

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

Энергетический институт
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра ЭПЭО

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование динамических режимов работы электропривода на базе системы ТРН-АД

УДК 62-83-523.001.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2А	Карпов Максим Сергеевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трофимова М.Н.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2А	Карпов Максим Сергеевич

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 13% районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	27,1 отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	1. Технология QauD 2. SWOT - анализ
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки : -определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; -заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы; - расчет коэффициентов;
3. <i>Определение ресурсоэффективности проекта</i>	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений (QauD)</i>
2. <i>График Ганта</i>
3. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
4. <i>Определение ресурсоэффективности проекта</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трофимова М.Н.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2А	Карпов М.С.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2А	Карпов Максим Сергеевич

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	<i>Характеристика электропривода клиновой задвижки «ЭПЦ-15000». Применяется для дистанционного и местного управления запорной арматурой нефтепровода</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке	<p>1. Анализ вредных факторов, проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – выдержки из действующих нормативов на нормы с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) <p>- описание технических систем, обеспечивающих требования нормативов</p> <p>2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты) – термические опасности (источники, средства защиты) – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – выбор наиболее типичной ЧС (причины, профилактические мероприятия); – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. <p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
Перечень расч-го и граф-го материала	<i>Расчет устройства защитного заземления</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский Анатолий Григорьевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2А	Карпов Максим Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 100 с., 42 рисунка, 18 таблиц, 20 источников.

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

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

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

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

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

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

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

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007.

Введение

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

Нефтепровод – трубопровод, который служит для перекачки нефти.

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

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

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

нефтепровода), что в значительной степени снижает последствия аварии на нефтепроводе.

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

1. Технологический процесс перекачки нефти

1.1. Описание технологического процесса перекачки нефти

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

Для изготовления труб нефтепроводов используется высокопластичная сталь, способная выдерживать химические, механические и температурные воздействия. На данный момент существует более технологичный материал – армированный пластик. Такой материал не подвержен коррозии, поэтому имеет практически неограниченный срок службы.

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

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

1.2. Обзор задвижек

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

В общем виде задвижка состоит из корпуса и крышки, которые образуют полость рабочей среды. Внутри этой полости находится элемент,

который обеспечивает перекрытие потока жидкости – затвор. Крепление задвижки к корпусу осуществляется одним из трех способов: фланцевый, муфтовый и приварочный.

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

По конструкции задвижки бывают:

1. Клиновые

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

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

К недостаткам такой конструкции можно отнести большую строительную высоту.

На рисунке 1 изображено устройство клиновой задвижки.

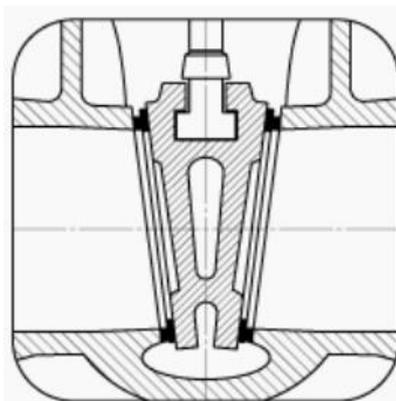


Рисунок 1 – Клиновая задвижка

2. Параллельные

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

На рисунке 2 изображено устройство параллельной задвижки.

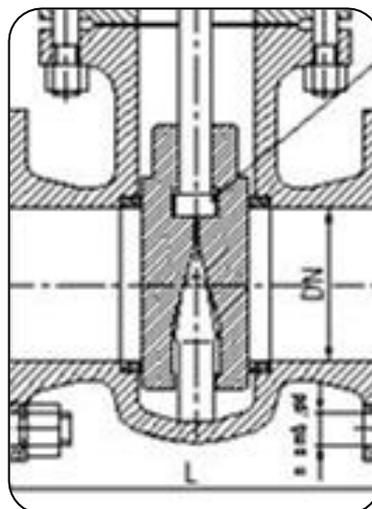


Рисунок 2 – Параллельная задвижка

3. Шиберные

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

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

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

На рисунке 3 изображено устройство шиберной задвижки.

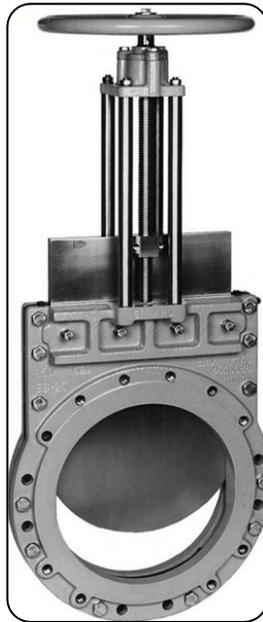


Рисунок 3 – Шиберная задвижка

4. Шланговые

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

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

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

На рисунке 4 изображено устройство шланговой задвижки.

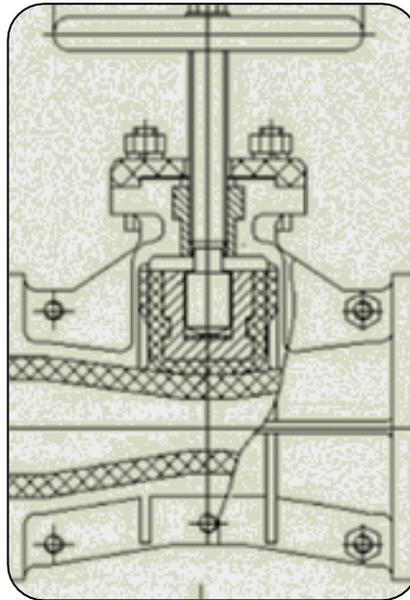


Рисунок 4 - Шланговая задвижка

1.3. Обзор электрических преобразователей для электроприводов задвижек

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

Для обеспечения требуемых режимов работы электрического привода некоторые переменные, характеризующие работу электропривода, должны регулироваться. Такими переменными (координатами) являются, например, скорость, ускорение, положение исполнительного органа или другого элемента электропривода, токи в электрических цепях двигателя, моменты на валу и др. За изменение параметров электропривода отвечает преобразователь электрической энергии.

Силовые преобразователи могут быть выполнены на различной элементной базе, а именно с использованием электрических машин, магнитных усилителей, ионных и полупроводниковых элементов.

Современные преобразователи являются, как правило, полупроводниковыми, и в них используются главным образом силовые транзисторы, диоды, тиристоры и их разновидности. Электрические преобразователи бывают следующих видов [4]:

1. Управляемые и неуправляемые выпрямители

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

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

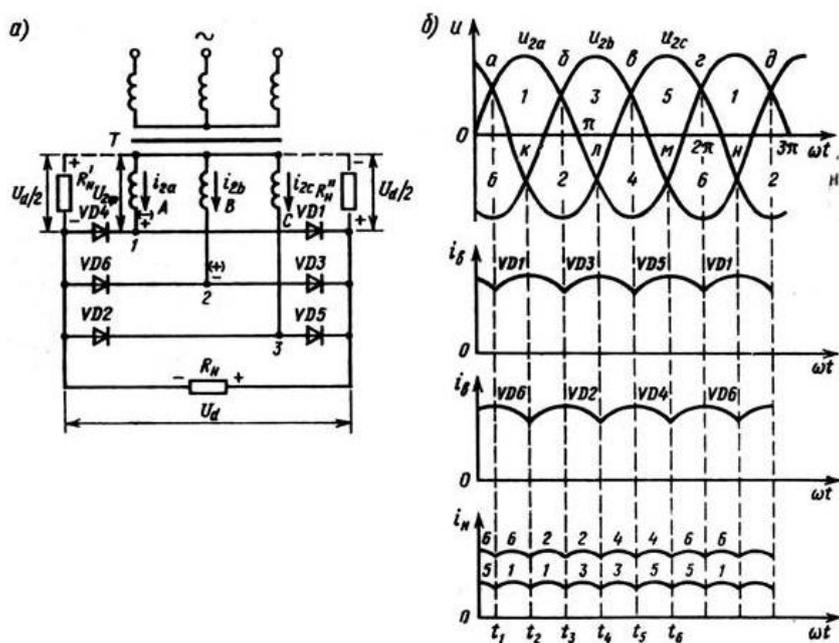


Рисунок 5 – Управляемый выпрямитель: а) схема, б) принцип работы

2. Инверторы

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

АИН имеют жесткую характеристику, представляющую собой зависимость выходного напряжения от тока нагрузки, вследствие чего при

изменении тока нагрузки их выходное напряжение практически не изменяется. Поэтому АИН имеет свойства источника ЭДС.

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

3. Преобразователи частоты переменного тока (ПЧ)

Преобразователем частоты (ПЧ) называется преобразователь напряжения переменного тока одной частоты в напряжение переменного тока другой частоты. Существуют преобразователи частоты двух видов: ПЧ с непосредственной связью, которые позволяют изменять частоту только вниз от стандартного значения; ПЧ с промежуточным звеном постоянного тока, которые позволяют изменять частоту как вниз от стандартного значения, так и вверх. Последние по понятным причинам нашли более широкое применение в электроприводе.

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

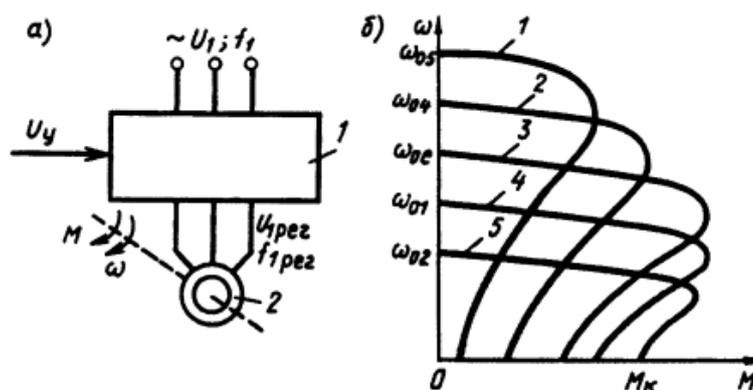


Рисунок 6 – Преобразователь частоты: а) схема включения, б) принцип работы

4. Преобразователи напряжения (ТРН)

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

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

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

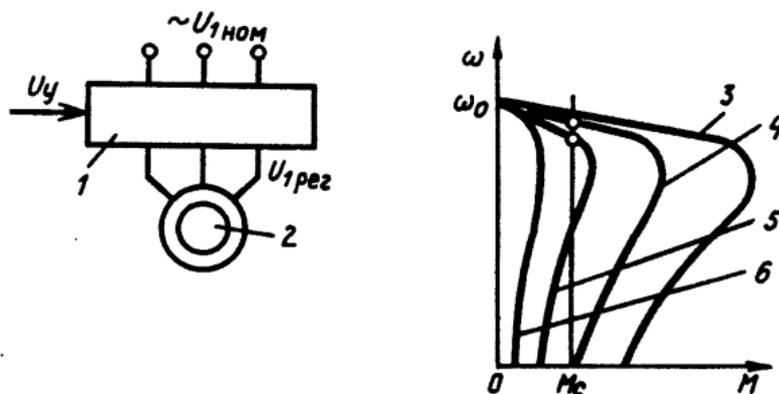


Рисунок 7 – Схема и принцип работы системы ТРН - АД

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

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

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

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

На рисунке 8 изображен принцип действия импульсного преобразователя напряжения.

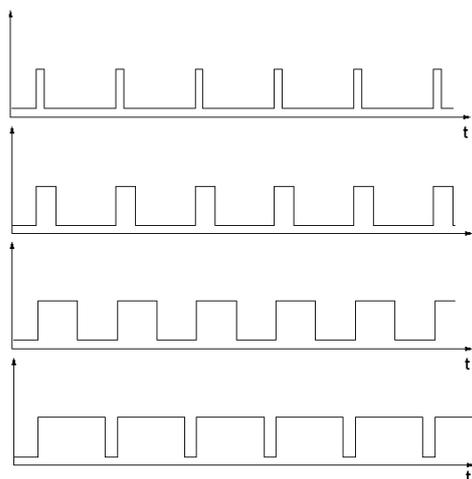


Рисунок 8 - Принцип работы импульсных преобразователей

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

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

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

Преобразователь частоты имеет ряд положительных качеств:

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

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

Тиристорный регулятор напряжения имеет ряд преимуществ над преобразователем частоты:

- простота устройства;

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

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

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

1.4. Принцип действия тиристорного преобразователя

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

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

Это можно увидеть из формулы

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

Изменение критического момента происходит пропорционально квадрату снижения напряжения. В результате при изменении напряжения на статоре искусственные характеристики 3-6 (рисунок 7), построенные при напряжениях $(1; 0,8; 0,6; 0,4) \cdot U_{1ном}$, оказываются малоприспособными для регулирования скорости. Это связано с тем, что при уменьшения напряжения резко снижаются критический момент, и соответственно перегрузочная способность асинхронного двигателя. При этом диапазон регулирования скорости весьма мал.

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

При отсутствии импульсов управления на тиристорах VS1 и VS2, они закрыты. При этом напряжение на нагрузке $U_{\text{рег}}$ равно нулю. При подаче на тиристоры импульсов управления с углом управления $\alpha=0$ они будут полностью открыты и к нагрузке будет приложено все напряжение сети $U_1 = U_{\text{рег}}$ (рисунок 10, б). При подаче импульсов управления на тиристоры с определенной задержкой относительно предельного режима, то к нагрузке будет прикладываться часть напряжения сети. Изменяя угол управления α от нуля до π , можно регулировать напряжение на нагрузке от полного напряжения сети до нуля.

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

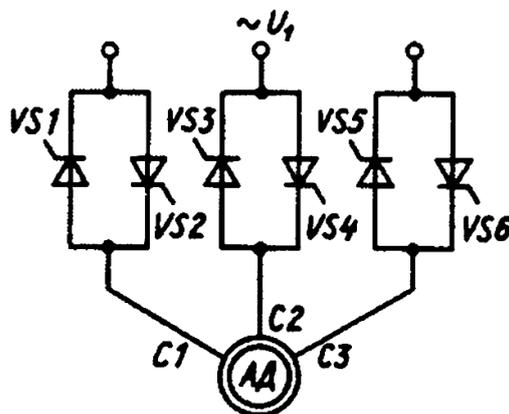


Рисунок 11 – Включение тиристоры в системе ТРН – АД

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

Необходимо отметить, что напряжение, прикладываемое к нагрузке, является несинусоидальным. Его можно представить совокупностью нескольких синусоидальных гармоник, каждая из которых изменяется с определенной частотой. Частота изменения основной гармоники равна частоте питающего напряжения, а частоты изменения других гармоник больше, чем первой. Обычно первая гармоника имеет наибольшую амплитуду и по ней ведутся все основные расчеты.

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

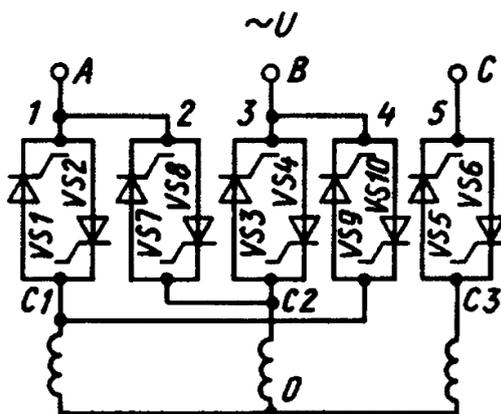


Рисунок 12 - Схема для реверса электродвигателя

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

2. Выбор электропривода и расчет его оборудования

2.1. Исходные данные

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

Таким образом, для подбора электропривода для управления конкретной задвижкой требуется знать давление в трубопроводе и диаметр проходного

сечения самой задвижки. Эти параметры определяют максимальный крутящий момент на выходном звене электропривода. Исходя из значения максимального момента, выбирают электропривод запорной арматуры.

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

Данный электропривод позволяет осуществлять:

- закрытие-открытие проходного сечения арматуры и остановку затвора арматуры в любом промежуточном положении по командам оператора с местного или дистанционного поста управления;
- автоматическое отключение электродвигателя по сигналам датчика положения при достижении затвором арматуры крайних положений;
- автоматическое отключение электродвигателя по сигналам муфты ограничения крутящего момента при превышении допустимых нагрузок на выходном звене в любом промежуточном положении затвора арматуры и при его достижении крайних положений;
- выдача дискретных сигналов при достижении затвором арматуры крайних положений и при срабатывании муфты ограничения крутящего момента;
- управление затвором арматуры с помощью привода ручного дублера;
- указание положения затвора арматуры в процессе работы на местном указателе положения;
- автоматическое выключение привода ручного дублера.

3. Имитационная модель ТРН – АД

3.2. Моделирование АД на основе стандартных блоков MATLAB Simulink

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

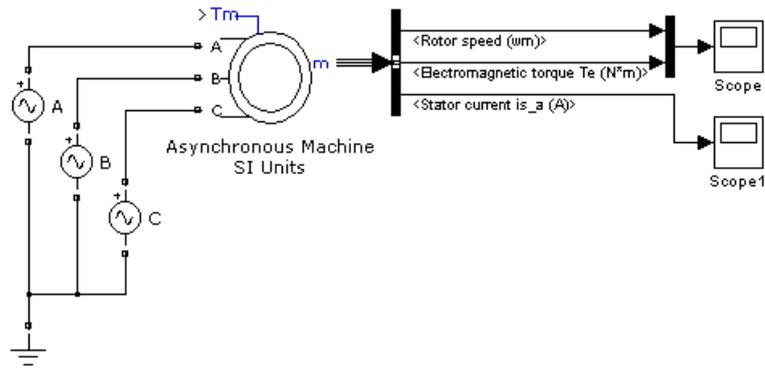


Рисунок 13 - Модель АД из библиотеки MATLAB Simulink

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

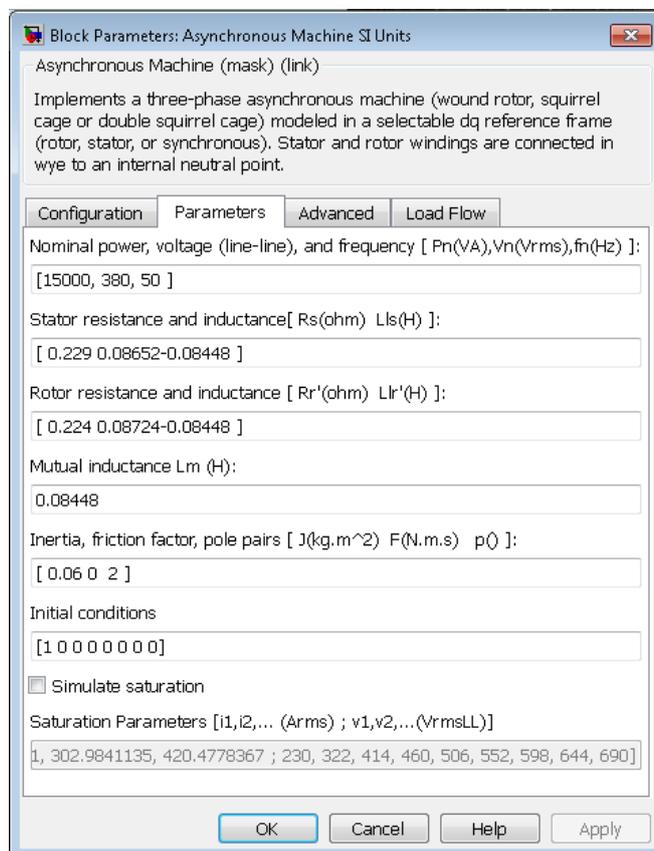


Рисунок 14 - Параметры АД

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

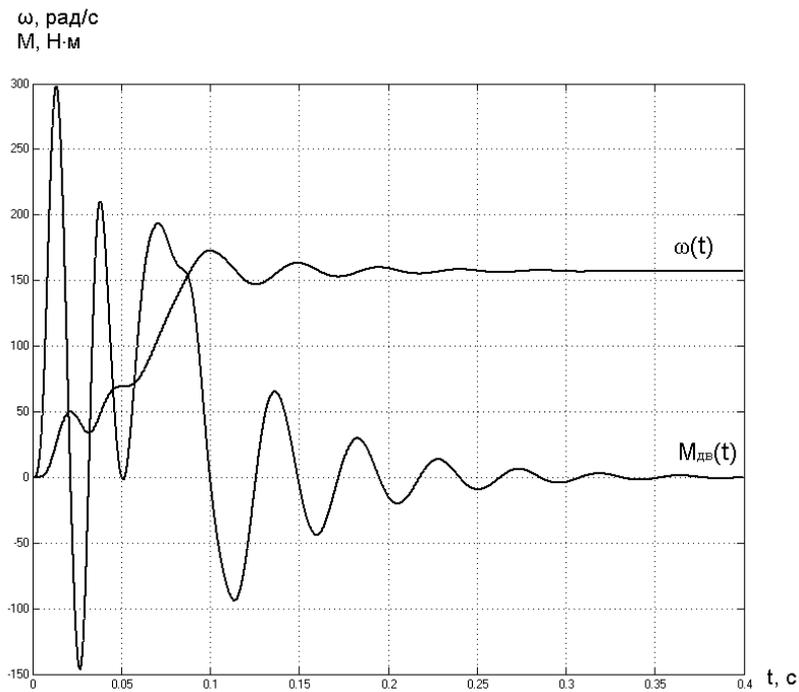


Рисунок 15 - Переходный процесс скорости $\omega(t)$ и $M_{дв}(t)$

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

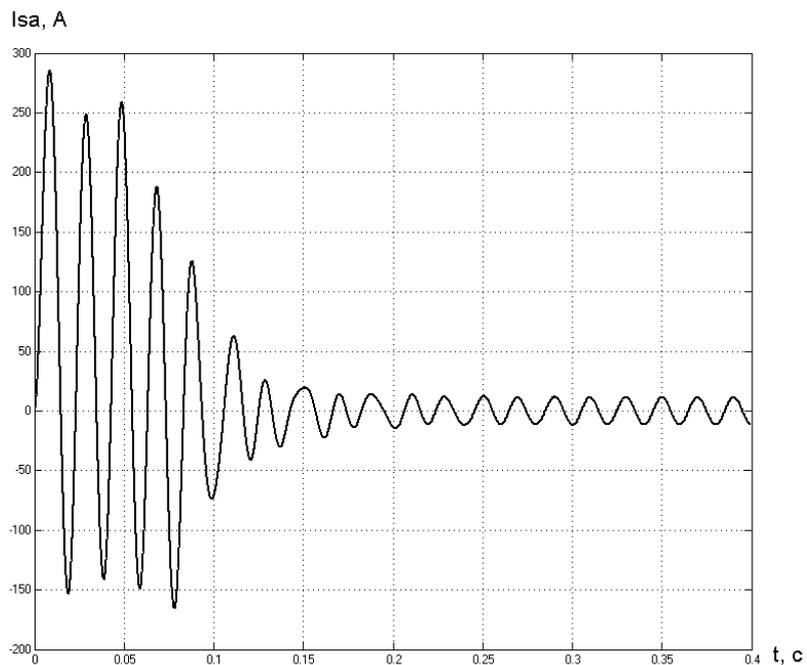


Рисунок 16 – Переходный процесс тока статора в фазе А $I_{са}(t)$

Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя при пуске под нагрузкой приведены на рисунке 24.

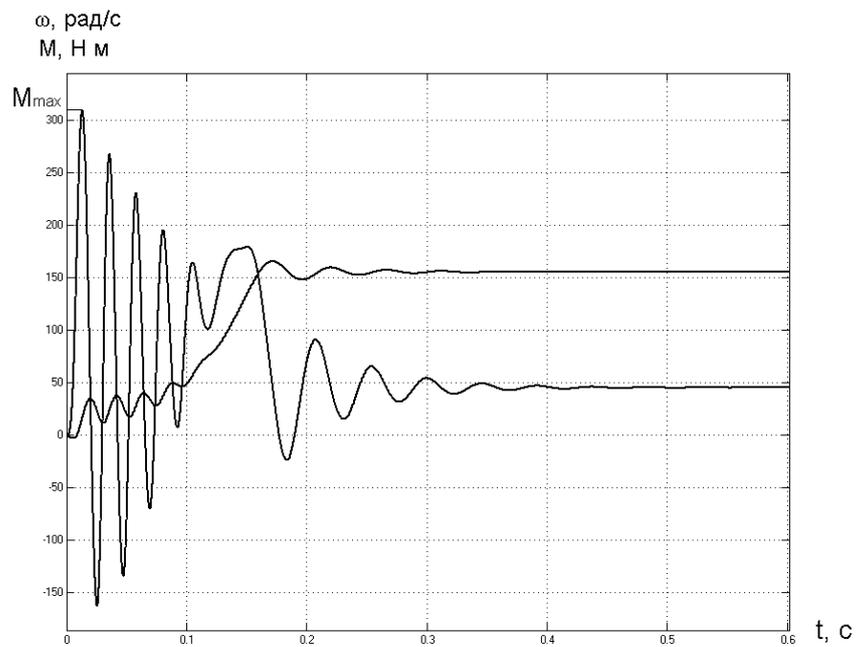


Рисунок 17 - Переходный процесс скорости $\omega(t)$ и $M_{дв}(t)$ при пуске под нагрузкой

Переходный процесс тока в фазе статора изображен на рисунке 25.

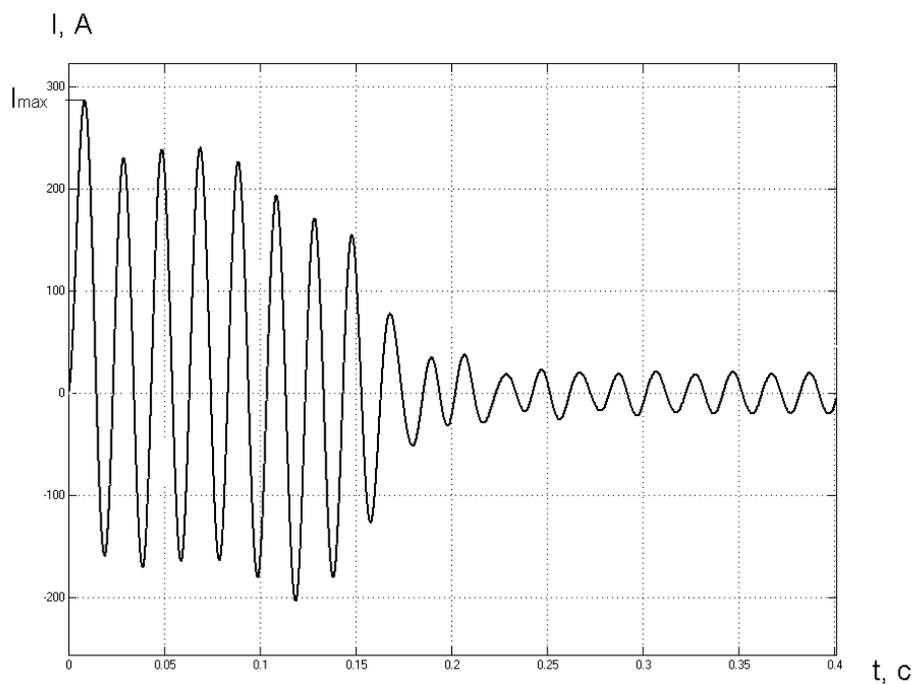


Рисунок 18 - Переходный процесс тока в фазе статора

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

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

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

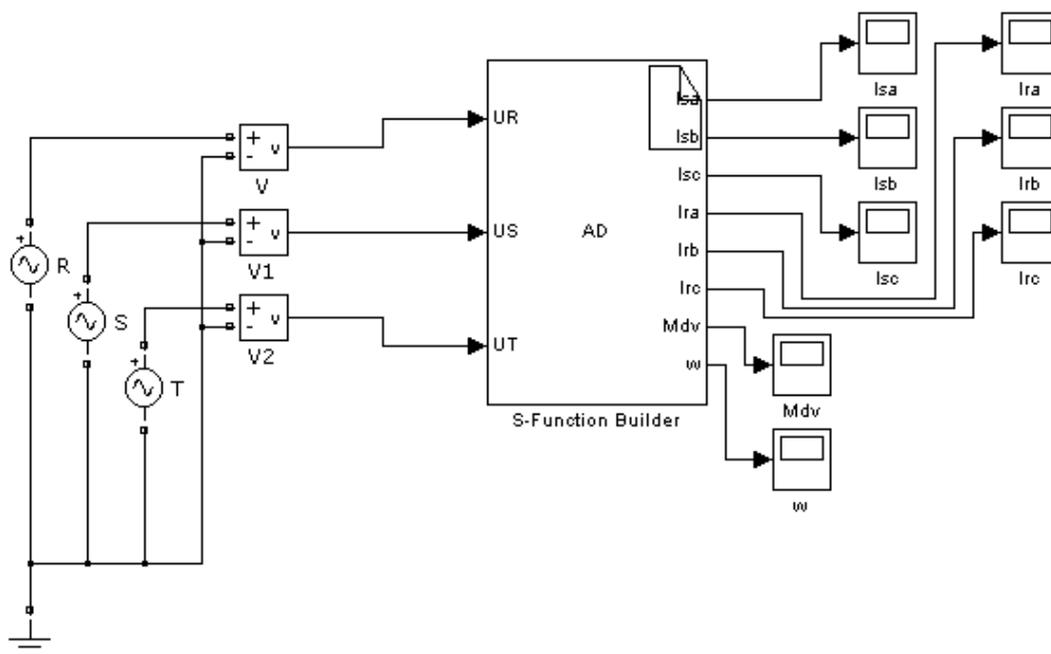


Рисунок 19 – Имитационная модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

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

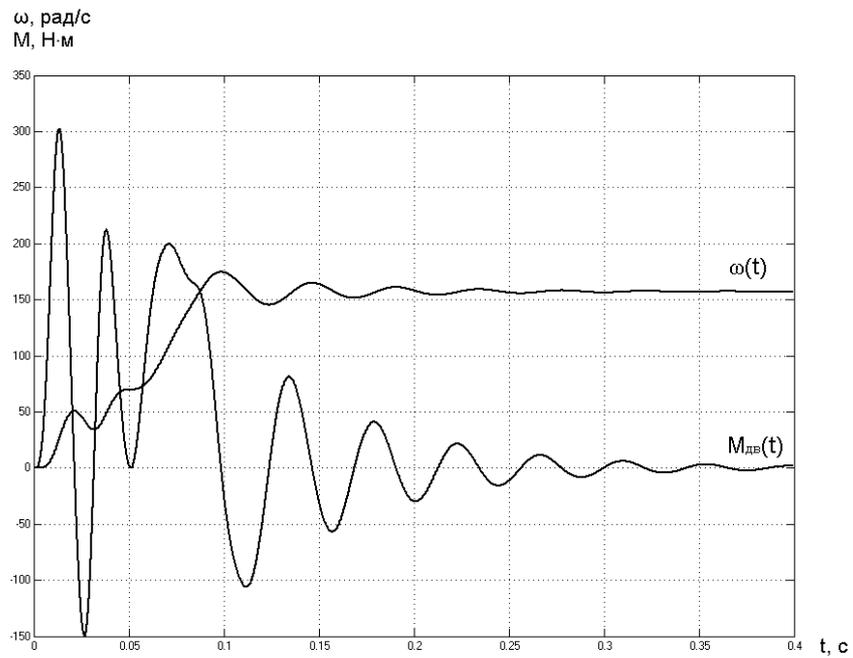


Рисунок 20 – Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя

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

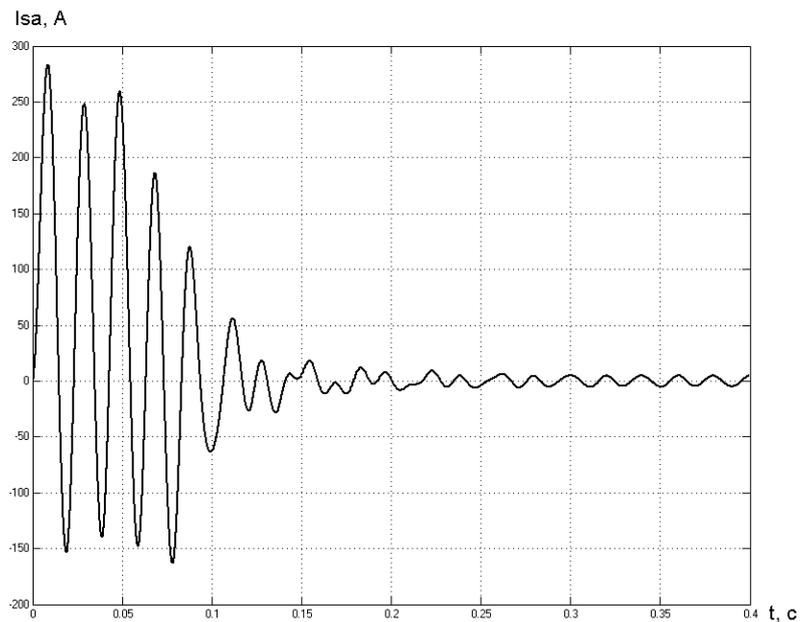


Рисунок 21 – Переходный процесс тока в фазе статора

Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя при пуске под нагрузкой приведены на рисунке 30.

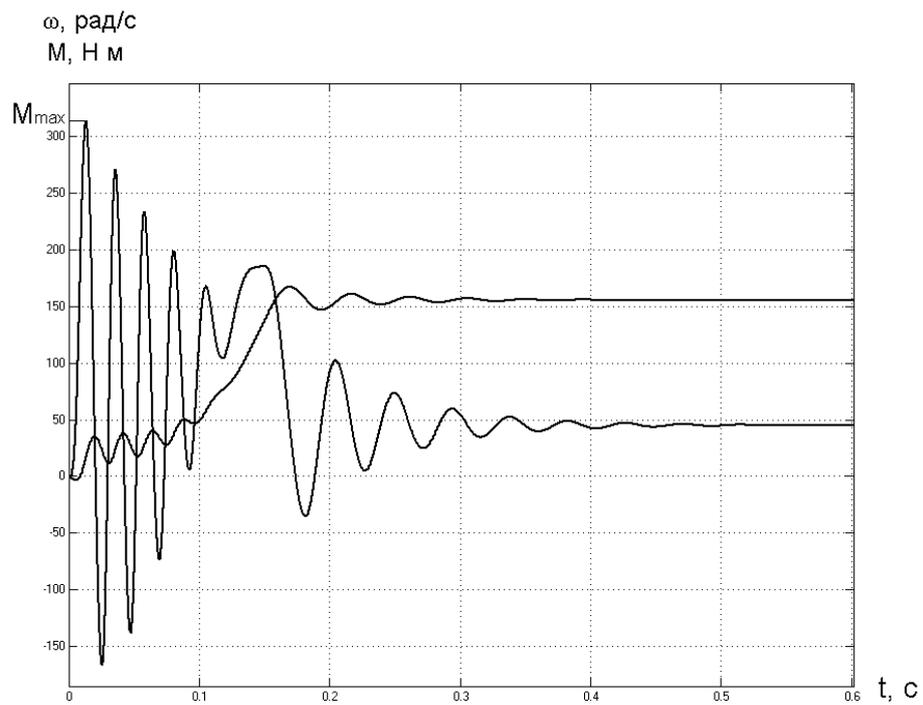


Рисунок 22 – Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя

Переходный процесс тока в фазе статора изображен на рисунке 31.

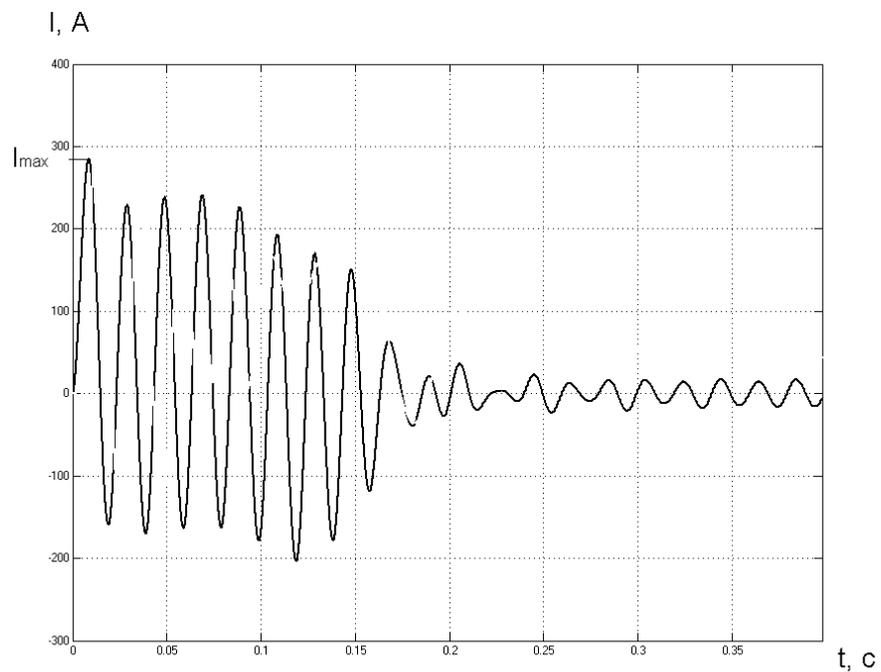


Рисунок 23 – Переходный процесс тока в фазе статора

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

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

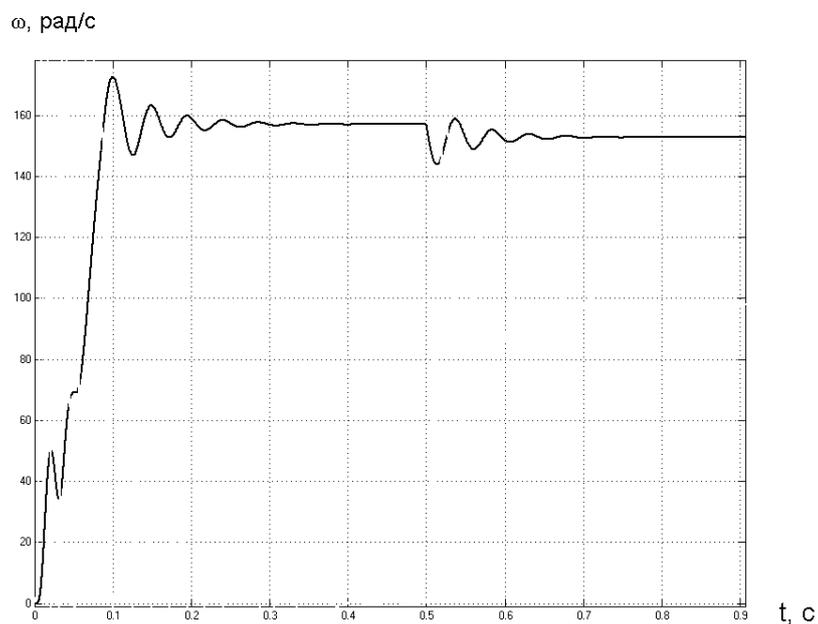


Рисунок 24 – Переходный процесс скорости при набросе нагрузки

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

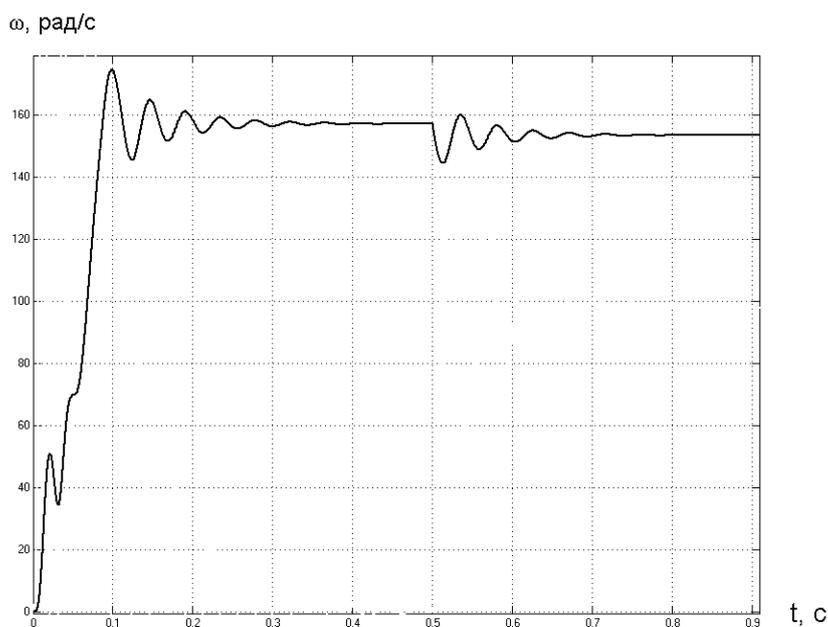


Рисунок 25 - Переходный процесс скорости при набросе нагрузки

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

3.4. Тиристорный регулятор напряжения

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

Имитационная модель системы ТРН – АД приведена на рисунке 34.

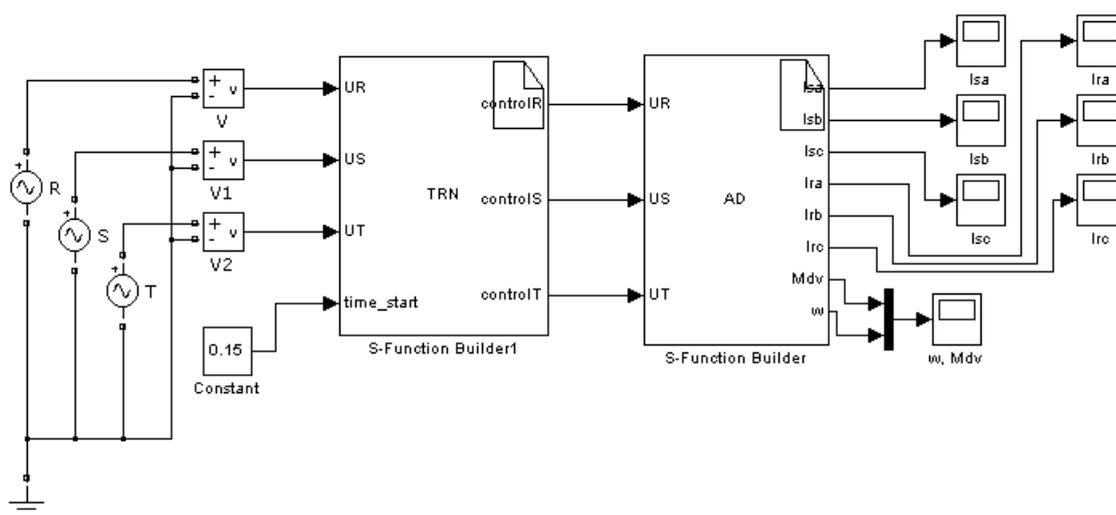


Рисунок 26 - Имитационная модель системы ТРН - АД

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

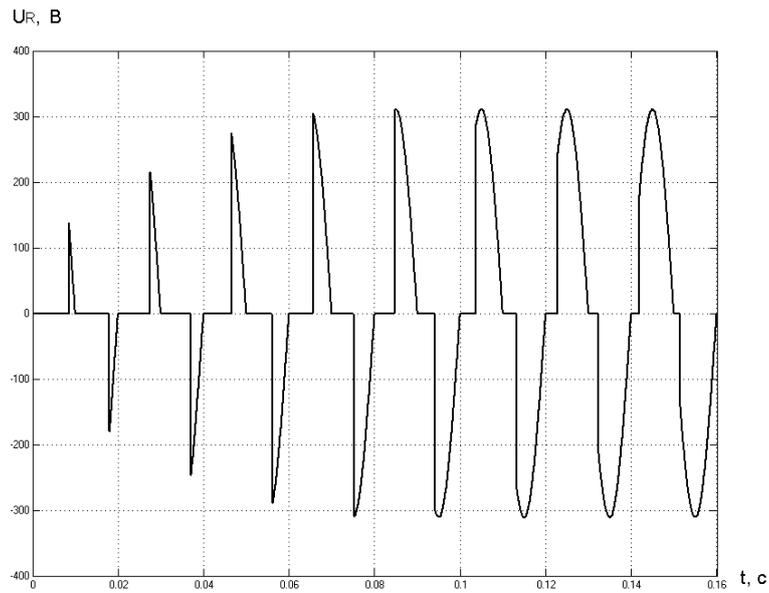


Рисунок 27 - Форма напряжения в фазе R

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

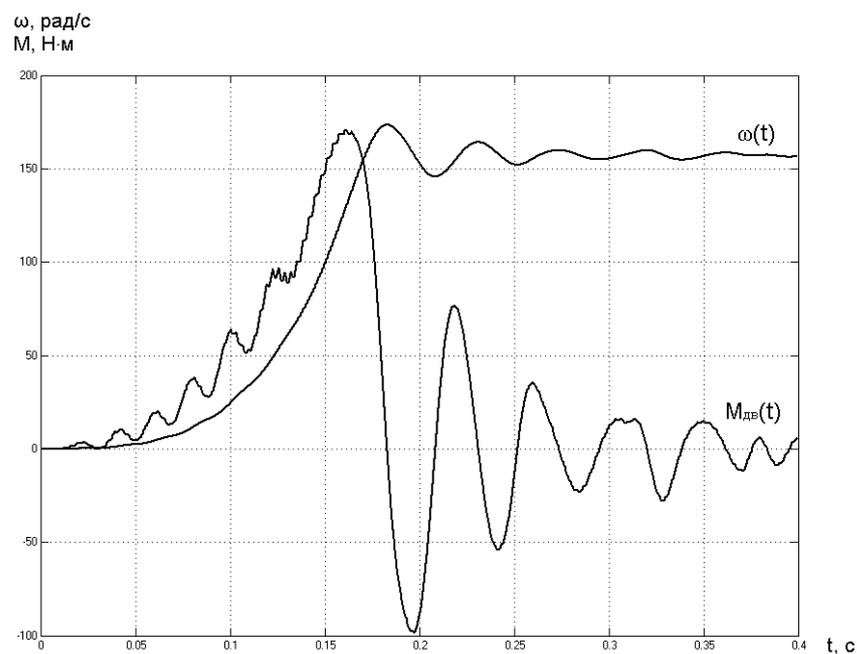


Рисунок 28 - Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя

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

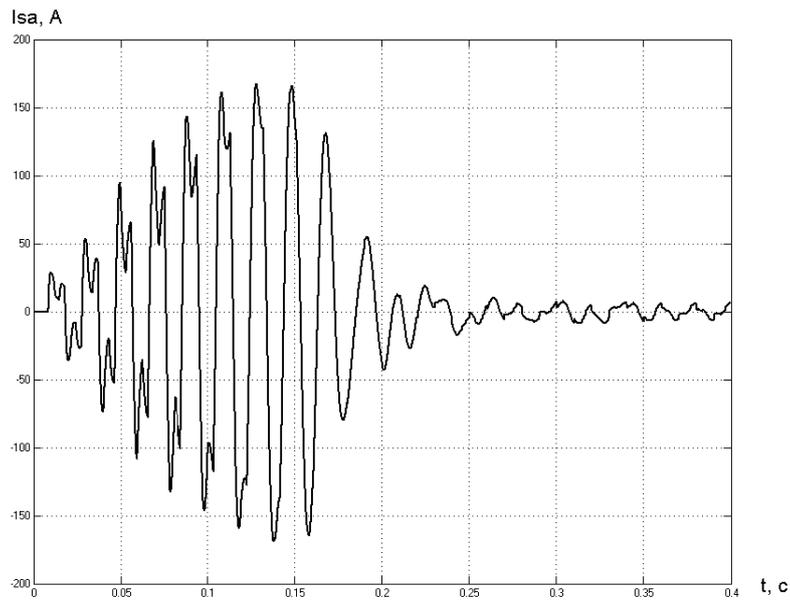


Рисунок 29 - Переходный процесс тока в фазе статора

4. Исследование динамических режимов ТРН – АД

4.1. Динамическое торможение

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

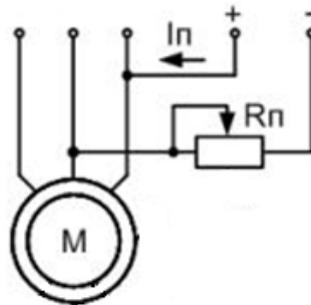


Рисунок 30 - Схема динамического торможения АД

Механическая характеристика динамического торможения приведена на рисунке 39.

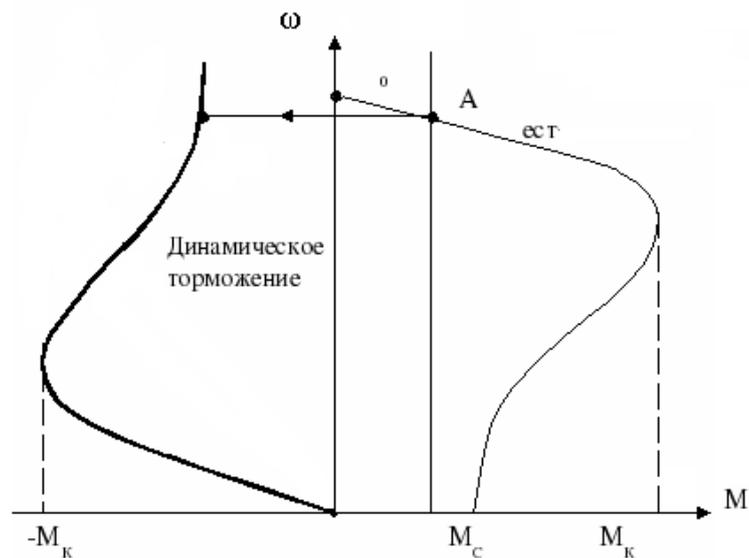


Рисунок 31 - Механические характеристики при динамическом торможении

На рисунке 40 стрелками показан путь протекания тока I , создающего постоянное магнитное поле, в системе ТРН – АД при динамическом торможении. Одну из фаз ТРН необходимо полностью отключить. То есть тиристоры VS5 и VS6 выводятся из работы. Тиристоры VS1 и VS4 так же отключаются. Таким образом в фазе C1 проходит только положительная полуволна напряжения, а в фазе C2 – отрицательная.

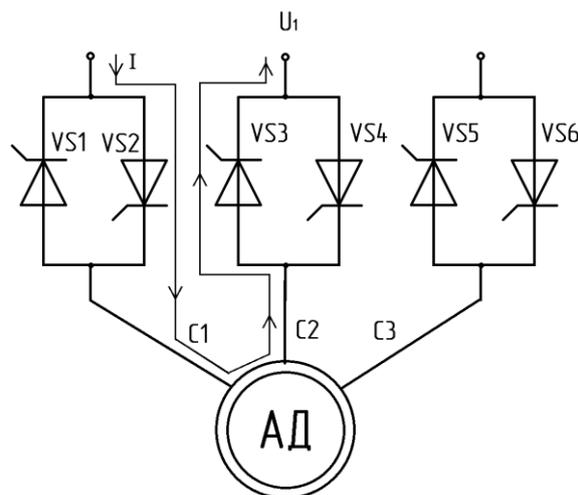


Рисунок 32 - Схема протекания тока при динамическом торможении

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

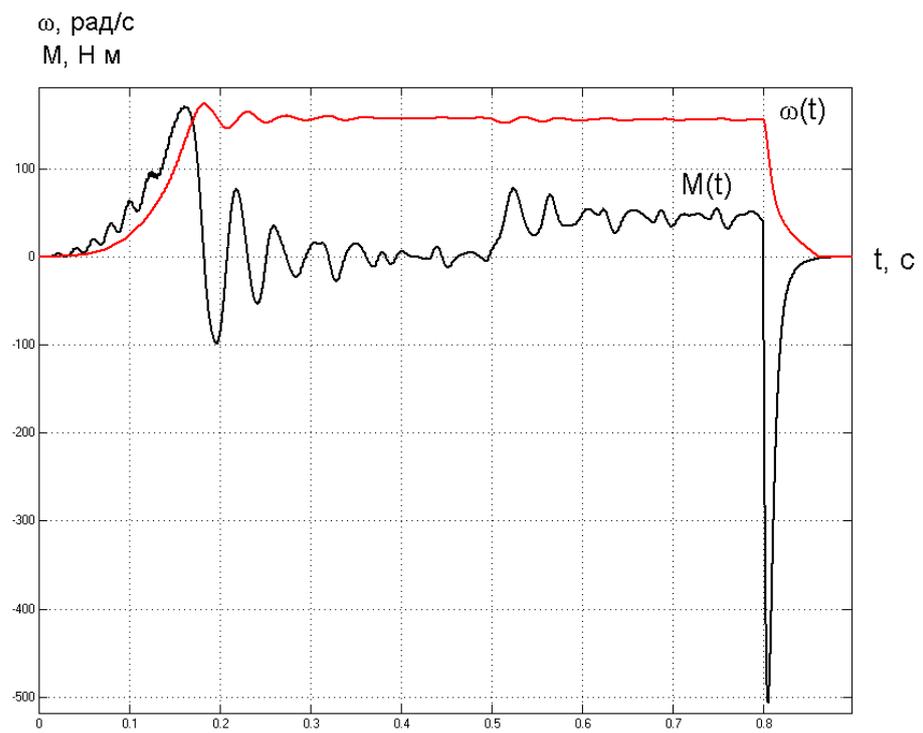


Рисунок 33 – Переходные процессы скорости вращения ротора и момента двигателя при динамическом торможении

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

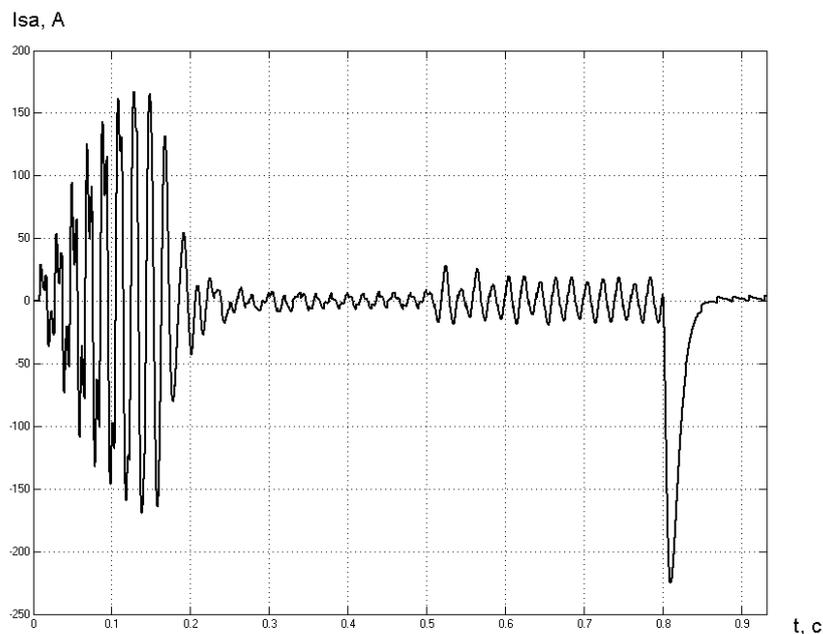


Рисунок 34 - Переходный процесс тока фазы статора

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

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

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

Достижение цели обеспечивается решением задач:

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

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

4.1.1. Технология QuaD

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

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

1) Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:

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

2) Показатели оценки качества разработки:

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;
- энергоэффективность;
- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;

- уровень материалоемкости разработки и др.

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

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

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

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

Продолжение таблицы 2

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

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

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

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

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

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

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

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

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

4.1.2. SWOT-анализ

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

SWOT-анализ проводится в несколько этапов.

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

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

- Какие технические преимущества вы имеете по сравнению с конкурентами?
- Что участники вашего проекта умеют делать лучше всех?
- Насколько ваш проект близок к завершению по сравнению с конкурентами?

2. Слабые стороны. Слабость – это упущение, недостаток или ограниченность научно-исследовательского проекта, мешающие достижению целей данного проекта. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по

сравнению с конкурентами. Чтобы прояснить, где именно данный проект превосходят конкуренты, необходимо задать следующие вопросы:

- Что можно улучшить?
- Что делается плохо?
- Чего следует избегать?

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

- Какие возможности вы видите на рынке?
- В чем состоят благоприятные рыночные возможности?
- Какие интересные тенденции отмечены?
- Какие потребности, пожелания имеются у покупателя, но не удовлетворяются конкурентами?

Проводите поиск свободных ниш, но необходимо учесть то, что свободными они остаются недолго. Благоприятная возможность, увиденная сегодня, может перестать существовать уже через несколько месяцев. Благоприятные возможности могут возникать в силу действия следующих факторов:

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

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

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

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

Таблица 3 – Матрица SWOT

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

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

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

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

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

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта

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

Результаты анализа таблицы:

В2В3В4С1С6С7С9

В1С2С5С7С8С9

В4С1С5С6С7С8С9

В5С1С3С4С5С6С7С8С9

Продолжение таблицы 4

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	-	-	-
	В2	-	-	-
	В3	-	-	-
	В4	-	-	0
	В5	+	0	+

Результаты анализа таблицы:

В5Сл1Сл3

Продолжение таблицы 4

Сильные стороны проекта										
Угрозы		С1	С2	С3	С4	С5	С6	С7	С8	С9
	У1	-	-	-	-	+	-	-	-	-
	У2	0	0	-	-	-	-	-	-	+
	У3	+	0	+	+	-	+	0	0	0
	У4	-	-	-	0	-	-	-	-	-
	У5	0	-	-	-	+	-	-	-	-

У1С5 Результаты анализа таблицы:

У3С1С3С4С6

У2С9

У5С5

Окончание таблицы 4

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

Результаты анализа таблицы:

У1Сл1

У2Сл3

У3Сл1Сл2Сл3

У4У5Сл1Сл3

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

Таблица 5 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4.Повышение производительности труда. С5. Квалифицированный персонал. ...	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл2. Большой срок выхода на рынок Сл3. Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения
Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследований В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Развитие технологий в данной отрасли	B2B3B4C1C6C7C9 B1C2C5C7C8C9 B4C1C5C6C7C8C9 B5C1C3C4C5C6C7C8C9	B5Сл1Сл3
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4.Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос. У5. Появление новых конкурентных разработок.	У1С5 У3С1С3С4С6 У2С9 У5С5	У1Сл1 У2Сл3 У3Сл1Сл2Сл3 У4У5Сл1Сл3

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

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

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

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

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

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

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

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

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

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

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

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

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

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

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

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

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

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

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

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

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

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

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

Таблица 7 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожс}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	1		2		2		2		4	
Подбор и изучение материалов по теме		5		8		7		7		11
Описание объекта автоматизации (модернизации)		3		4		4		4		7
Календарное планирование работ по теме	3		5		4		4		7	
Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП		4		9		6		6		10
Расчет параметров двигателя и модели		4		6		5		5		8
Выбор способа регулирования скорости		2		4		8		8		12
Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»		2		4		3		3		5

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

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

Таблица 8 – Календарный план-график проведения НИОКР

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				фев.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	11														
3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер	7														
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	7														

4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

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

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

4.3.1. Основная заработная плата исполнителей темы

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

Таблица 9 – Расчет основной заработной платы

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

Продолжение таблицы 9

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

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

Таблица 9 – Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника:

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

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

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

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер

обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{тс}$);

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

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

Таблица 10 – Расчёт основной заработной платы

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

4.3.2. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

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

4.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

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

Таблица 11 – Отчисления во внебюджетные фонды

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

4.3.4. Накладные расходы

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

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

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

4.3.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

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

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат НТИ

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

4.4. Определение ресурсоэффективности проекта

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

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

где:

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

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

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

Расчёт интегрального финансового показателя проводится в виде табличной формы.

Таблица 13 – Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

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

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

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

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности схем проводим в виде табличной формы.

Таблица 14 – Сравнительная оценка характеристик проекта

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

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности выбранной системы:

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

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

5. Социальная ответственность

В данной работе объектом исследования является электропривод клиновой задвижки нефтепровода. Нефтепровод предназначен для перекачки больших объемов нефти от нефтепромысла к нефтеперерабатывающему предприятию. Нефтепровод, как и любая другая система, требует своевременного и качественного обслуживания. Такие механизмы, как задвижка, дают возможность выполнить эту задачу.

С помощью задвижек можно перекрыть отдельный участок нефтепровода при аварии, что предотвратит серьезные последствия и даст возможность ликвидировать эту аварию. Так же необходимость перекрытия отдельного участка нефтепровода может быть связана с проведением плановых мероприятий по обслуживанию нефтепровода.

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

5.1. Характеристика объекта исследования

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

Внутри корпуса задвижки находятся седла, к уплотнением которых прилегает уплотнитель затвора. Таким образом, достигается максимальная герметичность закрытой задвижки. Затвор приводится в движение штоком или шпинделем.

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

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

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

Данный электропривод позволяет осуществлять:

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

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

5.2. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Опасные факторы

1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования.

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

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

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

Все подвижные части конструкции электропривода (шестерни, зубчатые колеса, валы, редуктор) находятся внутри корпуса (10). К штоку – подвижной части самой задвижки, так же нет прямого доступа. Шток закрывается кожухом (12). Таким образом, воздействие данного опасного фактора на обслуживающий персонал сведено к минимуму.

2. Повышенное напряжение в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.

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

При ремонте электропривода должны соблюдаться следующие правила:

- Ремонт производить с соблюдением требований [11, 12, 13];
- Электропривод должен быть надежно заземлен;
- Приступая к разборке привода, необходимо убедиться, что он отключен от сети, а в ЩСУ на автоматическом выключателе вывешена табличка с надписью «Не включать, работают люди»;
- Разборку и сборку электропривода производить только исправным штатным инструментом;

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

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

Порядок расчета устройства защитного заземления.

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

Данные, полученные при измерений удельного сопротивления грунта на участке, где предполагается установить заземлитель, представлены в таблице 15.

Таблица 15 - Удельные сопротивления грунта

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

Сопротивление вертикального электрода:

$$R_э = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot K_в}{l_э} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l_э}{d_э} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot h_э + l_э}{4 \cdot h_э - l_э} \right) \\ = \frac{0,366 \cdot 200 \cdot 1,9}{2,7} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 2,7}{0,05} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 2,7 + 2,7}{4 \cdot 2,7 - 2,7} \right) = 58,947 \text{ Ом.}$$

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

ρ – удельное сопротивление грунта (200 Ом· м);

$l_э$ - длина стержня (2,7 м);

$d_э$ – диаметр стержня (0,05 м);

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

Максимальные сопротивления заземляющего устройства, установленные ПУЭ, составляют:

для установок до 1000 В

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

4 Ом - во всех остальных случаях;

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

Определяем предварительно количество электродов n' :

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

Зная расположение электродов (в ряд или по контуру), отношение расстояния между электродами к их длине $\frac{a}{l} = 3$ и предварительное количество электродов, определяем коэффициент использования электродов (таблица 16).

Таблица 16 - Коэффициент использования электродов

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

Окончательное количество электродов n :

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

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

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

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

Сопротивление соединительной полосы:

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

Общее сопротивление контура защитного заземления

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

где $\eta_{\Pi}, \eta_э$ коэффициент использования полосы (таблица 17).

Таблица 17 - Коэффициент использования полосы

Количество электродов	Электроды в ряд, при отношении a/l_1			Электроды по контуру, при отношении a/l_1		
	3	2	1	3	2	1
5	0,90	0,85	0,72	0,71	0,50	0,41
10	0,79	0,70	0,59	0,55	0,39	0,33
20	0,65	0,55	0,40	0,44	0,32	0,27
30	0,57	0,45	0,30	0,40	0,30	0,23
50	0,49	0,35	0,21	0,37	0,27	0,21
70	0,46	0,33	0,19	0,35	0,25	0,20
100	–	–	–	0,33	0,24	0,19

Производим проверку выполнения условия

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

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

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

Вредные факторы

1. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны.

Задвижки нефтепровода могут находиться в абсолютно разных климатических условиях. Соответственно и обслуживающему персоналу приходится вести работу при повышенных или пониженных температурах.

Для обеспечения безопасной работы обслуживающего персонала, необходимо следовать требованиям [15]. В этом документе приведена классификация вредности условий труда в зависимости от температуры окружающей среды. Так же приведены требования к одежде рабочих, которая обеспечит безопасные условия труда при повышенных или пониженных температурах.

2. Вибрация

Вибрации машин возникают вследствие различных причин. Например, неправильная регулировка, балансировка, установка машин, имеющих вращающиеся детали или части с движениями возвратно-поступательного и ударного характера и т.п.

Каждая работающая машина испускает вибрации в той или иной степени. Человек, который находится на вибрирующей поверхности (общая вибрация) или контактирует участками своего тела с вибрирующими устройствами, машинами или инструментами (локальная вибрация), имеет возможность получить специфическое профессиональное заболевание, называемое вибрационной болезнью.

Вибрация причиняет ущерб не только здоровью человека. Так же вибрация наносит вред и самим машинам (вызывая быстрый износ деталей), зданиям и сооружениям. Вибрация искажает показания приборов и способствует ухудшению качества продукции (возникновение брака).

Для уменьшения влияния вибраций до допустимых пределов, при которых не наносится вред здоровью человека, разработаны санитарно-гигиенические и инженерно-технические нормы.

Санитарно-гигиенические нормы [16] показывают такие значения параметров вибрации, превышение которых недопустимо, так как это может привести к возникновению вибрационной болезни у человека. Нормируемыми параметрами вибрации являются величины колебательной скорости и ускорения в октавных полосах частот или амплитуды перемещения, возбуждаемые работой оборудования и передаваемые на рабочие места в производственных помещениях (сидения, пол, рабочая площадка). Гигиеническая оценка воздействующей на работника постоянной вибрации (общей и локальной) проводится на основе [15] методом интегральной оценки по частоте нормируемого параметра. При этом для оценки условий труда измеряют или рассчитывают скорректированный уровень (значение) виброскорости или виброускорения (согласно приложению к [16]). Гигиеническая оценка непостоянной вибрации (общей, локальной) проводится методом интегральной оценки по эквивалентному уровню нормируемого параметра. При этом для оценки условий труда измеряют или рассчитывают скорректированный уровень (значение) виброскорости или виброускорения (согласно приложению к [16]). Класс условий труда определяется в соответствии с таблицей 18.

Таблица 18 - Классы условий труда в зависимости от уровня вибрации

Фактор, показатель, ед. измерения	Допустимый, кл. 2	Вредный, кл. 3.1	Вредный, кл. 3.2	Вредный, кл. 3.3	Вредный, кл. 3.4	Опасный, кл. 4
	Превышение ПДУ (дБ/раз)					
Вибрация локальная, эквивалентный скорректированный уровень <u>виброскорости</u> , <u>виброускорения</u> (дБ/раз)	ПДУ	3/1.4	6/2	9/2.8	12/4	>12/4
Вибрация общая, эквивалентный скорректированный уровень <u>виброскорости</u> , <u>виброускорения</u> (дБ/раз)	ПДУ	6/2	12/4	18/6	24/8	>24/8

3. Шум

Понятие «шум» включает в себя совокупность звуков, которые оказывают отрицательное влияние на организм человека. Шум ухудшает работоспособность человека и качество его отдыха.

Звук является следствием упругих колебаний материальных частиц в твердой, жидкой и газообразной средах.

Интенсивность звука, скорость его распространения и звуковое давление является характеристиками звукового поля, в котором распространяются звуковые волны

Звуковое давление - разность между мгновенным значением полного давления, создаваемого звуковой волной и средним давлением, которое наблюдается в невозмущенной среде. Единица измерения звукового давления Паскаль (Па).

Степень воздействия шума на организм человека оценивается уровнем звукового давления (L). Уровень звукового давления, в свою очередь, определяется как логарифм отношения эффективного значения звукового давления к пороговому. Единица измерения уровня звукового давления - децибел (дБ).

Уровень звукового давления на пороге слышимости равен нулю. На пороге болевого ощущения - 120–130 дБ.

Воздействие шума на организм человека.

Вред, наносимый организму человека шумом, заключается в повреждении внутреннего уха, возможности изменения электрической проводимости кожи, биоэлектрической активности головного мозга, сердца и скорости дыхания, общей двигательной активности, а также изменением размера некоторых желез эндокринной системы, кровяного давления, сужением кровеносных сосудов, расширением зрачков глаз. Следствием длительной работы человека в условиях шумового воздействия является то, что рабочий начинает испытывать раздражительность, головную боль, головокружение, повышенную утомляемость, снижение памяти, нарушение сна, понижение аппетита. В условиях повышенного шумового фона снижается коммуникабельность людей, что может привести к недопониманию людей, выполняющих одну задачу. Это может привести к снижению качества выполняемой работы и даже к несчастным случаям.

Нейросенсорная тугоухость – шумовая болезнь, к которой приводит длительной нахождение человека в условиях повышенного шумового фона. Таким образом повышенный уровень шума необходимо считать причиной некоторых нервных заболеваний, снижения продуктивности, потери слуха.

Гигиеническое нормирование шума.

Целью нормирования шума на рабочем месте является установление предельно допустимого уровня шума, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья.

Предельно допустимые уровни шума на рабочих местах регламентированы [17].

Защита от шума достигается разработкой шумобезопасной техники, применением средств и методов коллективной и индивидуальной защиты.

Уменьшение шума в источнике достигается улучшением конструкции машин, применением малошумных материалов в этих конструкциях.

Средства и методы коллективной защиты подразделяются на акустические, архитектурно-планировочные, организационно-технические.

Защита от шума акустическими средствами предполагает звукоизоляцию (устройство звукоизолирующих кабин, кожухов, ограждений, установку акустических экранов); звукопоглощение (применение звукопоглощающих облицовок, штучных поглотителей); глушители шума (абсорбционные, реактивные, комбинированные).

Архитектурно-планировочные методы — рациональная акустическая планировка зданий; размещение в зданиях технологического оборудования, машин и механизмов; рациональное размещение рабочих мест; планирование зон движения транспорта; создание шумозащищенных зон в местах нахождения человека.

Организационно-технические мероприятия — изменение технологических процессов; устройство дистанционного управления и автоматического контроля; своевременный планово-предупредительный ремонт оборудования; рациональный режим труда и отдыха.

Если невозможно уменьшить шум, действующий на работников, до допустимых уровней, то необходимо использовать средства индивидуальной защиты (СИЗ). Например, противозумные вкладыши из ультратонкого волокна одноразового использования или многократного использования. Они эффективны для снижения шума на средних и высоких частотах на 10–15 дБА. Наушники снижают уровень звукового давления на 7–38 дБ в диапазоне частот 125–8 000 Гц. Для предохранения от воздействия шума с общим уровнем 120 дБ и выше рекомендуется применять шлемофоны, оголовья, каски, которые снижают уровень звукового давления на 30–40 дБ в диапазоне частот 125–8 000 Гц.

5.3. Экологическая безопасность

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

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

нефтепровода на определенном расстоянии друг от друга, помогает минимизировать утечку нефти в окружающую среду. Происходит это путем перекрытия поврежденного участка нефтепровода. Электропривод, установленный на задвижках, имеет возможность дистанционного управления, что позволяет перекрыть нефтепровод при минимальных затратах времени.

Таким образом, электропривод задвижки позволяет сделать транспортировку нефти максимально безопасной для окружающей среды.

5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

1. Ликвидация аварий и повреждений магистрального нефтепровода

Существуют различные методы обнаружения утечки нефти из нефтепровода:

- контроль давления;
- визуальное обнаружение;
- анализ изменения нагрузки двигателей;
- параметрического контроля расхода и давления;
- графоаналитический метод;
- приборная диагностика (ультразвуковой и акустический);
- метод балансного учета нефти;

Действия персонала, обслуживающего нефтепровод должны соответствовать [18].

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

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

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

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

- сообщить диспетчеру РНУ (УМН) об обнаруженном месте нарушения целостности нефтепровода;
- сделать круг над ближайшей ЛПДС (НПС) и сбросить вымпел с сообщением об обнаружении нарушения целостности нефтепровода;
- продублировать свое сообщение диспетчеру РДП с ближайшего аэропорта;
- находиться на связи в ожидании указаний диспетчера РДП.

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

Диспетчер РДП, получив сообщение об аварии, обязан:

- отключить аварийный участок в режиме телеуправления в соответствии с Регламентом действия оперативного персонала при аварийных ситуациях;
- немедленно сообщить об аварии руководству РНУ (УМН), начальнику ЦРС (СУПЛАВ), диспетчеру ОАО МН, диспетчеру связи ПТУС;
- обеспечить выезд аварийно-восстановительной бригады, патрульной группы.

Диспетчер ОАО МН, получив известие об аварии, обязан:

- немедленно уведомить о возникновении аварии генеральному директору ОАО МН, его заместителям, руководству ПТУС, диспетчеру ОАО "АК "Транснефть" по форме указанной в Регламенте представления срочных донесений об авариях и отказах на магистральных нефтепроводах, НПС и РП и их учет;
- уточнить с диспетчером РДП схему и порядок отключения аварийного участка;
- контролировать ход выполнения мероприятий по ликвидации аварии.

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

2. Пожаро- взрывобезопасность

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

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

Действия обслуживающего персонала при возникновении подобных ситуаций должны соответствовать требованиям [20].

5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

При выполнении данного раздела были использованы специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства, указанные в списке используемой литературы.

Заключение

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

Для достижения поставленных целей была создана модель системы ТРН - АД в программной среде MATLAB Simulink. Основой модели является блок «S-Function Builder», который позволяет пользователю интегрировать

внешний код C в модель Simulink, что позволяет значительно расширить возможности стандартной библиотеки MATLAB.

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

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

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

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

Список используемой литературы

1. Строительные нормы и правила: СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы. – введен 01.07.2013. - М.: Госстрой, ФАУ "ФЦС", 2013.
2. ГОСТ Р 55020-2012. Арматура трубопроводная. – введен 01.03.2012. - М.: Стандартиформ, 2013.
3. ЭкспертТруб [Электронный ресурс]: все про сантехнику и трубы. – Режим доступа: <http://experttrub.ru>
4. Москаленко В.В.. Электрический привод: Учеб. пособие для сред. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 368 с.
5. Руководство по эксплуатации «ЭПЦ-15000». – Томск.: Томский завод электроприводов, 2013. – 25 с.
6. Алиев Р.А., Белоусов В.Д., Немудров А.Г. и др. Трубопроводный транспорт нефти и газа: Учеб. для вузов. – М.: Недр, 1988.. – 368 с.

7. Руководство по эксплуатации «Блок управления регулируемый БУР». – Томск.: ЭлеСи, 2013. – 25 с.

8. Копылов И.П.. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.

9. Однокопылов И.Г., Асинхронный электропривод механизма подъема крана мостового типа с повышенной безопасностью и живучестью: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : спец. 05.09.03 / И. Г. Однокопылов; Томский политехнический университет (ТПУ), Электротехнический институт (ЭЛТИ), Кафедра электропривода и электрооборудования ; науч. рук. Ю. Н. Дементьев. — Электронные текстовые данные (1 файл : 950 Kb). — Томск, 2008.

10. РД-75.000.00-КТН-085-12 «Руководство по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и сооружений нефтеперекачивающих станций»;

11. «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТЭЭП);

12. ГОСТ Р 51330.18 «Ремонт и проверка электрооборудования используемого во взрывоопасных газовых средах (кроме подземных выработок или применений, связанных с переработкой и производством взрывчатых веществ)»;

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

14. Правила устройства электроустановок (ПУЭ);

15. Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда»;

16. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация. Вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»;

17. СН 2.2.4/2.8.562-96 “Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки”;

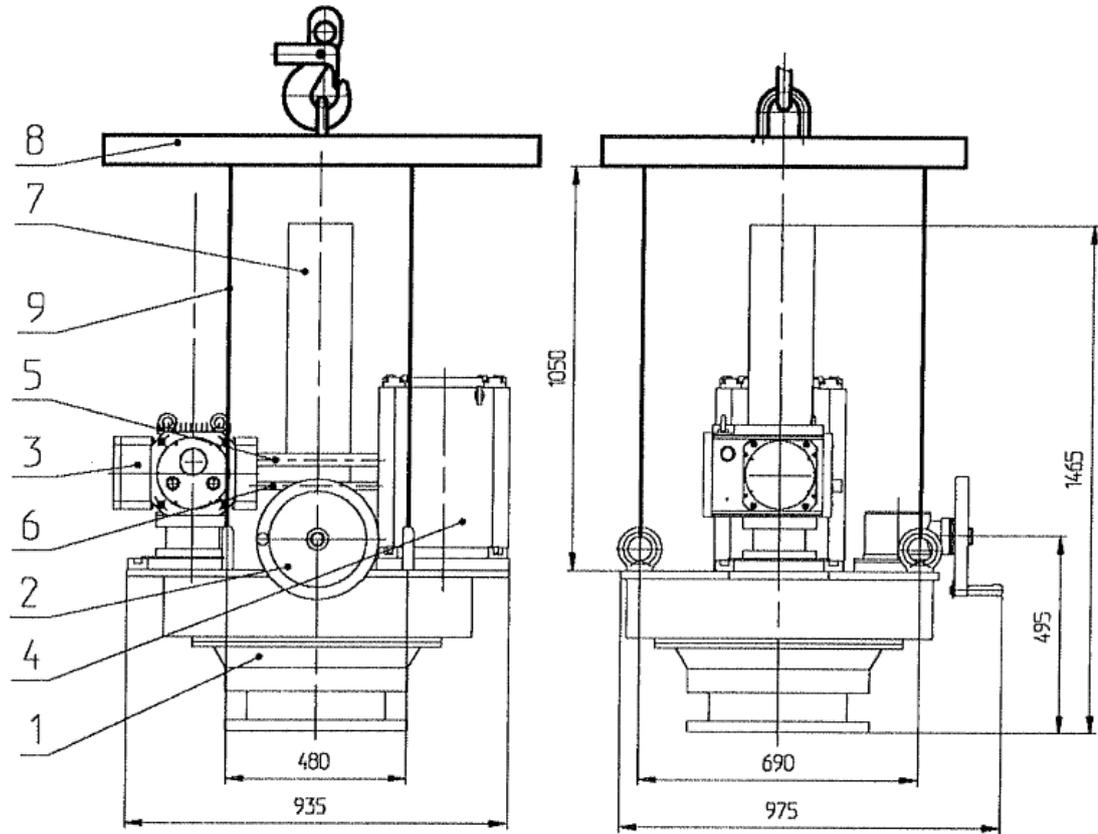
18. РД 153-39.4-114-01 «Правила ликвидации аварий и повреждений на магистральных нефтепроводах»;

19. РД 39-00147105-006-97 «Инструкция по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов»;

20. РД 153-39.4-056-00 «Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов»;

Приложение А

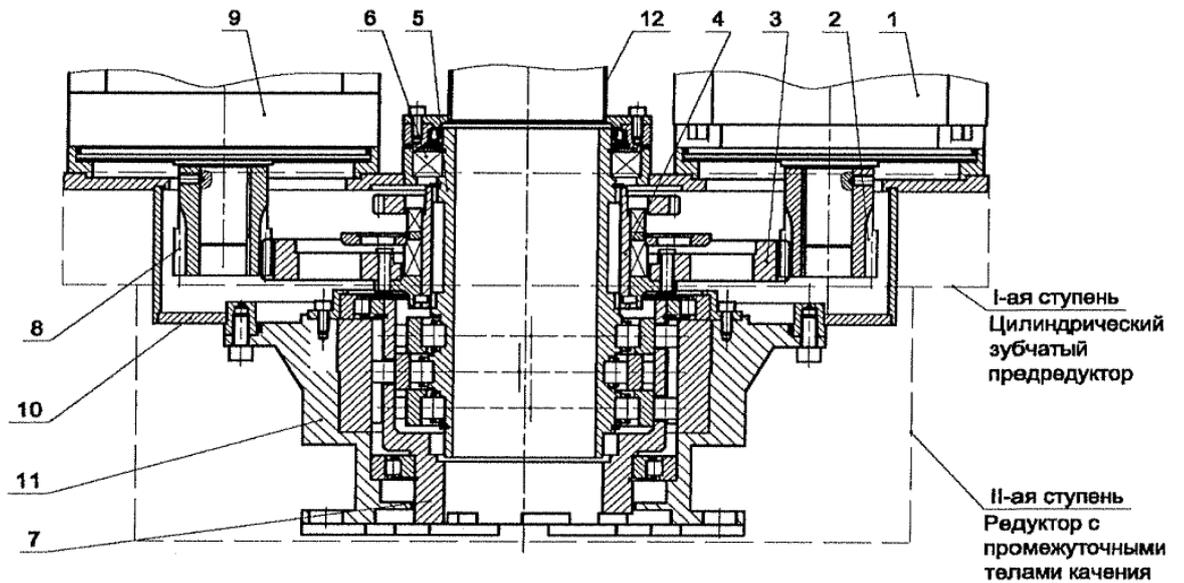
Общий вид электропривода «ЭПЦ-15000» со схемой строповки



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

Приложение Б

Конструктивное исполнение электропривода «ЭПЦ-15000»



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