



**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»**

Школа Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника
Отделение Электроэнергетики и электротехники
Профиль Электрооборудование и электрохозяйство

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Электропривод компрессора холодильной установки

УДК 62-83:621.565.041

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А98	Тюленев Данила Алексеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев Сергей Николаевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Якимова Татьяна Борисовна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тютеева Полина Васильевна	К.Т.Н.		

Томск – 2023 г.

Результаты обучения
профессиональные и общекультурные компетенции
по основной образовательной программе подготовки бакалавров
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-3	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач
ОПК(У)-4	Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин
ОПК(У)-6	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин применительно к объектам профессиональной деятельности
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
ПК(У)-2	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.
ПК(У)-3	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки (ООП/ОПОП) 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП/ОПОП

_____ Тютеева П.В.

(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5A98	Тюленев Данила Алексеевич

Тема работы:

Электропривод компрессора холодильной установки	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	18.05.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i>	Объектом исследования является модель электропривода компрессора с параметрами: Номинальная мощность 11 кВт. Номинальное фазное напряжение 380 В. Синхронная частота вращения 1500 об/мин.
Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i>	1. Выбор двигателя для компрессора и согласование его параметров. 2. Проверка работоспособности выбранного оборудования. 3. Составление системы дифференциальных уравнений и структурной схемы математической модели асинхронного двигателя. 4. Исследование переходных режимов при прямом пуске электродвигателя поршневого

	<p>компрессора без преобразователя частоты.</p> <p>5. Составление функциональной схемы частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением.</p> <p>6. Исследование переходных режимов при частотном пуске двигателя компрессора без датчика интенсивности и с датчиком.</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Графики переходных режимов асинхронного электродвигателя. Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и энергосбережение.	Якимова Татьяна Борисовна

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев Сергей Николаевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А98	Тюленев Данила Алексеевич		



**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»**

Школа Инженерная школа энергетики
Направление подготовки (ООП/ОПОП) 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования Бакалавриат
Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетики и электротехники
Период выполнения (осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года)

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

Обучающийся:

Группа	ФИО
5А98	Тюленев Данила Алексеевич

Тема работы:

Электропривод компрессора холодильной установки

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	18.05.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.01.2023	Литературный обзор	2
19.02.2023	Расчёт и выбор электродвигателя	3
04.04.2023	Согласование компрессорного оборудования	2
18.03.2023	Расчет и построение механических характеристик	4
28.03.2023	Моделирование силового канала ПЧ-АД	2
04.04.2023	Моделирование различных пусков ЭЦН	3
08.04.2023	Разработка функциональной схемы	4
13.05.2023	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	5
20.05.2023	Социальная ответственность	5
27.05.2023	Оформление работы	10
29.05.2023	Итог	40

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тютеева П.В.	к.т.н.		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А98	Тюленев Д.А.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
5А98		Тюленев Данила Алексеевич	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

<i>Электропривод компрессора холодильной установки</i>	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения 	<p><i>Объект исследования:</i> <u>Электропривод компрессора холодильной установки</u></p> <p><i>Область применения:</i> <u>Нефтехимическая промышленность</u></p> <p><i>Рабочая зона:</i> <u>лаборатория</u></p> <p><i>Размеры помещения:</i> <u>34м²</u></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> <u>персональный компьютер, лабораторные стенды</u></p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> <u>проведение расчетов и построение электрических схем</u></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N197-ФЗ.</p> <p>ГОСТ 12.1.005-88; Общие гигиенические требования к воздуху к рабочей зоне.</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78; ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ 22614-77; Система “человек-машина”. Включение и выключение клавиш и кнопок. Общие эргономические требования.</p> <p>ТОИ Р-200-23-95; Основная профессиональная охрана труда</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Вредные производственные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отклонение показателей микроклимата 2. Статические перегрузки костно-мышечного аппарата 3. Умственное перенапряжение 4. Повышенный уровень электромагнитных излучений 5. Недостаточная освещенность рабочей зоны <p>Опасные производственные факторы:</p> <p>Факторы, связанные с электрическим током</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Средства нормализации освещения помещений и рабочих мест (источники света, осветительные приборы и т.д.) 2. Средства защиты от поражения электротоком
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</p>	<p><i>Воздействие на селитебную зону:</i> <u>нет</u></p> <p><i>Воздействие на литосферу:</i> <u>бытовой мусор</u></p> <p><i>Воздействие на гидросферу:</i> <u>бытовые стоки</u></p> <p><i>Воздействие на атмосферу:</i> <u>загрязнение воздуха парниковыми газами от компьютерной техники</u></p>

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения	Возможные ЧС: <u>пожар, землетрясение, бури</u> Наиболее типичная ЧС: <u>пожар в здании</u>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	09.02.2023

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A98	Тюленев Данила Алексеевич		15.03.2023

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

Студенту:

Группа	ФИО
5A98	Тюленеву Даниле Алексеевичу

Школа	Инженерная Школа Энергетики	Отделение школы (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02. Энергоэнергетика и электротехника/Электроснабжение

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

1. <i>Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- норма амортизации – 25% - накладные расходы – 16%
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	1. Анализ потенциальных потребителей 2. Анализ конкурентных технических решений 3. Оценка решения по технологии QuaD 4. SWOT-анализ проекта
2. <i>Планирование и формирование бюджета</i>	1. Определение структуры НИ 2. Определение трудоёмкости работ 3. Разработка графика проведения НИ 4. Определение бюджета НИ
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности</i>	Оценка ресурсоэффективности проекта с помощью интегрального показателя

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Диаграмма Ганта
--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A98	Тюленев Данила Алексеевич		09.03.2023

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 86 страниц, 23 рисунка, 19 таблиц, 20 источников.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, скалярное управление, холодильная установка, компрессор, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, преобразователь частоты.

Цель работы – Разработка частотно-регулируемого электропривода компрессора холодильной установки с асинхронным двигателем АИС160М4.

Достигнутые технико-эксплуатационные показатели: полностью соответствующие заданию.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007 на листах белой бумаги формата А4 с помощью программных средств MatLab и MathCad.

Содержание

Реферат	9
1. Принцип работы холодильной установки	13
1.2. Типы поршневых компрессоров	14
1.3. Требования, предъявляемые к холодильным агентам	15
1.4. Требования к схемам холодильных установок	16
1.5. Автоматизация холодильной установки.....	18
1.6. Основные технические параметры холодильной установки.....	19
1.7. Параметры компрессора Frascold S15-52Y	19
2. Обоснование выбора частотно-регулируемого электропривода	24
2.1. Выбор способа и закона частотного регулирования.....	25
2.2. Нагрузочная характеристика поршневого компрессора	26
3. Выбор электродвигателя для привода компрессора	27
3.1. Расчет схемы замещения электродвигателя	28
3.2. Расчет статических характеристик асинхронного двигателя. Анализ полученных результатов.....	30
3.3. Расчет искусственных механических и электромеханических характеристик системы “Преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель”	32
3.4. Выбор преобразователя частот	35
3.5. Структурная схема асинхронного двигателя	36
3.6. Расчет переходных процессов пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть и при изменении нагрузки.	39
3.7. Моделирование частотно-регулируемого асинхронного электропривода поршневого компрессора со скалярным управлением.....	45
3.7.1. Прямой пуск электропривода без преобразователя частоты.....	46
3.7.2. Частотный пуск электропривода с преобразователем частоты, без задатчика интенсивности	47
3.7.3. Частотный пуск электропривода с преобразователем частоты с задатчиком интенсивности.....	48

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	50
4.1.1. Анализ потенциальных потребителей	50
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений	51
4.1.3. Технология QuaD.....	53
4.1.4. SWOT-анализ	54
4.2. Планирование научно-исследовательских работ	56
4.2.1. Структура работы в рамках научного исследования	56
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	57
4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования	58
4.2.4. Бюджет научно-технического исследования	62
4.2.4.1. Расчет затрат на специальное оборудование.....	62
4.2.4.2. Зарботная плата исполнителей	63
4.2.4.3. Отчисления во внебюджетные фонды	65
4.2.4.4. Накладные расходы	66
4.2.4.5. Формирование бюджета затрат научно-технического проекта..	66
5. Социальная ответственность.....	69
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	70
5.2 Производственная безопасность	73
5.2.1 Мероприятия по устранению опасных и вредных факторов	78
5.3 Экологическая безопасность.....	79
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	81
Заключение	84
Список использованных источников:	86

Введение

Электропривод компрессора является ключевым элементом холодильных установок и используется для создания давления и перекачивания рабочего вещества в цикле холодильного процесса. Он играет важную роль в обеспечении стабильной и эффективной работы системы. Современные холодильные установки все чаще используют электроприводы с частотным управлением, которые позволяют управлять скоростью вращения компрессора и поддерживать оптимальные параметры холодильного процесса в зависимости от изменяющихся условий эксплуатации. В данной работе рассматривается электропривод компрессора холодильной установки, принципы его работы, преимущества и недостатки, а также методы управления скоростью вращения для оптимизации работы системы и повышения ее эффективности.

Холодильная техника применяется во многих отраслях бизнеса, включая пищевую, производственную, торговую и транспортную (автомобильную, железнодорожную и водную). В зависимости от температурного диапазона, холодильное оборудование может быть климатическим (от $+16^{\circ}$ до $+32^{\circ}$), среднетемпературным (в пределах 0°), низкотемпературным (ниже ноля) и криогенным (от -120° до -273°). Современные холодильные установки и машины не могут обойтись без автоматизации, обеспечивающей устойчивую работу, корректно поддерживающую заданные температуры, защиту от аварий, увеличение срока службы и сокращение количества обслуживающего персонала. Вслед за прогрессом в сфере микропроцессорной техники появились системы контроля холодильных установок, которые позволяют удаленно отслеживать и управлять работой агрегатов. Оптимизация и усовершенствование холодильных установок и агрегатов осуществляется с помощью математического моделирования процесса. В рамках разрабатываемого проекта рассматривается компрессорная холодильная установка.

1. Принцип работы холодильной установки

Холодильная машина использует тепловой насос, который принимает тепло охлаждаемого объекта, а затем выделяет его в окружающую среду, которая имеет более высокую температуру. Оценка работы холодильной машины зависит от ее холодопроизводительности, которая в современных устройствах составляет от нескольких сотен Ватт до тысяч Ватт. Компрессионная холодильная машина состоит из таких основных элементов как: компрессор, конденсатор, дроссель и испаритель. Другое оборудование в холодильной машине выполняет вспомогательную функцию. На рисунке 1 приведена схема холодильной установки.

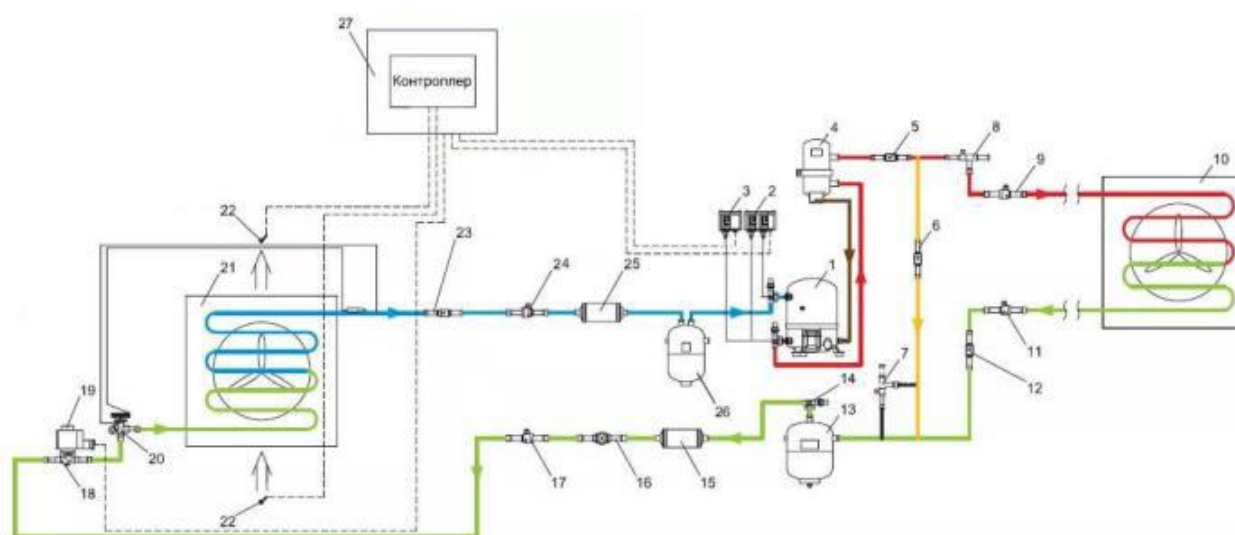


Схема работы холодильной машины с конденсатором воздушного охлаждения

- | | |
|---|---|
| 1. Компрессор | 15. Фильтр-осушитель жидкостной |
| 2. Реле высокого и низкого давления компрессора | 16. Стекло смотровое |
| 3. Реле высокого давления конденсатора | 17. Запорный вентиль |
| 4. Маслоотделитель (опция) | 18. Клапан соленоидный |
| 5. Клапан обратный (опция) | 19. Катушка для клапана соленоидного |
| 6. Клапан дифференциальный (опция) | 20. Вентиль терморегулирующий |
| 7. Регулятор давления в ресивере (опция) | 21. Испаритель (воздухоохладитель) |
| 8. Регулятор давления конденсации (опция) | 22. Датчик температуры воздуха |
| 9. Запорный вентиль (опция) | 23. Клапан обратный (опция) |
| 10. Конденсатор воздушного охлаждения | 24. Запорный вентиль (опция) |
| 11. Запорный вентиль (опция) | 25. Фильтр-осушитель газовый (опция) |
| 12. Клапан обратный (опция) | 26. Отделитель жидкости (опция) |
| 13. Ресивер линейный | 27. Щит электрический с блоком управления |
| 14. Запорный вентиль ресивера | |

Рисунок 1 – Схема работы холодильной машины с конденсатором воздушного охлаждения

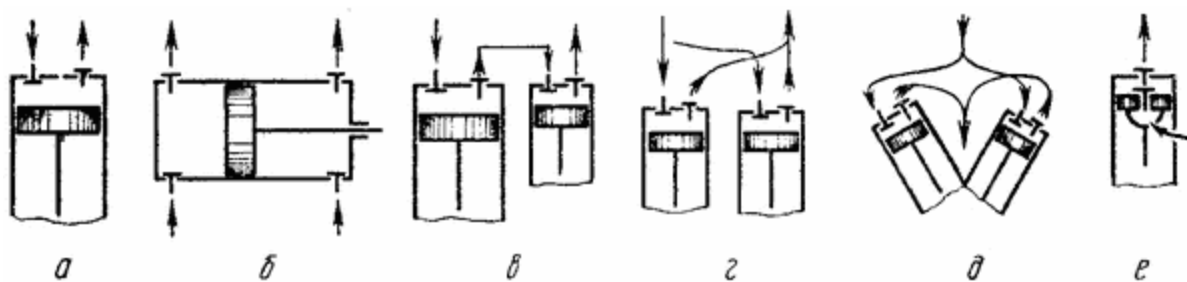
В данном проекте рассматривается именно компрессорная холодильная машина, поскольку другие виды холодильных систем, такие как абсорбционные и термоэлектрические, не так распространены, и автоматизация для них имеет лишь незначительные различия в месте установки и алгоритме работы. В холодильной установке компрессор является основным элементом, отвечающим за сжатие пара холодильного агента, поступающего на всасывание. Компрессор может быть разных типов, например, поршневым, спиральным, винтовым или центробежным. Пройдя компрессор горячий сжатый пар проходит через маслоотделитель и конденсатор, где происходит конденсация паров хладагента и накопление жидкости в ресивере. Затем жидкий хладагент проходит через фильтр-осушитель и дроссельное устройство ТРВ и поступает в воздухоохладитель, в котором жидкая фаза вскипает вследствие отвода теплоты из охлаждаемого объекта. Образовавшийся пар откачивается компрессором, и цикл повторяется.

Компрессор – это устройство, которое используется для увеличения давления и сжатия газов или паров. Его назначение заключается в перекачивании рабочего вещества (обычно паров хладагента) по холодильной системе. Он является ключевым компонентом в системе холодильной машины, поскольку от него зависит эффективность и производительность всей системы. Компрессоры могут быть различных типов, таких как поршневые, винтовые, центробежные и др. В зависимости от типа компрессора и его конструкции, он может использоваться в различных областях, таких как промышленность, авиация, медицинская техника и другие [2].

1.2. Типы поршневых компрессоров

Поршневые компрессоры работают на основе принципе изменения объема камеры с помощью поршня, который движется внутри цилиндра. Когда поршень опускается, объем камеры уменьшается, а газ сжимается и выталкивается через выходной клапан. Затем поршень поднимается, увеличивая объем камеры и

создавая зону с низким давлением, которая затем наполняется свежим газом. Этот процесс повторяется, пока не будет достигнуто требуемое давление воздуха или газа. Поршневые компрессоры, представленные на рисунке 2, имеют различные виды в зависимости от нескольких факторов: количества ступеней (одно-, двух- и многоступенчатые), числа цилиндров (одно- и многоцилиндровые), расположения осей цилиндров (горизонтальные, оппозитные, вертикальные V-образные, W-образные), числа рабочих полостей цилиндра (простого и двойного действия), типа движения паров в цилиндре (прямоточные и непрямоточные), быстроходности (тихоходные и быстроходные), типа шатунно-кривошипного механизма (крейцкопфные и бескрейцкопфные) и степени герметичности (с встроенным двигателем, бессальниковые, сальниковые).



а – одинарного действия, одноступенчатый, вертикальный, непрямоточный; б – двойного действия, горизонтальный; в – двухступенчатый, г – двухцилиндровый, д – V-образный, е – прямоточный

Рисунок 2 – Схемы поршневых компрессоров

1.3. Требования, предъявляемые к холодильным агентам

Как упоминалось ранее, для работы холодильных устройств используются химические соединения, которые называются холодильными агентами или хладагентами. Любая жидкость, способная испаряться и удалять необходимое количество тепла, снижая при этом температуру, может быть использована в качестве хладагента. Тем не менее, выбор хладагента существенно влияет на

конструкцию машины, энергопотребление и другие параметры эксплуатации[4].

Основными требованиями к хладагентам являются:

Низкая температура кипения: это свойство позволяет хладагенту легко испаряться и превращаться в газ внутри холодильной установки.

Низкое значение токсичности и воспламеняемости: хладагенты должны быть безопасными для здоровья человека и не представлять угрозы для окружающей среды.

Не должны содержать вредных веществ: например, хладагенты, содержащие хлор, могут нанести вред озоновому слою.

Хладагенты должны иметь хорошую энергетическую эффективность: они должны способствовать минимизации затрат на энергию и ресурсы.

Хладагенты должны соответствовать спецификациям производителя оборудования: конструкция холодильной установки может быть определена типом и свойствами используемого хладагента.

Также, в зависимости от конкретных условий и задачи, могут быть выдвинуты дополнительные требования к хладагентам, такие как стабильность при высоких температурах, совместимость с другими химическими веществами, химическая инертность и др.

1.4. Требования к схемам холодильных установок

Существует несколько основных требований к схемам холодильных установок, которые должны быть учтены при их проектировании и эксплуатации:

Эффективность: схема должна обеспечивать высокую эффективность работы установки и максимально возможное снижение температуры.

Надежность: схема должна быть надежной и безопасной для эксплуатации, чтобы предотвратить возможность утечки хладагента и других опасных ситуаций.

Простота: схема должна быть простой и легко обслуживаемой, чтобы уменьшить время и затраты на ремонт и техническое обслуживание.

Экономичность: схема должна быть экономичной в эксплуатации, потребляя минимальное количество энергии и сокращая затраты на обслуживание и ремонт.

Гибкость: схема должна быть гибкой и способной работать с различными типами хладагентов, в зависимости от условий эксплуатации.

Долговечность: схема должна быть изготовлена из высококачественных материалов, чтобы обеспечить долгий срок службы.

Совместимость: схема должна быть совместима с другими компонентами холодильной установки, такими как компрессоры, испарители и конденсаторы. Существуют два типа схем: принципиальная схема холодильной установки показывает основные компоненты и их взаимосвязь. На ней указываются устройства, необходимые для работы системы, а также места подключения дополнительного оборудования, например, вентиляторов для улучшения обмена тепла в испарителе и конденсаторе.

Монтажная схема холодильной установки подробно описывает расположение компонентов и трубопроводов внутри помещения. Она позволяет установить систему правильно и обеспечить правильный поток хладагента. На монтажной схеме указываются также места, где будут располагаться приборы управления и контроля работы системы.

В зависимости от типа холодильной установки, принципиальная и монтажная схемы могут отличаться. Например, водоохлаждаемые установки имеют дополнительные компоненты для охлаждения воды, которая используется для отвода тепла от конденсатора. Также есть установки, которые используют пластинчатые теплообменники, а не испарители и конденсаторы.

Независимо от типа холодильной установки, правильно разработанная принципиальная и монтажная схемы являются ключевыми факторами для эффективной работы системы и долговечности ее компонентов.

1.5. Автоматизация холодильной установки

Автоматизация холодильных установок позволяет управлять процессом охлаждения, контролировать температуру и обеспечивать эффективную работу холодильного оборудования.

Одной из основных задач автоматизации является поддержание заданной температуры в холодильной камере. Для этого используется термостат, который регулирует работу компрессора и вентилятора, поддерживая заданный диапазон температур.

Для оптимизации работы холодильной установки и минимизации расхода энергии, используются современные технологии автоматизации. Например, система управления с переменной скоростью позволяет контролировать скорость работы компрессора и вентиляторов в зависимости от температуры внутри камеры. Это позволяет снизить энергопотребление и снизить затраты на электроэнергию.

Также автоматизация позволяет контролировать уровень заполнения камеры и определять, когда необходимо проводить разморозку холодильного оборудования. Системы мониторинга позволяют получать информацию о состоянии оборудования и обнаруживать возможные неисправности.

Некоторые современные холодильные установки оснащены системами, которые автоматически подстраивают работу компрессора и вентиляторов под изменяющиеся условия окружающей среды. Это позволяет сохранять стабильную температуру в камере, несмотря на изменения температуры окружающей среды и уровня влажности.

Таким образом, автоматизация холодильных установок позволяет повысить эффективность и надежность работы оборудования, снизить затраты на энергию и повысить качество хранения продуктов.

[6]. Автоматизация холодильных установок включает в себя установку автоматических приборов и средств, которые регулируют работу установки и обеспечивают ее защиту от аварийных ситуаций.

1.6. Основные технические параметры холодильной установки.

1.7. Параметры компрессора Frascold S15-52Y

Максимальная мощность, которую потребляет компрессор, согласно производителю, составляет 38,5 кВт при скорости вращения 1450 об/мин при частоте 50 Гц и 1740 об/мин при частоте 60 Гц. Компрессор имеет две независимые обмотки, подключенные с помощью схемы звезда, наложенные друг на друга в технологии PartWinding (PW), чтобы образовать единый статор. Схема обмоток компрессора представлена на рисунке 3. В таблицах 1 и 2 приведены технические параметры и характеристики компрессора для фреона R404A при различных температурах кипения и конденсации, которые влияют на его холодопроизводительность и мощность потребления. Важно отметить, что компрессор работает на асинхронном двигателе с короткозамкнутым ротором.

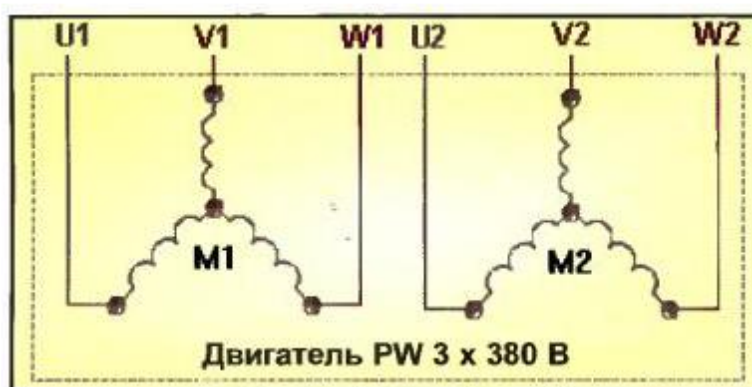


Рисунок 3 – Схема обмоток компрессора

Таблица 1 – Технические характеристики поршневого компрессора [6].

Полугерметичные поршневые компрессоры

Технические характеристики

Компрессор	Кол-во цилиндров	Объемный расход м ³ /ч 50Гц	Заправка масла, л	Масса нетто, кг	Электрические характеристики								Присоединения ¹⁰⁾				
					Двигатель		Макс. рабочий ток А			Макс. потребляемая мощность, кВт	Ток заблокированного ротора А			Всасывание		Нагнетание	
					Версия	Расключение	А		кВт		А		дюйм	мм	дюйм	мм	
							230V	400V		230V	400V						
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭				
S5-33Y	4	32,80	2,9	115	2	⑧			15,9	7,8		57,8	35,5	1"	35,0	1"	28,6
S7-33Y	4		2,9	117	1	⑧			20,4	11,1		75,0	47,0	1"	35,0	1"	28,6
S8-42E	4		2,9	117	3				12,8	7,3		90,3	52,7	1"	35,0	1"	28,6
S8-42Y	4	41,32	2,9	117	2	⑧			20,3	11,8		90,3	52,7	1"	35,0	1"	28,6
S12-42Y	4		2,9	120	1				22,4	12,9		102,3	59,1	1"	35,0	1"	28,6
S10-52E	4		2,9	120	3				14,7	8,4		102,7	59,5	1"	35,0	1"	28,6
S10-52Y	4	51,50	2,9	120	2	⑧			24,5	14,9		102,3	59,1	1"	35,0	1"	28,6
S15-52Y	4		2,9	126	1				32,4	17,8		117,1	74,8	1"	42,0	1"	28,6

С помощью каталожных параметров завода-изготовителя компрессора можно определить номинальную мощность и холодопроизводительность при заданных условиях работы, таких как температура конденсации и температура кипения хладагента. Графический диапазон работ компрессора представлен на рисунке 4.

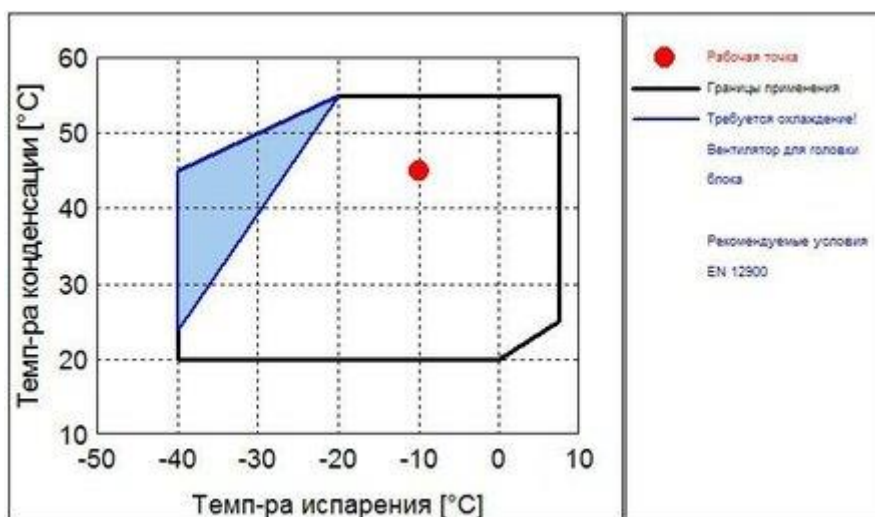


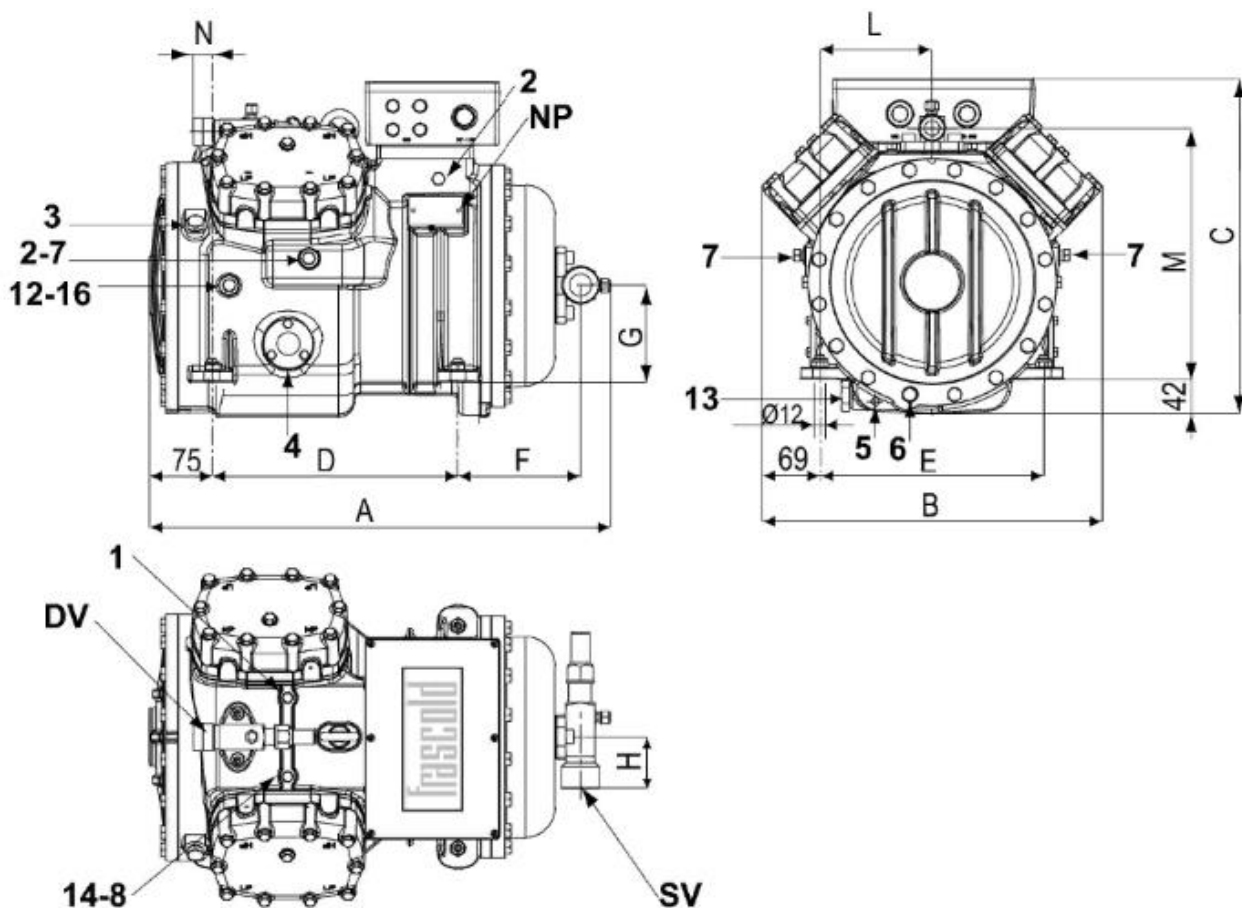
Рисунок 4 – Рабочий диапазон компрессора Frascold S 15-52Y

Таблица 2 – Технические характеристики компрессора

Цилиндры	Шт.	4
Объемная производительность	М3/ч [50 Гц]	51,5
Объемная производительность	М3/ч [60 Гц]	61,8
Мощность двигателя	кВт	11
Напряжение двигателя при частоте 50 Гц	V/ph/Hz	380-420V/3/50Hz PWS
MRA, Максимальный рабочий ток	400V/50Hz и 460V/60Hz (A)	32,4
LRA, Максимальный пусковой ток	400V/50Hz и 460V/60Hz, PWS (A)	74,8
Максимальная потребляемая мощность	кВт	17,8
Класс защиты	-	IP56
Максимальное давление, НР	Бар	30
Максимальное давление, LP	Бар	20,5

Исходя из данных таблицы, мы можем определить требуемую мощность двигателя для привода, она составляет 11кВт.

На рисунке 5 представлены размеры и подключения компрессора.



Всасывающий вентиль (42 мм); Нагнетательный вентиль (28,6 мм); А – Длина (550мм); В – Ширина (405мм); С – Высота (405мм); D – Отверстия для крепежа (292мм); E – Отверстия для крепежа (266мм); F – Всасывающий вентиль (147мм); G – Всасывающий вентиль (115мм); Н – Всасывающий вентиль (61мм); L – Нагнетательный вентиль (133мм); М – Нагнетательный вентиль (298мм); N – Нагнетательный вентиль (23мм).






1 – Заглушка нагнетания; 2 – Заглушка всасывания; 3 – Заглушка (заправка масла); 4 – Смотровое стекло; 5 – Место установки ТЭ; 6 – Заглушка (слив масла); 12 – Заглушка (возврат масла); DV – Нагнетательный вентиль; SV – Всасывающий вентиль; NP – Заводская этикетка на компрессоре

Рисунок 5 – Размеры и подключения компрессора

Таблица 3 – Характеристики для фреона R507A при различных условиях применения.

Полугерметичные поршневые компрессоры

Характеристики для R404A-R507A [50 Гц]

Компрессор	Версия двигателя	Т конд. [°C]	Qo [Вт] = Холодопроизв-ть Pe [кВт] = потр. мощность ①	Температура испарения [°C]											
				5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	
Q7-36.1Y		1	30	Qo			29191	24167	19770	15951	12666	9868	7511	5549	3936
				Pe			7,88	7,42	6,9	6,33	5,72	5,09	4,45	3,82	3,20
		40	Qo			24673	20325	16534	13256	10442	8048	6028	4334	2921	
			Pe			9,10	8,40	7,65	6,88	6,10	5,31	4,54	3,79	3,08	
		50	Qo			20173	16505	13328	10594	8258	6273	4594	3173		
			Pe			10,11	9,18	8,23	7,27	6,33	5,40	4,51	3,66		
S8-42Y		2	30	Qo			33430	27691	22663	18287	14504	11257	8487	6137	4147
				Pe			8,67	8,15	7,56	6,91	6,22	5,49	4,74	3,97	3,21
		40	Qo			28341	23401	19083	15328	12078	9276	6862	4778	2967	
			Pe			9,93	9,17	8,35	7,50	6,62	5,73	4,83	3,94	3,07	
		50	Qo			22954	18862	15302	12218	9550	7240	5230	3463		
			Pe			10,91	9,92	8,91	7,88	6,84	5,80	4,78	3,78		
S12-42Y		1	30	Qo	45911	38508	31958	26205	21195	16872	13181	10068			
				Pe	8,63	8,37	7,98	7,50	6,94	6,31	5,64	4,95			
		40	Qo	39041	32568	26869	21889	17573	13866	10713	8059				
			Pe	10,32	9,75	9,09	8,36	7,57	6,74	5,90	5,06				
		50	Qo	32203	26668	21829	17629	14016	10933	8325	6138				
			Pe	11,76	10,90	9,98	9,02	8,02	7,01	6,01	5,04				
S10-52Y		2	30	Qo			39744	32862	26979	21974	17724	14105	10995	8270	5809
				Pe			10,59	10,06	9,37	8,56	7,68	6,76	5,85	4,99	4,22
		40	Qo			34176	28191	23096	18767	15081	11915	9146	6651	4308	
			Pe			12,48	11,61	10,62	9,54	8,42	7,30	6,22	5,23	4,35	
		50	Qo			28585	23477	19147	15471	12327	9591	7142	4855		
			Pe			14,16	12,97	11,69	10,36	9,01	7,70	6,46	5,34		
S15-52Y		1	30	Qo	58615	49134	40907	33806	27703	22470	17979	14102			
				Pe	10,59	10,48	10,17	9,67	9,04	8,31	7,51	6,69			
		40	Qo	50269	42130	35080	28990	23731	19177	15200	11671				
			Pe	13,15	12,62	11,93	11,10	10,18	9,20	8,19	7,20				
		50	Qo	41797	35001	29128	24050	19638	15764	12301	9121				
			Pe	15,44	14,51	13,46	12,32	11,12	9,90	8,71	7,57				

Определим мощность и холодопроизводительность компрессора при конденсации 45⁰ с помощью метода интерполяции.

$$f(X) = f(X_1) - \frac{(f(X_1) - f(X_3)) * (X - X_1)}{(X_2 - X_1)}$$

$$= 11671 - \frac{(11671 - 9121) * (45 - 40)}{(50 - 40)} = 10376 \text{ Вт}$$

$$f(X) = f(X_1) + \frac{(f(X_2) - f(X_1)) * (X - X_1)}{(X_2 - X_1)} = 7,2 - \frac{(7,2 - 7,57) * (45 - 40)}{(50 - 40)}$$

$$= 7,015 \text{ Вт}$$

В рабочем диапазоне температуры компрессор будет потреблять 7,015 кВт. Компрессор потребляет различную мощность, которая зависит от нескольких факторов, таких как температура конденсации, сопротивление на валу двигателя и т.д.

Определяем номинальное значение тока статора:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{H}}}{\sqrt{3} * U_{\text{НОМ}} * \cos\varphi * \eta} = \frac{7015}{\sqrt{3} * 380 * 0,85 * 0,85} = 14,75 \text{ А}$$

При раздельном подключении обмоток 7,375 А

Мощность, потребляемая из сети:

$$P_1 = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}} = \frac{7,015}{0,85} = 8,25 \text{ кВт}$$

Номинальный момент:

$$M = 9,55 \frac{P_{\text{НОМ}}}{n_2} = \frac{9,55 * 7015}{1450} = 46,2 \text{ Н * м}$$

Номинальное скольжение:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1500 - 1450}{1450} = 0,033 = 3,3\%$$

Частота тока в роторе:

$$f = f_1 * s = 50 * 0,033 = 1,65 \text{ Гц}$$

2. Обоснование выбора частотно-регулируемого электропривода

Частотное регулирование компонентов холодильной системы является наиболее гибким и энергоэффективным методом, как показывает как теория, так и практика. В большинстве случаев холодильные системы работают с нижней производительностью, поскольку они рассчитаны на колоссальные нагрузки, которые могут никогда не наступить. Компрессоры разных типов, включая винтовые с регулировкой производительности и поршневые с управлением производительности при помощи соленоидных клапанов, работают в режиме "вкл/выкл".

При снижении холодопроизводительности компрессоров обычное управление не позволяет достичь максимального сокращения потребления электроэнергии. При стандартном управлении скорость вращения электродвигателя не контролируется, а нагрузка на его валу зависит от произведения частоты вращения и крутящего момента. Однако использование преобразователей частоты может заметно улучшить регулирование компрессоров. Преобразователь частоты позволяет регулировать скорость вращения главного компрессора для поддержания постоянного давления всасывания. Это повышает КПД холодильной системы и снижает энергопотребление.

2.1. Выбор способа и закона частотного регулирования

Частотное управление - это способ управления электродвигателем переменного тока путем изменения питающего напряжения, подаваемого на электродвигатель. Для регулирования скорости вращения электродвигателя поршневого компрессора был выбран способ управления скалярным законом регулирования с разомкнутым контуром. Скалярный способ регулирования с разомкнутым контуром обладает несколькими преимуществами:

Простота управления: этот метод не требует сложных систем обратной связи или настройки параметров, поэтому он легче в настройке и эксплуатации.

Надежность: поскольку скалярный способ регулирования использует простой закон управления, он более надежен в работе и менее подвержен сбоям.

Экономия энергии: скалярный способ регулирования позволяет уменьшить скорость вращения электродвигателя и, следовательно, снизить потребление электроэнергии при работе холодильной установки.

Плавность регулирования: скалярный закон управления обеспечивает плавное изменение скорости вращения электродвигателя, что повышает комфортность работы и снижает вибрации.

Гибкость настройки: этот метод позволяет настраивать характеристики управления в соответствии с требованиями технологического процесса, что увеличивает гибкость и эффективность работы холодильной установки. Типы компрессоров, такие как поршневые, винтовые, и т.п., относятся к устройствам с постоянным крутящим моментом. Исходя из этого можно понять, что мощность на валу двигателя определяется способом управления производительностью, влияющим на крутящий момент, а не скорость вращения. Таким образом, уменьшив скорость вращения на 50% мощность на валу двигателя уменьшится в 2 раза. Принимая во внимание вышесказанное, может быть принят один из двух законов частотного управления: $\frac{U}{f} = const$

2.2. Нагрузочная характеристика поршневого компрессора

Объемные компрессоры являются устройствами с постоянным крутящим моментом. Таким образом, крутящее усилие, которое требуется для вращения вала, не изменяется в зависимости от скорости вращения. Мощность на валу компрессора определяется рабочими условиями, такими как давление, а также способом управления производительностью, который влияет на крутящий момент. График зависимости максимального момента на валу компрессора от частоты вращения вала представлен на рисунке 6.

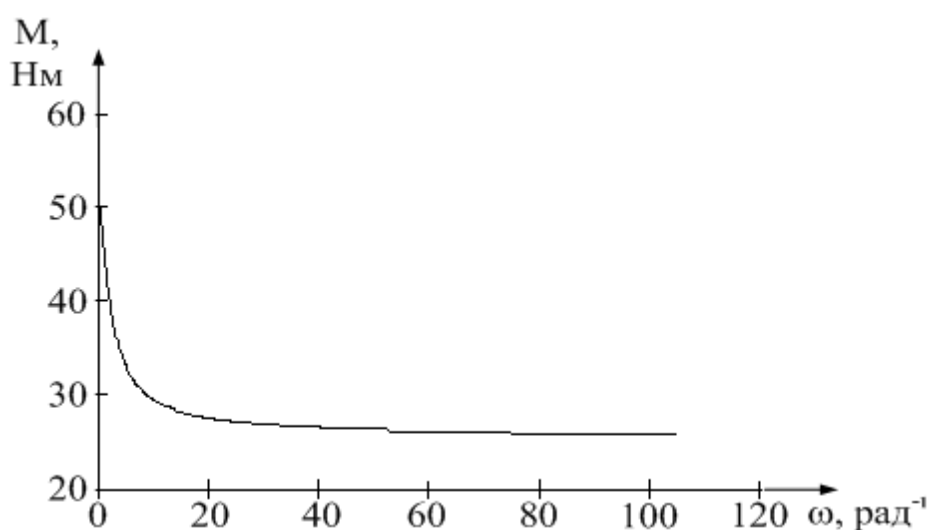


Рисунок 6 – Зависимость максимального момента от частоты вращения вала

Для определения момента, создаваемого компрессором, необходимо учитывать несколько параметров:

КПД компрессора, частота вращения вала компрессора: чем больше частота вращения вала компрессора, тем больший момент он создаст, диаметр вала компрессора, число ступеней, скорость и давления входного воздуха, а также коэффициент сжатия: чем выше коэффициент сжатия, тем больше момент будет создаваться при сжатии воздуха [7].

3. Выбор электродвигателя для привода компрессора

Для создания регулируемого электропривода необходимо использовать электродвигатель общепромышленного назначения серии АИС, соответствующий европейскому стандарту "DIN (cenelec)" и имеющий самовентиляцию и степень защиты IP55, чтобы удовлетворить требованиям технических характеристик.

При выборе номинальной скорости электродвигателя необходимо учитывать условия $\omega_{дв.н} \geq \omega_{эп.макс}$, что, в свою очередь, создает необходимость регулировать скорость двигателя в первой зоне ($f_{и} \leq 50$ Гц), где $\omega_{эп.макс} = \omega_{нас}$

3. При выборе мощности электродвигателя учитываются соотношения между кратковременно и длительно допустимыми током и моментом, а также зависимость мощности двигателя от скорости.

4. Номинальная мощность электродвигателя выбирается с учетом длительной работы и должна соответствовать следующему условию: $P_{дв.н} \geq P_{дв.потр}$, где $P_{дв.потр} = P_{полн}$.

Для обеспечения требуемой производительности компрессора в режиме продолжительной работы с постоянной нагрузкой, мощность электродвигателя выбирается с учетом технических характеристик компрессора и должна иметь максимальную производительность [8].

Для данного компрессора необходима мощность двигателя в 11 кВт. Был выбран электродвигатель АИС160М4 с защитой IP55. Технические данные выбранного электродвигателя представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Рабочие характеристики АИС160М4

Рабочие характеристики АИС160М4

Тип	P_n , кВт	n , об./мин.	КПД, %	$\cos \phi$	I_n / I_n	M_n / M_n	M_{max} / M_n	I_n , А	Масса, кг
АИС132S4	5,5	1440	85,7	0,82	7,0	2,3	2,3	11,70	39,0
АИС132М4	7,5	1450	87,0	0,84	7,0	2,3	2,3	15,60	48,6
АИС132LA4	9,2	1460	87,5	0,85	7,0	2,3	2,3	18,80	56,5
АИС132LB4 (LC4)	11,0	1460	88,0	0,85	7,0	2,3	2,3	22,30	64,0
АИС160М4	11,0	1460	88,0	0,85	7,0	2,3	2,3	22,30	73,0

3.1. Расчет схемы замещения электродвигателя

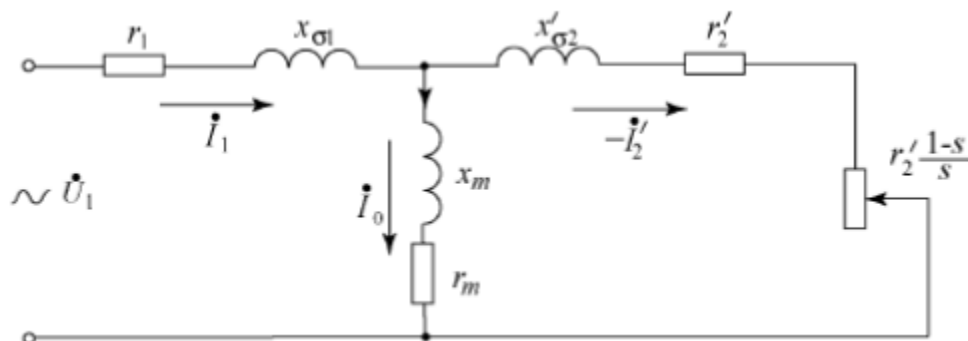


Рисунок 7 – Схема замещения электродвигателя

Параметры схемы замещения определяем по методике, предложенной в [9].

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1H}^2 - [p_* * \frac{I_{1H}(1-s)}{(1-p_* * s_H)}]^2}{1 - [p_* * \frac{1-s_H}{(1-p_* * s_H)}]^2}} = \sqrt{\frac{17,05 - [0,750 * \frac{22,28 * 1 - 0,026}{1 - 0,750 * 0,026}]^2}{1 - [0,750 * \frac{1 - 0,026}{1 - 0,750 * 0,026}]^2}}$$

$$= 5,830 \text{ A}$$

Ток статора двигателя с частичной нагрузкой:

$$I_{11} = \frac{p_* * P_H}{3 * U_{1H} * \cos\varphi_{p_*} * \eta_{p_*}} = \frac{0,750 * 11000}{3 * 220 * 0,833 * 0,880} = 17,05 \text{ A}$$

Номинальный ток статора двигателя:

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3 * U_{1H} * \cos\varphi_H * \eta_H} = \frac{11000}{3 * 220 * 0,850 * 0,880} = 22,28 \text{ A}$$

$\eta_{p_*} = \eta_H = 0,88$ – КПД при частичной нагрузке;

$\cos\varphi_{p_*} = 0,98 * 0,85 = 0,834$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке.

Критическое скольжение:

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

$$= 0,0260 \frac{2,3 + \sqrt{2,30^2 - [1 - 2 * 0,0260 * 1,3(2,30 - 1)]}}{1 - 2 * 0,0260 * 1,3(2,30 - 1)} = 0,125$$

Определим коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 * k_i * I_{1H}} = 1 + \frac{5,830}{2 * 7 * 22,280} = 1,018$$

$$A_1 = \frac{m * U_{1H}^2 * (1 - s_H)}{2 * C_1 * k_{max} * P_H} = \frac{3 * 220^2 * (1 - 0,0260)}{2 * 1,0180 * 2,3 * 11000} = 2,745$$

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

$$R'_2 = \frac{A_1}{(\beta + \frac{1}{s_k}) * C_1} = \frac{2,7450}{(1,30 + \frac{1}{0,1250}) * 1,0180} = 0,290 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = C_1 * R'_2 * \beta = 1,0180 * 0,2610 * 1,30 = 0,3830 \text{ Ом}$$

Затем требуется определить параметр γ :

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_K^2}\right) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,125^2}\right) - 1,30^2} = 7,8930$$

$$X_{KH} = \gamma * C_1 * R'_2 = 7,8930 * 1,0180 * 0,290 = 2,3560$$

Рассчитаем индуктивное сопротивление рассеяния фазы роторной обмотки:

$$X'_{2\sigma H} = 0,580 * \frac{X_{KH}}{C_1} = 0,580 * \frac{2,3560}{1,0180} = 1,3420 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы статорной обмотки:

$$X_{1\sigma H} = 0,420 * X_{KH} = 0,420 * 2,3560 = 0,9890 \text{ Ом}$$

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

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{(U_{1H} * \cos\varphi_{1H} - R_1 * I_{1H})^2 + (U_{1H} \sqrt{(1 - \cos^2\varphi_{1H} - X_{1\sigma H} * I_{1H})^2} \\ &= \sqrt{(220 * 0,850 - 0,3830 * 22,280)^2} \\ &+ (220 \sqrt{(1 - 0,850^2 - 0,989 * 22,280)^2})^2 = 182,680 \text{ В} \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания:

$$X_m = \frac{E_m}{I_0} = \frac{182,680}{5,830} = 31,330 \text{ Ом}$$

3.2. Расчет статических характеристик асинхронного двигателя. Анализ полученных результатов

Определяем синхронную угловую скорость двигателя [10]:

$$\omega_0 = \frac{\pi * n}{30} = \frac{3,14 * 1500}{30} = 157,075 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Электромагнитный момент:

$$M = \frac{m_1 * U_{1\phi H}^2 * R'_2}{\omega_0 * s * [(R_1 + R'_2 * s^{-1})^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2]}$$

$$= \frac{3 * 220^2 * 0,261}{157,075 * 0,026 * [(0,345 + 0,261 * 0,026^{-1})^2 + (0,89 + 1,208)^2]}$$

$$= 82,695 \text{ Н * м}$$

Номинальная скорость двигателя:

$$\omega_H = \omega_0(1 - s_H) = 157,07(1 - 0,026) = 152,98 \text{ рад/с}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{11000}{152,98} = 71,90 \text{ Н * м}$$

Максимальный момент двигателя:

$$M_{max} = k_{max} * M_H = 2,3 * 71,90 = 165,37 \text{ Н * м}$$

Определим зависимость тока ротора I'_2 , приведенного к обмотке статора, от скольжения:

$$I'_2 = \frac{U_{\phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R'_2}{s})^2 + X_{KH}^2}} = \frac{220}{\pm \sqrt{(0,345 + \frac{0,261}{0,026})^2 + 2,161^2}} = 22,77 \text{ А}$$

Руководствуясь проведенными расчетами, мы можем построить естественные механическую и электромеханическую характеристики, они представлены на рисунках 8-9.

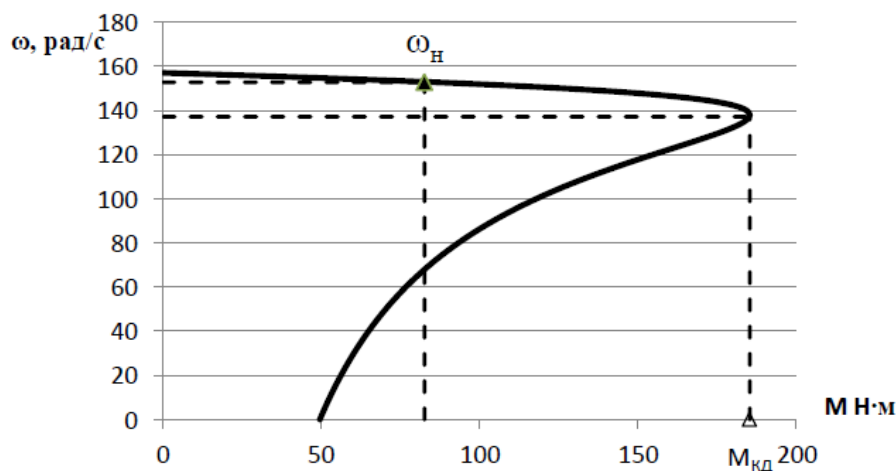


Рисунок 8 – Естественная механическая характеристика двигателя

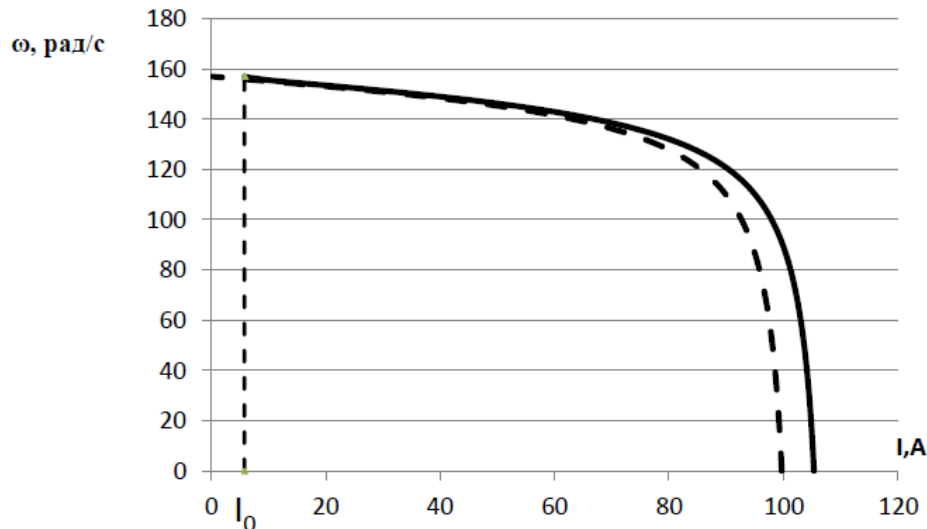


Рисунок 9 – Естественная электромеханическая характеристика двигателя

3.3. Расчет искусственных механических и электромеханических характеристик системы “Преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель”

Для гарантированного обеспечения хорошей пусковой характеристики мы выбираем наименьшую частоту для инвертора. $f_{1\text{мин}} = 10$ Гц. Мы выбираем минимальную частоту вращения компрессора в соответствии с техническими требованиями к электроприводу $n_{\text{дв.раб.мин}} = 750$ об / мин. Следовательно минимальная рабочая частота инвертора:

$$f_{\text{р.мин}} = \frac{n_{\text{дв.раб.мин}}}{n_{\text{дв.мин}}} * f_{\text{сети}} = \frac{750}{1400} * 50 = 25 \text{ Гц}$$

А максимальная частота инвертора, соответствующая работе компрессора при $n_{\text{дв.раб.макс}} = 1450 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, равна:

$$f_{\text{р.макс}} = \frac{n_{\text{дв.раб.макс}}}{n_{\text{дв.н}}} * f_{\text{сети}} = \frac{1450}{1400} * 50 = 50 \text{ Гц}$$

Если мы используем скалярное управление для электропривода компрессора, то необходимо рассчитать и построить набор механических характеристик для электродвигателя в диапазоне частот от 10 Гц до 50 Гц.

1. Проведем расчет и построим механические характеристики для электродвигателя. Используя закон управления $\frac{U}{f} = const$. Искусственная механическая характеристика $M_{эм}(s)$ электродвигателя рассчитывается по выражению[11]:

$$M_{эм}(s, f) = \frac{3 * (U_{1фн} * \frac{f_1}{f_{сети}})^2 * R'_2}{\omega_0(f_1) * s * [(X_{кн} * \frac{f_1}{f_{сети}})^2 + (R_1 + \frac{R'_2}{s})^2 + (\frac{R_1 * R'_2}{s * X_{\mu} * \frac{f_1}{f_{сети}}})^2]}$$

$$= \frac{3 * (220 * \frac{f_1}{50})^2 * 0,2610}{\omega_0(f_1) * s * [(2,1210 * \frac{f_1}{50})^2 + (0,3450 + \frac{0,2610}{s})^2 + (\frac{0,3450 * 0,2610}{s * 34,890 * \frac{f_1}{50}})^2]}$$

Где $\omega_0(f_1) = \omega_0 * \frac{f_1}{f_{сети}} = 104,7 * \frac{f_1}{50}$

Механические характеристики строятся на основе расчета для заданной частоты f_1 , где значения угловой скорости вращения двигателя определяются с помощью выражения $\omega = \omega_0(f_1) * (1 - s)$. На рисунке 10 представлены искусственные механические характеристики для различных частот.

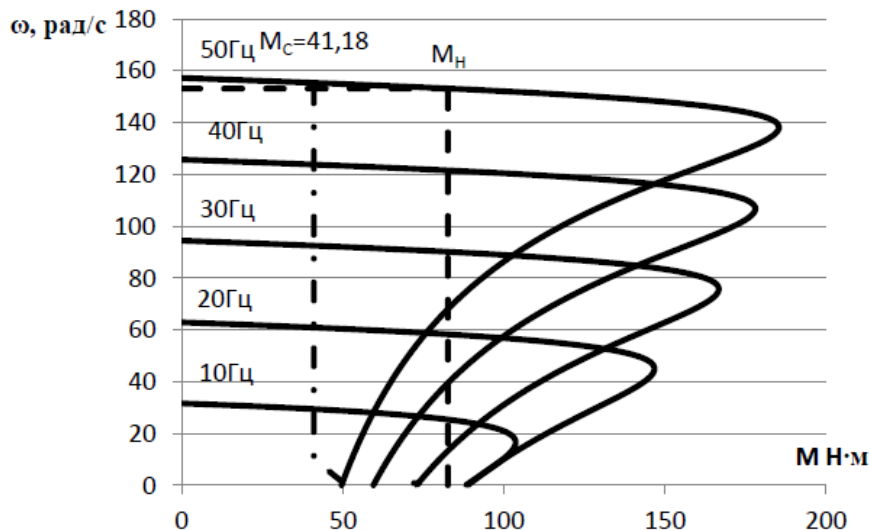


Рисунок 10 – Механическая характеристика системы преобразователь - двигатель при законе регулирования $\frac{U}{f} = const$ и постоянной нагрузке.

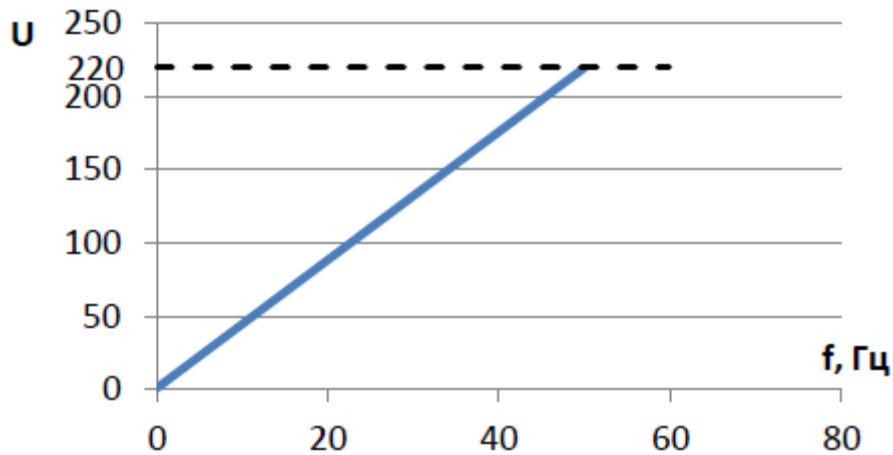


Рисунок 11 – Вольт-частотная характеристика преобразователя: при законе регулирования $\frac{U}{f} = const$

2. Произведем расчет и построение искусственных электромеханических характеристик.

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2'^2(s, f_1) + 2 * I_0(f_1) * I_2'(s, f_1) * \sin\varphi_2(s, f_1)}$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\delta} + X_\mu)^2 * (\frac{f_1}{f_{сети}})}} = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0,261^2 + (0,89 + 34,89)^2 * (\frac{f_1}{50})}}$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + X_{кн}^2 * (\frac{f_1}{f_{сети}})^2 + (\frac{R_1 * R_2'}{s * X_\mu} * \frac{f_{сети}}{f_1})^2}}$$

$$= \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{(0,345 + \frac{0,261}{s})^2 + 2,121^2 * (\frac{f_1}{50})^2 + (\frac{0,345 * 0,261}{s * 34,89} * \frac{50}{f_1})^2}}$$

$$\sin\varphi_2(s, f_1) = \frac{X_{\text{кн}} \left(\frac{f_1}{f_{\text{сети}}} \right)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{\text{кн}}^2 * \left(\frac{f_1}{f_{\text{сети}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 * R'_2}{s * X_{\mu}} * \frac{f_{\text{сети}}}{f_1} \right)^2}}$$

$$= \frac{2,121 * \left(\frac{f_1}{50} \right)}{\pm \sqrt{\left(0,345 + \frac{0,261}{s} \right)^2 + 2,121^2 * \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 + \left(\frac{0,345 * 0,261}{s * 34,89} * \frac{50}{f_1} \right)^2}}$$

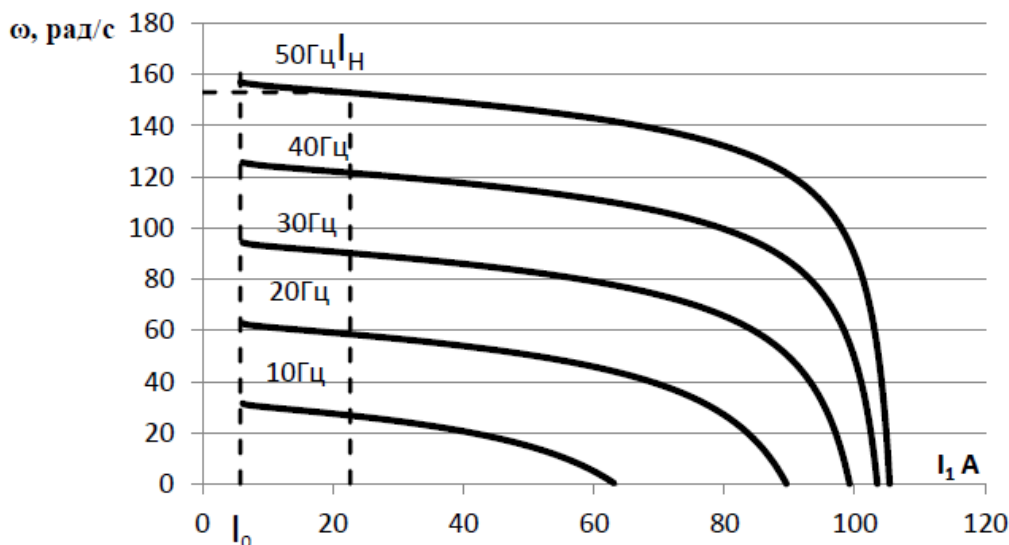


Рисунок 12 – Семейство электромеханических характеристик $\omega(I_1)$ системы ПЧ.

3.4. Выбор преобразователя частот

Для управления электродвигателем компрессора необходим преобразователь частоты, который должен соответствовать определенным характеристикам, включая номинальную мощность не менее 11 кВт, номинальный ток не менее 22.30 А, максимальный ток не менее 22.30 А, диапазон регулирования скорости не менее 1:10, точность и плавность регулирования не менее 0.01, напряжение питающей сети 3×380 В и частота питающей сети 50 Гц. В данном случае для технологического процесса не требуется большой диапазон регулирования скорости, поэтому выбран преобразователь частоты с возможностью скалярного способа управления.

Конкретно для управления электродвигателем компрессора выбран преобразователь частоты марки VLT MICRO DRIVE FC 51 132F0059 от фирмы "Danfoss" с номинальной мощностью 15 кВт, параметры которого представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры преобразователя частоты

Напряжение сети питания, В	3x380
Напряжение питания двигателя, В	3x380
Мощность, кВт	15
Номинальный ток, А	31
Перегрузочная способность, %	150% в течение минуты
Пусковой момент	150% от 1 Гц
Характеристика управления	Векторное или U/f
Протокол связи	Modbus
Тормозной прерыватель	Встроен
Тормозной резистор	Опционален

3.5. Структурная схема асинхронного двигателя

Формулы, описывающие функционирование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, в неподвижной системе координат α, β , представлены системой уравнений в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dI_{1\alpha}}{dt} = \frac{1}{\sigma * L_1} * U_{1\alpha} - \frac{R_3}{\sigma * L_1} * I_{1\alpha} + \frac{R'_2 * L_m}{\sigma * L_1 * L_2^2} * \Psi_{2\alpha} + \frac{L_m}{\sigma * L_1 * L_2} * z_p * \omega * \Psi_{2\beta}; \\ \frac{dI_{1\beta}}{dt} = \frac{1}{\sigma * L_1} * U_{1\beta} - \frac{R_3}{\sigma * L_1} * I_{1\beta} + \frac{R'_2 * L_m}{\sigma * L_1 * L_2^2} * \Psi_{2\beta} + \frac{L_m}{\sigma * L_1 * L_2} * z_p * \omega * \Psi_{2\alpha}; \\ \frac{d\Psi_{2\alpha}}{dt} = -\frac{R'_2}{L_2} * \Psi_{2\alpha} + \frac{R'_2 * L_m}{L_2} * I_{1\alpha} - z_p * \omega * \Psi_{2\beta}; \\ \frac{d\Psi_{2\beta}}{dt} = -\frac{R'_2}{L_2} * \Psi_{2\beta} + \frac{R'_2 * L_m}{L_2} * I_{1\beta} - z_p * \omega * \Psi_{2\alpha}; \\ M_{эм} = \frac{3}{2} * \frac{L_m}{L_2} * z_p * (\Psi_{2\alpha} * I_{1\beta} - \Psi_{2\beta} * I_{1\alpha}); \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} * (M_{эм} - M_c) \end{array} \right.$$

где:

$U_{1\alpha} = U_{1m} * \sin(2\pi * f_1) = \sqrt{2} * U_1 * \sin(2\pi * f_1)$ В – синусоидальная составляющая напряжения статора по оси α неподвижной системы координат α, β ;

U_1 – действующее значение фазного напряжения статорной обмотки, В;

f_1 – частота напряжения статора, Гц;

$I_{1\alpha}, I_{1\beta}$ – составляющие тока статора в системе координат α, β , А;

$\Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}$ – составляющие потокосцепления ротора в системе координат α, β , Вб;

$U_{1\beta} = U_{1m} * \cos(2\pi * f_1) = \sqrt{2} * U_1 * \cos(2\pi * f_1)$ – косинусоидальная составляющая напряжения статора по оси β системы координат α, β , В;

$U_{1m} = \sqrt{2} * U_1$ – амплитудное значение фазного напряжения статорной обмотки, В;

$M_{эм}$ – электромагнитный момент двигателя, Н*м;

M_c – момент статического сопротивления на валу двигателя, включая собственный момент трения двигателя, Н*м;

$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 * L_2}$ – коэффициент рассеяния;

J – момент инерции двигателя, кг*м²

В операторной форме записи система уравнений принимает вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1\alpha} = R_3 * (T_p * p + 1) * I_{1\alpha} - \frac{R'_2 * L_m}{L_2^2} * \Psi_{2\alpha} - \frac{L_m}{L_2} * z_p * \omega * \Psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} = R_3 * (T_p * p + 1) * I_{1\beta} - \frac{R'_2 * L_m}{L_2^2} * \Psi_{2\beta} - \frac{L_m}{L_2} * z_p * \omega * \Psi_{2\alpha}; \\ 0 = (T_2 * p + 1) * \Psi_{2\alpha} - L_m * I_{1\alpha} - \frac{L_2}{R'_2} * z_p * \omega * \Psi_{2\beta}; \\ 0 = (T_2 * p + 1) * \Psi_{2\beta} - L_m * I_{1\beta} - \frac{L_2}{R'_2} * z_p * \omega * \Psi_{2\alpha}; \\ M_{эм} = -\frac{3}{2} * \frac{L_m}{L_2} * z_p * (\Psi_{2\alpha} * I_{1\beta} - \Psi_{2\beta} * I_{1\alpha}); \\ \omega = \frac{1}{J * p} * (M_{эм} - M_c). \end{array} \right.$$

где

$$R_3 = R_1 + R'_2 * \frac{L_m^2}{L_2^2}; \quad T_3 = \frac{\sigma * L_1}{R_3}; \quad T_2 = \frac{L_2}{R'_2}.$$

Данным уравнениям соответствует схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, представленная в структурной форме в неподвижной системе координат статора α, β , как показано на рисунке 13.

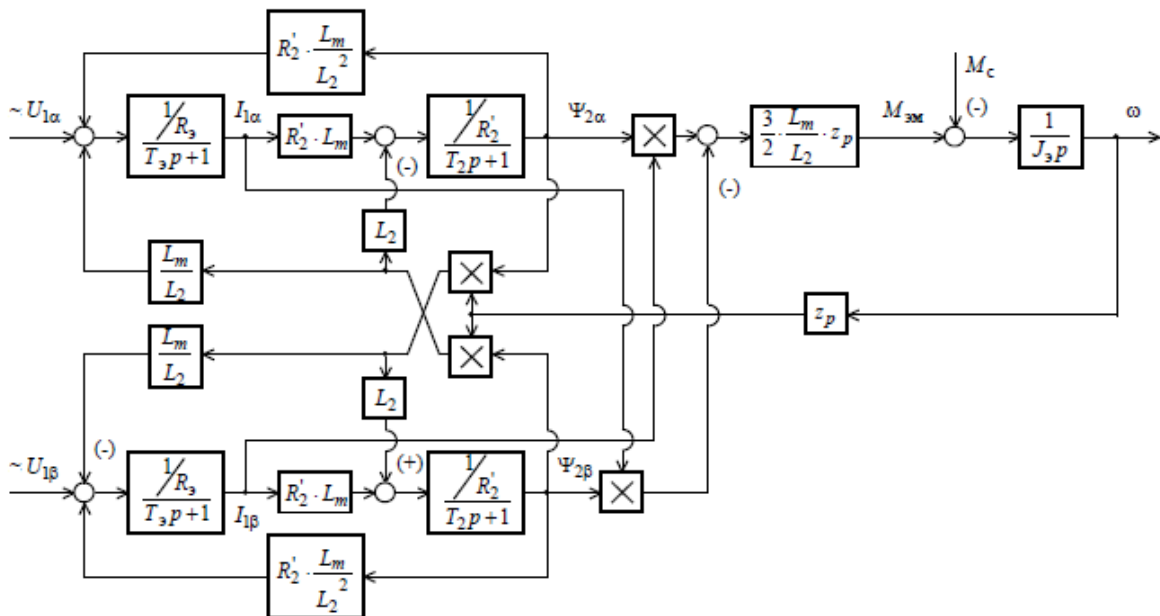


Рисунок 13 – Структурная схема асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат статора α, β

3.6. Расчет переходных процессов пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть и при изменении нагрузки.

Для вычисления переходных характеристик мы будем использовать имитационную модель короткозамкнутого асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат. Чтобы создать эту модель, мы должны определить следующие параметры двигателя:

Индуктивности рассеяния обмоток статора и ротора:

$$L_{1\sigma} = \frac{x_{1H}}{2\pi f} = \frac{0,9890}{3 * 3,14 * 50} = 0,0031 \text{ Гн};$$

$$L_{2\sigma} = \frac{x'_{2H}}{2\pi f} = \frac{1,3420}{3 * 3,14 * 50} = 0,0042 \text{ Гн.}$$

Взаимная индуктивность:

$$L_m = \frac{x_m}{2\pi f} = \frac{31,330}{2 * 3,14 * 50} = 0,09970 \text{ Гн}$$

Полные индуктивности обмоток статора и ротора:

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0,00310 + 0,09970 = 0,1028 \text{ Гн};$$

$$L_2 = L_{2\sigma} + L_m = 0,00420 + 0,09970 = 0,1039 \text{ Гн.}$$

Коэффициент рассеяния:

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 * L_2} = 1 - \frac{0,09970^2}{0,1028 * 0,10390} = 0,0690$$

Эквивалентное сопротивление:

$$R_3 = R_1 + R'_2 * \frac{L_m^2}{L_2^2} = 0,383 + 0,290 * \frac{0,09970^2}{0,10390^2} = 0,650 \text{ Ом}$$

Электромагнитные постоянные времени:

$$T_3 = \frac{\sigma * L_1}{R_3} = \frac{0,00690 * 0,1028}{0,650} = 0,0109 \text{ с};$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R'_2} = \frac{0,10390}{0,290} = 0,358 \text{ с.}$$

Момент инерции двигателя:

$$J_{дв} = 0,020 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Примем момент инерции на валу машины:

$$J_{\Sigma} = 2 * J_{дв} = 2 * 0,020 = 0,040 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Определим функцию нагрузки и установим момент трения $M_0 = 1,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Предположим, что при частоте $f_{1н} = 50 \text{ Гц}$ нагрузка будет проходить через точку номинального режима двигателя. Затем мы вычислим коэффициент:

$$k = \frac{M_H - M_0}{\omega_H^2} = \frac{71,9 - 1,2}{152,98^2} = 0,003$$

На вход модели подаются гармонические сигналы $U_{1\alpha} = U_{1m} \sin(\omega t) = 311 * \sin(314 * t)$ и $U_{1\beta} = -U_{1m} \cos(\omega t) = -311 * \cos(314t)$

Для моделирования работы асинхронного двигателя будем использовать программу MatLab Simulink. На рисунке 14 представлена схема имитационной модели.

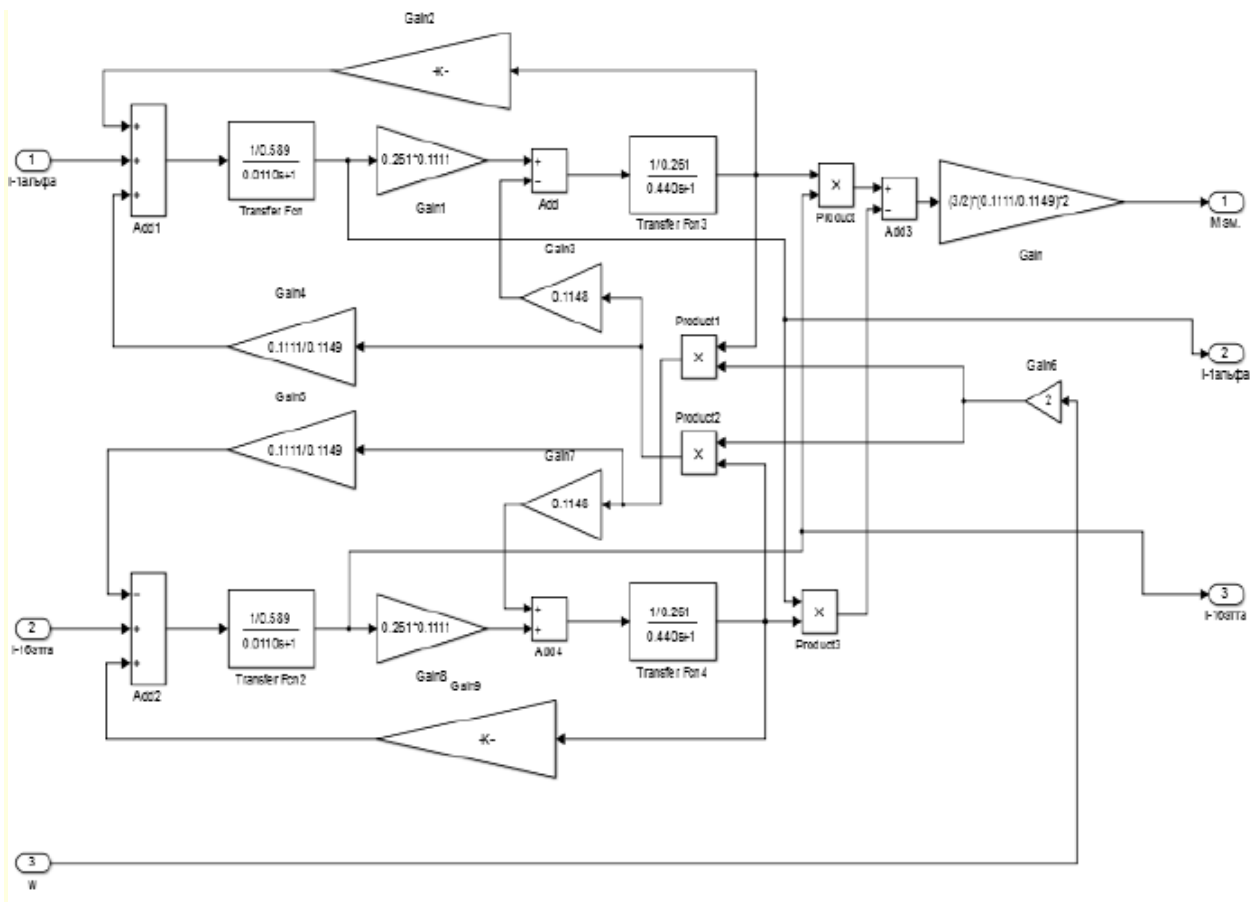


Рисунок 14 – Имитационная модель двухфазного АД в программной среде MatLab Simulink

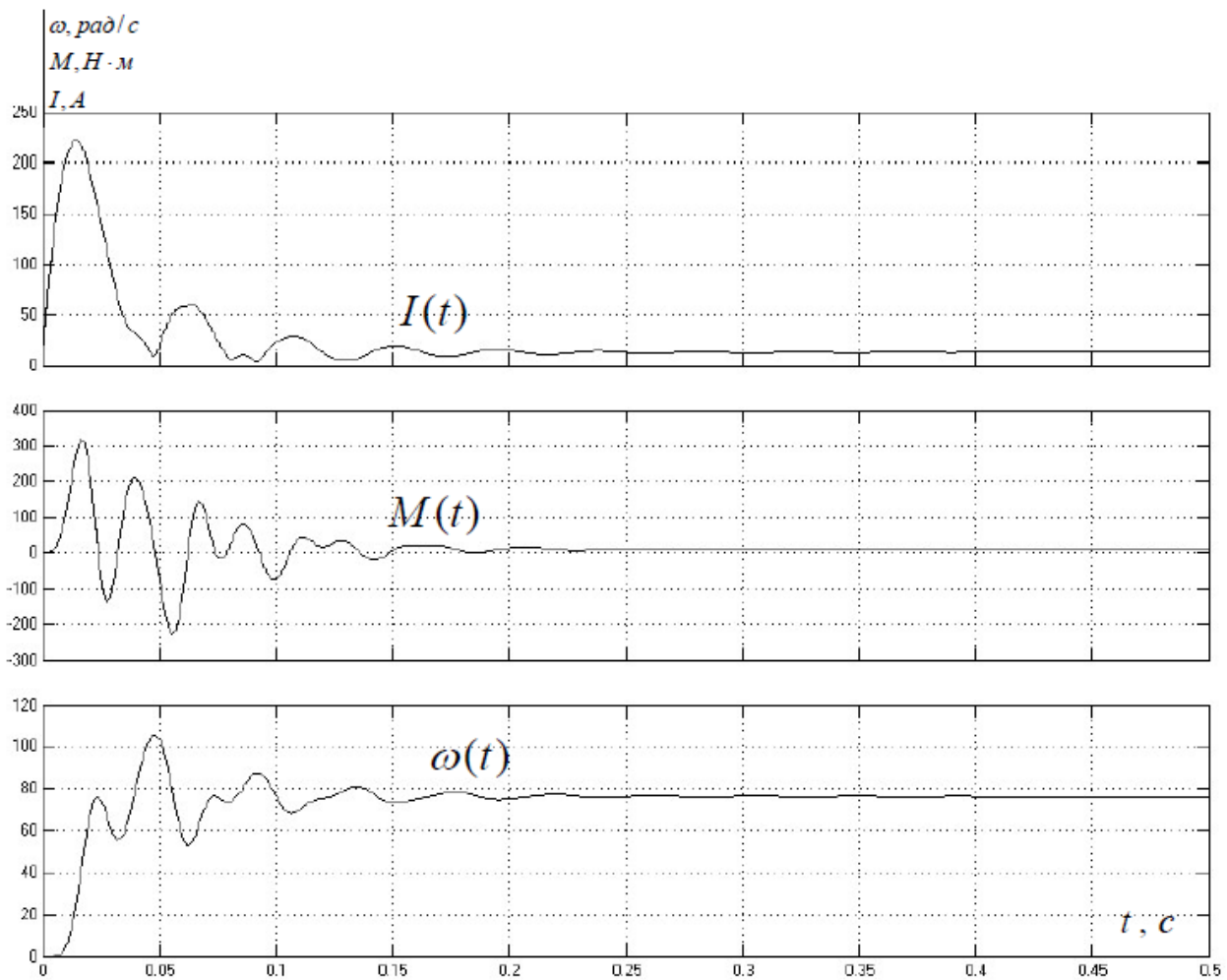


Рисунок 15 – Характеристики асинхронного двигателя при прямом пуске без нагрузки

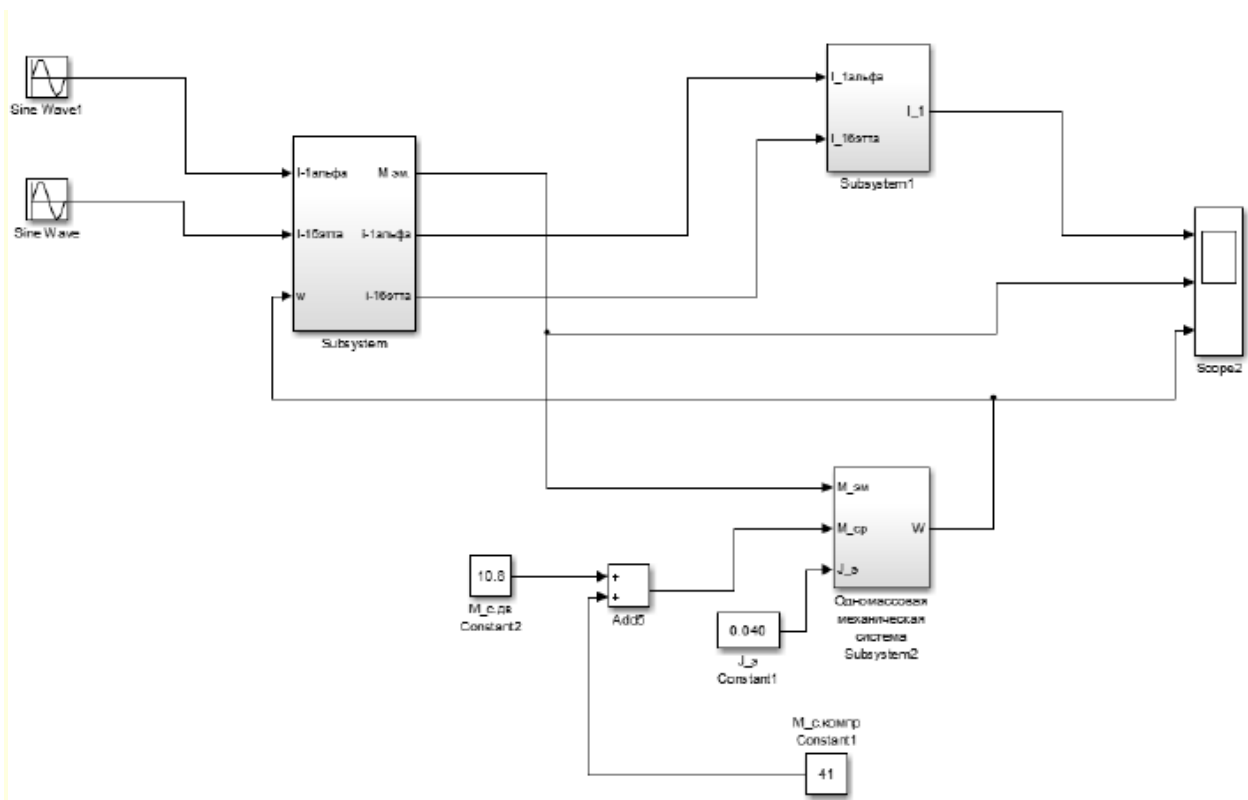


Рисунок 16 – Имитационная модель двухфазного асинхронного двигателя с одномассовой механической системой и постоянной нагрузкой

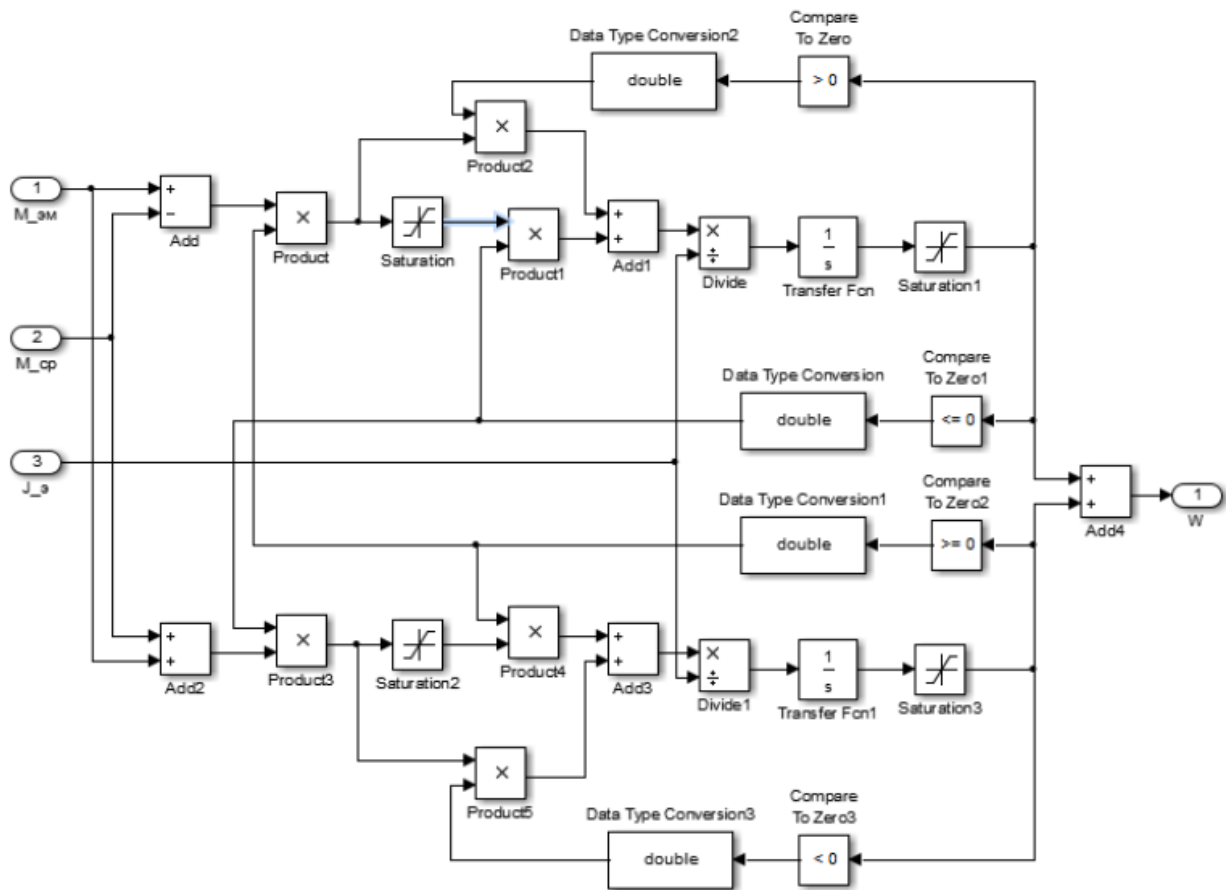


Рисунок 18 – Имитационная модель одномассовой механической системы

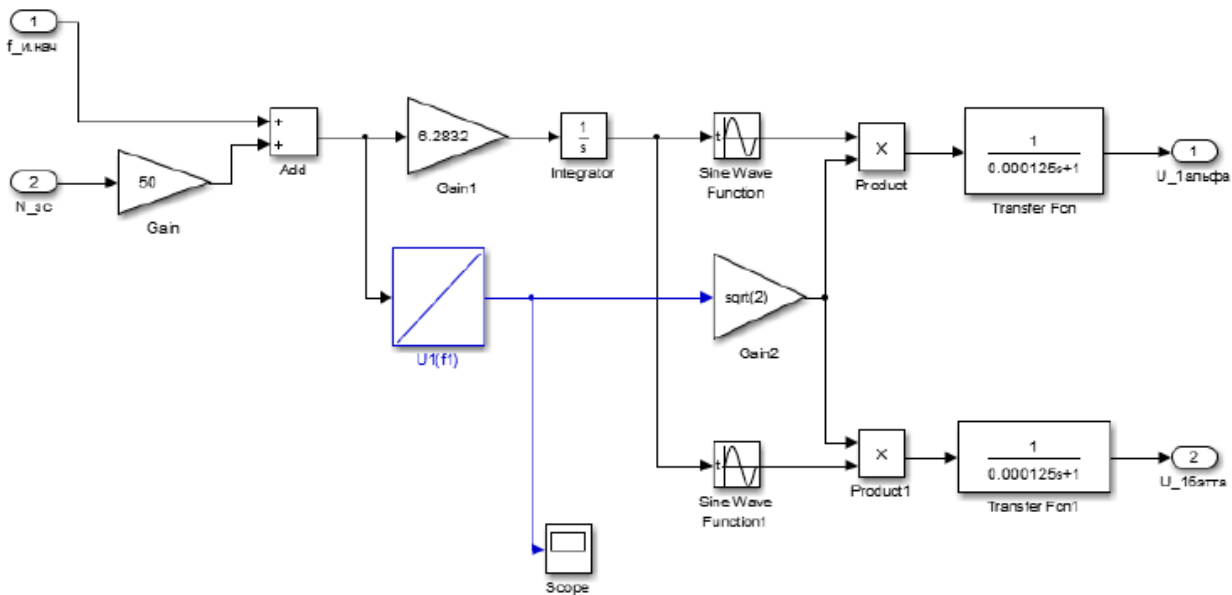


Рисунок 19 – Имитационная модель формирователя напряжений управления

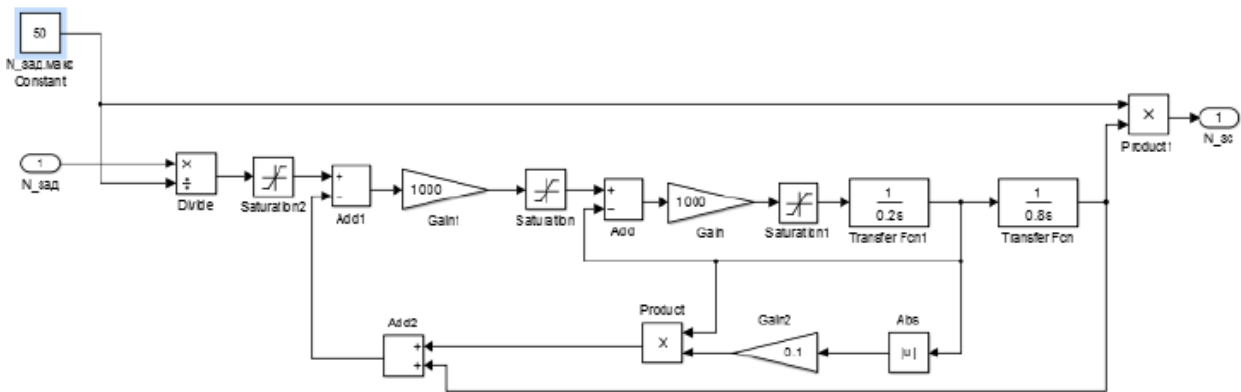


Рисунок 20 – Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной выходной характеристикой

Таблица 5 содержит три точки, которые определяют вольт-частотную характеристику в блоке ФНУ.

Таблица 5 – Параметры вольт-частотной характеристики преобразователя

f1, Гц	44	132	220
U1, В	10	30	50

Мы принимаем, что период квантования напряжения инвертора примерно равен постоянной времени запаздывания, используемой при ШИМ. $T_3 = \frac{1}{f_{in}} =$

$$\frac{1}{8000} = 0,000125\text{с},$$

где $f_{in} = 8000$ – несущая частота инвертора.

3.7. Моделирование частотно-регулируемого асинхронного электропривода поршневого компрессора со скалярным управлением

Мы будем сравнивать три метода запуска компрессора и выявим, какой из них наиболее эффективен:

Прямой пуск электропривода без использования преобразователя частоты;

Прямой пуск электропривода с использованием преобразователя частоты, но без использования регулятора интенсивности;

Прямой пуск электропривода с использованием преобразователя частоты и регулятора интенсивности.

3.7.1. Прямой пуск электропривода без преобразователя частоты

Моделирование в программной среде MATLAB Simulink пуска без преобразователя частоты представлено на рисунке 21.

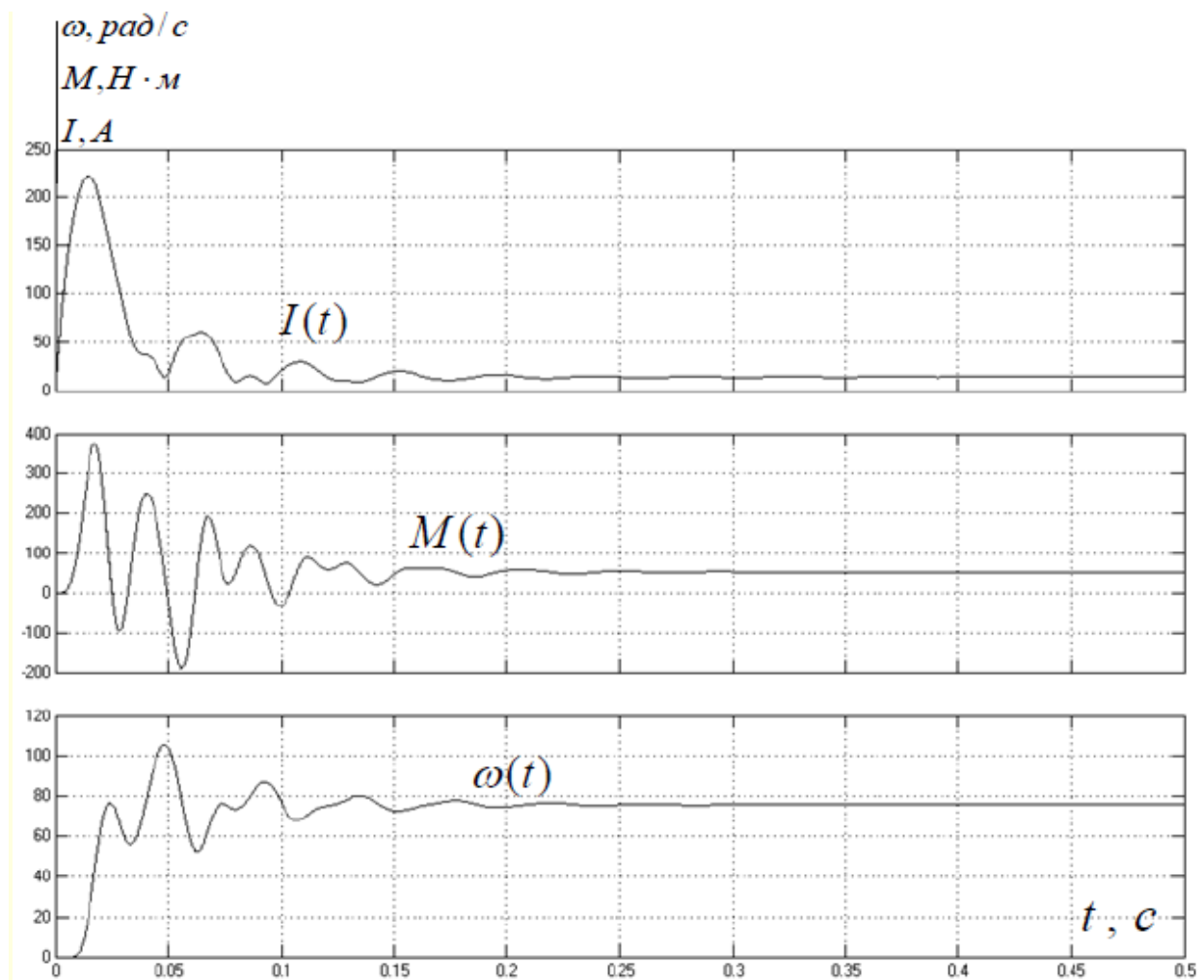


Рисунок 21 – Моделирование прямого пуска электропривода

Частотный пуск электропривода с преобразователем частоты, без датчика интенсивности

Моделирование в программной среде MatLab Simulink пуска с преобразователем частоты, но без датчика интенсивности представлено на рисунке 22.

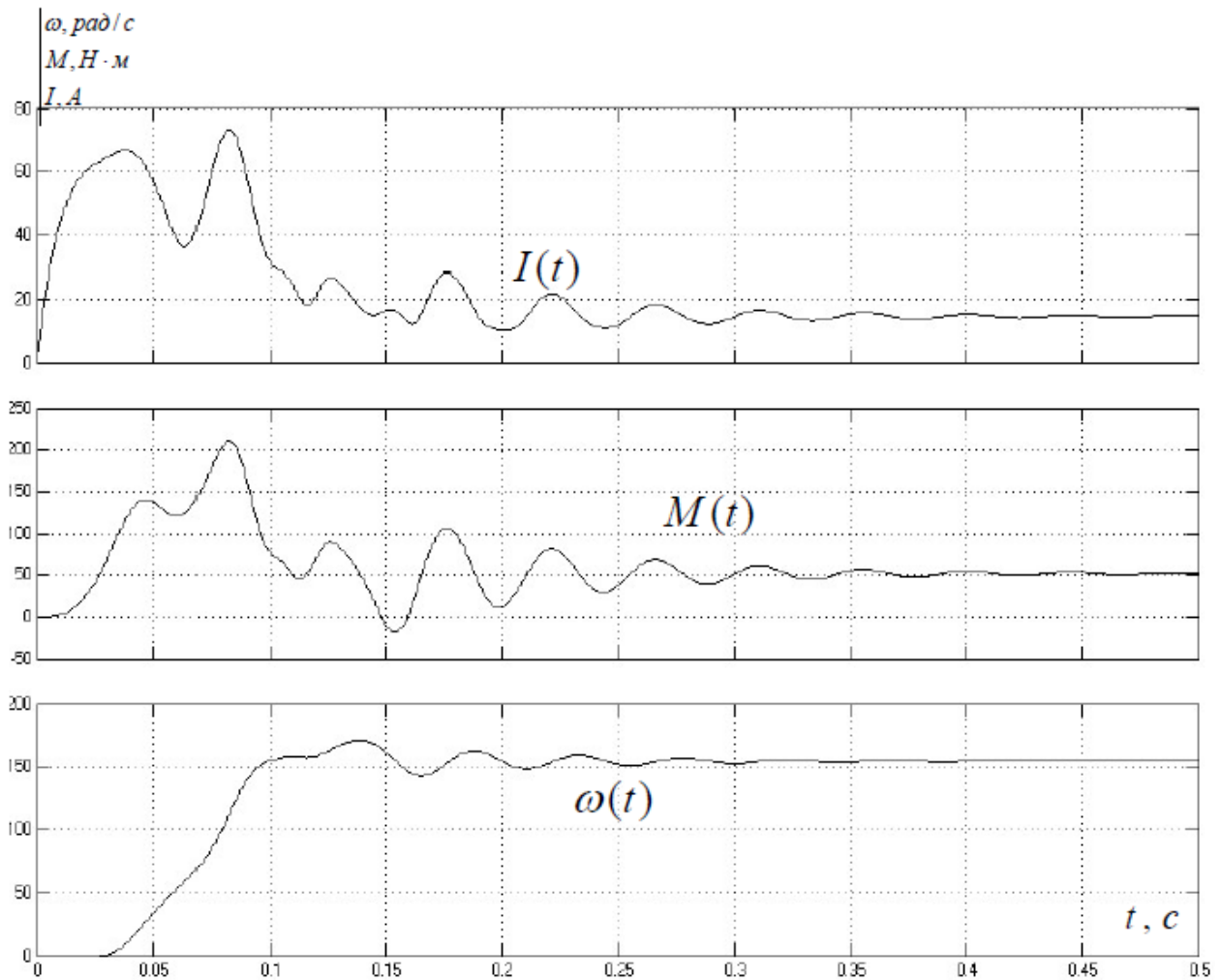


Рисунок 22 – Имитация пуска электропривода без датчика интенсивности

3.7.2. Частотный пуск электропривода с преобразователем частоты с датчиком интенсивности

На рисунке изображено моделирование процесса пуска с применением преобразователя частоты и датчика интенсивности в программном продукте MATLAB Simulink.

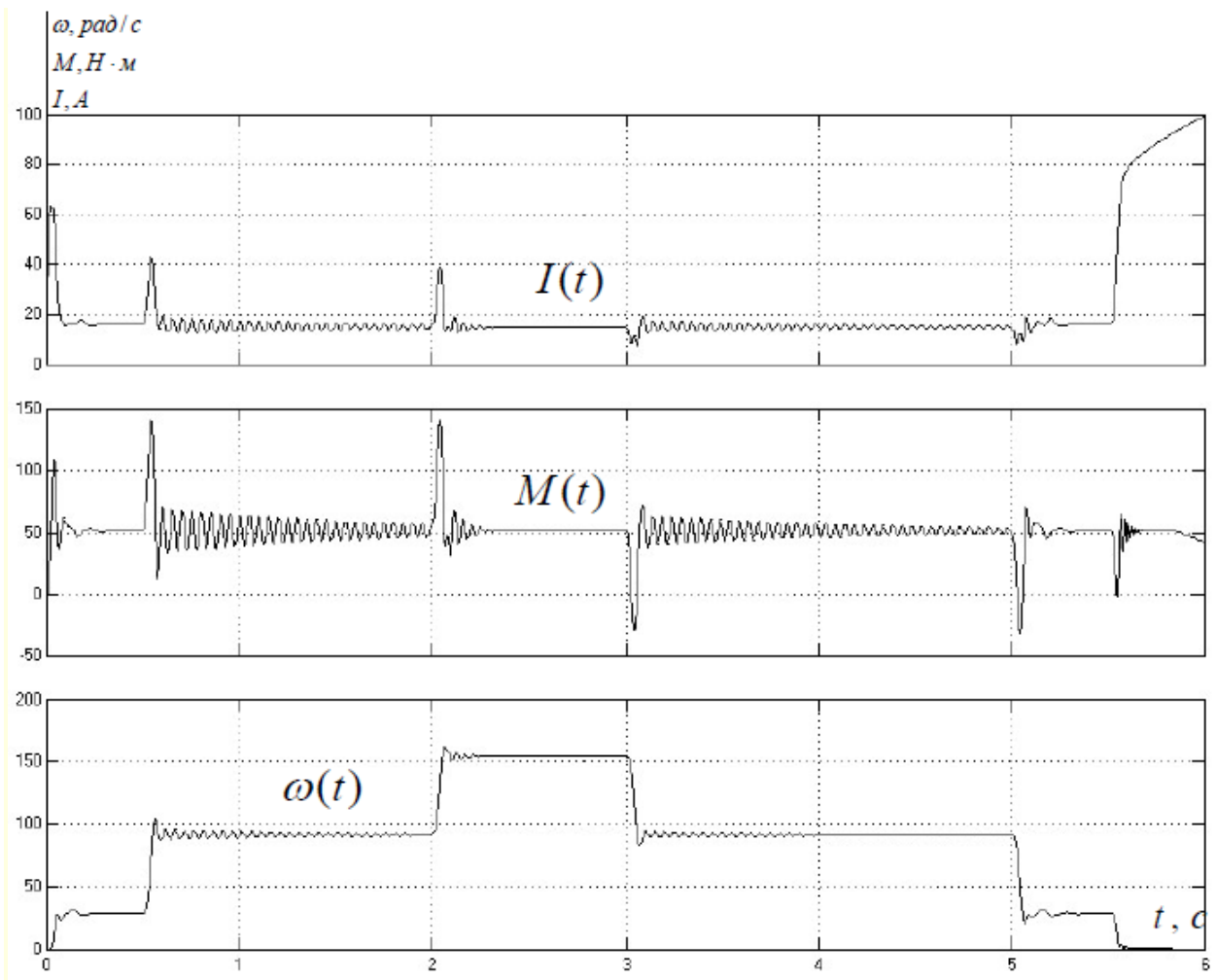


Рисунок 23 – Имитация прямого пуска электропривода с ПЧ и датчиком интенсивности

Выводы: Результаты имитационного моделирования процессов скалярного частотного пуска асинхронного двигателя компрессора показывают, что:

При прямом пуске без преобразователя частоты возникает значительный бросок тока, который вызывает перегрузку источника питания и резкий провал напряжения, что может перегрузить механические части компрессора и самого электродвигателя.

При прямом пуске с частотным преобразователем без задатчика интенсивности нарастание тока уменьшает проблемы, сопровождающие переходные процессы пуска компрессора, и повышает срок службы электродвигателя и компрессора за счет снижения ударных нагрузок.

При пуске двигателя с ПЧ и задатчиком интенсивности обеспечивается мягкий пуск двигателя с регулируемой частотой вращения электродвигателя компрессора и ограничением бросков пускового тока, что способствует росту коэффициента полезного действия холодильной машины (COP) системы и снижению энергопотребления.

Сравнение трех пусковых режимов электропривода компрессора показало, что частотный пуск с задатчиком интенсивности является наиболее предпочтительным с точки зрения энергоэффективности.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель данного раздела выпускной квалификационной работы является экономическое планирование в рамках разработки проекта «Электропривод компрессора холодильной установки».

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований;
- Провести SWOT-анализ для выявления сильных и слабых сторон проекта;
- Произвести планирование научно-исследовательских работ;
- Определить бюджет научного проекта;
- Определить ресурсоэффективность проекта.

4.1.1. Анализ потенциальных потребителей

Для проведения анализа потребителей результатов исследования необходимо провести сегментирование целевого рынка.

Сегментирование рынка – разделение потребителей на группы, для каждой из которых может продаваться определенный товар.

Для различных целей используются разные типы компрессоров.

Согласно ГОСТ 28567-90 по развиваемому давлению компрессоры делят на 4 категории:

Низкого – компрессор с конечным давлением до 1,5 МПа. Среднего – компрессор с конечным давлением от 1,5 до 10 МПа. Высокого – компрессор с конечным давлением до от 10 до 100 МПа. Сверхвысокого – компрессор с конечным давлением свыше 100 МПа.

Основные области применения таких компрессоров: металлургия, химическая промышленность, криогенная техника.

Для построения карты сегментирования рынка (таблица 6) выберем два критерия: величина развиваемого давления и область применения.

Таблица 6 – Карта сегментирования рынка компрессоров

	Металлургия	Химическая промышленность	Криогенная техника
Низкое	Ц, П	Ц, П, В	П
Среднее	Ц	Ц, П, В	Ц, П
Высокое	Ц	Ц	Ц

Где Ц – центробежные компрессоры, П – поршневые компрессоры, В – винтовые компрессоры.

В металлургии почти всегда будут использоваться центробежные компрессоры. В химической промышленности возможно применения практически любых типов компрессоров, за исключением высокой мощности. В криогенной технике используются поршневые и центробежные компрессоры.

В нашем случае предпочтительнее использовать поршневые компрессоры, т.к. они имеют низкую стоимость, просты в эксплуатации, а также их можно отремонтировать в случае износа.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

На первом этапе необходимо произвести анализ конкурентных технических решений, которые могут быть приняты при проектировании электропривода компрессора холодильной установки. Такой анализ сможет помочь внести изменения в текущий проект для достижения его конкурентоспособности. Анализ проводится с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения с помощью сравнительной

оценочной карты. Для этого проводится сравнение возможных типов компрессоров, используемых в криогенной технике:

- Центробежные компрессоры;
- Поршневые компрессоры;

Итогом данного сравнения стало выявление наиболее предпочтительного типа компрессора, который будет отвечать требованиям надежности, безопасности, ресурсосбережения, оптимальной цены и качества.

Анализ конкурентоспособности схем электроснабжения определяется по формуле:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента, B_i – вес показателя (в долях единицы), B_i – балл i -го показателя.

Оценочная карта сравнения конкурентных решений приведена в таблице 7

Таблица 7 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _Ц	Б _П	К _Ц	К _П
1	2	3	4	5	6
Технологические критерии ресурсоэффективности					
Энергоэкономичность	0,10	4	5	0,40	0,50
Надежность	0,20	3	5	0,6	1
Безопасность	0,10	5	4	0,50	0,40
Простота эксплуатации	0,15	5	4	0,75	0,60
Ремонтопригодность	0,10	5	5	0,5	0,50
Уровень материалоемкости	0,05	3	4	0,15	0,20
Экономические критерии оценки эффективности					
Цена установки	0,05	2	4	0,10	0,20
Затраты на монтаж схемы	0,15	3	3	0,45	0,45
Предполагаемый срок эксплуатации	0,10	4	5	0,40	0,50
Итого	1	34	39	3,85	4,35

Согласно результатам анализа, поршневые компрессоры получили наивысший балл по сравнению с другими конкурентными техническими решениями ($K_{П} = 4,35$). Данный тип компрессоров обеспечивает должную

надежность работы, безопасность в эксплуатации и высокую ремонтпригодность. Дальнейший анализ и расчёт будет применён только к данному типу компрессоров.

4.1.3. Технология QuaD

Данная методика представляет собой инструмент, описывающий качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющий принимать решение о целесообразности инвестирования денежных средств НТИ.

Принцип технологии основан на нахождении средневзвешенной величины показателей: коммерческого потенциала разработки и качества разработки.

Каждый критерий выбранной схемы электроснабжения цеха оценивается экспертным путем по стобальной шкале. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD представлена в таблицах 8-9 и определяется по формуле:

$$P_{CP} = B_i \cdot V_i,$$

где V_i – вес показателя (в долях единицы), B_i – относительное значение i -го показателя.

Таблица 8 – QuaD оценка поршневых компрессоров

Критерий	Вес	Балл	Максимальный балл	Относительное значение	Средне-взвешенное значение
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
Энергоэффективность	0,15	60	100	0,6	0,09
Надежность	0,20	100	100	1	0,20
Унифицированность	0,05	100	100	1	0,05
Простота монтажа	0,15	60	100	0,6	0,09
Безопасность	0,10	100	100	1	0,10
Расход материалов	0,05	30	100	0,3	0,015
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
Конкуренентоспособность	0,1	85	100	0,85	0,085
Перспективность	0,1	85	100	0,85	0,085
Цена	0,1	70	100	0,70	0,070
Итого	1	690		6,9	0,795

Таблица 9 – QuaD оценка центробежных компрессоров

Критерий	Вес	Балл	Максимальный балл	Относительное значение	Средне-взвешенное значение
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
Энергоэффективность	0,15	80	100	0,8	0,12
Надежность	0,20	60	100	0,6	0,12
Унифицированность	0,05	70	100	0,7	0,035
Простота монтажа	0,15	100	100	1	0,15
Безопасность	0,10	60	100	0,6	0,06
Расход материалов	0,05	90	100	0,9	0,045
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
Конкурентоспособность	0,1	80	100	0,8	0,08
Перспективность	0,1	80	100	0,8	0,08
Цена	0,1	60	100	0,6	0,06
Итого	1	680		6,8	0,75

При переводе итогового средневзвешенного значения в процентные значение получаем, что выбранный тип обладает перспективностью выше среднего (78,5 баллов). Из этого следует, что инвестирование средств в НТИ для данного варианта целесообразно.

4.1.4. SWOT-анализ

Для проведения комплексного анализа внешней и внутренней среды проекта актуальным маркетинговым инструментом выступает SWOT-анализ. Благодаря проведению SWOT-анализа выявляются сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы. В таблице 10 приведена итоговая матрица SWOT-анализ.

Таблица 10 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Высокая эффективность работы;</p> <p>С2. Экономичность;</p> <p>С3. Простое конструктивное исполнение;</p> <p>С4. Возможность использования для сжатия агрессивных газов;</p> <p>С5. Значительная ремонтпригодность;</p> <p>С6. Актуальность проекта.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Высокая энергетическая затратность;</p> <p>Сл2. Часто осуществляемое техническое обслуживание;</p> <p>Сл3. Для проведения обслуживания и ремонта требуется несколько квалифицированных специалистов.</p>
--	---	---

<p>Возможности проекта: В1. Возможность сотрудничества с зарубежными энергетическими компаниями; В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт; В3. Оперативное решение производственных и технических вопросов.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Возможность наладить партнерские отношения с ведущими энергетическими компаниями; • При наличии вышеперечисленных достоинств имеется большой потенциал для получения оборудования с высокими эксплуатационными характеристиками; • Возможность оперативно решать производственные и технические вопросы может способствовать росту количества потребителей, т.к. будет поставляться надежное и недорогое оборудование. 	<p>Необходимо повышение квалификации персонала и его числа.</p>
<p>Угрозы проекта: У1. Несвоевременное и в недостаточном объеме финансирование со стороны компаний-заказчиков; У2. Угрозы выхода из строя электротехнического оборудования; У3. Высокий уровень развития конкуренции в технологии производства.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Необходимость повышения квалификации персонала т.к. тема актуальна и есть современное оборудование; • Возможность привлечения сторонних организаций; • Высокая конкуренция способствует повышению экономичности и энергоэффективности технологии. 	<p>Отказ от проекта; Импорт нового оборудования будет требовать больших затрат.</p>

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что в данном НИП отсутствуют слабые стороны, способные привести к значительным внешним угрозам.

Из анализа видно, что потенциальных сильных сторон у проекта больше, чем слабых, следовательно, радиальная схема имеет большие шансы конкурировать с остальными схемами. Поршневой тип компрессоров, по сравнению с центробежным, применяется чаще, так как обеспечивает более

высокую надежность работы, простое конструктивное исполнение и имеет большой срок эксплуатации.

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работы в рамках научного исследования

Для выполнения научного исследования была сформирована рабочая группа в составе руководителя и инженера. Каждый участник группы несет ответственность за определенные виды запланированных работ.

Перечень этапов работ и их распределение по исполнителям при проектировании завода железобетонных изделий приведены в таблице 11

Таблица 11 – Перечень этапов работ при проектировании

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Изучение и подбор необходимых материалов, составление примерного плана работ	Инженер
	3	Выбор направления изучения задач	Руководитель
	4	Календарное планирование работ по данной теме	Руководитель
Теоретические исследования (расчеты)	5	Обоснование выбора частотно-регулируемого электропривода	Инженер
	6	Выбор способа и закона частотного регулирования	Инженер
	7	Выбор электродвигателя для привода компрессора	Инженер
	8	Расчет схемы замещения электродвигателя	Инженер
	9	Расчет статических характеристик асинхронного двигателя и искусственных механических и электромеханических характеристик системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель	Инженер
	10	Выбор преобразователя частоты	Инженер
	11	Расчет переходных процессов пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть и при изменении нагрузки. Анализ полученных результатов	Инженер
	12	Моделирование частотно-регулируемого асинхронного электропривода поршневого компрессора со скалярным управлением.	Инженер
Обобщение и оценка результатов	13	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Разработка технической документации	14	Оценка надежности полученных результатов	Руководитель
	15	Разработка электропривода компрессора холодильной установки	Инженер
Оформление отчёта по проекту	16	Составление пояснительной записки по проекту	Инженер

Из таблицы видно, что большинство этапов выполняются инженером под управлением руководителя, который осуществляет приём-контроль этапов и совместную с инженером оценку правильности выполнения или иных вопросов, возникающих в процессе исследования или в плане выбранных конфигураций или решений.

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Определение трудоемкости работ руководителя и инженера является важным этапом, позволяющий определить трудоемкость выполняемой работы, трудовые затраты на которую является значительной частью, учитываемой в конечной стоимости разработки.

Для определения ожидаемого значения трудоемкости используется 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 чел.-дн., t_{max_i} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях, которая учитывает выполнение работы несколькими участниками:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож_i}}{Ч_i},$$

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

4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

График проекта удобно представить в формате диаграммы Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Продолжительность работы в календарных днях определяется:

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

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях, T_{pi} – продолжительность i -ой работы, раб.дн., $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности:

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

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году, $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году, $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Пример расчета для работы «Изучение и подбор необходимых материалов, составление примерного плана работ»:

Ожидаемое значение трудоемкости:

$$t_{\text{ож}_2} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 5}{5} = 4,4 \approx 4 \text{ чел.-дн.};$$

Продолжительность в рабочих днях:

$$T_{p_2} = \frac{4}{1} = 4 \text{ раб. дн.};$$

Коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = \frac{365}{247} = 1,48$$

Продолжительность работы в календарных днях:

$$T_{k_2} = 4 \cdot 1,48 = 5,9 \text{ кал. дн.}$$

Аналогичные операции проведем для остальных работ, результаты расчетов сведены в таблицу 12

Таблица 12 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работы	Исполнитель	Трудоёмкость работ			Длительность работ в рабочих днях, T_p	Длительность работ в календарных днях, T_p
			t_{\min} , чел.-дн	t_{\max} , чел.-дн	$t_{\text{ож}}$, чел.-дн		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Составление и утверждение технического задания (схемы проектирования)	Руководитель	7	9	8	8	10
2	Изучение и подбор необходимых материалов, составление примерного плана работ	Инженер	4	5	4	4	6
3	Выбор направления изучения задач	Руководитель	3	4	3	3	4
4	Календарное планирование работ по данной теме	Руководитель	1	2	1	1	1
5	Обоснование выбора частотно-регулируемого электропривода	Инженер	3	4	3	3	4
6	Выбор способа и закона частотного регулирования	Инженер	6	8	7	7	10
7	Выбор электродвигателя для привода компрессора	Инженер	7	9	8	8	12
8	Расчет схемы замещения электродвигателя	Инженер	3	4	3	3	4
9	Расчет статических характеристик асинхронного двигателя и искусственных механических и электромеханических характеристик системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель	Инженер	5	7	6	6	9
10	Выбор преобразователя частоты	Инженер	2	3	2	2	3
11	Расчет переходных процессов пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть и при изменении нагрузки. Анализ полученных результатов	Инженер	2	3	2	2	3
12	Моделирование частотно-регулируемого асинхронного электропривода поршневого компрессора со скалярным управлением.	Инженер	3	5	4	4	6
13	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	3	4	3	3	4
14	Оценка надежности полученных результатов	Руководитель	7	8	7	7	9
15	Разработка электропривода холодильной установки	Инженер	7	9	8	8	12
16	Составление пояснительной записки по проекту	Инженер	7	9	8	8	12

Таким образом, на основании таблицы строится календарный план графика. Далее, по диаграмме Ганта можно наглядно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя.

Из диаграммы видно, что продолжительность работ по проектированию электропривода компрессора холодильной установки займет 109 дней. Начало разработки проекта приходится на начало февраля, а конец проектирования – на середину мая. Однако, значение реальной продолжительности работ может быть, как меньше (при благоприятных обстоятельствах) посчитанного значения, так и больше (при неблагоприятных обстоятельствах), так как трудоемкость носит вероятностный характер.

4.2.4. Бюджет научно-технического исследования

При формировании бюджета проекта необходимо полностью и достоверно отразить все виды расходов, которые связаны с его выполнением. Используются следующие статьи затрат:

- На специальное оборудование для научных работ;
- Основная заработная плата исполнителей;
- Дополнительная заработная плата;
- Отчисления во внебюджетные фонды;
- Накладные расходы.

4.2.4.1. Расчет затрат на специальное оборудование

Специальным оборудованием в ходе проектирования электропривода компрессора холодильной установки на стадии выполнения научно-технического задания является персональный компьютер.

Пример расчета амортизационных отчислений персонального компьютера:

Линейным способом, норма амортизационных отчислений составляет:

$$H_A = \frac{1}{n} \cdot 100\% = \frac{1}{4} \cdot 100\% = 25\% ,$$

где n - предполагаемая продолжительность работы оборудования в месяцах;

Амортизационные отчисления специального оборудования:

$$A_C = S \cdot \frac{H_A \cdot T_{\text{раб.дн.}}}{100 \cdot 365} = 50000 \cdot \frac{25 \cdot 109}{100 \cdot 365} = 3732,88 \text{ руб.},$$

где S – стоимость персонального компьютера, $T_{\text{раб.дн.}}$ – рабочие дни, когда используется компьютер.

Результаты расчетов сведены в таблицу 14

Таблица 14 – Затраты на специальное оборудование

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Амортизация, руб.
Персональный компьютер	ед	1	50000	3732,88

4.2.4.2. Зарботная плата исполнителей

Зарботная плата исполнителей включает в себя оплату труда руководителя и ассистента, участвующих в выполнении проекта.

Основная зарботная плата рассчитывается по формуле [19]:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_P ,$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная зарботная плата одного работника, T_P – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная зарботная плата работника.

Среднедневная зарботная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D} ,$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала.

Баланс рабочего времени работников, занятых в выполнении данного проекта сведен в таблицу 15.

Таблица 15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней – выходные/праздничные	66	118
Потери рабочего времени		
Отпуск	56	28
Невыходы по болезни	14	10
Действительный годовой фонд рабочего времени	299	247

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot k_p,$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет заработной платы произведем на примере инженера:

Месячный должностной оклад:

$$Z_M = 16300 * 1,3 = 21190 \text{ руб.};$$

Среднедневная заработная плата:

$$Z_{дн} = \frac{21190 * 11,2}{247} = 960,84 \text{ руб.};$$

Основная заработная плата:

$$Z_M = 960,84 * 81 = 77828,04 \text{ руб.};$$

Аналогичный расчет произведем для руководителя, результаты расчетов вносятся в таблицу 16.

Таблица 16 – Расчет заработной платы

Исполнители	$Z_{ТС}$	k_p	Z_M	$Z_{ДН}$	T_p	$Z_{ОСН}$
Руководитель	39300	1,3	51090	1913,74	28	53584,72
Инженер	16300		21190	960,84	81	77828,04

4.2.4.3. Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды – обязательные страховые отчисления, установленные на законодательном уровне Российской Федерации нормами государственного социального страхования, пенсионного фонда, медицинского страхования.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по следующей формуле:

$$Z_{ВНЕБ} = k_{внеб} \cdot Z_{ЗП},$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), равный 30,2% на основании ФЗ от 24.07.2009 №212-ФЗ [20].

Отчисления во внебюджетные фонды:

Для инженера:

$$Z_{ВНЕБ} = 0,302 * 77,828,04 = 23504,07 \text{ руб.};$$

Для руководителя:

$$Z_{ВНЕБ} = 0,302 * 53584,72 = 16182,58 \text{ руб.};$$

4.2.4.4. Накладные расходы

Накладные расходы – все прочие затраты, которые не попали в предыдущие статьи расходов, учитываются прочими затратами организации.

Их величина определяется по формуле:

$$Z_{\text{НАКЛ}} = (Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ВНЕБ}} + A_C) \cdot k_{\text{пр}},$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, равный 0,16.

Накладные расходы проекта:

$$Z_{\text{НАКЛ}} = (131412,76 + 39686,65 + 3732,88) \cdot 0,16 = 27973,17 \text{ руб.};$$

4.2.4.5. Формирование бюджета затрат научно-технического проекта

В разделе представлены итоговые затраты на научно-технический проект по разработке системы электроснабжения прессового цеха химического комбината.

Таблица 17 – Расчет бюджета затрат НИ

№	Наименование раздела	Сумма, руб	% к итогу
1	Амортизация	3732,88	1,84
2	Затраты по основной заработной плате	131412,76	64,83
4	Отчисления во внебюджетные фонды	39686,65	19,57
5	Накладные расходы	27973,17	13,76
Бюджет затрат проекта		202805,46	100

4.3. Оценка ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности произведем на основе интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{P_i} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности, a_i – весовой коэффициент i -го варианта, bi – балльная оценка проекта.

Пример расчета для центробежного компрессора:

$$I_{pi} = 0,3 * 3 + 0,2 * 5 + 0,2 * 5 + 0,1 * 4 + 0,1 * 3 + 0,1 * 4 = 4$$

Аналогичным образом рассчитывается для магистральной и смешанной схем. Результаты расчета интегрального показателя ресурсоэффективности сведем в общую таблицу 18

Таблица 18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии оценки	Весовой коэффициент	Балльная оценка	
		Ц	П
Надежность	0,3	3	5
Безопасность	0,2	5	4
Простота эксплуатации	0,2	5	4
Ремонтопригодность	0,1	4	5
Уровень материалоемкости	0,1	3	4
Энергоэкономичность	0,1	4	5
Итого	1	4	4,5

Анализ конкурентных технических решений с учетом различных требований к компрессорам показал, что наиболее конкурентоспособным типом среди всех является поршневой компрессор.

С помощью SWOT-анализа была проанализирована радиальная сеть с точки зрения конкурентоспособности. В SWOT-анализе были оценены сильные, слабые стороны проекта, угрозы и возможности.

Анализ календарного планирования работ показывает, что длительность работ составила 109 календарных дней. На основе рассчитанных данных была построена диаграмма Ганта.

Итоговые затраты на научно-исследовательский проект составили 202805,46 руб.

Наиболее финансово и ресурсоэффективным вариантом по итогам сравнения значений интегральных показателей эффективности является поршневой компрессор.

5. Социальная ответственность

Введение

В данной научно-исследовательской работе мы занимаемся разработкой электропривода компрессора. Компрессор – устройство для повышения давления (сжатия) газообразных веществ. В холодильной технике компрессоры применяются для сжатия хладагентов до определенных давлений, и обеспечения их циркуляции по замкнутому контуру [12]. Холодильные установки, в свою очередь, используются в самых различных отраслях, от пищевой до нефтехимической промышленности. Исходя из этого, мы можем понять, что данная работа актуальна и пользуется спросом.

Место работы машиниста холодильных установок находится в машинном зале. Площадь лаборатории 34 м², высота 4,8 м до низа выступающих конструкций покрытия. На рабочем месте машиниста вывешивают принципиальные технологические схемы трубопроводов (хладагента, воды, хладоносителей) и размещения на них холодильного и технологического оборудования, планы размещения холодильного и технологического оборудования, трубопроводов и отсечной запорной арматуры, режимные карты работы холодильных установок, инструкции по остановке холодильных установок и о действиях при ЧС, указатели местонахождения аптечки и средств индивидуальной защиты. Холодильная установка работает в автоматическом режиме и контролируется системой мониторинга. На рабочем месте должен быть необходимый инструмент, контрольно-измерительные приборы, запасные детали и запас эксплуатационных материалов. При аварийных ситуациях вызывается аварийно-сервисная служба. Ежемесячно в соответствии с регламентом производится плановый осмотр холодильного оборудования.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Персонал, работающий с холодильной установкой, относится к классу 3.2.

Специальная оценка условий труда является единым комплексом последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных (или) опасных факторов производственной среды и трудового процесса и оценке уровня их воздействия на работника с учетом отклонения их фактических значений от установленных уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти нормативов (гигиенических нормативов) условий труда и применения средств индивидуальной и коллективной защиты работников[13]. По результатам проведения специальной оценки условий труда устанавливаются классы (подклассы) условий труда.

Подкласс 3.2 (вредные условия труда 2 степени) - условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых способны вызвать стойкие функциональные изменения в организме работника, приводящие к появлению и развитию начальных форм профессиональных заболеваний или профессиональных заболеваний легкой степени тяжести (без потери профессиональной трудоспособности), возникающих после продолжительной экспозиции (пятнадцать и более лет)[14];

Согласно трудовому кодексу РФ и федеральному закону РФ «О специальной оценке условий труда» работникам категории А предусматриваются:

1) Сокращение продолжительности рабочего времени [ТК РФ Статья 92]:

Для работников, 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 – не более 36 часов в неделю.

2) Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты, а также оснащения рабочих мест средствами коллективной защиты [ТК РФ Статья 221];

3) Установления работникам предусмотренных ТК РФ гарантий и компенсаций [ТК РФ г. 28];

4) Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск [ТК РФ Статья 117];

Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск предоставляется работникам, условия труда на рабочих местах, которые по результатам специальной оценки условий труда отнесены к вредным условиям труда 2, 3 или 4 степени, либо опасным условиям труда.

5) Предварительные и периодические медицинские осмотры [ТК РФ 213]:

Работники, занятые на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, связанных с движением транспорта, проходят обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические (для лиц в возрасте до 21 года - ежегодные) медицинские осмотры для определения пригодности этих работников для выполнения поручаемой работы и предупреждения профессиональных заболеваний.

Время отдыха и рабочее время регламентируются графиком работы, который утверждается работодателем с учетом мнения выборного органа первичной профсоюзной организации в порядке, установленном статьей 372

ТК РФ для принятия локальных нормативных актов, и доводится до сведения работников не позднее, чем за два месяца до введения его в действие.

Место работы машиниста холодильных установок находится в торговых объектах и в специально отведенном месте ЦХМ центральная холодильная машина (машинный зал).

В машинных отделениях или других помещениях, где находятся в основное время дежурные смены, обслуживающие холодильные установки, на видном месте должны быть вывешены [15]

- принципиальные технологические схемы трубопроводов (хладагента, воды, хладоносителей) и размещения на них холодильного и технологического оборудования, с пронумерованной запорной арматурой;

- планы размещения холодильного и технологического оборудования, трубопроводов и отсечной запорной арматуры;

- режимные карты работы холодильных установок;

- инструкции по остановке холодильных установок и о действиях при возникновении аварийных ситуаций;

- списки, телефоны и адреса должностных лиц и спецподразделений (пожарной команды, скорой помощи, электросети и др.), которые должны быть немедленно извещены об аварии или пожаре;

- указатели местонахождения аптечки и средств индивидуальной защиты.

У входов в охлаждаемые помещения (коридор, эстакада) должны быть вывешены инструкции по охране труда при проведении работ в этих помещениях и защите охлаждающих устройств и трубопроводов от повреждений.

В месте основного пребывания дежурных работников холодильной установки должен быть эксплуатационный журнал утвержденного в этой

организации образца, рабочие инструкции, годовые и месячные графики проведения планово-предупредительного ремонта, номера телефонов и адреса сторонних организаций, обслуживающих холодильное оборудование.

Холодильные установки должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения в соответствии с действующими нормами.

Необходимо также наличие специальных помещений для отдыха, гигиены персонала, помещения для инвентаря и приборов.

5.2 Производственная безопасность

Эксплуатация холодильной установки осуществляется операторами с блочного щита управления. Перечень опасных и вредных факторов, присутствующих при работе оператора на ЦХМ представлен в таблице 19.

Таблица 19. Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора холодильной установки

Факторы	Нормативные документы
1. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека;	Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации фреоновых холодильных установок ПОТ Р М-015-2000
2. Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
3. Действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение работающего с высоты	Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации фреоновых

	холодильных установок ПОТ Р М-015-2000
4. Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристиками шума	Определяется требованиями ГОСТ 12.1.003-2014
5. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	ГОСТ 12.1.038., ГОСТ 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура защит.
6. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	ГОСТ 12.1.005, СНиП 2.04.05, СанПиН 2.2.4.548 СНиП 2.04.05, ГОСТ Р 12.2.142. Требования к помещениям и их инженерному оборудованию

При эксплуатации холодильных установок возможно воздействие на работников ряда опасных и вредных производственных факторов, в том числе:

Опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги (обморожения) тканей организма человека. Данные факторы связаны с попаданием хладоносителей, при возможных разрушениях элементов оборудования и трубопроводов, на кожу человека. Это может вызвать химический ожог.

Для защиты работников от воздействия хладагентов требуется строгое соблюдение норм. Обязательно ношение оператором экипировки и средств индивидуальной защиты. Защитой от последствий возможных разрушений элементов оборудования и трубопроводов холодильных установок следует, в частности, предусматривать: приборы противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ); предохранительные устройства по давлению; своевременное освидетельствование аппаратов (сосудов) и трубопроводов.

Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения.

Недостаточное освещение может негативно влиять на здоровье человека. В цеху должно быть обеспечено достаточное общее, местное и рабочее освещение в соответствии с СНиП 23-05-95.

Действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение работающего с высоты. В следствие этого фактора, работник, упавший с высоты может получить различные травмы опасные для жизни. Для обслуживания оборудования, трубопроводов, арматуры и других элементов холодильных установок, расположенных на высоте выше 1,8 м от пола (земли), должны предусматриваться соответствующие площадки, лестницы, стремянки.

Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристиками шума. Компрессоры холодильных установок издают большое количество шума. Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Среди многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда, появление шумовой патологии[16].

Для защиты от шума может применяться: применение звукоизоляции; использование средств индивидуальной защиты; введение регламентированных дополнительных перерывов; проведение обязательных предварительных и периодических медосмотров.

Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током. Холодильную установку снабжают электроэнергией,

по крайней мере, от двух источников. Мощность каждого из них должна быть достаточной для одновременной работы холодильной установки и других ответственных потребителей.

Помещение холодильных машин, кроме основного, оборудуют аварийным освещением. Светильники должны иметь взрывозащищенное исполнение. Металлические корпуса всего передвижного, переносного и ручного электрооборудования, предназначенного для работы под напряжением выше 24 В постоянного тока и 12 В переменного тока, должны быть заземлены.

Для аммиачной холодильной установки предусматривается аварийное дистанционное отключение распределительного щита холодильной установки:

- с поста управления холодильной установкой в помещении холодильных машин;
- в месте, защищенном от загрязнения аммиаком в случае аварии в помещении холодильных машин.

Электрические устройства, обеспечивающие работу холодильных установок, должны эксплуатироваться с учетом действующих нормативных документов по электроустановкам, в том числе по заземлению. Все установленные манометры должны быть опломбированы или иметь клеймо поверки; поверка манометра должна производиться ежегодно, а также каждый раз после произведенного ремонта манометра. Не реже 1 раза в 6 мес. организацией должна проводиться дополнительная проверка рабочих манометров контрольным манометром, о чем делается запись в журнале контрольных проверок. Манометры не допускаются к применению в случаях, когда отсутствует пломба или клеймо, просрочен срок поверки, стрелка

манометра при его выключении не возвращается на нулевую отметку шкалы, разбито стекло или имеются другие повреждения, которые могут отразиться на правильности его показаний.

Защита от статического электричества на объекте обеспечивается путем присоединения всего электрооборудования к защитному контуру заземления. К сетям заземления присоединены корпуса электродвигателей, аппаратов, каркасы щитов, шкафов, кабельные конструкции.

Средства защиты от поражения электрическим током:

1) Перчатки (Защитные перчатки должны быть широкими и не менее 35 см в длину, чтобы их было удобно надевать поверх шерстяных перчаток, а сами они покрывали кисть и часть руки.)

2) Обувь (Галоши и ботинки предназначены для защиты от земного и шагового напряжений.)

3) Подставки (Подставки делают из стекла, фарфора или металла, металл нельзя использовать для соединения, минимальный размер — 0,75×0,75 м.)

4) Указатели (Для проверки техники с рабочим напряжением менее 500 Вольт.)

5) Щиты (Щиты для временных ограждений электрических установок делают из промасленного дерева или текстолита.)

Отклонение показателей микроклимата. Температура воздуха в машинных отделениях холодильных установок должна предусматриваться с учетом требований ГОСТ 12.1.005, СНиП 2.04.05, СанПиН 2.2.4.548 как для производственных помещений.

В машинных отделениях с периодическим обслуживанием температура воздуха определяется проектной документацией с учетом условий организации-изготовителя оборудования.

Системы вентиляции в помещениях, где размещено холодильное оборудование, следует выполнять в соответствии с требованиями СНиП 2.04.05, ГОСТ Р 12.2.142.

5.2.1 Мероприятия по устранению опасных и вредных факторов

Правила устанавливают требования безопасности, направленные на устранение опасных и вредных производственных факторов связанных: с токсичностью и взрывоопасностью веществ применяемых в качестве холодильных агентов; с возможностью разрушения элементов холодильных систем работающих как под избыточным давлением, так и при низких температурах. Холодильные системы, а равно и их отдельные элементы заполненные хладагентами, рассматриваются настоящими Правилами как находящиеся в рабочем состоянии независимо от того, функционирует или не функционирует в данный момент холодильная система или ее отдельные элементы. Соответствие элементов холодильных систем, в части прочности, герметичности, оснащенности средствами защиты, требованиям настоящих Правил и других нормативных документов должно подтверждаться на стадиях их изготовления и монтажа, до наполнения систем холодильными агентами. Изготовление и эксплуатация аппаратов (сосудов) холодильных систем, содержащих в рабочем состоянии холодильные агенты, должна осуществляться в соответствии с требованиями нормативно-технической документации к устройству и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением и настоящих Правил. Организация, эксплуатирующая холодильные системы, должна обеспечить: содержание систем в исправном состоянии и безопасные условия их работы; учет аппаратов, входящих в системы, периодическое обследование условий их эксплуатации и плановые технические освидетельствования их; периодическую проверку наличия и

исправности действия предохранительной арматуры, приборов автоматической защиты, местного и дистанционного контроля рабочих параметров, а также запорной и регулирующей арматуры; аттестацию инженерно-технических работников по промышленной безопасности; выполнение инженерно-техническими работниками Правил и ознакомление персонала с инструкциями по безопасности. Персонал, допущенный к обслуживанию конкретной холодильной системы должен знать: устройство и принцип действия оборудования холодильной системы; схемы и натурное размещение трубопроводов хладагента; характеристики и свойства используемых хладагентов; инструкцию по обслуживанию холодильной системы; порядок заполнения и опорожнения системы хладагентом; порядок и приемы действия в аварийных ситуациях; приемы и способы оказания доврачебной (первой) помощи пострадавшим при отравлениях хладагентов или пораженных им частей тела и глаз. В предпроектной и проектной документации на строительство объектов, где предусматривается установка холодильных систем с использованием хладагентов группы 3, должны быть предусмотрены технические решения и мероприятия, обеспечивающие предупреждение аварийных ситуаций и ликвидацию последствий их воздействия на окружающую среду. Средства индивидуальной защиты и оказания доврачебной (первой) помощи пострадавшим должны располагаться в доступных и обозначенных местах машинных отделений, а их сохранность и исправность должны регулярно проверяться ответственным лицом.

5.3 Экологическая безопасность

Защита селитебной зоны. При строительстве холодильных установок с использованием компрессоров, учитываются нормы санитарно-защитной

зоны согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Для снижения неблагоприятного воздействия на организм человека и на окружающую среду данная зона составляет 50м.

Защита атмосферы. Вред холодильных установок заключается в использовании искусственного холода и причиняет существенный вред атмосфере. Основными моментами являются разрушение озонового слоя и парниковый эффект. Холодильные установки выбрасывают CO₂ и прочие вредные вещества в атмосферу. Для снижения выбросов веществ разрушающих озоновый слой в 1987 году был введен Монреальский протокол, который предполагал минимизацию озоноразрушающих веществ на 15% к 1993 году, а к 1998 на 35%. Также на текущий момент развивается использование природных хладагентов. В качестве хладоносителя используются натуральные вещества, такие как аммиак, пропан. Но и у этого метода есть свои меры предосторожности, например, использование ядовитого аммиака запрашивает наличие особого уровня герметичности холодильной машины. [17]

Защита гидросферы. Возможным воздействием может являться разлив смазочно-охлаждающих жидкостей, а также отработанного масла компрессорной установки в случае несоблюдения правил замены жидкостей и их транспортировки. Очистку маслоэмульсионных сточных вод проводят по следующей схеме: сточная вода поступает в отстойник-накопитель, где происходит выделение механических примесей и свободных масел, а затем в этой же емкости производится нейтрализация жидкости серной кислотой до pH=7-8. Нейтрализованная сточная вода поступает во флотатор, куда одновременно подается раствор сернокислого алюминия. Образующаяся в процессе напорной флотации пена собирается и направляется в пеносборник [18].

Защита литосферы. Работа компрессорной установки подразумевает осуществление регулярного технического обслуживания. Замена отработавших материалов и узлов приводит к образованию твердых отходов производства (металлолом, фторопласт, прочий бытовой и технический мусор). Для утилизации бытовых отходов применяются полигоны твердых бытовых отходов.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятной ЧС является пожар

Источниками возникновения пожара могут быть: неисправность проводки; наличие горючих материалов в хранилище; деформирование или обвал стен холодильной конструкции; нарушение техники безопасности при проведении огневых работ.

Безопасность людей напрямую зависит от эффективности профилактических мероприятий. Выполнение противопожарной инструкции уменьшит случаи возгорания или вообще исключит их. Меры профилактики: соблюдать правила охраны труда и ТБ при выполнении поставленных задач; своевременно проводить ремонт и техобслуживание; не пользоваться открытым огнем в хранилище; регулярно проводить лекции по ТБ среди рабочего персонала; установить внутри хранилища тех. средства, позволяющие своевременно выявить возгорание; создать условия эвакуации рабочего персонала.

немедленно сообщить о пожаре в пожарную охрану по городскому телефону по номеру «01» или по мобильному телефону по номеру «112» (при этом необходимо четко назвать адрес организации, место возникновения пожара, а также сообщить свою должность и фамилию);

известить о пожаре руководителя организации или замещающего его работника;

задействовать систему оповещения людей о пожаре, приступить самому и привлечь других лиц к эвакуации из здания в безопасное место согласно плану эвакуации;

при необходимости отключить электроэнергию, приостановить работу отдельных агрегатов и участков, способствующих развитию пожара и задымлению помещений здания;

оценить обстановку и приступить к тушению очага возгорания имеющимися первичными средствами пожаротушения (огнетушителями), для ликвидации его на ранней стадии;

организовать встречу пожарных подразделений (выделить для встречи пожарных подразделений лицо, хорошо знающее расположение подъездных путей и водоисточников).

После тушения пожара, производится осмотр оборудования на расплавление, обугливание, деформации металла и т.д. При необходимости оборудование заменяется на новое.

На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" потенциальному пожару будет присвоен класс "С" (пожары газов). Рекомендуемые средства тушения пожаров класса С: объёмное тушение и флегматизация газовыми составами; огнетушащие порошки общего назначения; пены, вода (для охлаждения оборудования).

Причем тушение и флегматизацию в помещении, где может образовываться взрывоопасная среда, следует осуществлять после прекращения поступления в помещение горючих газов (паров).

Заключение по разделу

Подводя итоги раздела Социальная ответственность, мы можем сказать, что фактическое значение выявленных факторов соответствует нормативным значениям.

Машинному залу, в котором находится холодильная установка на согласно ПУЭ присваивается категория помещения с повышенной опасностью (п. 1.1.13 ПУЭ).

Персонал, обслуживающий электроустановки должен иметь группу электробезопасности III или выше, согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок.

Исходя из СанПиН 1.2.3685-21, оператор по обслуживанию холодильных установок получает среднюю категорию тяжести труда.

По взрывоопасной и пожарной опасности все помещения фреоновых установок относятся к категории Д.

По негативному воздействию на окружающую среду предприятие относится к категории III.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе была разработана и изучена имитационная модель разомкнутой системы частотного преобразователя со скалярным управлением для электропривода поршневого компрессора холодильной установки с использованием программы MatLab. В процессе разработки проекта были выбраны и рассчитаны параметры компрессора, электродвигателя и частотного преобразователя, а также проведен выбор необходимого оборудования. Был предложен современный асинхронный частотно-регулируемый электропривод, с использованием электродвигателя серии АИС160М4, преобразователя частоты Danfoss VLT 132F0059 и компрессора Frascold S15-52Y

Мы получили механические и электромеханические характеристики выбранного асинхронного двигателя, основанные на расчетных и каталожных значениях. В качестве закона управления для преобразователя частоты был выбран закон регулирования $\frac{U_1}{f_1} = const$. Мы также провели моделирование переходных процессов при пуске двигателя с использованием программной среды *MatLab* и построили динамические характеристики с помощью имитационных моделей.

Для обеспечения постоянного пускового момента на низких скоростях была выбрана система со скалярным управлением и законом $\frac{U_1}{f_1} = const$. По результатам моделирования мы сделали выводы о том, что спроектированная система удовлетворяет требованиям технического задания. В разделе "Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение" была произведена оценка затрат на проектирование, а в разделе "Социальная ответственность" были проанализированы опасные и вредные

производственные факторы, а также даны практические рекомендации по технике безопасности и производственной санитарии.

Список использованных источников:

1. Промышленные технологии использующие холод – URL: <http://www.xiron.ru/content/view/30281/28> (Дата обращения: 14.04.2023). – Текст: электронный
2. Компрессоры холодильных машин – URL: <http://www.stroitelstvo-new.ru/holodilnye-ustanovki/kompressory.shtml> (Дата обращения: 14.04.2023). – Текст: электронный
3. Типы поршневых компрессоров – URL: <http://www.stroitelstvo-new.ru/holodilnye-ustanovki/typy-porshnevyh-kompressorov.shtml> (Дата обращения: 15.04.2023). – Текст: электронный
4. Требования, предъявляемые к холодильным агентам – URL: <http://www.stroitelstvo-new.ru/holodilnye-ustanovki/hladagency.shtml> (Дата обращения: 15.04.2023). – Текст: электронный
5. Схемы холодильных установок – URL: <http://www.stroitelstvo-new.ru/holodilnye-ustanovki/shemy.shtml> (Дата обращения: 15.04.2023). – Текст: электронный
6. Полевой А.А. Автоматизация холодильных установок и систем кондиционирования воздуха [Текст]/ А.А. Полевой - СПб.: Профессия, 2010. — 244 с., рис.
7. Компания Frascold-технические параметры компрессоров – руководство по эксплуатации. – URL: https://aircool.ru/files/tex_info_katalogi/KATALOGI/frascold/FCAT100_06_RU.pdf (Дата обращения: 19.04.2023). – Текст: электронный
8. Выбор электродвигателя – URL: <http://www.электродвигатели-редукторы.рф/product/15642/> (Дата обращения: 24.04.2023). – Текст: электронный
9. Удут Л. С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: учебное пособие. Ч.8. Асинхронный частотно регулируемый электропривод [Текст] / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин; Томский политехнический университет. – 2-е изд., перераб. И доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 648с.
10. Тимошкин В.В. Проектирование и исследование асинхронных электроприводов: учебное пособие [Текст]/ В.В. Тимошкин, И.А.

- Чернышев; Томский политехнический университет. -Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018 – 151 с.
11. Дементьев Ю. Н., Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Д–30
Электрический привод: учебное пособие. [Текст] Ю. Н. Дементьев, А. Ю. Чернышев – Томск: Изд-во ТПУ, 2010 – 232 с.
 12. Компрессоры в холодильной технике. Виды, устройство, работа компрессоров – URL: <http://extxe.com/25174/kompressory-v-holodilnoj-tehnike-vidy-ustrojstvo-rabota-kompressorov/> (Дата обращения: 28.04.2023). – Текст: электронный
 13. Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 N 426-ФЗ ст.3 – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/ (Дата обращения: 28.04.2023). – Текст: электронный
 14. Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 N 426-ФЗ ст.14 – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/ (Дата обращения: 29.04.2023). – Текст: электронный
 15. Кобец Е.А., Корсаков М.Н. Организация, нормирование и оплата труда на предприятиях отрасли: Учебное пособие. – Таганрог: ТРТУ, 2006г.:
 16. Защита от повышенного уровня шума – URL: <https://www.protrud.com/обучение/учебный-курс/защита-от-повышенного-уровня-шума/> (Дата обращения: 29.04.2023). – Текст: электронный
 17. Экологический вред холодильного оборудования и способы его минимизации – URL: <https://infourok.ru/ekologicheskij-vred-holodilnogo-oborudovaniya-i-sposobi-ego-minimizacii-3736188.html> (Дата обращения: 30.04.2023). – Текст: электронный

18. Портал Эрудия: Смирнов Д.Н. Методы очистки сточных вод. – URL: http://www.erudition.ru/referat/printref/id.31379_1.html (Дата обращения: 30.04.2023). – Текст: электронный
19. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницына: Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.;
20. Федеральный закон "О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования" от 24.07.2009 № 212-ФЗ;