<p>Анализ вредных факторов:</p> <p><b>Микроклимат</b> (ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»; СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- температура воздуха <math>t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}</math>;</li> <li>- относительная влажность воздуха <math>\phi = 75\%</math>;</li> <li>- скорость движения воздуха 1 м/с.</li> </ul> <p><b>Шум</b> (ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности»): не превышает 85 дБ. СИЗ: наушники, противoshумные каски</p> <p><b>3. Вибрация</b> (ГОСТ 12.1.012 – 90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования», Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»): не превышает 92 дБ. Защита: наблюдение за оборудованием и своевременное его обслуживание.</p> <p><b>4. Электромагнитное излучение</b> (ГОСТ 12.1.002 – 84 "Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах"): не более 5 кВ/м (в пределах нормы).</p> <p><b>5. Недостаток освещения</b> (СП 52.13330.2011) Естественное и искусственное освещение.</p> <p>Анализ опасных факторов:</p> <p><b>1. Механические травмы</b> (Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок» утверждены Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24.07.2013 №328н.</p> <p><b>2. Термическая опасность:</b> отсутствует.</p> <p><b>3. Электробезопасность</b> (ГОСТ 12.1.038 – 82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»; ПУЭ; Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»). Защита: ограждения, сигнализация, плакаты, экраны. СИЗ: боты, перчатки, ковры, клещи, шанги.</p>

<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p><b>Воздействие на селитебную зону</b> (СанПиН 2.2.1/21.1-1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»): отсутствует.</p> <p><b>Воздействие на атмосферу</b> (ГН 2.1.5.2280-07 «ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования»): отсутствуют.</p> <p><b>Воздействия объекта на гидросферу</b> ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.</p> <p><b>4. Воздействия на литосферу</b> - отсутствуют</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Наиболее типичная ЧС для рассматриваемого помещения является пожар (Федеральный закон от 22.07.2013г. №213-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»). Для обеспечения безопасности приняты меры:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>установлена автоматическая пожарная сигнализация и система автоматического пожаротушения;</li> <li>разработана инструкция по пожарной безопасности для работников;</li> <li>помещения оснащены первичными средствами пожаротушения;</li> <li>- разработан план действий по эвакуации работников при пожаре;</li> <li>- назначено ответственное лицо при возникновении ЧС.</li> </ul>
<p><b>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Трудовой кодекс РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и компенсаций»;</p> <p>Правило внутреннего трудового распорядка предприятия;</p> <p>Организационные мероприятий при компоновке рабочей зоны (ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности и настоящего стандарта»; ГОСТ 12.2.049-80 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.»).</p>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	к.х.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г2Б1	Деев Николай Сергеевич		

## **6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

В данной работе объектом исследования является электропривод клиновой задвижки нефтепровода. 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. Так же необходимость перекрытия отдельного участка нефтепровода может быть связана с проведением плановых мероприятий по обслуживанию нефтепровода.

Исходя из специфики такого устройства, как электропривод задвижки нефтепровода, можно выделить вредные и опасные производственные факторы при обслуживании или ремонте участков нефтепровода.

## 6.1 Производственная безопасность

Перечень опасных и вредных производственных факторов, характерные для площадки оператора клиновой задвижки представим в таблице 13.

Таблица 13 – Опасные и вредные производственные факторы при выполнении работ в рассматриваемом помещении

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<p>Виды работ:</p> <p>Техническое обслуживание;</p> <p>Осмотры электрооборудования и электроаппаратуры;</p> <p>Испытания</p> <p>Текущий ремонт и капитальный ремонт электрооборудования и электроаппаратуры</p> <p>Источники факторов:</p> <p>Электрооборудование и электроаппаратура</p> <p>Производственное оборудование</p>	<p>Недостаточная освещенность рабочей зоны;</p> <p>Повышенный уровень электромагнитных излучений;</p> <p>Повышенный уровень шума на рабочем месте;</p> <p>Повышенный уровень вибрации;</p> <p>Отклонение показателей микроклимата.</p>	<p>Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</p> <p>Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</p> <p>Пожар.</p>	<p>1. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [14]</p> <p>2. ПУЭ [15]</p> <p>3. Приказ №328 [16]</p> <p>4. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [17]</p> <p>5. ПОТ Р М-016-2001 [18]</p> <p>6. РД 153-34.0-02 150.00</p> <p>16. ГОСТ 17. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-</p> <p>18. ГН</p> <p>19. ГОСТ Р</p> <p>20. ФЗ № 68-ФЗ</p> <p>21. ГОСТ Р</p> <p>22. ФЗ №213-</p> <p>23. РД 153-34.0-[36]</p> <p>24. ПП №188</p> <p>25. ФЗ №426-ФЗ [38]</p>

## 6.2 Анализ выявленных вредных факторов

### Отклонение показателей микроклимата

Для обеспечения нормальных условий труда персонала немаловажную роль играет микроклимат, т.е. факторы производственной среды, влияющие на физическое и эмоциональное состояние человеческого организма.

Производственные процессы могут сопровождаться выделением вредных газов, паров или избыточного тепла, вследствие чего воздух в помещении претерпевает некоторые изменения, которые могут вредно отражаться на здоровье работающих. Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [21].

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 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. Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне рассматриваемого помещения, указаны в таблице 14 [21].

Таблица 14 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Пе риод	Категория	Темп ература	Темпера тура	Относител ная влажность	Скорость движения
Хо	Па (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
Те	Па (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2

Допустимые макроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьми часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенные в таблице 15 [21].

Таблица 15 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Пе- го- рия ра- бот	Кате- го- рия по-	Температ ура воздуха		Темпе	Относ	Скорость движения воздуха м/с	
		Ди- апазон пониже	Ди- апазон выше			Для диапазона темпер.	Для диапазона темпер.
Хо	IIa	17	21	16-24	15-75	0,1	0,3
Те	IIa	18	22	17-28	15-75	0,1	0,4

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 16 [21].

Таблица 16 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников

Облучаемая поверхность	Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> ,
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.) не должны превышать 140 Вт/м<sup>2</sup>. При этом облучению не должно подвергаться более 25 % поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Мероприятия по созданию условий для нормальной терморегуляции организма:

Механизация и автоматизация производств.

Теплоизоляция и экранизация.

Естественная и искусственная вентиляция производственных помещений.

Рациональный питьевой режим, кратковременные перерывы в работе, спецодежда.

### ***Вентиляция и отопление.***

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 [22] В рассматриваемом помещении используются малоопасные вредные вещества (ПДК>10 мг/м<sup>3</sup>). Основной мерой борьбы с вредными веществами является применение системы вентиляции.

Нормы производственной вентиляции установлены согласно СНиП 41-01- 2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [23].

### ***Повышенный уровень шума на рабочем месте***

В производственных условиях разнообразные машины, аппараты и механизмы являются агрегатами динамически неуравновешенными. Для рассматриваемого цеха такими аппаратами являются насосы, вентиляторы, кран- балки, трансформаторы на трансформаторных подстанциях.

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» [24].

Допустимый уровень звукового давления для цеха 75 дБ в октавных полосах со среднегеометрической частотой 1000 Гц и уровень звука 80 дБА [24].

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» [25]. предусматривает следующие меры для снижения уровня шума:

Устройство кратковременных перерывов в работе.

Установка в помещениях звукопоглощающих конструкций и экранов.

Качественное изготовление деталей станков и машин.

Звукоизоляция ограждающих конструкций.

Укрытия в кожухи источников шума.

Применение средств индивидуальной защиты (беруши, противумные 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 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [26].

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 17 – 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.

### ***Повышенный уровень электромагнитных излучений***

Нормирование ЭМП промышленной частоты осуществляется по предельно допустимым уровням напряженности электрического и магнитного поля частотой

50 Гц в зависимости от времени пребывания в нем СанПиН 2.2.4.1191-03

«Электромагнитные поля в производственных условиях» [27].

Источники электромагнитных полей являются ВЛЭП, кабели, трансформаторы, шинопроводы, устройства защиты и автоматики, и др.

Предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м. При напряженности свыше 20 до 25 кВ/м допустимое время пребывания в ЭП составляет 10 мин. Пребывание в ЭП с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается. Напряженность магнитного поля в соответствии с предельно допустимым уровнем на рабочем месте не должна превышать 8 кА/м [27].

К основным методам защиты относятся:

выбор рациональных режимов работы оборудования;

ограничение места и времени нахождения работающих в ЭМП;

защита расстоянием;

рациональное размещение в рабочем помещении оборудования;

уменьшение мощности источника излучений;

использование поглощающих или отражающих экранов;

Применение средств индивидуальной защиты: специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани, очки с латунной сеткой вместо стекла, очки со стеклом, покрытым слоем полупроводникового материала, специальные каски и шлемы.

### ***Недостаточная освещенность рабочей зоны***

К современному производственному освещению предъявляют высокие требования гигиенического и технико-экономического характера. Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое воздействие на рабочих, содействует повышению производительности труда.

Искусственное освещение в производственных помещениях должно удовлетворять нормам СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» [28].

Для безопасного продолжения работы или выхода людей из помещений при внезапном отключении, должно быть предусмотрено аварийное освещение. Длительное снижение напряжения у наиболее удаленной лампы не должно быть более 5%. Питание аварийного освещения должно быть надежным и от независимого источника. Для аварийного освещения должны применяться светильники, отличающиеся от светильников рабочего освещения типом или размером, или на них должны быть нанесены специальные знаки [28].

На площадке оператора предусмотрено четыре системы освещения: общее, аварийное, эвакуационное и ремонтное. Норма освещенности для рассматриваемого цеха (площадке) приведена в таблице 18 [28].

Таблица 18 – Норма освещенности для рассматриваемого помещения

Разряд зрительной	Характеристика	Подразряд	Наименьший объект	Освещённость	Освещённость (общая)
IV	Средней	в	0,5-1,0	400	200

Ремонтное освещение предусматривается в технических помещениях, и осуществлено переносными светильниками напряжением питания 36 В. Светильники подключаются с помощью штепсельной розетки, которая размещена в отдельном корпусе вместе с трансформатором 220/36В.

### 6.3 Анализ выявленных опасных факторов

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

Настоящий стандарт ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» [14] устанавливает предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека, предназначенные для проектирования способов и средств защиты людей, при взаимодействии их с электроустановками производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц, ПУЭ [15], Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328 н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» [16].

В отношении опасности поражения электрическим током рассматриваемый цех относится к помещению с повышенной опасностью. На площадке отсутствует токопроводящая пыль, но присутствует влажность и есть возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям здания, имеющего соединение с землей, технологическим аппаратам и механизмам с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям), с другой [15].

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов установлены для путей тока от одной руки к другой и от руки к ногам [14].

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 19 [14].

Таблица 19 – Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки

Род тока	U, В	I, mA
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Основные факторы, определяющие опасность поражения электрическим током:

- электрическое сопротивление тела человека;
- величина напряжения и тока;
- продолжительность воздействия электрического тока;
- условия внешней среды и состояние человека;
- род и частота электрического тока;
- пути тока через тело человека.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1000 В с глухозаземленной или изолированной нейтралью и выше 1000 В с изолированной нейтралью не должны превышать значений, указанных в таблице 20 [14].

Таблица 20 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t, с							
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	Св.1,0
Переменные	U, В	340	135	105	85	75	70	60	20
	I, мА	400	160	125	90	75	65	50	6
Переменные	U, В	500	330	200	140	130	110	100	36
	I, мА								8
Постоянны	U, В	500	350	250	230	220	210	200	40
	I, мА								15

Защиту человека от воздействия напряжений прикосновения и токов обеспечивают конструкция электроустановок, технические способы и средства защиты, организационные и технические мероприятия по ГОСТ Р 12.1.019-2009 [17].

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства [16]:

- защитные оболочки;
- защитные ограждения (временные или стационарные);
- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляцию токоведущих частей (рабочую, дополнительную, усиленную, двойную);
- изоляцию рабочего места;
- малое напряжение;
- защитное отключение;
- предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы [16]:

защитное заземление;  
зануление;  
выравнивание потенциала;  
систему защитных проводов;  
защитное отключение;  
изоляцию нетоковедущих частей;  
электрическое разделение сети;  
малое напряжение;  
контроль изоляции;  
компенсация токов замыкания на землю;  
средства индивидуальной защиты.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Порядок расчета устройства защитного заземления.

Стержневые электроды, забиваемые вертикально в землю, обычно сделаны из стальных труб длиной 2,5-3 м и диаметром 5-6 см (толщина стенки не менее 3,5 мм).

Данные, полученные при измерений удельного сопротивления грунта на участке, где предполагается установить заземлитель, представлены в таблице 21.

Таблица 21 - Удельные сопротивления грунта

Грунт	Удельное сопротивление, (Ом·м)	Грунт	Удельное сопротивление, (Ом·м)
Песок сухой	2500	Глина	60
Песок влажный	600	Торф	20
Супесок	300	Каменный	4000
Чернозем	200	Вода речная	100
Суглинок	100	Вода озерная	50

Сопротивление вертикального электрода:

$$R_э = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot K_в}{l_э} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot l_э}{d_э} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot h_э + l_э}{4 \cdot h_э - l_э} \right)$$

$$= \frac{0,366 \cdot 200 \cdot 1,9}{2,7} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot 2,7}{0,5} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 2,7 + 2,7}{4 \cdot 2,7 - 2,7} \right) = 58,947 \text{ Ом.}$$

$K_в$  - повышающий сезонный коэффициент (1,9);

$\rho$  – удельное сопротивление грунта (200 Ом· м);

$l_э$  - длина стержня (2,7 м);

$d_э$  – диаметр стержня (0,05 м);

$h_э$  – глубина заложения электрода (2,7 м);

Максимальные сопротивления заземляющего устройства, установленные ПУЭ, составляют:

для установок до 1000 В

10 Ом - при суммарной мощности генераторов или трансформаторов, питающих данную сеть, не более 100 кВА;

4 Ом - во всех остальных случаях;

Примечание: при удельном сопротивлении грунта более 100 Ом·м разрешается увеличивать данные нормы в  $0,01 \cdot \rho$  раз, но не более десятикратного.

Определяем предварительно количество электродов  $n'$ :

$$n' = \frac{R_э}{R_з} = \frac{58,947}{8} = 7,37.$$

Зная расположение электродов (в ряд или по контуру), отношение расстояния между электродами к их длине  $\frac{a}{l} = 3$  и предварительное количество электродов, определяем коэффициент использования электродов (таблица 22).

Таблица 22 - Коэффициент использования электродов

Количество электродов	Электроды в ряд, при отношении $a/l_1$			Электроды по контуру, при отношении $a/l_1$		
	3	2	1	3	2	1
5	0,87	0,80	0,63	–	–	–
10	0,83	0,70	0,55	0,78	0,67	0,50
20	0,77	0,62	0,47	0,72	0,60	0,43
30	0,75	0,60	0,40	0,71	0,59	0,42
50	0,73	0,58	0,38	0,68	0,52	0,37
100	–	–	–	0,64	0,48	0,33
200	–	–	–	0,61	0,44	0,30
300	–	–	–	0,60	0,43	0,28

Окончательное количество электродов  $n$ :

$$n = \frac{R_э}{R_з \cdot \eta_э} = \frac{58,947}{8 \cdot 0,83} = 8,88.$$

Длина соединительной полосы  $l_n$  (при расположении электродов по контуру):

$$l_n = a \cdot n = 4,8 \cdot 9 = 43,2 \text{ м.}$$

Так как оборудование расположено на открытом воздухе, то согласовывать размеры заземляющего устройства с размерами помещения не требуется.

Сопротивление соединительной полосы:

$$R_{\Pi} = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot K_B}{l_n} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_n^2}{h_n \cdot b} = \frac{0,366 \cdot 2000 \cdot 5}{43,2} \cdot \lg \frac{2 \cdot 43,2^2}{1 \cdot 0,1} = 38,735 \text{ Ом.}$$

Общее сопротивление контура защитного заземления

$$R_{\Sigma} = \frac{R_3 \cdot R_{\Pi}}{R_3 \cdot \eta_{\Pi} + R_{\Pi} \cdot \eta_3 \cdot n} = \frac{58,947 \cdot 38,735}{58,947 \cdot 0,79 + 38,735 \cdot 0,83 \cdot 9} = 6,797 \text{ Ом.}$$

где  $\eta_{\Pi}, \eta_3$  коэффициент использования полосы (таблица 23).

Таблица 23 - Коэффициент использования полосы

Количество электродов	Электроды в ряд, при отношении $a/l,$			Электроды по контуру, при отношении $a/l,$		
	3	2	1	3	2	1
5	0,90	0,85	0,72	0,71	0,50	0,41
10	0,79	0,70	0,59	0,55	0,39	0,33
20	0,65	0,55	0,40	0,44	0,32	0,27
30	0,57	0,45	0,30	0,40	0,30	0,23
50	0,49	0,35	0,21	0,37	0,27	0,21
70	0,46	0,33	0,19	0,35	0,25	0,20
100	–	–	–	0,33	0,24	0,19

Производим проверку выполнения условия

$$R_{\Sigma} \leq R_3$$

$$6,797 \text{ Ом} \leq 10 \text{ Ом}$$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что расчет выполнен верно.

Для работы с электроустановками ниже 1000 В применяются [16]:  
Основные защитные средства:

изолирующие и электроизмерительные клещи;  
указатели напряжения;  
диэлектрические перчатки;  
слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками.

Дополнительные защитные средства:

диэлектрические боты;  
диэлектрические ковры;  
переносные заземления;  
изолирующие подставки и накладки;  
оградительные устройства;  
плакаты и знаки безопасности.

Каждая подстанция должна иметь комплект предупредительных плакатов.

На рабочем месте дежурного персонала находится полный комплект рабочих инструкций и инструкций по технике безопасности [16]:

Должностная инструкция дежурного данного района обслуживания.

Инструкция по производству оперативных переключений на подстанции данного района.

Инструкция действий оперативного персонала в случае аварии.

Инструкция по отысканию однофазных замыканий на землю в данном районе подстанций.

Инструкция дежурного персонала по технике безопасности.

Оперативный журнал.

Журнал производства работ.

Журнал телефонограмм.

Журнал закороток.

На подстанции имеется список лиц административно – технического персонала утвержденный главным энергетиком предприятия, имеющих право единоличного осмотра подстанций [16].

Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования

Безопасные условия работы обеспечиваются правильной организацией работ, постоянным надзором за работающими со стороны производителя работ и соблюдением рабочими техники безопасности и регламентируются «Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок» утверждены Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24.07.2013 №328н [18].

Правила распространяются на работников организаций независимо от форм собственности и организационно-правовых форм и других физических лиц, занятых техническим обслуживанием электроустановок, проводящих в них оперативные переключения, организующих и выполняющих строительные, монтажные, наладочные, ремонтные работы, испытания и измерения [19].

В рассматриваемой помещении большая доля вероятности получить механическую травму, так как используется большое количество оборудования. При необходимости принимаются меры для уменьшения вероятности травмирования персонала - предупредительные плакаты, ограждения, сигнализация [19].

Настоящий стандарт ГОСТ 12.2.003-91 [20] распространяется на производственное оборудование, применяемое во всех отраслях народного хозяйства, и устанавливает общие требования безопасности, являющиеся основой для установления требований безопасности в стандартах, технических условиях, эксплуатационных и других конструкторских документах на производственное оборудование конкретных групп, видов, моделей (марок).

Каждый технологический комплекс и автономно используемое производственное оборудование должны укомплектовываться эксплуатационной документацией, содержащей требования (правила),

предотвращающие возникновение опасных ситуаций при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации [20].

Материалы конструкции производственного оборудования не должны оказывать опасное и вредное воздействие на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также создавать пожаровзрывоопасные ситуации [20].

Части производственного оборудования (предохранительные клапаны, кабели и др.), механическое повреждение которых может вызвать возникновение опасности, должны быть защищены ограждениями или расположены так, чтобы предотвратить их случайное повреждение работающими или средствами технического обслуживания [20].

Полное или частичное прекращение энергоснабжения и последующее его восстановление, а также повреждение цепи управления энергоснабжением не должны приводить к возниканию опасных ситуаций, в том числе:

самопроизвольному пуску при восстановлении энергоснабжения;

невыполнению уже выданной команды на останов;

падению и выбрасыванию подвижных частей производственного оборудования и закрепленных на нем предметов (например, заготовок, инструмента и т.д.);

снижению эффективности защитных устройств.

Требования к средствам защиты, входящим в конструкцию, и сигнальным устройствам [20].

Конструкция средств защиты должна обеспечивать возможность контроля выполнения ими своего назначения до начала и (или) в процессе функционирования производственного оборудования.

Средства защиты должны выполнять свое назначение непрерывно в процессе функционирования производственного оборудования или при возникании опасной ситуации.

Действие средств защиты не должно прекращаться раньше, чем закончится действие соответствующего опасного или вредного производственного фактора.

Отказ одного из средств защиты или его элемента не должен приводить к прекращению нормального функционирования других средств защиты.

Производственное оборудование, в состав которого входят средства защиты, требующие их включения до начала функционирования производственного оборудования и (или) выключения после окончания его функционирования, должно иметь устройства, обеспечивающие такую последовательность.

Конструкция и расположение средств защиты не должны ограничивать технологические возможности производственного оборудования и должны обеспечивать удобство эксплуатации и технического обслуживания.

Сигнальные устройства, предупреждающие об опасности, должны быть выполнены и расположены так, чтобы их сигналы были хорошо различимы и слышны в производственной обстановке всеми лицами, которым угрожает опасность.

Части производственного оборудования, представляющие опасность, должны быть окрашены в сигнальные цвета и обозначены соответствующим знаком безопасности в соответствии с действующими стандартами.

#### **6.4 Экологическая безопасность**

Влияние электрических сетей на окружающую среду определяется воздействием электрического поля, использованием земельных ресурсов, нарушением природных ландшафтов.

Для исключения влияния на окружающую среду возможных сбросов трансформаторного масла при авариях с маслонаполненным оборудованием, на подстанциях предусматриваются маслоприемники, аварийные маслостоки и закрытые маслосборники.

Мероприятия по экологической безопасности регламентируются ГОСТ 17.1.3.13-86. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений» [29], СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.

«Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» [30], ГН 2.2.5.2308-07. «Ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [31].

Для работающих на промышленных предприятиях, непосредственной окружающей средой является воздух рабочей зоны.

Для предприятия устанавливается санитарно-защитная зона в соответствии с санитарной классификацией предприятия, 1000 м [30].

Охрана окружающей среды на предприятии предусматривает мероприятия предотвращающие загрязнение воздушного бассейна. С этой целью загрязненный воздух, удаляемый из производственных помещений, пропускается через специальные очистительные фильтрующие и обезвреживающие устройства, которые обеспечивает вытяжному воздуху то же качество, что и на входе.

В самом помещении не образуются сточные воды. Сточные воды появляются в результате мойки оборудования и текущей уборки и специальными сливами отводятся в технологическую канализационную сеть. Предварительная обработка этой воды перед выливанием в общие сети достигается отведением в бассейн для нейтрализации.

В процессе деятельности цеха предприятия образуются твёрдые промышленные отходы. Отходы, которые в дальнейшем могут быть использованы в производстве собираются, складировются и по мере их накопления отправляются на переработку. Отходы, не подлежащие переработке и дальнейшему использованию, выносятся на свалки. Твёрдые отходы, которые представляет вторичная упаковка, может сортироваться и отправляться на переработку на картонажно-бумажные фабрики.

Сохранение природы является для предприятия одной из приоритетных задач. Регулярно разрабатываются и внедряются новые проекты, позволяющие сберечь окружающую среду. В структуру компании входит отдел экологии с собственными аккредитованными лабораториями, отслеживающими состояние воды и воздуха, как на территории предприятия, так и за его пределами.

В целях общего улучшения состояния окружающей среды мероприятиями по обеспечению благоприятных условий жизни населения предусматривается:

Озеленение и благоустройство территории предприятия;

Содержание дорог, тротуаров и прилегающих озелененных территорий в соответствии с санитарными требованиями;

Ликвидация несанкционированных свалок отходов;

Создание и обустройство санитарно-защитной зоны предприятия.

## **6.5 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» [32], ФЗ от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера» [33], ГОСТ Р 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. [32].

Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций:

результат стихийных бедствий;

воздействие внешних природных факторов, приводящих к старению материалов;

техничко-производственные дефекты сооружений;

нарушение правил эксплуатации сооружений и технологических процессов;

нарушение правил техники безопасности при ведении работ и во время технологических процессов.

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. Действия персонала, обслуживающего нефтепровод должны соответствовать [18].

Существуют различные методы обнаружения утечки нефти из нефтепровода:

контроль давления;

визуальное обнаружение;

анализ изменения нагрузки двигателей;

параметрического контроля расхода и давления;

графоаналитический метод;

приборная диагностика (ультразвуковой и акустической);

метод балансного учета нефти;

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;

- уточнить с диспетчером РДП схему и порядок отключения аварийного участка;

- контролировать ход выполнения мероприятий по ликвидации аварии.

Разлившаяся по поверхности земли покрытой снегом и снежной массой нефть должна быть собрана в сборные котлованы для откачки или вывезена в очистные сооружения ближайшей НПС. Остатки нефти с землей должны быть собраны и вывезены на пункты утилизации, а участок земли подвергнут рекультивации согласно [19].

От прямых ударов молнии установлена молниезащита.

Молниеприемниками служат неизолированные стержневые молниеотводы. В качестве токоотводов используют наружные вертикальные стальные конструкции (пожарные лестницы). По каждому этажу проложены стальные пояса из полосовой стали, к которым присоединяются токоотводы, все металлические конструкции и оборудование. Каждый токоотвод такого устройства присоединен к замкнутому контуру, уложенному по периметру здания.

В качестве профилактики от сезонных вспышек вируса гриппа регулярно проводится вакцинация работающих.

Для снижения вероятности пожара предусмотрена автоматическая пожарная сигнализация. На случай возникновения пожара предусмотрены первичные средства пожаротушения.

Ликвидация последствий стихийных бедствий организуется, как правило, под руководством специально создаваемых чрезвычайных комиссий. Для непосредственного осуществления мероприятий гражданской обороны (ГО) и проведения спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ на всех объектах формируются службы ГО.

### ***Пожары***

Основы противопожарной защиты определяются Федеральным законом от 22.07.2013 г. №213-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [35].

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 задвижки. 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 [20].

## **6.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Под вредными условиями труда следует понимать присутствие на производстве таких факторов, которые наносят ущерб здоровью работников. То есть на рабочих местах не соблюдены определенные гигиенические требования, что может оказывать отрицательное воздействие на дееспособность служащих, а также на здоровье их возможных детей.

Работникам предприятия приходится часто выполнять различные операции, сопряженные с прямым риском здоровью (вредные условия труда). Какие 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 на основании статей Трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия.

Грамотная социальная политика - ключ к успеху предприятия, ведь эффективность работы напрямую зависит от эмоционального комфорта и позитивного настроения коллектива.

Эффективная социальная политика и ответственные, партнерские отношения со своими работниками, являются важнейшими факторами долгосрочного устойчивого развития компании. Максимальная безопасность производства и забота о благосостоянии сотрудников были и остаются основными составляющими социальных программ.

Ежегодно на социальные программы предприятие выделяет средства. Сюда входит:

организация санаторно-курортного лечения, оздоровление работников и их детей;

оказание медицинских услуг;

развитие корпоративного спорта и культурно-массовой деятельности;

материальное поощрение работников к юбилеям и знаменательным датам;

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, приобретению угля на зимний период, а также 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 квалификации.

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

В данном пункте проанализированы опасные и вредные факторы на предприятии, рассмотрена экологическая безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях. Произведен расчет устройства защитного заземления рассматриваемого оборудования. В целом можно сказать, что риск для жизни и здоровья сотрудников сведен к минимуму.

## **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.

## Список используемой литературы

1. Строительные нормы и правила: СНиП 2.05.06-85\*. Магистральные трубопроводы. – введен 01.07.2013. - М.: Госстрой, ФАУ "ФЦС", 2013.
2. ГОСТ Р 55020-2012. Арматура трубопроводная. – введен 01.03.2012. - М.: Стандартинформ, 2013.
3. ЭкспертТруб [Электронный ресурс]: все про сантехнику и трубы. – Режим доступа: <http://experttrub.ru>
4. Москаленко В.В.. Электрический привод: Учеб. пособие для сред. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 368 с.
5. Руководство по эксплуатации «ЭПЦ-15000». – Томск.: Томский завод электроприводов, 2013. – 25 с.
6. Алиев Р.А., Белоусов В.Д., Немудров А.Г. и др. Трубопроводный транспорт нефти и газа: Учеб. для вузов. – М. :Недра, 1988.. – 368 с.
7. Руководство по эксплуатации «Блок управления регулируемый БУР». – Томск.: ЭлеСи, 2013. – 25 с.
8. Копылов И.П.. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.
9. Однокопылов И.Г., Асинхронный электропривод механизма подъема крана мостового типа с повышенной безопасностью и живучестью: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : спец. 05.09.03 / И. Г. Однокопылов; Томский политехнический университет (ТПУ), Электротехнический институт (ЭЛТИ), Кафедра электропривода и электрооборудования ; науч. рук. Ю. Н. Дементьев. — Электронные текстовые данные (1 файл : 950 Kb). — Томск, 2008.
10. РД-75.000.00-КТН-085-12 «Руководство по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и сооружений нефтеперекачивающих станций»;
11. «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТЭЭП);
12. ГОСТ Р 51330.18 «Ремонт и проверка электрооборудования используемого во взрывоопасных газовых средах ( кроме подземных

выработок или применений, связанных с переработкой и производством взрывчатых веществ)»;

13. ГОСТ Р 52350.19 «Ремонт, проверка и восстановление электрооборудования»;

14. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»

15. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. Сибирское университетское издательство, 2011 г.

16. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. №

17. 328 н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»

18. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и но- менклатура видов защиты.

19. «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок» утверждены Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24.07.2013 №328н.

20. РД 153-34.0-03.150-00 «Межотраслевыми правилами по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок»

21. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

22. СанПиН 2.2.4.584-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»

23. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиеническиетребования к воздуху рабочей зоны.

24. СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»

25. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности»

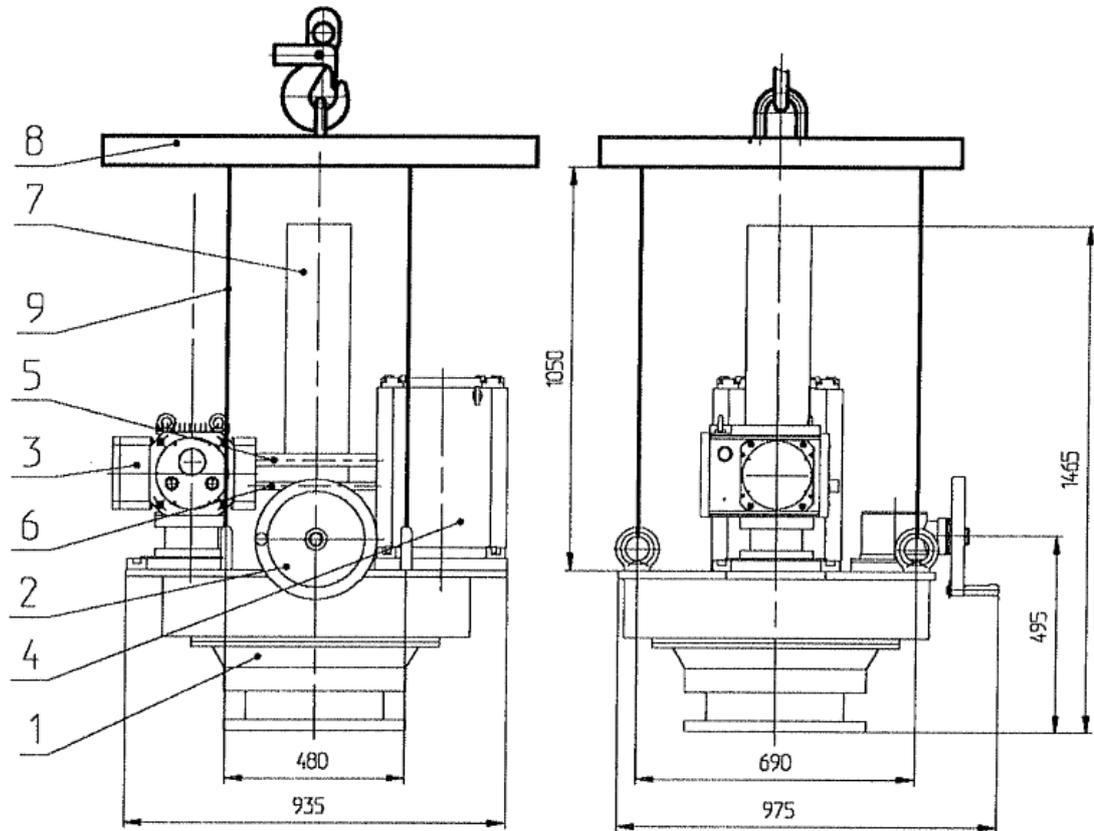
26. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. «Средства и методы защиты от шума. Квалификация»

27. СН 2.2.4/2.1.8.556 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»

28. СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»
29. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение»
30. ГОСТ 17.1.3.13-86. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений»
31. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»
32. ГН 2.2.5.2308-07. «Ориентировочна безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»
33. ФЗ от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера»
34. ГОСТ Р 22.3.03-94. «Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения»
35. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №213-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
36. РД 153-34.0-03.301-00. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий.
37. Постановление Правительства РФ от 29.03.2002 г. №188 «Об утверждении списков производств, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право гражданам, занятым на работах с химическим оружием, на меры социальной поддержки»
38. Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда»
39. О.Б. Назаренко, А.Г. Дашковский. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2001.
40. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

## Приложение А

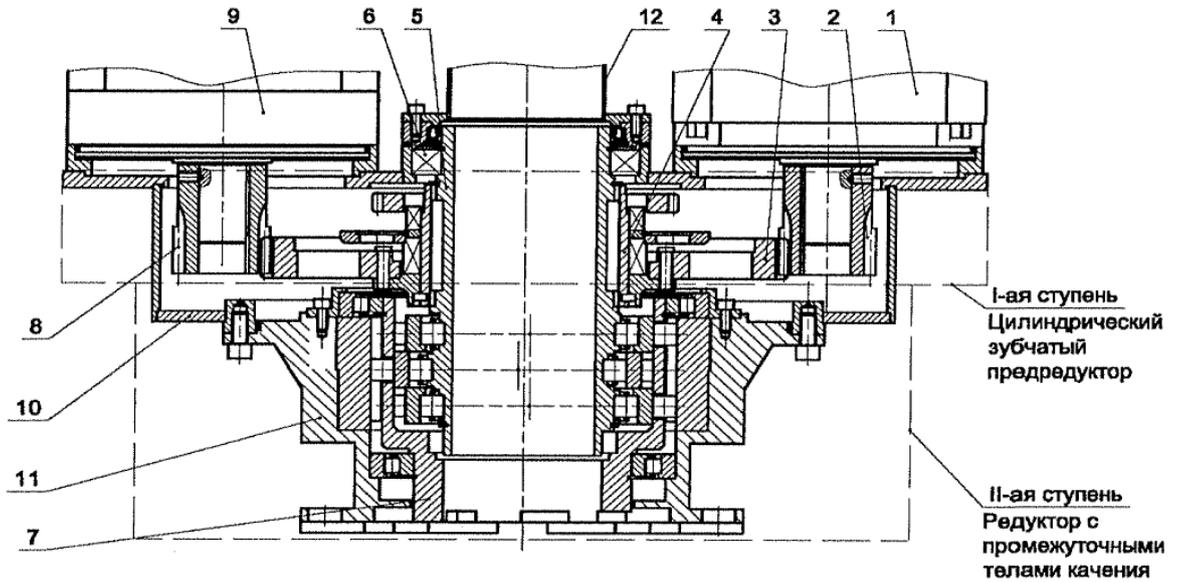
Общий вид электропривода «ЭПЦ-15000» со схемой стропки



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