

**Инженерная школа энергетики**

Направление подготовки **13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)**

Отделение **Электроэнергетики и электротехники**

Профиль **Электропривод и автоматика**

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Электропривод регулирующей трубопроводной арматуры на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами</b>

УДК 62-83:621.646

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АБК	Симахин Марк Юрьевич		

Руководитель

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

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Тютеева П.В.	К.Т.Н.		

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. зав. кафедрой- руководителя  
ОЭЭ ИШЭ

\_\_\_\_\_ А.С. Ивашутенко  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студент:

Группа	ФИО
5А6К	Симахин Марк Юрьевич

Тема работы:

**Электропривод регулирующей трубопроводной арматуры на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами**

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№59-78/с 28.02.2020
---	------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Введение;</li> <li>– Постановка задачи проектирования;</li> <li>– Выбор электродвигателя;</li> <li>– Выбор типа редуктора;</li> <li>– Расчет синхронного привода;</li> <li>– Расчет регуляторов тока;</li> <li>– Расчет регуляторов скорости;</li> <li>– Расчет контура положения;</li> <li>– Разработка имитационной модели электропривода;</li> </ul>

	– Исследование имитационной модели привода; – Разработка разделов «Финансовый менеджмент» и «Социальная ответственность» – Заключение.
<b>Перечень графического материала</b>	Имитационная модель электропривода. Графики переходных процессов.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Подопригора Игнат Валерьевич
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	20.03.2020г..
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Иван Георгиевич	К.Т.Н		20.03.2020 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Симахин Марк Юрьевич		20.03.2020 г.

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.05.2020	Основная часть	60
15.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
18.05.2020	Социальная ответственность	20

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

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

**СОГЛАСОВАНО:**

**И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тютева П.В.	К.Т.Н.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5А6К	Симахин Марк Юрьевич

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Электроэнергетика и электротехника</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника</b>

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Себестоимость научного исследования, расчет затрат.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>30 % премии; 20 % надбавки; 16% накладные расходы; 1,3 районный коэффициент.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>В соответствии с Налоговым кодексом РФ ставка 27,1%</i>

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>SWOT-анализ применения электропривода.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Планирование комплекса предполагаемых работ, осуществляемых при эксплуатации электропривода.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	

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

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	<b>20.03.2020 г.</b>
---	----------------------

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5А6К	Симахин М.Ю.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А6К	Симахин Марк Юрьевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02«Электроэнергетика и электротехника»

Тема ВКР:

<b>Электропривод регулирующей трубопроводной арматуры на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Рабочее помещение закрытого типа. Основное рабочее оборудование – электропривод на базе синхронного двигателя, управляющий трубопроводной арматурой.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– ТК РФ Раздел VI. Оплата и нормирование труда. – ТК РФ Раздел VIII. Трудовой распорядок. Дисциплина труда. – ТК РФ Раздел X. Охрана труда. – Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Отклонение показателей микроклимата 2. Повышенный уровень шума; 3. Повышенный уровень вибрации; 4. Недостаточная освещенность; 5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи;
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	– Отходы, появляющиеся в связи с эксплуатацией и ремонтом оборудования.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	– Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации – крупные аварии, пожар, наводнение, землетрясение. – Типичная чрезвычайная ситуация - пожар

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.03.2020 г.
--	---------------

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Симахин Марк Юрьевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 84 страниц, содержит 35 рис., 21 таблицу.

Ключевые слова: электропривод, регулирующая арматура, редуктор, синхронный двигатель, режим работы.

Объект исследования: Электропривод регулирующей арматуры

Цель работы – создание нового поколения регулирующих взрывозащищенных электроприводов с минимальными габаритными размерами, массой и себестоимостью, не уступающих по точности регулирования и функциональным характеристикам регулирующим электроприводам производства других фирм.

В процессе работы был произведен расчет и выбор электропривода. Проведено моделирование и анализ работы привода в разных режимах. Разработаны меры по обеспечению безопасности на рабочих местах и произведён экономический расчет.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редактора Microsoft Office 2016, во время работы использованы программы Matlab Simulink, Microsoft Paint, MathType.



# Оглавление

1. Введение.....	10
2. Классификация типов электроприводов.....	12
2.1. Типы трубопроводной арматуры.....	16
2.2. Требования к электроприводу.....	20
2.3. Выбор электропривода.....	24
2.4. Выбор редуктора.....	26
3. Расчет синхронного электропривода.....	30
3.1. Параметры силовой части электропривода.....	30
3.2. Расчет регулятора тока.....	31
3.3. Расчет регулятора скорости.....	32
3.4. Расчет регулятора положения.....	33
4. Моделирование электропривода трубопроводной арматуры.....	35
4.1. Исследование основных режимов работы электропривода.....	36
4.2. Работа электропривода в позиционном режиме.....	45
5. Социальная ответственность.....	50
5.2. Производственная безопасность.....	52
5.3. Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	52
5.3.1. Отклонение показателей микроклимата.....	52
5.3.2. Повышенный уровень шума.....	54
5.3.3. Повышенный уровень вибрации.....	56
5.3.4. Недостаточная освещенность.....	57
5.3.5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.....	58
5.4. Экологическая безопасность.....	59
5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	60
5.5. Выводы по разделу.....	61
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	62
6.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	62
6.2. Анализ конкурентных технических решений.....	63
6.3. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	69
6.6. Основная заработная плата исполнителей темы.....	75
6.7. Амортизация.....	80
6.8. Формирование бюджета затрат на проектирование.....	82
Заключение.....	84

## 1. Введение

Стремительное развитие промышленности, ростом количества промышленных объектов их техническое перевооружение, с переходом на механизацию и автоматизацию технологических процессов, ставит перед производителями и потребителями задачи разработки и применения современного оборудования. Большое значение в промышленности имеет разработка и внедрение в производство автоматизированного электропривода с применением двигателей, обладающих высокими энергетическими параметрами, регулируемых преобразователей и надежной аппаратурой управления, способствуют повышению производительности и качества изготавливаемых изделий при применении различных видов приводов трубопроводной арматуры. Широкое применение электроприводов объясняется целым рядом преимуществ электропривода по сравнению с другими видами приводов: надежность и экономичность процесса преобразования электрической энергии в механическую, простота подачи электроэнергии к месту ее потребления, хорошие регулировочные свойства электропривода, экологическая чистота.

Трубопроводная арматура с электроприводом обеспечивает оперативную отсечку и возобновление перекачки по трубопроводу, регулирование объемов, давления жидкости и газов, транспортируемых по трубопроводам, а также контроль состояния отдельных частей и элементов трубопроводной арматуры. Использование электроприводов в производственных процессах снижает зависимость от человеческого фактора, позволяя повысить надежность и безопасность технологического процесса, а также снижать затраты на производство.

Электроприводы получили широкое применение в сфере автоматизации процессов управления трубопроводными системами и используются в различных отраслях промышленной и хозяйственной деятельности.

Современный электропривод представляет собой сложный электромеханический узел, состоящий из электрической силовой части, системы преобразования направления вращения и крутящего момента (редуктора), электронного блока, а также набора выключателей и датчиков. Современный электропривод является не только энергосиловой основой, позволяющей обеспечить производственные механизмы необходимой механической энергией, но и средством управления технологическими процессами, так как задачи по реализации качества производственных процессов в настоящее время в большинстве случаев возлагаются на системы управления регулируемые электроприводами в сочетании с системами технологической автоматики. В связи с возрастанием цен на энергоносители, в частности на электроэнергию, и ограниченными возможностями увеличения мощности энергогенерирующих установок проблема энергосбережения, в том числе снижения электропотребления, приобретает особую актуальность.

## 2. Классификация типов электроприводов

В настоящее время в промышленности и на предприятиях ЖКХ применяются большое количество типов электроприводов обладающие как достоинствами, так и недостатками. Рассмотрим из них основные широко распространенные типы электроприводов.

Одним из основных типов электроприводов, применяемых во многих областях промышленности является регулируемый электропривод. Регулируемый электропривод в общем случае – это электропривод, в котором, скорость движения исполнительного органа изменяется в соответствии с требованиями технологического процесса. Регулируемый электропривод – комплекс из двигателя и преобразовательно-регулирующего устройства.

Основные требования, предъявляемые к регулируемому электроприводу это:

- регулирование скорости в необходимом диапазоне;
- ускорение-замедление с заданным темпом при переходе от любого начального состояния привода к заданному состоянию;
- необходимость ограничения момента, мощности, токов;
- минимизация потерь энергии в электроприводе;
- электромагнитная совместимость с системой электроснабжения.

Современные регулируемые электроприводы, как правило, являются автоматизированными. Большинство функций в них, выполняются средствами автоматизированного управления без участия человека. Принимая во внимание, что основными средствами управления в электроприводах являются программируемые контроллеры и (или) промышленные компьютеры, уместно определять современный автоматизированный электропривод как компьютеризированный. Это определение подходит для интегрированных систем многодвигательных электроприводов, объединяемых с компьютерными средствами автоматизации и разветвленными информационными сетями в составе технологических

агрегатов и комплексов. В качестве электромеханических преобразователей энергии в электроприводах преимущественное применение получили электродвигатели.

В качестве механического передаточного устройства обычно применяют механические передачи, позволяющие изменять параметры вращательного движения – частоту вращения с соответствующим изменением момента. В качестве таких механических передач наибольшее применение получили: ременная, зубчатая цилиндрическая, зубчатая коническая, червячная передачи.

При необходимости получения значительного передаточного отношения применяют редуктор, представляющий собой многоступенчатую зубчатую передачу.

В некоторых приводах механическое передаточное устройство преобразовывает вращательное движение с угловой скоростью в поступательное с линейной скоростью посредством винтовой пары, реечной передачи или кривошипно-шатунного механизма. В подъемных механизмах преобразование вращательного движения в поступательное осуществляется посредством лебедки, состоящей из барабана с наматываемым на него тросом. Существуют электроприводы без механических передаточных устройств, например, электропривод вентилятора у которого вращение вала двигателя передается непосредственно на исполнительный орган.

Управление электроприводами осуществляется посредством устройств, составляющих аппаратуру управления: коммутирующих, преобразовательных, измерительных и др. Будучи включенной по определенной схеме, эта аппаратура обеспечивает ручное или автоматизированное управление электроприводом.

В зависимости от способа передачи механической энергии от двигателя к передаточному устройству, а затем к исполнительному органу рабочей машины электроприводы разделяются на групповые, индивидуальные и многодвигательные.

Групповой ЭП обеспечивает движение исполнительных органов нескольких рабочих машин или нескольких исполнительных органов одной рабочей машины. Передача механической энергии от одного двигателя к нескольким рабочим машинам и её распределение между ними производится с помощью одной или нескольких трансмиссий. В настоящее время групповой электропривод имеет ограниченное применение из-за существенных недостатков: громоздкость и низкая надежность трансмиссии, сложность управления каждой из рабочих машин, входящих в групповой электропривод. Групповой привод уступил место индивидуальному и взаимосвязанному приводам.

Индивидуальный автоматизированный электропривод получил широкое распространение в самых различных областях жизни – от промышленного производства до сферы быта. Широта применения определяется большим диапазоном мощностей и большими возможностями по автоматизации и управлению, а также энергоэффективности электропривода. ЭП обеспечивает большие возможности по регулированию потока энергии. Находят применение современные системы программного управления технологическими процессами, устройства, оптимизирующие по каким-либо критериям работу электропривода и механизма, развивается использование принципов адаптивного автоматического управления. В индивидуальном электроприводе рабочая машина приводится в действие индивидуальным двигателем. Благодаря отсутствию недостатков, свойственных групповому электроприводе, индивидуальный электропривод получил наибольшее распространение.

Некоторые рабочие машины имеют несколько исполнительных органов: главный и вспомогательные. Поэтому даже при индивидуальном электроприводе механическая часть рабочей машины может оказаться усложненной несколькими передаточными устройствами. Например, в токарном станке главным движением является вращение шпинделя с обрабатываемым изделием, а перемещение режущего инструмента вдоль и

поперек оси обрабатываемого изделия являются вспомогательными движениями. При индивидуальном электроприводе механическая часть такого станка усложнена передаточными устройствами от главного на вспомогательные движения. Этот недостаток отсутствует в многодвигательном электроприводе, где каждый исполнительный орган рабочей машины имеет свой индивидуальный двигатель, что позволяет упростить механическую часть рабочей машины за счет устранения элементов распределения механической энергии между ее исполнительными органами.

Кроме того, этот вид привода упрощает его автоматизацию за счет повышения управляемости отдельных элементов рабочей машины, снабженных индивидуальными двигателями. Многодвигательный электропривод обычно применяют в сложных агрегатах, имеющих несколько исполнительных органов (прокатные станы, подъемные краны, металлообрабатывающие станки и т.п.).

По виду приводного двигателя электроприводы разделяются на электроприводы постоянного тока с применением двигателей постоянного тока и электроприводы переменного тока с применением двигателей переменного тока (асинхронного или синхронного). В настоящее время наблюдается тенденция перехода к приводу переменного тока (асинхронному). Связано это с рядом факторов: меньшая стоимость вследствие простоты конструкции, возможность получения лучшей динамики. Основной недостаток – большая сложность математического описания и законов управления. Также электроприводы разделяются по способу распределения механической энергии.

По способу управления электроприводы разделяются на ручной и автоматизированный. В ручном электроприводе все операции по управлению выполняются оператором вручную. В автоматизированном электроприводе операции управления выполняются без участия оператора, т.е. автоматически, с применением соответствующей электронной аппаратуры.

Первой особенностью развития электропривода является расширение области применения регулируемого электропривода, главным образом за счет количественного и качественного роста регулируемых электроприводов переменного тока благодаря достигнутым в настоящее время успехам в области полупроводниковой техники.

Второй особенностью развития современного привода является интенсивное повышение технологических требований к динамическим и точностным показателям электропривода, расширение и усложнение его функций, связанных с управлением технологическими процессами, и соответствующее возрастание сложности систем управления электроприводами. Широко внедряется микропроцессорное управление.

В качестве третьей особенности развития можно выделить тенденцию к созданию унифицированных блочных устройств.

Склонность к упрощению кинематических цепей механизмов ведет к созданию и применению безредукторного привода. Для этих целей применяют тихоходные двигатели с частотой вращения 8-120 об/мин. Несмотря на большие габариты, как правило, применение безредукторного привода оправдывается лучшими энергетическими показателями, большей надежностью и быстродействием. Также в этом направлении идет развитие линейных двигателей, позволяющих максимально упростить кинематику и создать максимальные удобства для оптимального конструирования машин в поступательном движении рабочих органов.

Ввиду того, что более половины вырабатываемой энергии потребляется электроприводом, к электроприводу предъявляются требования по преобразованию энергии из электрической в механическую с минимальными потерями.

## **2.1. Типы трубопроводной арматуры.**

Практически во всех сферах жизнедеятельности человека используются различные трубопроводные системы, транспортирующие



различные жидкости и газы. Составной частью трубопроводной системы является трубопроводная арматура. Рассмотрим основные виды и типы арматуры, и их назначение:

1. Запорная арматура – арматура, предназначенная для перекрытия потока рабочей среды с определенной герметичностью.

2. Регулирующая арматура (дроссельная арматура, дроссельно-регулирующая арматура, исполнительное устройство) – арматура, предназначенная для регулирования параметров рабочей среды посредством изменения расхода или проходного сечения.

3. Обратная арматура (арматура обратного действия) – арматура, предназначенная для автоматического предотвращения обратного потока рабочей среды.

4. Предохранительная арматура – арматура, предназначенная для автоматической защиты оборудования и трубопроводов от недопустимого превышения давления посредством сброса избытка рабочей среды.

5. Распределительно-смесительная арматура – арматура, предназначенная для распределения потока рабочей среды по определенным направлениям или для смешивания потоков.

6. Разделительная арматура (фазоразделительная арматура) – арматура, предназначенная для разделения рабочих сред, находящихся в различных фазовых состояниях, или с различной плотностью.

7. Отключающая арматура – арматура, предназначенная для перекрытия потока рабочей среды при превышении заданной величины скорости ее течения за счет изменения перепада давления на чувствительном элементе, либо в случае изменения заданной величины давления.

8. Комбинированная арматура:

– запорно-регулирующая арматура (запорно-дроссельная арматура), совмещающая функции запорной и регулирующей арматуры;

– запорно-обратная арматура, выполняющая функции запорной и обратной арматуры;

– невозвратно-запорная арматура, выполняющая функцию обратной арматуры, в которой может быть осуществлено принудительное закрытие или ограничение хода запирающего элемента;

– невозвратно-управляемая арматура, выполняющая функцию обратной арматуры, в которой может быть осуществлено принудительное закрытие, открытие или ограничение хода запирающего элемента.

### **Типы арматуры**

Задвижка (Рисунок 1) – тип арматуры, у которой запирающий или регулирующий элемент перемещается перпендикулярно к оси потока рабочей среды.

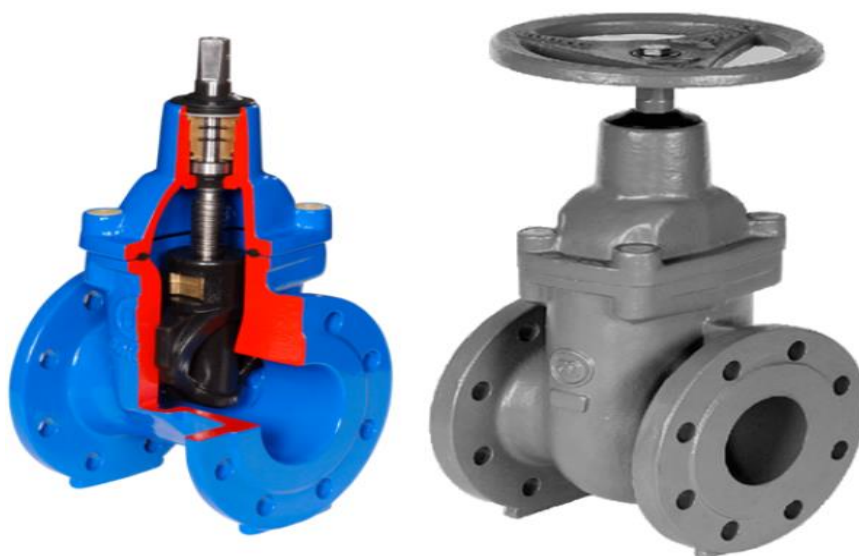


Рисунок 1 – Запорная арматура с задвижкой.

Клапан (Рисунок 2) – тип арматуры, у которой запирающий или регулирующий элемент перемещается параллельно оси потока рабочей среды. Конструкция клапана представлена на рисунке 3.



Рисунок 2 – Предохранительная арматура с клапаном.

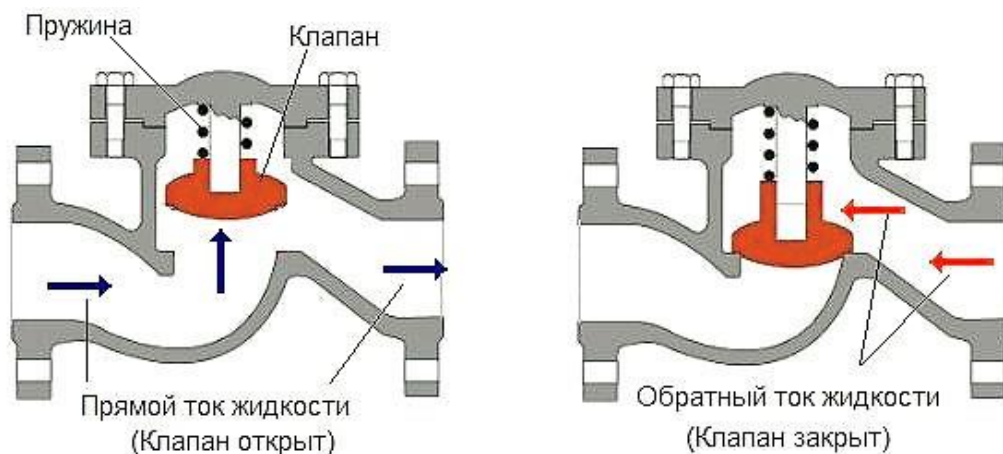


Рисунок 3 – Обратная арматура с клапаном.

Кран (Рисунок 4) – тип арматуры, у которой запирающий или регулирующий элемент, имеющий форму тела вращения или его части, поворачивается вокруг собственной оси, произвольно расположенной по отношению к направлению потока рабочей среды.



Рисунок 4 – Кран шаровой.

Дисковый затвор (Рисунок 5) – тип арматуры, у которой запирающий или регулирующий элемент имеет форму диска, поворачивающегося вокруг оси, перпендикулярной или расположенной под углом к направлению потока рабочей среды.



Рисунок 5 – Регулирующая арматура с дисковым затвором.

## **2.2. Требования к электроприводу**

### **1. Введение**

Взрывозащищённый малогабаритный электропривод для регулирующей трубопроводной арматуры малых сечений – целью разработки является создание нового поколения регулирующих взрывозащищённых электроприводов с минимальными габаритными размерами, массой и себестоимостью, не уступающих по точности регулирования и функциональным характеристикам регулирующим электроприводам производства других фирм.

### **2. Назначение изделия**

Данный привод предполагается применять для дистанционного и местного управления регулирующей трубопроводной арматурой многооборотного и неполнооборотного типов, расположенной во взрывоопасных зонах.

### **3. Технические требования**

#### **3.1. Требования к функциональным характеристикам**

##### **3.1.1. Выполняемые функции электропривода**

– Изменение проходного сечения регулирующей трубопроводной арматуры с требуемой точностью и скоростью в режиме «Дистанционное» и «Местное» управление.

– Прием команд управления в режиме «Местное» с встроенного поста управления или в режиме «Дистанционное» через автоматизированные системы управления технологическим процессом или телемеханики от центрального пульта оператора.

– Автоматическое отключение электропривода при достижении его выходным звеном крайних положений предварительно настроенного диапазона перемещений.

– Автоматическое отключение электропривода при превышении заданных допустимых нагрузок на выходном звене во всем диапазоне перемещений и при достижении крайних положений.

– Изменение проходного сечения регулирующей трубопроводной арматуры в ручном режиме при помощи ручного дублера и автоматическое отключение привода ручного дублера при работе от электродвигателя.

– Выдачу на индикационную панель встроенного поста управления и на центральный пульт оператора информации о достижении выходным звеном электропривода крайних положений, о превышении нагрузки на выходном звене электропривода, о срабатывании защит.

### **3.1.2. Основные технические характеристики**

– Максимальный крутящий момент на выходном звене 100 Нм.

– Диапазон регулирования усилия на выходном звене от 5% до 100% с погрешностью определения нагрузки не более  $\pm 5\%$ .

– Диапазон перемещения выходного звена 0 – 30 оборотов с погрешностью остановки в заданном положении не более  $\pm 2^\circ$  и дискретностью перемещения выходного звена не более  $5^\circ$ .

– Максимальная частота вращения выходного звена 10 об/мин.

– Диапазон регулирования частоты вращения выходного звена от 10% до 100% с погрешностью не более  $\pm 10\%$ .

– Питание электропривода должно осуществляться от однофазной сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц.

### **3.2. Требования к конструкции**

#### **3.2.1. Требования к механическому модулю электропривода**

– Силовой редуктор механического модуля электроприводов должен быть построен на базе цилиндрической зубчатой передачи, или волновой передачи с промежуточными телами качения.

– Механизм привода ручного дублера должен автоматически отключаться при включении электродвигателя, исключая передачу вращения от электродвигателя на маховик ручного дублера.

– В механическом модуле электропривода должна быть обеспечена кинематическая связь выходного звена электропривода с датчиком положения и скорости выходного звена.

#### **3.2.2. Требования к электродвигателю**

– В качестве электродвигателя в электроприводе должен быть применен шаговый или синхронный электродвигатель с встроенным электромагнитным тормозом, блокирующим вал электродвигателя при его остановке.

– Электродвигатель должен иметь минимальные габаритные размеры и вес.

– Максимальный крутящий момент на валу электродвигателя 1,8 Нм.

– Номинальное напряжение питания электродвигателя 24 В постоянного тока.

– Напряжение питания встроенного электромагнитного тормоза 24 В постоянного тока.

### **4. Требования к надежности**

– Срок службы – 30 лет.

- Ресурс работы – 30000 циклов.
- Нарботка на отказ – 10000 циклов.

### 2.3. Выбор электропривода

В регулирующей трубопроводной арматуре наибольшее применение получили электроприводы, сочетающие в себе ряд достоинств: общедоступный вид энергии, компактность, возможность создания требуемого крутящего момента при отрыве или затягивании крана, стабильный момент во время движения, а также фиксирующий момент после его остановки и необходимой величины хода, простоту коммуникаций и возможность дистанционного управления. Такими свойствами обладают электродвигатели постоянного тока с независимым возбуждением, но они зачастую выходят из строя, в связи с износом и искрением щеточного контакта.

Поэтому для трубопроводной арматуры ведущие фирмы используют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Недостатками этого двигателя являются небольшой момент и сильный бросок пускового тока и затягивании задвижки.

Синхронный двигатель несколько сложнее, чем асинхронный двигатель, но обладает рядом преимуществ. Основным его достоинством является получение лучшего режима по реактивной энергии. При  $\cos\varphi = 1$  синхронный двигатель нагружается только активным током в то время как асинхронный нагружается активным и реактивным током, поэтому при одинаковой номинальной мощности его обмотка статора и габариты меньше, а КПД выше, чем у асинхронных двигателей. Синхронные двигатели менее чувствительны к колебаниям напряжения сети, скорость вращения остается неизменной при изменении нагрузки, имеют высокую перегрузочную способность.

Следовательно, для гарантии длительной работы электропривод арматуры должны обладать такими характеристиками как:

– Обеспечивать нужный момент, но его величина не должна превышать пределы прочности арматуры. При этом момент синхронного



двигателя должен быть достаточен для гарантированного получения герметичности уплотнения в затворе, а также гарантированного срыва затвора задвижки из уплотненного состояния.

- Обеспечивать необходимую скорость вращения шпинделя.
- Обеспечивать высокую точность положения.
- Предоставлять возможность ручного управления задвижкой для регулирования в аварийном режиме.

Анализируя все преимущества синхронных двигателей выбираем двигатель Калужского электромеханического завода ДСМ–0,25–1500–1–Т–Д–У2, так как он имеет подходящие характеристики для управления трубопроводной арматурой и соответствует техническому заданию.

Таблица 1 – Основные технические данные

Наименование показателя	Значение
Марка двигателя	ДСМ–0,25–1500–1–Т–Д–У2 IM3681 IC40 220В
Полезная мощность, кВт	0,25
Номинальная частота вращения вала, об/мин	1500
Номинальный вращающий момент, Нм	1,6
Амплитудное/действующие напряжение, В	380/220
Амплитудный/действующий фазный ток, А	1,7/1,2
Частота питающей сети, Гц	200,00
Число фаз	3
Соединение фаз	Y – «Звезда»
Число пар полюсов	8
КПД, %	92

Коэффициент мощности $\cos\varphi$	0,93
Габаритные размеры (ШхВхД), мм, не более	116x116x60
Крепление	IM3681
Масса, кг	3,8

## 2.4. Выбор редуктора

Основной технической характеристикой редуктора для арматуры является передаточное число. Чем оно выше, тем сильнее редуктор увеличивает крутящий момент, следовательно, тем меньше усилий необходимо на управление арматурой. Существуют различные типы и виды редукторов для арматуры. Прежде всего, они классифицируются по существенным конструкционным особенностям. В зависимости от способа передачи крутящего момента выделяют следующие типы редукторов для арматуры:

– Конические редукторы (Рисунок 6) – оси ведущего и ведомого валов пересекаются под углом. Для передачи крутящего момента используются зубчатые шестерни с круговыми зубьями.

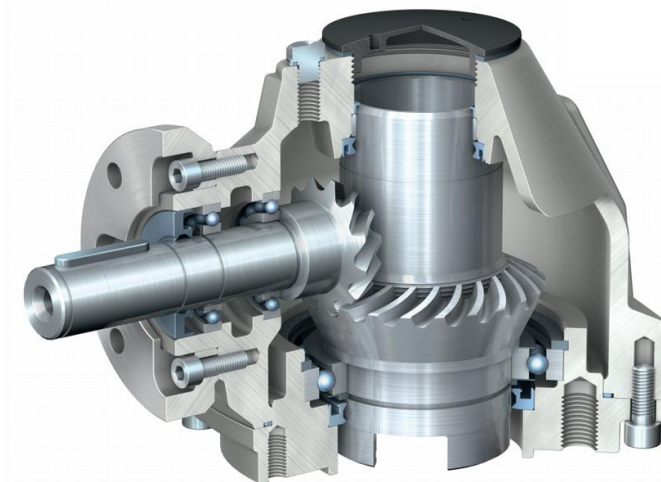


Рисунок 6 – Конический редуктор.

– Цилиндрические редукторы (Рисунок 7) – оси валов находятся параллельно друг другу.



Рисунок 7 – Цилиндрический редуктор.

– Планетарные редукторы (Рисунок 8) – имеют особое расположение зубчатых колес. В центре системы находится так называемое солнечное колесо, вокруг которого располагаются колеса–сателлиты. Одно из трех колес зафиксировано неподвижно, второе выступает в качестве ведущего, а третье – ведомого.

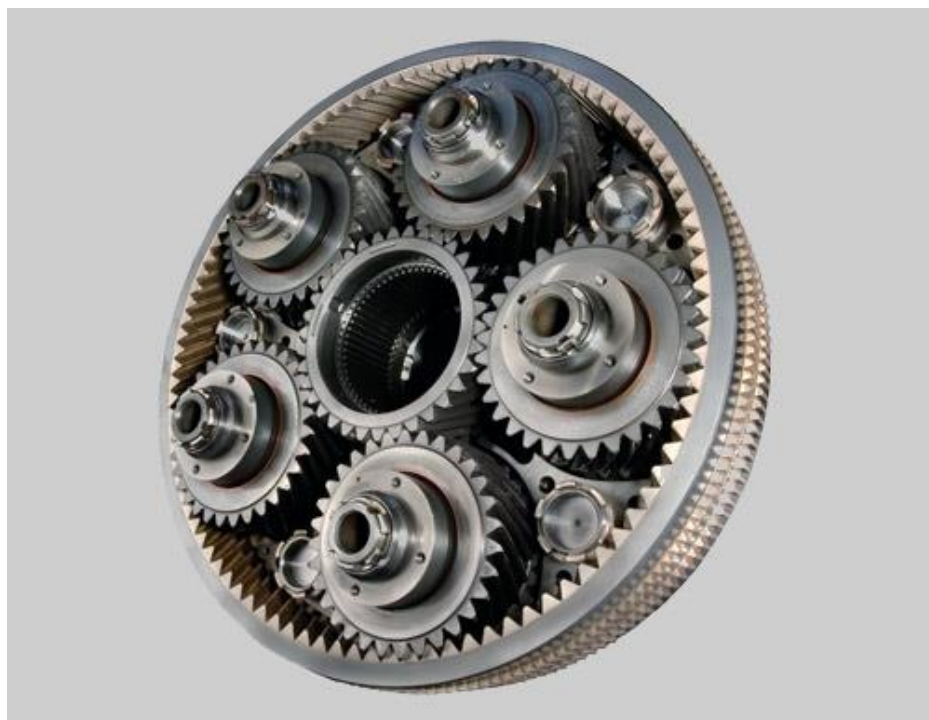


Рисунок 8 – Планетарный редуктор.

– Червячные редукторы (Рисунок 9) – в таких редукторах для арматуры вместо зубчатых колес используется так называемая червячная передача. В основе этой конструкции лежит одно зубчатое колесо, которое передает крутящий момент червяку – цилиндрической детали с винтовой насечкой, соответствующей зубьям колеса.

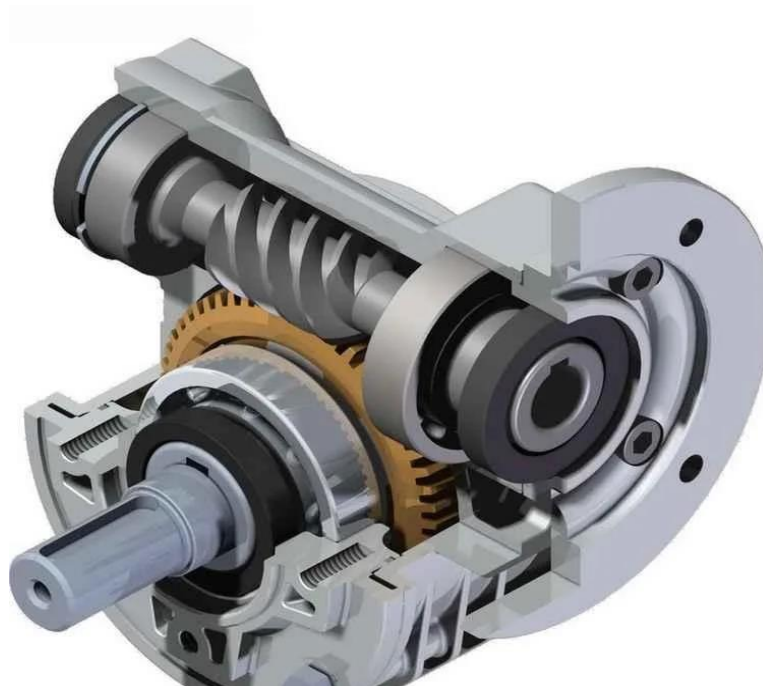


Рисунок 9 – Червячный редуктор.

– Волновой редуктор с промежуточными телами качения (Рисунок 10)  
– этот редуктор состоит из приводного вала с эксцентриком (генератор волны), подшипника качения, сепаратора, тел качения и профильного венца кулачковых секторов.

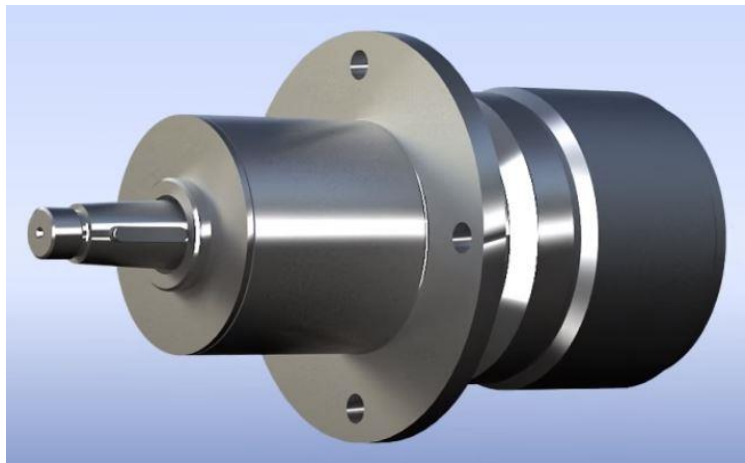


Рисунок 10 – Волновой редуктор с промежуточными телами качения.

Из всех перечисленных типов редукторов для синхронного двигателя регулирующей трубопроводной арматуры выбираем волновой редуктор с промежуточными телами качения. Так как он соответствует техническому заданию, обладает и рядом преимуществ по сравнению с цилиндрическим типом редукторов:

- Высокое передаточное отношение и КПД за счет передачи нагрузки большим количеством тел качения.
- Компактность, габаритные размеры в 1,5 – 4 раза меньше по сравнению с зубчатыми аналогами.
- Высокий ресурс, плавность и бесшумность работы.
- Большая перегрузочная способность, высокая жесткость и стойкость к ударным нагрузкам.
- Простота и ремонтпригодность конструкции.

### 3. Расчет синхронного электропривода

#### 3.1. Параметры силовой части электропривода

Редуктор, описанный в пункте 1.3., имеет передаточное отношение  $i = 48$ . Зная это отношение и значение момента входного звена, можно определить момент на выходном звене по следующей формуле:

$$M_{\text{вых}} = i \cdot M_{\text{вх}} \cdot \eta_{\text{ред}} = 48 \cdot 1,6 \cdot 0,9 = 69,12 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Между током и моментом двигателя есть коэффициент, связывающий эти величины:

$$c = \frac{M_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} = \frac{1,6}{1,2} = 1,333.$$

Для двигателя задан максимальный ток  $I_{\text{max}} = 4 \text{ А}$ . С помощью коэффициента, полученного выше можно найти максимальный момент входного звена:

$$M_{\text{max вх}} = c \cdot I_{\text{max}} = 5,333 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определим максимальный момент выходного звена:

$$M_{\text{max вых}} = i \cdot M_{\text{max вх}} \cdot \eta_{\text{ред}} = 48 \cdot 5,333 \cdot 0,9 = 230,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Зная значение максимального и номинального момента, найдем значение перегрузочной способности:

$$K_m = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{н}}} = \frac{5,333}{1,6} = 3,33.$$

Для синхронного двигателя с постоянными магнитами справедливо соотношение:

$$\frac{I_{\text{max}}}{I_{\text{н}}} = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{н}}}$$

Исходя из этого, определим максимальную мощность двигателя:

$$P_{\max} = \frac{P_H \cdot I_{\max}}{I_H} = \frac{250 \cdot 4}{1,2} = 833,33 \text{ Вт.}$$

### 3.2. Расчет регулятора тока

Структурная схема контура тока приведена на рисунке 11. Контур  $I_d, I_q$  одинаковые. Оптимизацию проведем на примере контура  $I_q$ .

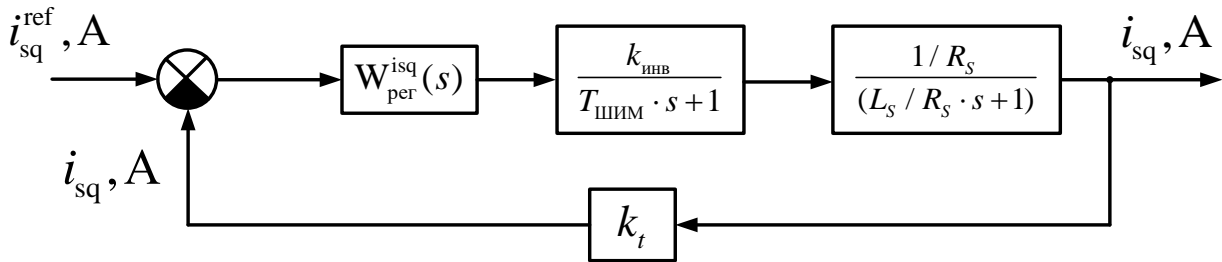


Рисунок 11 – Структурная схема контура тока

Оптимизация проводится без учёта влияния обратной связи по ЭДС двигателя и влияния изменения угла между вектором потока от постоянных магнитов и вектором напряжений.

Учитывая, что динамические свойства датчика тока определяются пропорциональным звеном, запишем передаточную функцию разомкнутого контура тока:

$$W_{\text{кт}}(s) = W_{\text{пт}}(s) \frac{K_{\text{инв}} K_{\text{т}}}{R_s} \cdot \frac{1}{(T_{\text{ШИМ}} s + 1)(T_s s + 1)}$$

Коэффициент передачи датчика тока примем  $K_{\text{т}} = 1$ .

Частота широтно-импульсной модуляции:  $f_{\text{ШИМ}} = 5 \text{ кГц}$ .

Постоянная времени инвертора:  $T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = \frac{1}{5000} = 0,0002 \text{ сек}$ .

$K_{\text{инв}} = 155$  – коэффициент усиления инвертора, при питающем напряжении стороны постоянного тока.

Постоянная времени инвертора ( $T_{\text{шнм}}$ ) относится к малой постоянной времени. Электромагнитная постоянная времени ( $T_s$ ) подлежит компенсации. Поэтому для настройки контура тока на модульный оптимум следует выбрать ПИ-регулятор с передаточной функцией:

$$W_{\text{пр}}(s) = \frac{K_{\text{пр}}(T_{\text{пр}}s+1)}{T_{\text{пр}}s}.$$

$$\text{Постоянная времени регулятора тока: } T_{\text{пр}} = T_s = \frac{L_s}{R_s} = \frac{0,041}{33,6} = 0,00122,$$

где  $L_s$  – индуктивность обмотки статора;

$R_s$  – сопротивление обмотки статора.

Коэффициент пропорциональности ПИ-регулятора:

$$K_{\text{пр}} = \frac{L_s}{a_t \cdot T_{\text{шнм}} \cdot K_t \cdot K_{\text{инв}}} = \frac{0,041}{2 \cdot 0,0002 \cdot 1 \cdot 155} = 0,6613,$$

где  $a_t = 2$  – коэффициент оптимизации контура.

### 3.3. Расчет регулятора скорости

Настройку контура скорости произведём на симметричный оптимум.

Структурная схема контура тока приведена на рисунке 12.

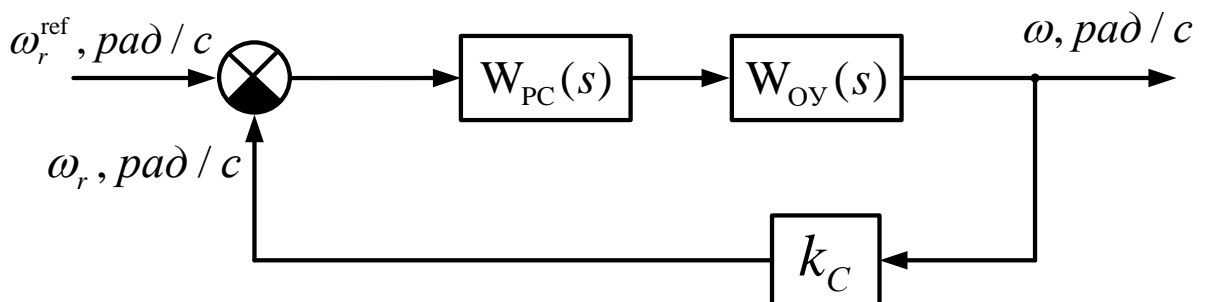


Рисунок 12 – Структурная схема контура скорости

Передаточная функция разомкнутого контура скорости, оптимизированного на симметричный оптимум, имеет вид:

$$W_{\text{ПК}}^{\text{CO}}(s) = W_{\text{PC}}(s) \cdot W_{\text{OY}}(s) \cdot k_C,$$

где  $W_{\text{PC}}(s)$  – передаточная функция регулятора скорости;



$W_{OY}(s) = W_{ЗРТ}^{MO}(s) \cdot \Phi_0 \cdot \frac{3}{2} zp \cdot \frac{1}{J_{\Sigma} \cdot s} \cdot k_C$  – передаточная функция объекта управления.

Коэффициент обратной связи по скорости  $k_C$  примем равным единице.

Передаточная функция регулятора скорости:

$$W_{PC}(s) = k_{PC} \frac{T_{PC}s + 1}{T_{PC}s}$$

Коэффициент пропорциональности контура скорости:

$$k_{PC} = \frac{J_{ДВ}}{2 \cdot T_{КС} \cdot \Phi_0 \cdot 1,5 \cdot zp \cdot k_C \cdot L_s} = \frac{0,0015}{2 \cdot 0,0004 \cdot 0,2 \cdot 1,5 \cdot 8 \cdot 0,041} = 19,05,$$

где  $T_{КС} = 2 \cdot T_{ШИМ} = 2 \cdot 0,0002 = 0,0004$  сек - малая некомпенсируемая постоянная времени контура скорости.

Постоянная времени регулятора скорости:

$$T_{PC} = \frac{2 \cdot J_{ДВ}}{k_{PC} \cdot k_C \cdot 1,5 \cdot zp \cdot \Phi_0 \cdot L_s} = \frac{2 \cdot J_{ДВ}}{k_{PC} \cdot k_C \cdot 1,5 \cdot zp \cdot \Phi_0 \cdot L_s} = 0,0016 \text{ сек},$$

### 3.4. Расчет регулятора положения

Структурная схема контура положения с безынерционной обратной связью представлена на рисунке 13.

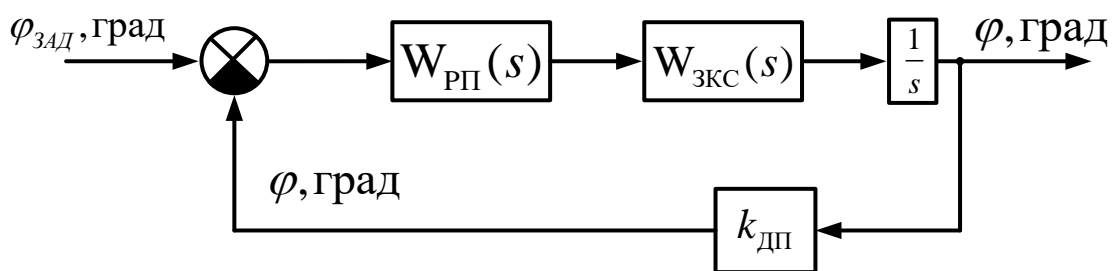


Рисунок 13 – Структурная схема контура положения

Сигнал положения в модели измеряется в градусах.

Для математической модели коэффициент обратной связи датчика положения рассчитывается следующим образом:

$$K_{ДП} = \frac{360}{2 \cdot \pi} = 57,296$$

Малая постоянная времени контура положения:

$$T_{\text{кп}} = 2 \cdot T_{\text{кс}} = 2 \cdot 0,0004 = 0,0008 \text{ сек}$$

Для оптимизации контура положения по МО выбирается П-регулятор с передаточной функцией:

$$W_{\text{пн}}(s) = K_{\text{пн}} = \frac{K_c}{K_{\text{дп}} \cdot \alpha_n \cdot T_{\text{кп}}} = \frac{1}{57,296 \cdot 2 \cdot 0,0008} = 10,9$$

## 4. Моделирование электропривода трубопроводной арматуры

На рисунке 14 изображена имитационная модель синхронного привода с постоянными магнитами.

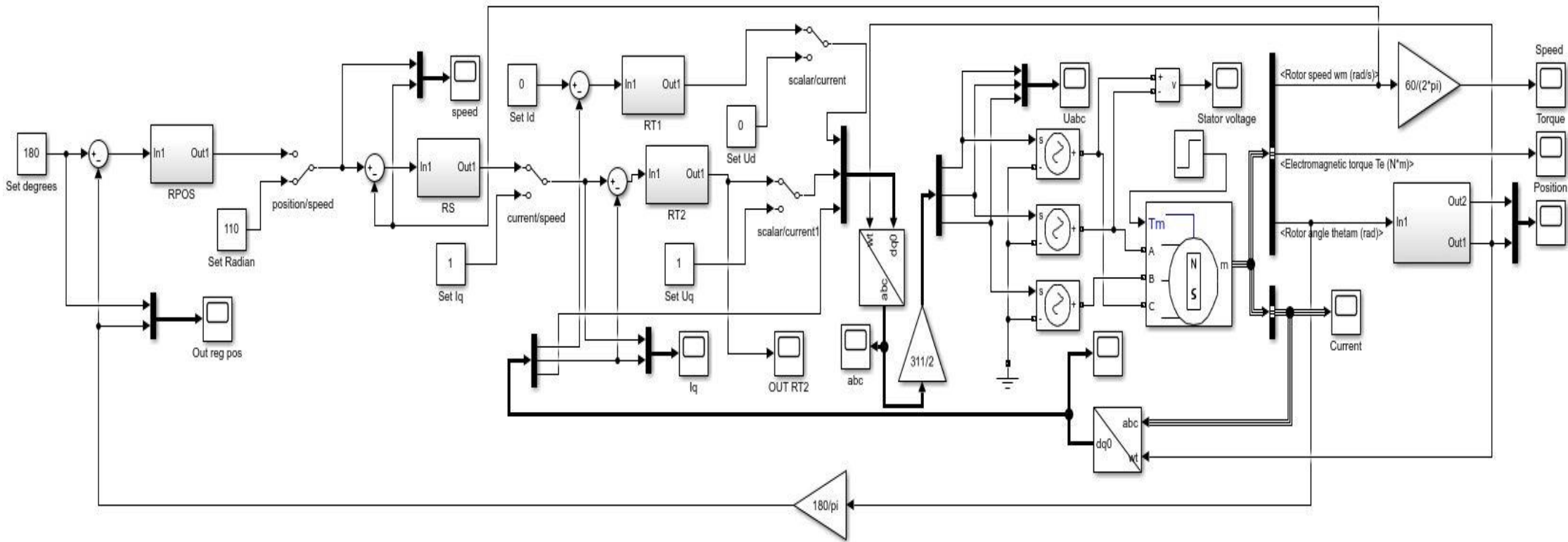


Рисунок 14 – Имитационная модель синхронного привода с постоянными магнитами

## 4.1. Исследование основных режимов работы электропривода

Оптимальная нагрузка двигателя, при работе в реальных условиях составляет примерно 70% от номинальных значений, поэтому, при исследовании процессов пуска, останова и наброса нагрузки на исследуемый двигатель примем соответствующее значение рабочей нагрузки.

Проанализируем график переходного процесса частоты вращения двигателя при пуске двигателя (рисунок 14).

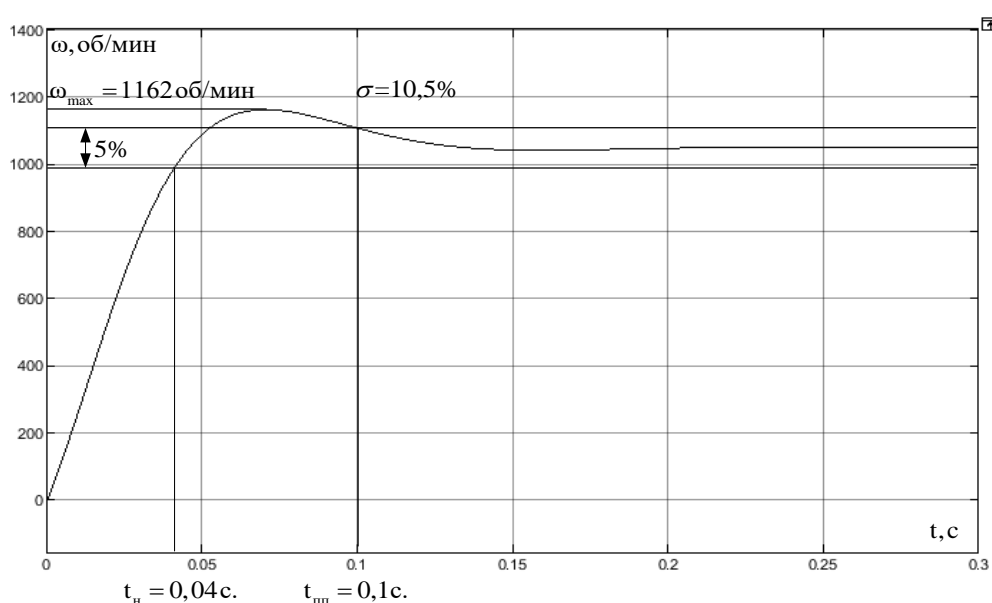


Рисунок 14 – График переходного процесса скорости при пуске двигателя

По графику из рисунка 14 видно, что в процессе разгона двигателя максимальная частота вращения  $\omega_{max}$  в момент переходного процесса не превысила 10,5 % от установленного значения частоты и в установившемся режиме частота вращения лежит в заданном диапазоне 5% от номинальной, что позволяет нам сделать вывод об успешном пуске двигателя.

Рассмотрим график переходного процесса момента двигателя при пуске (рисунок 15).

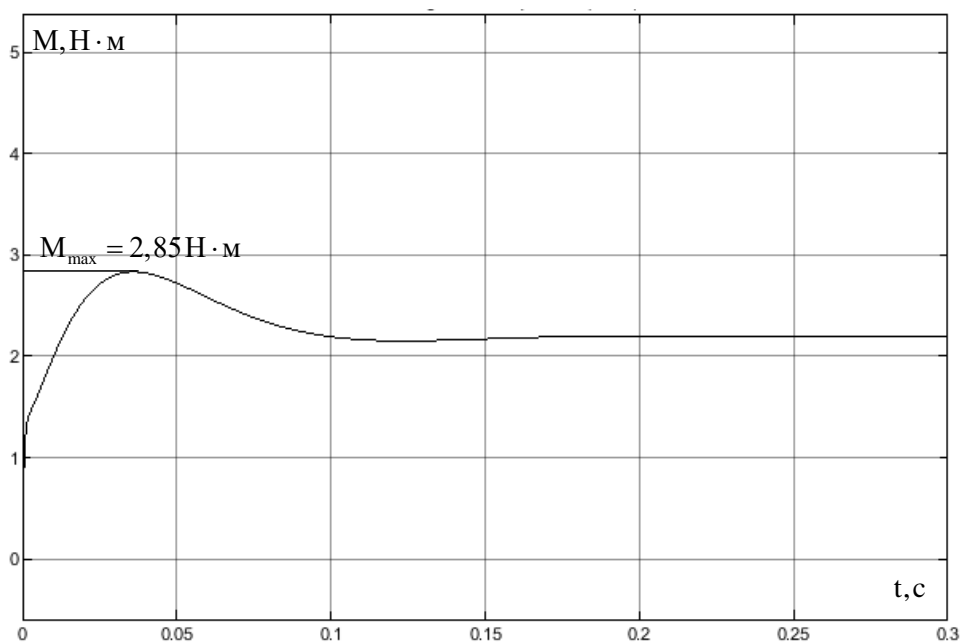


Рисунок 15 – График переходного процесса момента двигателя при пуске двигателя

По данному графику видно, что максимальный пусковой момент составил 2,85 Нм, что соответствует техническим требованиям.

Показания вольтметра при пуске синхронного двигателя представлены на рисунке 16.

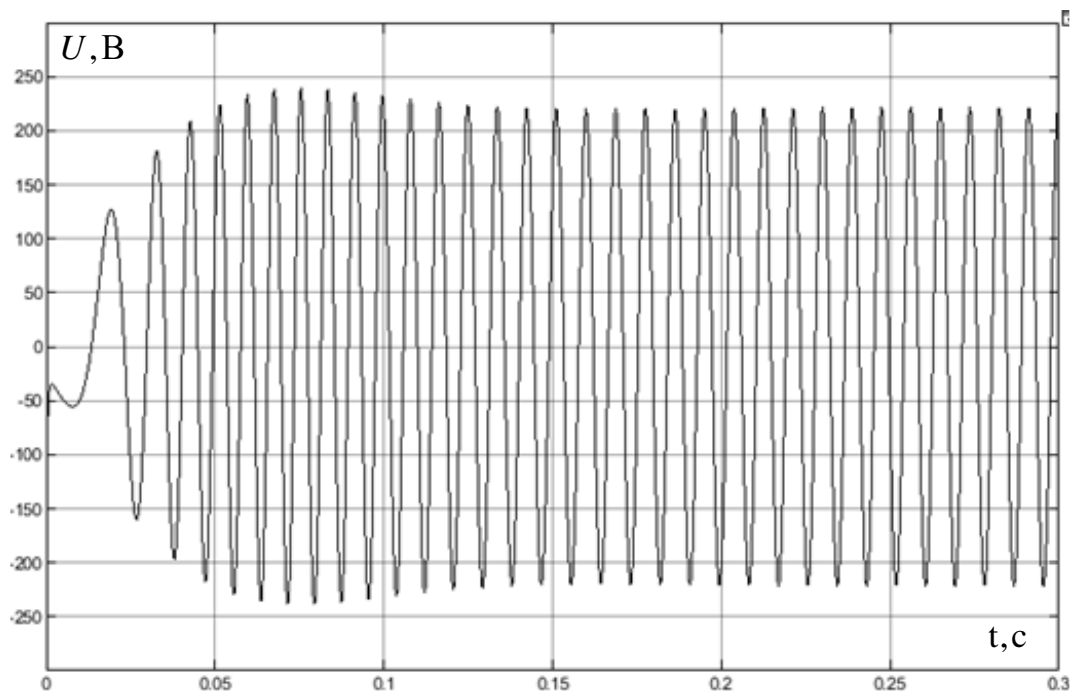


Рисунок 16 – Напряжение между фазами статора при пуске двигателя

Из графика, представленного на рисунке 21 видно, что напряжение между фазами статора при пуске двигателя нарастало и достигло номинального значения за время переходного процесса.

С помощью осциллографа, подключенного к обратной связи контура тока можно увидеть работу регулятора скорости (рисунок 17).

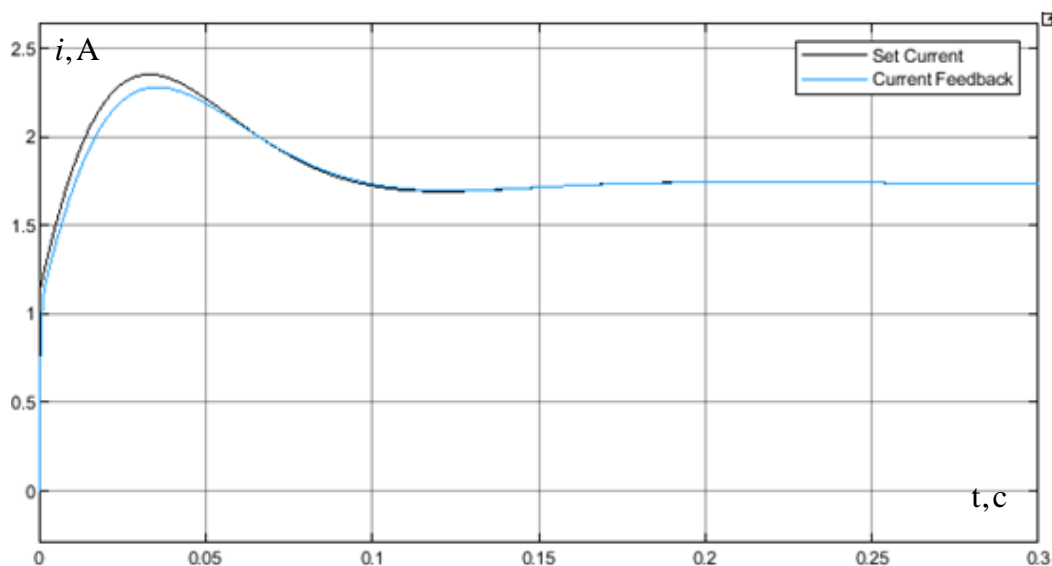


Рисунок 17 – Переходный процесс в контуре тока при пуске двигателя

Из рисунка 17 можно увидеть, что значение тока, задаваемого регулятором тока непостоянно. Это объясняется тем, что поверх контура тока накладывается контур скорости, который задает входное значение для регулятора тока.

Работу контура скорости можно наблюдать на рисунке 18.

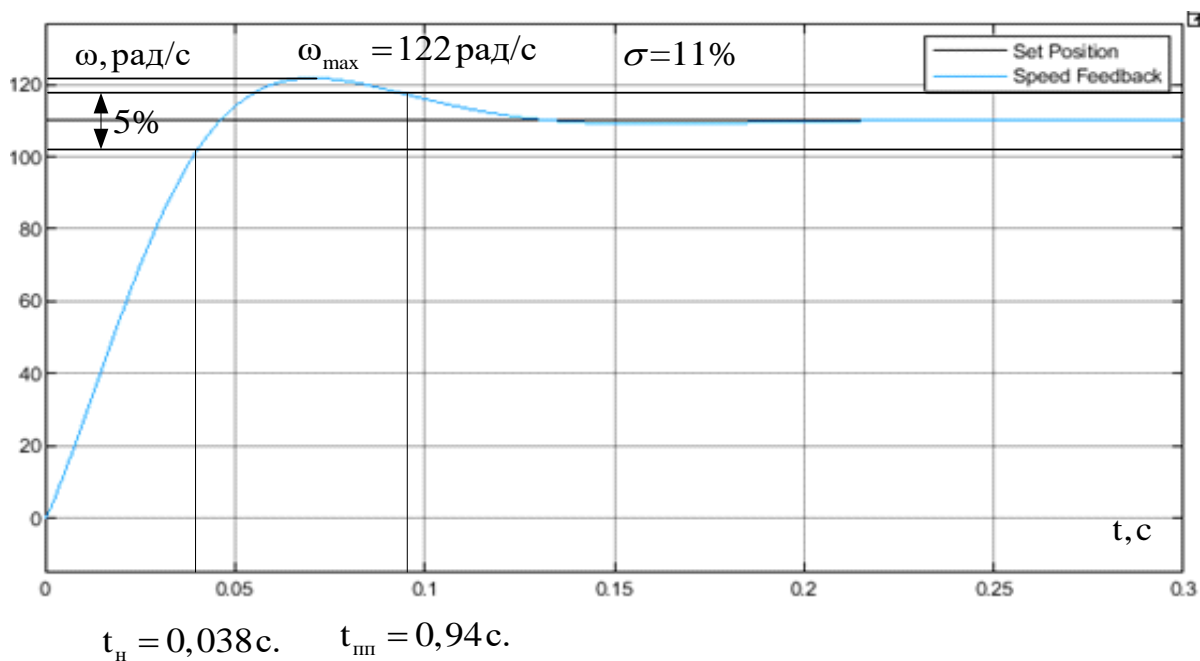


Рисунок 18 - Переходный процесс в контуре скорости при пуске двигателя

Рассмотрим переходные процессы останова синхронного двигателя (рисунки 19-28).

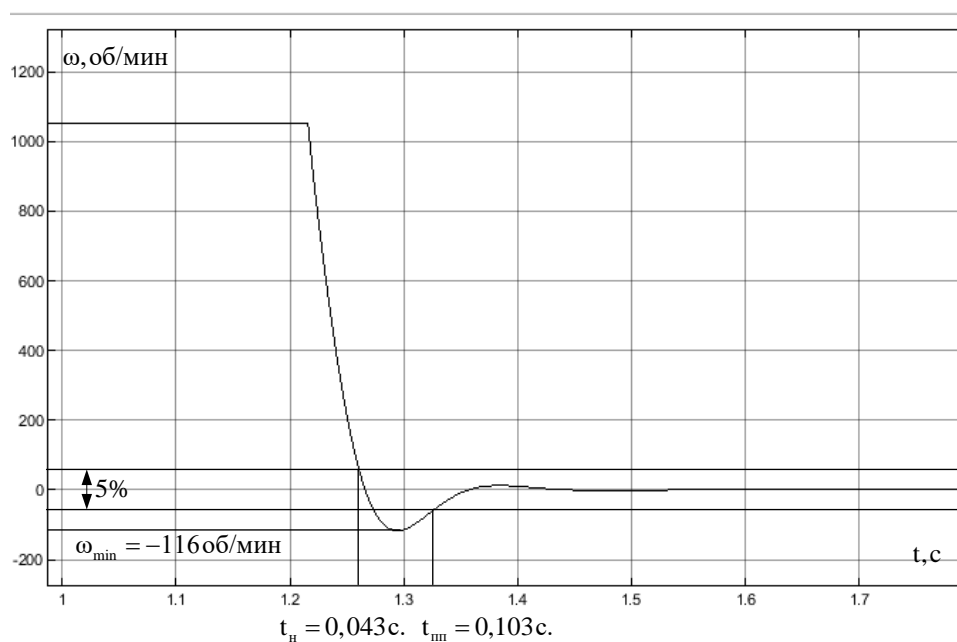


Рисунок 19 - График переходного процесса скорости при останове двигателя

Из графика, представленного рисунке 19 видно, что за время  $t_{\text{пер}}=0,06 \text{ с.}$  частота вращения двигателя упала до требуемого значения  $\omega=0$ , что позволяет нам судить об успешном прохождении процесса остановки.

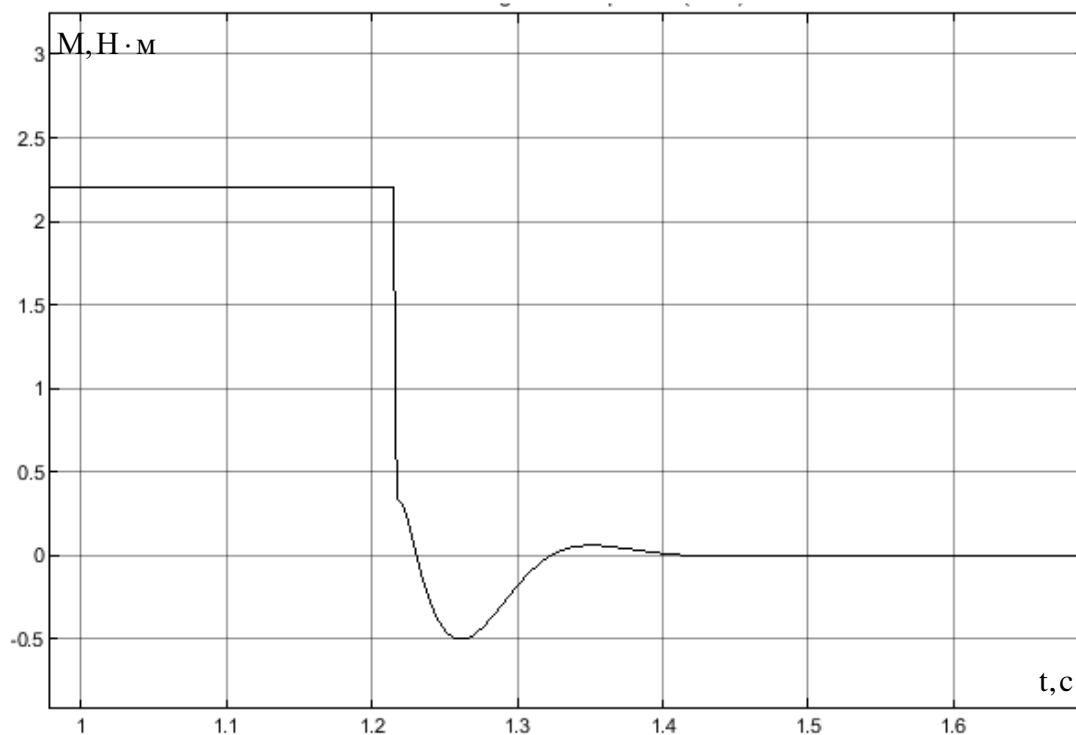


Рисунок 20 – График переходного процесса момента двигателя при останове двигателя

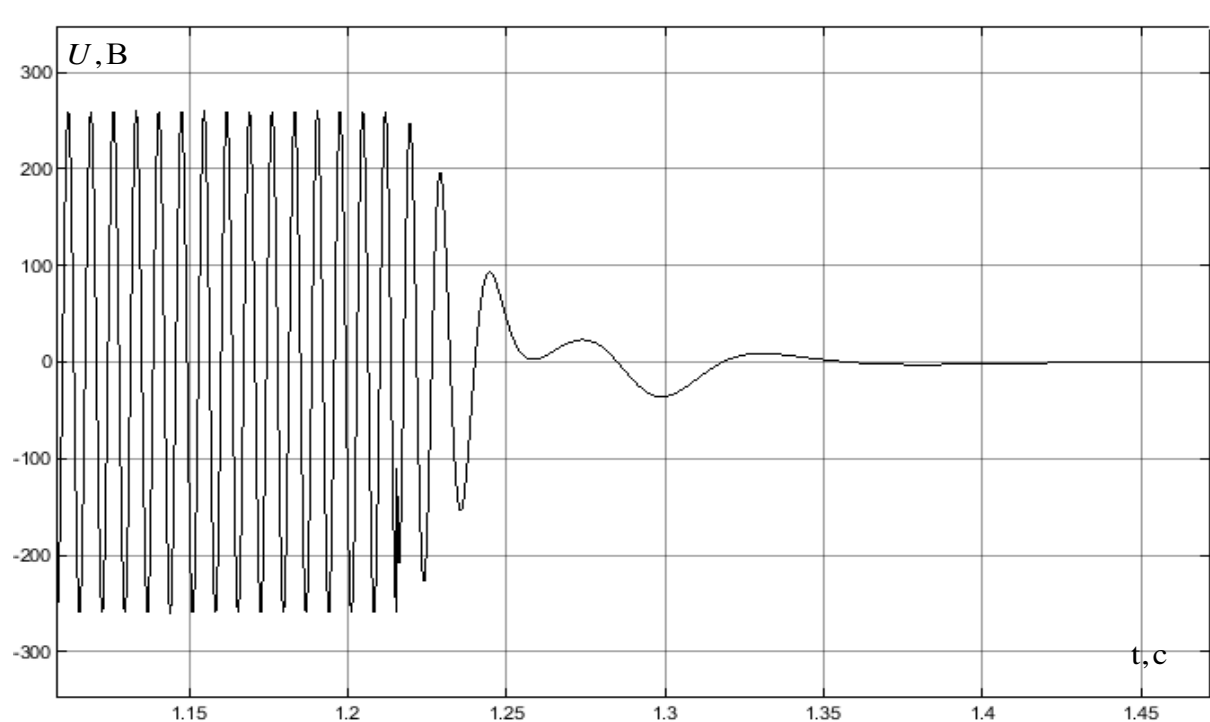


Рисунок 21 – Напряжение между фазами статора при останове двигателя

Напряжение между фазами статора при остановке двигателя, как видно из графика, представленного на рисунке 21, плавно снижается и за время переходного процесса достигает нулевого значения.



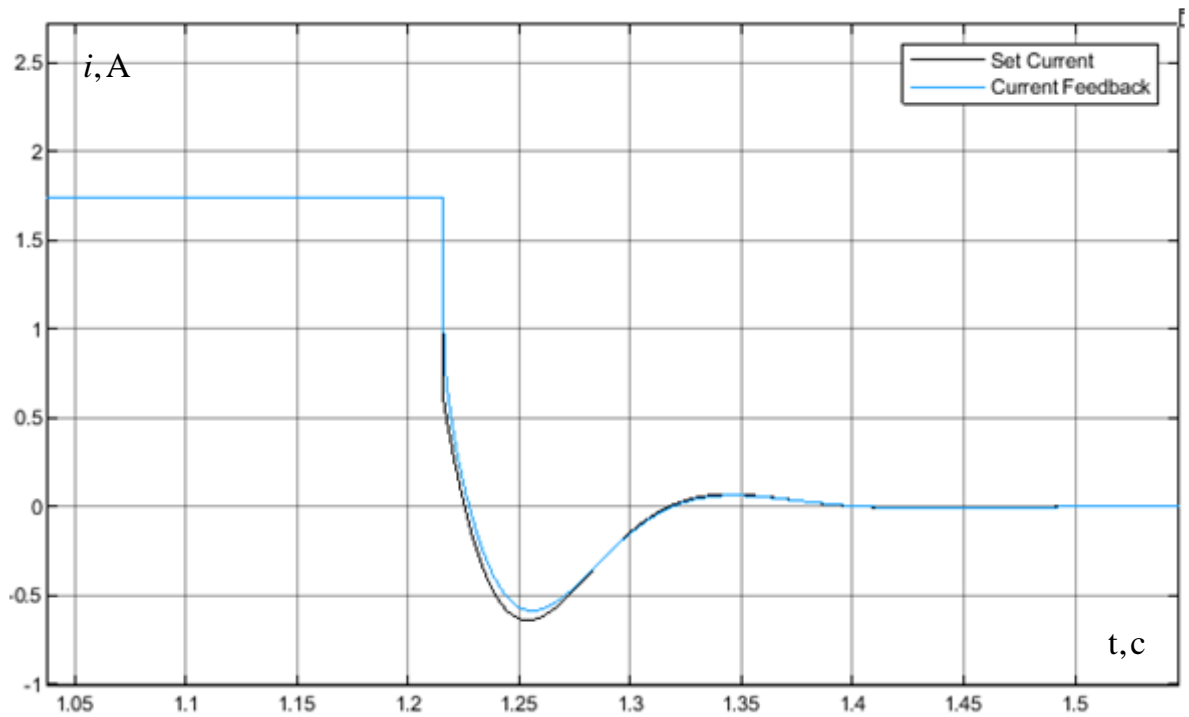


Рисунок 22 – Переходный процесс в контуре тока при останове двигателя

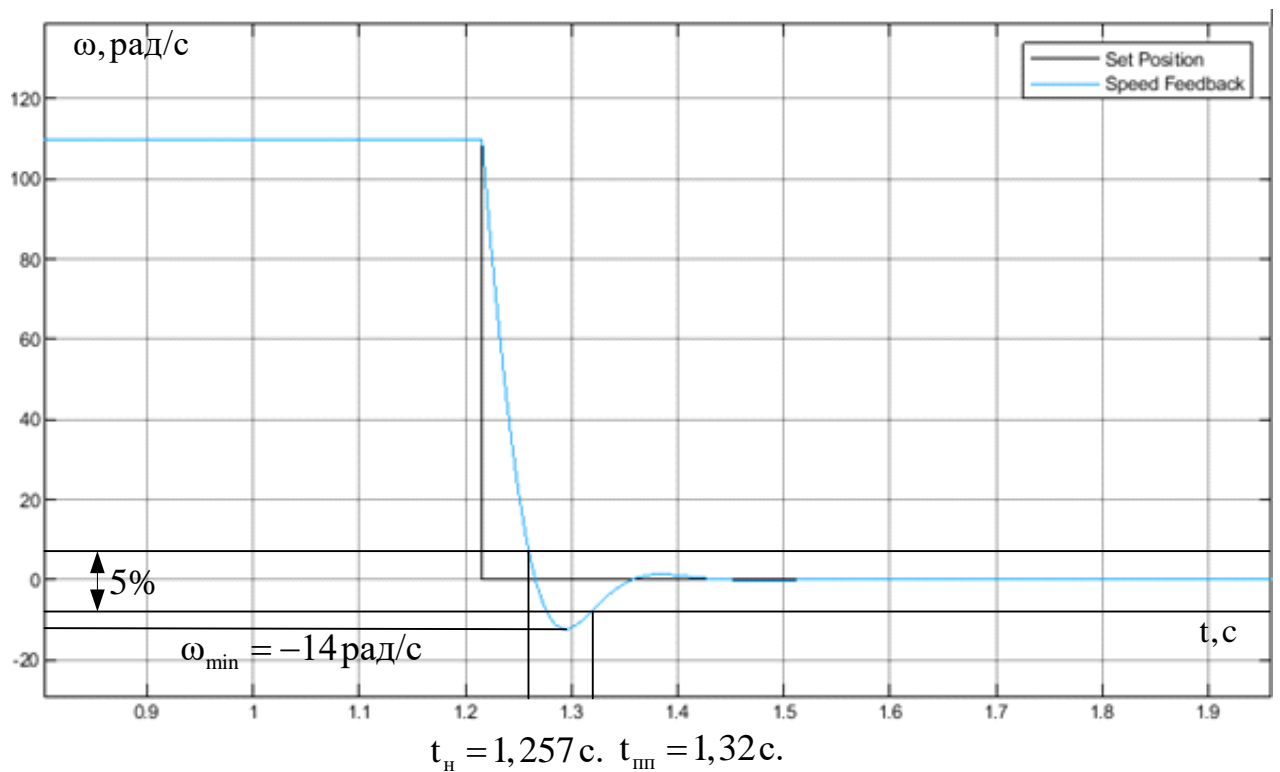


Рисунок 23 – Переходный процесс в контуре скорости при останове двигателя

Из графика, представленного на рисунке 23 видно, что при останове, значение угловой скорости двигателя достигает номинального значения в момент времени  $t_H=1,257c$ . За время переходного процесса, угловая скорость принимает отрицательное значение  $-14$  рад/с и затем возвращается к нулевому значению. При этом время переходного процесса составило  $t_{\text{шт}}=1,32c$ , что соответствует требованиям.

Проанализируем переходные процессы, происходящие в синхронном двигателе при набросе нагрузки (рисунки 19-22). Повышение нагрузки на двигатель происходит в момент времени  $t=0,5c$ , номинальным значением, которое указано в паспорте.

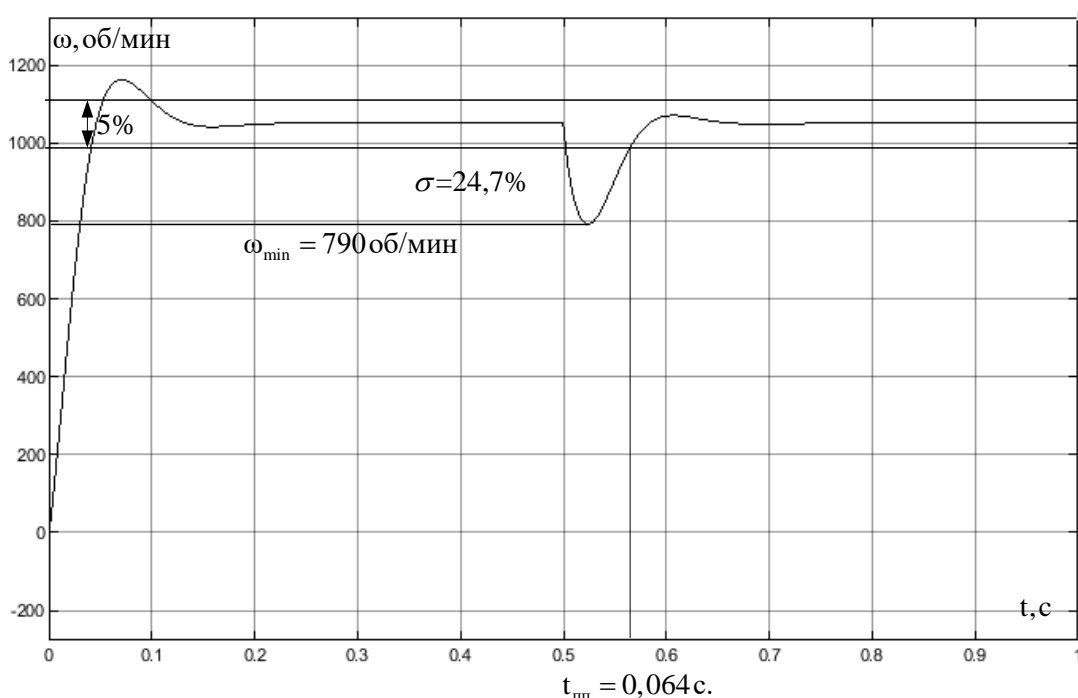


Рисунок 24 - График переходного процесса скорости при набросе нагрузки.

Из графика на рисунке 24 видно, что при резком повышении нагрузки на двигатель, происходит просадка частоты вращения до  $790$  об/мин. Векторное управление позволило снова вернуть частоту вращения двигателя до заданного значения, при этом величина просадки составила  $24,7\%$  от номинального значения. За  $t_{\text{шт}}=0,064c$ . Частота вращения электродвигателя вернулась к номинальному значению.

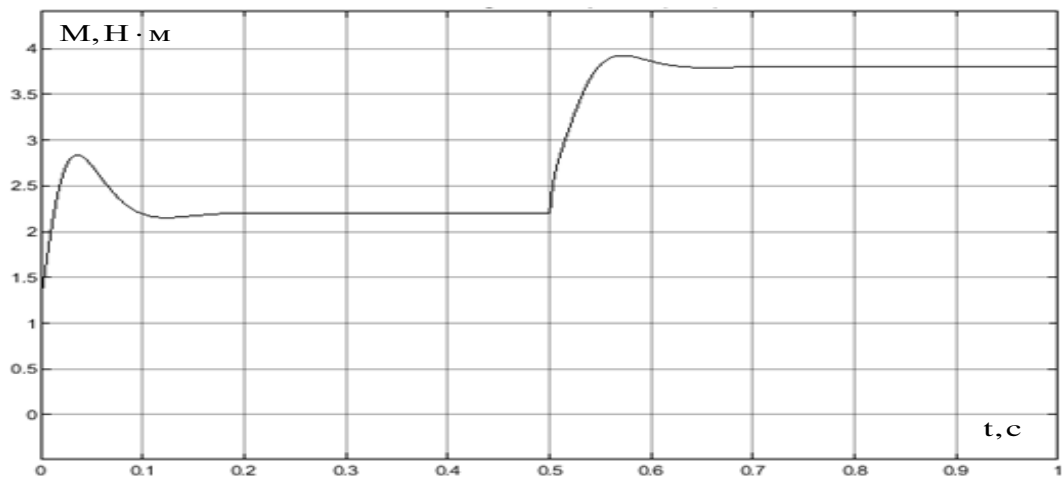


Рисунок 25 - График переходного процесса момента двигателя при набросе нагрузки

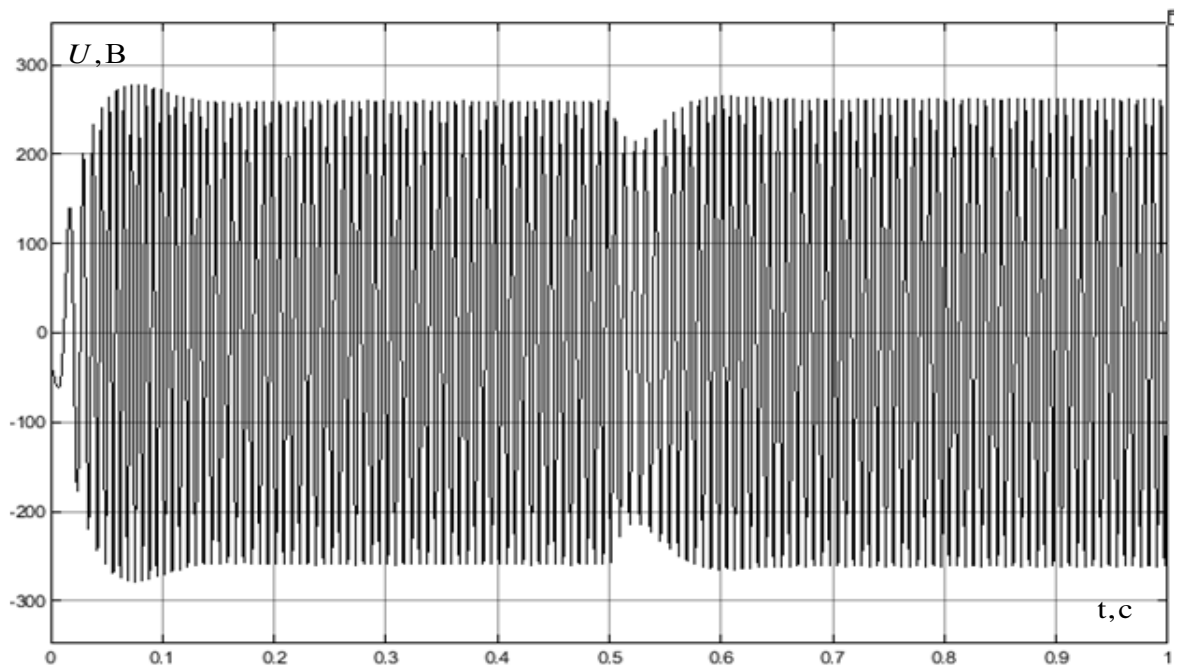


Рисунок 26 – Напряжение между фазами статора при набросе нагрузки

При набросе нагрузки напряжение между фазами статора, представленного на рисунке 26, проседает и за время переходного восстанавливается до номинального значения.

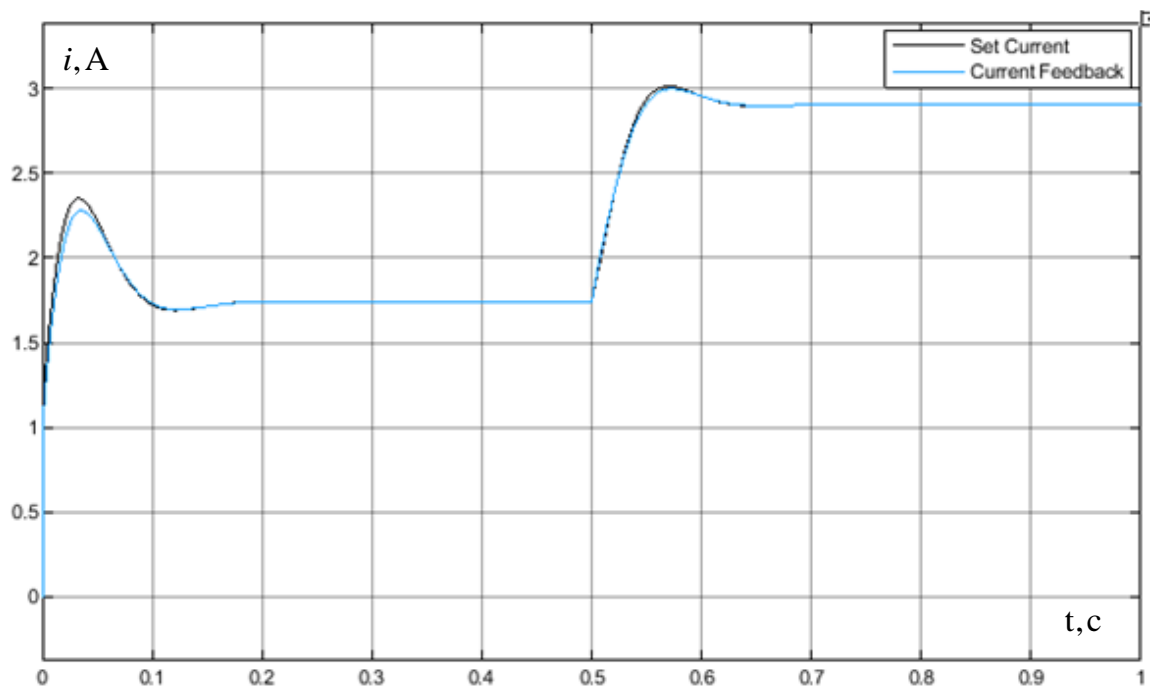


Рисунок 27 – Переходный процесс в контуре тока при набросе нагрузки

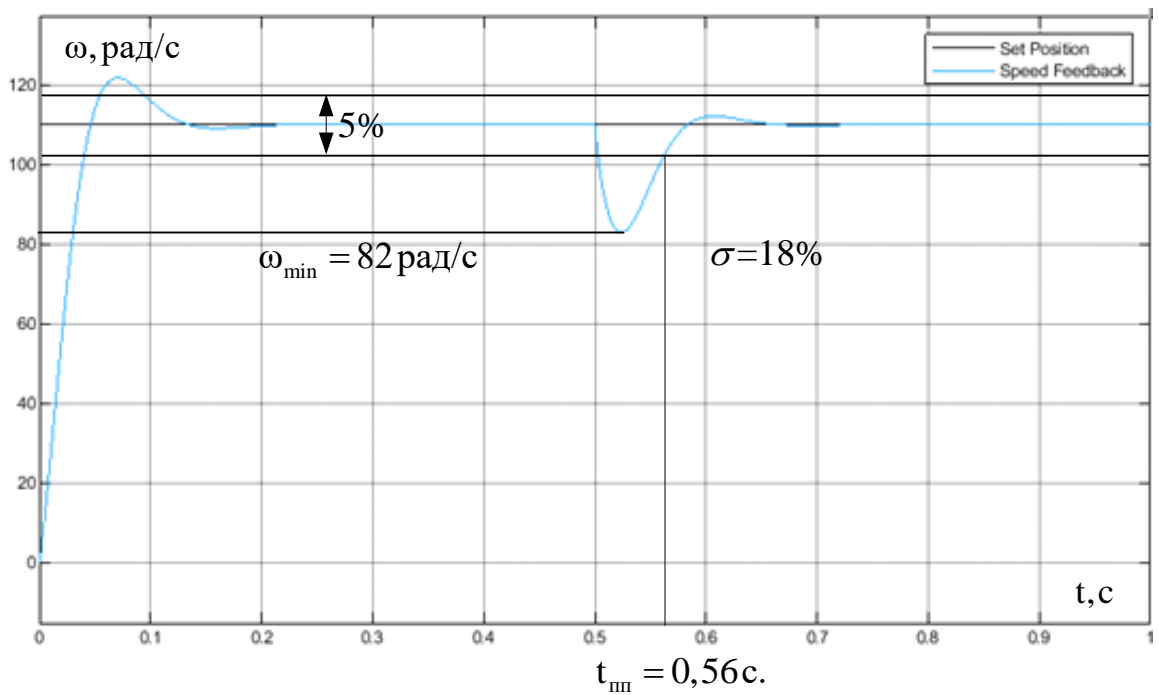


Рисунок 28 – Переходный процесс в контуре скорости при набросе нагрузки



Для работы двигателя в позиционном режиме необходимо задать угол поворота для примера выставим  $90^\circ$ . На рисунке 29 зависимость угла поворота вала двигателя от времени.

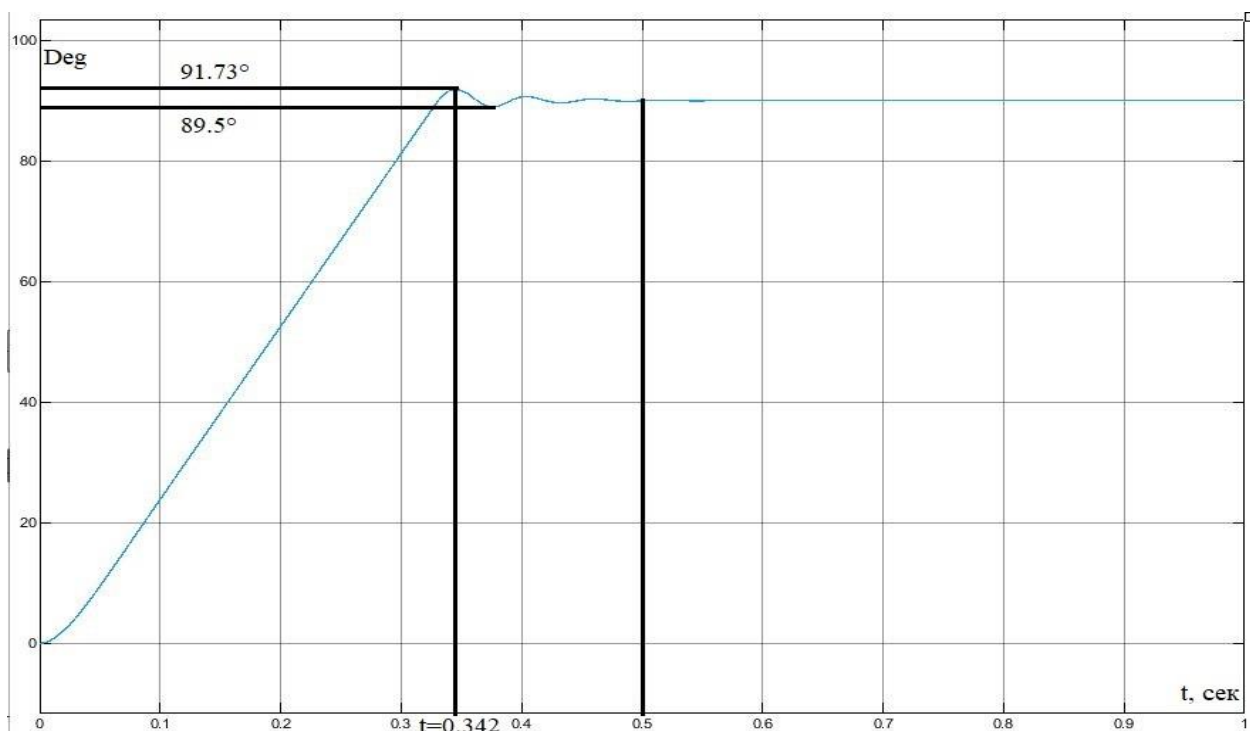


Рисунок 30 – График зависимости угла поворота от времени

Из графика видно, что за время  $t=0.5$  секунды вал двигателя повернулся на  $90$  градусов.

На рисунке 31 представлена зависимость скорости от времени.

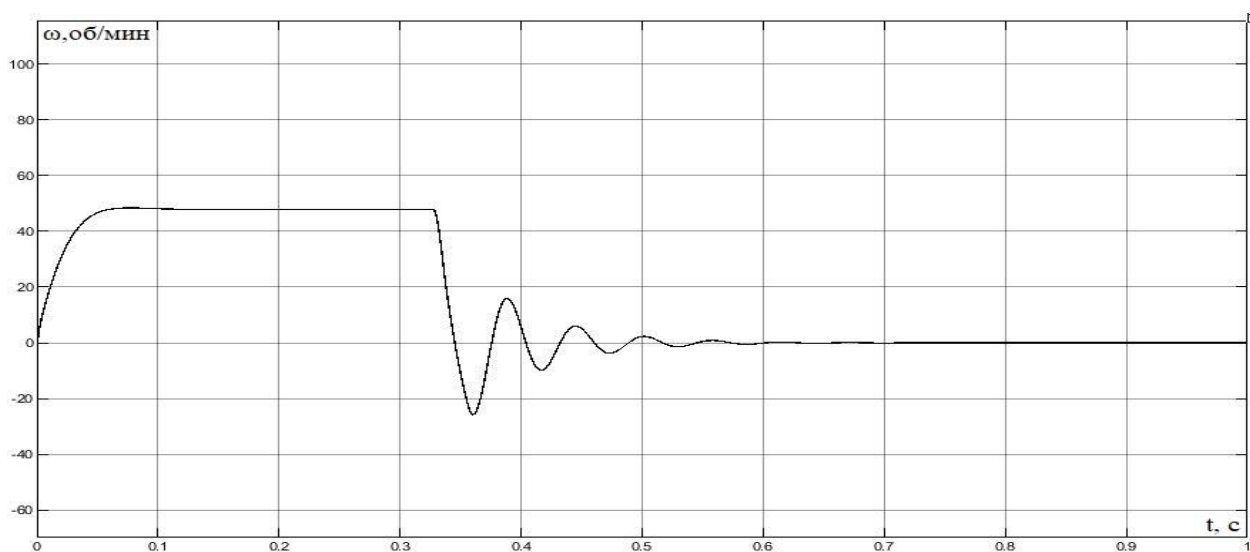


Рисунок 31 – График зависимости скорости от времени

На данном графике видно, что двигатель развивает скорость 47 об/мин и при достижении нужного положения останавливается.

На рисунке 32 представлен график зависимости крутящего момента от времени.

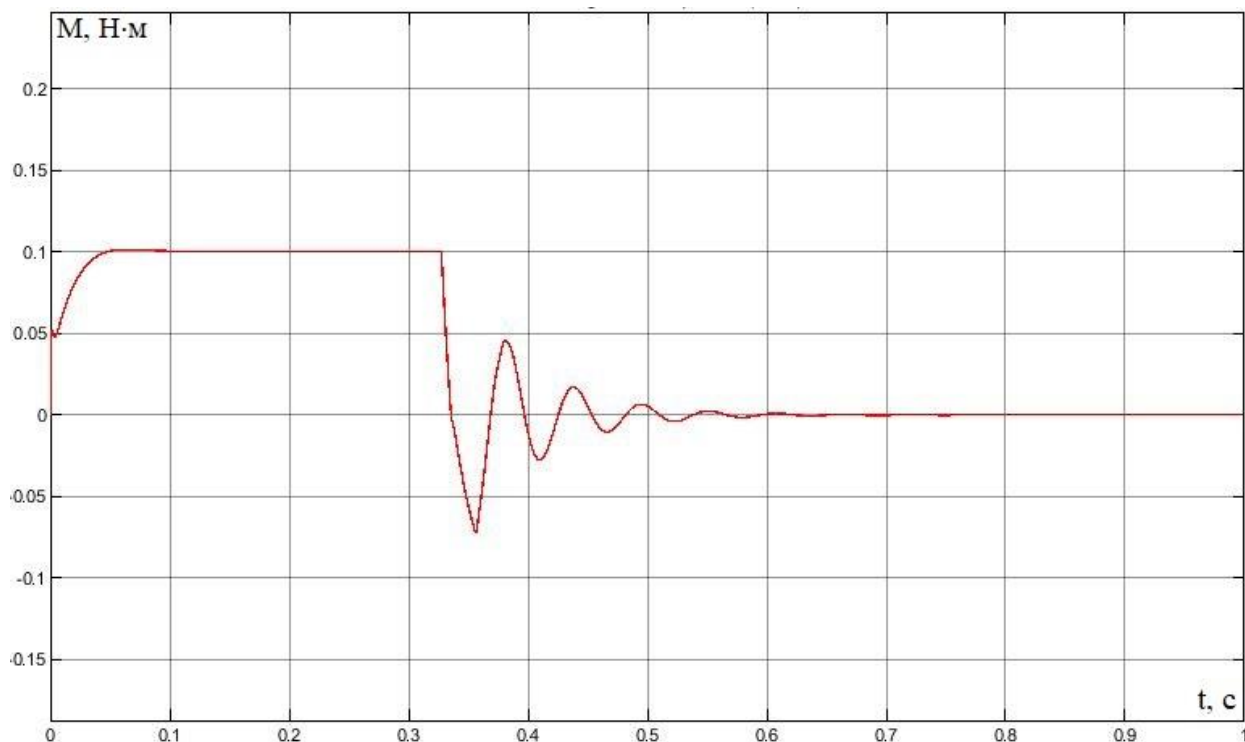


Рисунок 32 – Зависимость момента от времени.

Далее рассмотрим график зависимости угла поворота от времени, но при большей скорости поворота (Рисунок 33)

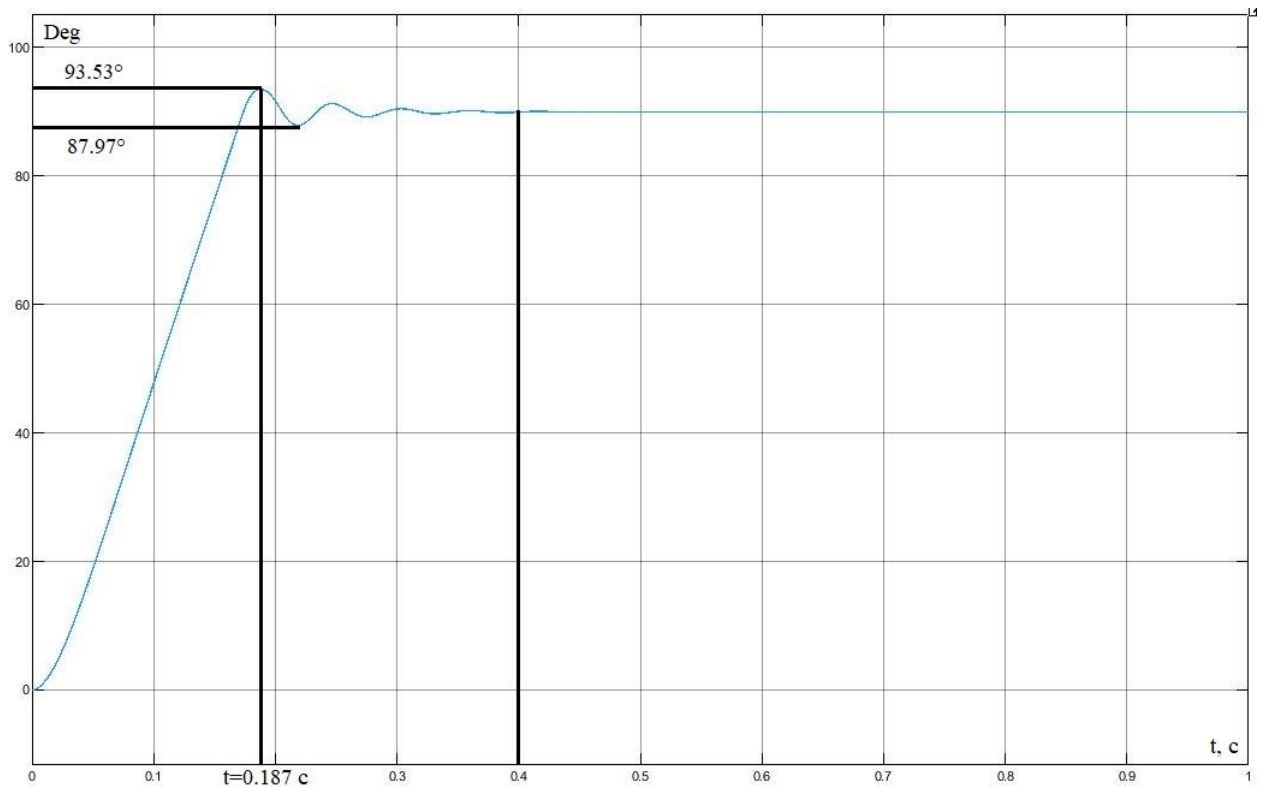


Рисунок 33 – График зависимости угла поворота от времени.

Из данного графика видно, что вал двигателя повернулся на  $90^\circ$  быстрее чем на рисунке 30, но также увеличилась величина перерегулирования. На рисунке 34 представлена зависимость скорости от времени.

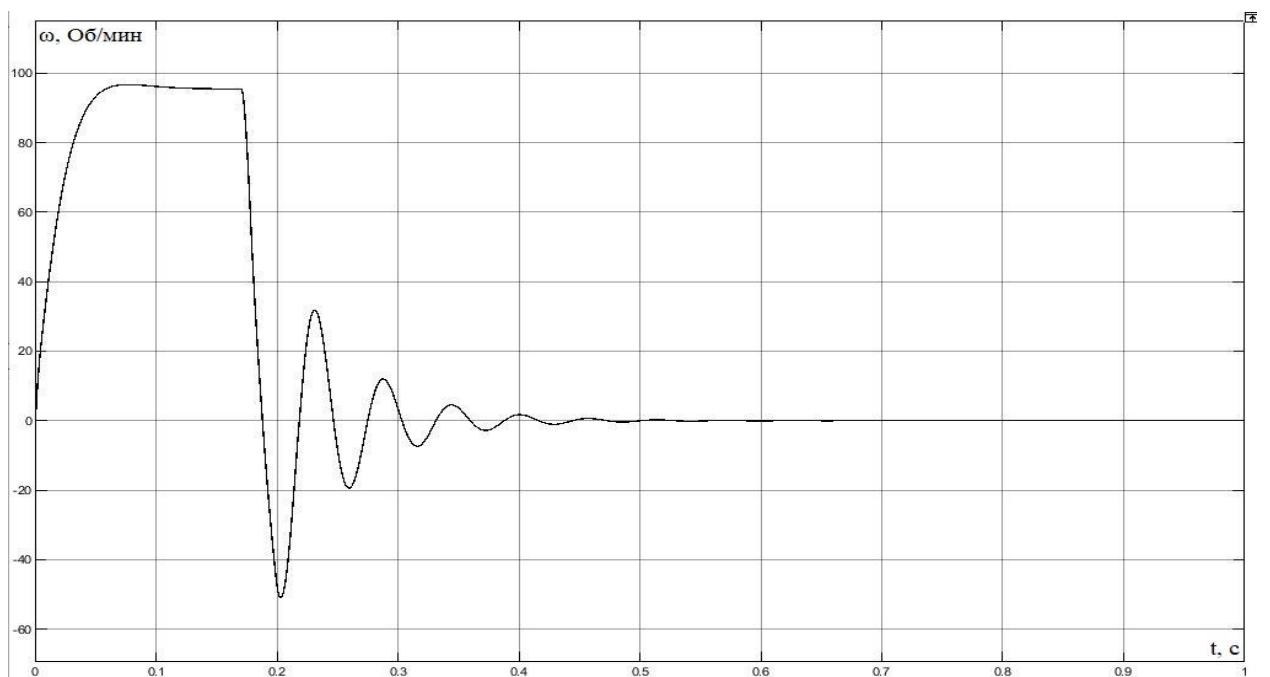


Рисунок 34 – График зависимости скорости от времени.



На рисунке 35 представлена зависимость крутящего момента от времени.

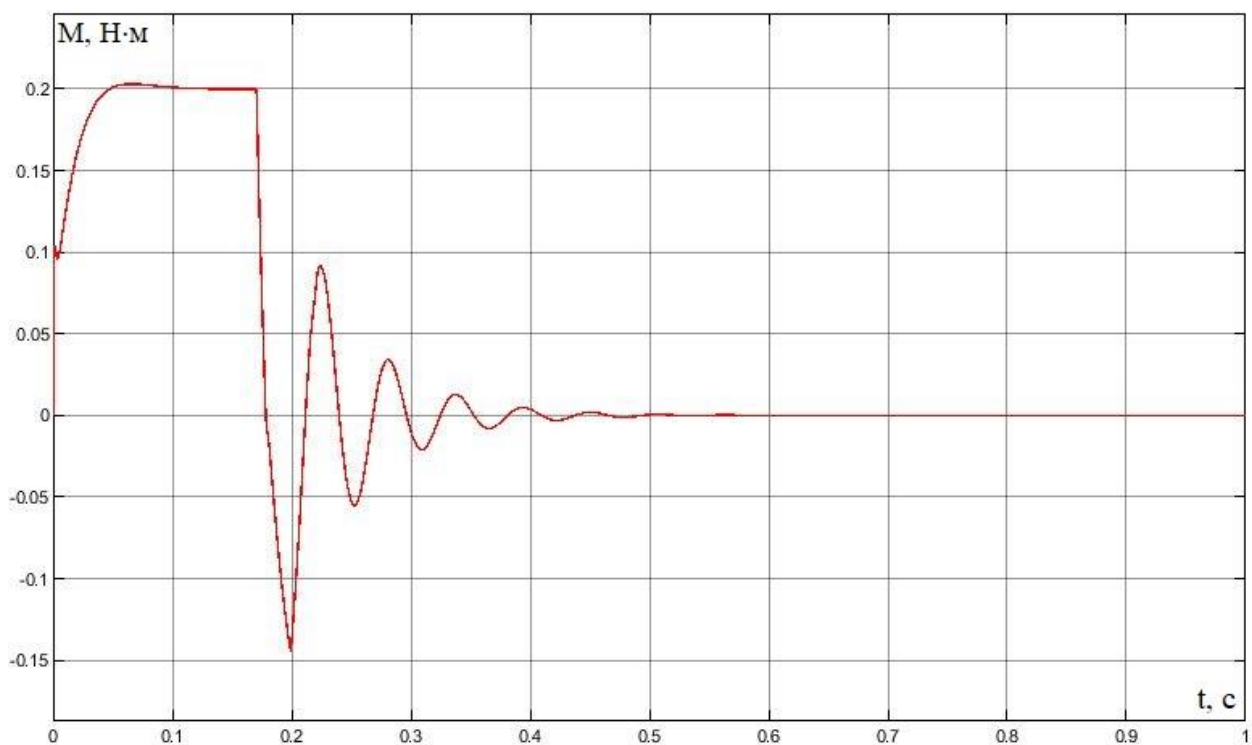


Рисунок 35 – График зависимости момента от времени.

Проанализируем графики, представленные на рисунках 30 – 35 из них видно, что скорость и крутящий момент стали выше, но при этом увечилась величина перерегулирования. Вследствие чего в переходном процессе величина максимального отклонения составляет  $3.53^\circ$ , что является отклонение от нормы технического задания, данная величина не является критичной так как в реальной модели она снижается на коэффициент передачи редуктора.

## **5. Социальная ответственность**

В этом разделе рассмотрим различные факторы, которые могут повлиять на безопасность персонала при эксплуатации электропривода трубопроводной арматуры. Так же нормативные документы и правила соблюдение которых необходимо для обеспечения безопасности.

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

Трудовые отношения регулируются Трудовым кодексом Российской Федерации.

– Заработная плата каждого работника зависит от его квалификации, сложности выполняемой работы, количества и качества затраченного труда и максимальным размером не ограничивается. [9]

– Дисциплина труда - обязательное для всех работников подчинение правилам поведения, определенным в соответствии с настоящим Кодексом, иными федеральными законами, коллективным договором, соглашениями, локальными нормативными актами, трудовым договором. [10]

Трудовым кодексом так же предусмотрены компенсации, работающим во вредных и (или) опасных условиях труда:

– Для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, предусмотрена повышенная оплата труда. Минимальный размер повышения составляет 4% тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда. [9]

– Работникам, условия труда на рабочих местах, которых по результатам специальной оценки условий труда отнесены к вредным условиям труда 3 или 4 степени или опасным условиям труда, устанавливается сокращенная продолжительность рабочего времени не более 36 часов в неделю. С согласия работника, оформленного путем заключения отдельного соглашения к трудовому договору, продолжительность рабочего времени может быть увеличена, но не более чем до 40 часов в неделю. [12]

– Обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний осуществляется в Российской Федерации с января 2000 года в соответствии с Федеральным законом от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний».

– Дополнительный оплачиваемый отпуск предоставляется работникам, условия труда на рабочих местах, которых по результатам специальной оценки условий труда отнесены к вредным условиям труда 2, 3 или 4 степени либо опасным условиям труда. Продолжительность ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска конкретного работника устанавливается трудовым договором на основании отраслевого (межотраслевого) соглашения и коллективного договора с учетом результатов специальной оценки условий труда. При этом она не может быть менее семи календарных дней.

– Статьей 222 ТК РФ предусмотрено, что на работах с вредными условиями труда работникам должны бесплатно выдаваться по установленным нормам молоко или другие равноценные пищевые продукты. Выдача молока или других равноценных пищевых продуктов по письменным заявлениям работников может быть заменена компенсационной выплатой в размере, эквивалентном стоимости молока или других равноценных пищевых продуктов, если это предусмотрено коллективным договором и (или) трудовым договором.

Во время эксплуатации электродвигателей необходимо соблюдать охрану труда и промышленную безопасность.

– Запрещается снимать ограждения вращающихся частей.

– При работе электродвигателя нельзя прикасаться к вращающимся частям.

– Обслуживать электродвигатель разрешается лицам, прошедшим специальную подготовку и обладать квалификацией не ниже III группы допуска.

## 5.2. Производственная безопасность

Таблица 2 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра- ботка	Изгото вление	Эксплу атация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	1. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. [1]
2. Повышенный уровень шума		+	+	2. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. [2]
3. Повышенный уровень вибрации		+	+	3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. [3]
4. Недостаточная освещенность	+	+	+	4. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. [4]
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека		+	+	5. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. [5] 6. Правила устройства электроустановок: Раздел 1. Общие правила, Раздел 5. Электросиловые установки, Раздел 7. Электрооборудование специальных установок. [6] 7. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. [7] 8. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [13]

## 5.3. Анализ опасных и вредных производственных факторов

### 5.3.1. Отклонение показателей микроклимата

Показатели микроклимата вызывают заболевания в зависимости от того как они изменяются. Повышение температуры, относительной влажности

воздуха, уменьшение скорости его движения приводят к уменьшению теплообмена, перегреву организма, расстройству нервной системы, нарушению секреторной деятельности печени, желудка, нарушению обменных процессов, возникновению судорожной болезни, тепловому удару. Понижение температуры, повышение относительной влажности, скорости движения воздуха приводят к увеличению теплообмена, переохлаждению организма, также к расстройству нервной системы, нарушению деятельности печени, желудка, обменных процессов, возникновению простудных заболеваний.

Показатели микроклимата:

- Температура воздуха;
- Скорость движения воздуха;
- Относительная влажность воздуха;
- Мощность теплового излучения.

Таблица 3 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений. [13]

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, t°С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин t° <sub>nm</sub>	Диапазон выше оптимальных величин t° <sub>nm</sub>			Если t° < t° <sub>nm</sub>	Если t° > t° <sub>nm</sub>
Холодный	1б	19,0 - 20,9	23,1 - 24,0	18,0 - 25,0	15 - 75	0,1	0,2
	2а	17,0 - 18,9	21,1 - 23,0	16,0 - 24,0	15 - 75	0,1	0,3
Теплый	1б	20,0 - 21,9	24,1 - 28,0	19,0 - 29,0	15 - 75	0,1	0,3
	2а	18,0 - 19,9	22,1 - 27,0	17,0 - 28,0	15 - 75	0,1	0,4

Таблица 4 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений. [13]

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	1б	21 - 23	18,0 - 25,0	60 - 40	0,1
	2а	19 - 21	16,0 - 24,0	60 - 40	0,2
Теплый	1б	22 - 24	19,0 - 29,0	60 - 40	0,1
	2а	20 - 22	17,0 - 28,0	60 - 40	0,2

Для достижения оптимальных показателей микроклимата в производственных помещениях применяют такие методы как:

- Оборудование помещений системами обогрева. Установка различных типов радиаторов, конвекторов, систем с тепловентиляторами.
- Установка различных систем очистки, вентиляции и кондиционирования воздуха.
- Использование воздушных завес.

Когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины, устанавливаются допустимые величины показателей микроклимата.

### **5.3.2. Повышенный уровень шума**

Шум оказывает влияние не только на органы слуха, но и действует на сердечно–сосудистую систему, нервную систему. Шумы средних уровней не вызывают потери слуха, но тем не менее вызывают утомление.

На производстве в основном преобладает механический шум, источниками которого являются различные ударные механизмы, цепные передачи, зубчатые передачи, подшипники качения, электродвигатели, трансформаторы.

Таблица 5 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука. [3]

Вид трудовой деятельности	Максимально допустимый уровень шума (дБ), в полосах следующих октав (Гц).									Эквивалентные уровни шума, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Офисы с речевой связью, помещения мастеров и т.п.	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
Все виды работ в цехах и на территориях предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Таблица – 6 Зависимость максимально допустимого уровня шума от времени воздействия. [3]

Постоянное воздействие шума на рабочем месте в производственном помещении	Максимально допустимый уровень шума без использования СИЗ органов слуха, дБ, при частоте, Гц.							Эквивалентные или общие уровни шума, дБА.
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
до 8-ми часов	87	82	78	75	73	71	69	80
до 4-х часов	93	88	81	79	77	75	73	86

Для защиты от шума применяют:

- Средства массовой защиты (звукоизоляция шумных станков, электродвигателей, изменение направленности шума, рациональная планировка производственных помещений)
- Средства индивидуальной защиты (наушники, беруши)

Средства индивидуальной защиты применяют в тех случаях, когда другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удастся. Так же достигают снижения уровня шума за счет совершенствования конструкций станков электродвигателей.

### 5.3.3. Повышенный уровень вибрации

Источниками вибрации на производстве служат электрические машины, установленные в различных станках, насосных установках, инструментах.

Вибрация относится к факторам, обладающим значительной биологической активностью. Характер, глубина и направленность функциональных сдвигов со стороны различных систем организма определяются прежде всего уровнем, спектральным составом и продолжительностью воздействия вибрации.

Нарушения здоровья работающего, обусловленные локальной или общей вибрацией, складываются из поражения нейрососудистой, нервно-мышечной систем, опорно-двигательного аппарата, изменений обмена веществ и др. При всех видах вибрационной болезни нередко наблюдаются изменения со стороны центральной нервной системы, которые связаны с комбинированным действием вибрации и интенсивного шума, постоянно сопутствующего вибрационным процессам.

Таблица – 7 Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации. [5]

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	*Предельно допустимые значения по осям			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с <sup>2</sup>	дБ	м/с·10 <sup>2</sup>	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11	141	1,4	109
250	22	147	1,4	109
500	45	153	1,4	109
1000	89	159	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2	126	2	112
* Работа в условиях воздействия вибрации с уровнями, превышающими настоящие санитарные нормы более чем на 12 дБ (в 4 раза) по интегральной оценке или в какой-либо октавной полосе, не допускается.				



Способы защиты от вибрации:

- Виброгашение (увеличение массы путем установки машины на фундамент);
- Виброизоляция (применение виброизоляторов пружинных, гидравлических, пневматических, резиновых);
- Технологическое усовершенствование электрических машин;
- Применение индивидуальных средств защиты.

#### 5.3.4. Недостаточная освещенность

Естественный свет имеет благоприятное влияние на весь организм человека. Он имеет высокую гигиеническую и биологическую ценность. Недостаток естественного освещения или его полное отсутствие расценивается как вредный фактор и неблагоприятно сказывается на здоровье в целом. Длительное пребывание в условиях дефицита естественного света приводит к нарушению физиологического равновесия в организме человека и развитию патологического состояния. Природный свет просто необходим человеку. Он улучшает самочувствие, работоспособность и придаёт комфортности.

Таблица – 8 Нормы освещенности при эксплуатации электродвигателей [8]

Наименование зрительной работы и вида деятельности	Нормы освещенности, лк	Равномерность освещенности, не менее	Показатель дискомфорта, не более	Индекс цветопередачи, не менее	Коэффициент пульсации освещённости, %, не более
Монтажные операции:				80	
- грубые	300	0,6	25		20
- средней точности	500	0,6	22		15
- высокой точности	750	0,7	19		10

Как правило, в зданиях промышленного и складского типа применяют комбинированное освещение, чтобы недостаточность естественного света компенсировалась искусственным. Для уменьшения нагрузки на органы зрения устанавливают местное освещение.

Небольшой список помещений, в которых необходимо расценивать свет как потенциально вредный фактор:

- Механические мастерские, где работают слесари-ремонтники.
- Металлообрабатывающие станки, на которых работают станочники.
- Цехи по ремонту изделий, где работают контролеры качества продукции.
- Электронная промышленность, где работают специалисты - электронщики, производится пайка и контроль качества интегральных схем и печатных плат.
- Офисные рабочие места, где выполняются работы с документами и (или) используются ПЭВМ.

- Проектные, конструкторские, машинописные и чертежные работы.

### **5.3.5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека**

Опасность поражения человека электрическим током оценивается величиной тока, проходящего через его тело, или напряжением прикосновения. Это означает, что опасность поражения током зависит от схемы включения человека в цепь, напряжения сети, режима нейтрали, степени изоляции токоведущих частей от земли, емкости линии, рода тока и т.д.

Электрический ток вызывает местные и общие нарушения в организме. Местные изменения проявляются ожогами ткани в местах выхода и входа электрического тока. При воздействии тока высокого напряжения возможны расслоение тканей, их разрыв, иногда полный отрыв конечности. При воздействии переменного тока силой 15 мА у пострадавшего возникают судороги (так называемый неотпускающий ток). В случае поражения током

силой 25–50 мА наступает остановка дыхания. Если действие тока не прекращается, через несколько минут происходит остановка сердца в результате гипоксии и наступает смерть пострадавшего. Смертельна электротравма при силе тока более 100 мА.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током применяют следующие методы:

- Изоляция токоведущих частей.
- Изоляция рабочего места.
- Заземление
- Зануление рабочего места.
- Защитное отключение.
- Использование средств индивидуальной защиты (диэлектрические ботинки, перчатки, резиновые коврики, инструмент с изолированными рукоятками)

#### **5.4. Экологическая безопасность**

В процессе производства и эксплуатации электродвигателей возможны различные источники загрязнения окружающей среды. На стадии производства такими источниками могут служить технические жидкости, металлические остатки, различного вида ПВХ материалы и т.д. При эксплуатации электродвигателей возможных источников загрязнения существенно меньше.

Электропривод оказывает минимальное влияние на окружающую среду. При эксплуатации используется протирочная ветошь, которая загрязняется смазочными маслами. Во избежание возгорания использованную замасленную ветошь складывают в отдельный, герметично закрывающийся металлический контейнер. Отработанные смазочные материалы должны храниться в специальных емкостях. Утилизация отходов должна производиться специализированными организациями имеющие лицензию на данный вид деятельности, заключившие договор с эксплуатирующей организацией.

Изношенные запасные части и узлы утилизируются согласно рекомендации завода изготовителя.

### **5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Возможные чрезвычайные ситуации на производстве:

- Техногенного характера;
- Природного характера;
- Военного характера.

Наиболее вероятная ситуация на производстве является чрезвычайная ситуация техногенного характера. Вероятнее всего возникновение пожара вследствие аварии на производстве.

Авария может произойти по следующим причинам:

- Короткое замыкание;
- Нагрев силовых проводов;
- Разряд статического электричества вблизи пожароопасных и взрывоопасных веществ или объектов;
- Разряд молнии.

Пожарная безопасность на предприятии достигается за счет систем пожарной сигнализации, автоматического пожаротушения. Так же путем разработки плана эвакуации людей, проведения инструктажа для персонала, регулярной проверкой систем пожарной сигнализации и пожаротушения.

В случае обнаружения пожара работник должен:

1. Сообщить по телефону в пожарную часть, известить о пожаре руководство.

2. Проверить включение в работу автоматических систем противопожарной защиты, оповещения людей о пожаре, пожаротушения.
3. Обесточить помещение, отключить систему вентиляции.
4. Эвакуировать всех работников из опасной зоны, не участвующих в пожаротушении.
5. Осуществить руководство по тушению пожара до прибытия пожарной охраны.
6. Одновременно с тушением пожара организовать эвакуацию и защиту материальных ценностей.
7. Организовать встречу подразделений пожарной охраны.
8. Сообщать подразделениям пожарной охраны, привлекаемым для тушения пожаров, сведения о перерабатываемых или хранящихся на объекте опасных (взрывоопасных), взрывчатых, сильнодействующих ядовитых веществах, необходимые для обеспечения безопасности личного состава.

### **5.5. Выводы по разделу**

В данном разделе были определены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности труда. Так же рассмотрены вредные факторы при производстве и эксплуатации электропривода. Были описаны организационно–технические мероприятия, которые способствуют снижению влияния вредных факторов на человека.

Далее было выявлено влияние электропривода на окружающую среду как при производстве, так и при эксплуатации. И рассмотрена наиболее вероятная чрезвычайная ситуация на данном производстве.

Соблюдая вышеперечисленные нормы на производстве будут обеспечены нормальные, безопасные условия труда. Вследствие чего будет гарантия стабильности кадров и высокой производительности труда.

## 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 6.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Рассмотрим целевой рынок и проведем сегментирование для изучения потребителей научного исследования.

Целевой рынок – это рынок потребителей. Сегменты рынка – это выделенная часть рынка, группы потребителей с общими признаками. Сегментирование рынка – разделение потребителей на группы, для каждой из которых может быть востребован определенный товар.

В данном сегментировании целесообразно провести анализ потребителей по категории предприятий, применяющих трубопроводные арматуры. В зависимости от категории потребителей целесообразно выбрать три наиболее значимых рынка по размеру компании.

Таблица 9 – Карта сегментирования применения электроприводов.

		Транспортирующие компании	Предприятия перерабатывающие	Объекты ЖКХ	Пищевая промышленность
Размер компании	Крупные				
	Средние				
	Малые				

Результаты сегментирования:

Потенциальным потребителем результатов исследования будут являться различные промышленные предприятия и предприятия ЖКХ, компании транспортирующие жидкости и газы. В приведенном примере карты сегментирования показаны что на рынке потребления наиболее востребовано ориентироваться на крупные предприятия с транспортным магистральным трубопроводом.

## **6.2. Анализ конкурентных технических решений**

Данный анализ проводят систематически, он помогает оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Для анализа используют следующую информацию о конкурентных электроприводах запорной арматуры:

- Технические характеристики;
- Конкурентоспособность;
- Цена;
- Качество;
- Уровень шума и т.д.

Электропривод запорной арматуры представляет собой электромеханическое устройство, предназначенное для механизации и автоматизации трубопроводной арматуры. Наиболее часто электроприводы используются для дистанционного управления арматурой, ее открытия и закрытия, регулирования, а также диагностики и определения положения выходного звена арматуры. Существенным отличием данного привода от большинства отечественных и зарубежных аналогов является применение синхронного электродвигателя на постоянных магнитах. За счет чего имеются такие преимущества как:

- 1) Снижение массогабаритных характеристик;
- 2) Более высокая перегрузочная способность;
- 3) Широкий спектр применения.

Итогом данного сравнения будут преимущественные характеристики конкурентоспособного электропривода, который будет отвечать требованиям надежности, безопасности, оптимальной цены и качества.

Таблица 10 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		СД	Д1	Д2	К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>	К <sub>3</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,07	5	3	3	20	0,21	0,21
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям)	0,12	4	2	2	0,48	0,24	0,24
3. Помехоустойчивость	0,03	3	2	2	0,09	0,06	0,06
4. Энергоэкономичность	0,11	4	3	3	0,44	0,33	0,33
5. Надежность	0,06	5	4	4	0,3	0,24	0,24
6. Уровень шума	0,03	5	3	3	0,15	0,09	0,09
7. Безопасность	0,03	5	2	2	0,15	0,06	0,06
8. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	4	4	4	0,16	0,16	0,16
9. Простота эксплуатации	0,04	2	4	4	0,08	0,16	0,16
10. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
11. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,06	5	0	0	0,3	0	0
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	5	4	3	0,15	0,12	0,09
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	5	4	3	0,15	0,12	0,09
3. Цена	0,1	2	3	3	0,2	0,3	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	3	4	4	0,18	0,24	0,24
5. Послепродажное обслуживание	0,03	3	3	3	0,09	0,09	0,09
6. Финансирование научной разработки	0,03	4	2	2	0,12	0,06	0,06
7. Срок выхода на рынок	0,03	4	3	4	0,12	0,09	0,12
8. Наличие сертификации разработки	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Итого	1	78	59	57	23,66	3,02	2,94

### Технология QUAD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой



разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

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

**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.

**Показатели оценки качества разработки:**

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

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

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка проводится в табличной форме (таблица 11).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а

100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентоспособности будет определяться по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где  $K$  - конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  - вес показателя (в долях ед.);

$B_i$  - балл  $i$ -показателя.

Таблица 11 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)x100
Показатели оценки качества разработки					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,07	95	100	0,95	6,65
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям)	0,12	100	100	1	12
3. Помехоустойчивость	0,03	90	100	0,9	2,7
4. Энергоэкономичность	0,11	90	100	0,9	9,9
5. Надежность	0,06	97	100	0,97	5,82
6. Уровень шума	0,03	95	100	0,95	2,85
7. Безопасность	0,03	100	100	1	3
8. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	95	100	0,95	3,8
9. Простота эксплуатации	0,04	98	100	0,98	3,92
10. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	96	100	0,96	4,8
11. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,06	100	100	1	6
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	90	100	0,9	2,7
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	90	100	0,9	2,7
3. Цена	0,1	75	100	0,75	7,5
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	95	100	0,95	5,7
5. Послепродажное обслуживание	0,03	90	100	0,9	2,7
6. Финансирование научной разработки	0,03	78	100	0,78	2,34
7. Срок выхода на рынок	0,03	85	100	0,85	2,55
8. Наличие сертификации разработки	0,05	90	100	0,9	4,5
Итого	1				92,13

## SWOT-анализ

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента, позволяет оценить такие параметры как: сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы. Для проведения SWOT-анализа необходимо построить матрицу, в которую записываются приведенные ранее параметры.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы.

Таблица 12 – Итоговая матрица SWOT

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. сократить издержки на обслуживание и контроль за оборудованием;</p> <p>С2. снизить риски возникновения техногенных аварий и катастроф;</p> <p>С3. предотвратить выход из строя сложного оборудования и не допустить останов технологических процессов;</p> <p>С4. предоставить достоверную информацию управляющему звену предприятия;</p> <p>С5. сформировать гибко планируемые сроки на планово-предупредительные работы и обслуживание;</p> <p>С6. идентифицировать с высокой долей вероятности причины выхода из строя оборудования;</p> <p>С7. минимизировать влияние неквалифицированного персонала на расстройство технологического процесса;</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Сложность ремонта оборудования;</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой;</p> <p>Сл3. Проблема с финансированием;</p> <p>Сл4. Дороговизна оборудования;</p>
--	--	--

<p>Возможности:</p> <p>В1. Использовать блок управления для регулирования положения в многооборотных, неполноповоротных и прямоходных задвижках;</p> <p>В2. Широкий спектр применения;</p> <p>В3. Точность останова выходного звена редуктора контролируется с погрешностью не более <math>\pm 2^\circ</math>;</p> <p>В4. Работа электропривода в большом диапазоне температур;</p>	<p>Сильные стороны проекта могут позволить в полной мере осуществить предоставляемые возможности. Так, использование современных методов проектирования делает принципиально возможной реализацию данного типа привода.</p> <p>Отсутствие энергозависимых датчиков позволяет исключить периодические замены элементов питания, подверженных воздействию низких температур.</p> <p>За счет использования синхронного двигателя на постоянных магнитах удалось достичь снижения массы и габаритов устройства, а также повысить энергоэффективность привода.</p> <p>Квалифицированный персонал способен не только продуктивно работать с оборудованием, но и адаптироваться под нововведения и даже модернизацию технологии.</p>	<p>Сложности ремонта и эксплуатации оборудования так же замедляют процессы модернизации, особенно это связано с автоматизацией системы управления, однако квалифицированные специалисты, готовые профессионально расти, способны справиться с подобными трудностями</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на технологию производства;</p> <p>У2. Импорт отдельных частей для конструкций;</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции;</p> <p>У4. Несвоевременное финансовое обеспечение;</p> <p>У5. Несвоевременное проведение технического обслуживания и</p>	<p>Данный проект выполнен в соответствии с современными методиками расчета и проектирования, соблюдены требования безопасности, а также реализован высокий технический уровень производства. Все эти факторы делают возможным перестройку технологического процесса, снижая риск отсутствия спроса.</p> <p>Наличие квалифицированного персонала увеличивает конкурентоспособность.</p> <p>Так же данный проект отвечает требованиям ТЗ государственной сертификации</p> <p>Таким образом, сильные стороны проекта либо защищают его от рисков, либо в достаточной степени их минимизируют.</p>	<p>В случае если заводы будут работать по другой технологии производства, то данный проект можно адаптировать под другое предприятия со схожими потребителями электроэнергии. Так, например, проектируемый электропривод найдет применение практически на любом крупном предприятии.</p> <p>В случае, когда дополнительные государственные требования существенно усложняют эксплуатацию электрооборудования, необходимо разрабатывать новые инструкции и положения для персонала. В случае необходимости обеспечивать повышение квалификации.</p>

<p>технического ремонта;</p> <p>Уб. Отсутствие квалифицированного персонала при эксплуатации электропривода;</p>		<p>В случае возникновения проблем с финансированием следует идти на компромиссы с производительностью, но строго соблюдать требования безопасности</p> <p>Существенной особенностью системы электроснабжения является дороговизна оборудования. Для минимизации рисков необходимо не только правильно его эксплуатировать, но и уделять особое внимание диагностике и выявлению неисправностей на ранних стадиях.</p>
--	--	---

Swot-анализ позволяет оценить такие параметры как: сильные и слабые стороны проекта. Основной угрозой является высокая стоимость оборудования. Проведенный анализ подтвердил перспективность данного проекта по отношению к новым возможностям и его гибкость по отношению к возможным угрозам.

### **6.3. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований**

В предыдущем разделе были описаны методы, которые позволяют выявить и предложить возможные альтернативы проведения исследования и доработки результатов. К их числу относятся технология QuaD, оценка конкурентных инженерных решений, SWOT-анализ. К ним можно добавить ФСА-анализ, метод Кано. Однако, в большей степени все приведенные методы ориентированы на совершенствование результатов научного исследования, находящегося на стадии создания макета, модели системы, прототипа, конечного продукта. Если разработка находится на перечисленных стадиях жизненного цикла нового продукта, можно предложить не менее трех основных вариантов совершенствования разработки или основных направлений научного исследования.

Разработка относится к вышеописанным стадиям, поэтому нет необходимости использовать морфологический подход.

### **Планирование научно-исследовательских работ**

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.

### **Структура работ в рамках научного исследования**

Для выполнения проектных работ формируется группа, которая включает в себя руководителя проекта и инженера. Для каждого типа запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. Порядок этапов и работ, распределение исполнителей по этим видам работ приведено в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

	№ 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
Теоретическое исследование	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
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	13	Технико-экономические расчеты	Инженер
	14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер
	15	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

#### 6.4. Определение трудоемкости выполнения работ

Важным моментом является определение трудоемкости каждого из участников проекта. Сложность работы оценивается экспертно в человеко-днях и носит вероятностный характер. Для определения ожидаемой (средней) величины трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{\min\ i} + 2 \cdot t_{\max\ i}}{5};$$

где

- $t_{ож\ i}$  – 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.

Расчитанная продолжительность работ в рабочих днях приведена в таблице 6.8.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i};$$

где:

- $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;
- $t_{ожг}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.
- $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

В таблице 14 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работы.

## 6.5. Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и очевидным является построение графика проектирования работ в виде диаграммы Ганта.

Для удобства составления графика продолжительность каждого из этапов работы с рабочих дней должна быть переведена на календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}$$

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:

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

где:

- $T_{кал}$  – количество календарных дней в году;
- $T_{вых}$  – количество выходных дней в году;
- $T_{пр}$  – количество праздничных дней в году.

Все рассчитанные значения сводим в таблицу 14.



Таблица 14. Временные показатели проведения проектирования

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожж}$ , 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
--------------------------------------	--	---	--	---	--	---	--	---	--	---

**Пример расчета:**

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

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

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

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

На основе таблицы 14 строим календарный план-график (таблица 15).

Таблица 15 – Календарный план-график проведения проектирования

№	Вид работ	Исполнители	T <sub>кi</sub> дн	Продолжительность выполнения работ															
				Фев.		март			апрель			май			июнь				
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2			
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	█															
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	11	█	█														
3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер	7			█													
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	7			█													
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер	10				█	█											
6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер	8						█	█									
7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер	12							█	█	█							



Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, 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
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 характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	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
<b>Итого</b>					<b>180778</b>

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп};$$

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:

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p$$

где:

- $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;
- $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.;
- $Z_{он}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{он} = \frac{Z_M \cdot M}{F_0} = \frac{53594 \cdot 10,4}{237} = 2351 \text{ руб.},$$

где:

- $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.;
- $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;
- $F_0$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.(таблица 17).

Таблица 17 – Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника:

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

где:

- $Z_{TC}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;
- $k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{TC}$ );
- $k_o$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от  $Z_{TC}$ );
- $k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата  $Z_{TC}$  находится из произведения тарифной ставки первого 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 таблице 18.

Таблица 18 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{ТС}$ , руб.	$k_{np}$	$k_{\delta}$	$k_p$	$Z_M$ , руб.	$Z_{\delta n}$ , 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
<b>Итого <math>Z_{осн}</math>:</b>								<b>182301</b>

### 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:

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

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

### Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

На 2020 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 2020 году вводится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представляем в табличной форме (таблица 19).

Таблица 19 – Отчисления во внебюджетные фонды

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

### 6.7. Амортизация

Расчет амортизационных отчислений для полного восстановления основных фондов производится по нормам амортизации, утвержденным в порядке, установленном действующим законодательством, и определяется в зависимости от стоимости оборудования. Для проектирования требуется следующее оборудование: компьютер - 43000 рублей.

$$I_{ам} = \frac{T_{ис}}{T_{г}} \cdot \frac{1}{T_{сл}} \cdot C_{обор};$$

где:

- $T_{ис}$  – время использования оборудования = 111 дней;
- $T_{г}$  – количество использования в год = 365 дней;
- $C_{обор}$  – стоимость оборудования;
- $T_{сл}$  – срок службы оборудования = 3 года.



$$I_{ам} = \frac{T_{ис.}}{T_{Г}} \cdot \frac{1}{T_{сл}} \cdot C_{оборот} = \frac{111}{365} \cdot \frac{1}{3} \cdot 43000 = 4359 \text{ руб.}$$

### Накладные расходы

Накладные расходы учитывают другие расходы организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печатные и фотокопировальные исследовательские материалы, оплату услуг связи, электричество, почтовые и телеграфные расходы, воспроизведение материалов и т. д. Их стоимость определяется следующей формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } (1:4)) \cdot k_{нр};$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$З_{накл} = 259508 \cdot 0,16 = 41521,28 \text{ руб.}$$

## 6.8. Формирование бюджета затрат на проектирование

Расчитанная величина затрат научно-исследовательской работы 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 приведен в таблице 20.

Таблица 20. Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	182301
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21876
3. Отчисления во внебюджетные фонды	55631
4. Амортизация	4359
5. Накладные расходы	41521
6. Бюджет затрат НИИ	305 688

### Определение ресурсоэффективности проекта

Интегральный показатель финансовой эффективности для любой схемы управления является одинаковым, поэтому переходим к определению ресурсоэффективности проекта.

Ресурсоэффективность проекта 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 оценки.

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Электропривод постоянного тока, с датчиком скорости	Асинхронный электропривод, с датчиком скорости	Синхронный электропривод, с датчиком скорости
1. Безопасность	0,25	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,10	5	5	5
3. Помехоустойчивость	0,10	4	4	5
4. Энергосбережение	0,15	4	4	5
5. Надежность	0,25	5	5	5
6. Материалоемкость	0,15	4	4	4
<b>Итого:</b>	<b>1</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,85</b>

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,85.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта.

Таким образом, применение электроприводов постоянного тока и сейчас остается эффективным. Переход к приводу на синхронных двигателях с постоянными магнитами, целесообразен в момент реструктуризации производства, или в тех производственных процессах, где применение других представленных схем нецелесообразно.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе выполнено проектирование взрывозащищённого малогабаритного электропривода для регулирующей трубопроводной арматуры малых сечений. В результате проведенной работы была достигнута поставленная цель - создание нового поколения регулирующих взрывозащищенных электроприводов с минимальными габаритными размерами, массой и себестоимостью, не уступающих по точности регулирования и функциональным характеристикам регулирующим электроприводам производства других фирм.

В ходе проектирования были решены следующие поставленные задачи:

- проведен анализ литературы и технической документации;
- рассмотрены основные составные части малогабаритного электропривода;
- выбран электродвигатель и определен тип редуктора;
- произведен расчет синхронного привода и регуляторов тока, скорости, контура положения;
- разработана имитационная модель электропривода в программной среде Matlab Simulink.
- исследованы основные режимы работы электропривода.

## Список используемой литературы

1. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*.
2. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
4. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
5. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
6. Правила устройства электроустановок: Раздел 1. Общие правила, Раздел 5. Электросиловые установки, Раздел 7. Электрооборудование специальных установок.
7. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
8. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.
9. ТК РФ Раздел VI. Оплата и нормирование труда.
10. ТК РФ Раздел VIII. Трудовой распорядок. Дисциплина труда.
11. ТК РФ Раздел X. Охрана труда.
12. ТК РФ Раздел IV. Рабочее время.
13. СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы.
14. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 448 с.