

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

---

Инженерная школа энергетики  
Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
Отделение электроэнергетики и электротехники

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Асинхронный электропривод клиновой задвижки на базе тиристорного регулятора напряжения</b>

УДК 62-83-523:662.922.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Сидоренко Дмитрий Олегович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Гуляев М.В.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Гарганеев А.Г.	д.т.н.		

Томск – 2019 г.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5ГМ72	Сидоренко Дмитрий Олегович

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Энергосберегающие режимы электрических источников питания и электротехнических установок
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	130302 Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	1. Определить затраты на разработку проекта, в которую входят: - Материалы и покупные изделия - Основная заработная плата - Дополнительная заработная плата - Отчисления в социальные фонды - Прочие и накладные расходы 2. Для исследования необходимо два человека: руководитель, студент.
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» 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 28% от ФОТ

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТИ)
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Не разрабатывается
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Разработка календарного плана работ, формирование сметы затрат.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Определение ресурсной и экономической эффективности

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. <i>«Портрет» потребителя результатов НТИ</i>
2. <i>Сегментирование рынка</i>
3. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
4. <i>Диаграмма FAST</i>
5. <i>Матрица SWOT</i>
6. <i>График проведения и бюджет НТИ</i>
7. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i>
8. <i>Потенциальные риски</i>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	К.Э.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Сидоренко Д.О.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5ГМ72	Сидоренко Дмитрий Олегович

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа энергетики</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЭЭ</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление</b>	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования.	Объектом исследования является математическая модель асинхронного электропривода клиновой задвижки на базе тиристорного регулятора напряжения (ТРН), реализованная в программной среде MatLab Simulink (8 корпус, 121 аудитория).
---	---

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <b>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</b>	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. <b>Производственная безопасность</b> 2.1. Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды. 2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы проектируемой производственной среды: <ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенный уровень шума на рабочем месте;</li> <li>– недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– повышенный уровень электромагнитных полей (ЭМП);</li> <li>– неудовлетворительный микроклимат;</li> <li>– повышенный уровень напряженности электростатического поля;</li> <li>– поражение электрическим током.</li> </ul>
3. <b>Экологическая безопасность</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, утилизация компьютерной техники и периферийных устройств);</li> <li>– решение по обеспечению экологической безопасности.</li> </ul>
4. <b>Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ 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> <li>– Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Гуляев Милий Всеволодович			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Сидоренко Дмитрий Олегович		

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

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ А.Г. Гарганеев  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ72	Сидоренко Дмитрию Олеговичу

Тема работы:

Асинхронный электропривод клиновой задвижки на базе тиристорного регулятора напряжения
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Исполнительный механизм – клиновая задвижка;</p> <p>Приводящий двигатель – асинхронный двигатель;</p> <p>Вид рабочей среды – нефть;</p> <p>Давление рабочей среды – 15 МПа;</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор технической литературы по теме асинхронного электропривода.          Моделирование асинхронного электропривода.          Технические решения по реализации управления электроприводом.          Исследования асинхронного электропривода.          Заключение</p>
--	--

<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1. Структурная схема.          2. Имитационная модель.          3. Презентация.</p>
--	--

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

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Подопригора Игнат Валерьевич
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович

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

Введение; Технологический процесс перекачки нефти; Выбор электропривода и его оборудования; Заключение;

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	11.09.2017
--	------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Иван Георгиевич	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Сидоренко Дмитрий Олегович		

## **Реферат**

Магистерская диссертация 135 с., 44 рисунков, 24 таблица, 20 источников.

Ключевые слова: асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, тиристорный регулятор напряжения, регулирование скорости вращения, динамические режимы работы, вычисление момента, задвижка, нефтепровод.

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

Цель работы – разработка системы управления электроприводом клиновой задвижки на базе системы ТРН-АД.

В ходе выполнения данной работы было проведено моделирование переходных процессов асинхронного электродвигателя в разных режимах работы в программной среде MATLAB.

В результате работы была смоделирована система «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель» с системой управления, позволяющей осуществлять реверс и регулирование скорости асинхронного электродвигателя. Проведен анализ графиков переходных процессов в полученной модели.

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

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

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.

## Оглавление

<b>Введение</b> .....	11
<b>1. Технологический процесс перекачки нефти</b> .....	13
<b>1.1. Описание технологического процесса перекачки нефти</b> .....	13
<b>1.2. Обзор задвижек</b> .....	13
<b>1.3. Обзор электрических преобразователей для электроприводов задвижек</b> .....	16
<b>2. Выбор электропривода и расчет оборудования</b> .....	22
<b>2.1. Исходные данные</b> .....	22
<b>2.2. Характеристики электропривода</b> .....	23
<b>2.2.1. Технические характеристики ЭПЦ-20000</b> .....	23
<b>2.2.2. Состав электропривода</b> .....	24
<b>2.2.3. Порядок работы изделия в автоматическом режиме от электродвигателя</b> .....	25
<b>2.2.4. Состав электропривода</b> .....	26
<b>2.3. Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя</b> .....	26
<b>2.4. Расчет статических характеристик электродвигателя</b> .....	31
<b>3. Имитационная модель ТРН-АД</b> .....	34
<b>3.1. Создание модели Системы ТРН-АД в программной среде MATLAB Simulink</b> ....	34
<b>3.2. Однофазный ТРН с управлением от генератора импульсов</b> .....	25
<b>3.3. Однофазный ТРН с управлением от S-Function Builder</b> .....	39
<b>3.4. Создание трехфазного ТРН</b> .....	43
<b>3.5. Плавное изменение угла управления по заданному закону</b> .....	46
<b>3.6. Прямой пуск асинхронного двигателя</b> .....	48
<b>3.7. Плавный пуск асинхронного двигателя</b> .....	55
<b>3.8. Реверсирование асинхронного двигателя с помощью системы ТРН</b> .....	58
<b>3.9. Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя с помощью системы ТРН-АД</b> .....	61
<b>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b> .....	70
<b>4.1. Основная заработная плата исполнителей темы</b> .....	87
<b>5. Социальная ответственность</b> .....	96
<b>5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b> .....	97
<b>5.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства</b> .....	97
<b>5.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</b> .....	97
<b>5.2. Производственная безопасность</b> .....	98
<b>5.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут</b>	

возникнуть на рабочем месте при проведении исследований .....	98
<b>5.2.2.</b> Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов .....	99
<b>5.3.</b> Экологическая безопасность .....	106
<b>5.3.1.</b> Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .....	106
<b>5.3.2.</b> Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду .....	107
<b>5.4.</b> Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	107
<b>5.4.1.</b> Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС .....	107
<b>5.4.2.</b> Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС .....	109
<b>Заключение</b> .....	112
<b>Список используемой литературы</b> .....	115
<b>Приложение А</b> .....	117

## **Введение**

Нефтяное месторождение, как правило, расположено на достаточно большом расстоянии от нефтеперерабатывающего предприятия. По этой причине задача транспортировки нефтепродуктов является актуальной. Нефть транспортируется несколькими способами: морским, железнодорожным, автомобильным, речным и трубопроводным транспортом. Эти способы транспорта отличаются условиями эксплуатации, пропускной способностью, техническими и экономическими показателями. У каждого вида транспорта есть свои параметры, подходящие для перевозки отдельной группы нефтепродуктов. Совокупность всех видов транспортировки нефти является единой системой.

Нефтепровод - это трубопровод, который служит для прокачки нефти. Нефтепровод является самым дешевым, надежным и прибыльным способом транспортировки нефти и нефтепродуктов. Также этот метод является самым экологически чистым. В России этот вид транспорта является основным. У данного вида транспортировки есть следующие положительные качества: нефтепровод можно проложить между любыми объектами; он является самым коротким расстоянием между двумя объектами; нефтепровод непрерывен, что позволяет бесперебойно доставлять нефтепродукты до потребителей. Поэтому нет необходимости в хранилищах.

Во время работы трубопровода возникают ситуации, когда по какой-то причине необходимо прекратить прокачку нефти по трубопроводу. Это может быть либо запланированная остановка для планового технического обслуживания нефтепровода, либо незапланированная остановка (например, в случае чрезвычайной ситуации). Достичь этих целей можно с помощью такого механизма, как задвижка. Задвижки должны располагаться по всей длине трубопровода с определенным интервалом, и при необходимости их можно использовать для блокировки отдельной секции трубопровода.

Учитывая тот факт, что нефтепроводы имеют большую длину, необходимо дистанционное управление открыванием и закрытием задвижек.

Для таких целей на этом механизме установлен электропривод. Это поможет в кратчайшие сроки совершать необходимые действия с задвижками. Это серьезно упрощает обслуживание нефтепровода. Кроме того, с помощью электрического привода можно быстро реагировать на чрезвычайные ситуации. Это может значительно снизить последствия аварии на нефтепроводе.

В работе рассмотрены динамические режимы работы электропривода клиновых задвижек путем имитации переходных процессов в программной среде MATLAB Simulink.

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

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

Нефть перемещается по трубопроводу из-за наличия разности давлений в начале и конце трубопровода. Создают этот перепад давления насосные станции, расположенные через каждые 70-150 км. Скорость нефти составляет 3 м/с. Внутренний диаметр нефтепровода обычно составляет от 100 до 1400 мм. Нефтепровод способен прокачать через себя 80-90 млн. тонн в год [1].

При производстве нефтепроводов используется высокопрочная сталь, которая способна выдержать различные виды воздействий (механические, химические и термические).

Нефтепровод может быть подземным и наземным. Преимуществом наземного метода является простота конструкции и эксплуатации такого нефтепровода. Кроме того, подземный нефтепровод более защищен от внешних воздействий и, как следствие, более долговечен.

Чтобы иметь возможность выполнять ремонтные работы на любой части трубопровода, задвижки расположены на расстоянии 10-30 километров. С помощью задвижек в случае аварии можно покрыть отдельный участок трубопровода, что предотвратит серьезные последствия и позволит ликвидировать этот несчастный случай.

### **1.2. Обзор задвижек**

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

Как правило, задвижка состоит из корпуса и крышки, которые образуют полость рабочего тела. Внутри этой полости есть элемент, который обеспечивает отключение потока жидкости - затвор. Крепление клапана к корпусу осуществляется одним из трех способов: фланцевым, муфтой и сваркой. Чтобы создать максимальную герметичность внутри корпуса при закрытой задвижке, в конструкции предусмотрены «седла», к уплотнениям

которых прилегает уплотнения затвора. Движение затвора обеспечивается штоком или шпинделем.

Задвижки бывают следующих конструкций:

### *1. Клиновые*

Седла таких защелок расположены под углом. Затвор выполнен в виде клина, который определяет название клиновой задвижки.

При закрытии затвор плотно входит в зазор между седлами, что обеспечивает хорошую герметичность. Простота конструкции клиновых задвижек позволяет использовать его в различных условиях. Кроме того, клиновая задвижка имеет небольшое гидравлическое сопротивление, что особенно важно при использовании в магистральных трубопроводах.

Недостатком такой конструкции является большую строительная высота.

На рисунке 1 показано устройство клиновой задвижки.



Рисунок 1 – Клиновая задвижка

### *2. Параллельные*

У параллельной задвижки поверхности седел перпендикулярны оси движения потока. В основе работы параллельной задвижки лежит принцип расклинивания. Только в случае параллельной задвижки клин расположен между тарелками затвора.

Рисунок 2 отображает устройство параллельной задвижки.

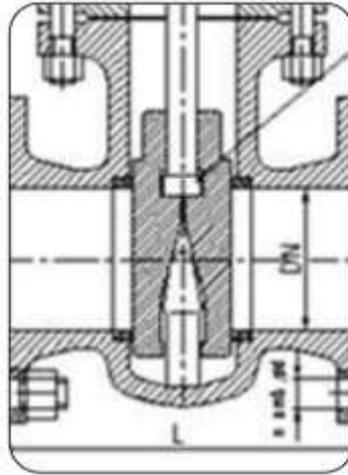


Рисунок 2 – Параллельная задвижка

### 3. Шиберные

Запорный элемент у шиберной задвижки - металлическая пластина небольшой толщины, способная разрезать различные включения в рабочей среде. Поэтому такой тип задвижек хорошо подходит для перекрытия рабочего потока с различными включениями.

Шиберная задвижка имеет гораздо меньшую строительную высоту, чем другие виды задвижек. Это экономит место в техническом помещении.

Недостаток шиберных задвижек - меньший срок службы уплотнительных поверхностей [3].

Рисунок 3 отображает устройство шиберной задвижки.

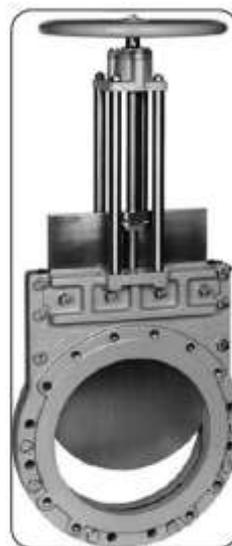


Рисунок 3 – Шиберная задвижка

#### 4. Шланговые

В таком типе задвижек рабочая среда проходит по гибкому патрубку, который имеет возможность пережиматься шпинделем задвижки при необходимости.

Диаметр патрубка в такой системе имеет размер входной и выходной труб, то есть сечение является полнопроходным.

Материал, из которого изготовлен гибкий патрубок, постепенно изнашивается при эксплуатации. Так же максимальная температура среды, проходящей через задвижку, определяется значением, которое способен выдержать патрубок. Эти факты являются недостатками данной конструкции.

На рисунке 4 изображено устройство шланговой задвижки.

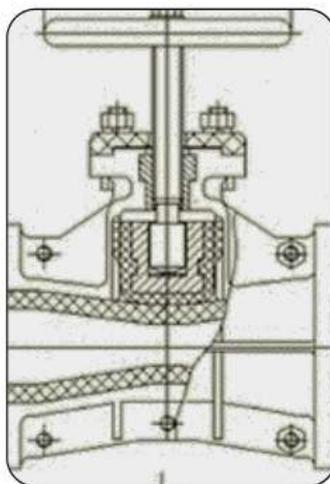


Рисунок 4 - Шланговая задвижка

### 1.3. Обзор электрических преобразователей для электроприводов задвижек

Использование электропривода в конструкции задвижки позволит удаленно пользоваться возможностями запорной арматуры. Такое решение позволит значительно снизить трудовые затраты на обслуживание нефтепроводов. Это объясняется тем, что отпадает необходимость непосредственного участия человека в процессе управления запорной арматурой. Это является актуальной задачей в сфере транспортировки нефти.

Для обеспечения требуемых режимов работы переменные, характеризующие работу электропривода, должны регулироваться. Такими переменными (координатами) являются, например, скорость, ускорение, положение исполнительного механизма или другого элемента электропривода, токи в электрических цепях двигателя, моменты на валу и т. д. Преобразователь электрической энергии отвечает за изменение параметров электропривода.

Преобразователи могут быть изготовлены на основе различных элементов, а именно с использованием электрических машин, магнитных усилителей, ионных и полупроводниковых элементов. Современные преобразователи, как правило, являются полупроводниковыми, и они используют в основном силовые транзисторы, диоды, тиристоры и их разновидности. Электрические преобразователи бывают [4]:

### *1. Управляемые и неуправляемые выпрямители*

Напряжение переменного тока преобразуют в постоянное. В этом случае неуправляемые выпрямители не обеспечивают контроля переменных электропривода, и выполняются на основе полупроводниковых неуправляемых элементах односторонней проводимости, то есть на диодах. Управляемые выпрямители выполняются на тиристорах, а напряжение на двигателе регулируется из-за определенного алгоритма управления тиристором.

Рисунок 5 отображает схему выпрямителя и кратко описывает принцип его работы.

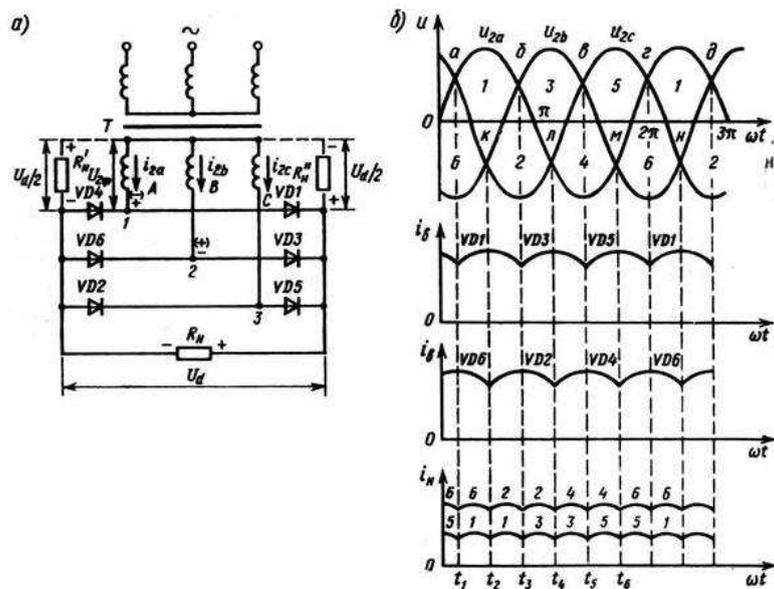


Рисунок 5 – Управляемый выпрямитель: а) схема, б) принцип работы

## 2. Инверторы

Напряжение постоянного тока преобразуется в переменное напряжение. Большой популярностью пользуются автономные инверторы напряжения (АИН) и автономные инверторы тока (АИТ).

Первый тип может обеспечить жесткую характеристику, которая представляет собой зависимость выходного напряжения от тока нагрузки. Поэтому при изменении тока нагрузки напряжение практически не изменяется. Это дает АИН свойства источника ЭДС.

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

## 3. Преобразователи частоты переменного тока (ПЧ)

ПЧ – преобразователь электрической энергии, который напряжение переменного тока одной частоты преобразует в напряжение переменного тока другой частоты. Существует два типа ПЧ: с промежуточным звеном постоянного тока (позволяют менять частоту как вниз, так и вверх от номинального значения) и ПЧ с непосредственной связью (изменение частоты только вниз от номинала).

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

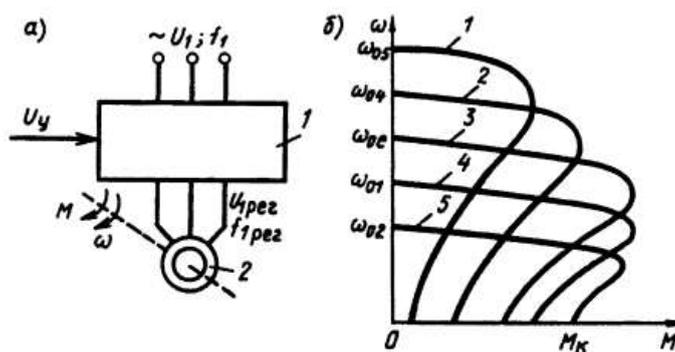


Рисунок 6 – Преобразователь частоты: а) схема включения, б) принцип работы

#### 4. Преобразователи напряжения (ТРН)

Изменить величину напряжения переменного тока можно с помощью тиристорного регулятора напряжения (ТРН).

Изменяя напряжение на статорных обмотках АД, можно добиться хороших показателей регулирования координат электропривода как в статике, так и в динамике. Еще одним плюсом такого вида регулирования координат являются экономичные режимы работы.

Рисунок 7 показывает схему включения ТРН и электромеханические характеристики АД при различных напряжениях питания.

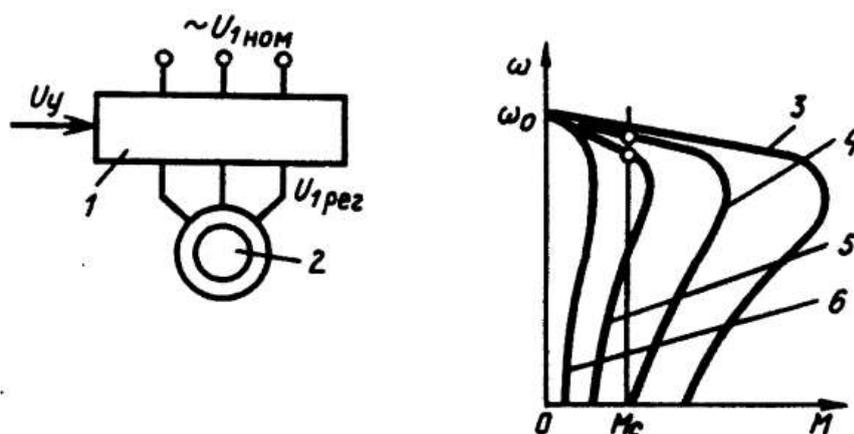


Рисунок 7 – Схема и принцип работы системы ТРН – АД

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

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

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

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

На рисунке 8 изображен принцип действия импульсного преобразователя напряжения.

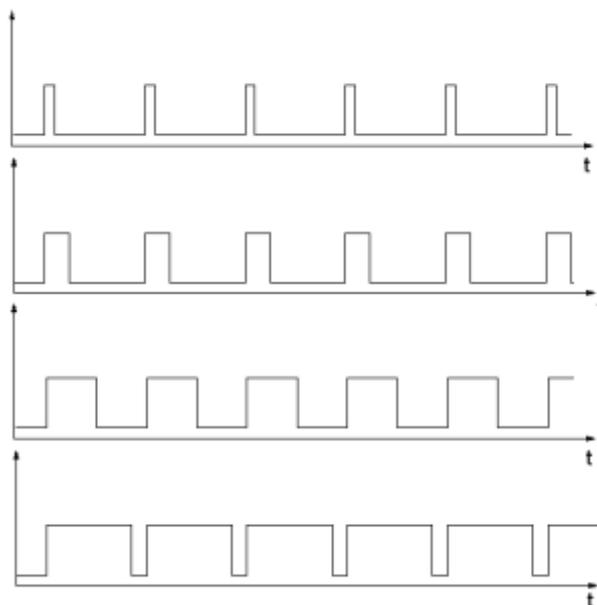


Рисунок 8 - Принцип работы импульсных преобразователей

Проведя анализ всех упомянутых преобразователей электрической энергии, можно сделать следующие выводы.

Переменный ток выгоднее, чем постоянный, при передаче электроэнергии на большие расстояния. Это связано с тем, что работая с переменным током можно значительно уменьшить потери. По этим причинам электропривод будет питаться от сети переменного тока, что

позволит не преобразовывать постоянный ток в переменный. Поэтому выпрямители и инверторы не подходят для данной работы.

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

ПЧ имеет следующие преимущества:

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

Так же у такого преобразователя есть и свои недостатки. Например, высокая стоимость такой системы, сложность устройства и высокие затраты на обслуживание.

ТРН же имеет следующие преимущества по сравнению с ПЧ:

- простота устройства;
- низкая стоимость;
- простота алгоритмов управления;
- стойкость к погодным условиям;
- простота обслуживания;

Минусы ТРН заключаются в следующем: небольшой диапазон регулирования скорости и малый КПД двигателя при малых значениях напряжения на выходе ТРН. В случае клиновой задвижки данные недостатки являются несущественными.

Основываясь на преимуществах системы ТРН-АД, примем такую систему для использования ее в качестве электропривода клиновой задвижки.

## **2. Выбор электропривода и расчет его оборудования**

### **2.1. Исходные данные**

Специфика работы с трубопроводной арматурой диктует условия для электропривода, который будет установлен на такую арматуру. Для этих целей существует отдельная группа приводов.

Параметрами, влияющими на выбор электропривода запорной арматуры, являются диаметр трубы и давление в трубопроводе. Определяющими они являются в силу того, что влияют на требуемое максимальное значение крутящего момента на выходном звене запорной арматуры. Отталкиваясь же от величины этого момента, делают выбор в пользу того или иного электропривода.

В данной работе, для работы с клиновой задвижкой магистрального нефтепровода был выбран электропривод ЭПЦ-20000. Эта модель электропривода может работать с арматурой, установленной на нефтепроводе, давление в котором достигает 20МПа [5]. Принимая во внимание тот факт, что нефтепроводы такого типа работают с максимальным давлением 15 МПа, можно считать, что данный электропривод идеально подойдет для перекрытия рабочего потока в нефтепроводе.

Функциональные возможности данного привода включают:

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

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

## **2.2 Характеристики электропривода**

### **2.2.1. Технические характеристики ЭПЦ-20000**

Режим работы электропривода: повторно-кратковременный S3 с коэффициентом циклической продолжительности включения (ПВ) 25 % по ГОСТ Р 52776.

Электропривод «ЭПЦ-20000» комплектуется трехфазным асинхронным взрывозащищенным электродвигателем ДАТЭК-350-04-УХЛ1 ТУ3324-421-20885897-2006 (18,5 кВт; 1500 об/мин):

- номинальный потребляемый ток нагрузки не более 36 А.
- максимальный потребляемый ток нагрузки не более 72 А.

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

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

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.

Основные технические характеристики электроприводов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные технические характеристики электропривода  
«ЭПЦ-20000»

Наименование параметра	Норма
1. Максимальный крутящий момент на выходном звене, Нм	20 000
2. Максимальная частота вращения выходного звена, об/мин не менее	10
3. Диапазон регулирования по положению выходного звена, 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	3000 – 15 000
6. Максимальная погрешность ограничения крутящего момента на выходном звене изделия, в % от заданного значения момента, не более: -В первой половине значений диапазона -Во второй половине значений диапазона	+/- 15 +/- 10
7. Максимальное усилие на маховике ручного дублера при максимальном моменте на выходном звене, Н, не более	450
8. Степень защиты изделия	IP 67
9. Габаритные размеры, мм	1000x9500 x1330
10. Масса, кг	1000

### 2.2.2. Состав электропривода

Электропривод «ЭПЦ-20000» состоит из следующих основных частей:  
редуктора, привода ручного дублера, блока управления регулируемого,

асинхронного электродвигателя и электрических кабелей в защитной оболочке.

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 вращение от шестерни, установленной на валу электродвигателя, передается на зубчатое колесо, установленное и вращающееся на ограничителе, жестко закрепленном на входном валу редуктора с промежуточными телами качения. С зубчатого колеса вращение через его кулачковую полумуфту передается на кулачковую полумуфту толкателя, который через шлицевое соединение с ограничителем передает вращение на редуктор с промежуточными телами качения и далее на выходное звено электропривода.

Шестерня, установленная на входном валу блока и находящаяся в зацеплении с зубчатым колесом, обеспечивает обратную передачу вращательного движения, созданного электродвигателем, на входной вал бесконтактного датчика положения блока управления, по сигналам которого в БУР 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 электропривод 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

Схема замещения асинхронного электродвигателя необходима для расчета механических и электромеханических характеристик. Обычно используют Т-образную схему замещения АД. Это связано с тем фактом, что она является наиболее простой и удобной для ведения расчетов.

Т-образная схема замещения АД представлена на рисунке 9.

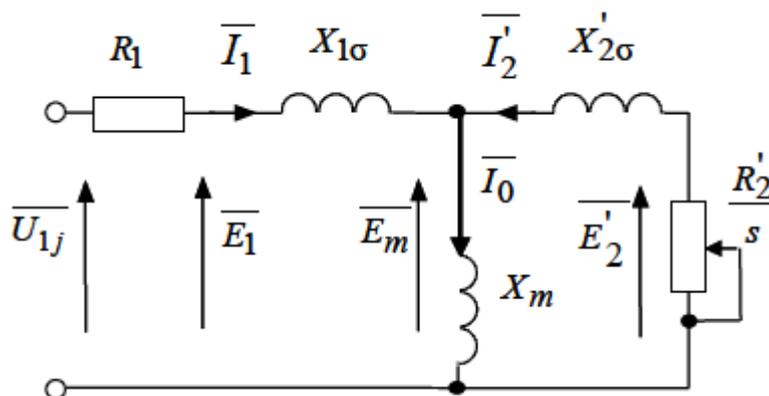


Рисунок 9 - Схема замещения асинхронного двигателя

На рисунке 9 приняты следующие обозначения:

$U_{1j}$  – фазное напряжение обмотки статора;

$R_1$  – активное сопротивление обмотки статора;

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

$I_1$  – ток обмотки статора;

$E_1$  – ЭДС обмотки статора;

$R'_2$  – активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора;

$X'_{2\delta}$  – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенное к обмотке статора;

$S = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$  – скольжение асинхронного электродвигателя;

$\omega_0 = 2\pi f_1 / z_p$  – синхронная угловая скорость асинхронного электродвигателя;

$\omega$  – скорость вращения ротора асинхронного электродвигателя;

$p$  – число пар полюсов асинхронного электродвигателя;

$f_1$  – частота переменного напряжения, питающего обмотку статора;

$E_m$  – ЭДС от главного магнитного потока машины;

$E'_2$  – ЭДС обмотки ротора, приведенная к обмотке статора.

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  $I'_2$ , приведенный к обмотке статора, определяется зависимостью:

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

где  $X_{\text{кз}} = X_{1\sigma} + X'_{2\sigma}$  – индуктивное сопротивление КЗ.

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

Большой интерес представляет зависимость тока статора от скольжения  $I_1 = f(s)$ . Ток в статорной обмотке можно представить в виде суммы вектора тока ротора  $I'_2$  и вектора тока намагничивания  $I_0$ :

$$\overline{I_1} = \overline{I_0} + \overline{I_2'}$$

Выражая ток статора  $I_1$  через ток ротора, приведенный к обмотке статора  $I_2'$ , получим следующее выражение:

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

Где

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

Наибольший интерес в асинхронном электродвигателе представляет электромагнитный момент, который можно найти из следующего выражения:

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

где  $m_1$  – число фаз статора.

Критический момент в этом случае:

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

критическое скольжение

$$s_{\text{к}} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}}$$

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

В силу того, что Паспортные данные асинхронного электродвигателя ДАТЭК-350-04 являются закрытой информацией Томской Электрической Компании, на основе мощности и номинальной скорости данного двигателя

был выбран ближайший аналог для общей промышленности (АИР 160М4).

Характеристики данного двигателя приведены ниже.

Паспортные данные электродвигателя типа АИР 160 М4:

$P_H = 18.5$  кВт – номинальная мощность двигателя;

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

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

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

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

$\eta_H = 90\%$  – КПД в режиме номинальной мощности (100 %-я нагрузка);

$\cos\varphi_H = 0,86$  – коэффициент мощности;

$k_i = 7$  о.е. – кратность пускового тока;

$k_n = 2.2$  о.е. – кратность пускового момента;

$k_{max} = 2.3$  о.е. – кратность максимального момента;

$J_{\partial\partial} = 0.065$  кг·м<sup>2</sup> – момент инерции.

По известным данным необходимо рассчитать параметры АД.

Синхронная угловая частота вращения:

$$\omega_0 = \frac{\pi * n_0}{30} = \frac{\pi * 1500}{30} = 157,08 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальная угловая частота вращения:

$$\omega_H = \omega_0 * (1 - s_H) = 157,08 * (1 - 0,027) = 152,9 \text{ рад/с}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{18500}{152,9} = 121 \text{ Нм}$$

Номинальный ток статора:

$$I_H = \frac{P_H}{3 * U_{1\phi} * \cos\varphi_H * \eta_H} = \frac{18500}{3 * 220 * 0,86 * 0,9} = 36.215 \text{ А}$$

Коэффициент мощности при частичной нагрузке:

$$\cos\varphi = 0,98 * \cos\varphi_H = 0,98 * 0,86 = 0,843$$

Ток статора двигателя при частичной нагрузке:

$$I'_1 = \frac{0,75 * P_H}{3 * U_{1\phi} * \cos\varphi * \eta_H} = \frac{0,75 * 18500}{3 * 220 * 0,843 * 0,9} = 36.954 \text{ A}$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_1'^2 - \left(\frac{0,75 * I_H * (1 - s_H)}{1 - 0,75 * s_H}\right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 * (1 - s_H)}{1 - 0,75 * s_H}\right)^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{36.954^2 - \left(\frac{0,75 * 36.215 * (1 - 0,027)}{1 - 0,75 * 0,027}\right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 * (1 - 0,027)}{1 - 0,75 * 0,027}\right)^2}} = 37.855 \text{ A}$$

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

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

$$= 0,027 * \frac{2.3 + \sqrt{2.3^2 - (1 - 2 * 0,027 * 1 * (2.3 - 1))}}{1 - 2 * 0,027 * 1 * (2.3 - 1)}$$

$$= 0.127 \text{ о. е.}$$

Ряд промежуточных коэффициентов для определения внутренних параметров двигателя:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 * k_i * I_H} = 1 + \frac{37.855}{2 * 7 * 36.215} = 1,075$$

$$A_1 = \frac{3 * U_{1\phi}^2 * (1 - s_H)}{2 * C_1 * k_{max} * P_H} = \frac{3 * 220^2 * (1 - 0,027)}{2 * 1,075 * 2.3 * 18500} = 1.545$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_K}\right) * C_1} = \frac{1.545}{\left(1 + \frac{1}{0.127}\right) * 1,075} = 0.162 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 * R_2 * \beta = 1,075 * 0.162 * 1 = 0,175 \text{ Ом}$$

Параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0.127^2} - 1} = 7.784$$

Сопротивление короткого замыкания:

$$X_{kn} = \gamma * C_1 * R_2 = 7.784 * 1,075 * 0.162 = 1.3590 \text{ м}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_2 = \frac{0.58 * X_{kn}}{C_1} = \frac{0.58 * 1.359}{1,075} = 0.733 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_1 = 0.42 * X_{kn} = 0.571$$

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

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{(U_{1\phi} * \cos\varphi_H - R_1 * I_H)^2 + (U_{1\phi} * \sqrt{1 - \cos^2\varphi_H} - X_1 * I_H)^2} \\ &= \sqrt{(220 * 0.86 - 0,175 * 36.215)^2 + (220 * \sqrt{1 - 0.86^2} - 0.571 * 36.215)^2} \\ &= 204.532 \text{ В} \end{aligned}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_m = \frac{E_m}{I_0} = \frac{204.532}{37.855} = 5.4030 \text{ Ом}$$

#### 2.4. Расчет статических характеристик электродвигателя

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

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

По результатам расчета строится механическая характеристика  $\omega (M)$ , где  $\omega = \omega_0 \cdot (1-s)$ . На рисунке 10 приведено семейство механических характеристик электродвигателя, данные характеристики построены в программе MathCad.

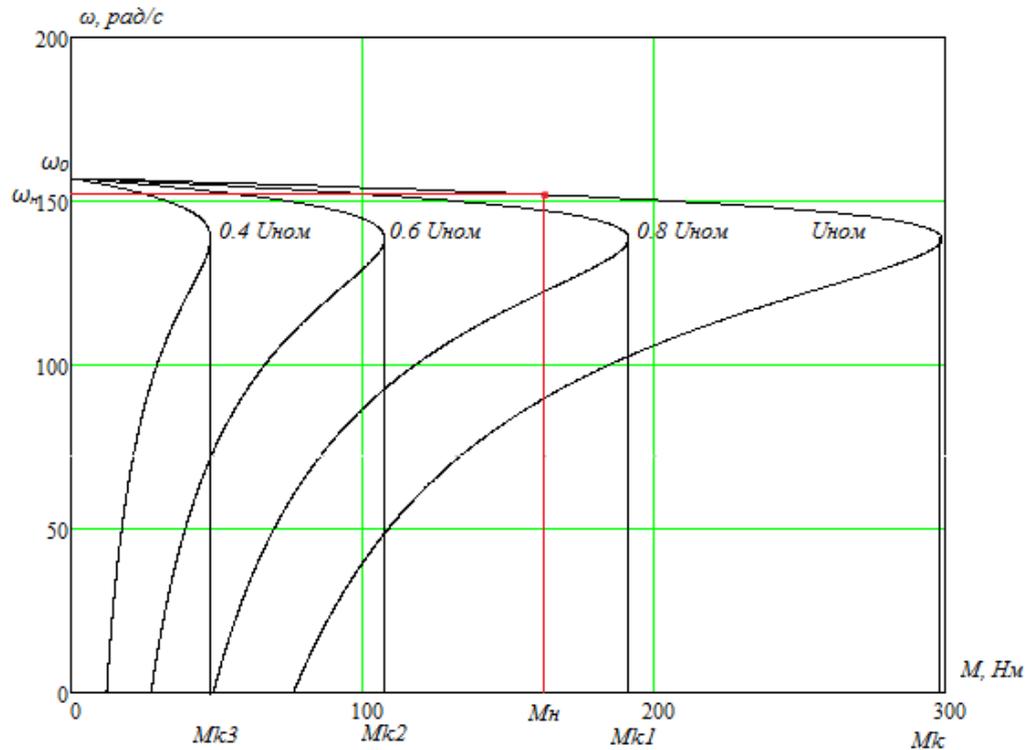


Рисунок 10 – Семейство механических характеристик электродвигателя

Электромеханическую характеристику  $I_1(s)$  можно вычислить из выражения:

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

Где

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

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

Электромеханические характеристики тока ротора  $I_2$  и тока статора  $I_1$  АД изображены на рисунке 11.

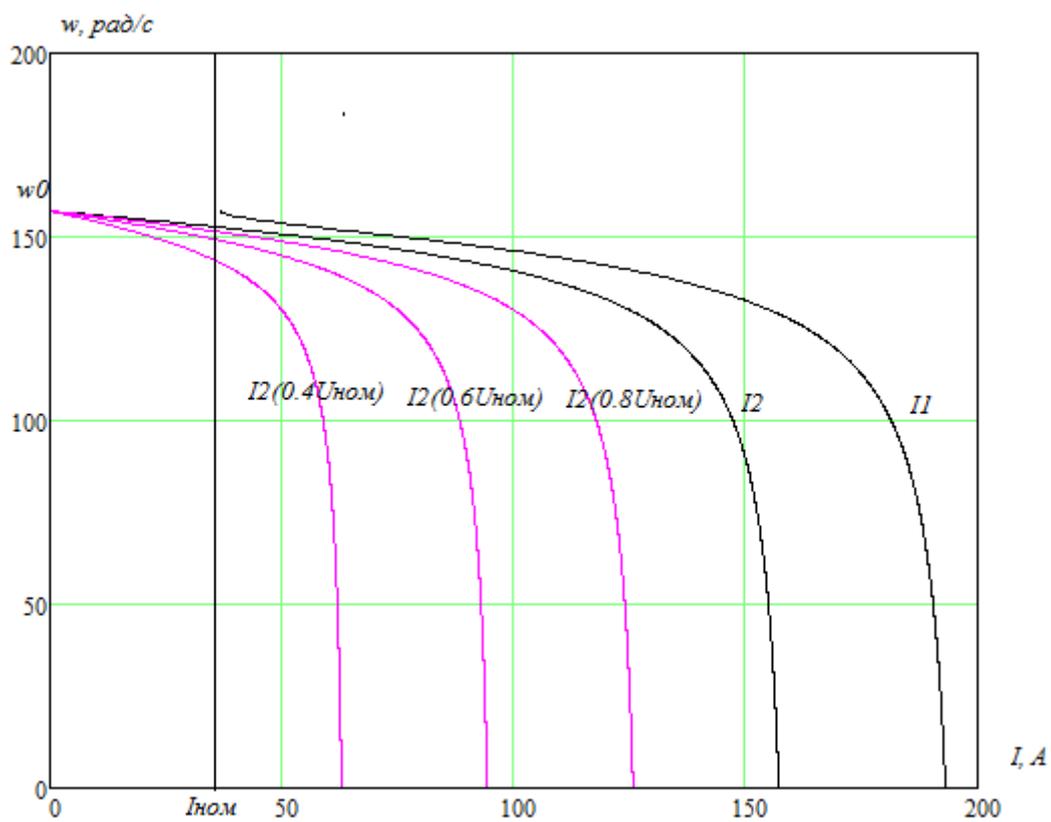


Рисунок 11 - Электромеханическая характеристика тока статора

### 3. Имитационная модель ТРН – АД

#### 3.1. Создание модели системы ТРН-АД в программной среде MATLAB Simulink

Принципиальная схема системы «Тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель» (ТРН-АД) представлена на рис. 18. Питание к преобразователю подводится трехфазное переменное 380 В 50 Гц (RST). Тиристорный преобразователь (VS1 – VS6) предназначен для плавного пуска асинхронного двигателя, путем изменения напряжения питания. Управление тиристорами происходит с помощью микроконтроллера (МК).

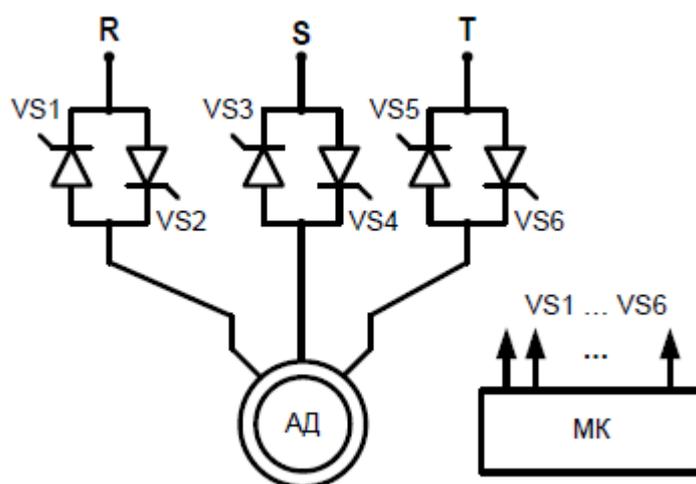


Рисунок 12 - Трехфазный тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель

Графики, поясняющие работу системы ТРН-АД для одной фазы, представлены на рис. 13.  $U_R$  – мгновенное напряжение фазы R. С помощью импульсов UVS1 и UVS2 управляем тиристорами в фазе R. Открытие тиристора произойдет в момент подачи импульса, а закрытие в момент изменения полярности напряжения на тиристоре: анод-катод, т.е. если не учитывать индуктивность нагрузки тиристор закроется в момент перехода  $U_R$  через ноль. Получим результирующее напряжение, которое представлено на рис. 19 заштрихованной областью. Изменяя момент времени подачи импульса, т.е. меняя угол  $\alpha$  можно изменять напряжение питания асинхронного двигателя.

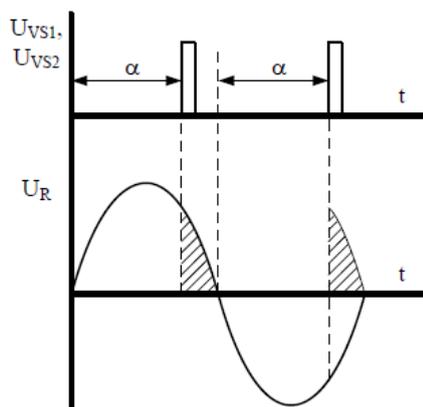


Рисунок 13 - Диаграмма работы ТРН-АД в фазе R

### 3.2. Однофазный ТРН с управлением от генератора импульсов

В первую очередь, соберем однофазную схему источника питания с нагрузкой. Для этого в программной среде MATLAB откроем приложение Simulink, в котором создадим новую модель (меню: File→New→Model). В появившееся окне создания новой модели необходимо перетащить блоки и соединить их между собой согласно схеме, изображенной на рис. 14.

Расположения блоков в библиотеке Simulink Library Browser:

источник питания: SimPowerSystems→Electrical Sources→AC Voltage Source

нагрузка: SimPowerSystems→Elements→Series RLC Branch земля: SimPowerSystems→Elements→Ground

вольтметр: SimPowerSystems→Measurements→Voltage Measurement осциллограф: Simulink →Sinks→Scope

Блоки можно поворачивать на 90 град с помощью сочетания клавиш «Ctrl+R». Название всех блоков можно редактировать. При нажатии правой кнопки мыши на блок появляется контекстное меню блока, которое дает дополнительные возможности.

Далее, необходимо настроить некоторые блоки. Чтобы открыть настройки блока необходимо дважды кликнуть левой кнопкой мыши на соответствующий блок. В блоке AC Voltage Source необходимо выставить амплитудное напряжение Peak amplitude (V) равное  $\sqrt{2} \cdot 220$  ( $\approx 311$  В), в

строке Frequency (Hz) необходимо выставить 50, что соответствует частоте питающего напряжения.

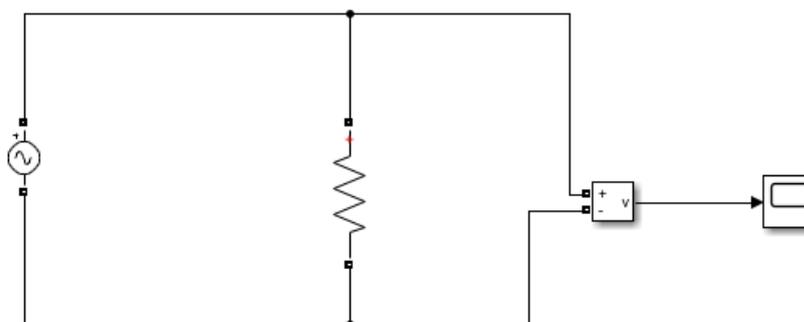


Рис.14 - Однофазная схема источника питания с нагрузкой

Блок Series RLC Branch является нагрузкой для источника напряжения. Сначала проведем исследования для нагрузки активного типа, с сопротивлением 50 Ом: Branch type – R, Resistance (Ohms) – 50.

При частоте напряжения питания 50 Гц один период синусоиды составляет 0,02 с, т.е., если мы хотим смоделировать 3 периода необходимо выставить длительность моделирования 0,06 с. Данное значение вписывается в окно Simulation stop time. После запуска модели (кнопка Run ►) можно наблюдать мгновенное напряжение на нагрузке, для этого необходимо открыть осциллограф.

Для получения возможности регулировать напряжение, необходимо ввести еще два блока:

генератор импульсов: Simulink →Sources→Pulse Generator

блок mux: Simulink →Signal Routing→Mux

два тиристора: SimPowerSystems →Power Electronics→Detailed Thyristor Блок mux необходим для отображения нескольких графиков в одних осях.

В тиристорах уберем измерительный выход, для этого необходимо убрать галочку Show measurement port в его настройках. Далее, необходимо

их включить встречно-параллельно между источником и нагрузкой, используя выводы анод а и катод к. Схема представлена на рис. 15.

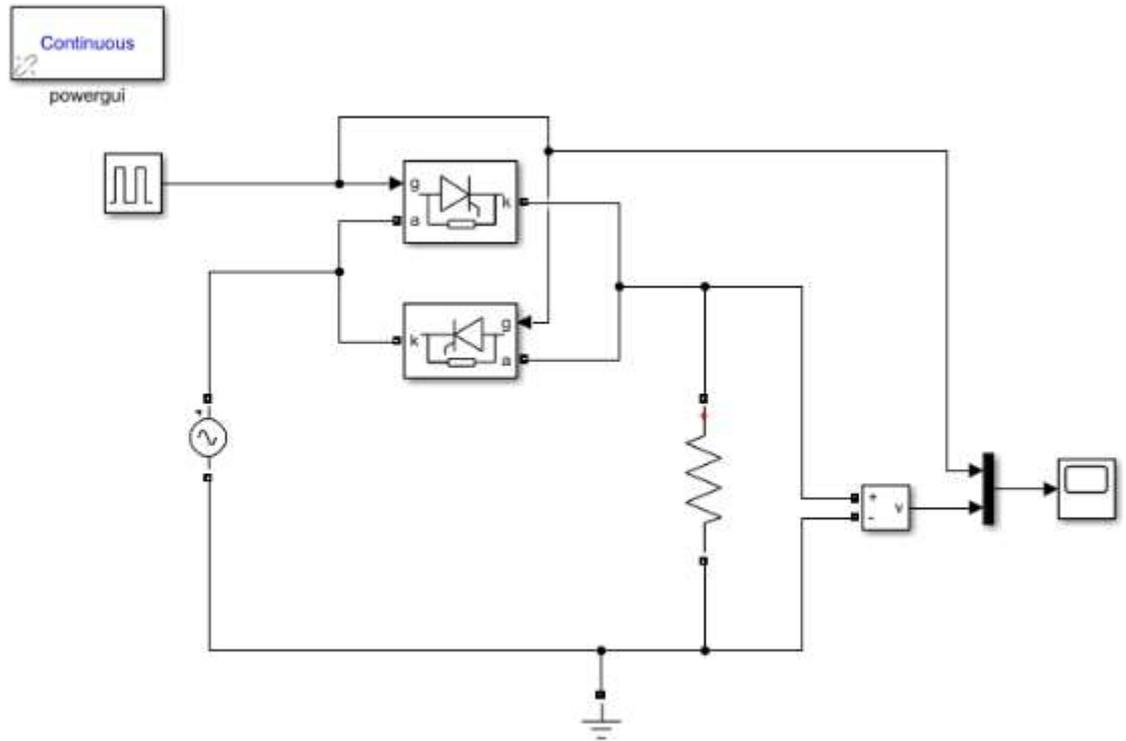


Рисунок 15 - Схема однофазного тиристорного регулятора напряжения с управлением от генератора импульсов

Далее, настраиваем генератор импульсов согласно рис. 22. Переменная Amplitude отвечает за амплитуду импульсов. По умолчанию в блоке стоит логическая единица. Для наглядного отображения графиков напряжения и импульсов в одних осях, поставим значение 100. Переменная Period отвечает за период подачи импульсов. Т.к. необходимо управлять и верхней и нижней полувольтной напряжением, то период равен  $0,02/2 = 0,01$  с. Pulse Width определяет длительность импульса. Необходимо убрать с тиристоров импульс управления до того, как напряжение перейдет через ноль, ставим 40%. Phase delay отвечает за фазовый сдвиг первого импульса, т.е. это и есть угол управления, который может меняться в пределах от 0 до 180 град (0 ... 0,01 с). Для примера возьмем  $= 90$  град. Тогда Phase delay =  $0,01/2 = 0,005$  с. Данный генератор импульсов будет управлять обоими тиристорами. Его необходимо подсоединить к тиристорам, ко входу g.

Полученные графики представлены на рис. 6, где желтым представлены импульсы управления, а фиолетовым – напряжение на нагрузке. Можно проследить влияние угла управления на выходное напряжение, изменив Phase delay, например, 30, 140 град и т.д.

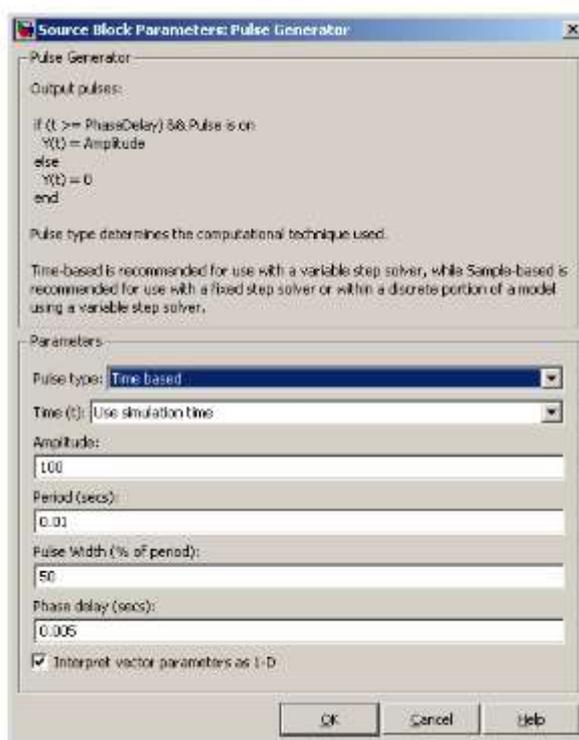


Рисунок 16 - Настройка генератора импульсов

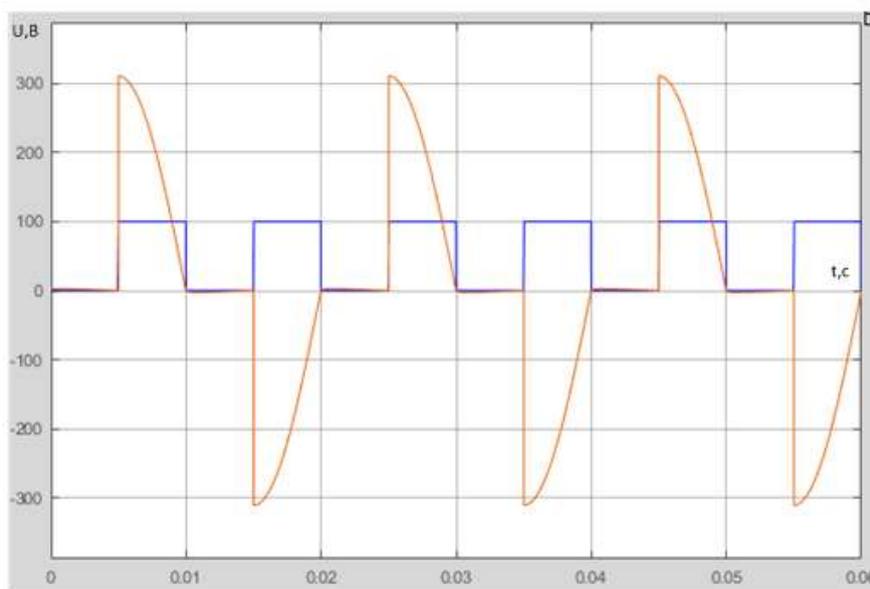


Рисунок 17 - Графики напряжения на нагрузке и управляющих импульсов

### 3.3. Однофазный ТРН с управлением от S-function Builder

Для возможности создания своего алгоритма управления тиристорным преобразователем необходимо воспользоваться блоком S-function Builder:

S-функция: Simulink → User-Defined Functions → S-function Builder Текст программы в S-function Builder пишется на языке С.

Для проверки работоспособности данного блока соберем схему, представленную на рис.18.: измерим напряжение источника с помощью вольтметра и подадим на S-функцию, а выход S-функции и выход вольтметра выведем на осциллограф.

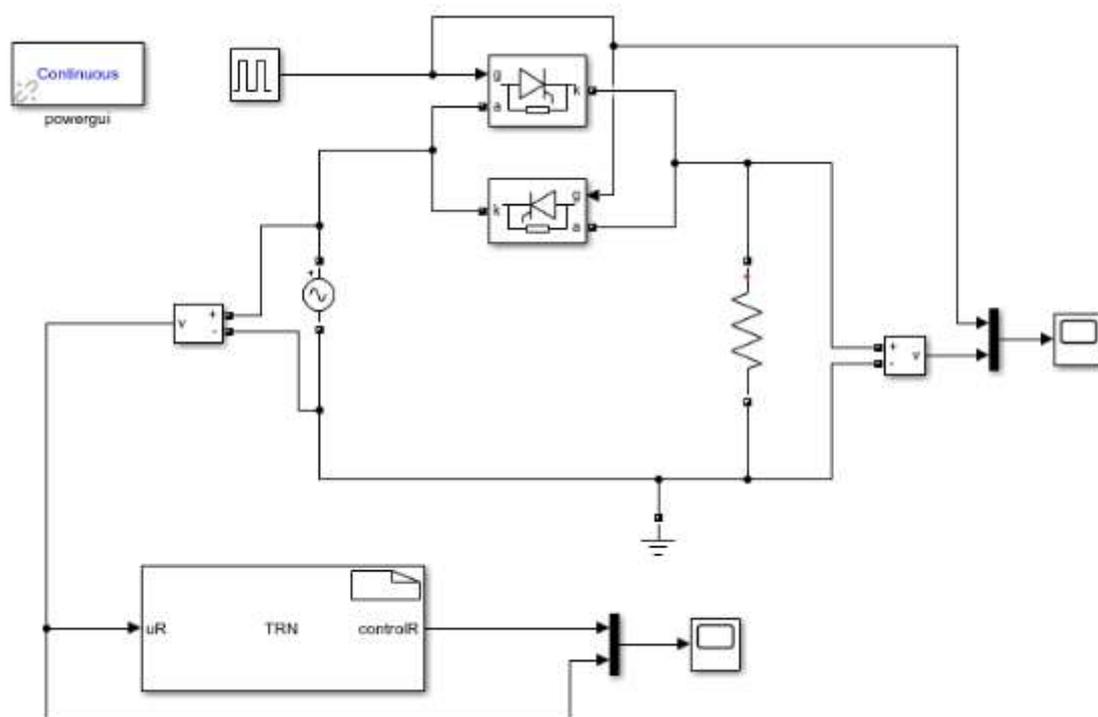


Рисунок 18 - Введение блока «S-function Builder»

Далее, необходимо настроить блок «S-function Builder». Для этого в настройках, в поле S-function name, необходимо латиницей ввести имя функции, несовпадающее с именем модели. В закладке Data Properties / Input Ports входные переменные, а Output Ports – выходные. Можно поменять количество переменных, а также их имена. В нашем примере будем измерять

входное напряжение фазы R (входная переменная uR) и управлять тиристорами в фазе R (выходная переменная controlR).

В закладке Initialization в поле Sample mode необходимо выбрать Discrete, т.к. микропроцессор – это дискретное устройство, которое работает с дискретным шагом времени, которое нужно ввести в поле Sample time value. Период дискретизации работы процессора выбираем 18 кГц. Тогда  $\Delta t = 1/18000 = 0,00005555$  с. Такая дискретизация позволяет получить период питающего напряжения в 360 точек (360 эл. град), чтобы обеспечить точность управления в один градус:  $0,00005555 * 360 = 0,02$  с (период фазного напряжения).

В закладке Output содержится текст программы.

Запуск компиляции осуществляется кнопкой Build, которая находится в правом верхнем углу окна настроек S-функции. После запуска компилятора в закладке Build Info выводится сообщение об успешном завершении компиляции и создании необходимых файлов:

```
### 'TRN_control.c' created successfully
### 'TRN_control_wrapper.c' created successfully ### 'TRN_control.tlc'
created successfully
### S-function TRN_control.mexw32 created successfully
```

Далее, необходимо построить на основе напряжения пилообразный сигнал, который в дальнейшем поможет создать угол управления. Для построения пилы необходимо определить точки перехода напряжения через ноль. Для этого необходимо отслеживать входное напряжение UR, и если  $UR < 0$ , а на предыдущем шаге  $UR > 0$ , то пилу необходимо обнулить. Аналогично нужно сделать и для обратного перехода через ноль. Пила должна достигнуть значения в 180 при следующем переходе напряжения через ноль.

Окно настройки S-функции с текстом программы представлено на рис. 26. Объявления всех переменных располагают в самой верхней части программы. Переменная prevUR необходима для запоминания напряжения на

предыдущем этапе времени. `pilaR` – переменная, которая должна содержать пилообразный сигнал. Его формируем путем инкрементирования `pilaR` на единицу каждый шаг расчета. Затем расположен алгоритм обнуления переменной `pilaR` после перехода напряжения через ноль. Алгоритм основан на логическом И – `||` и логическом ИЛИ – `&&`.

Далее, запоминаем текущее значение напряжения для следующего шага расчета программы и отправляем полученный сигнал на выход `S`-функции. Полученный результат в виде графиков представлен на рис. 20.

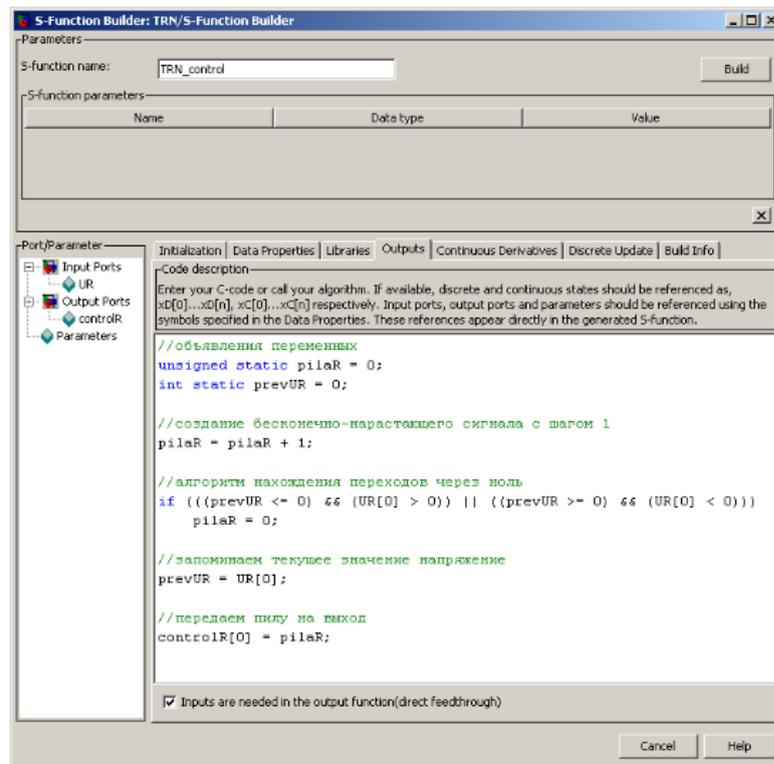


Рисунок 19 - Построение пилы в фазе R

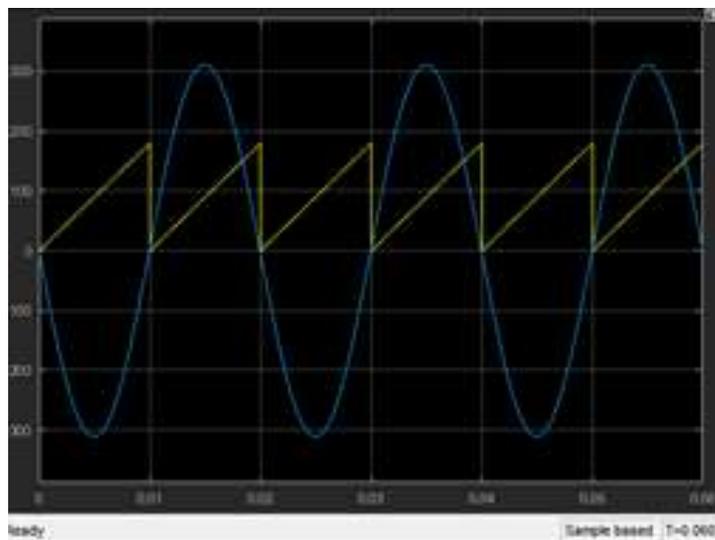


Рисунок 20 - Пилообразный сигнал для фазы R

Следующим этапом необходимо сформировать импульсы управления. Для этого необходимо записать новый алгоритм, который представлен ниже:

```
unsigned static pilaR = 0;
int static prevUR = 0;
pilaR = pilaR + 1;
if (((prevUR <= 0) && (UR[0] >0)) || ((prevUR >=0) && (UR[0] <0)))
    pilaR = 0;
prevUR = UR[0];
if ((pilaR >= 45) && (pilaR <= 160))
    controlR[0] = 100;
else controlR[0] = 0;
```

Далее запускаем модель, результат представлен на рис. 21.

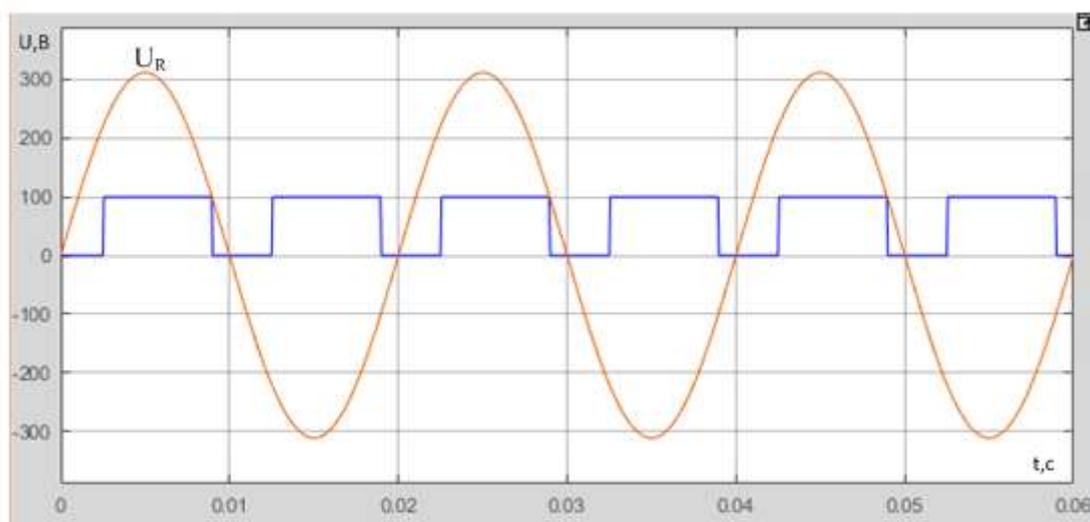


Рисунок 21 - Импульсы управления тиристорами в фазе R

После получения импульсов управления необходимо модернизировать схему. Уберем генератор импульсов и на тиристоры подаем управляющие импульсы с S – функции. Схема полученной модели представлена на рис. 22.

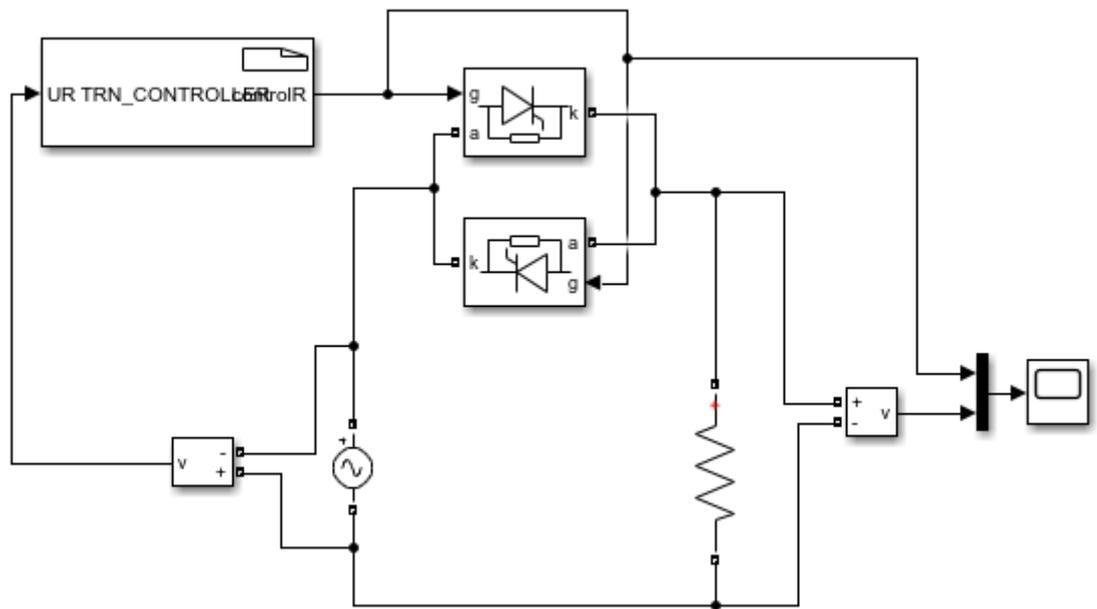


Рис. 22 - Схема однофазного ТРН с управлением от S-function Builder

### 3.4. Создание трехфазного ТРН

Для создания трехфазного тиристорного регулятора напряжения соберем схему, изображенную на рис. 23. Схема трехфазного ТРН, построенного в программной среде MATLAB, изображена на рис. 23.

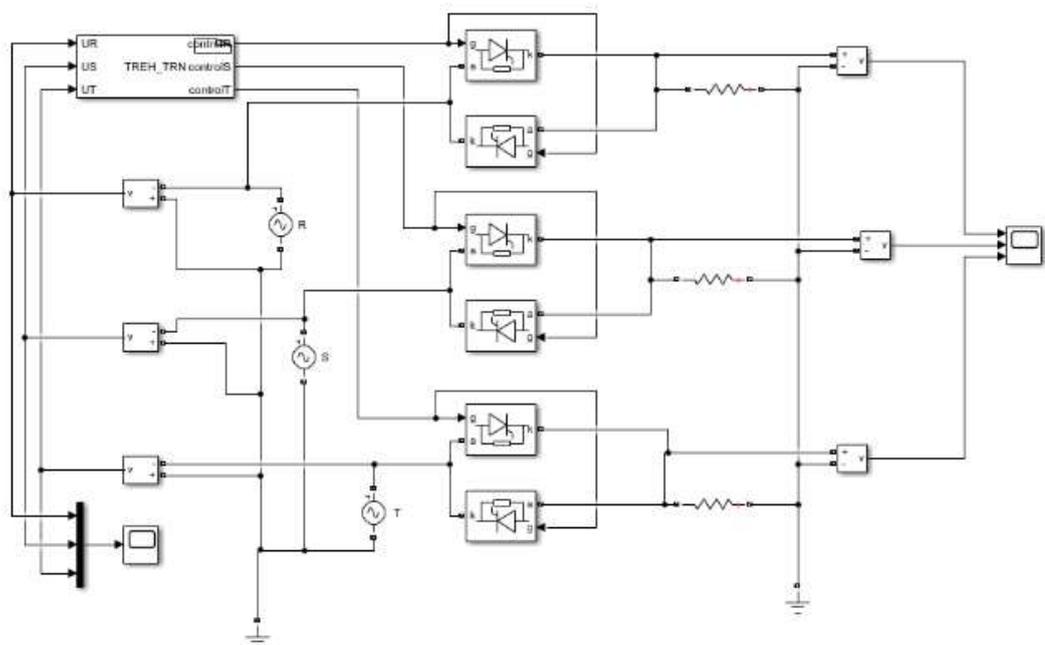


Рисунок 23 - Схема трехфазного ТРН

Фазы источника трехфазного напряжения должны быть сдвинуты на 120 град. друг относительно друга. Для этого в фазе S выставляем угол Phase

– 240, а в фазе T – 120 град, тогда получим прямую последовательность фаз. Убедиться в правильности выставленных параметров можно, открыв осциллограф Scope1. Результаты представлены на рис. 24.

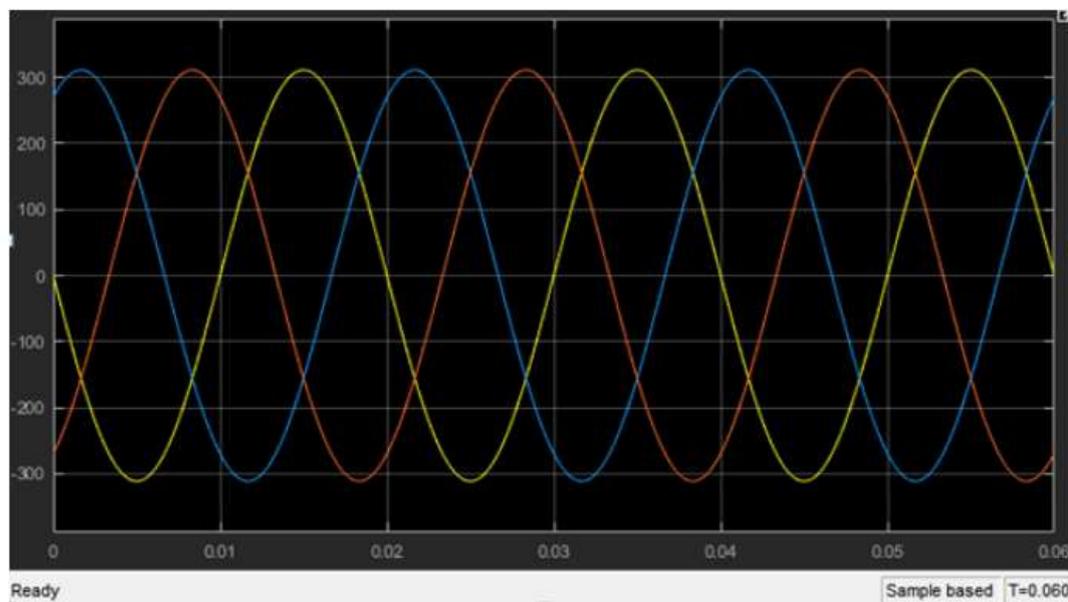


Рисунок 24 - Напряжение трехфазного источника RST

Далее, необходимо в S-функцию добавить входные и выходные переменные еще для двух фаз: US, UT и controlR, controlT соответственно. Добавлять переменные можно в закладке Data Properties окна настройки S-функции. После этого появятся дополнительные порты у блока S-function Builder, после чего можно соединить элементы.

Далее, программу нужно дополнить для оставшихся фаз. Управление каждой фазой напряжения должно быть независимое, поэтому сделаны три управляющих выхода, в то же время принцип управления всеми тремя фазами одинаков.

Полный текст программы для трехфазного тиристорного регулятора напряжения представлен ниже:

```
unsigned static pilaR = 0, pilaS = 0, pilaT = 0, alpha =30;
int static prevUR = 0, prevUS = 0, prevUT = 0;
pilaR++;
pilaS++;
pilaT++;
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;
prevUR = UR[0];
prevUS = US[0];
prevUT = UT[0];
if ((pilaR >= alpha) && (pilaR <= 160))
    controlR[0] = 100;
else controlR[0] = 0;
if ((pilaS >= alpha) && (pilaS <= 160))
    controlS[0] = 100;
else controlS[0] = 0;
if ((pilaT >= alpha) && (pilaT <= 160))
    controlT[0] = 100;
else controlT[0] = 0;

```

Оператор «++» означает инкрементирование переменной на «1». Запись `pilaR++`; аналогична записи `pilaR = pilaR + 1`; Дополнительно введена переменная `alpha`, которая будет отвечать за угол управления, который является одинаковым для всех фаз.

Настроим осциллограф Scope2, для возможности вывода трех графиков в одном окне. Для этого необходимо открыть окно настроек осциллографа, нажав на кнопку Parameters . В поле Number of axes нужно вписать число осей, в данном случае «3».

На рис. 25 представлены напряжения на нагрузке для трехфазного ТРН.

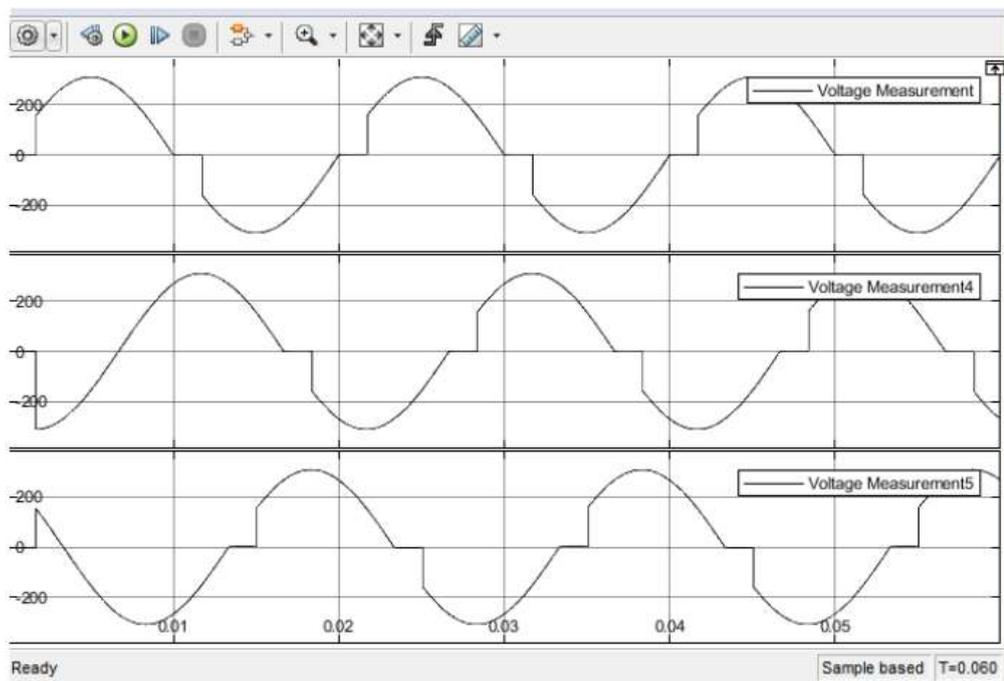


Рисунок 25 - Напряжение на нагрузке

### 3.5. Плавное изменение угла управления по заданному закону

Как правило, угол управления  $\alpha$  меняют при работе преобразователя, например, в соответствии с требованиями технологического процесса: регулирование скорости или момента электропривода. В данной работе будем менять угол управления для плавного нарастания напряжения на обмотках двигателя с целью получения плавного пуска асинхронного двигателя. Время пуска электродвигателя будет зависеть от его мощности и от нагрузки на валу. Создадим возможность изменения времени раскрытия угла управления. Для этого необходимо в S-функции создать входную переменную, например, `time_start`, на которую будем подавать время раскрытия угла управления с помощью блока константы, например 0,2 с:

константа: Simulink → Sources → Constant

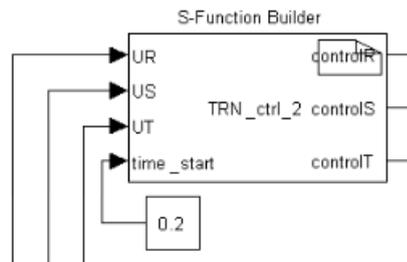


Рисунок 26 - Время раскрытия угла управления

Далее необходимо внести изменения в программу для обработки переменной `time_start`. 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.

Программа в S-функции обрабатывается 18000 раз в секунду, а угол `alpha` надо изменить от 160 до 10 град, т.е. 150 раз. При этом изменение угла надо сделать в течение заданного промежутка времени, в нашем случае 0,2 с. Для решения этой задачи вводим задерживающий таймер, чтобы угол открывал с задержкой. Необходимо объявить новую переменную следующим образом:

```
unsigned static timer_st = 0;
```

Далее, необходимо внести следующий текст программы. Его можно расположить вначале нашей программы:

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

Суть этой части программы в следующем: 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. После компиляции и запуска процесса моделирования, получим переходный процесс. Графики для одной фазы представлены на рис. 27.

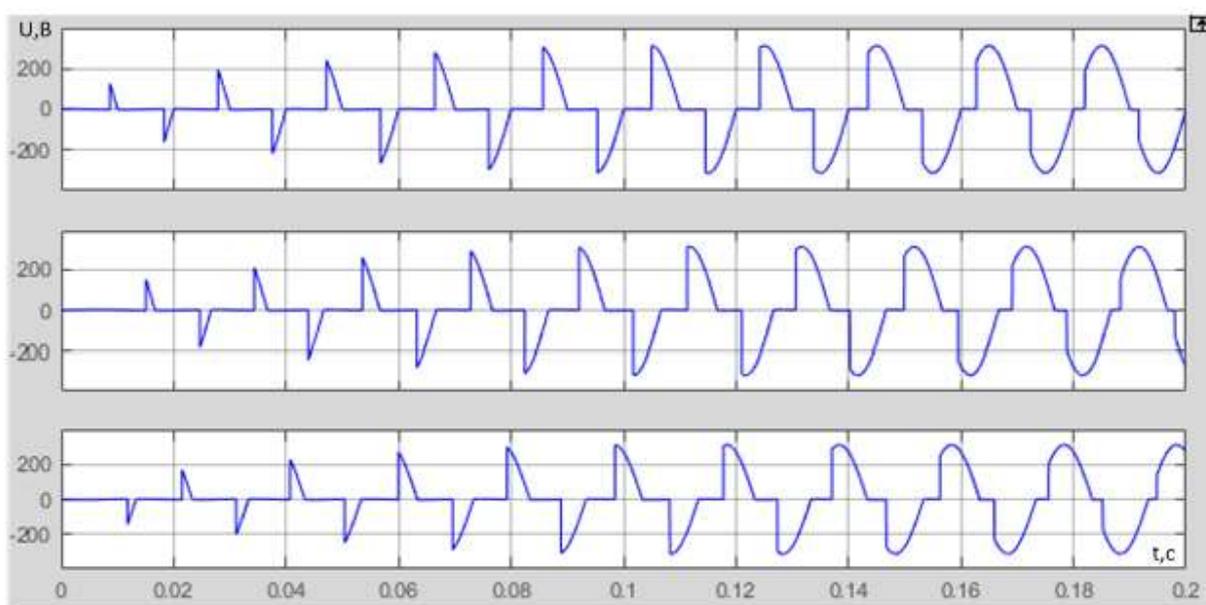


Рисунок 27 - Напряжение на нагрузке и импульсы управления при плавном изменении угла управления во времени

На рис. 27 прослеживается изменение длительности импульса во времени, а также изменение напряжения на нагрузке. За 0,2 с происходит полное раскрытие фазного напряжения.

При повторном запуске процесса моделирования, плавного раскрытия угла тиристоров не произойдет. Для повторного раскрытия угла тиристоров необходимо снова сбросить угол управления в начальное значение, а для этого нужно снова скомпилировать S-функцию.

### 3.6. Прямой пуск асинхронного двигателя

При плавном пуске асинхронного двигателя уменьшается бросок тока, колебания момента, что благоприятно сказывается на механизме, который

находиться на валу электродвигателя. Для подтверждения этих фактов произведем сначала прямой пуск асинхронного двигателя от сети. Для этого необходимо собрать схему, изображенную на рис. 28.

Для сбора схемы на рис. 28 нам понадобятся следующие блоки:  
асинхронный двигатель: SimPowerSystems → Machines → Asynchronous

Machine SI Units

Bus Selector: Simulink → Signal Routing → Bus Selector

Фазные обмотки статора необходимо подключить к сети переменного тока RST. Далее введем параметры асинхронного двигателя в окне настроек (рис.38):

Во вкладке Configuration выберем типа ротора (Rotor type) – короткозамкнутый (Squirrel cage). Во вкладке Parameters (рис. 29) вводим параметры схемы замещения асинхронного двигателя, марка которого выбрана ранее. Параметры схемы замещения можно рассчитать, используя известные методики, например: Чернышев А.Ю., Чернышев И.А., Дементьев Ю.Н. Электропривод переменного тока, Томск: Изд-во ТПУ, 2009. - 57 с.

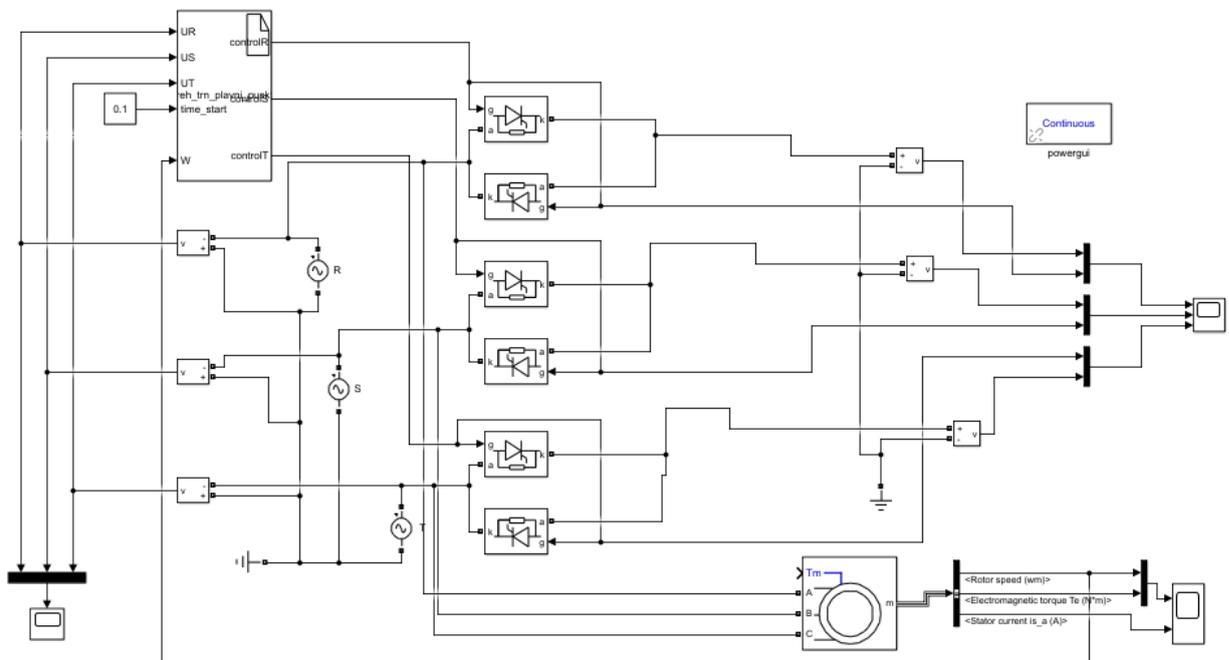


Рисунок 28 - Схема в Matlab для прямого пуска асинхронного двигателя

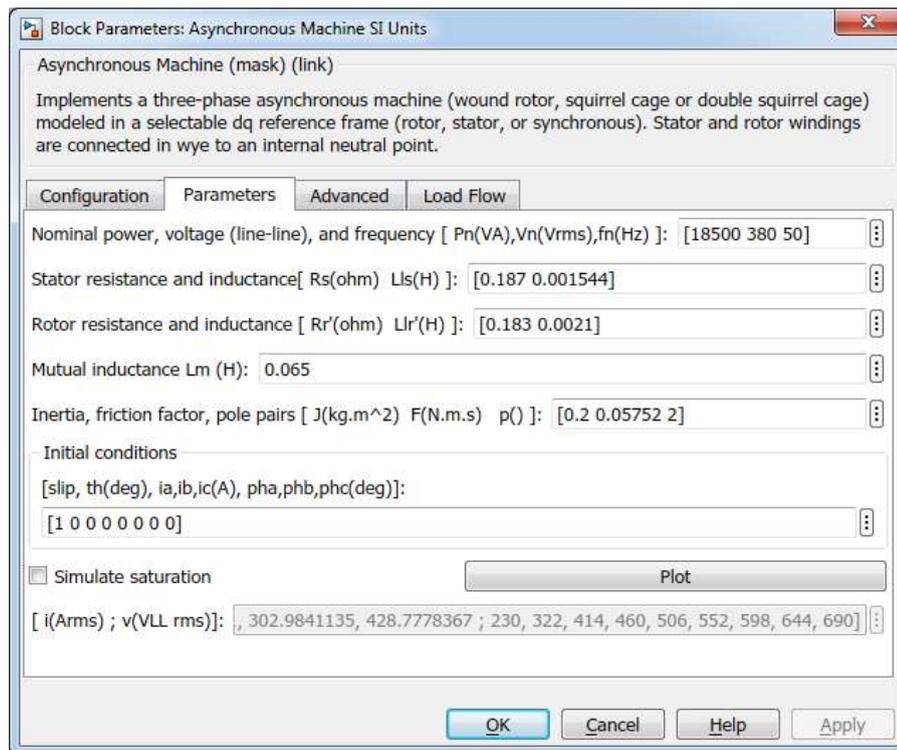


Рисунок 29 - Настройки блока Asynchronous Machine SI Units

Вводим следующие параметры:

$R_s$  – активное сопротивление статорной обмотки, Ом;

$L_{ls}$  – индуктивность рассеяния статорной обмотки, Гн;

$R_r$  – активное сопротивление ротора, Ом;

$L_{lr}$  – индуктивность рассеяния ротора, Гн;

$L_m$  – взаимная индуктивность, Гн;

$J$  – момент инерции, кг·м<sup>2</sup>;

$p$  – число пар полюсов.

Далее, настроим блок Bus Selector, который позволяет вывести требуемые параметры асинхронного двигателя. Выведем на графике следующие параметры: скорость вращения вала двигателя, электромагнитный момент и ток в фазе статора. Окно настройки блока Bus Selector представлено на рис. 30.

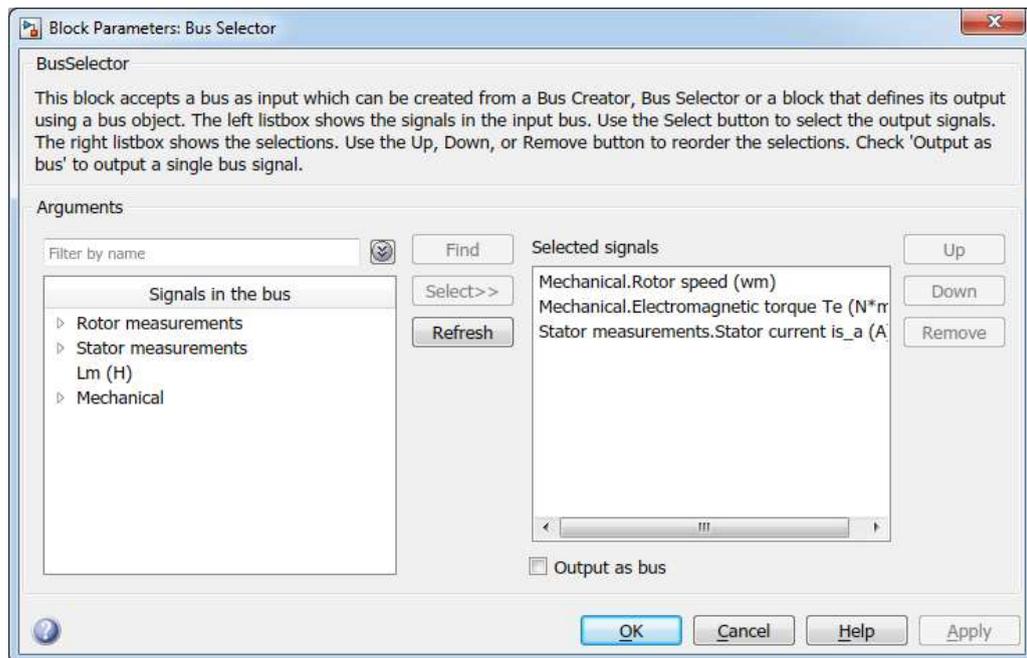


Рисунок 30 - Настройка блока Bus Selector

После настройки всех блоков можно запускать процесс моделирования. На осциллографе Scope5 представлены момент и скорость двигателя на верхнем графике, и ток фазы статора на нижнем. Время пуска двигателя составило примерно 0,2 с, поэтому весь процесс моделирования был запущен на время 0,8 с, чтобы видеть всю картину переходного процесса. Необходимо подобрать время моделирования в вашем случае таким, чтобы весь переходный процесс уместился на графике, аналогично рис. 31. В зависимости от мощности двигателя, время пуска будет отличаться. Но в любом случае скорость должна выйти на установившееся значение, в данном случае скорость будет стремиться выйти на значение скорости идеального холостого хода:

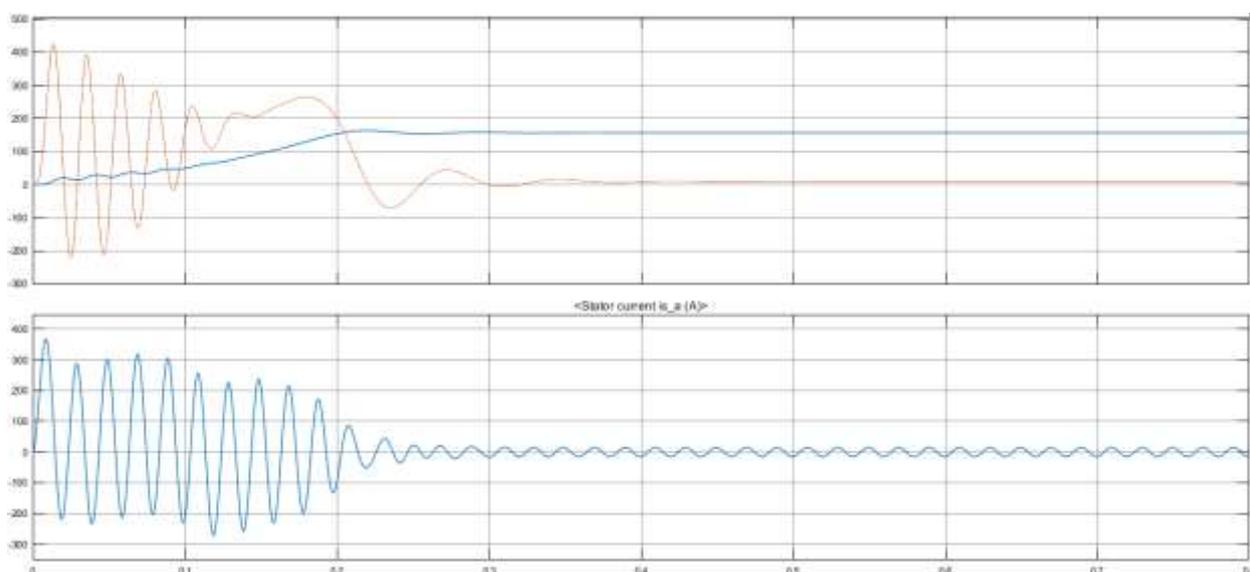


Рисунок 31 - Прямой пуск асинхронного двигателя от сети

Анализ полученных графиков показал, что пуск АД сопровождается броском тока примерно до 380 А и колебаниями момента.

При плавном пуске асинхронного двигателя уменьшается бросок тока, колебания момента, что благоприятно сказывается на механизме, который находится на валу электродвигателя. Для подтверждения этих фактов произведем сначала прямой пуск асинхронного двигателя от сети. Для этого необходимо собрать схему, изображенную на рис. 28.

Для сбора схемы на рис. 28 нам понадобятся следующие блоки: асинхронный двигатель: SimPowerSystems → Machines → Asynchronous

Machine SI Units

Bus Selector: Simulink → Signal Routing → Bus Selector

Фазные обмотки статора необходимо подключить к сети переменного тока RST. Далее введем параметры асинхронного двигателя в окне настроек (рис.38):

Во вкладке Configuration выберем типа ротора (Rotor type) – короткозамкнутый (Squirrel cage). Во вкладке Parameters (рис. 29) вводим параметры схемы замещения асинхронного двигателя, марка которого выбрана ранее. Параметры схемы замещения можно рассчитать, используя известные методики, например: Чернышев А.Ю., Чернышев И.А., Дементьев Ю.Н. Электропривод переменного тока, Томск: Изд-во ТПУ, 2009. - 57 с.

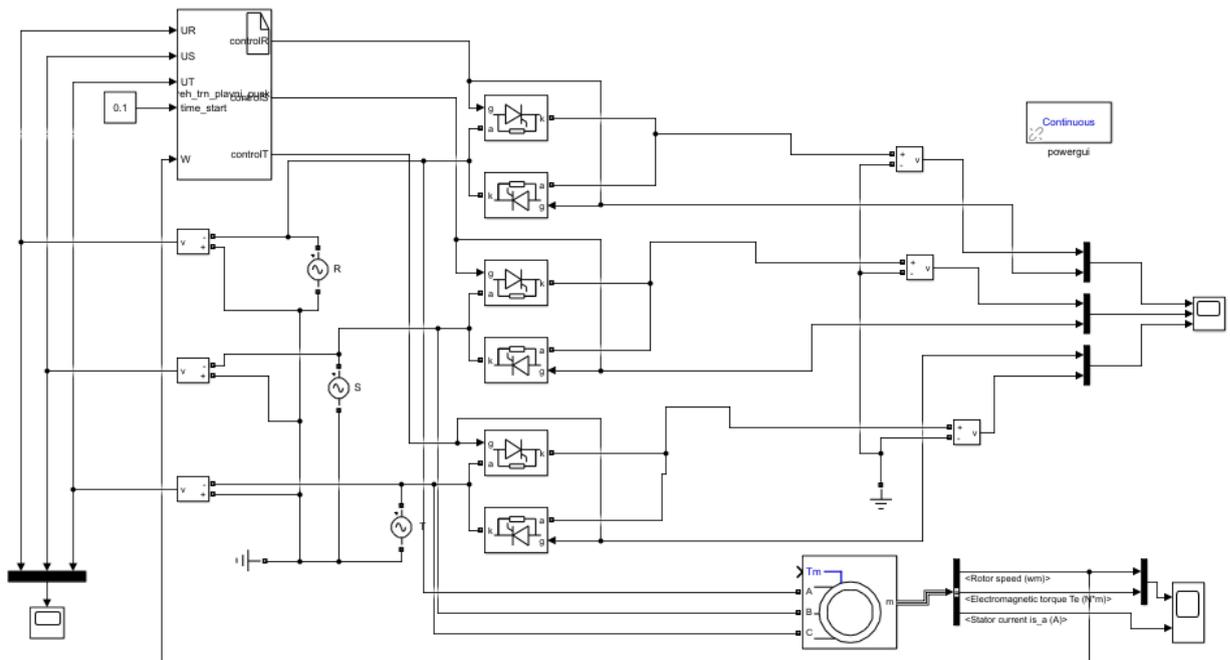


Рисунок 28 - Схема в Matlab для прямого пуска асинхронного двигателя

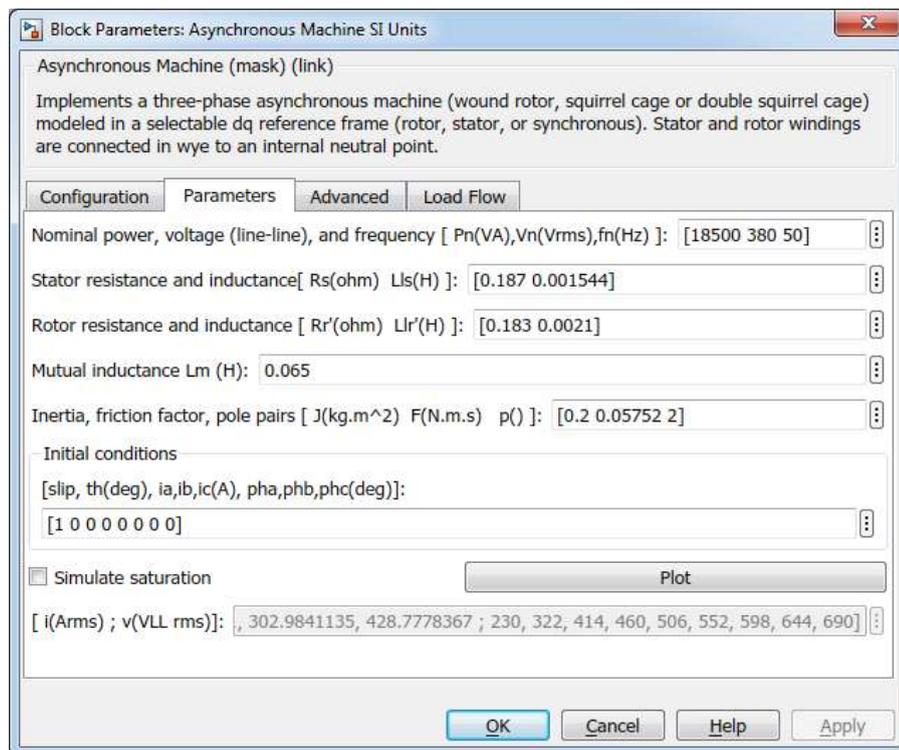


Рисунок 29 - Настройки блока Asynchronous Machine SI Units

Вводим следующие параметры:

$R_s$  – активное сопротивление статорной обмотки, Ом;

$L_{ls}$  – индуктивность рассеяния статорной обмотки, Гн;

$R_r'$  – активное сопротивление ротора, Ом;

$L_{lr}'$  – индуктивность рассеяния ротора, Гн;

$L_m$  – взаимная индуктивность, Гн;

$J$  – момент инерции, кг·м<sup>2</sup>;

$p$  – число пар полюсов.

Далее, настроим блок Bus Selector, который позволяет вывести требуемые параметры асинхронного двигателя. Выведем на графике следующие параметры: скорость вращения вала двигателя, электромагнитный момент и ток в фазе статора. Окно настройки блока Bus Selector представлено на рис. 30.

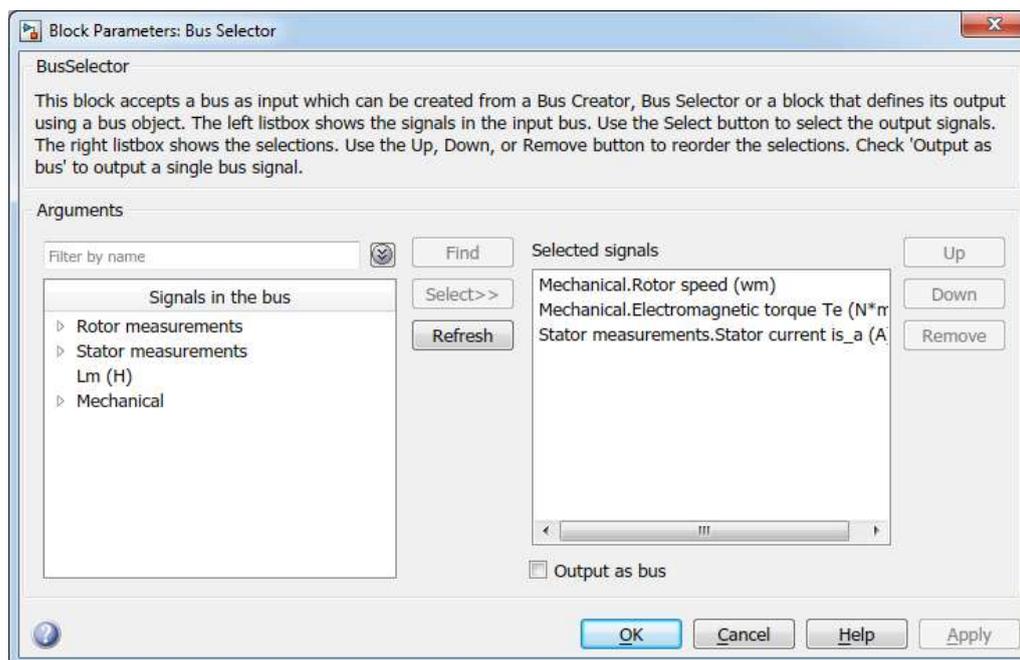


Рисунок 30 - Настройка блока Bus Selector

После настройки всех блоков можно запускать процесс моделирования. На осциллографе Scope5 представлены момент и скорость двигателя на верхнем графике, и ток фазы статора на нижнем. Время пуска двигателя составило примерно 0,2 с, поэтому весь процесс моделирования был запущен на время 0,8 с, чтобы видеть всю картину переходного процесса. Необходимо подобрать время моделирования в вашем случае таким, чтобы весь переходный процесс уместился на графике, аналогично рис. 31. В зависимости от мощности двигателя, время пуска будет отличаться. Но в любом случае скорость должна выйти на установившееся значение, в данном

случае скорость будет стремиться выйти на значение скорости идеального холостого хода:

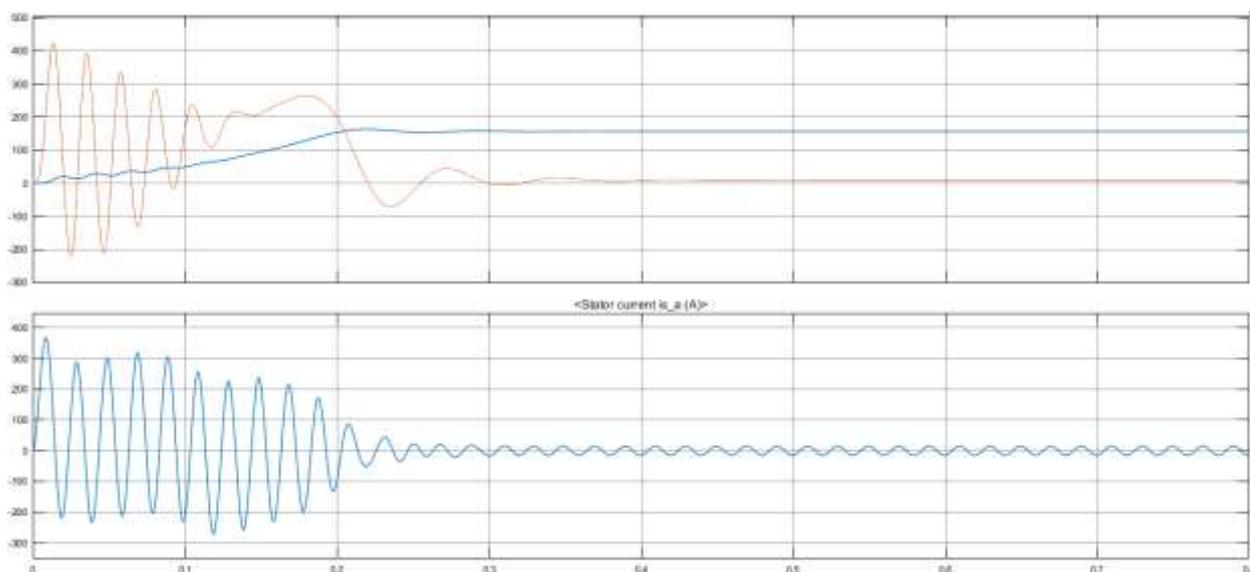


Рисунок 31 - Прямой пуск асинхронного двигателя от сети

Анализ полученных графиков показал, что пуск АД сопровождается броском тока примерно до 380 А и колебаниями момента.

### **3.7. Плавный пуск асинхронного двигателя**

Соберем в программной среде MATLAB систему ТРН-АД для получения плавного пуска асинхронного двигателя. Для этого из предыдущей схемы рис. 32 удалим нагрузку, состоящую из трех активных сопротивлений, и подключим к выходу тиристорного преобразователя асинхронный двигатель с уже введенными данными.

Зная время пуска асинхронного двигателя от сети, полученное в предыдущем разделе, вставим его в блок Constant, тем самым заставим раскрываться тиристоры за время пуска двигателя, в данном случае 0,1 с.

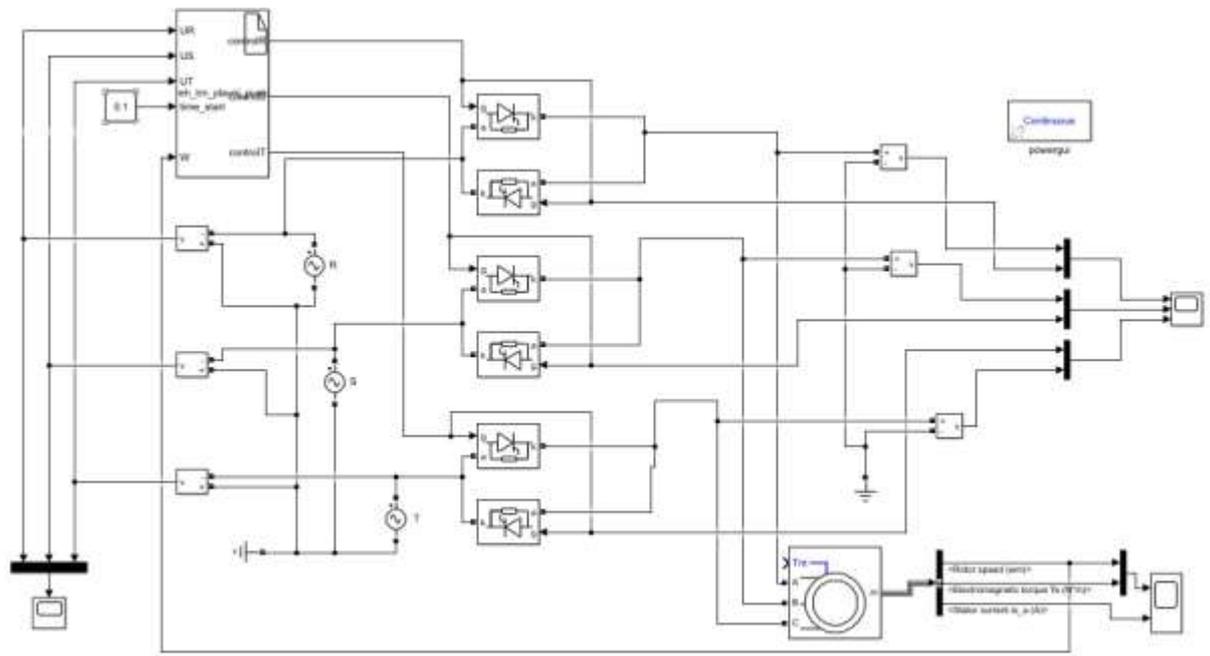


Рисунок 32 - Схема системы ТРН-АД в программной среде MATLAB

Графики скорости, момента и тока при наличии системы ТРН-АД представлены на рис. 33. Как видно из графиков пусковой ток держится примерно на уровне 250 А, что означает, что ток при пуске от ТРН упал примерно на 35 %, по сравнению с прямым пуском.

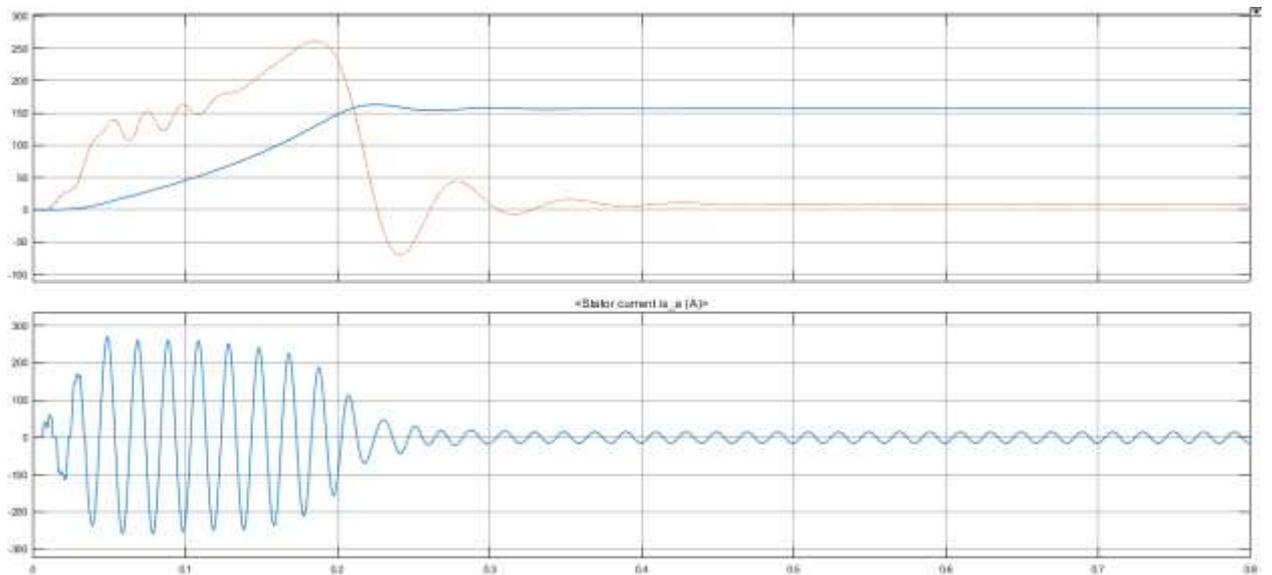


Рисунок 33 - Плавный пуск асинхронного двигателя от ТРН

Клиновная задвижка является реактивной нагрузкой, соответственно необходимо провести плавный пуск с нагрузкой. Реактивную нагрузку моделируют блок Reakt\_Load, данный блок представлен на рисунке 34.

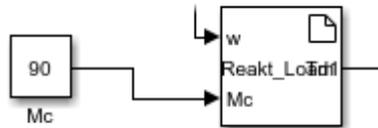


Рисунок 34 - Блок реактивной нагрузки

Код программы для задания реактивной нагрузки приведен ниже:

```
if (w[0]>0) Tm[0] = Mc[0];
if (w[0]<0) Tm[0] = -Mc[0];
if (w[0] == 0) Tm[0] = 0;
```

Блоком  $M_c$  – задается значение нагрузки. Суть работы алгоритма заключается в следующем: в блок реактивной нагрузки приходит мгновенное значение скорости двигателя, если эта скорость больше нуля, тогда нагрузка является положительной, если значение скорости меньше нуля, то нагрузка – отрицательная. Если скорость равна нулю, то и нагрузка равна нулю.

Проведем опыт с пуском двигателя под реактивной нагрузкой и посмотрим, как меняется время, необходимое скорости, чтобы выйти на номинальное значение. На рис. 35 представлен график пуска асинхронного двигателя под реактивной нагрузкой.

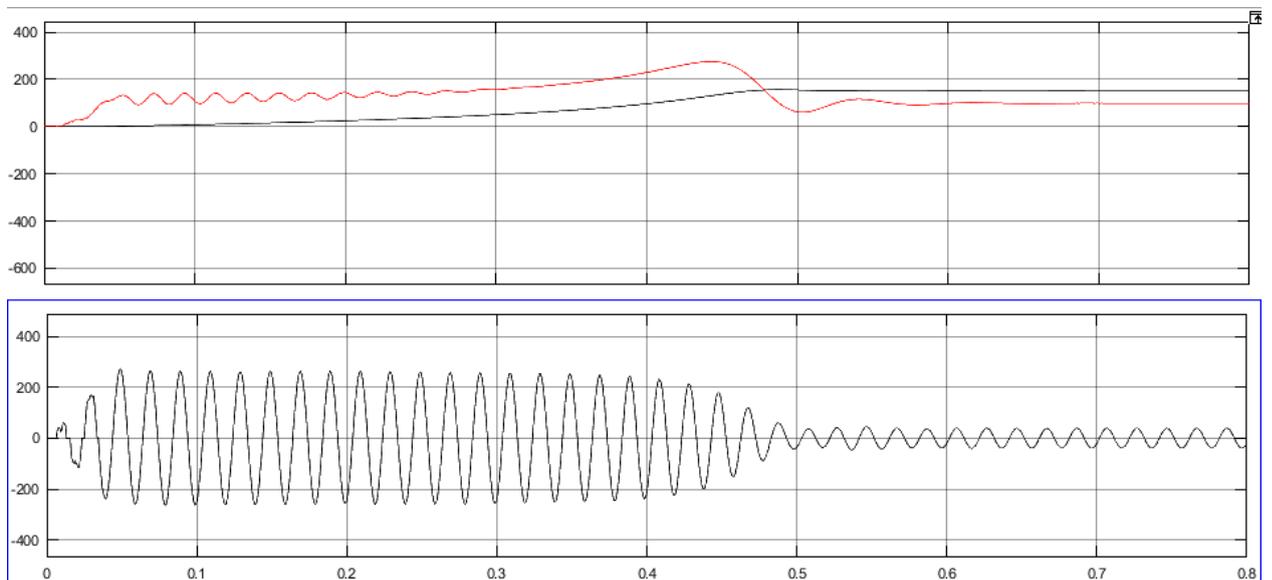


Рисунок 35 - Плавный пуск асинхронного двигателя от ТРН с реактивной нагрузкой.

Время пуска двигателя составило 0.5 с, заключаем, что время пуска увеличилось на 0.2 секунды.

### 3.8. Реверсирование асинхронного двигателя с помощью системы ТРН

Технологический процесс требует изменение направления вращения вала электродвигателя, ввиду того, что исполнительным органом электропривода является клиновая задвижка. Задвижка в силу своего предназначения должна как перекрывать поток нефти, так и возвращаться в исходное открытое положение. Как мы знаем, ротор асинхронного двигателя всегда вращается в сторону вращения поля. Поэтому для изменения направления вращения ротора (реверсирования двигателя) необходимо изменить направление вращения поля, а для этого надо изменить порядок чередования фаз на зажимах двигателя. Это осуществляют путем перемены мест включения двух любых проводов линии на зажимах статорной обмотки двигателя.

Изменим схему в соответствии с требуемой задачей, как показано на рисунке 36: для того чтобы на ходу можно было менять направление движения, добавим 2 дополнительных пары тиристоров внесем определенные изменения в код программы, данный код с изменениями представлен ниже.

```

    unsigned static pilaR = 0, pilaS = 0, pilaT = 0, alpha = 80, timer_st =
0, timer_sd = 0;
    int static prevUR = 0, prevUS = 0, prevUT = 0, prevUB = 0, prevUL = 0;

    timer_sd++;

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

    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;

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

    //wqewq
    if (timer_sd < 18000)
    {
        //wqeeq
        //вперед

```

```

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

//kod
if ((pilaR >=alpha) && (pilaR <=160))
    controlR[0] = 100;
else controlR[0] = 0;
if ((pilaS >=alpha) && (pilaS <=160))
    controlS[0] = 100;
else controlS[0] = 0;
if ((pilaT >=alpha) && (pilaT <=160))
    controlT[0] = 100;
else controlT[0] = 0;

controlB[0] = 0;
controlL[0] = 0;

//конец кода вперед
//назад
}
else if (timer_sd >= 18000)
{
    if (timer_sd == 18000)
        alpha = 80;

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

    if ((pilaR >=alpha) && (pilaR <=160))
        controlR[0] = 100;
    else controlR[0] = 0;
    if ((pilaS >=alpha) && (pilaS <=160))
        controlB[0] = 100;
    else controlB[0] = 0;
    if ((pilaT >=alpha) && (pilaT <=160))
        controlL[0] = 100;
    else controlL[0] = 0;

    controlS[0] = 0;
    controlT[0] = 0;
}

controlA[0] = pilaR;

```

Итоговая схема для реверсирования асинхронного двигателя представлена на рис. 36.

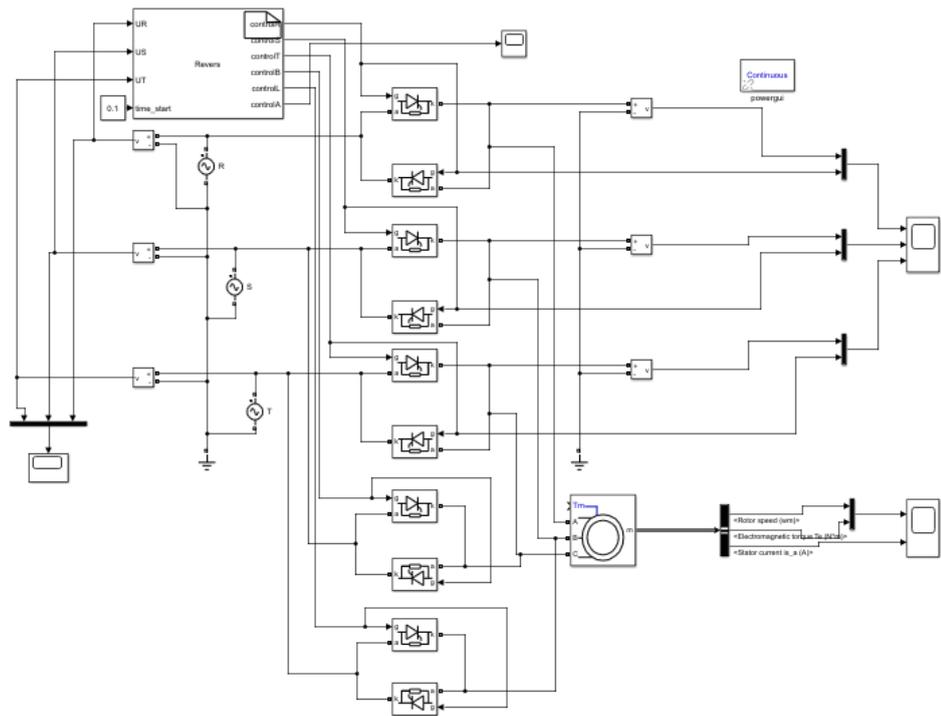


Рисунок 36 – Схема для реверса асинхронного двигателя на базе ТРН

Далее на рис. 37 представлен график скорости при реверсировании двигателя, сначала происходит пуски выход на номинальную скорость. Затем в момент времени 1с происходит реверсирования двигателя, меняется порядок фаз и в следствии этого скорость вращения вала двигателя начинает падать, и в момент времени 1.4 секунды скорость выходит на свое номинальное значение, но теперь вал вращается в противоположном направлении. Можно отметить, что токи во время процесса реверсирования сопоставимы с пусковыми токами двигателя.

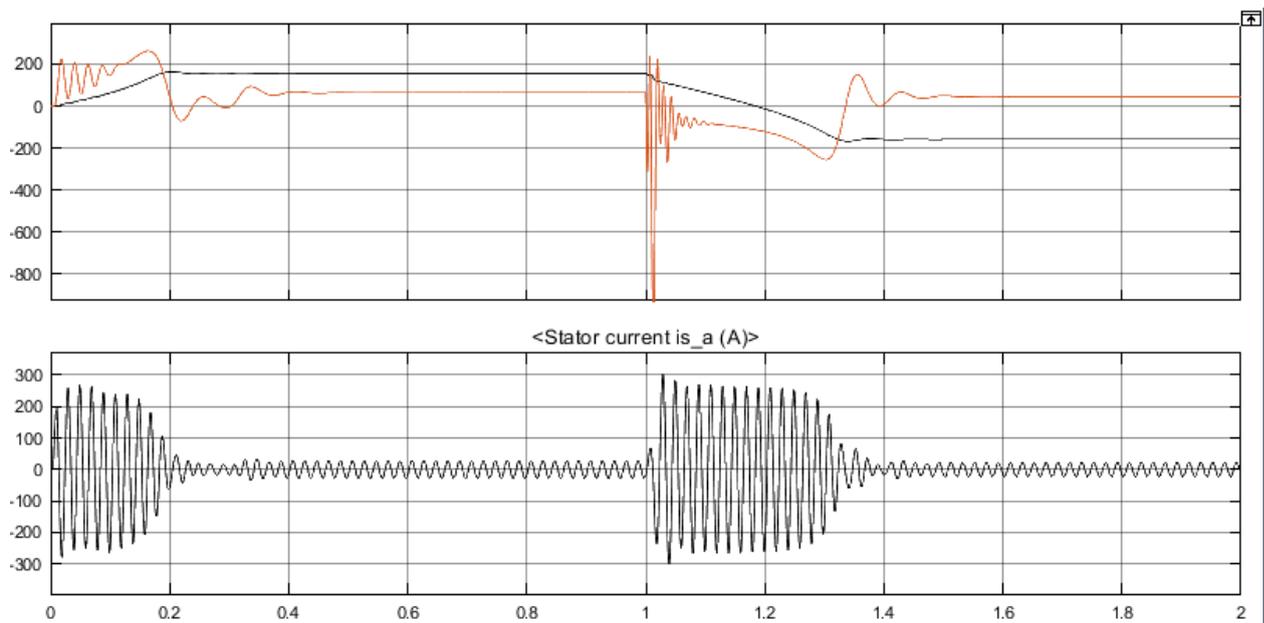


Рисунок 37 – График реверсирования асинхронного двигателя.

### 3.9. Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя с помощью системы ТРН-АД

Зачастую, технологический процесс требует изменение частоты вращения исполнительного органа электропривода. Обычно для этих целей используют свойства самого электродвигателя. Изменять угловую скорость можно тремя способами: изменением частоты  $f_1$ , числа пар полюсов  $p$  и скольжения.

Частоту вращения ротора в принципе можно регулировать изменением напряжения питания  $U_1$ . Однако с увеличением  $U_1$  появляется опасность превышения допустимой температуры нагрева двигателя, а с уменьшением  $U_1$  уменьшается перегрузочная способность двигателя. Так же при таком способе регулирования глубина регулирования скорости относительно небольшая.

Несмотря на это, можно с достаточным качеством регулировать частоту вращения асинхронного двигателя с помощью изменения величины питающего напряжения, имея соответствующий преобразователь электрической энергии (ТРН) и качественную систему управления для него.

В данной работе реализован именно такой способ регулирования скорости вращения АД.

Для получения возможности регулировать скорость вращения АД, была построена схема системы ТРН-АД с обратной связью по скорости. Данная схема изображена на рисунке 38.

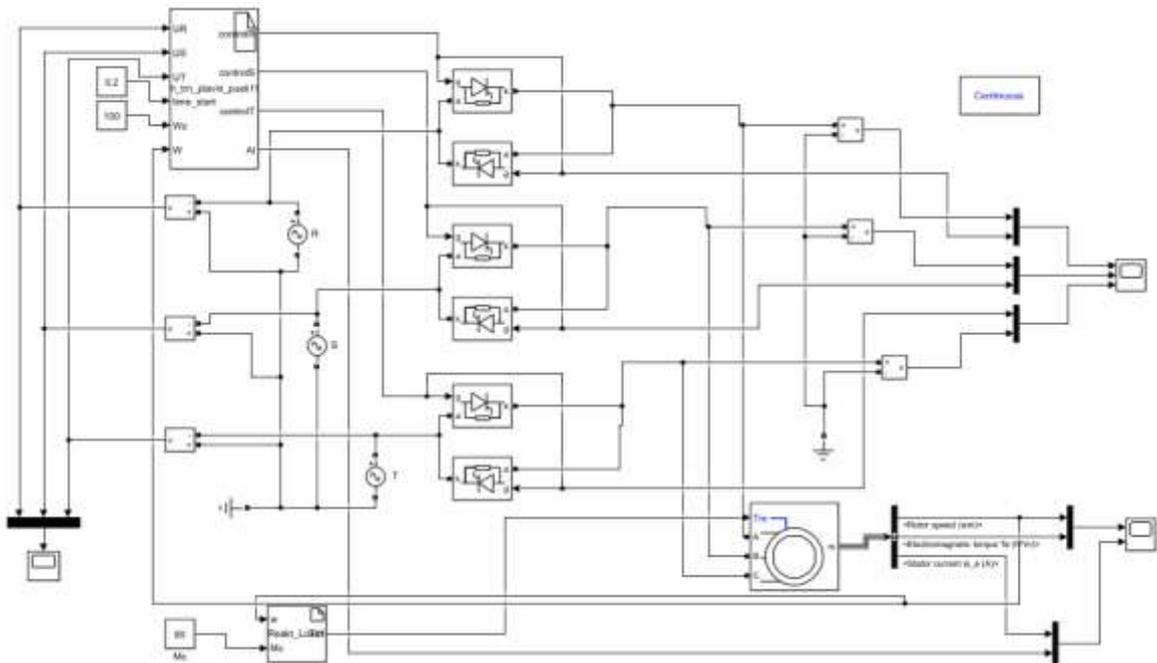


Рисунок 38 - Схема системы ТРН-АД с возможностью регулирования угловой скорости

АД

Полный текст программы для системы управления ТРН с возможностью регулирования скорости приведен ниже:

```
// объявление переменных
int static pilaR = 0, pilaS = 0, pilaT = 0;
int static prevUR=0, prevUS=0, prevUT=0; Al;
unsigned static timer_st = 0;
unsigned static timer = 0, alpha = 120;

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

//бесконечно нарастающий сигнал
pilaR++;
pilaS++;
pilaT++;

//нахождение переходов через ноль
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;

//запоминание текущего значения напряжения
prevUR=UR[0];
prevUS=US[0];
prevUT=UT[0];

//создаем импульс управления для R
if ((pilaR >= alpha) && (pilaR<= 160))
    controlR[0] = 100;
else controlR[0] = 0;

//создаем импульс управления для S
if ((pilaS >= alpha) && (pilaS<= 160))
    controls[0] = 100;
else controls[0] = 0;

//создаем импульс управления для T
if ((pilaT >= alpha) && (pilaT<= 160))
    controlT[0] = 100;
else controlT[0] = 0;

// регулирование скорости

if (timer++ > (18000*0.8))
{
    if (Wz[0] > W[0])
    {
        alpha = 40;
    }
    else
    {
        alpha = 90;
    }
};
Al[0] = alpha;

```

Алгоритм работы данного блока делится на два этапа: плавный пуск АД и регулирование скорости АД. Суть работы алгоритма для первого этапа была описана выше. Второй этап же работает по следующей логике. На блок ТРН подается задание на скорость вращения электродвигателя. При превышении заданного значения скорости, система управления ТРН меняет текущее значения угла управления на 90, уменьшая тем самым напряжение на обмотках асинхронного электродвигателя. Скорость асинхронного электродвигателя начинает падать. В тот момент времени, когда скорость АД стала меньше заданной, система управления ТРН меняет значение угла

управления на 40, подавая большее значение напряжения на обмотки АД. Скорость двигателя начинает возрастать.

Таким образом, происходят колебания скорости АД около заданного значения.

На рисунке 39 приведен график зависимости скорости АД при задании на скорость 100 рад/с, а на рисунке 40 - на 10 рад/с.

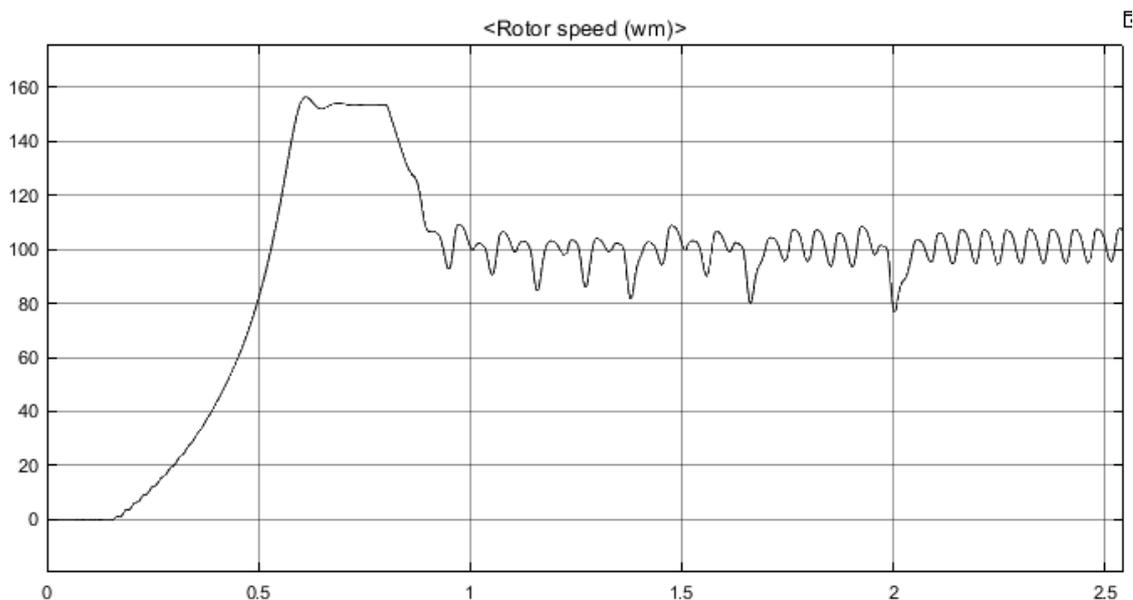


Рисунок 39 - график зависимости скорости АД при задании на скорость 100 рад/с

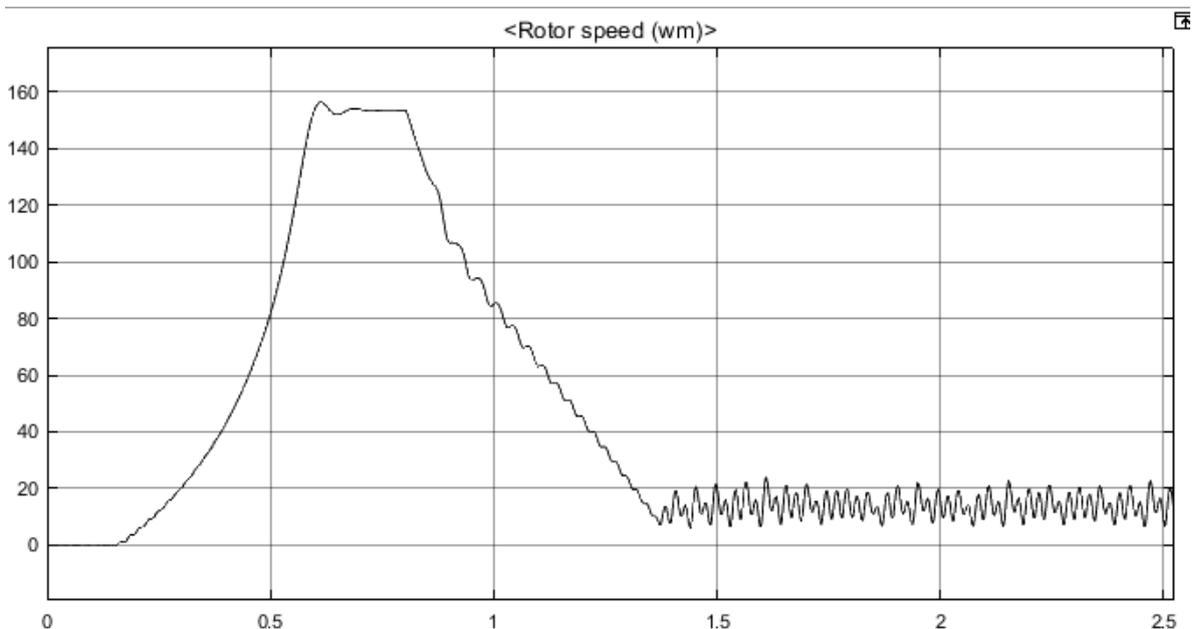


Рисунок 40 - график зависимости скорости АД при задании на скорость 10 рад/с

Из рисунков 39 и 40 можно сделать вывод о том, что диапазон регулирования скорости в построенной системе составляет 1:15.

В данном случае регулирование происходит по мгновенному значению скорости. В реальных системах регулирования скорости нет возможности получить мгновенные значения скорости. Значение скорости с обратной связи в таких случаях является дискретной величиной, и частота дискретизации зависит от качества и стоимости инкрементного энкодера.

Инкрементальные энкодеры предназначены для определения угла поворота вращающихся объектов. Они генерируют последовательный импульсный цифровой код, содержащий информацию относительно угла поворота объекта. Если вал останавливается, то останавливается и передача импульсов. Основным рабочим параметром датчика является количество импульсов за один оборот. Мгновенную величину угла поворота объекта определяют посредством подсчёта импульсов от старта. Для вычисления угловой скорости объекта процессор в тахометре выполняет дифференцирование количества импульсов во времени, таким образом показывая сразу величину скорости, то есть число оборотов в минуту.

Следующим этапом моделирования стало имитация работы энкодера и дискретизация скорости. Для этого в код программы были внесены определенные изменения (код программы приведен ниже).

```
// объявление переменных
int static pilaR = 0, pilaS = 0, pilaT = 0;
int static prevUR=0, prevUS=0, prevUT=0; Al;
unsigned static timer_st = 0, timer_st1 = 0;
unsigned static timer = 0, alpha = 120, Wd = 0;

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

//бесконечно нарастающий сигнал
pilaR++;
pilaS++;
pilaT++;

//нахождение переходов через ноль
```

```

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;

//запоминание текущего значения напряжения
prevUR=UR[0];
prevUS=US[0];
prevUT=UT[0];

//создаем импульс управления для R
if ((pilaR >= alpha) && (pilaR<= 160))
    controlR[0] = 100;
else controlR[0] = 0;

//создаем импульс управления для S
if ((pilaS >= alpha) && (pilaS<= 160))
    controlS[0] = 100;
else controlS[0] = 0;

//создаем импульс управления для T
if ((pilaT >= alpha) && (pilaT<= 160))
    controlT[0] = 100;
else controlT[0] = 0;

if (timer_st1++ > Falpha[0])
{
    timer_st1 = 0;
    Wd = W[0];
    ww[0] = W[0];
}

// регулирование скорости (на 500 Гц работает)
if (timer++ > (18000*0.8))
{
    if (Wz[0] > Wd)
    {
        alpha = 75;
    }
    else
    {
        alpha = 90;
    }
}
Al[0] = alpha;

```

Ниже, на рисунке 41 представлена схема для моделирования работы энкодера и дискретизация скорости.

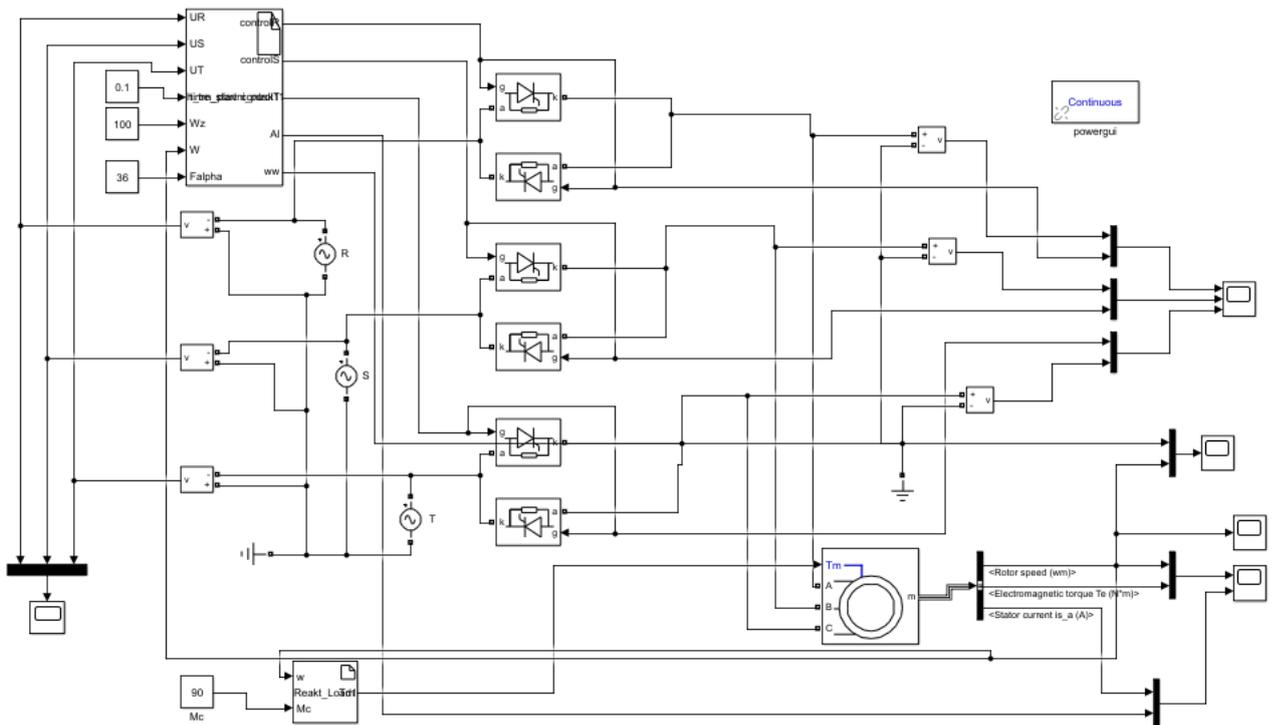


Рисунок 41 – Схема моделирования работы энкодера

Переменная *Falpha* необходима для того, чтобы подобрать модель энкодера для построения реальной системы ТРН-АД с возможностью регулирования частоты вращения АД. В частности, по значению переменной “*Falpha*” можно судить о количестве меток на оборот диска энкодера. Важно подобрать минимальное количество меток, чтобы частота обращения к фактическому значению скорости была достаточной для оптимального поддержания заданной скорости вращения АД. В данном случае переменная *Falpha* равна 36, это соответствует 500 Гц. Скорость, полученная с обратной связи записывалась в отдельную переменную с частотой 500Гц. Данная частота была получена опытным путем. При меньшем значении частоты регулирование скорости вращения не работает.

Далее на рисунках приведены графики при различном задании на скорость. На графиках можно наблюдать значения реальной скорости и той, которая задается дискретными импульсами. Для большей наглядности, приведены увеличенные фрагменты этих графиков.

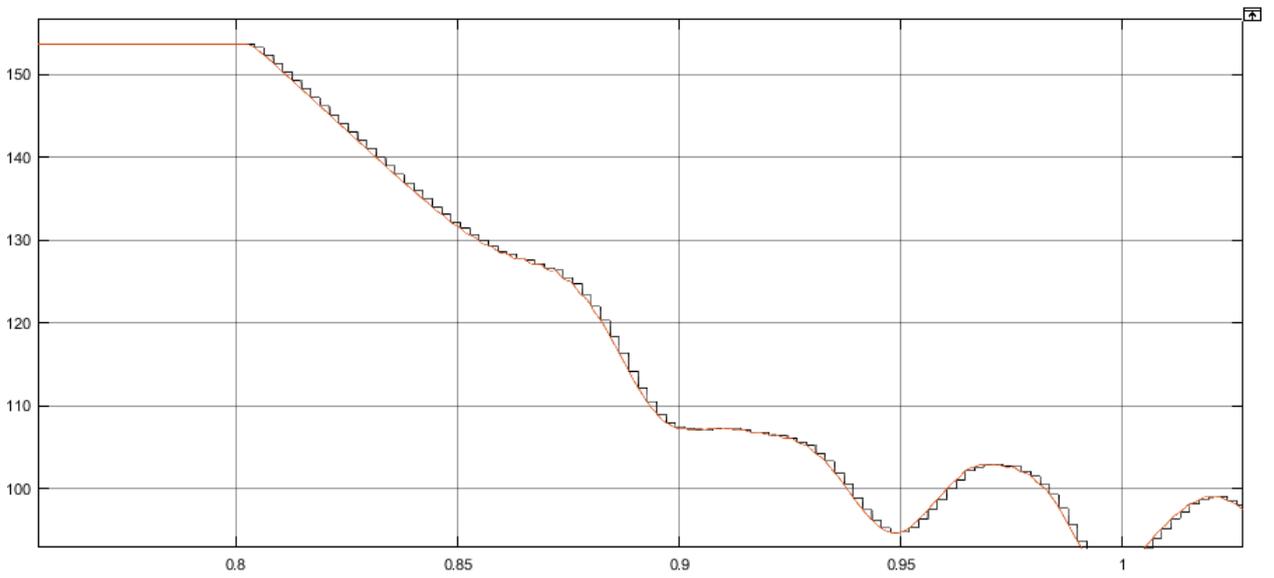
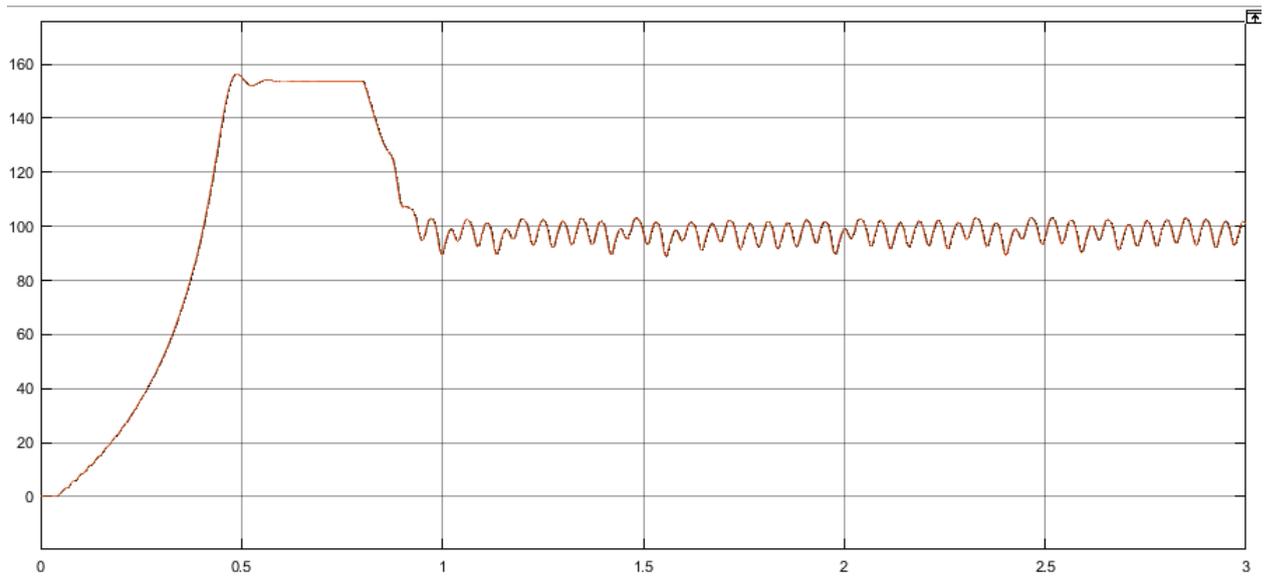
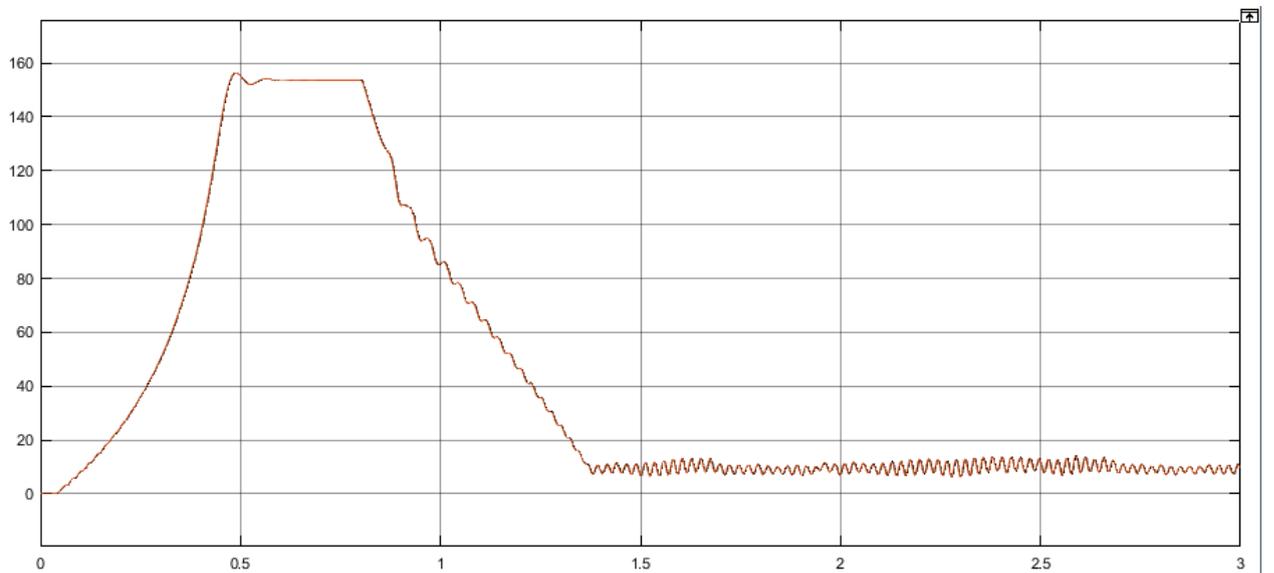


Рисунок 42 – Графики мгновенной и дискретной скорости при задании на 100 рад/с



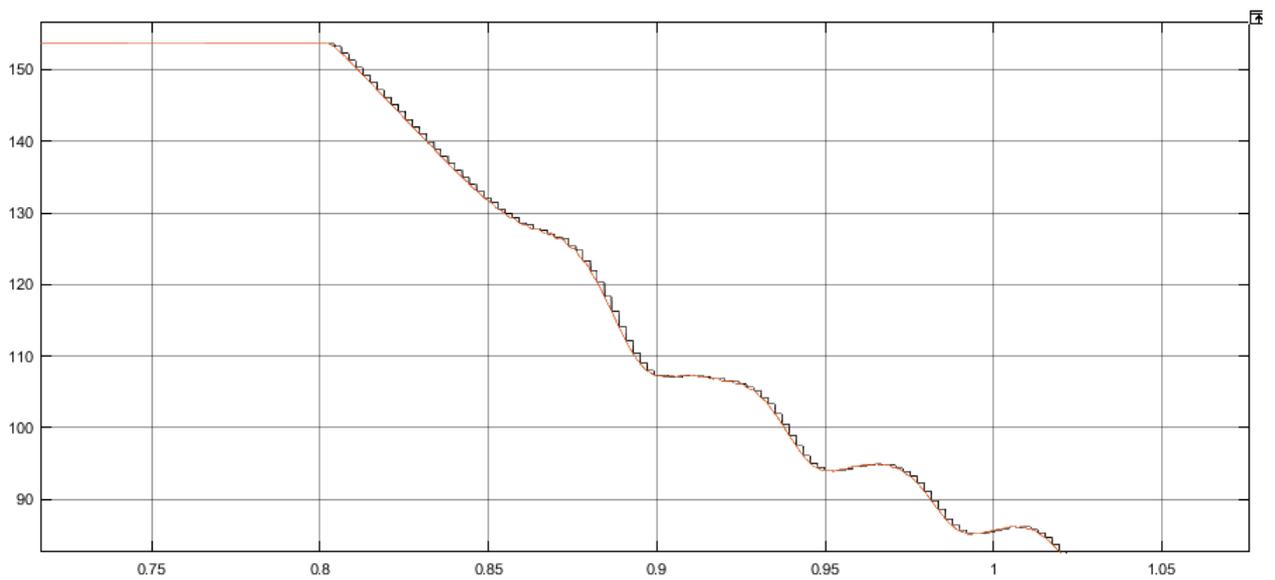


Рисунок 43 – Графики мгновенной и дискретной скорости при задании на 10 рад/с

Как видно из полученных графиков, регулирование скорости при дискретном значении скорости обратной связи, происходит успешно, стоит отметить, что колебание скорости около заданного значения уменьшилось.

#### **4. 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».

### *Предпроектный анализ*

В данной работе объектом исследования является электропривод клиновой задвижки для нефтепровода. Задача нефтепровода - транспортировка нефти от места добычи, то есть нефтепромысла, к предприятию, где эта нефть будет переработана. Отсюда следует, что потенциальными потребителями результатов исследования будут нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие компании.

Преимущества использования задвижек на нефтепроводе очевидны. Задвижка позволит обслуживать отдельные участки нефтепровода, перекрывая поток нефти. Так же с помощью задвижки можно избежать серьезных последствий утечки нефти из нефтепровода.

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

Таким образом, можно сделать вывод о том, что потенциальному потребителю выгодно использовать данный продукт.

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

## 1) Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

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

### А) 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.

### Б) Показатели оценки качества разработки:

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

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка проводится в табличной форме (табл. 2).

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

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Мах. балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5*2)*100%
1	2	3	4	5	6
<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>91,41</b>

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i = 0,07 \cdot 95 + 0,12 \cdot 87 + \dots + 0,04 \cdot 80 = 91,41$$

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

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

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

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

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

По итогам QuaD-анализа разработку можно признать эффективной, так как значение  $P_{cp}$  составило 91,41.

## 2) SWOT- анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой

комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

1. Сильные стороны. Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован. При этом рекомендуется задавать следующие вопросы:

– Какие технические преимущества вы имеете по сравнению с конкурентами?

– Что участники вашего проекта умеют делать лучше всех?

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

2. Слабые стороны. Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами. Чтобы прояснить в каких аспектах вас, возможно, превосходят конкуренты, следует спросить:

– Что можно улучшить?

– Что делается плохо?

– Чего следует избегать?

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

– Какие возможности вы видите на рынке? Проводите поиск свободных ниш, но помните, что свободными они остаются недолго. Благоприятная возможность, увиденная сегодня, может перестать существовать уже через три месяца. Благоприятные возможности могут возникать в силу действия следующих факторов:

а) изменения в технологической сфере и на рынке – как мирового, так и регионального масштаба;

б) изменения правительственной политики в отношении отрасли, где проводится научное исследование;

в) изменения социальных стандартов, профиля населения, стиля жизни и тд.

– В чем состоят благоприятные рыночные возможности?

– Какие интересные тенденции отмечены?

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

– Какие вы видите тенденции, которые могут уничтожить ваш научно-исследовательский проект или сделать его результаты устаревшими?

- Что делают конкуренты?
- Какие препятствия стоят перед вашим проектом (например, изменения в законодательстве, снижение бюджетного финансирования проекта, и т.п.)?
- Изменяются ли требуемые спецификации или стандарты на результаты научного исследования?
- Угрожает ли изменение технологии положению вашего проекта?
- Имеются ли у руководства проекта проблемы с материально-техническим обеспечением?

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>  С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.  С2. Экологичность технологии.  С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.  С4. Повышение производительности труда.  С5. Квалифицированный персонал.  С6. Высокий срок эксплуатации.  С7. Надежность данной системы по сравнению с другими.  С8. Высокое качество продукции.  С9. Простота системы управления.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Отсутствие  Сл3. Меньший диапазон регулирования электропривода</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ  В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт  В3. Снижение стоимости на электроэнергию  В4. Повышение стоимости конкурентных разработок  В5. Развитие технологий в данной отрасли</p>		
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Отсутствие спроса на новые технологии и производства.  У2. Развитая конкуренция технологий производства  У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции  У4. Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос.  У5. Появление новых конкурентных разработок.</p>		

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

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

**Второй этап** состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

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

Таблица 4 - Интерактивная матрица проекта

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

Результаты анализа таблицы:

B2B3B4C1C6C7C9

B1C2C5C7C8C9

Таблица 5 - Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>                  С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.                  С2. Экологичность технологии.                  С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.                  С4.Повышение производительности труда.                  С5. Квалифицированный персонал.                  ...</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>                  Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой                  Сл2. Большой срок выхода на рынок                  Сл3. Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения</p>
<p><b>Возможности:</b>                  В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ                  В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт                  В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследованиях                  В4. Повышение стоимости конкурентных разработок                  В5. Развитие технологий в данной отрасли</p>	<p>B2B3B4C1C6C7C9                  B1C2C5C7C8C9                  B4C1C5C6C7C8C9                  B5C1C3C4C5C6C7C8C9</p>	<p>B5Cл1Cл3</p>
<p><b>Угрозы:</b>                  У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.                  У2. Развитая конкуренция технологий производства                  У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции                  У4.Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос.                  У5. Появление новых конкурентных разработок.</p>	<p>У1С5                  У3С1С3С4С6                  У2С9                  У5С5</p>	<p>У1Сл1                  У2Сл3                  У3Сл1Сл2Сл3                  У4У5Сл1Сл3</p>

Таким образом, для более успешной реализации данного проекта необходимо принять следующие меры:

- упростить работу с оборудованием;
- грамотно спланировать рекламные кампании для более эффективного донесения до потенциальных потребителей преимуществ данного проекта;

- по возможности снизить расходы на изготовления продукта для уменьшения конечной стоимости.

### *Планирование научно-исследовательских работ*

#### 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 (табл.6)

Таблица 6 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

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

Продолжение таблицы 6

	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

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 формула:

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

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

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

$t_{\text{max}i}$  максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой

работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

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

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

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

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

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

#### *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. 7).

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

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

Таблица 7 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожс}$ , 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 САП 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 табл. 7 строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяем различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 8 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ ра бо т	Вид работ	Исполн ители	T к <sup>i</sup> 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	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер	10														
6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер	8														
7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер	12														
8	Расчет предельных характ. системы «преобр.– электродвиг.»	Инженер	5														
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Руководитель	3														
10	Оптимизация САР электропривода	Инженер	10														



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 табл. 9.

Таблица 9 - Расчет основной заработной платы

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

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

научнотехнического персонала, раб. дн. (табл.10).

Таблица 10 - Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника:

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

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

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

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – % от  $Z_{TC}$ );

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

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

предприятию. Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 11.

Таблица 11 - Расчёт основной заработной платы

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

*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).

*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:

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

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

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. Для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2019 году водится пониженная ставка – 28% (п. 6 ч. 1 ст. 58 Закона 212 ФЗ).

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представляем в табличной форме (табл.12).

Таблица 12 - Отчисления во внебюджетные фонды

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

#### *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:

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

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

#### *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 табл.13.

Таблица 13 - 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.

#### *Определение ресурсоэффективности проекта*

Финансовую эффективность проекта можно оценить 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 проводим в виде табличной формы.

Таблица 14 - Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

Вариант схемы	$\Phi_{max}$ , руб.	$\Phi_{pi}$ , руб.	$I_{фин}^{исп.i}$ , о.е.
1	43115,6	43115,6	1
2		32850	0,76
3		30600	0,709

Величина интегрального финансового показателя разработки схемы 3 (электропривод клиновой задвижки магистрального нефтепровода) отражает соответствующее численное удешевление стоимости электропривода при одинаковой мощности. Схема 3 имеет наименьший интегральный показатель среди трёх конкурентных технических решений, и, следовательно, вариант схемы является наиболее финансово эффективным, что является определяющим критерием.

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

Таблица 15 - Сравнительная оценка характеристик проекта

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	5	5
3. Помехоустойчивость	0,10	4	4	4
4. Энергосбережение	0,15	4	4	5
5. Надёжность	0,25	5	5	4
6. Материалоёмкость	0,15	4	4	5
Итого:	1,00	4,5	4,5	4,6

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности выбранной системы:

$$I_p = 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,6.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта по разработке системы ТРН – АД.

В заключении хотелось бы сказать, что в процессе планирования проект был разделён на 15 этапов, которые распределены между руководителем и инженером. По полученным данным построили календарный план проведения проекта, выполненный на основе диаграммы Ганта.

Основной из главных частей анализа является формирование бюджета НТП, в котором отражаются расходы на проектирование, в частности затраты по основной заработной плате исполнителей темы – 182301 руб. и дополнительной – 21876 руб., отчисления во внебюджетные фонды – 11417 руб., накладные расходы – 41521 руб., полный бюджет – 301329 руб.

В завершении работы была доказана ресурсоэффективность технического проекта. Интегральный показатель ресурсоэффективности равен 4,6. Это говорит о соответствии проекта современным требованиям в области электротехники.

На основании вышесказанного можно утверждать о большой практической значимости проекта и востребованности его. Принятые решения позволяют объекту исследования успешно конкурировать на рынке при малых денежных и временных затратах на его разработку.

## **5. Социальная ответственность**

Научно-исследовательская работа направлена на разработку математической модели асинхронного электропривода на базе ТРН клиновой задвижки на базе ТРН в составе нефтепровода. Нефтепровод - это трубопровод, который служит для прокачки нефти. Нефтепровод является самым дешевым, надежным и прибыльным способом транспортировки нефти и нефтепродуктов. По этой причине задача транспортировки нефтепродуктов является актуальным. Нефть транспортируется несколькими способами: морским, железнодорожным, автомобильным, речным и трубопроводным транспортом. Эти способы транспорта отличаются условиями эксплуатации, пропускной способностью, техническими и экономическими показателями. У каждого вида транспорта есть свои параметры, подходящие для перевозки отдельной группы нефтепродуктов.

Во время работы трубопровода возникают ситуации, когда по какой-то причине необходимо прекратить прокачку нефти по трубопроводу. Это может быть либо запланированная остановка для планового технического обслуживания нефтепровода, либо незапланированная остановка (например, в случае чрезвычайной ситуации). Достичь этих целей можно с помощью такого механизма, как задвижка. Задвижки должны располагаться по всей длине трубопровода с определенным интервалом, и при необходимости их можно использовать для блокировки отдельной секции трубопровода.

Учитывая тот факт, что нефтепроводы имеют большую длину, необходимо дистанционное управление открыванием и закрытием задвижек. Для таких целей на этом механизме установлен асинхронный электропривод на базе ТРН. Это поможет в кратчайшие сроки совершать необходимые действия с задвижками. Это серьезно упрощает обслуживание нефтепровода. Кроме того, с помощью электрического привода можно быстро реагировать на чрезвычайные ситуации. Это может значительно снизить последствия аварии на нефтепроводе.

## **5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **5.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства**

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ работник аудитории 121, 8 корпуса ТПУ имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

### **5.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Рабочее место в аудитории 121, 8 корпуса ТПУ должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м<sup>2</sup>, высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м<sup>3</sup> на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом

должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

Рабочее место сотрудника аудитории 121, 8 корпуса ТПУ соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

## **5.2. Производственная безопасность**

Разрабатываемая математическая модель асинхронного электропривода на базе ТРН для клиновой задвижки подразумевает использование электронной вычислительной машины (ЭВМ) и серверного оборудования ВМК РВ ЭЭС, с точки зрения социальной ответственности целесообразно рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке математической модели или работе с оборудованием, а также требования по организации рабочего места.

### **5.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований**

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [2]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы:

Таблица 5.1. Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке программного модуля

Источник фактора, наименование вида работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) Разработка математической модели асинхронного электропривода на базе ТРН для клиновой задвижки с использованием серверного оборудования	<p>1. Повышенный уровень электромагнитных полей [2, 17];</p> <p>2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; [2,3, 17];</p> <p>3. Повышенный уровень шума на рабочем месте; [2, 17];</p> <p>4. Неудовлетворительный микроклимат [2, 17];</p>	<p>1. Опасность поражения электрическим током [2, 17];</p> <p>2. Пожаровзрывоопасность [2, 17].</p>	<p>СанПиН 2.2.1/2.1.1.12 78-03</p> <p>СанПиН 2.2.2.542-96</p> <p>СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03</p> <p>СанПиН 2.2.4.1191-03</p>
2) Работа с ЭВМ	<p>5. Повышенный уровень напряженности электростатического поля [2, 17].</p>		<p>СП 52.13330.201 1</p> <p>СанПиН 2.2.4.548-96</p> <p>СН 2.2.4/2.1.8.56 2-96</p> <p>ГОСТ 30494-2011</p>

## 5.2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов

При разработке математической модели электропривода клиновой задвижки и использование серверного оборудования в аудитории 121, 8 корпуса ТПУ, основным источником потенциально вредных и опасных производственных факторов (ОВПФ) является ЭВМ, возможность поражения электрическим током. Использование серверного оборудования может привести к наличию таких вредных факторов, как повышенный уровень статического электричества, повышенный уровень электромагнитных полей, повышенная напряженность электрического поля.

К основной документации, которая регламентирует вышеперечисленные вредные факторы относится СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к электронно-вычислительным машинам и организации работы":

ЭВМ должны соответствовать требованиям настоящих санитарных правил и каждый их тип подлежит санитарно-эпидемиологической экспертизе с оценкой в испытательных лабораториях, аккредитованных в установленном порядке[4].

Допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) в аудитории 121, 8 корпуса ТПУ [5], создаваемых ЭВМ, не должны превышать значений [5], представленных в таблице 5.2:

Таблица 5.2: Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ

Наименование параметров	Диапазон	ДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2	25 нТл

	кГц - 400 кГц	
Напряженность электростатического поля		60 кВ/м

Уровни ЭМП, ЭСП в аудитории 121, 8 корпуса ТПУ, перечисленные в таблице 5.2. соответствуют нормам.

#### Электробезопасность:

Для предотвращения поражения электрическим током, где размещаются рабочее место с ЭВМ в аудитории 121, 8 корпуса ТПУ, оборудование должно быть оснащено защитным заземлением, занулением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации[16]. Для предупреждения электротравматизма необходимо проводить соответствующие организационные и технические мероприятия: 1) оформление работы нарядом или устным распоряжением; 2) проведение инструктажей и допуск к работе; 3) надзор во время работы. Уровень напряжения для питания ЭВМ в данной аудитории 220 В, для серверного оборудования 380 В. По опасности поражения электрическим током помещение 121, 8 корпуса ТПУ относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18-20°, с влажностью 40-50%) [16].

Основными непосредственными причинами электротравматизма, являются: 1) прикосновение к токоведущим частям электроустановки, находящейся под напряжением; 2) прикосновение к металлическим конструкциям электроустановок, находящимся под напряжением; 3) ошибочное включение электроустановки или несогласованных действий обслуживающего персонала; 4) поражение шаговым напряжением и др.

Основными техническими средствами защиты, согласно ПУЭ, являются защитное заземление, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электрозащитные средства, знаки и плакаты безопасности. Наличие таких средств защиты

предусмотрено в рабочей зоне. В целях профилактики периодически проводится инструктаж работников по технике безопасности.

Не следует размещать рабочие места с ЭВМ вблизи силовых кабелей, технологического оборудования, создающего помехи в работе ЭВМ[4].

Разработанные мероприятия обеспечивают безопасную эксплуатацию электроустановок в аудитории 121, 8 корпуса ТПУ.

#### Освещение:

В аудитории 121, 8 корпуса ТПУ имеется естественное (боковое двухстороннее) и искусственное освещение. Рабочие столы размещены таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ЭВМ осуществляется системой общего равномерного освещения. В аудитории 121, 8 корпуса, в случаях работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк [6]. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [6].

В качестве источников света применяются светодиодные светильники или металлогалогенные лампы (используются в качестве местного освещения) [6].

Таблица 5.4. Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения помещений жилых зданий [6]

Помещение	Рабочая поверхность	Естественное освещение	Совмещенное освещение	Искусственное освещение
		КЕО $e_n$ , %	КЕО $e_n$ , %	

	сть и плоскост ь п лоскость нормиро вания КЕО и освещен ности и высота плоскост и над полом, м	При верхнем или комбиниру ванном освещении	Г ри боково м освещ ении	При верхнем или комбиниру ванном освещении	Г ри боково м освещ ении	О свещенн ость рабочих поверхно стей, лк	П оказате ль дискон форт М, не более	Ко эффициен т пульсаци и К <sub>п</sub> , %, не более
К абинет ы	Г- 0,0	3,0	1 ,0	1,8	0 ,6	30 0	-	≤5 %(работа с ЭВМ) ≤2 0%(при работе с документ ацией)

Согласно [17] освещение в аудитории 121 8 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

### Шум

При работе с ЭВМ в аудитории 121, 8 корпуса ТПУ характер шума – широкополосный с непрерывным спектром более 1 октавы.

Таблица 5.5. Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест [8]

Вид трудовой	Уровни звукового давления, дБ, в	Уровни
--------------	----------------------------------	--------

пп.	деятельности, рабочее место	октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								звук и эквивалентные уровни звука ( дБА)	
		1,5	3	25	50	00	000	000	000		000
	2								0	1	12
	Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно- конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	6	1	1	4	9	5	2	0	8	50

Согласно [17] уровень шума в аудитории 121, 8 корпуса ТПУ не более

80 дБА и соответствует нормам.

### Микроклимат

Для создания и автоматического поддержания в аудитории 121, 8 корпуса ТПУ независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Аудитория 121, 8 корпуса ТПУ является помещением I б категории. Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) [7]

Таблица 5.6. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Пе риод года	Катег . работ по уровню энер- гозатрат	Темпер атура воздуха, °С	Темпера тура поверхностей, °С	Отно с. влажность воздуха, %	Ск орость движения воздуха, м/с
Хо лодный	Iб	21-23	20-24	40-60	0,1
Те плый	Iб	22-24	21-25	40-60	0,1

Таблица 5.7. Допустимые величины интенсивности теплового облучения

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> , не более
50 и более	35

25-50	70
не более 25	100

В аудитории проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ЭВМ.

Согласно [17] микроклимат аудитории 121, 8 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

### **5.3. Экологическая безопасность**

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

#### **5.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

Математическая модель асинхронного электропривода на базе ТРН для клиновой задвижки –является программным алгоритмом и не наносит вреда окружающей среде. С точки зрения влияния на окружающую среду можно рассмотреть влияние серверного оборудования при его утилизации.

Большинство компьютерной техники содержит бериллий, кадмий, мышьяк, поливинилхлорид, ртуть, свинец, фталаты, огнезащитные составы на основе брома и редкоземельные минералы [44]. Это очень вредные вещества, которые не должны попадать на свалку после истечения срока использования, а должны правильно утилизироваться.

Утилизация компьютерного оборудования осуществляется по специально разработанной схеме, которая должна соблюдаться в организациях:

1. На первом этапе необходимо создать комиссию, задача которой заключается в принятии решений по списанию морально устаревшей или не рабочей техники, каждый образец рассматривается с технической точки зрения.

2. Разрабатывается приказ о списании устройств. Для проведения экспертизы привлекается квалифицированное стороннее лицо или организация.

3. Составляется акт утилизации, основанного на результатах технического анализа, который подтверждает негодность оборудования для дальнейшего применения.

4. Формируется приказ на утилизацию. Все сопутствующие расходы должны отображаться в бухгалтерии.

5. Утилизацию оргтехники обязательно должна осуществлять специализированная фирма.

6. Получается специальная официальной формы, которая подтвердит успешность уничтожения электронного мусора.

После оформления всех необходимых документов, компьютерная техника вывозится со склада на перерабатывающую фабрику. Все полученные в ходе переработки материалы вторично используются в различных производственных процессах. [9]

### **5.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду**

Процесс исследования представляет из себя работу с информацией, такой как технологическая литература, статьи, ГОСТы и нормативно-техническая документация, а также разработка математической модели с помощью различных программных комплексов. Таким образом процесс исследования не имеет влияния негативных факторов на окружающую среду.

## **5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС**

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 ЧС - это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим

бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

1. Пожары, взрывы;
2. Внезапное обрушение зданий, сооружений;
3. Геофизические опасные явления (землетрясения);
4. Метеорологические и агрометеорологические опасные явления;

Так как объект исследований представляет из себя математическую модель, работающий в программном приложении, то наиболее вероятной ЧС в данном случае можно назвать пожар в аудитории с серверным оборудованием. В серверной комнате применяется дорогостоящее оборудование, не горючие и не выделяющие дым кабели. Таким образом возникновение пожаров происходит из-за человеческого фактора, в частности, это несоблюдение правил пожарной безопасности. К примеру, замыкание электропроводки - в большинстве случаев тоже человеческий фактор. Соблюдение современных норм пожарной безопасности позволяет исключить возникновение пожара в серверной комнате.

– Согласно СП 5.13130.2009 предел огнестойкости серверной должен быть следующим: перегородки - не менее EI 45, стены и перекрытия - не менее REI 45. Т.е. в условиях пожара помещение должно оставаться герметичным в течение 45 минут, препятствуя дальнейшему распространению огня.

– Помещение серверной должно быть отдельным помещением, функционально не совмещенным с другими помещениями. К примеру, не допускается в помещении серверной организовывать мини-склад оборудования или канцелярских товаров.

– При разработке проекта серверной необходимо учесть, что автоматическая установка пожаротушения (АУПТ) должна быть обеспечена электропитанием по первой категории (п. 15.1 СП 5.13130.2009).

– Согласно СП 5.13130.2009 в системах воздуховодов общеобменной вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования воздуха защищаемых помещений следует предусматривать автоматически закрывающиеся при обнаружении пожара воздушные затворы (заслонки или противопожарные клапаны).

#### **5.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС**

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в помещении 121, 8 корпуса ТПУ. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара:

1) Неисправное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.

2) Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов.

3) Перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике

безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);
- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;
- обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода.

Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Аудитория 121, 8 корпуса ТПУ оснащена первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-3 1шт., ОП-3, 1шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е.).

Таблица 5.8 – Типы используемых огнетушителей при пожаре в электроустановках

Напряжение, кВ	Тип огнетушителя (марка)
До 1,0	порошковый (серии ОП)

До 10,0	углекислотный (серии ОУ)
---------	--------------------------

Согласно НПБ 105-03 помещение, предназначенное для проектирования и использования результатов проекта, относится к типу П-2а.

Таблица 5.9. Категории помещений по пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
П-2а	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр.

В корпусе 8 ТПУ имеется пожарная автоматика, сигнализация. В случае возникновения загорания необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения (на начальной стадии) и обеспечить срочную эвакуацию студентов и сотрудников в соответствии с планом эвакуации.



Рисунок 3. План эвакуации людей на случай пожара.

## **Заключение**

Целью данной работы являлось построение системы управления клиновой задвижки на базе ТРН-АД.

В первой главе был описан технологический процесс перекачки нефти, обзор различных видов задвижек и электрических преобразователей для электроприводов. Электроприводы позволяют управлять задвижками дистанционно.

Во второй главе был выбран электропривод для клиновой задвижки исходя из заданного значения давления в нефтепроводе. В данной работе был выбран электропривод «ЭПЦ-20000», данный привод предназначен для местного и дистанционного управления запорной арматурой магистральных нефтепроводов. ЭПЦ-20000 комплектуется асинхронным двигателем «ДАТЭК-350-04», параметры этого двигателя являются закрытой информацией, в силу этого был выбран аналог АИР 160 М4. Рассмотрен порядок работы изделия в автоматическом режиме от электродвигателя, рассчитаны параметры для схемы замещения асинхронного двигателя. Были получены статические характеристики электродвигателя. А именно семейство механических характеристик и электромеханические характеристики тока статора и ротора.

В третьей главе, основываясь на результатах прошлой главы, была построена имитационная модель системы ТРН – АД в программной среде MATLAB Simulink. Ключевым элементом данной системы является блок «S-Function Builder», данный блок позволяет интегрировать программный код на языке программирования С в модель Simulink, это позволяет значительно расширить возможности стандартной библиотеки MATLAB.

Для имитации работы асинхронного двигателя использовался блок Asynchronous Machine SI Units из стандартной библиотеки. Параметры этого двигателя были внесены в блок Asynchronous Machine SI Units.

Был смоделирован процесс пуска АД от сети и при помощи системы ТРН (плавный пуск), если сравнить полученные графики можно сделать

вывод, что при плавном пуске ток и момент значительно меньше. Это приводит к значительному увеличению ресурса электрической и механической частей электропривода. Так же был проведен плавный пуск двигателя под нагрузкой, можно отметить увеличение времени пуска АД.

Учитывая, что данный электропривод используется для управления клиновой задвижкой, в MATLAB была собрана и смоделирована схема для реверсирования АД. Были получены графики реверсирования АД, можно сделать вывод о том, что реверс асинхронного двигателя происходит успешно. Время необходимое на реверсирование – 0,4 секунды колебания тока и момента при реверсе сопоставимы с пусковым током и моментом.

В модели была реализована возможность регулирования скорости с помощью тиристорного регулятора напряжения. Это позволяет расширить возможности применения системы ТРН-АД. Была получена нижняя граница регулирования скорости, она равна 10 рад/с. Так же был выявлен максимальный диапазон регулирования скорости, который равен 1:15. Была смоделирована работа энкодера и получены графики регулирования скорости.

В четвертой главе в процессе планирования проект был разделён на 15 этапов, которые распределены между руководителем и инженером. По полученным данным построили календарный план проведения проекта, выполненный на основе диаграммы Ганта.

Основной из главных частей анализа является формирование бюджета НТП, в котором отражаются расходы на проектирование, в частности затраты по основной заработной плате исполнителей темы – 182301 руб. и дополнительной – 21876 руб., отчисления во внебюджетные фонды – 11417 руб., накладные расходы – 41521 руб., полный бюджет – 301329 руб.

В завершении работы была доказана ресурсоэффективность технического проекта. Интегральный показатель ресурсоэффективности равен 4,6. Это говорит о соответствии проекта современным требованиям в области электротехники.

На основании вышесказанного можно утверждать о большой практической значимости проекта и востребованности его. Принятые решения позволяют объекту исследования успешно конкурировать на рынке при малых денежных и временных затратах на его разработку.

## 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.: Стандартиформ, 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. Правила устройства электроустановок (ПУЭ);
15. Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда»;
16. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация. Вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»;
17. СН 2.2.4/2.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»;
18. РД 153-39.4-114-01 «Правила ликвидации аварий и повреждений на магистральных нефтепроводах»;
19. РД 39-00147105-006-97 «Инструкция по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов»;
20. РД 153-39.4-056-00 «Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов»;



## Приложение А

### Section of the master's thesis in a foreign language

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Сидоренко Дмитрий Олегович		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н		

Консультант – лингвист ИШЭ ИЯЭИ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Токмашев Денис Михайлович	к.ф.н		

## **Introduction**

Oil transportation is an important problem nowadays because of the distance between oil refining and oilfield. There are several ways to deliver oil from the oilfield to oil refining: automobile, railway, sea transport and pipeline. Each type of transport has own advantages and disadvantages.

The most reliable, ecological and economical way of oil transportation is a pipeline. The oil can be delivered constantly to the oil refining by the pipeline thus there is no need of oil storages.

If it is necessary to stop the pipeline work because of the accident or pipeline service, the valve mechanism allows to close a separate section of the pipeline.

There is a demand for remote control of the pipeline valve due the distance between the pipeline and locality, but the electric drive installed on the pipe can solve this problem. This solution permits to simplify the pipeline exploitation and minimize the possibility of an oil pipeline accident.

The aim of the final thesis is to develop the electric drive valve control system for a wedge gate by simulation of transient processes in the MATLAB Simulink software.

### **1. The technological process of oil pumping**

#### **1.1. The description of the technological process of oil pumping**

The oil flows through the pipeline due to the pressure difference between the beginning and the end of the pipeline. Pump stations that develop a pressure difference are located on the pipeline at a distance of 70-150 km from each other. The speed of oil through the pipeline is 3 meter per second. Internal diameter of the pipeline can range from 100 mm to 1400 mm. The pipeline throughput with a diameter of 1200 mm is 80-90 million tons per year [1].

The high plastic steel that could withstand chemical, mechanical and thermal

impacts is used for pipelines manufacture. The reinforced plastic is more technological material nowadays. Such material does not rust, so has almost unlimited lifetime.

The pipeline can be ground and underground. The advantage of ground pipeline is that it can be assembled and exploit easily. The underground pipeline is more protected from external effects, so it is more durable.

The valve is placed on the pipeline at a distance of 10-30 km in order to repair or operate with any section of the pipeline. A part of pipeline can be shut off by valve in case of an accident. Thus, it can prevent serious consequences and eliminate accidents.

## **1.2. The overview of valve types**

A valve consists of a body and lid, which form the cavity of the working environment [2]. There is an element called latch mechanism inside the cavity that provides closing of fluid flow. The lid can be fixed to the body in one of three ways: flanged, coupling and welding.

A "saddle" is placed in the body to create maximum sealing during the closing of the valve. The shutter sealant adjoins to the body sealant. Shutter movement is provided by a rod or spindle.

There are different construction types of valves.

### *1. Wedge gate valve*

The saddles of wedge gate valves are placed at an angle. The shutter is crafted in the shape of a wedge.

The shutter enters tightly the gap between the saddles while closing that provides good sealing. Simple design of the wedge gate valve allows to use it in different conditions. Beside the wedge gate valve has a small hydraulic resistance which is especially appreciated in main pipelines. The high construction depth can

be attributed to disadvantages of the construction. Figure 1 shows the structure of wedge gate valves.

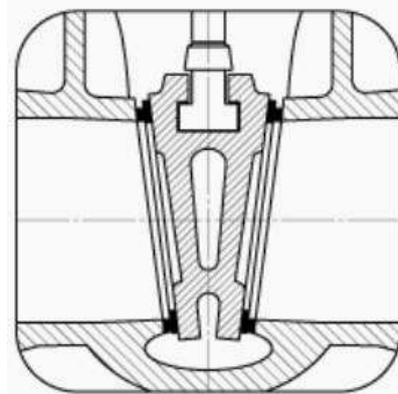


Figure1-Wedge gate valve

## 2. *Parallel valves*

Saddle surfaces in the parallel valve are perpendicular to the axis of flow. The parallel gate valve is based on the principle of wedging just like the wedge gate valve. The wedge is located between the shutter plates only in the case of parallel valve. Figure 2 shows the structure of the parallel gate valves.

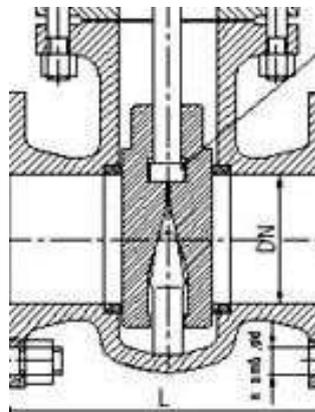


Figure2-Parallel gate valve

## 3. *Gate valve*

The metal plate of small thickness which can cut various inclusion in working environment is used as a shut-off element in the gate valve. This gate valve property permits to use it for closing the working environment which has high viscosity or any inclusion.

The depth of gate valve is smaller than all other types of valves, which considerably saves space in the utility rooms. The disadvantages of gate valves are short lifetime of sealing surfaces [3]. Figure 3 shows the construction of gate valve.



Figure3 - Gate valve

#### 4. *Pinch valves*

The working medium goes through a flexible pipe in pinch valve, which is pinched by a valve spindle if needed. This design has a full cross section. It means the pipe diameter corresponds to the diameter of inlet and outlet pipes. The working area is completely isolated from the environment.

The disadvantage of the design is that the flexible tube gradually becomes worse. Moreover, the working area temperature is determined when the pipe can hold out it. Thus, it limits the use of such design valves. Figure 4 shows the pinch valve construction.

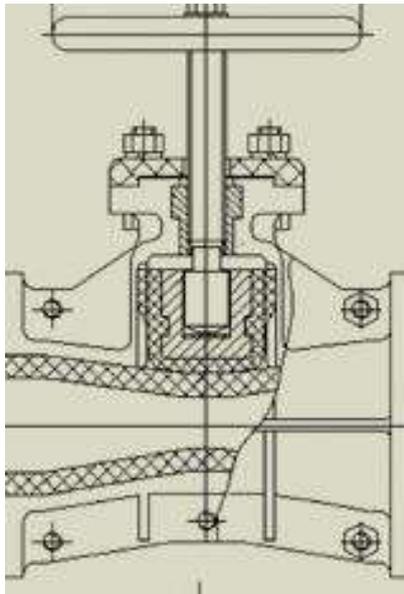


Figure4 - Pinch valve

### 1.3. Overview of electric converters

The electric drive is advisable to use in the valves construction for the valve remote control. This technical solution permits to reduce the pipeline maintenance work significantly. It causes the fact that there is no need of direct human participation for closing or opening valves. The shutter can be used by the electric valve at a considerable distance from it so it is very helpful in oil and oil products transportation. Also the application of electric drive systems of valves allows you to automate the repair processes and exploitation of pipeline sections.

Some variables that characterize the work of the electric drive should be regulated to provide the required modes of the electric drive operation. Such variables (coordinates) are, for example, speed, acceleration, the position of the executive body or other variables, electric currents in electric circuits of the electric drive, torque on the shaft, etc. The power energy converter responds changing the parameters of electric drive.

The power converters can be performed on various electric components, namely using electrical machines, magnetic amplifiers, ionic and semiconducting elements. Modern converters are generally solid, and they use mostly power transistors, diodes, thyristors and their varieties. There are several types of

converters [4]. Now we need to consider them.

### 1. Controlled and uncontrolled rectifiers

They convert alternating current (AC) voltage into direct current (DC) voltage. The uncontrolled rectifier does not provide power voltage regulation of the electric drive and carried out on the one-way conduction uncontrolled semiconductor devices (diodes). The controlled rectifiers are performed on thyristors and allow to control the voltage on the electric drive due to a certain thyristor control algorithm.

The controlled rectifiers circuit and operation principle of the circuit is shown in Figure 5.

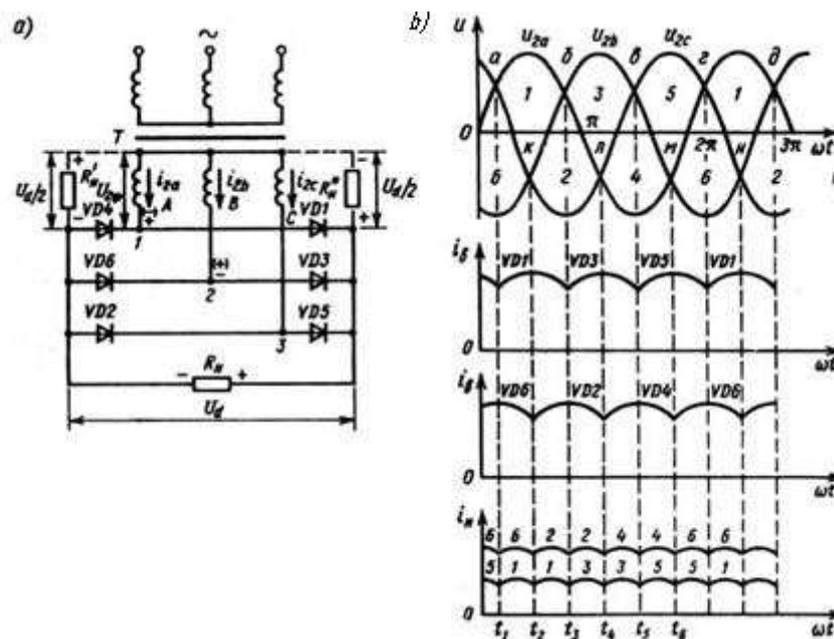


Figure5 - Uncontrolled rectifier: a) circuit, b) principle of operation

### 2. Inverters

Inverters convert DC to AC voltage. The autonomous voltage inverters and autonomous current inverters are the most widespread. Autonomous voltage inverters have a rigid characteristic. Output voltage does not change almost after changing the load current. Therefore the autonomous voltage inverters have the

electromotive force (EMF) source properties.

Also the autonomous current inverters have a soft output characteristic and have current source properties.

### 3. AC frequency converters

Frequency converter (FC) is an electronic or electromechanical device that converts alternating current (AC) of one frequency to alternating current of another frequency. There are two types of frequency converters: cycloconverter, which allows changing the frequency down only from the standard value; frequency converter with an intermediate DC link, which permits to change the frequency from the default value down and up. Naturally, second type is more widespread in the electric drive.

Figure 6 shows the FC circuit and the mechanical characteristics of the motor when the frequency is changed.

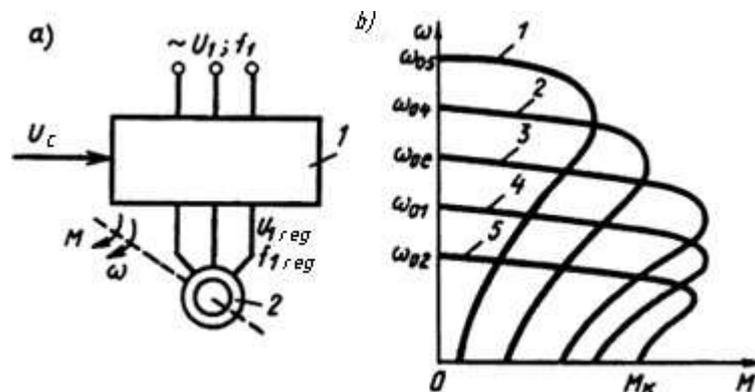


Figure 6 - Frequency converter: a) electrical circuit, b) principle of operation

### 4. Voltage converters

AC voltage conversion can be realized by using a thyristor voltage regulator (TVR).

The control of coordinates in the in static and dynamic modes with good performance is performed by the variation of voltage supplied to the induction motor stator. This method of control provides economical motor operation modes.

The TVR circuit and mechanical characteristics of the electric drive for changing the supply voltage are shown on Figure 7.

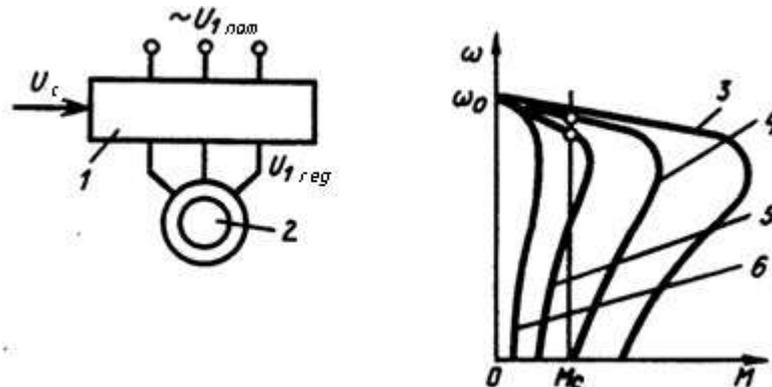


Figure7 - TVR circuit and TVR-AM characteristics

There is a voltage regulator for AM coordinate regulation between the line of AC with a nominal voltage and motor stator (Figure 7). Its output voltage is changed by applying small control signal within the range of the supply voltage down to zero. Wherein the frequency of voltage does not change.

##### 5. *DC pulse voltage converters with various DC output voltage modulation*

The power semiconductor switches are used in this converters. They work in pulse mode.

The operation principle of pulse converters based on modulation of power source voltage. The pulse width modulation (PWM) involves changing the duration of voltage pulses at a constant PWM frequency.

The pulse voltage converter operating principle is shown in Figure 8.

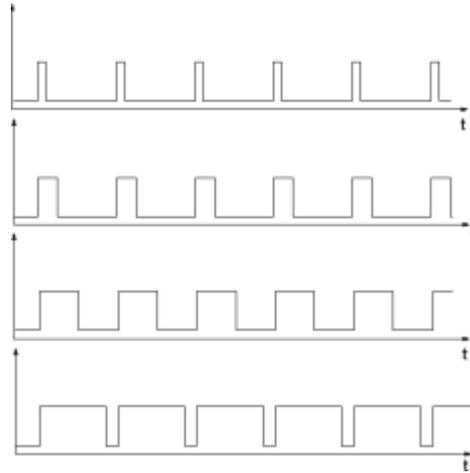


Figure8. The operating principle of pulse converters

In case of electricity transmission over long distances AC is more profitable than DC. This helps to avoid losses. So alternating current will feed this electric drive. Thus, there is no need to convert alternating current electric power into direct current electric power. That's why the rectifiers and inverters are not suitable for the electric power conversion for electric valves.

Pulsed DC voltage converters are not suitable for electric drive used in wedge-action valve, because such converters work with DC:

- high efficiency (up to 98%);
- energy saving;
- remote control;
- electric drive soft start;

The disadvantage of this converter is:

- high cost, complexity, high maintenance costs.

Thyristor voltage regulator has some advantages over the frequency converter:

- simplicity;

- low cost;
- relatively simple control algorithms;
- ability to work in severe weather conditions;
- ease in maintenance.

The disadvantage of TVR is small range of speed control and small efficiency at low speeds. These disadvantages are inessential for electric drive of valves.

It is more logical to use the TVR converter of electric energy in the valve electric drive based on the advantages of TVR.

#### **1.4. The operating principle of thyristor voltage regulator**

It should be noted that TVRs allow to variate the voltage from the nominal value to zero.

Stator voltage variation does not change the value of the no-load speed

$\omega_0 = 2\pi f_1/p$  and critical slip  $S_c$ . This coordinates regulation method changes the critical torque .

It can be seen from the formula

$$M_c = \frac{3U_f^2}{2\omega_0(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + x_R^2})}$$

The critical torque is directly proportional to the square of the voltage. The variation of stator voltage makes the artificial characteristics 3-6 (Figure 7) unsuitable for speed control. This is due to the facts that after the voltage decrease the critical torque decreases sharply and the asynchronous induction motor overload capacity decreases. The speed range is very small.

The open loop (Figure 7) is used only during transitional processes for the

impact at the asynchronous induction motor torque.

It may be necessary to provide the given acceleration of the electric drive or voltage value regulation at working element of AM.

Changing the voltage in accordance with the formula (1) permits the stator current limitation in transient modes.

$$I'_2 = \frac{U_f}{\sqrt{(R_1 + R'_2/s)^2 + x_k^2}} \quad (1)$$

Figure 9 shows the electromechanical characteristics at stator voltage change.

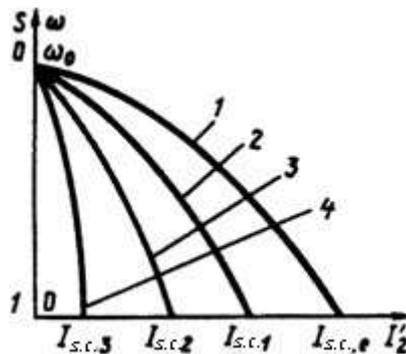


Figure9 - Electromechanical characteristics

Figure 10 shows the voltage regulation circuit on single-phase AC load. Single-phase power part of TVR consists of two thyristors VS1 and VS2, which are switch according to a counter-parallel circuit that provided current flow in the load in both half period of voltage U<sub>1</sub>. Thyristors receive control pulses from pulse-phase control system which provides the shift of pulses at an angle of  $\alpha$  in the function of control signals U<sub>c</sub>.

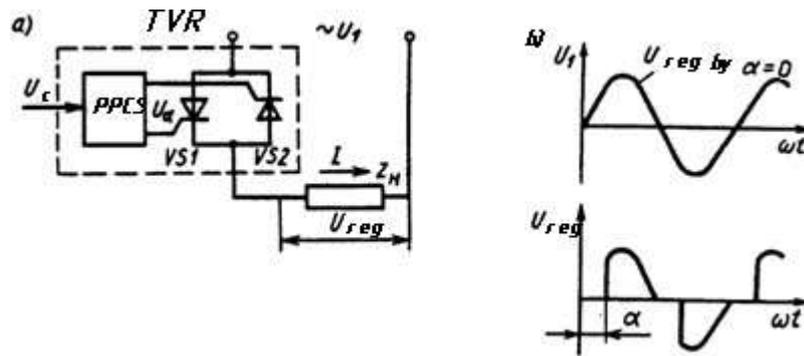


Figure10 - Single-phase TRN-AM

The thyristors VS1 and VS2 are switched off without control pulses. The voltage at the load is equal to zero. If the control pulses are given for thyristors with an angle  $\alpha = 0$  they would be fully switched on and the full supply voltage would be transferred to load  $U_1 = U_{reg}$  (picture 10, b). The part of supply voltage feeds the load after the control pulses are applied with a certain delay. The load voltage can be regulated the maximum value of the full supply voltage down to zero by changing the control angle from 0 to  $\pi$ .

A three-phase TVR circuit is shown in Figure 11.

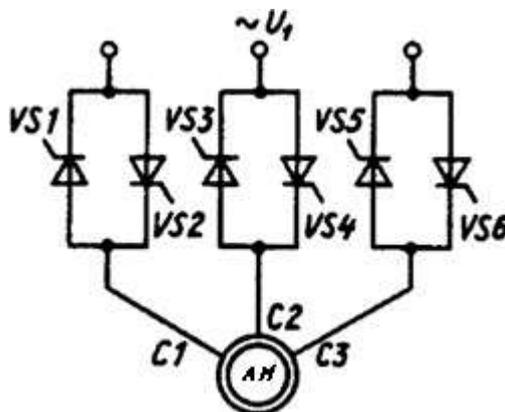


Figure11–The thyristors switches on in the system of TVR-AM

The semiconductor device called a triac can be used in such circuits instead of counter-parallel switched thyristors. This device provides the flow of current in the electric machine phase in both directions and has the same operation principles as thyristor. The number of electronic devices can be reduced by using the triac which leads to simplifying the scheme of pulse-phase control system.

It should be noted that the voltage applied to the load is not sinusoidal. It can

be represented as a combination of several sinusoidal harmonics, each one changes with certain frequency. The frequency of main harmonic is equal to the supply voltage frequency, and frequencies of other harmonics are more than the first. Usually the first harmonic has the largest amplitude and all basic calculations are carried out for it.

The motor reverse can be carried out by using a TVR. This circuit consists of five counter-parallel pairs of thyristors VS1-VS10. If pulse-phase control system control signals are output to 1, 3 and 5 thyristor pairs, then the AM stator power supply will have the supply voltage phase sequence ABC and the motor will rotate in the forward direction. If control signals are output to 2, 4 and 5 thyristor pairs, then on AM stator terminals C1, C2, C3 will be another sequence of voltage phases - BAC. In this case, the rotation direction of rotor will be change to backward.

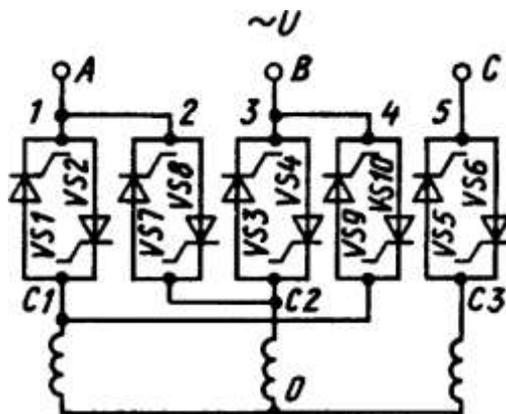


Figure12 - Reverse motor circuit

The TVR functionality for control AM includes even more. The AM forced braking, the formation of AM required dynamic characteristics in transient modes, the provision of economical modes of AM while his working with variable load can be provided by the TVR. The TVR thyristor reversing and non-reversing contactors (starters) for starting, reverse and braking of AM can be implemented on the base of the considered circuits.

## **2. Selection of electric drive and equipment calculation**

### **2.1. Initial data**

There is separate types of electric drives that control the valves. Such electric drive is designed to work with specific loads.

These settings determine the maximum torque on the electric drive output. The electric drive of valves is chosen in case of the value of the maximum torque.

The electric drive «ЭПИ-20000» is chosen to control valve installed on the main pipeline. This drive is designed to work with fittings installed on pipelines, which pressure is up to 15 MPa [5]. This drive installed on valve is ideal for closing workflows in case of the mains pipelines are designed for pressures to 15 MPa [6].

The electric drive allows us:

- to close and open the valves throat and stop the gate valve in any intermediate position by operator's commands sent from local or remote control post;
- to switch off the motor by position sensor signals after reaching extreme positions by gate valves;
- to switch off the motor by torque limit clutch signal in case of exceeding the permissible loads on the output in any shutter valves intermediate position and after reaching the extreme positions;
- to deliver the discrete signals after the gate valves reaches extreme positions and torque limiting clutches switch on;
- to control gate valves by using hand wheel drive;
- to determine the position of the gate valve;

- to switch off the handwheel drive.

## **2.2 The electric drive characteristics**

### **2.2.1. Technical characteristics of the «ЭПЦ-15000»**

Electric drive operating mode is as follows: short-term S3 with cyclic duration factor 25% according to STATE STANDARD P 52776. The cycle time is 60 min. The work duration is 15 min.

The electric drive "ЭПЦ-20000" is equipped with three-phase flame proof asynchronous electric motor of ДАТЭК-350-04-УХЛ1 ТУ3324-421-20885897-2006 (20 kW; 1500 rpm):

- nominal current load no more 36 A.
- maximum current load no more 72 A.

Electric drive with climatic performance «УХЛ1», category 1 by STATE STANDARD 15150, retains its efficiency in case of:

- ambient temperature range from -60° C up to + 50° c;
- top relative humidity 95% at 35° c and lower temperatures without moisture condensation;
- rate of temperature change to 5° C/h.

The electric drive corresponds to P1 group according to STATE STANDARD 12997-84 by the resistance to atmospheric pressure: atmospheric pressure range, KPA - 84 106.7 at an altitude of 1000 m above sea level.

The electric drive is manufactured in high performance seismic resistance for areas with seismic activity over 9 and up to 10 points (on a scale of MSK-64).

The electric drive work position is any above the horizontal plane passing

through the shutoff valves axis.

The main technical characteristics of electric drive are shown in table 1.

Table 1 -The electric drive main technical characteristics

Parameter	Norm
Maximum torque at the output, N·m	20000
Maximum speed of output, rps, not less than	10
Regulation range by position, number of output	0 ... 60
The output stopping deviation in the given position, degrees, no more	10
Torque limit on the output, N·m	3000 .. 15000
The maximum deviation of the torque limitation on the output, the percentage of the set value -in the first half range values -in the second half range values	±15 ±10
Maximum force on the flywheel at the output maximum torque, N·m	450
Device protection degree according to State standard 14254	IP 67

### 2.2.2. The electric drive construction

The electric drive «ЭПИЦ-20000» consists of the following main parts: gearbox, handwheel wire, control unit, asynchronous electric motor and electrical cables in a protective shell.

The dimensions of the electric drive and the strapping scheme at loading operations during mounting at the application place are given in annex A.

### **2.2.3. The electric drive operating procedure in automatic mode**

When the motor is switched on the rotation of the pinion installed on the motor shaft is transmitted to the cog wheel. The cog wheel is mounted on the limiter and rotates on it. The limiter is rigidly fixed to the reducer input shaft with intermediate rolling elements. The rotation is transmitted through its cam halfclamp from the cog wheel to the pusher cam halfclamp. The pusher transmits the rotation to reducer with intermediate rolling elements through splined connection with limiter and to output further.

The gear is installed on the control unit input shaft and located in clutch with a cog-wheel. The gear provides a reverse transmission of rotary motion generated by the electric motor to the input shaft of the control unit proximity sensor. The signals from input shaft provide the shaping and feeding 3-phase supply voltage in accordance with the specified algorithm and motion parameters (speed, position, starting points and movement torques). When the electric drive output link reaches the specified final or intermediate position the motor shuts down. The electric drive output link current position is controlled in progress in the control unit by position sensor signals.

Also constant control of the load value is provided in control unit in progress of electric drive on output link (by AM current) and electric drive is switches-off if the load exceeds torque limit set point.

Information about the motor turning off is displayed on the control unit indicators "open", "closed" or "clutch "when the electric drive output link reaches the specified time limit or switches off at the specified time limit. Information is transmitted by digital signal outputs or by serial interface to telemechanics system.