

Школа – Инженерная школа энергетики

Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение школы (НОЦ) – Отделение электроэнергетики и электротехники

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Асинхронный электропривод с тиристорным регулятором напряжения шиберной задвижки</b>

УДК 62-83-523:621.316.722

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ71	Федоров Алексей Николаевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И. Г.	К.Т.Н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

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
Доцент	Куликова О.А.	К.Т.Н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев А.Г.	Д.Т.Н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Код результата	Результат обучения
<b>Универсальные компетенции</b>	
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.

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
5ГМ71	Федорову Алексею Николаевичу

Тема работы:

Асинхронный электропривод с тиристорным регулятором напряжения шиберной задвижки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 753/с от 01.02.2019 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2019
--	------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>	Исполнительный механизм – шиберная задвижка; Приводящий двигатель – асинхронный двигатель; Вид рабочей среды – нефть; Давление рабочей среды – 4 МПа;
---------------------------------	--

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Обзор технической литературы по теме асинхронного электропривода. Моделирование асинхронного электропривода. Технические решения по реализации управления электроприводом. Исследования асинхронного электропривода. Заключение
<b>Перечень графического материала</b>	1. Структурная схема. 2. Имитационная модель. 3. Презентация.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Подопригора Игнат Валерьевич
Социальная ответственность	Куликова Ольга Александровна
<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	01.02.2019

**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
5ГМ71	Федоров Алексей Николаевич		

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 Электроэнергетики и электротехника

Отделение электроэнергетики и электротехники

Период выполнения осенний/ весенний семестр 2018/2019 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
--------------------------

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модул
12.03.2019	Календарное планирование работ по теме	3
14.03. 2019	Описание объекта исследования	3
21.03. 2019	Подбор и изучение материалов по теме	3
24.03. 2019	Составление и утверждение технического задания	3
29.03. 2019	Расчет энергетических параметров	3
09.04. 2019	Исследование работоспособности электропривода	6
18.04. 2019	Анализ полученных данных	3
22.04. 2019	Контроль качества выполнения проекта и консультирование студента	3
01.05. 2019	Оценка эффективности проделанной работы	3
08.05. 2019	Технико-экономические расчеты	3
08.05. 2019	Вопросы экологической безопасности	3
13.05. 2019	Составление пояснительной записки	4
22.05.2019	Итог	40

Составил преподаватель:

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

**СОГЛАСОВАНО:**

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

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5ГМ71	Федорову Алексею Николаевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Электроэнергетики и электротехники</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

<b>Асинхронный электропривод с тиристорным регулятором напряжения шиберной задвижки</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Асинхронный электропривод с тиристорным регулятором напряжения шиберной задвижки. Рабочая зона – механический цех. Область применения – промышленные предприятия.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные правовые нормы трудового законодательства</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	1. ТК РФ, Статья 221. Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты [1]. 2. ТК РФ. Глава 15. Рабочее время. Общие положения [2]. 3. Федеральным законом от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» [3]. 4. ТК РФ, Статья 213. Медицинские осмотры некоторых категорий работников [4].
<b>2. Производственная безопасность</b> Анализ выявленных вредных и опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> </ul>	Наиболее значимые вредные факторы: 1. Шум; 2. Вибрации; 3. Недостаток естественного света; 4. Метеоусловия в цеху; 5. Опасность электропоражения.

– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);	
<b>3. Экологическая безопасность:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul>	1. Находится вне селитебной зоны. 2. Работа двигателя должна согласовываться с основными нормативными документами предприятия на котором он работает. ГОСТ 30772-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения»
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	Одни из наиболее вероятных ЧС: пожары, электропоражения. Разработать мероприятия по предотвращению пожаров, электропоражений и других ЧС, и ликвидация их последствий.

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отд. общетехнических дисциплин	Куликова Ольга Александровна	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ71	Федоров Алексей Николаевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ71	Федорову Алексею Николаевичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление	Электроэнергетики и электротехники

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	При проведении исследования используется база лабораторий ЗАО «ЭлеСи». В исследовании задействованы 2 человека: студент-исполнитель и научный руководитель. Приблизительная сумма затрат на выполнение проекта составляет 300 тысяч рублей.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность». Минимальный размер оплаты труда на 2019 год составляет 7800 руб.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам - 30% от ФОТ.

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Технико-экономическое обоснование НИР. Определение потенциальных потребителей результатов исследования.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение трудоемкости выполнения работ. Разработка графика проведения НИР. Расчет материальных затрат НИР.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка научно-технического уровня НИР

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

1. График проведения и бюджет НИР (график Ганта);
2. Оценка ресурсной и финансовой эффективности НИР;

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Подопригора Игнат Валерьевич	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ71	Федоров Алексей Николаевич		



## **Реферат**

Магистерская диссертация на тему «Асинхронный электропривод с тиристорным регулятором напряжения шиберной задвижки» содержит 119 страниц печатного текста, 31 рисунок, 18 таблиц, 18 источников использованной литературы, 1 приложение.

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».

Цель работы – разработка асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения шиберной задвижки.

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 регулирование скорости асинхронного электродвигателя, вычисление момента на валу. Проведен анализ графиков переходных процессов в полученной модели.

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

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	13
1. Обзор электроприводов запорно-регулирующей арматуры.....	15
1.1 Общие сведения о запорно-регулирующей арматуре .....	15
1.2 Трубопроводная арматура, применяемая в нефтяной промышленности .....	20
1.3 Принцип работы шиберной задвижки .....	23
2. Выбор оборудования .....	27
2.1 Исходные данные .....	27
2.2 Выбор электропривода запорной арматуры.....	27
2.3 Выбор электродвигателя .....	29
2.4 Выбор редуктора .....	33
2.5 Выбор преобразователя электрической энергии .....	34
2.5.1 Блок управления регулируемый .....	34
2.5.2 Основные функции блока .....	35
2.5.3 Устройство и работа блока .....	36
2.5.4 Технические характеристики .....	39
2.5.5 Общее описание алгоритма работы блока .....	40
2.5.6 Настройка диаграммы формирования крутящего момента на выходном звене электропривода .....	42
3. Расчет характеристик.....	46
3.1 Расчет асинхронного двигателя.....	46
3.2 Расчет параметров схемы замещения .....	47
3.3 Расчет статических характеристик.....	51
4. Разработка имитационной модели системы ТРН-АД .....	57

4.1. Имитационная модель асинхронного двигателя и проверка адекватности .....	57
4.2. Имитационная модель плавного пуска системы ТРН-АД.....	60
4.3. Имитационная модель ТРН-АД с реактивной нагрузкой.....	62
4.4. Имитационная модель реверсивного ТРН .....	66
4.5. Имитационной модель плавного реверсивного ТРН .....	68
Рисунок 27 – Реверс двигателя при угле управления 130° .....	69
Рисунок 28 – Реверс двигателя при угле управления 150° .....	69
4.6. Регулирование скорости вращения асинхронного двигателя с помощью системы ТРН-АД.....	70
5. Социальная ответственность .....	74
Введение.....	74
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	75
5.2 Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	76
5.2.1 Шум .....	77
5.2.2 Вибрация .....	77
5.2.3 Недостаток естественного света.....	78
5.2.4 Микроклимат .....	80
5.2.5 Электропоражение .....	81
5.3 Защита окружающей среды .....	82
5.4 Предотвращение ЧС и устранение их последствий .....	84
5.4.1 Электропоражение как источник ЧС .....	84
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	85

6.1 Техничко-экономическое обоснование научно-исследовательской работы .....	85
6.2 Планирование научно-исследовательской работы.....	85
6.3 Определение трудоемкости выполнения работ .....	86
6.4 Построение графика работ .....	88
6.5 Бюджет научно-технического исследования (НИР) .....	90
6.5.1 Расчет материальных затрат НИР .....	90
6.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы .....	92
6.5.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	94
6.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	95
6.5.5 Накладные расходы .....	95
6.6.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	96
6.7 Оценка научно-технического уровня НИР.....	96
Заключение .....	100
Список литературы .....	101
Приложение А .....	103

## **ВВЕДЕНИЕ**

Нефтяное месторождение, как правило, расположено на достаточно большом расстоянии от нефтеперерабатывающего предприятия. 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. 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 режимы работы электропривода шибберных задвижек путем имитации переходных процессов в программной среде MATLAB Simulink.

## **1. Обзор электроприводов запорно-регулирующей арматуры**

### **1.1 Общие сведения о запорно-регулирующей арматуре**

Запорная арматура используется для переключения или перекрытия потока рабочей среды по трубопроводу в зависимости от условий заданного технологического процесса, обслуживаемого данным трубопроводом. Также запорную арматуру используют для регулирования параметров потока (скорость, расход, давление) или для дросселирования. Но такой режим нецелесообразен, так как запорная арматура более подвержена износу.

Согласно статистике, запорная арматура — это наиболее массовый вид трубопроводной арматуры, а ее использование в промышленности достигает до 80% от общего объема применяемой трубопроводной арматуры в целом. Спектр использования запорной арматуры весьма обширен, поскольку запорная арматура незаменима абсолютно на всех трубопроводах с жидкой и газообразной рабочей средой, а также в трубопроводных системах, переносящих само связывающиеся газы и жидкости. Наиболее активно используется арматура данного типа в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей, атомной, газовой, металлургической, химической, пищевой, фармацевтической промышленности и ряде других отраслей.

Конструкция запорной арматуры: она состоит из подвижной запорной части и корпуса. Роль затвора в шаровых кранах выполняет шар, по оси которого выполнено отверстие для прохода потока рабочей среды, а, например, это поворотный диск в затворах, который закреплен в полости корпуса на валу. Открытие или перекрытие потока рабочей среды производится за счет вращения диска или шара. Между запорной частью и корпусом используются эластичные уплотнительные элементы для обеспечения герметичности. Запорная арматура изготавливается неразборной, с резьбовым, фланцевым, муфтовым и приварным присоединением или разборной (ремонтпригодной).

Запорная арматура по конструкции довольно проста, а, следовательно, надежна, поэтому в подавляющем множестве случаев обладает нормальным

сроком списания от 25 до 30 лет. Конструкция запорной арматуры не предполагает принудительных поворотов потока и имеет при полностью открытом проходе маленькое гидравлическое сопротивление рабочей среды. Современная запорная арматура изготавливается из коррозионностойких высокопрочных материалов, способных к работе при разных температурах рабочей среды: выдерживать давления в сотни кг/см<sup>2</sup> и работать от нормальных температур (плюс 20-40°C) до низких (минус 45-60°C).

К достоинствам современной запорной арматуры можно отнести простоту управления и герметичность. В сумме эти факторы обуславливают открытие рабочей среды или быстрое перекрытие, исключая появление чрезвычайных случаев и обеспечивая эффективную и стабильную работу каждой трубопроводной системы. Запорная арматура может оснащаться гидро-, пневмо-, электроприводами, помимо ручного привода, позволяющими автоматизировать процесс управления устройством. Следует отметить, что запорной арматуре не требуется специального технического обслуживания.

Исходя из соответствия параметрам рабочей среды, осуществляется классификация запорной арматуры, таким как химический состав, физическое состояние, температура, давление. Сами изделия различаются по классу герметичности запорной части, способу крепления к трубопроводу, диаметру прохода, а также по составу материи из которого состоит корпус, что разрешает использовать изделия в тех или иных климатических обстоятельствах, в надземном или подземном положении. По устройству исполнения запорная арматура делится на: краны, вентили, задвижки, запорные поворотные затворы. [2]

Кран — арматура, у которой механизм регулировки или запираания, имеет форму его части или тела вращения, вращается вокруг своей оси, которая произвольно размещена относительно к направлению потока рабочей среды.

Краны могут выступать в роли регулирующих, запорных или распределительных устройств и применяются для работы с жидкими и



газообразными средами, в том числе загрязнёнными и вязкими. Краны используются на магистральных газопроводах и нефтепроводах, на котлах, резервуарах, в системах городского газоснабжения и в других областях.[3]

Запорный клапан (вентиль) — запорная арматура, конструктивно выполненная в виде клапана, т.е. её закрывающая деталь перемещается параллельно оси потока рабочей среды. Запорные клапаны применяются для абсолютного перекрытия собственного проходного сечения, как и другие виды запорной арматуры, а значит потока рабочей среды; то есть замыкающий элемент, которым в запорном клапане чаще всего является золотник, в процессе работы находится в крайних положениях «закрыто» или «открыто». Для контроля расхода среды с помощью изменения проходного сечения удачно используются управляющие клапаны, также применяются и запорно-регулирующие клапаны, которые совмещают данные функции.

Нужно отметить, что до 1982 года клапаны у которых затвор передвигался за счет резьбовой пары шпindel — ходовая гайка, получили название вентили, но это наименование было отменено и на сегодняшний день клапаном называют и арматуру с гладким штоком (передающим поступательное усилие от привода), и с резьбовым шпинделем (передающим крутящий момент от привода). Клапаны вентильного типа управляются вручную или электроприводом, а клапаны с гладким штоком - гидро-, -пнеumo-, или электромагнитным приводом. Входят в состав защитной арматуры и носят название отсечные, запорные клапаны с быстродействующими поршневыми пневматическими приводами.

Большое распространение клапанов как запорной арматуры можно объяснить тем, что они способны обеспечить отличную герметизацию в запорном органе при сравнительно простой конструкции. Клапаны применяются для газообразных и жидких сред с обширной областью рабочих параметров: температуры — от минус 200 до плюс 600 °С, давления — от вакуума 0,658 Па до 250 МПа. Клапаны как правило используются на трубопроводах сравнительно малых диаметров, так как в случае больших

размеров нужно иметь дело со высоким увеличением усилий для управления клапаном и усложнять конструкцию для обеспечения нормальной посадки затвора на седло корпуса.

По форме запорного органа задвижки отличаются друг от друга: клиновая, параллельная однодисковая (шиберная) и параллельная двухдисковая.

Когда не требуется большой герметичности используют однодисковые задвижки. Крепкая конструкция затвора позволяет использовать их для довольно значительных температур рабочей среды и рабочих давлений. Этот вид задвижек очень часто применяется на линейной части российских нефтепроводов.

Когда необходима надежная герметизация применяют двухдисковые задвижки, которые обеспечивают довольно неплохое уплотнение в затворенном положении в затворе.

Задвижки затвор у которых имеет вид плоского «клина», причисляют к клиновым задвижкам. В клиновых задвижках седла и их уплотнительные поверхности параллельны уплотнительным поверхностям затвора и размещены под некоторым углом к направлению передвижения затвора. Существует два вида клина: упругий и цельный. У конструкции с цельным клином есть следующие недостатки: потребность в индивидуальной пригонке седел и клина при сборе, чтобы обеспечить герметичность (это совершенно исключает взаимозаменяемость клина и седел и усложняет ремонт), способность заедания клина в закрытом состоянии в результате коррозии, износа или под действием температуры, увеличенный износ уплотнительных поверхностей. Небольшое усилие при управлении затвором, чтобы обеспечить его герметичность по сравнению с параллельными задвижками является одним из главных преимуществ клиновых задвижек. Это эксплуатационное свойство вызывает значительные технологические проблемы получения высокоточного клинового соединения с одной стороны и снижение мощности приводных устройств с другой. Наиболее плотное прилегание

уплотнительных поверхностей за счет жесткого деформирования обеих составляющих клина обеспечивает использование упругого клина. [4]

Дисковый затвор — тип трубопроводной арматуры, в котором срывающий или запирающий элемент имеет форму диска, который поворачивается вокруг оси, размещенной под углом к направлению потока рабочей среды или перпендикулярно. Также данные механизмы называют поворотными заслонками, гермоклапанами, герметичными клапанами, затворами. Наиболее часто такая арматура применяется при малых давлениях среды, крупных диаметрах трубопроводов, и уменьшенных требованиях к герметичности рабочего органа, в основном в качестве запорной арматуры.

Запирающий элемент в дисковых затворах, то есть затвор, имеет форму диска, который заграждает путь рабочему потоку через кольцевое седло в корпусе путём поворота (как правило на  $90^\circ$ ) затвора вокруг оси, перпендикулярной направлению рабочего потока, при этом ось вращения диска может не совпадать с осью (эксцентриковые дисковые затворы) или же являться его собственной осью (осевые дисковые затворы).

Материал изготовления имеет значение при классификации арматуры в зависимости от температуры. Так арматура для средних температур (плюс  $20-40^\circ\text{C}$ ) — изготавливается из углеродистых сталей 20Л, 30-35Л, 45Л, а для низких температур - (минус  $60^\circ\text{C}$ ) изготавливается из легированных марок стали 20ХНЗЛ, 09Г2С и др.

Способ управления запорной арматурой является одним из существенных параметров ее классификации. С предоставленной точки зрения запорная арматура бывает дистанционно управляемой, с ручным или автоматическим управлением. В соответствии с техническими параметрами изделия происходит маркировка запорной арматуры. В некоторых случаях запорная арматура для трубопроводов сжиженных углеводородных газов большого диаметра, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов, получает технический паспорт и индивидуальный идентификационный номер. Выбор

типа запорной арматуры обуславливается совокупным оцениванием всех вышеперечисленных требований и их соответствия технологическим условиям эксплуатации.

## **1.2 Трубопроводная арматура, применяемая в нефтяной промышленности**

В настоящее время Алексинский завод тяжелой промышленной арматуры серийно изготавливает шиберные задвижки DN 350, 500, 700, 800, 1000, 1200 PN 8,0; 10,0 МПа с электроприводом.

Эти изделия используются в нефтяной промышленности с температурой рабочей среды от –5 до +80 0С.

Общий объем выпуска шиберных задвижек в 2003 году составил более 250 штук, из них задвижки Ду 1000 мм составили 132 штуки.

В 2004 году на текущий момент заводом уже поставлено более 170 штук различных типоразмеров задвижек, в том числе задвижки Ду 1200 мм.

Известно, что ранее на трубопроводах по транспортировке нефти и нефтепродуктов преимущественно использовались клиновые задвижки, имеющие ряд серьезных недостатков, определенных их конструктивным решением.

Понимая, что кардинально решить эту проблему можно только переходом на принципиально иную схему арматуры, в 1997 году руководством данного предприятия было принято решение приступить к разработке и освоению производства нового для предприятия класса арматуры - шиберных задвижек Ду 350 – 1200 мм.

Работы по проектированию шиберных задвижек проводились силами конструкторского управления данного предприятия.

При разработке и проектировании продукции широко используются современная компьютерная техника и программное обеспечение. Наличие своего экспериментального производства позволяет производить освоение изделий качественно в короткие сроки.

Возвращаясь к истории создания на данном предприятии шиберных задвижек, отмечается, что главным посылом явилось стремление создать арматуру свободную от конструктивных недостатков клиновых задвижек, арматуру более современную, с более высокими потребительскими свойствами.

Как известно, к недостаткам клиновых задвижек можно отнести следующее:

- невозможность очистки от механических отложений подклинового пространства без разборки изделия, что в конечном итоге приводит к потере герметичности;
- возможность поломки элементов диагностических снарядов;
- невозможность применения мягких уплотнений, что снижает герметичность задвижек и ее стабильность;
- необходимость индивидуальной подгонки клина к корпусу и только совместное их использование, что усложняет процесс ремонта задвижек;
- высокое гидравлическое сопротивление.

Шибберные задвижки, ввиду особенностей конструкции, лишены этих недостатков.

В 1997 году по исходным техническим требованиям на задвижки шиберные, утвержденным в сентябре 1996 г. вице – президентом АК «Транснефть» Джарджимановым А. С., предприятием начата разработка конструкторской документации и освоения производства ряда задвижек шиберных, которая была осуществлена в следующие сроки:

Ду	Разработка КД	Изготовление и испытание опытного образца	Приемочные испытания	Квалификационные испытания	Сертификационные испытания
350	Апрель 1997	Декабрь 1997	Апрель 1998	Июнь 1998	Февраль 2003

500	Декабрь 1997	Июнь 1998		Июнь 1998	
700	Июль 1998	Декабрь 1999	Март 2000		Март 2000
800	Июнь 2003	Декабрь 2003		Декабрь 2003	
1000	Март 2000	Июль 2002		Июль 2002	
1200	Май 2003	Ноябрь 2003		Ноябрь 2003	

Дополнительно, в сентябре 2003 г. задвижка DN 350 в испытательной лаборатории «Нефтьтест» была подвергнута специальным испытаниям на огнестойкость. Испытания показали положительные результаты.

Головные образцы задвижек DN 500, 700 отправлены на подконтрольную эксплуатацию и врезаны:

DN 700 на 329 км нефтепровода Горький – Рязань (врезана в марте 2000 г.)

DN 500 в коллектор нефтепровода Туймазы – Омск – Новосибирск на приеме насоса в 1999 г.

Замечаний по работе подконтрольных изделий нет.

Шиберные задвижки состоят из следующих основных деталей и узлов:

- Корпуса, обеспечивающего размещение в нем затвора задвижки.
- Крышки с уплотнительными резиновыми кольцами, обеспечивающими герметичность в соединении с корпусом.
- Шибера, обеспечивающего перекрытие рабочей среды в затворе.
- Подвижных седел, обеспечивающих герметичность в затворе.
- Шпинделя, обеспечивающего перемещение шибера.
- Сальникового узла, обеспечивающего герметичность в соединении со шпинделем по отношению к внешней среде.
- Бугельного узла, преобразующего вращательное движение управляющего привода в поступательное движение шпинделя с шибером.

- Колонны, обеспечивающей необходимую величину хода шпинделя для перекрытия шибером затвора задвижки.
- Электропривода, обеспечивающего управление задвижкой.
- Дренажного трубопровода, служащего для удаления из подшиберного пространства корпуса как испытательной среды, так и возможных твердых примесей в виде осадка, который может находиться в рабочей среде.

Конструкторской документацией для управления шиберными задвижками предусмотрены следующие электропривода:

- ЭПЦ (производства «ТОМЗЭЛ», г. Томск);
- Эвимта (производства АРМ-ГАРАНТ, г.Уфа);
- Ду 350, 500 комплектуются э/приводами - ЭПЦ 4000Г18 УХЛ1; Эвимта13.2Г УХЛ1;
- Ду 700 комплектуются э/приводами - ЭПЦ 4000Г18 УХЛ1; Эвимта 13.2Г УХЛ1;
- Ду 800, 1000 комплектуются э/приводами - ЭПЦ 10000Д6 УХЛ1; Эвимта 11.2Д УХЛ1;
- Ду 1200 комплектуются э/приводами - ЭПЦ 10000Д6 УХЛ1.

По требованию заказчика указанные задвижки могут изготавливаться под управление от электропривода «AUMA» (Германия) и «ROTORC» (Англия).

### **1.3 Принцип работы шиберной задвижки**

На рисунке 1 представлена шиберная задвижка.



Рисунок 1 – Задвижка шиберная

После подачи электрического сигнала с пульта управления на открытие или на закрытие вращение выходного вала электропривода передается втулке кулачковой бугельного узла задвижки, затем через резьбовую втулку преобразуется в поступательное движение шпинделя. При этом шибер, соединенный со шпинделем, перемещается по направляющим корпуса, открывая или закрывая проходное сечение задвижки. Герметичность затвора обеспечивается поджатием уплотнительных колец к шиберу усилием пружин и давлением среды.

Управление задвижкой производится электроприводом с ручным дублером.

Электропривод должен иметь двухстороннюю муфту ограничения крутящего момента, обеспечивающую отключение электродвигателя в случае превышения величин крутящих моментов на открытие и закрытие, указанных в паспорте на задвижку.



Электропривод должен иметь возможность настройки путевых выключателей для ограничения хода затвора при достижении им крайних положений.

Определение крайних положений затвора («Открыто» или «Закрыто») осуществляется совмещением указателя кожуха с кольцевыми проточками стержня, ввернутого в шпindel задвижки.

Преимущества шиберных задвижек:

- Высокая и стабильная во времени герметичность затвора за счет того, что уплотнение создается с помощью подвижных седел с мягкими полиуретановыми кольцами. Уплотнительные седла постоянно прижаты к шиберу специальными пружинами и давлением рабочей среды. Такое конструктивное исполнение обеспечивает требуемую герметичность задвижки в диапазоне давления от 0,1 МПа до 1,1 Ру.

- Так как проход шиберных задвижек из-за отсутствия "карманов" с местными сопротивлениями как у клиновых задвижек, вместе с окном шибера представляет собой правильную трубу, коэффициент гидравлического сопротивления шиберных задвижек (0,1) равен сопротивлению трубопровода и не влияет на расходные характеристики трубопровода. Коэффициент гидравлического сопротивления клиновых задвижек составляет величину 0,2..0,4.

- Вероятность заклинивания затвора в корпусе при перепадах температур сведена к нулю.

- В связи с низким коэффициентом гидравлического сопротивления - износ корпусных деталей небольшой, а, следовательно, срок службы по сравнению с клиновыми задвижками - более высокий.

- Наличие в конструкции затвора бронзовых опорных колец, воспринимающих основную нагрузку на шибер от давления среды, способствует увеличению срока службы уплотнительных полиуретановых колец в подвижных седлах.

- Наличие "мягкого" уплотнения снижает возможность задиров уплотнения затвора по сравнению с уплотнением "металл по металлу" клиновых задвижек, следовательно, увеличивается срок службы изделия без потери герметичности в затворе.
- Наличие дренажного трубопровода, позволяет продувать подшиберное пространство в нижней части корпуса и исключать скапливание там различных примесей находящихся в транспортируемой среде.

## **2. Выбор оборудования**

### **2.1 Исходные данные**

К магистральным нефтепроводам (МНП) относятся трубопроводы протяженностью свыше 50 км и диаметром от 219 до 1420 мм включительно, предназначенные для транспортировки товарной нефти из районов добычи до мест потребления или перевалки на другой вид транспорта.

Мы выбираем электросварные трубы диаметром 508 мм предназначены для строительства магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов, рассчитанных на рабочее давление до 12,5 МПа включительно, в том числе и подводных. Высокий уровень механических свойств основного металла и сварного шва труб позволяют использовать их для строительства трубопроводов в различных климатических зонах, включая районы Крайнего Севера.

Электросварные трубы диаметром 508 мм выполняются электродуговой сваркой под флюсом с одним продольным швом и наружным антикоррозионным покрытием. В зависимости от марок стали трубы могут изготавливаться с повышенной коррозионной стойкостью и холодостойкостью, с повышенными эксплуатационными характеристиками при температуре эксплуатации до минус 60°C.

### **2.2 Выбор электропривода запорной арматуры**

Электропривода ЭПЦ предназначены для управления рабочими органами запорной арматуры магистральных нефтепроводов, эксплуатирующихся в наружных установках и помещениях во взрывоопасных зонах класса «1» и «2» по ГОСТ 30852.9-2002, в которых возможно образование паро- и газовоздушных взрывоопасных смесей категории ПА, ПВ групп Т1, Т2, Т3, Т4 по классификации ГОСТ 30852.5-2002 и ГОСТ 30852.11-2002.

Электроприводы ЭПЦ 100–10 000 с блоком электронного управления (БУР) имеют малую массу и небольшие габариты. Главным достоинством этих электроприводов является компактный волновой редуктор с промежуточными

талами качения, имеющий высокие нагрузочные характеристики, точность, плавность, надёжность и долговечность.

В зависимости от исполнения электроприводы могут развивать крутящие моменты на выходном звене от 100 до 10 000 Нм. Электроприводы оснащены двухсторонней муфтой ограничения крутящего момента и имеют блок управления, который легко встраивается в систему телеуправления.

Выбираем электропривод «ЭПЦ-4000», на рисунке 2 представлен внешний вид электропривода.



Рисунок 2 – Электропривод «ЭПЦ-4000»

«Электропривод «ЭПЦ-4000» Г.9(18).М220(Т).УХЛ1 ТУ 3791-012-00139181-2003»;

«ЭПЦ» — электропривод с циклическим повторно-кратковременным режимом работы;

4000 — максимальный крутящий момент на выходном звене, Нм;

Г — тип присоединительного места к арматуре;

9(18) — максимальная частота вращения выходного звена, об/мин.;

M220(T) - модификация блока по интерфейсным сигналам;

УХЛ1 — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150.

Мощность задвижки считается по следующей формуле:

$$P = M \cdot \omega = 4000 \cdot 0,94 = 3760$$

Мощность задвижки – 3760 Вт

### **2.3 Выбор электродвигателя**

Электрические двигатели широко используют на электрических станциях, на транспорте, в промышленности, в авиации, в системах автоматического управления и регулирования, в быту.

В настоящее время широкое применение нашли асинхронные электродвигатели переменного тока. Данные двигатели используют около 50% электроэнергии, которая вырабатывается электростанциями страны. Из-за своей низкой стоимости, простоты конструкции, высокой эксплуатационной надежности асинхронные двигатели и получили такое широкое распространение. У них относительно большой КПД: при мощностях более 1кВт  $\eta = 0,7-0,95$ , а в маленьких двигателях он уменьшается до 0,2-0,65.

Асинхронная машина отличается простой конструкции и легкостью обслуживания. Двигатели с короткозамкнутым ротором надежнее проще при эксплуатации, довольно дешевые по сравнению с двигателями с фазным ротором.

В современном мире асинхронные машины изготавливают в основном с короткозамкнутыми роторами и лишь при большой мощности и специальных случаях применяют фазную обмотку ротора.

Асинхронные машины изготавливают мощностью от 10Вт до 15000кВт при напряжениях обмоток статора до 6кВ.

На основании преимуществ и недостатков вышерассмотренных двигателей, а также учитывая параметры нашей задвижки, выбирается

асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором BA132S6. На рисунке 3 представлен двигатель BA132S6.



Рисунок 3 – Асинхронный двигатель BA132S6

Асинхронный электродвигатель BA132S6 5,5 кВт 1000об/мин является взрывозащищенным и активно используется в настоящее время во всех сферах промышленности. Устанавливается и может эксплуатироваться во внутренних, а также наружных электроустановках, на взрывоопасных производствах химической и газовой отраслей промышленности, где могут возникать взрывоопасные газовоздушные и пылевоздушные смеси и пылевоздушные смеси. Цена электродвигателя BA132S6 5,5 кВт при своей надежности и высокой производительности сравнимо низкая.

Двигатель работает в продолжительном режиме S1, характеризующийся довольно быстрым установлением неизменной рабочей температуры. Взрывозащищенный асинхронный электродвигатель BA132S6 5,5 кВт 1000об/мин изготавливается в климатических исполнениях для умеренно-холодного, умеренного и холодного микроклиматических районов.

Электродвигатель BA132S6 5,5/1000 по уровню взрывозащиты соответствует требуемым взрывобезопасным нормам и обозначается соответствующей маркировкой 1ExdПВТ4х. Степень защиты

электродвигателя — IP54, характеризует пылезащищенный, брызгозащищенный корпус, изготовленный из чугуна.

Маркировка взрывозащиты:

Ex – маркировка взрывозащищенного оборудования;

1 – уровень взрывозащиты;

IIВ – группа по взрывозащите;

d – вид взрывозащиты (d — взрывонепроницаемая оболочка);

T4 – температурный класс. Знак "х" означает, что при монтаже электродвигателя нужно предусматривать дополнительные меры при закреплении кабелей.

Асинхронный двигатель BA132S6 5,5 кВт работает от сети переменного напряжения 220 В или 380 В в зависимости от вида подключения – треугольник или звезда, с частотой 50 Гц.

Технические характеристики: BA132S6 5,5/1000

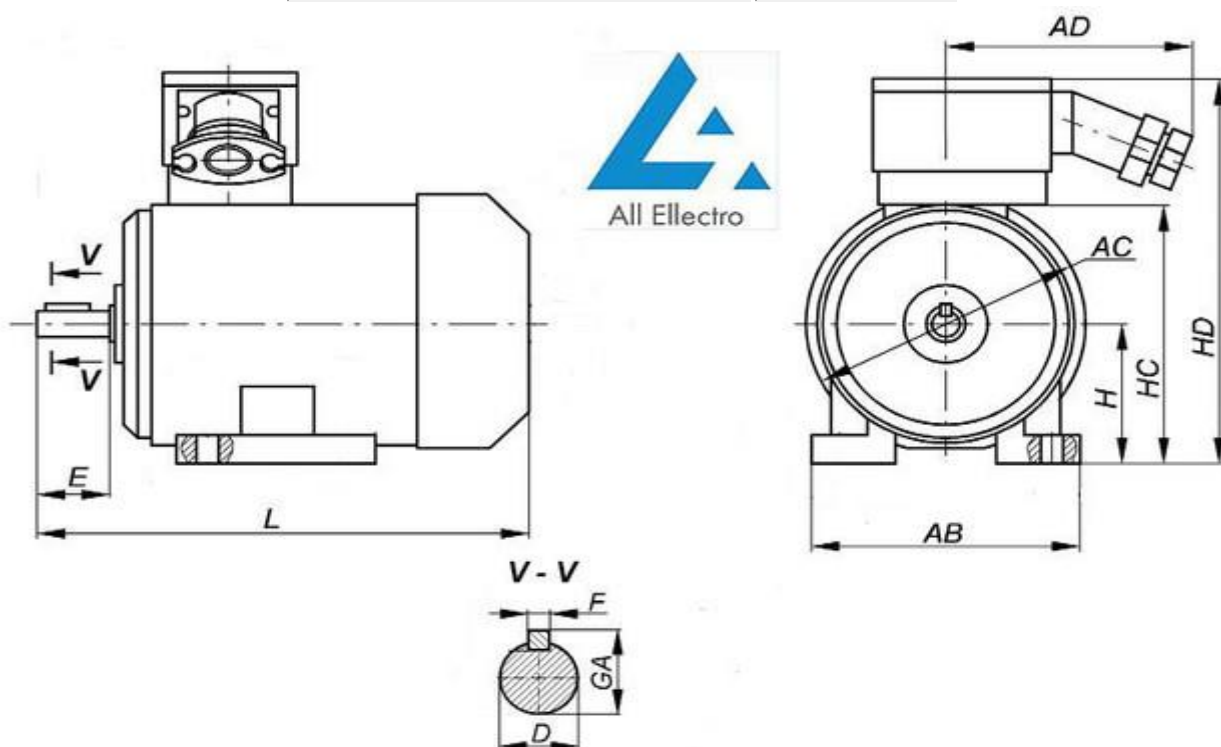
Мощность	5,5 кВт
Напряжение электросети	220/380 В
Частота сети	50 Гц
Количество полюсов	6
КПД	85%
cos φ	0,74
Масса	81 кг
Частота вращения	1000 об/мин

Расшифровка условного обозначения маркировки взрывозащищенного электродвигателя типа ВА:



Монтаж электродвигателей серии ВА по ГОСТ 2479-79:

Вид монтажа	Маркировка
С фланцем на щите или без лап	IM3081
Комбинированный	IM2081
На лапах	IM1081



Эл. двигатель	Габаритные размеры, мм										
	E	F	L	GA	AC	AD	H	HC	HD	D	AB



BA132S6	80	10	498	41	290	145	132	292	392	38	260
---------	----	----	-----	----	-----	-----	-----	-----	-----	----	-----

## 2.4 Выбор редуктора

Чтобы привести в движение рабочий орган арматуры, необходимо приложить такой момент к штоку задвижки, который будет иметь величину в диапазоне 1000-10000 Нм в зависимости от того или иного типоразмера задвижки. Следовательно, для преодоления таких огромных усилий необходимо использовать редуктор. Большая часть современных производителей электроприводов для запорной арматуры использует редуктор волнового типа.

Применение данного редуктора с промежуточными телами качения (рисунок 4) при высоком коэффициенте редукции позволяет значительно снизить массогабаритные показатели электропривода задвижки. Передаточное число данного типа редуктора в зависимости от типоразмера может быть в диапазоне 80-400[3].



Рисунок 4 – Устройство волнового редуктора с промежуточными телами качения

Для данного типа редуктора существуют характерные особенности:

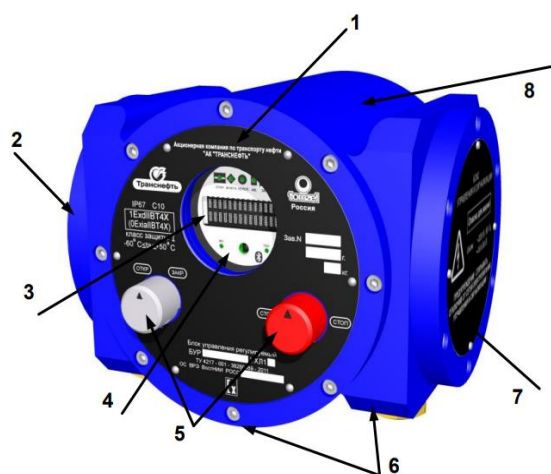
- является существенно нелинейной системой;
- коэффициент передачи редуктора по моменту не зависит от скорости вращения выходного звена редуктора;
- для каждого типоразмера редуктора существует регламентированный зазор между зацеплениями, который может достигать нескольких оборотов входного звена;

- максимальный коэффициент передачи по моменту при пуске электропривода возможно получить за счет ударного приложения входного момента.

## 2.5 Выбор преобразователя электрической энергии

### 2.5.1 Блок управления регулируемый

Блок управления регулируемый (БУР) для электроприводов запорной арматуры. БУР, предназначен для управления электроприводом запорной арматуры в условиях эксплуатации во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок в соответствии с ГОСТ 30852.13 и другими нормативными документами, регламентирующими применение электрооборудования во взрывоопасных зонах. На рисунке 5 представлен внешний вид блока.



№	Наименование
1	Местный пост управления
2	Крышка бокса подключения питания
3	Буквенно-цифровой индикатор
4	Окно инфракрасного приемопередатчика
5	Ручки управления
6	Отверстия для установки взрывозащищенных кабельных вводов
7	Крышка бокса управления и сигнализации
8	Корпус блока

Рисунок 5 – Блок управления регулируемый

Основная область применения – системы управления технологическими объектами транспорта нефти и нефтепродуктов в наружных установках и в помещениях во взрывоопасных зонах классов "1" и "2" по ГОСТ 30852.9, в которых возможно образование паро- и газовоздушных смесей категорий ПА, ПВ группы Т1, Т2, Т3, Т4 по классификации ГОСТ 30852.11 и ГОСТ 30852.5. По эксплуатационной законченности блок относится к изделиям третьего порядка по ГОСТ Р 52931. Блок выполнен во взрывозащищенном исполнении,

обеспечиваемом взрывозащитой вида «Взрывонепроницаемая оболочка» по ГОСТ 30852.1 и «искробезопасная электрическая цепь ia» по ГОСТ 30852.10 с маркировкой взрывозащиты 1ExdIIBT4 X (0ExiaIIBT4 X). По климатическому исполнению блок соответствует УХЛ1 по ГОСТ 15150. Конструкция и установочные размеры блока обеспечивают установку его в электроприводы серии "ЭПЦ", а также в другие электроприводы, имеющие аналогичные установочные и присоединительные параметры.

### **2.5.2 Основные функции блока**

В составе электропривода блок обеспечивает выполнение следующих функций:

- открытие, закрытие и остановка в промежуточном положении запорного органа арматуры;
- отключение электродвигателя при превышении заданных крутящих моментов;
- программируемая диаграмма задания перемещения и максимальных крутящих моментов на выходном звене электропривода;
- измерение положения выходного звена электропривода независимо от наличия электропитания;
- пакет защит (от заклинивания запорного органа, провалов напряжения, неправильного подключения электродвигателя, короткого замыкания в нагрузке, время - токовая защита, электрические защиты выходных цепей телеметрии);
- дистанционное управление по последовательному интерфейсу RS-485;
- дистанционное управление по дискретному интерфейсу (220 В АС или 24 В DC);
- выдача сигнализации о положении выходного звена электропривода по аналоговому интерфейсу;
- блокировка от несанкционированного управления и изменения параметров;

- фиксация основных событий блока (команды, неисправность, аварии, достижение конечных положений) в постоянно-запоминающем устройстве с указанием времени и даты возникновения;
- поддержка инфракрасного интерфейса для задания параметров;
- поддержка беспроводного интерфейса для считываний журнала событий.

### **2.5.3 Устройство и работа блока**

Блок состоит из следующих узлов:

- тиристорный регулятор напряжения (ТРРН);
- микропроцессорный контроллер (МК);
- счетчик оборотов;
- аналоговый выход (4-20 мА);
- интерфейс RS-485;
- блок телемеханики (дискретные выходы и входы);
- источник питания собственных нужд;
- местный пост управления;
- датчики тока АД (ДТ1...ДТ3);
- датчики фазных напряжений (ДН1..ДН3).

Основным элементом блока является тиристорный реверсивный регулятор напряжения (ТРРН). ТРРН предназначен для управления трехфазным асинхронным двигателем (АД). С помощью изменения угла открытия тириستоров регулируется напряжение на статорной обмотке электродвигателя, за счёт этого ограничивается ток электродвигателя и крутящий момент на выходном звене электропривода (далее – крутящий момент). Наличие реверсивной группы тириستоров позволяет изменять направление вращения вала электродвигателя и соответственно перемещать запорный орган арматуры в обоих направлениях.

Микропроцессорный контроллер (МК) выполнен на базе 32-разрядного микроконтроллера с энергонезависимой памятью программ и данных. В

памяти программ хранится программа управления. В памяти данных сохраняются рабочие настройки блока, текущие параметры работы.

МК осуществляет логическое управление работой блока. В соответствии с управляющей программой МК выполняет следующие функции:

- управляет работой регулятора напряжения в соответствии с командами управления и диаграммой моментов движения электропривода;
- считывает значение положения запорного органа арматуры с энергонезависимого счетчика оборотов и в соответствии с этим значением управляет работой регулятора напряжения, дискретных и аналогового выходов;
- осуществляет обмен данными между блоком и АСУ ТП по последовательному интерфейсу RS-485;
- принимает команды на управление электроприводом от дискретных входов;
- управляет выводом световой индикации и сигнализации на местном посту управления;
- сохраняет в энергонезависимой памяти значения калибровки счетчика оборотов, настройки режимов работы блока и журнал событий;
- на основе контроля тока и напряжения электродвигателя выполняет функции защиты и ограничения момента на выходном валу электропривода.

Счетчик оборотов представляет собой энергонезависимый датчик положения выходного звена электропривода запорной арматуры (ЗА). Перемещение запорного органа ЭП передается на вал блока и счетчик оборотов через редуктор электропривода. Счетчик оборотов позволяет контролировать текущее положение запорного органа, осуществлять управление перемещением ЗА в требуемое положение. При отсутствии питания положение запорного органа фиксируется с помощью встроенных дисков с уникальным кодом («механическая» память). По значениям счетчика оборотов производят настройку блока по положению ЗА. Значения счетчика,

соответствующие крайним положениям "Открыто" и "Закрыто", сохраняются в энергонезависимой памяти блока и в дальнейшем используются для управления движением электропривода ЗА и формирования выходных сигналов блока.

Аналоговый выход предназначен для формирования унифицированного токового сигнала (4–20) мА пропорционального текущему положению запорного органа (4 мА – положение "Закрыто", 20 мА – положение "Открыто"). Промежуточному положению запорной арматуры будет соответствовать пропорциональное значение тока, находящееся внутри диапазона (4–20) мА. При отсутствии задания конечных положений ЗА блок формирует на аналоговом выходе токовый сигнал менее 1 мА.

Последовательный интерфейс RS-485 предназначен для обмена данными управления, сигнализации и настройками блока с АСУ ТП верхнего уровня, при этом блок является подчиненным (Slave) устройством. Интерфейс состоит из драйвера RS-485, преобразующего TTL-уровни сигналов с МК в физические уровни интерфейса RS-485 и опторазвязки. Опторазвязка осуществляет гальваническое разделение сигналов с МК от сигналов линии связи.

Информация по интерфейсу передается по протоколу: Modbus RTU.

Блок телемеханики предназначен для управления работой блока с помощью команд телеуправления (ТУ) и контроля состояния и режимов работы с помощью телесигнализации (ТС).

Источник питания (ИП) предназначен для преобразования входного трехфазного напряжения сети питания в напряжения питания собственных нужд и обеспечения гальванического разделения сети питания от внутренней электронной схемы блока и его выходных цепей. Обеспечивает функционирование блока в течении 3-х секунд после отключения основного питания.

Местный пост управления (МПУ) предназначен для управления работой блока оператором на месте установки блока. (Внешний вид МПУ приведён на рисунке 1).

В состав МПУ входят единичные светодиодные индикаторы, сигнализирующие о состояниях электропривода: "Открыто", "Закрыто", "Открывается", "Закрывается", "Неисправность", "Авария", режимы "Местное управление" (МУ)/"Дистанционное управление" (ДУ), а также наличие беспроводного канала связи Bluetooth и нахождение блока в дежурном режиме. Буквенно-цифровой индикатор предназначен для отображения названий параметров блока, ручки команд управления " О т к р ы т ь ", " З а к р ы т ь ", " С т о п " для управления перемещением электропривода и инфракрасный приемник для организации связи с ПДУ01.

С помощью ПДУ-01 можно настроить параметры работы блока и подать команды управления. Для предотвращения несанкционированного управления с МПУ в настройках блока предусмотрено блокирование команд на "Открытие"/"Закрытие" с ручек МПУ.

С помощью беспроводного канала связи можно осуществлять считывание информационного модуля.

Датчики тока (ДТ1...ДТ3) и датчики напряжения (ДН1...ДН3) предназначены для выполнения блока защитных функций от аварийных событий. Также с помощью контроля тока и напряжения блок контролирует момент на выходном валу электропривода и тем самым выполняет функцию ограничения крутящего момента на запорном органе ЗА. С помощью ДТ1...ДТ3 контролируется ток в фазах электродвигателя, а ДН1...ДН3 контролируется напряжение сети питания.

#### **2.5.4 Технические характеристики**

Мощность подключаемого двигателя: 0,37-7,5 кВт

Мощность, потребляемая блоком в режиме ожидания: 200 Вт

Отклонение частоты питающей сети:  $\pm 2$  Гц

Рабочий диапазон встроенного датчика положения: 16384 об. вала датчика положения

Погрешность встроенного датчика положения:  $\pm 1$  об. вала датчика положения

Погрешность ограничения крутящего момента на выходном звене ЭП от заданного значения в диапазоне от 20 до 100%:  $\pm 10\%$

Степень защиты: IP67

Наработка на отказ: 36000 ч

Среднее время восстановления: 2 ч

Габаритные размеры: 350x330x330

Масса: 16 кг

Назначенный срок службы до списания: 30 лет

Сечение подключаемых проводников цепей силового питания 380 В и электродвигателя: от 2.5 до 16 мм<sup>2</sup>

### **2.5.5 Общее описание алгоритма работы блока**

При подаче команды на движение блок начинает формировать напряжение на обмотку статора электродвигателя. Если крутящий момент электропривода превышает момент сопротивления нагрузки, электропривод начинает вращение и перемещает запорный орган. Если момент сопротивления нагрузки больше крутящего момента, заданного пользователем, то движения не происходит, электропривод развивает крутящий момент в течение времени, заданного пользователем, после которого блок обесточивает электродвигатель и выдает сигнал аварии "НЕТ ДВИЖЕНИЯ" (за исключением режима "Уплотнение" при полностью калиброванном датчике положения).

При достижении конечного положения блок останавливает электропривод и выдает сигнал о достижении конечного положения. Зона останова, в которой выставляется сигнал достижения конечного положения, может быть настроена пользователем.



Если заданы оба конечных положения, то становится возможным разбить траекторию движения на три участка (зона "Закрыто", зона "Открыто" и зона "Движение"), в каждом из которых возможно индивидуально задавать величину максимального крутящего момента.

Блок позволяет работать в режиме "Уплотнение" для обеспечения максимальной герметичности арматуры или максимального открытия арматуры. В этом режиме при достижении конечного положения блок выдает сигнализацию достижения конечного положения и продолжает движение до того момента, когда момент сопротивления нагрузки превысит крутящий момент, задаваемый пользователем. При этом происходит останов без выдачи аварийного сигнала о превышении момента сопротивления нагрузки. Данный режим может применяться для положений "Закрыто" и/или "Открыто".

Все аварии, команды и изменение состояния электропривода ("Стоп", "Движение" и др.) фиксируются в журнале событий с записью времени и даты возникновения события. Также фиксируются напряжения фаз входной сети, значение развиваемого крутящего момента и текущее положение выходного звена электропривода. Кроме того, блок позволяет фиксировать крутящий момент в зависимости от текущего положения при движении электропривода. Количество зафиксированных событий – 1000 с циклическим обновлением.

Конечные положения "Закрыто" и "Открыто" могут быть заданы следующими способами:

- прямым заданием конечных положений (электропривод перемещает запорный орган в любую точку, и эта точка назначается ему как конечное положение, затем электропривод перемещает запорный орган в другую точку, и эта точка назначается как второе конечное положение);
- заданием количества оборотов рабочего звена запорного органа (выходного звена электропривода), которые необходимо выполнить электроприводу, чтобы достигнуть положения "Открыто";

- заданием количества оборотов рабочего звена запорного органа (выходного звена электропривода), которые необходимо выполнить электроприводу, чтобы достигнуть положения "Закрыто".

### **2.5.6 Настройка диаграммы формирования крутящего момента на выходном звене электропривода**

Блок позволяет индивидуально задавать значения ограничений крутящих моментов на трех участках перемещения между конечными положениями: в зоне "Открыто", "Закрыто" и "Движение" (см. рисунок 10). Задание крутящих моментов возможно только при наличии заданных положений "Открыто" и "Закрыто".

Для задания зоны "Закрыто" необходимо выбрать параметр В9.Зона "Закрыто" и задать значение в оборотах выходного звена электропривода.

Для задания зоны "Открыто" необходимо выбрать параметр В10.Зона "Открыто" и задать значение в оборотах выходного звена электропривода.

Значения максимальных крутящих моментов, отрабатываемых блоком, зависят не только от нахождения в зоне, но и от направления вращения.

Для задания максимального крутящего момента, с которым будет происходить закрытие (уплотнение) в зоне "Закрыто", необходимо выбрать параметр В2.Момент уплотнения на закрытие и задать значение в Н·м.

Для задания крутящего момента, с которым будет происходить открытие в зоне "Закрыто" (срыв арматуры с закрытого положения), необходимо выбрать параметр В5. Момент трогания на открытие и задать значение в Н·м.

Для задания максимального крутящего момента, с которым будет происходить открытие (уплотнение в зоне "Открыто") в зоне "Открыто", необходимо выбрать параметр В4.Момент уплотнение на открытие и задать значение в Н·м.

Для задания крутящего момента, с которым будет происходить закрытие в зоне "Открыто", необходимо выбрать параметр В3.Момент трогания на закрытие и задать значение в Н·м.

Для задания крутящего момента, с которым будет происходить закрытие в зоне "Движение", необходимо выбрать параметр В0.Момент закрытия и задать значение в Н·м.

Для задания крутящего момента, с которым будет происходить открытие в зоне "Движение", необходимо выбрать параметр В1.Момент открытия и задать значение в Н·м.

Для задания времени работы "на упор" необходимо выбрать параметр В32.Время ограничения момента и задать значение времени в секундах.

Если электропривод не откалиброван по положению, то есть, не задано положения "Открыто" и/или "Закрыто", то блок осуществляет движение согласно следующим правилам:

Максимальный крутящий момент на закрытие задается в параметре В0.Момент закрытия.

Максимальный крутящий момент на открытие задается в параметре В1.Момент открытия.

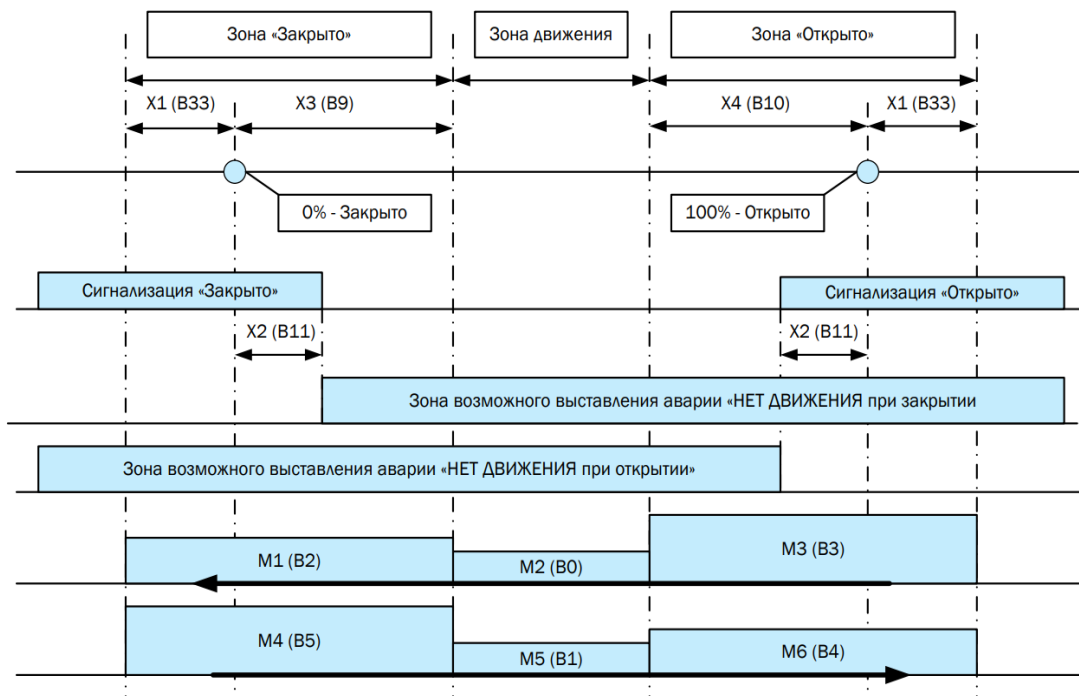


Рисунок 6 – Диаграмма работы блока в составе электропривода

Пояснения к диаграмме работы блока:

X1 – максимально допустимое для отработки расстояние при работе в режиме "Уплотнение". X1 определяется как количество оборотов рабочего звена запорного органа (выходного звена электропривода), заданное в параметре B33.Максимальный путь уплотнения.

X2 – расстояние, обеспечивающее гистерезис срабатывания конечных выключателей. Устанавливается пользователем, задается в параметре B11. Зона смещения.

X3 – зона "Закрыто", определяется как количество оборотов рабочего звена запорного органа (выходного звена электропривода). Устанавливается пользователем, задается в параметре B9.Зона закрыто.

X4 – зона "Открыто", определяется как количество оборотов рабочего звена запорного органа (выходного звена электропривода). Устанавливается пользователем, задается в параметре B10.Зона открыто.

M1 – момент уплотнения в зоне "Закрыто". Устанавливается пользователем, задается в параметре B2.Момент уплотнения на закрытие.

M2 – момент движения при закрытии. Устанавливается пользователем, задается в параметре B0. Момент закрытия.

M3 – пусковой момент из положения "Открыто". Устанавливается пользователем, задается в параметре B3. Момент трогания на закрытие.

M4 – пусковой момент из положения "Закрыто". Устанавливается пользователем, задается в параметре B5. Момент трогания на открытие.

M5 – момент движения при открытии. Устанавливается пользователем, задается в параметре B1. Момент открытия.

M6 – момент уплотнения в зоне "Открыто". Устанавливается пользователем, задается в параметре B4. Момент уплотнения на открытие.

Сигнализация "Закрыто" – выставление сигнализации на дискретном и последовательном интерфейсах, а также на единичных индикаторах МПУ о достижении состояния "Закрыто".

Сигнализация "Открыто" – выставление сигнализации на дискретном и последовательном интерфейсах, а также на единичных индикаторах МПУ о достижении состояния "Открыто".

### 3. Расчет характеристик

#### 3.1 Расчет асинхронного двигателя

Паспортные данные двигателя BA132S6

1. Синхронная скорость вращения:  $n_0 = 1000 \text{ (об / мин)}$ ,
2. Номинальное фазное напряжение:  $U_{\text{лн}} = 220 \text{ (В)}$ ,
3. Номинальная мощность двигателя:  $P_H = 5,5 \text{ (кВт)}$ ,
4. Номинальное скольжение:  $S = 0,05$ ,
5. Коэффициент полезного действия в режиме номинальной мощности:

$$\eta_H = 0,85,$$

6. Коэффициент мощности в режиме номинальной мощности:

$$\cos \varphi_H = 0,74,$$

7. Кратность максимального момента:

$$\frac{M_{\kappa}}{M_H} = k_{\max} = 2,5,$$

8. Кратность пускового момента:

$$\frac{M_n}{M_H} = k_n = 1,4,$$

9. Кратность пускового тока:

$$\frac{I_n}{I_H} = k_i = 5,5$$

$$J = 0,0482$$

Определяем передаточное отношение редуктора:

$$i_p = \frac{\omega_H}{\omega_{\text{MAX}}}$$

Где:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 50}{3} = 104,72 \text{ рад/с}$$

### 3.2 Расчет параметров схемы замещения

Для расчетов механических и электромеханических характеристик асинхронных машин нужно применить их математическую модель, которая в данном примере обуславливается разными схемами замещения. Самый легкий и комфортный для инженерных вычислений асинхронной машины представляется Т-образная схема замещения, рисунок 7.

Расчет параметров схемы замещения производим методом, приведенном в [3] с использованием каталожных данных. Погрешность данного метода не превосходит 15%, что вполне допустимо для инженерной практики.

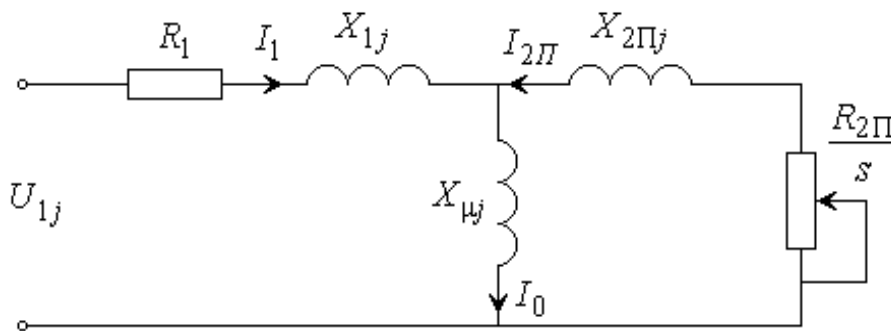


Рисунок 7 – Схема замещения АД

Номинальная скорость:

$$\omega_n = \omega_0 \cdot (1 - s_n) = 104,72 \cdot (1 - 0,05) = 99,484 \text{ рад/с}$$

$$n_n = n_0 \cdot (1 - s_n) = 1000 \cdot (1 - 0,05) = 950 \text{ об/мин}$$

Номинальный ток статора двигателя:

$$I_{1n} = \frac{P_n}{m \cdot U_{1n} \cdot \cos \phi_n \cdot \eta_n} = \frac{5500}{3 \cdot 220 \cdot 0,74 \cdot 0,85} = 13,25 \text{ (A)}$$

Ток статора при частичной нагрузке:

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_n}{m \cdot U_{1n} \cdot \cos \phi_{p_*} \cdot \eta_n} = \frac{0,75 \cdot 5500}{3 \cdot 220 \cdot 0,704 \cdot 0,85} = 10,443 \text{ (A)};$$

Коэффициент мощности при частичной нагрузке:

$$\cos \phi_{p_*} = K \cdot \cos \phi_n = 0,704 ;$$

Коэффициент загрузки двигателя:

$$p_* = P/P_H = 0,75.$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя можно найти из выражения:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - p_* I_{1H} \cdot \left( \frac{1-s_H}{1-p_* s_H} \right)^2}{1 - p_* \cdot \left( \frac{1-s_H}{1-p_* s_H} \right)^2}} = \sqrt{\frac{10,443^2 - 0,75 \cdot 13,25 \cdot \left( \frac{1-0,05}{1-0,75 \cdot 0,05} \right)^2}{1 - 0,75 \cdot \left( \frac{1-0,05}{1-0,75 \cdot 0,05} \right)^2}} = 5,336 (A)$$

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения:

$$S_K = S_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)}$$

$$= 0,05 \cdot \frac{2,5 + \sqrt{2,5^2 - (1 - 2 \cdot 0,05 \cdot 1 \cdot (2,5 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,05 \cdot 1 \cdot (2,5 - 1)} = 0,284$$

Значение коэффициента  $\beta$  находится в диапазоне 0,6 – 2,5. Одновременно здесь приводится пример расчёта параметров асинхронного двигателя на основании его справочных данных.

Определим коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{5,336}{2 \cdot 5,5 \cdot 13,25} = 1,037$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 (1-s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1-0,05)}{2 \cdot 1,037 \cdot 2,5 \cdot 5500} = 4,839$$

Тогда активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left( \beta + \frac{1}{S_K} \right) \cdot C_1} = \frac{4,839}{\left( 1 + \frac{1}{0,284} \right) \cdot 1,037} = 1,032 (Om)$$



Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,037 \cdot 1,032 \cdot 1 = 1,07 \text{ (Ом)}$$

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

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,284^2} - 1^2} = 3,379$$

Тогда:

$$X_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 3,379 \cdot 1,037 \cdot 1,032 = 3,614 \text{ (Ом)}$$

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

$$X'_{2н} = \frac{0,58 \cdot X_{кн}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 3,614}{1,037} = 2,022 \text{ (Ом)}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению:

$$X_{1н} = 0,42 \cdot X_{кн} = 0,42 \cdot 3,614 = 1,518 \text{ (Ом)}$$

По найденным значениям переменных  $C_1$ ,  $R'_2$ ,  $R_1$  и  $X_{кн}$  определим критическое скольжение:

$$s_k = \frac{C_1 \cdot R'_2}{\pm \sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}} = \frac{1,037 \cdot 1,032}{\pm \sqrt{1,07^2 + 3,614^2}} = 0,284$$

Э.Д.С. ветви намагничивания  $E_1$ , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1j} \cos \varphi_{1н} - R_1 I_{1н})^2 + (U_{1j} \sin \varphi_{1н} + X_1 I_{1н})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,74 - 1,07 \cdot 13,25)^2 + (220 \cdot 0,673 + 1,518 \cdot 13,25)^2} = 196,06 \text{ (В)} \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_{\mu н} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{196,06}{5,336} = 36,741 \text{ (Ом)}$$

Можно сделать вывод, что  $s_{кр} = s_k = 0,284$  с большой степенью точности, поэтому нет необходимости в какой-либо коррекции.

Индуктивность рассеяния статорной обмотки:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{1,518}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,004832 \text{ Гн.}$$

Индуктивность рассеяния роторной обмотки, приведенной к статорной:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{2,022}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,006437 \text{ Гн.}$$

Индуктивность ветви намагничивания:

$$L_{\mu H} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{36,741}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,117 \text{ Гн.}$$

Значение номинального потокосцепления двигателя

$$\Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 5,336 \cdot 0,117 = 0,883 \text{ Вб.}$$

Значение номинального электромагнитного момента двигателя:

$$\begin{aligned} M_{\text{эм.н}} = M_{\text{эм.н}}(s_H) &= \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[ (X_{кH})^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 1,032}{104,72 \cdot 0,05 \cdot \left[ 3,614^2 + \left( 1,07 + \frac{1,032}{0,05} \right)^2 + \left( \frac{1,07 \cdot 1,032}{0,05 \cdot 36,741} \right)^2 \right]} = 59,052 \text{ Н} \cdot \text{м.} \end{aligned}$$

Момент трения на валу двигателя:

$$M = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{5500}{99,484} = 55,289 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$$M_{\text{с.дв}} = M_{\text{эм.н}} - M = 59,052 - 55,289 = 3,763 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Момент инерции механизма, приведенный к валу двигателя:

$$J_M = 0,5 \cdot J_{\text{дв}} = 0,5 \cdot 0,0482 = 0,0241 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Эквивалентный момент инерции привода:

$$J_{\text{э}} = J_{\text{дв}} + J_M = 0,0482 + 0,0241 = 0,0723 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

### 3.3 Расчет статических характеристик

Все расчеты производим, используя параметры схемы замещения.

Найдем синхронную угловую скорость:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 50}{3} = 104,72 \text{ (рад/с)}$$

Рассчитаем и построим естественную электромеханическую характеристику.

Полагая, что ток намагничивания двигателя имеет полностью реактивный характер, выражение для электромеханической характеристики, описывающей зависимость тока статора от скольжения, запишется следующим образом:

$$I_{1j}(s) = \sqrt{I_0^2 + I_{2j}'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_{2j}'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)},$$

$$I_{2j}'(\omega) = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega_0 - \omega}\right)^2 + \left(X_{1H} + X_{2H}'\right)^2}}$$

где  $I_0$  будет меняться в зависимости от величины питающего напряжения, согласно выражению:

$$I_{0j} = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + \left(X_{1H} + X_{\mu H}\right)^2}},$$

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

Естественные электромеханические характеристики токов статора и ротора приведены на рисунках 8, 9.

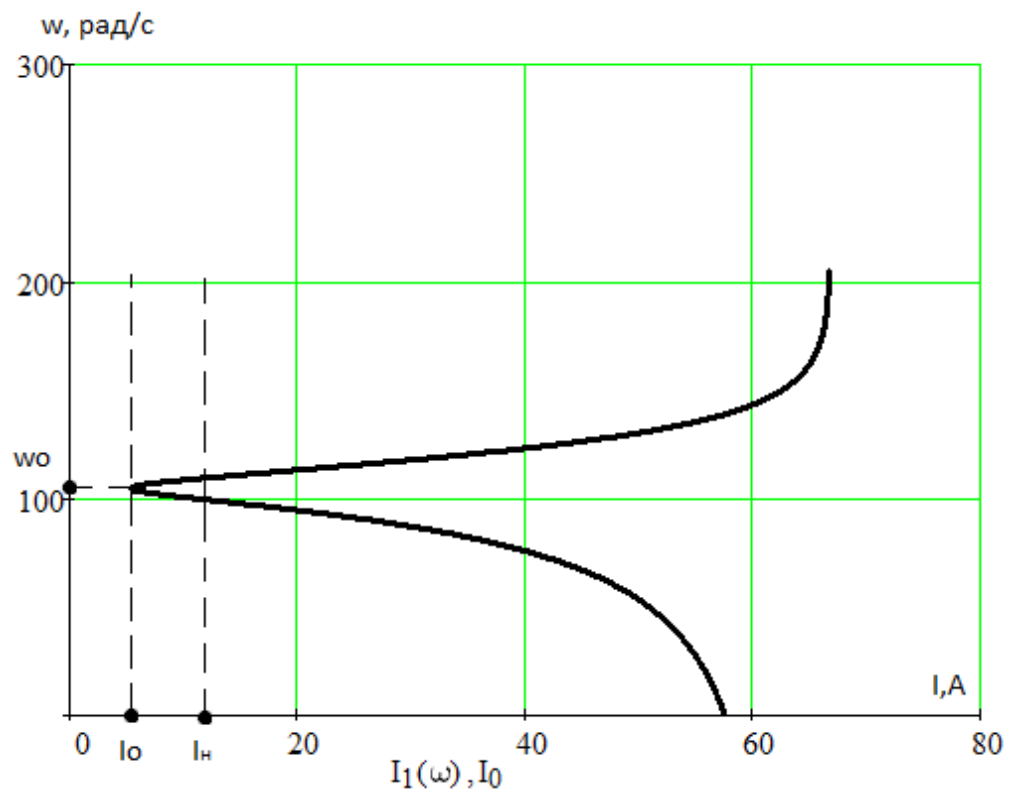


Рисунок 8 – Естественная электромеханическая характеристика тока статора

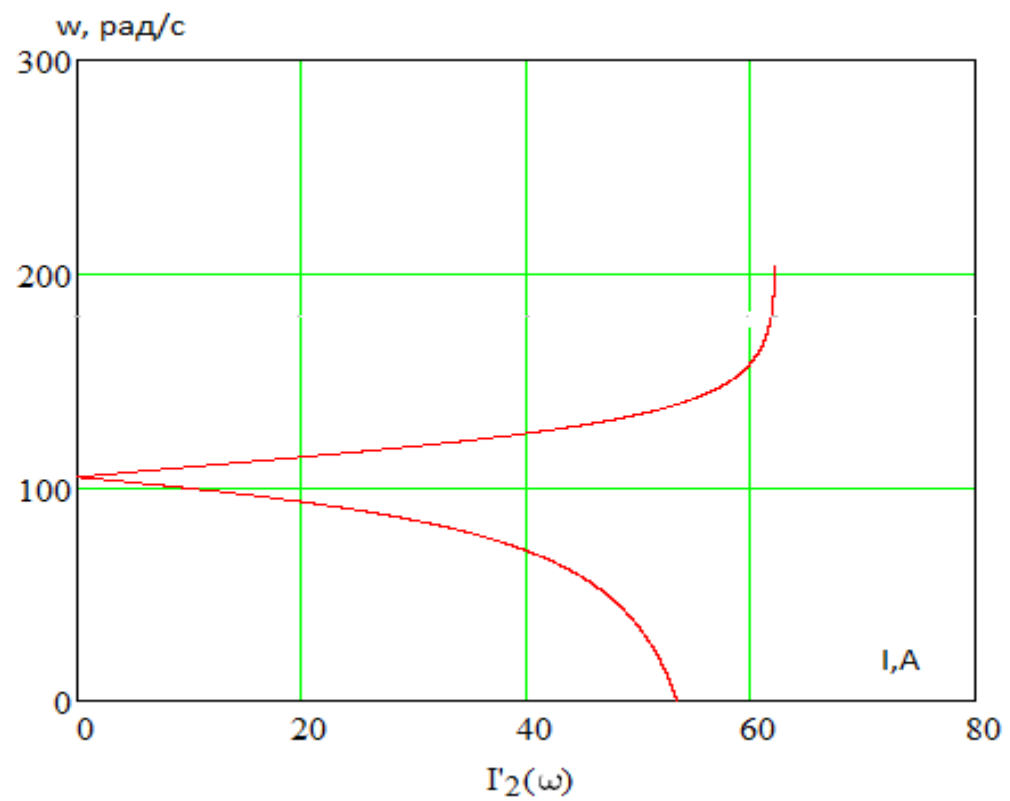


Рисунок 9 – Естественная электромеханическая характеристика тока ротора

Искусственные электромеханические характеристики токов статора и ротора при изменении напряжения питающей сети строятся по следующим формулам:

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega_0 - \omega}\right)^2 + \left(X_{1H} + X_{2H}'\right)^2}}$$

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \left[ \frac{X_{1H} + X_{2H}'}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega_0 - \omega}\right)^2 + \left(X_{1H} + X_{2H}'\right)^2}} \right]}$$

Искусственные электромеханические характеристики токов статора и ротора приведены на рисунках 10, 11.

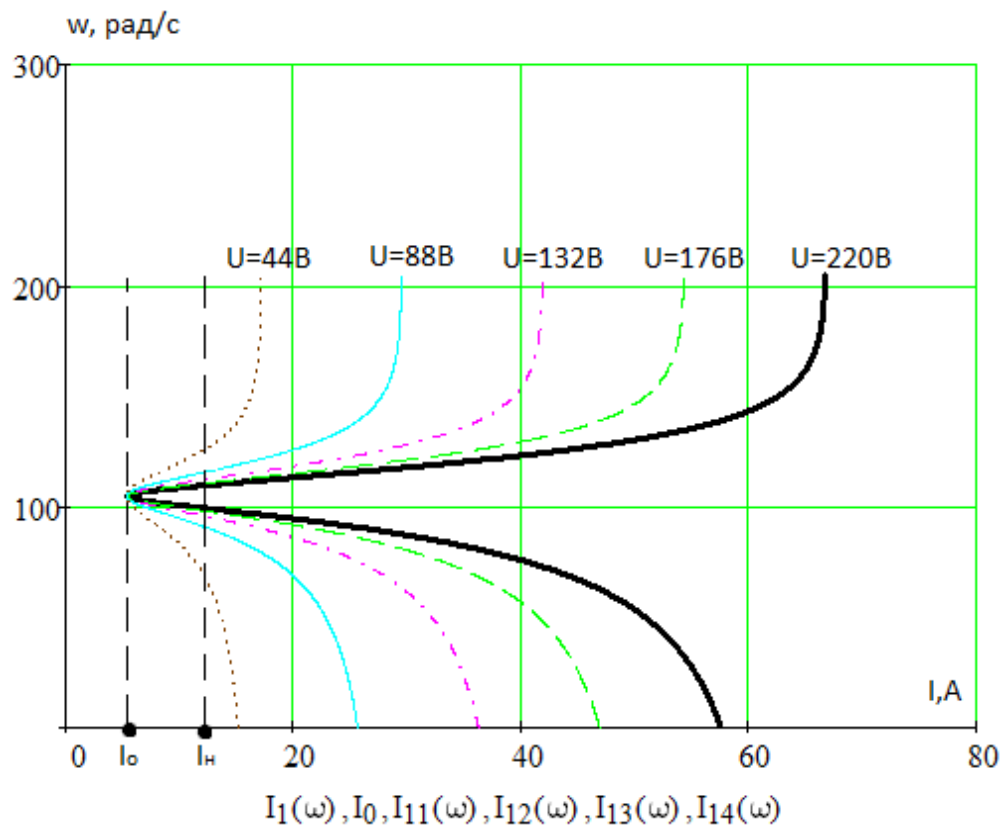


Рисунок 10 – Искусственные электромеханические характеристики тока статора

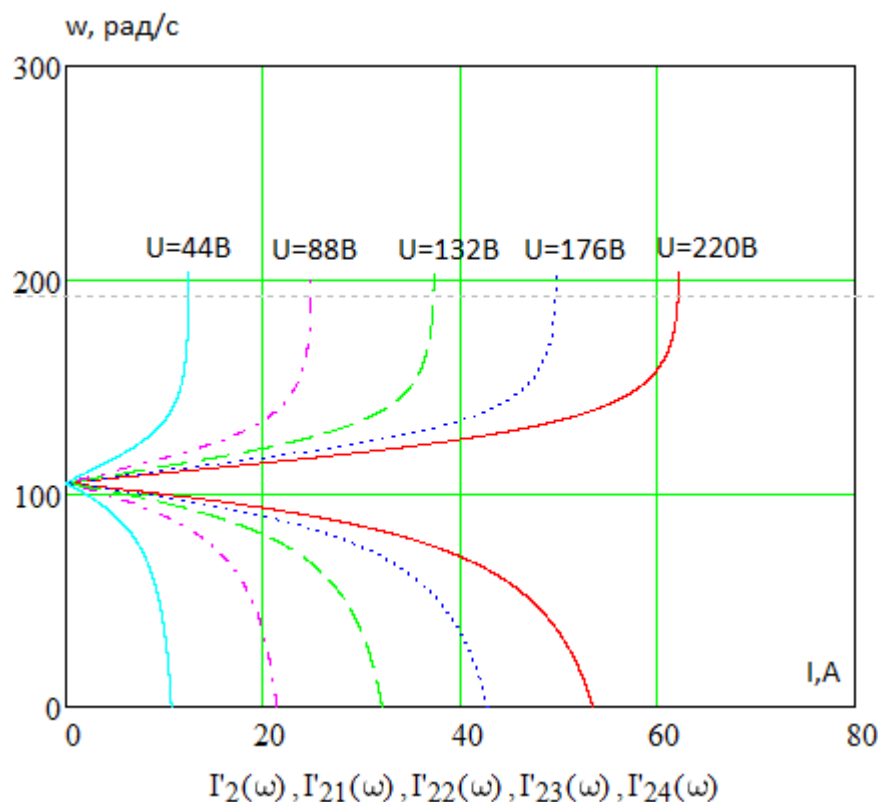


Рисунок 11 – Искусственные электромеханические характеристики тока ротора

Механическая характеристика двигателя определяется следующим выражением:

$$M_j(s) = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_{кн}^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu н}} \right)^2 \right]}.$$

Как известно, потери трения приблизительно определяются по следующей формуле:

$$P_{тр} = 0,02 \cdot P_H = 0,02 \cdot 5500 = 110 \text{ Вт}.$$

Кроме того, принимается, что потери трения практически не зависят от частоты вращения, поэтому момент трения определится как

$$M_0 = \frac{P_{mp}}{\omega_n} = \frac{110}{104,72} = 1,05 (H \cdot m).$$

Вид механических характеристик системы ТРН – АД зависит от приложенного к статорным обмоткам АД переменного напряжения.

Напряжение в системе ТРН – АД зависит от значений угла включения тиристора  $\alpha$ , отсчитываемого от начала полуволны фазного напряжения, и угла сдвига фаз напряжения и тока в обмотке статора АД  $\varphi$ , (при условии  $\alpha > \varphi$ ). Фазные токи и напряжения имеют несинусоидальный прерывистый характер.

При регулировании ТРН с синхронизацией по напряжению, когда угол открытия тиристоров  $\alpha$  начинает отсчет от основы полуволны фазного напряжения, появляется внутренняя позитивная обратная связь. Она представляется зависимостью напряжения на выходе ТРН от разности углов  $\alpha - \varphi$ .

Естественная механическая характеристика двигателя приведена на рисунке 12.

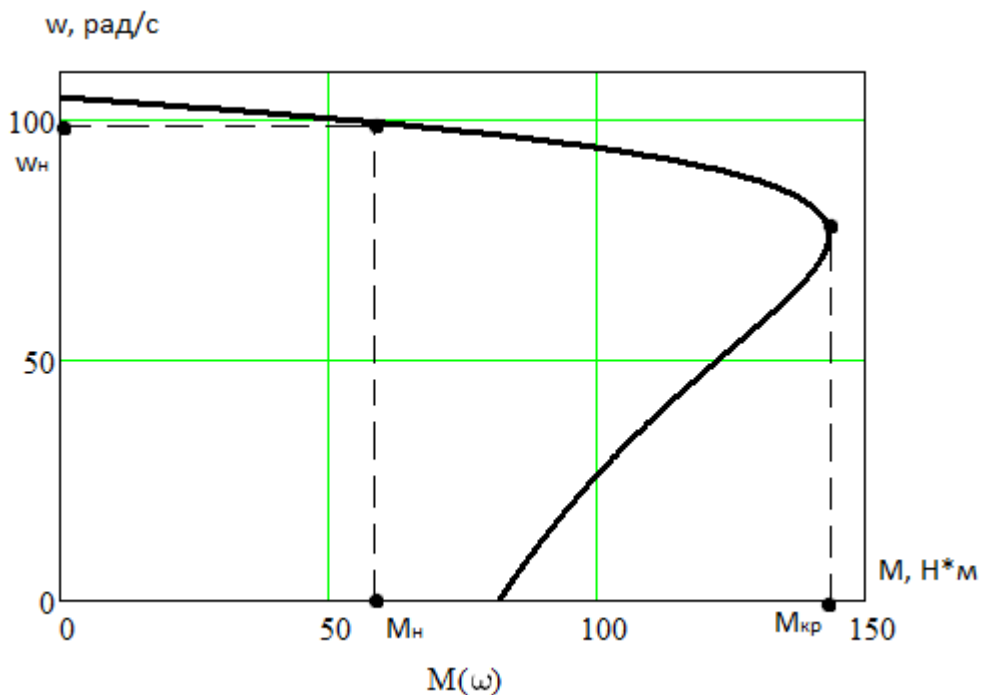


Рисунок 12 – Естественная механическая характеристика двигателя

Искусственные механические характеристики двигателя при изменении напряжения питающей сети строятся по следующим формулам:

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

Искусственные механические характеристики двигателя при изменении напряжения питающей сети приведены на рисунке 13.

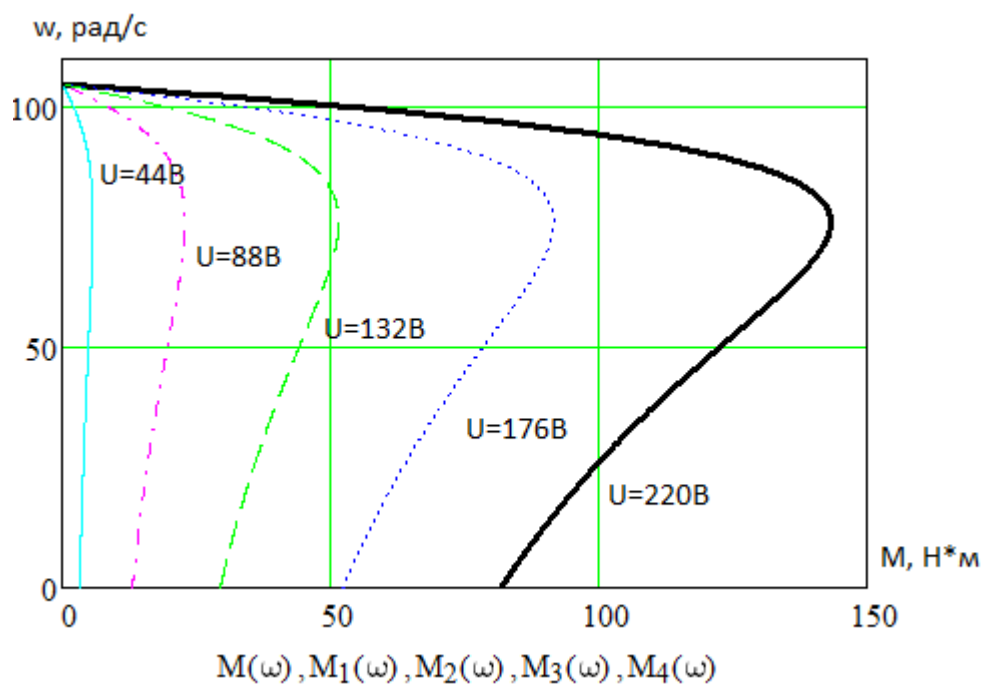


Рисунок 13 – Искусственные механические характеристики двигателя при изменении напряжения питающей сети



## 4. Разработка имитационной модели системы ТРН-АД

### 4.1. Имитационная модель асинхронного двигателя и проверка адекватности

Имитационная модель системы ТРН-АД приведена на рисунке 14.

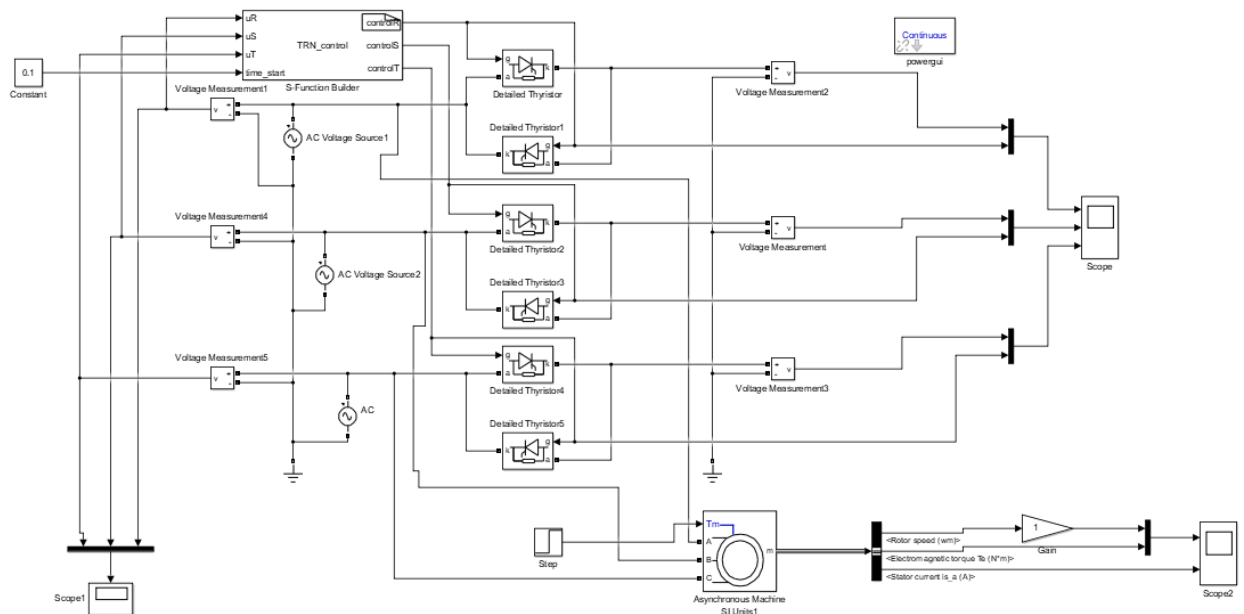


Рисунок 14 – Имитационная модель системы ТРН-АД

Производится проверка по характерным точкам на холостом ходу и под нагрузкой. На рисунке 15 представлены настройки блока асинхронной машины. На рисунке 16 представлены результаты пуска двигателя и его работа на холостом ходу, а также под нагрузкой. Исходя из графика 16 можно отметить, что скорость холостого хода и скорость под нагрузкой двигателя совпадает со скоростью, рассчитанной в программной среде Mathcad и составляет:

$$\omega_0 = 99 \text{ рад/с}$$

$$\omega_n = 104 \text{ рад/с}$$

Block Parameters: Asynchronous Machine SI Units1

Asynchronous Machine (mask) (link)

Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor, squirrel cage or double squirrel cage) modeled in a selectable dq reference frame (rotor, stator, or synchronous). Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Advanced Load Flow

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

[ 5500 380 50 ]

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

[ 1.07 0.004832 ]

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

[ 1.032 0.006437 ]

Mutual inductance Lm (H):

0.117

Inertia, friction factor, pole pairs [ J(kg.m^2) F(N.m.s) p() ]:

[ 0.0482 0 3 ]

Initial conditions

[ 1,0 0,0,0 0,0,0 ]

☐ Simulate saturation Plot

[ i(Arms) ; v(VLL rms) ]: 778367 ; 230, 322, 414, 460, 506, 552, 598, 644, 690]

OK Cancel Help Apply

Рисунок 15 – Настройки блока асинхронной машины

Также можно отметить, что момент на графике 16 полностью соответствует моменту, рассчитанному в программной среде Mathcad и составляет:

$$M = 55 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

На рисунке 16 и 17 представлены результаты прямого пуска двигателя под нагрузкой и без нагрузки.

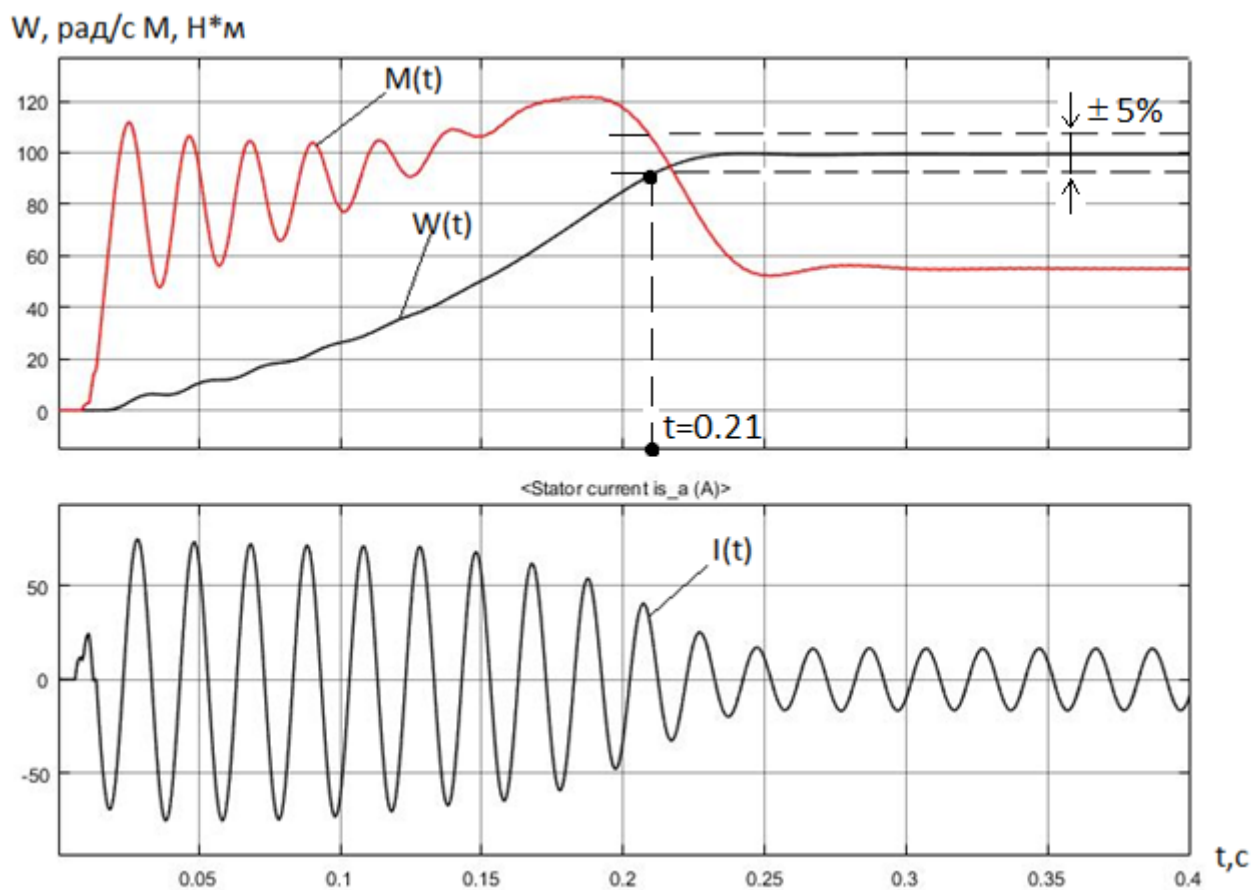


Рисунок 16 – Прямой пуск асинхронного двигателя под нагрузкой

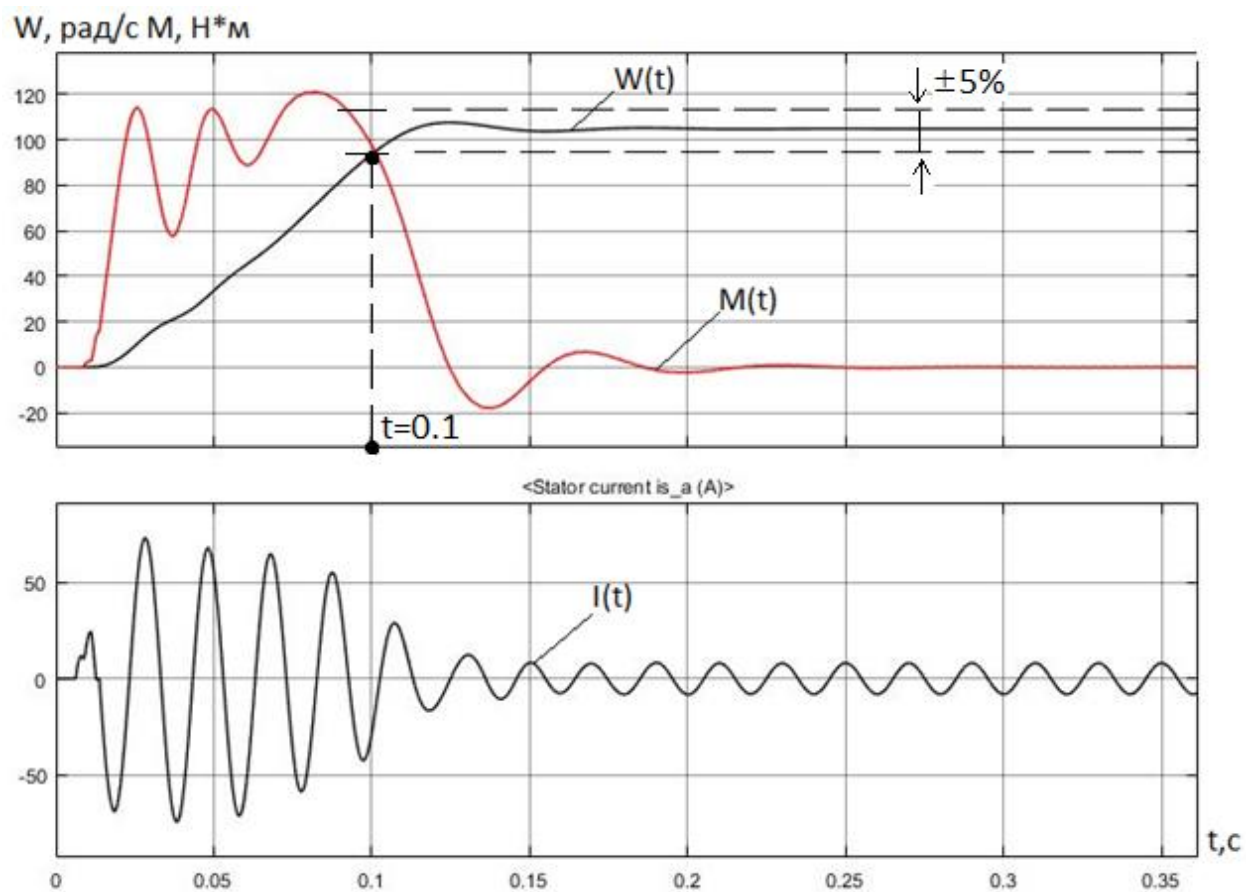


Рисунок 17 – Прямой пуск асинхронного двигателя без нагрузки

#### 4.2. Имитационная модель плавного пуска системы ТРН-АД

Соберем в матлабе систему ТРН-АД для получения плавного пуска асинхронного двигателя. Блок S-function позволяет управлять тиристорами и менять угол управления. Изменяя угол управления и зная время пуска асинхронного двигателя от сети, полученное в предыдущем опыте, вставим его в блок Constant, тем самым заставим раскрываться тиристоры за время пуска двигателя, в данном случае 0,15 с. Угол управления альфа равен 80. На рисунке 18 представлена схема в Matlab системы ТРН-АД.

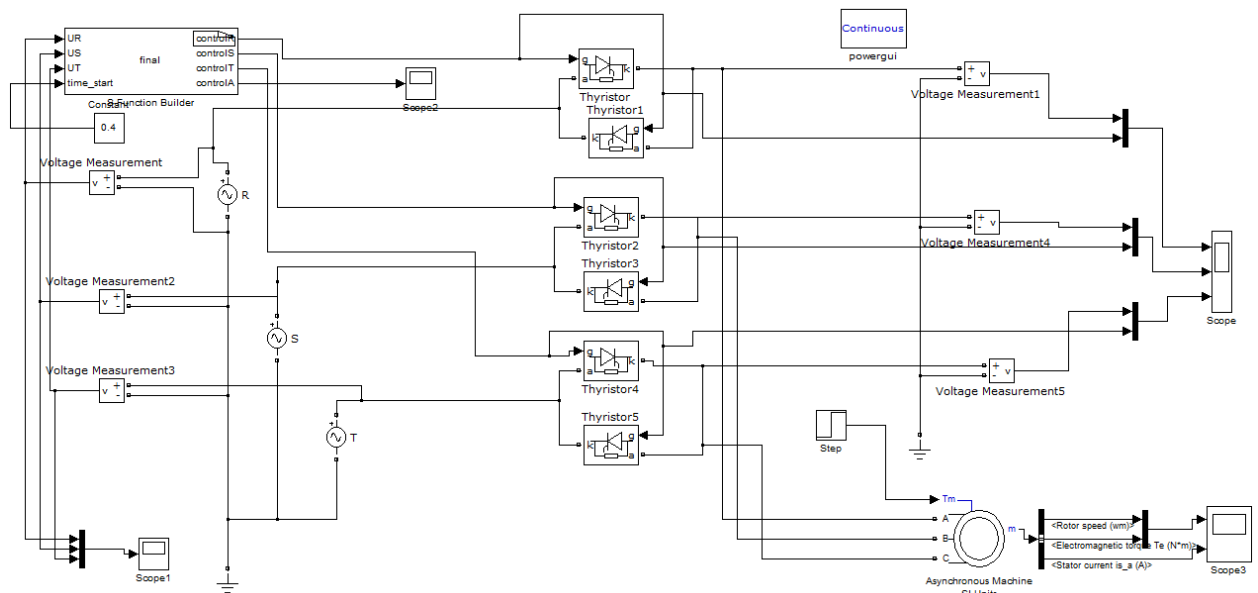


Рисунок 18 – Схема в Matlab системы ТРН-АД

Полный текст программы для системы управления ТРН с возможностью плавного пуска приведен ниже:

```
unsigned static pilaR = 0, pilaS = 0, pilaT = 0, alpha = 90, timer_st = 0;
int static prevUR = 0, prevUS = 0, prevUT = 0;

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

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;

```

На рисунке 19 и 20 представлены результаты плавного пуска двигателя без нагрузки и под нагрузкой.

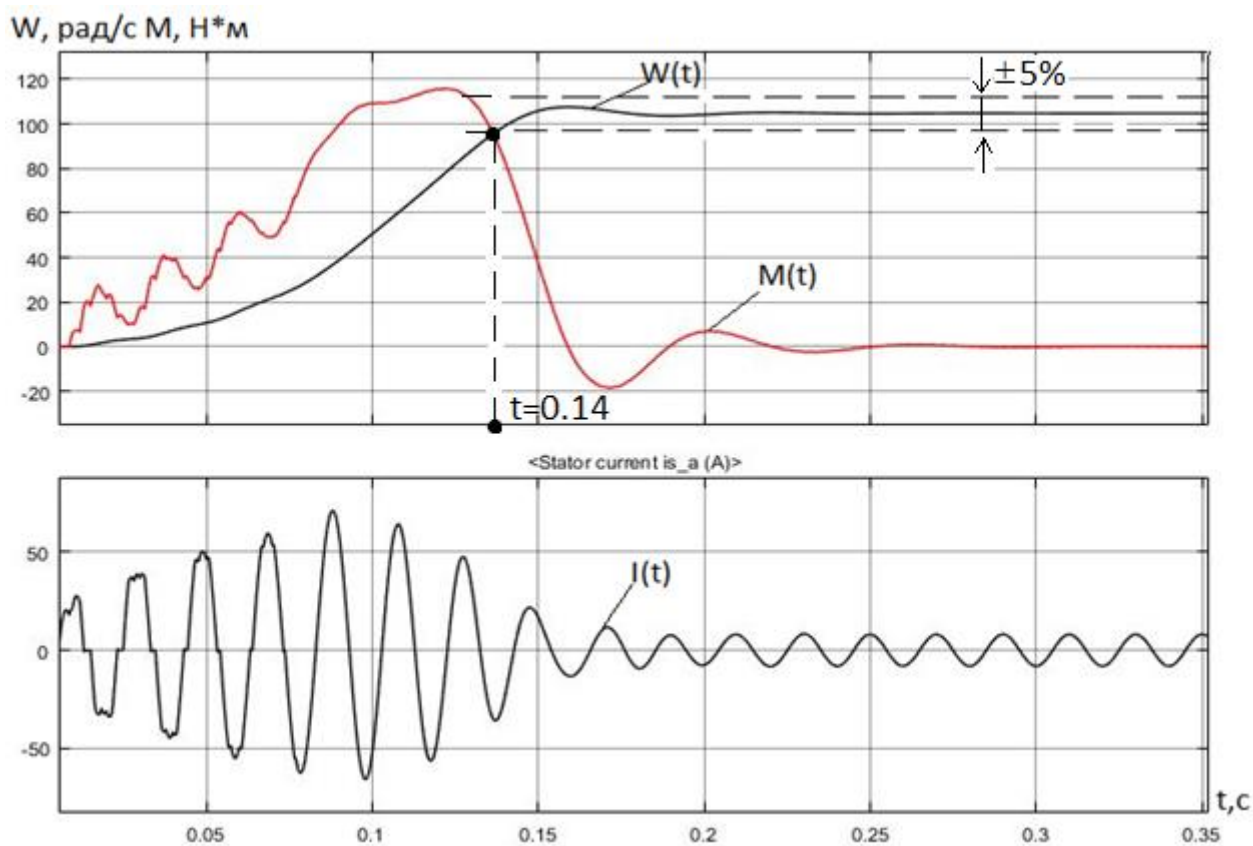


Рисунок 19 – Плавный пуск асинхронного двигателя без нагрузки

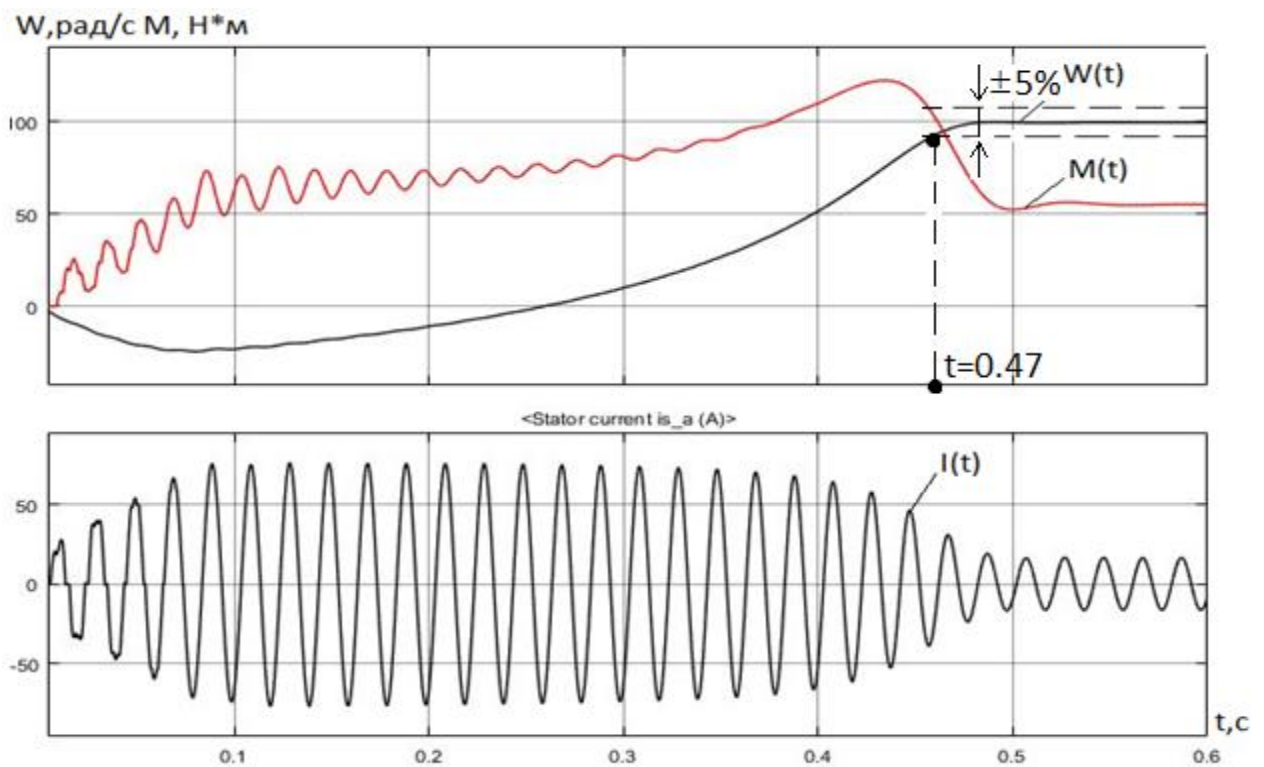


Рисунок 20 – Плавный пуск асинхронного двигателя под нагрузкой

Из рисунка 20 видно, что в момент пуска двигателя скорость становится отрицательной и лишь в 0,3с двигатель начинает набирать скорость. Это обусловлено тем, что в трубопроводе действует, магистральное давление, в начальный момент времени, момент двигателя меньше момента нагрузки, поэтому происходит поворот в обратном направлении.

#### 4.3. Имитационная модель ТРН-АД с реактивной нагрузкой

Исследуемая задвижка носит характер реактивной нагрузки. Для того, чтобы включить в схему реактивную нагрузку, необходимо в S-function добавить дополнительные порты входа и выхода, добавить программный код. А также добавить блок Constant, в котором задается изменяемая величина. Соберем в матлабе схему ТРН-АД с реактивной нагрузкой, для получения плавного пуска асинхронного двигателя. На рисунке 21 представлена схема в Matlab системы ТРН-АД с реактивной нагрузкой.

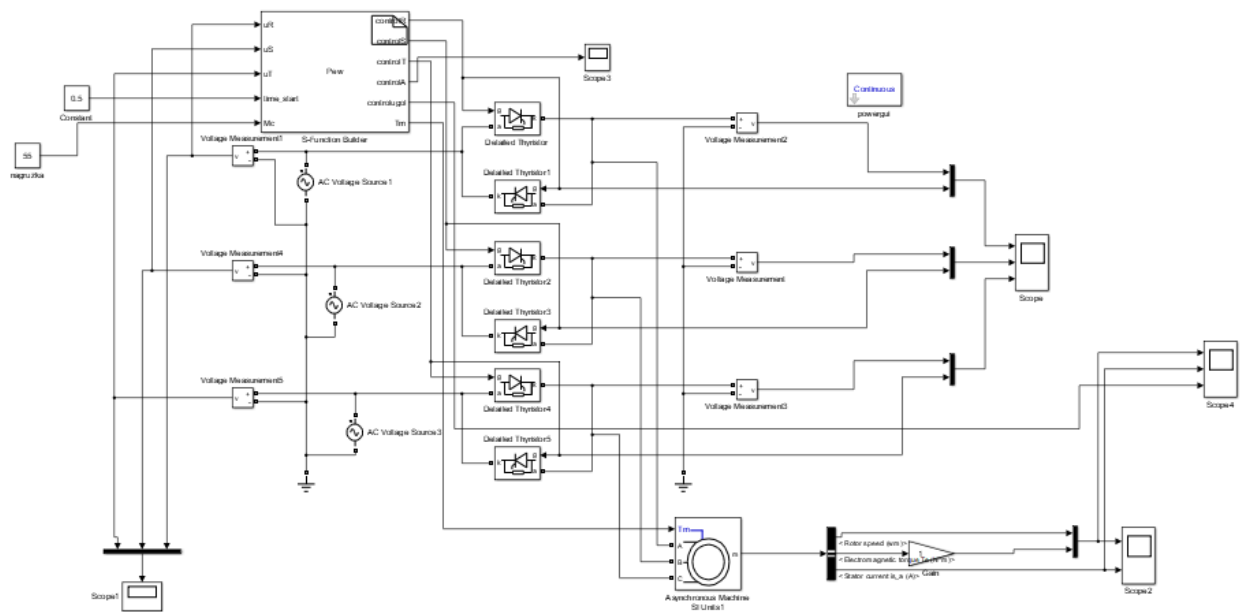


Рисунок 21 – Схема в Matlab системы ТРН-АД с реактивной нагрузкой

Полный текст программы для системы управления ТРН с реактивной нагрузкой приведен ниже:

```
//объявление переменных
unsigned static pilaR = 0, pilaS = 0, pilaT = 0, alpha = 150, timer_st = 0;
int static prevUR = 0, prevUS = 0, prevUT = 0, prevUB = 0, prevUL = 0;
//изменение угла в течение заданного времени
if (timer_st++ > (18000*time_start[0]/150))
{
    alpha--;
    timer_st = 0;
}
if (alpha > 160) alpha = 160;
if (alpha < 10) alpha = 10;
//нагрузка
if (W[0] > 0) Tm[0] = Mc[0];
if (W[0] < 0) Tm[0] = - Mc[0];
if (W[0] == 0) Tm[0] = 0;
//создание бесконечно нарастающего сигнала
pilaR++;
pilaS++;
pilaT++;
//алгоритм нахождения 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;
//запоминаем текущее значение напряжения
prevUR = uR[0];
prevUS = uS[0];
prevUT = uT[0];
//создаем импульс управления для R,S,T
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;
    //передаем пилу на выход
    controlA[0] = pilaR;
    controlugol[0] = alpha;

```

На рисунке 22 и 23 представлены результаты плавного пуска двигателя под реактивной нагрузкой и без нагрузки.

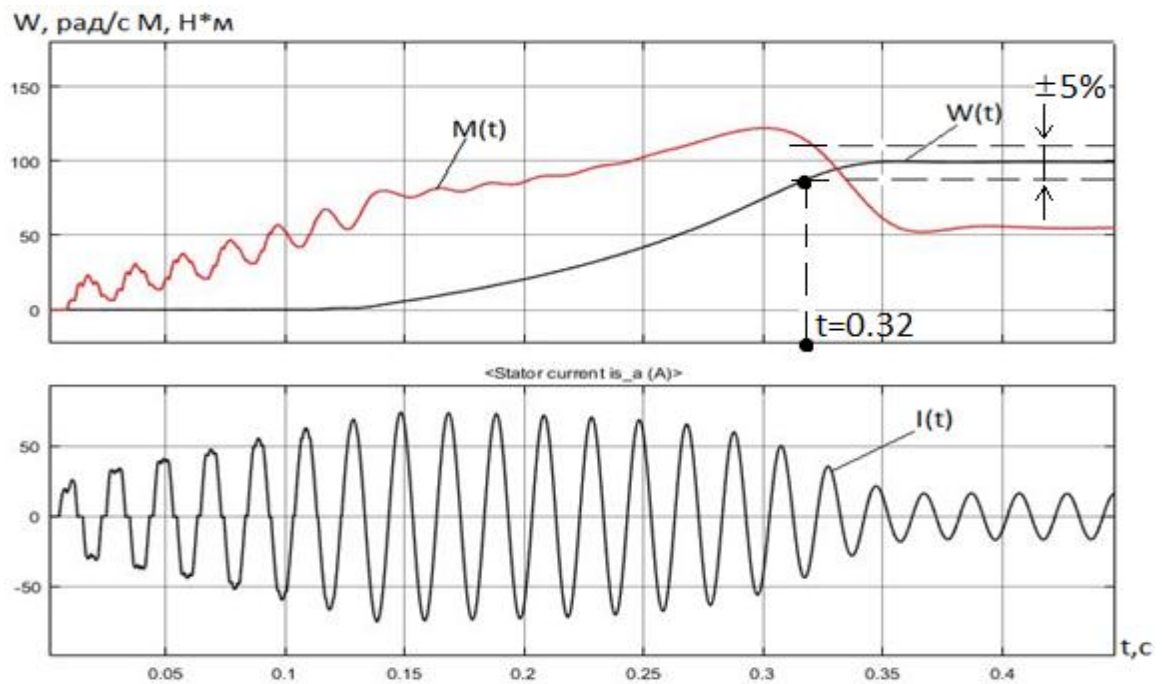


Рисунок 22 – Плавный пуск асинхронного двигателя под реактивной нагрузкой

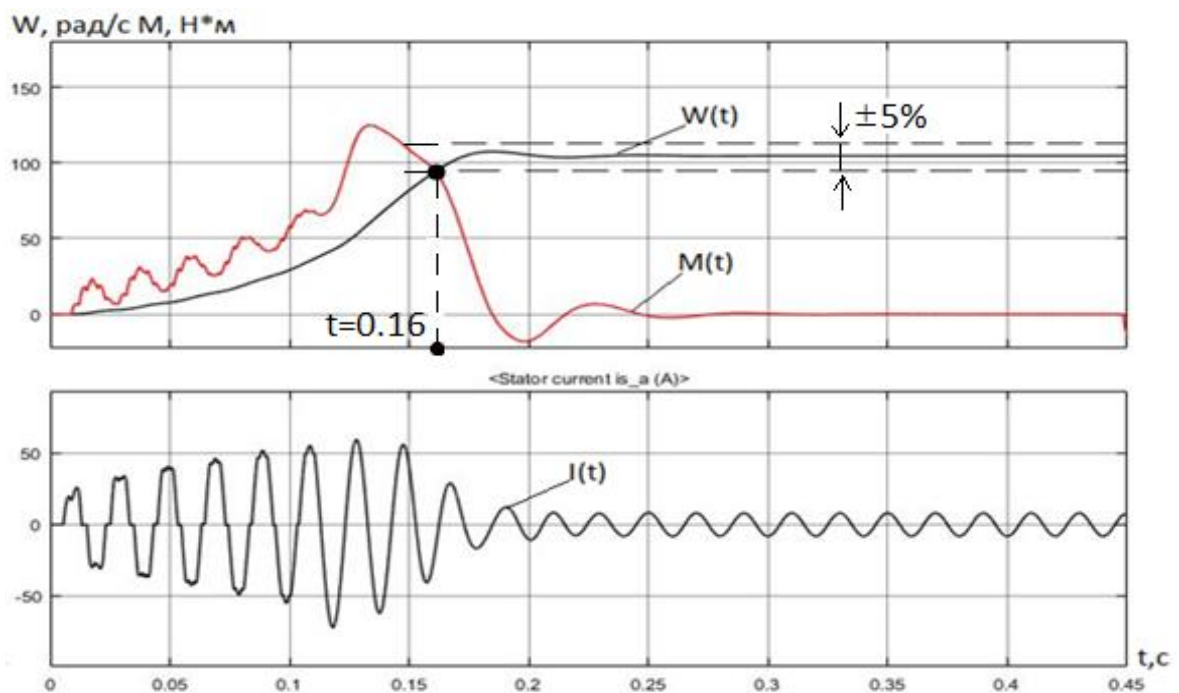




Рисунок 23 – Плавный пуск асинхронного двигателя без нагрузки

Проанализируем работу графика плавного пуска более детально. На рисунке 24 представлены графики напряжения, скорости, момента, тока и угла управления при плавном пуске двигателя.

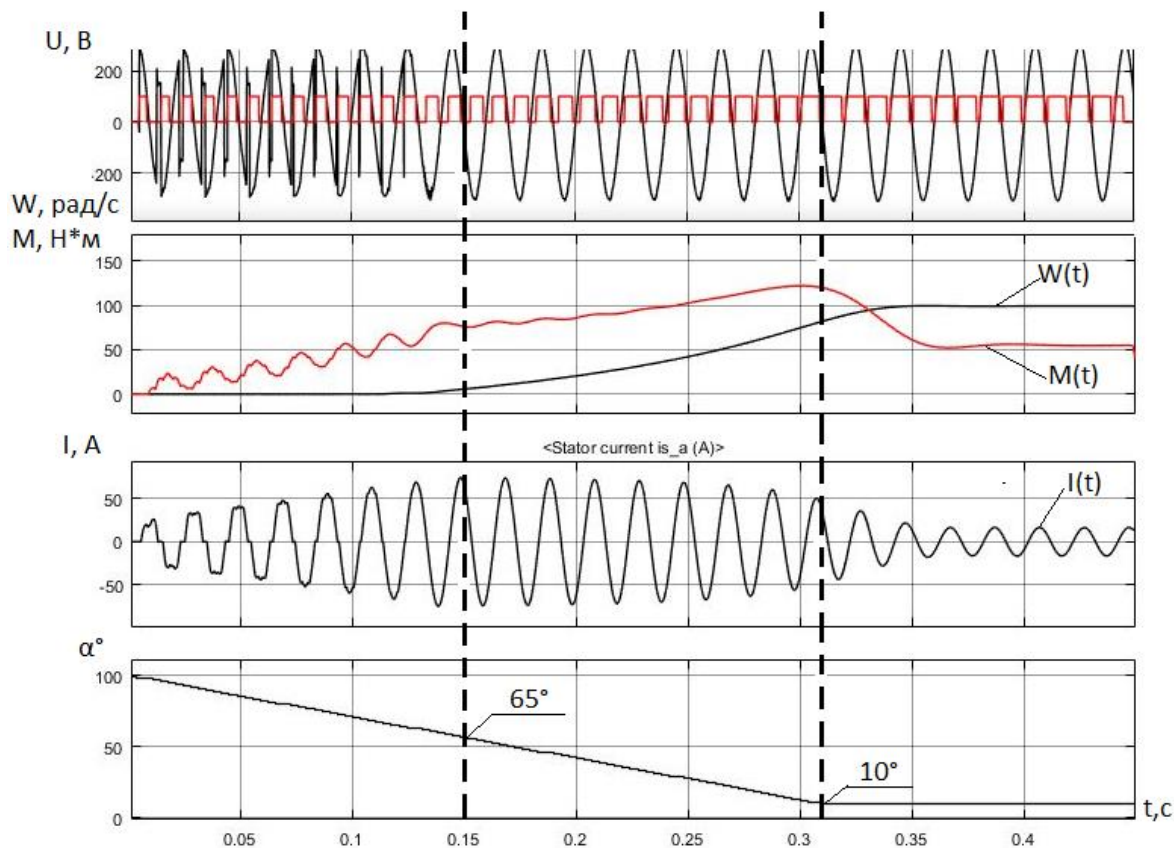


Рисунок 24 – Плавный пуск асинхронного двигателя

Разобьем график на 3 участка. На первом участке подается питающее напряжение, которое имеет резаную форму. Происходит нарастание тока статора. Угол управления плавно понижается, скорость двигателя равна нулю. На втором участке, когда угол управления достигает  $65^\circ$ , питающее напряжение выравнивается и принимает синусоидальную форму. Ток статора стабилизируется и происходит разгон двигателя. На третьем участке угол управления достигает конечного значения  $10^\circ$ , напряжение стабильное. Ток понижается и становится стабильным, двигатель плавно выходит на установившуюся скорость.

#### 4.4. Имитационная модель реверсивного ТРН

Была разработана имитационная модель реверсивного тиристорного регулятора напряжения, изображенная на рисунке 25.

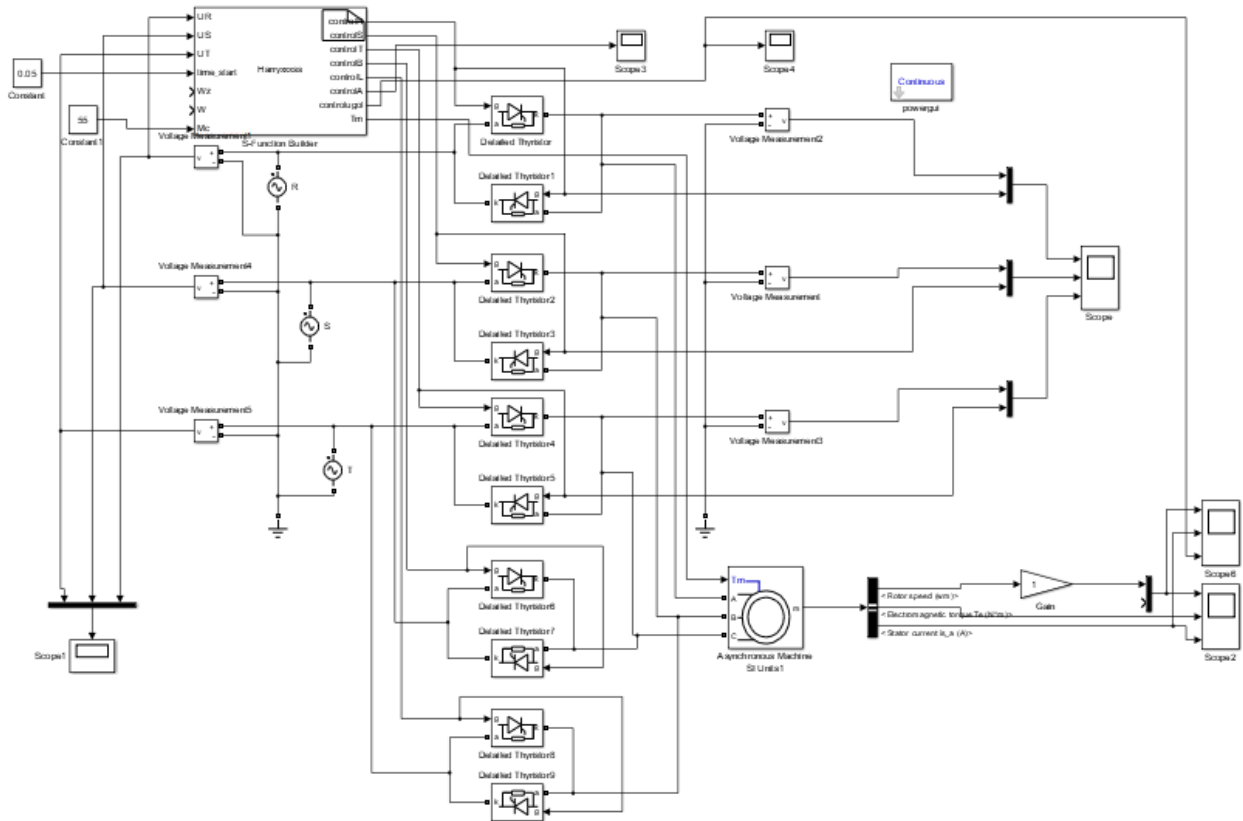


Рисунок 25 – Имитационная модель реверсивного ТРН

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

```
//объявление переменных
unsigned static pilaR = 0, pilaS = 0, pilaT = 0, alpha = 80, timer_st = 0,
timer = 0, timer_sd = 0;
int static prevUR = 0, prevUS = 0, prevUT = 0, prevUB = 0, prevUL = 0;
    timer_sd++;
//создание бесконечно нарастающего сигнала
pilaR++;
pilaS++;
pilaT++;
//алгоритм нахождения 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;
//запоминаем текущее значение напряжения
prevUR = UR[0];
prevUS = US[0];
prevUT = UT[0];
if (timer_sd < 18000)
```

```

{
    //изменение угла в течение заданного времени
    if (timer_st++ > (18000*time_start[0]/150))
    {
        alpha--;
        timer_st = 0;
    }
    if (alpha > 160) alpha = 160;
    if (alpha < 10) alpha = 10;
    //создаем импульс управления для R,S,T
    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;
    //передаем пилу на выход
    controlA[0] = pilaR;
    controlugol[0] = alpha;
}
else if (timer_sd >= 18000)
{
    if (timer_sd == 18000)
        alpha = 150;

    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;
    controlugol[0] = alpha;
}
}

```

Был произведен реверс тиристорного регулятора напряжения, результат представлен на рисунке 26.

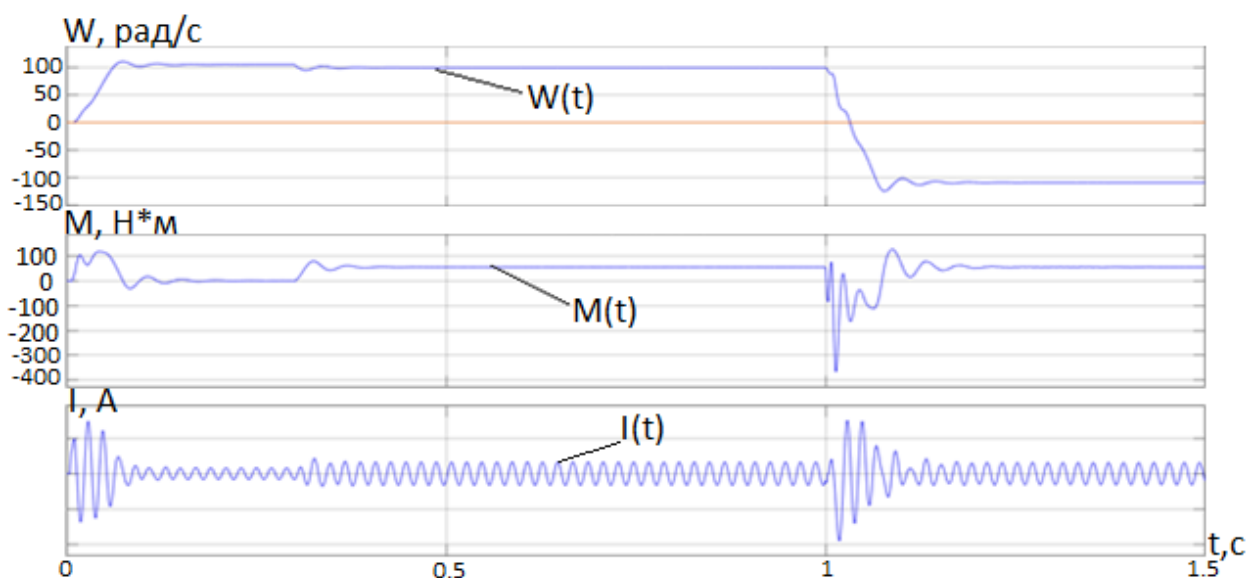


Рисунок 26 – Реверс асинхронного двигателя

Из графика видно, что после реверса наш момент и скорость выходят на заданные значения. Из этого следует, что модель работает верно.

#### 4.5. Имитационной модель плавного реверсивного ТРН

Из рисунка 26 видно, что момент при реверсе достаточно большой, чтобы уменьшить момент при реверсе, используем тот же метод, что и для плавного пуска. Для этого с помощью блока S-function, сделаем угол управления для реверса отличный от угла управления пуска и сравним значения для разных углов управления.

На рисунке 27 и 28 представлены результаты плавного реверса двигателя под нагрузкой при разных углах управления.

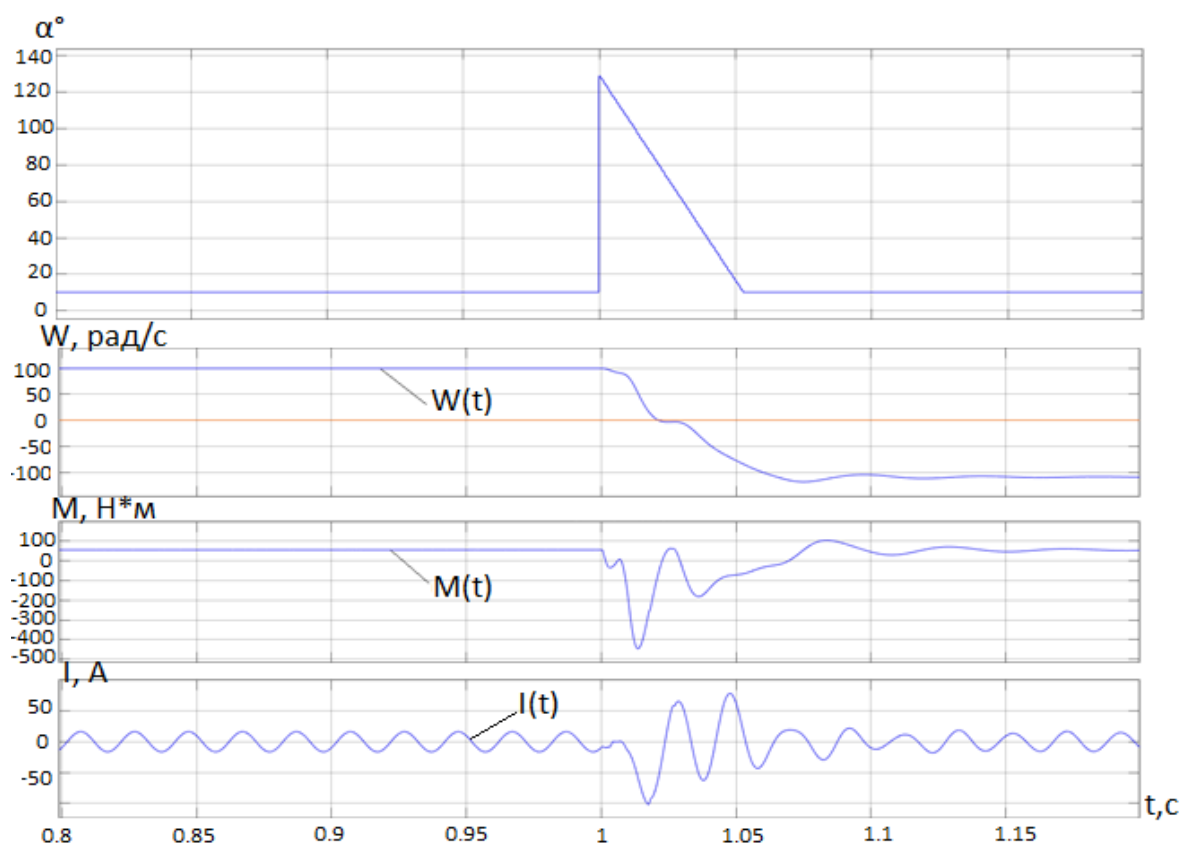


Рисунок 27 – Реверс двигателя при угле управления  $130^\circ$

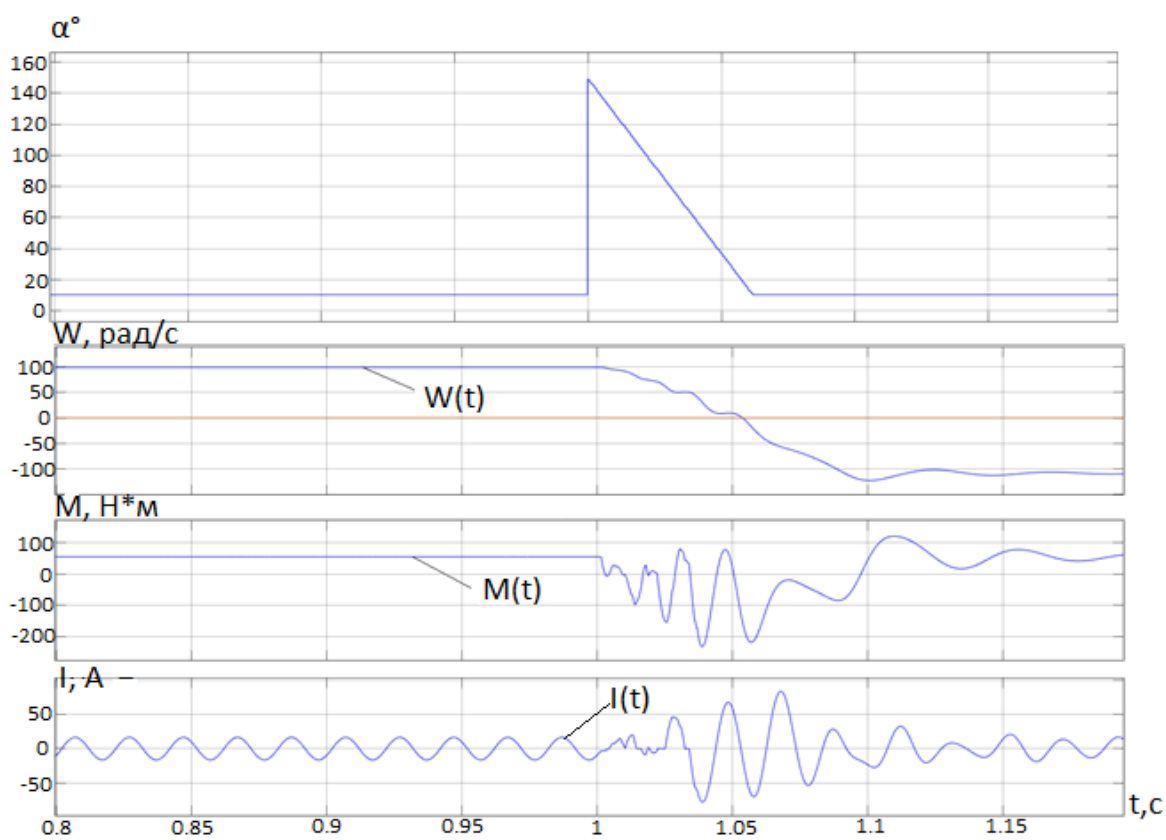


Рисунок 28 – Реверс двигателя при угле управления  $150^\circ$

Из графиков видно, что, изменяя угол управления бросок момента уменьшился почти в 2 раза.

#### 4.6. Регулирование скорости вращения асинхронного двигателя с помощью системы ТРН-АД

Зачастую, технологический процесс требует изменения скорости вращения исполнительного органа электропривода. Обычно для этих целей используют свойства самого электродвигателя.

Угловую скорость можно менять следующими способами: изменением частоты; изменением числа пар полюсов и скольжения; изменением напряжения питания.

Имея соответствующий преобразователь электрической энергии (ТРН) и качественную систему управления для него, можно довольно качественно регулировать скорость вращения асинхронного двигателя.

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 29.

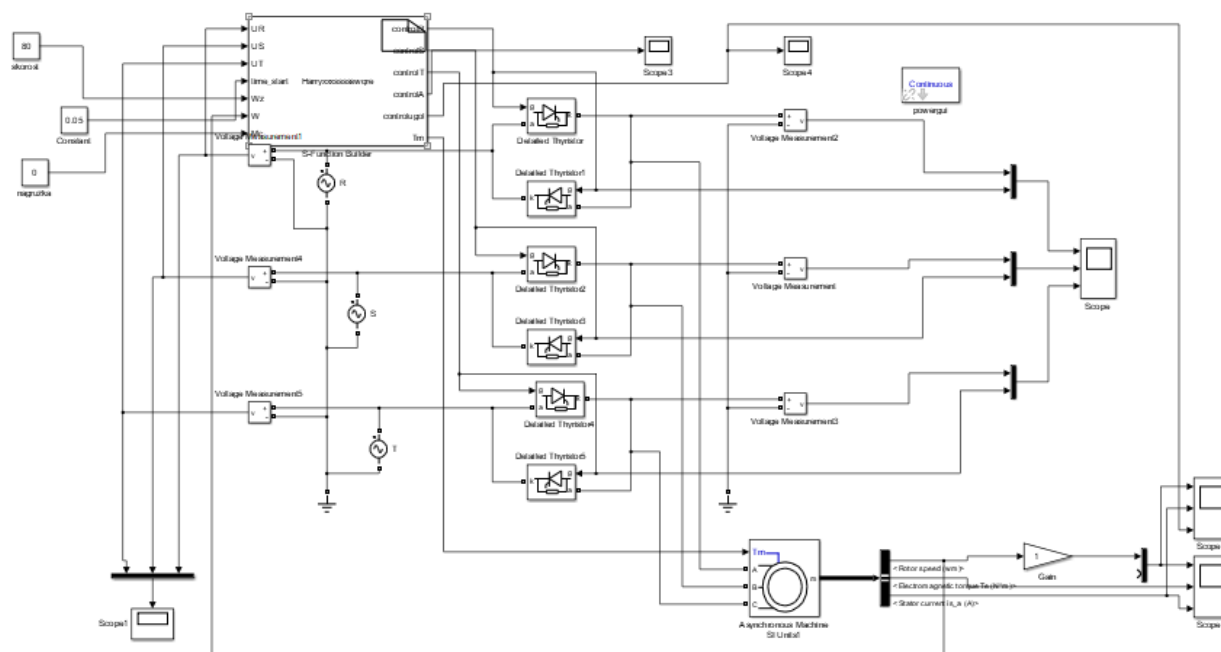


Рисунок 29 – Схема ТРН-АД с возможностью регулирования скорости АД

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

```

//объявление переменных
unsigned static pilaR = 0, pilaS = 0, pilaT = 0, alpha = 80, timer_st = 0,
timer = 0;
int static prevUR = 0, prevUS = 0, prevUT = 0, prevUB = 0, prevUL = 0;

//начало кода
//изменение угла в течение заданного времени
if (timer_st++ > (18000*time_start[0]/150))
{
    alpha--;
    timer_st = 0;
}
if (alpha > 160) alpha = 160;
if (alpha < 10) alpha = 10;
//нагрузка
if (W[0] > 0) Tm[0] = Mc[0];
if (W[0] < 0) Tm[0] = - Mc[0];
if (W[0] == 0) Tm[0] = 0;
//создание бесконечно нарастающего сигнала
pilaR++;
pilaS++;
pilaT++;
//алгоритм нахождения 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;
//запоминаем текущее значение напряжения
prevUR = UR[0];
prevUS = US[0];
prevUT = UT[0];

//создаем импульс управления для R,S,T
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;

//передаем пилу на выход
controlA[0] = pilaR;
controlugol[0] = alpha;
// регулирование скорости
if (timer++ > (10000))
{
    if (Wz[0] > W[0])
    {
        alpha = 10;
    }
    else
    {
        alpha = 150;
        controlT[0] = 0;
        controlR[0] = 0;
        controlS[0] = 0;
    }
}

```

}  
}

Регулирование скорости АД работает по следующей логике. На блок ТРН подается задание на скорость вращения электродвигателя. При превышении заданного значения скорости, система управления ТРН меняет текущее значение угла правления, 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 снова, меняет значение угла управления.

Таким образом, происходят колебания скорости АД около заданного значения.

На рисунке 30 приведен график зависимости скорости АД под нагрузкой при задании на скорость 90 рад/с.

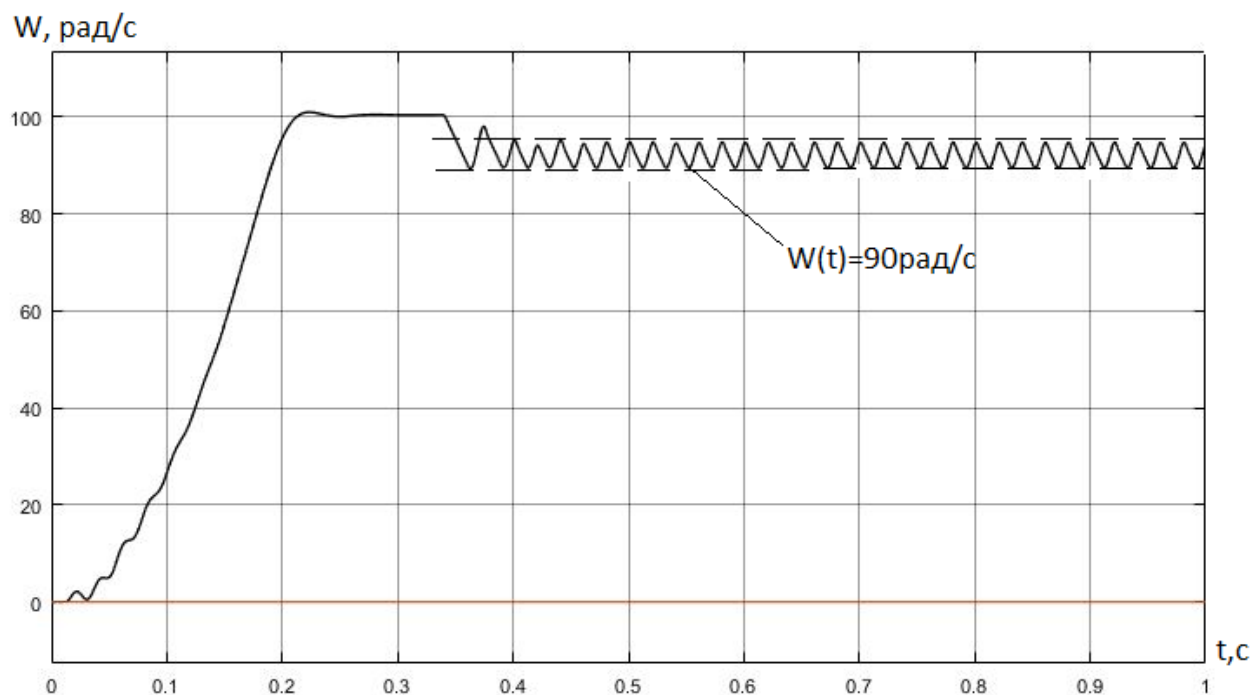


Рисунок 30 – График переходных процессов при задании на скорость 90 рад/с

Проведя анализ рисунка 30 видно, что при задании на скорость 90 рад/с, величина скорости вращения АД колеблется около заданного значения. Величина отклонения от заданной скорости зависит от величины управляющего воздействия. В данном случае, управляющим воздействием будет служить угол управления. При превышении скоростью величины задания, система управления меняет значение угла управления



150°. А в том случае, если скорость становится меньше заданного значения, система управления меняет значение угла управления на 10°. Углы управления в разных случаях могут быть разными, от этого будет зависеть величина напряжения, приложенного к обмоткам статора АД, а, следовательно, и быстрота отработки отклонения фактического отклонения скорости от заданной величины.

Иногда, технологический процесс требует, чтобы при запуске двигатель сразу выходил на установленную скорость вращения исполнительного органа электропривода. Для этого в программном коде необходимо изменить время выхода привода на заданную скорость, при соответствующем угле управления тиристоров.

На рисунке 31 приведен график переходных процессов при мгновенном выходе АД на установленную скорость.

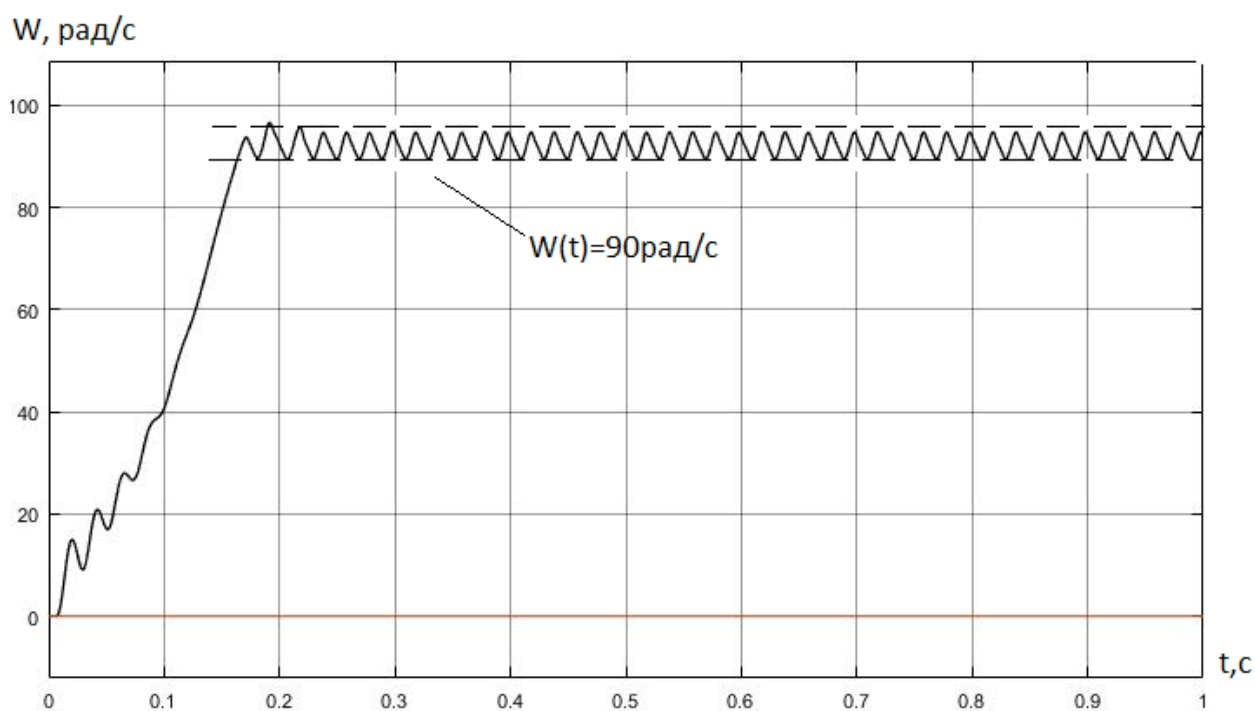


Рисунок 31 – График переходных процессов при задании на скорость 90 рад/с

## **5. Социальная ответственность**

### **Введение**

Целью разработки настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи и профессиональные заболевания в производстве, обеспечивающих снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, экономное расходование ресурсов.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

В выпускной квалификационной работе разрабатывается асинхронный электропривод с тиристорным регулятором напряжения шиберной задвижки. Производится расчет и подбор оборудования, составляющего данный электропривод (электродвигатель, частотный преобразователь, задвижка).

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

Рабочий персонал имеет следующие права:

– На работах с опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, работникам бесплатно выдаются прошедшие обязательную сертификацию или декларирование соответствия специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты, а также смывающие и (или) обезвреживающие средства в соответствии с типовыми нормами, которые устанавливаются в порядке, определяемом Правительством Российской Федерации (в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90-ФЗ) [11];

– Работники имеют право на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, которое осуществляется в Российской Федерации с января 2000 года в соответствии с Федеральным законом от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний». Если происходят несчастные случаи (травмы, смерть), то семье или самому работнику выплачивается компенсация в размере, зависящем от тяжести последствий [13];

– Также предоставляются права на проведение в установленном порядке за счет средств организации обязательных предварительных (при поступлении на работу) и периодических в течение трудовой деятельности в данной организации медицинских осмотров (обследований), а также внеочередных медицинских осмотров работников в соответствии с медицинскими рекомендациями согласно законодательству Российской Федерации [14].

Рабочее место в цеху полностью соответствует эргономическим требованиям:

- произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;
- на приводах ручного и на ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты;
- проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;
- наложено заземление (включены заземляющие ножи, а там, где они отсутствуют, установлены переносные заземления);
- вывешены указательные плакаты «Заземлено», ограждены при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты.

## 5.2 Анализ вредных и опасных производственных факторов

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы». Классификация основные вредные и опасные факторы представлены в таблице 1 [7].

Таблица 1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплу тация	
1.Шум		+	+	ГОСТ12.1.003-2014 ССБТ «Общие требования безопасности». СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96. ГОСТ 12.1.01290 «Вибрационная безопасность». СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Сан ПиН 2.2.4.548 – 96. ГОСТ Р 50571.3-93, ГОСТ 12.1.038-82
2.Вибрация	+	+	+	
3.Недостаток естественного света		+	+	
4.Микроклимат		+	+	
5.Электропоражение		+	+	

### 5.2.1 Шум

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Источником является мощный электродвигатель. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 2. [8]

Таблица 2

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Для защиты от шума и вибрации при изготовлении и эксплуатации предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

**Средства индивидуальной защиты (СИЗ)** применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удастся. Принцип действия СИЗ – защитить наиболее чувствительный канал воздействия шума на организм человека – ухо. СИЗ включают в себя протившумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

### 5.2.2 Вибрация

Одним из наиболее опасных для человеческого организма производственных факторов является вибрация. Под вибрацией понимается

колебание твёрдых тел. Источником вибрации является ротор электродвигателя.

Большую опасность для организма представляют вибрации частотой 6-9 Гц, так как эти частоты наиболее близки к собственным частотам внутренних органов человека. Совпадение частоты вибрации и внутреннего органа приведёт к резонансному явлению, в результате чего начнётся процесс разрушения.

Технические нормы вибрации представлены в таблице 3. [10]

Таблица 3

Вид вибрации	Среднеквадратичная частота, Гц									
	Логарифмический уровень виброскорости									
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500
Цех	-	103	100	101	106	112	118	-	-	-

Для виброзащиты применяются средства индивидуальной защиты для рук, ног и тела оператора. В качестве средства защиты для рук применяются рукавицы и перчатки, вкладыши и прокладки.

Виброзащитная обувь изготавливается в виде сапог, полусапог, в конструкции низа которых используется упруго-демпфирующий материал.

### 5.2.3 Недостаток естественного света

Согласно научным исследованиям, отсутствие или недостаток естественного освещения на рабочем месте может вызвать ухудшение самочувствия, привести к потере сна и ослаблению здоровья [7]. Специалисты полагают, что причина отрицательного воздействия может заключаться в изменении циркадных ритмов из-за недостатка естественного света. Поэтому следует уделять большее внимание достаточному дневному освещению для укрепления здоровья и морального состояния работников. [15]

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. В их число входят следующие:

- улучшение условий путем использования искусственного освещения;

- защита временем, то есть сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- профилактическое ультрафиолетовое облучение работников. В этом случае источники ультрафиолетового излучения устанавливают рядом с обычными осветительными лампами, за счет чего достигается обогащение обычного искусственного освещения ультрафиолетовым излучением.

При недостатке естественного освещения в помещениях также возможно принятие следующих мер:

- анализ степени загрязненности стекол в светопроемах, их очистка и дальнейшие контрольные измерения коэффициента естественной освещенности, который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения;
- при наличии в помещении зон с недостаточным и достаточным уровнем естественного освещения изменение размещения рабочих мест с их переносом в зону с достаточным уровнем естественного освещения;
- косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов.

Основным источником света, как для общего, так и для комбинированного освещения, являются люминесцентные лампы: АД4, ЛД, ЛХБ, ЛБ, ЛТБ. Из них наиболее экономичными являются лампы типа ЛБ.

### **Выбор системы освещения**

Применение на рабочих местах одного местного освещения не допускается. Общее же равномерное освещение применяется для тех помещений, где работа производится по всей площади, и нет необходимости в лучшем освещении отдельных участков [9].

Система общего локализованного освещения применяется тогда, когда в производственном помещении есть участки, на которых проводятся работы с высоким зрительным напряжением.

Система комбинированного освещения применяется в помещении, где выполняются точные зрительные работы; в случае необходимости

определённого, изменяемого в процессе работы направления света, а также в помещениях с не высокой плотностью распределения рабочих мест.

### **Выбор осветительных приборов**

В цеху механической обработки для общего локализованного освещения используются люминесцентные лампы.

- Люминесцентные лампы - открытые двухламповые светильники типа ОД, ОЛОП, ОДО, ШОТ, ООД - для нормальных помещений с хорошим отражением стен и потолка; их применение допускается при умеренной влажности и запыленности.
- Светильники ПВЛ - являются пылевлагозащищёнными, пригодны для некоторых пожароопасных помещений. Мощность лампы 2х40 Вт
- Плафоны потолочные для общего освещения закрытых, сухих помещений:
  1. Л71ВОЗ - мощность лампы 10х30 Вт
  2. Л71В84-мощность лампы 8х40 Вт

### **Выбор коэффициента запаса**

Полученная величина освещённости корректируется с учетом коэффициента запаса, так как со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп освещённость снижается. Значение коэффициента запаса представлены в таблице 4.

Таблица 4

Характеристика объекта	Люминесцентные лампы	Лампы накаливания
Помещения с большим выделением пыли	2.0	1.7
Помещения со средним выделением пыли	1.8	1.5
Помещения с малым выделением пыли	1.5	1.3

#### **5.2.4 Микроклимат**

Помещение цеха характеризуется:



- наличием большого количества металлического оборудования;
- повышенной температурой.

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 5.

Таблица 5

Сезон года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
		По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88
Холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	0,3
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20 – 22	40 – 60	0,2 – 0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная, установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;

Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 1.

Значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины явного избытка тепла, выделяемого в помещении и периода года.

### 5.2.5 Электропоражение

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и

индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие вопросы:

- а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- б) требования к электрооборудованию;
- в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Рассматриваемая лаборатория не имеет характеристик, свойственных особо опасным помещениям в части поражения электрическим током. Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

### **5.3 Защита окружающей среды**

Работа в лаборатории сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов. ГОСТ Р ИСО 1410-2010 «Экологический менеджмент».

Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения; бытовая пыль; ЛОС, выделяющиеся в процессе эксплуатации отделочных материалов,

лакокрасочных покрытий мебели и др. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства, бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из не адсорбирующего ртуть материала (винипласта).

## **5.4 Предотвращение ЧС и устранение их последствий**

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на рассматриваемом рабочем месте в механическом цехе: возникновение пожара и электропоражение. [16] План эвакуации, разработка мер согласно. [17]

### **5.4.1 Электропоражение как источник ЧС**

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [12] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [12] п.413.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление.

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

Целью данного раздела является оценка коммерческого и инновационного потенциала научно-исследовательской работы (НИР), планирование процесса управления НИР, определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.

### **6.1 Техничко-экономическое обоснование научно-исследовательской работы**

Научно-исследовательская работа посвящена изучению асинхронного электропривода запорно-регулирующей арматуры. Актуальность рассматриваемой темы. В настоящее время на уровне развития приводов и силовой электроники среди критериев оценки эффективности электропривода на передний план выходят степень адаптации устройства к обслуживаемому процессу, себестоимость, надежность и время разработки.

Данное научное исследование имеет коммерческий потенциал, который заключается в снижении себестоимости продукта за счет введения инновационных методов.

Полученные результаты исследования больше всего будут интересны промышленным предприятиям, использующим в своем производстве асинхронные двигатели и задвижки в качестве запорно-регулирующего органа.

### **6.2 Планирование научно-исследовательской работы**

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, студент

Выбор направления исследований в НИР	2	Подбор и изучение литературных данных по теме	Студент
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Научный руководитель, студент
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Научный руководитель, студент
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Научный руководитель, студент
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, студент
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Научный руководитель, студент
Изготовление и испытание макета (опытного образца)	10	Конструирование и изготовление макета (опытного образца)	Научный руководитель, студент
	11	Лабораторные испытания макета	Научный руководитель, студент
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	12	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студент

### 6.3 Определение трудоемкости выполнения работ

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая

параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожіi}}{Ч_i},$$

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

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

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

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

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

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в календарных днях;

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

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.

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 109 - 10} = 1,48 \approx 2$$

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу 2.

Таблица 2 – Временные показатели проведения научного исследования

№ раб.	Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календар
		$t_{\text{min}}$ , чел-дни	$t_{\text{max}}$ , чел-дни	$t_{\text{ожіi}}$ , чел-дни			

							ных днях $T_{ki}$
1	Составление и утверждение технического задания	2	2	2	Научный руководитель, студент	1	2
2	Подбор и изучение материалов по теме	12	13	12	Студент	12	24
3	Выбор направления исследований	1	2	1	Научный руководитель	1	2
4	Календарное планирование работ по теме	4	5	4	Научный руководитель	4	8
5	Проведение теоретических расчетов	10	12	10	Научный руководитель, студент	5	10
6	Построение макетов и проведение экспериментов	11	12	11	Научный руководитель, студент	5	10
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	11	13	11	Научный руководитель, студент	5	10
8	Оценка эффективности полученных результатов	7	8	5	Научный руководитель, студент	2	4
9	Определение целесообразности проведения ОКР	10	11	10	Научный руководитель, студент	5	10
10	Конструирование и изготовление макета (опытного образца)	7	9	7	Научный руководитель, студент	3	6
11	Лабораторные испытания макета	9	10	9	Научный руководитель, студент	4	8
12	Составление пояснительной записки	8	10	10	Студент	10	20
Итого							114

#### 6.4 Построение графика работ

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

На основе таблицы 2 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках





научно-исследовательского проекта на основе таблицы 3 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 3 – Календарный план-график проведения НИР

№ работ	Вид работ	Исполнители	T <sub>кi</sub> кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
				январь			февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, студент	2															
2	Выбор направления исследований	Научный руководитель	24															
3	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель	2															
4	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	8															
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Научный руководитель, студент	10															
6	Построение макетов(моделей) и проведение экспериментов	Научный руководитель, студент	10															
7	Определение целесообразности проведения ОКР	Научный руководитель, студент	10															
8	Конструирование и изготовление макета (опытного образца)	Научный руководитель, студент	4															
9	Лабораторные испытания макета	Научный руководитель, студент	10															
10	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Научный руководитель, студент	6															
11	Оценка эффективности	Научный руководитель, студент	8															

	полученных результатов																		
12	Составление пояснительной записки (эксплуатационно- технической документации)	Студент	20																

 – руководитель;  – студент.

Составлен план научного исследования, в котором разработан календарный план. Общее содержание работ для проведения исследования составило 12 позиций. Для построения таблицы временных показателей проведения НИР был рассчитан коэффициент календарности. С помощью данных показателей был разработан календарный - план график проведения НИР по теме. Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта, что указывает на целесообразность проведения данного исследования.

### 6.5 Бюджет научно-технического исследования (НИР)

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

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

#### 6.5.1 Расчет материальных затрат НИР

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретение со стороны сырья и материалов, необходимых для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемые на другие производственные и хозяйственные;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований и для эксплуатации технического обслуживания – объектов испытаний;

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) + \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расхi},$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$Ц_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента ( $k_T$ ), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной

удаленности поставщиков и т.д. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 4.

Таблица 4 – Материальные затраты на НИР (руб.)

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.
Двигатель ВА132S6	штук	1	7500	7500
ТРН	штук	3	14500	43500
Задвижка	штук	1	33000	33000
Итого				84 000

Из затрат на материальные ресурсы, включаемых в себестоимость продукции, исключается стоимость возвратных отходов.

### 6.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

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

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

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

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

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, р. дней (таблица 2);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot М}{F_{д}},$$

где  $З_{м}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_{д}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, р. дней (таблица 5).

Таблица 5 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней:		
- выходные дни	102	54
- праздничные дни	16	12
Потери рабочего времени:		
- отпуск	28	28
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	220	272

Месячный должностной оклад работника:

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

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

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

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

$k_{р}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата  $З_{тс}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $T_{ci} = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_t$  и учитывается по единой для бюджетных организаций тарифной сетке. Расчет основной заработной платы приведен в таблицы 6.

Таблица 6 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$k_T$	$Z_{ТС}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_{р, раб. дн.}$	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	13	9,3	5580	0,3	0,4	1,3	12332	631	45	34074
Студент	1	1,2	720	0,3	0,4	1,3	1591	81	34	3305
Итого $Z_{осн}$										37379

Основная заработная плата руководителей рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда, которая предполагает состав заработной платы:

- 1) Оклад – определяется предприятием. Оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, старший преподаватель, доцент, профессор.
- 2) Стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд и т.д.
- 3) Иные выплаты; районный коэффициент.

### 6.5.3 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:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

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

$$Z_{доп\ p1} = 34074 \cdot 0,15 = 5111 \text{ руб.}$$

$$Z_{доп\ ст} = 3305 \cdot 0,15 = 496 \text{ руб.}$$

$$Z_{доп} = 5111 + 496 = 5607 \text{ руб.}$$

#### 6.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (таблица 7).

Таблица 7 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды
Руководитель	34074	5111	10580
Студент	3305	496	1026
Итого			11606

#### 6.5.5 Накладные расходы

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

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{пр},$$

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

Величину коэффициента накладных расходов в размере 16%.

$$З_{накл} = (84000 + 37379 + 5607 + 11606) \cdot 0,16 = 22222 \text{ руб.}$$

### 6.6.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основной 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 приведет в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет бюджета затрат НИР

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИР	84000	Пункт 4.7.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей проекта	37379	Пункт 4.7.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	5607	Пункт 4.7.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	11606	Пункт 4.7.4
5. Накладные расходы	22222	16% от суммы ст. 1-4
6. Бюджет затрат НИР	160814	Сумма ст. 1-5

Расчет произведен с учетом работы в 1 месяц. Общая продолжительность исследования (экспериментальная часть) составляет 3 месяца. Согласно смете затрат на проектирование, наибольшие затраты идут на основную заработную плату научно-производственного персонала и материальные затраты в 1 рабочий месяц составляет 160814 рублей. Данный уровень расходов соответствует текущему уровню затрат на научно-исследовательскую работу.

### 6.7 Оценка научно-технического уровня НИР

Важнейшим результатом проведения НИР является его научно-технический уровень, который характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается ли научно-технический прогресс в данной области. В последнее время для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, получил распространение метод бальных оценок. Бальная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов.



Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям или рассчитывают по формуле. На этой основе делается вывод о целесообразности НИР. Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле [4]:

$$H_T = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i$$

где  $H_T$  — показатель, определенный по трем признакам;

$R_i$  — весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта;

$n_i$  — количественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта, в баллах (таблица 9, 10).

Таблица 9 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Примерное значение весового коэффициента
1. Уровень новизны	0,5
2. Теоретический уровень	0,3
3. Возможность реализации	0,2

Таблица 10 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, способ	8-10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия, дополняют ранее полученные результаты	5-7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2-4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 11 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1. Установка закона, разработка новой теории	10
2. Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
3. Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
4. Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2

5. Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5
---	-----

Результаты оценок признаков отображены в таблице 12.

Таблица 12 – Количественная оценка признаков НИОКР

Признак научно-технического эффекта НИР	Характеристика признака НИОКР	$K_i$	$\Pi_i$
1. Уровень новизны	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия	0,5	6
2. Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	0,3	8
3. Возможность реализации	Время реализации в течение первых лет	0,2	8
4. Масштабы реализации	Одно или несколько предприятий	0,2	2

Используя исходные данные по основным признакам научно-технической эффективности, определяем показатель научно - технического уровня:

$$H_T = 0.5 \cdot 6 + 0.3 \cdot 8 + 0.2 \cdot (8 + 2) = 7.4$$

Таблица 13 – Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень НТУ	Показатель НТУ
Низкий	1 - 4
Средний	4 - 7
Сравнительно высокий	7 - 10
Высокий	10 - 13

Таким образом, данная НИР имеет сравнительно высокий уровень НТУ, равный 7,4.

Вывод: интенсивное развитие промышленности привело к высоким требованиям к качеству современных приводов. Современный электропривод запорной арматуры представляет собой сложный механизм, включающий в себя систему управления, асинхронный двигатель и редуктор. Уменьшение себестоимости, повышение надежности и компактности блока управления связано с применением тиристорного управления. Данный метод обеспечит снижение себестоимости товара (необходимы минимальные затраты: электроэнергия, амортизация установки).

В ходе разработки данной главы выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи:

1. Таким образом, можно сделать вывод, что разрабатываемое нами исследование превосходит как в ресурсоэффективности, так и в экономической активности результата. Вследствие этого фактора конкурентоспособность предлагаемого результата исследования увеличивается.

2. Составлен план научного исследования, в котором разработан календарный план. Общее содержание работ для проведения исследования составило 12 позиций. Для построения таблицы временных показателей проведения НИР был рассчитан коэффициент календарности. С помощью данных показателей был разработан календарный - план график проведения НИР по теме. Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта, что указывает на целесообразность проведения данного исследования. Общая продолжительность дней на проведение исследования – 114 дней.

3. Рассчитан бюджет научного исследования. Как видно из проведенного анализа общая стоимость настоящего научного исследования 160 814 руб.

Данное научное исследование имеет коммерческий потенциал, который заключается в снижении себестоимости продукта за счет введения инновационных методов.

## **Заключение**

В работе был рассмотрен асинхронный электропривод с тиристорным регулятором напряжения шиберной задвижки.

В данной работе был выбран электропривод ЭПЦ-4000, в который входит шиберная задвижка, система управления БУР, взрывозащищенный электродвигатель марки BA132S6 мощностью 5,5 кВт. Для данного двигателя были рассчитаны параметры схемы замещения и построены естественные механическая и электромеханические характеристики. На основании данных расчетов мы удостоверились, что двигатель удовлетворяет параметрам задвижки.

В программной среде MATLAB Simulink была создана имитационная модель ТРН-АД. В результате имитационного моделирования были проделаны опыты при прямом пуске, плавном пуске, реверсе и регулировании скорости асинхронного двигателя. Выяснилось, что двигатель является устойчивым звеном, и параметры схемы замещения вычислены правильно. Сняли переходные характеристики тока, скорости и момента электропривода.

За счет плавного пуска удалось устранить броски момента и фазного тока электродвигателя. Поставленная задача проекта была решена. С помощью системы ТРН-АД удалось снизить пусковой ток и момент электропривода, осуществить плавное регулирование скорости при пуске двигателя.

В результате можно сделать вывод, что данный проект отвечает всем нормативным требованиям.

## Список литературы

1. Ключев В.И. Ограничение динамических нагрузок электропривода, М., «Энергия», 1971. – 320 с.
2. Запорные устройства [электронный ресурс], режим доступа [http://armgasinvest.ru/catalog/detail/zapornie\\_ustrojstva/](http://armgasinvest.ru/catalog/detail/zapornie_ustrojstva/), свободный, 20.02.19 г.
3. Трубопроводный кран [электронный ресурс], режим доступа [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%BD](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%BD), свободный, 25.02.19 г.
4. Гошко А.И. Арматура промышленная общего и специального назначения. Справочник – М.: Мелго, 2007 г.
5. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 120 с.
6. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 244 с.
7. ГОСТ 12.0.003-2015 (ССБТ). «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
8. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности»
9. ГОСТ 12.0.004–2015 ССБТ. «Организация обучения безопасности труда. Общие положения»
10. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования»
11. ТК РФ, Статья 221. Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты.
12. ТК РФ. Глава 15. Рабочее время. Общие положения.
13. Федеральным законом от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний».

14. ТК РФ, Статья 213. Медицинские осмотры некоторых категорий работников.
15. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»
16. ГОСТ 12.3.002-2014 ССБТ «Процессы производственные. Общие требования безопасности»
17. ГОСТ Р 22.0.07-97 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров»
18. ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения.

## Приложение А

### Раздел 2

#### Asynchronous Electric Drive with Thyristor Voltage Regulator of the Gate Valve

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ71	Федоров Алексей Николаевич		

Консультант школы отделения (НОЦ) (ИШЭ, отделения электроэнергетики и электротехники):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Иван Георгиевич	К. Т. Н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы (ИШЭ, отделения иностранных языков):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Обсков Александр Владимирович	К. П. 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 oil storages. If it is necessary to stop the pipeline work because of the accident or pipeline service, the valve mechanism allows closing a separate section of the pipeline. There is a demand for remote control of the pipeline valve due to 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 gate valve by simulation of transient processes in the MATLAB Simulink software.



## **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. The 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, therefore almost does not fail. The pipeline can be ground and underground. The advantage of a 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 the pipeline can be shut off by a valve in case of an accident. Thus, it can prevent serious consequences and eliminate accidents.

## **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 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. A simple design of the wedge gate valve allows to use it in different conditions. The wedge gate valve has a small hydraulic resistance which is especially appreciated in main pipelines. The high construction depth can be attributed to the disadvantages of the construction. Figure 1 shows the structure of the wedge gate valves.

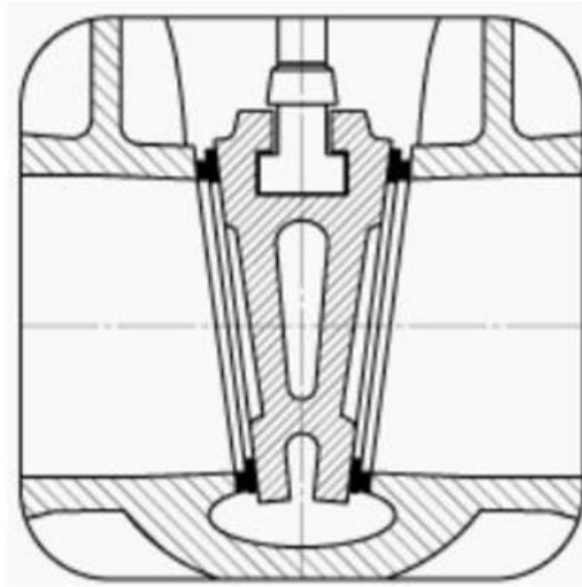


Fig. 1. - Wedge gate valve

## 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.

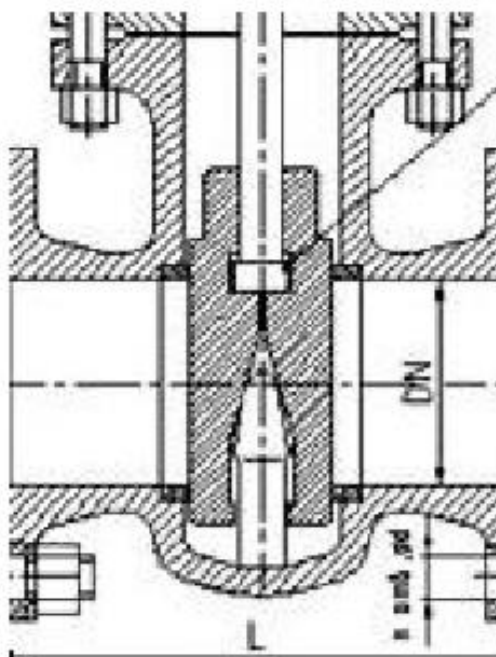


Fig. 2. - Parallel gate valve

### 3. Gate valve

The metal plate of small thickness which can cut various inclusion in the 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 the gate valve is smaller than all other types of valves, which considerably saves space in the utility rooms. The disadvantages of gate valves are the short lifetime of sealing surfaces [3]. Figure 3 shows the construction of the gate valve.



Fig. 3. - Gate valve

#### 4. Pinch valves

The working medium goes through a flexible pipe in the pinch valve, which is pinched by valve spindle if needed. This design has a full cross-section. It means the pipe diameter corresponds to the diameter of the 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.

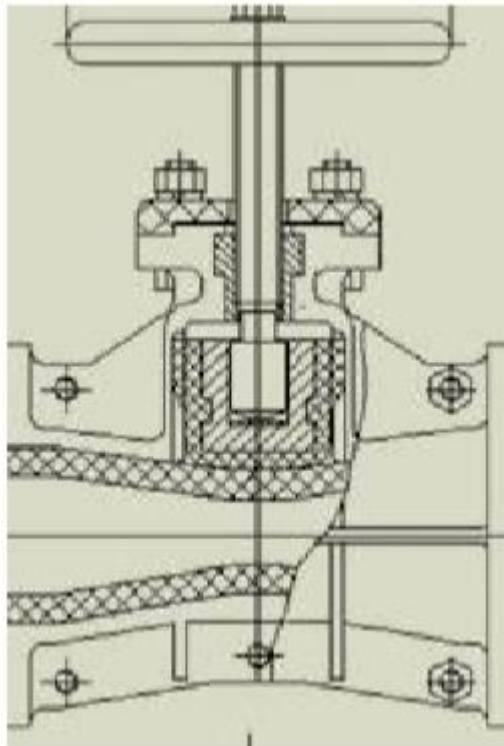


Fig. 4. - Pinch valve

### **Overview of electric converters**

The electric drive is advisable to use 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 for 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 converters can be performed on various electric components, namely using electrical machines, magnetic amplifiers, ionic and semiconducting elements. Modern converters are



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: cyclo-converter, 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.

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

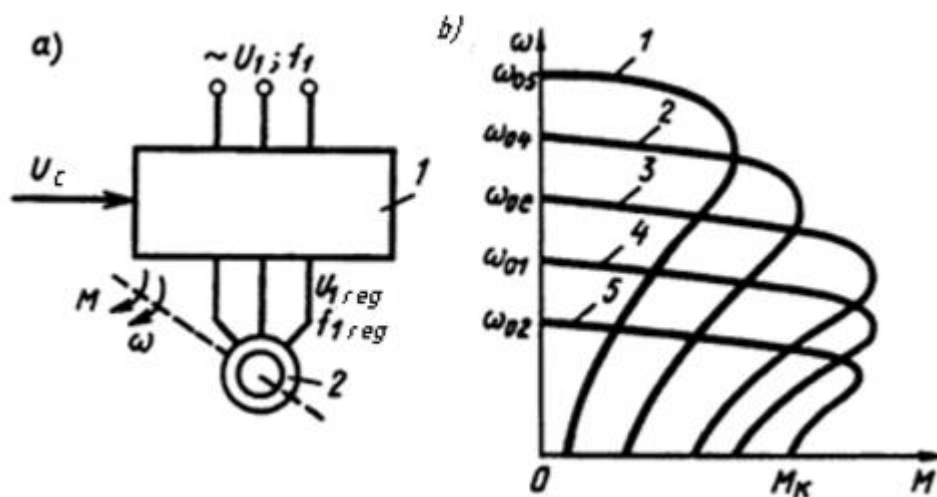


Fig. 6. - Frequency converter: a) electrical circuit, b) principle of operation

### 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 in Figure 7.

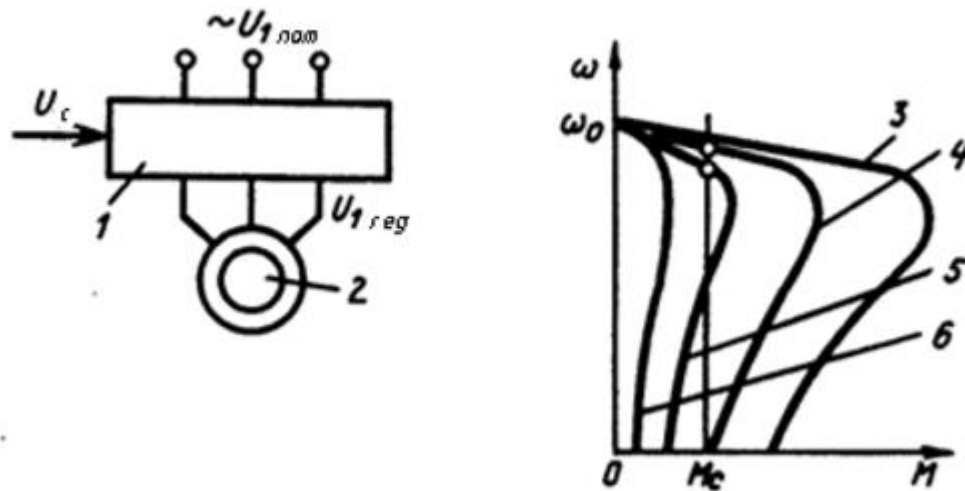


Fig. 7. - TVR circuit and TVR-AM characteristics

There is a voltage regulator for asynchronous motor (AM) coordinate regulation between the line of AC with a nominal voltage and motor stator (Figure 7). Its output voltage is changed by applying the 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 a 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.



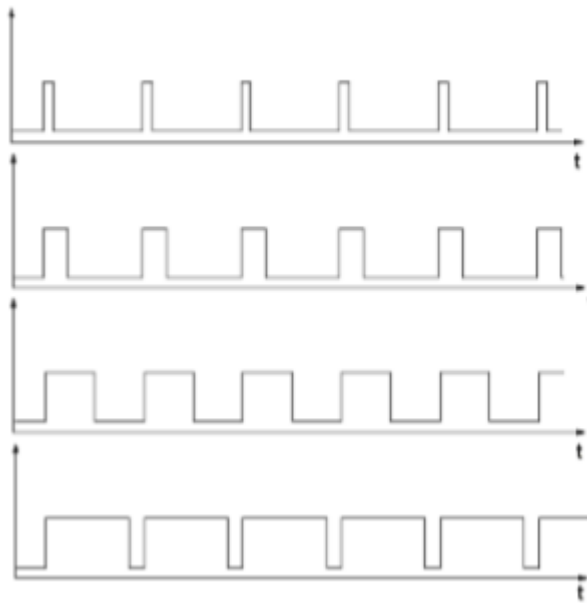


Fig. 8. - The operating principle of pulse converters

In the 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 a 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.

A 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 the 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.

### **The operating principle of a thyristor voltage regulator**

It should be noted that TVRs allow varying 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

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

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 the 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 the stator voltage change.

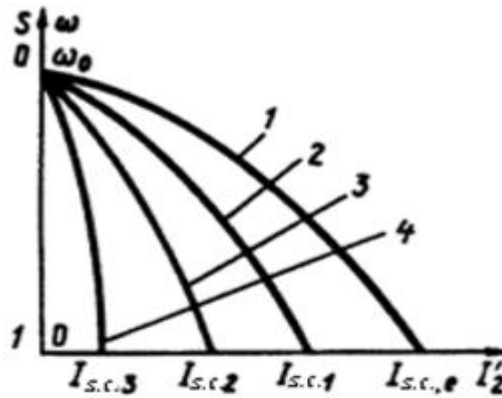


Fig. 9. - Electromechanical characteristics

Figure 10 shows the voltage regulation circuit on the single-phase AC load  $z_n$ . 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  $U_1$ . Thyristors receive control pulses  $U_a$  from a pulse-phase control system which provides the shift of pulses at an angle of in the function of control signals  $U_c$ .

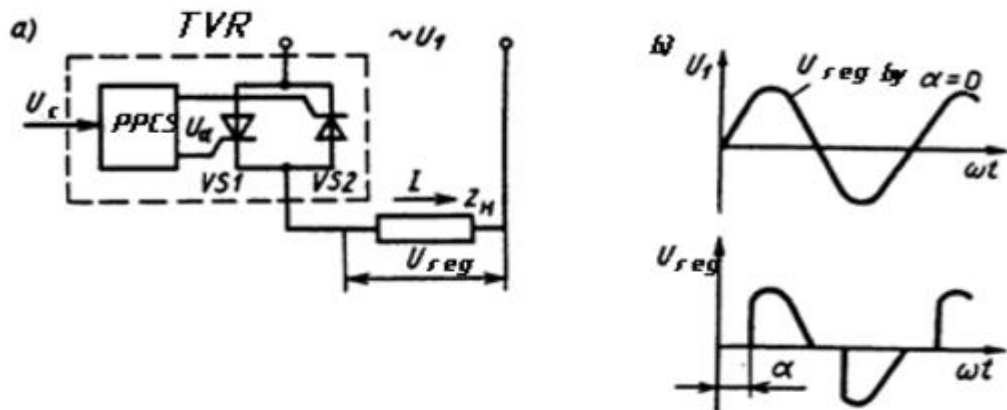


Fig. 10. - Single-phase TRN-AM

The thyristors VS1 and VS2 are switched off without control pulses. The voltage at the load  $U_{reg}$  is equal to zero. If the control pulses are given for thyristors with an angle  $a=0$  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.

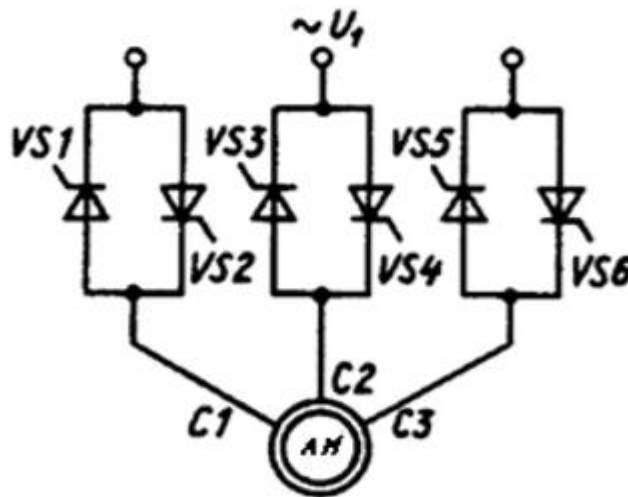


Fig. 11. - The thyristors switch on in the system of TVR-AM

The semiconductor device called a bidirectional triode thyristor 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 process principles as a thyristor. The number of electronic devices can be reduced by using the bidirectional triode thyristor which leads to simplifying the scheme of a 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 a certain frequency. The frequency of the main harmonic is equal to the supply voltage frequency, and periodicity 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 the rotor will change to backward.

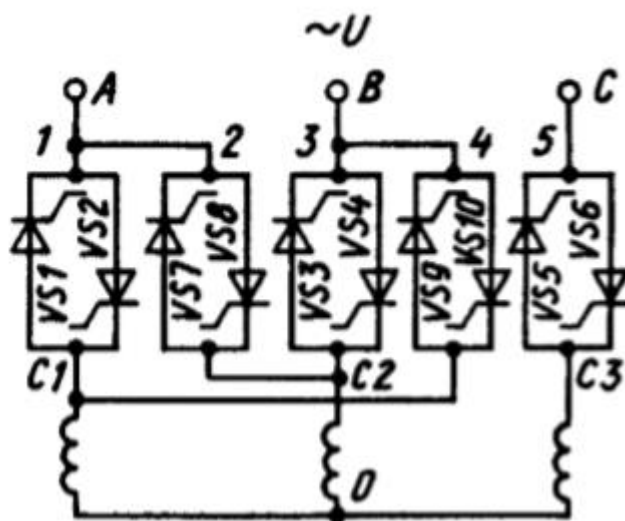


Fig. 12. - Reverse motor circuit

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.

### Selection of electric drive

Electric drives are designed to control the working bodies of stop valves of main oil pipelines operating in outdoor installations and premises in hazardous areas of class "1" and "2", in which the formation of vapor and gas-air explosive mixtures of category IIA, IIB groups is possible T1, T2, T3, T4. «ECU» 100–10 000 electric drives with an electronic control unit («ECU») have a small mass and small dimensions. The main advantage of these electric drives is a compact wave reducer

with intermediate rolling bodies, which has high load characteristics, accuracy, smoothness, reliability, and durability.

Depending on the version, electric drives can develop torques on the output link from 100 to 10 000 Nm. The actuators are equipped with a two-way torque limiting clutch and have a control unit that is easily integrated into the distance control system. Choose the electric drive "ECU-4000", Figure 13 shows the appearance of the electric drive.



Fig. 13. - Electric drive "ECU-4000"

"ECU" - electric drive with a cyclic intermittent mode of operation;

4000 - maximum torque at the output link, Nm;

G - a type of connecting space to the valve;

9 (18) - the maximum frequency of rotation of the output link, rpm;

M220 (T) - modification of the block by interface signals;

Valve power is calculated according to the following formula:

$$P = M \cdot \omega = 4000 \cdot 0,94 = 3760$$

Gate Valve Power - 3760 W

## Conclusion

The aim of this work was to develop an asynchronous electric drive with a system TRN-AD. In the MATLAB Simulink software environment has been developed a model of the TRN-AD system. The "S-Function Builder" block, which allows the user to integrate external C code in the Simulink model is the basis of the model. It allows to significantly expand the library capabilities of the MATLAB library. The «Asynchronous machine SI Units» was selected from the standard MATLAB library. It's a block simulating the operation of the AM. The electric drive "ECU-4000", which is designed for remote and local control of the valve, was chosen in this work. This electric drive is equipped with an asynchronous induction motor "BA132S6". The parameters of AM were added to the «Asynchronous machine SI Units» block. The start mode of AM was modeled in this work. It showed the advantages of using the TRN-AD system. This system reduces the starting currents and torque. It extends the service life of the electrical and mechanical parts of the electric drive. The model was supplemented by the possibility of control the rotor speed of the rotor. This extends the capabilities of the electric drive.