

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника
 Отделение Электроэнергетики и электротехники
 Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Автоматизация электропривода холодильной установки

УДК 62-83-52:621.565

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Крылов Александр Андреевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к. э. н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И.о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко Александр Сергеевич	к. т. н.		

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

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электропривода и автоматики.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области электропривода и автоматики, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 3	Уметь проектировать электропривод и автоматику.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-3, ПК-4, ПК-9), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов электропривода и автоматики интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-12, ПК-14, ПК-15), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электропривода и автоматики.	Требования ФГОС (ОПК-2, ПК-11, ПК-13, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий электротехнической отрасли, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ПК-17), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные</i>		
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной	Требования ФГОС (ПК-20, ПК-19, ПК-21), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3,

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	деятельностью в области электропривода и автоматике.	4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в области электропривода и автоматике.	Требования ФГОС (ОК-5, ОПК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электропривода и автоматике.	Требования ФГОС (ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-5, ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электропривода и автоматике с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-8, ОК-9, ПК-3, ПК-4, ПК-10), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электропривода и автоматике.	Требования ФГОС (ОК-7, ОК-8), <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение Электроэнергетики и электротехники
 Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:
 И.о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Крылов Александр Андреевич

Тема работы:

Автоматизация электропривода холодильной установки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.02.2019

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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 особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является модель электропривода компрессора с параметрами</p> <ul style="list-style-type: none"> • Номинальная мощность 11 кВт; • Номинальное фазное напряжение 380 В; • Синхронная частота вращения 1500 об/мин.
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 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 компрессора без преобразователя частоты. 5. Составление функциональной схемы частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением.

	6. Исследование переходных режимов при частотном пуске двигателя компрессора без датчика интенсивности и с задатчиком.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Графики переходных режимов асинхронного электродвигателя. Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Ассистент Сотникова Анна Александровна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кандидат экономических наук, доцент Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Все разделы выпускной квалификационной работы написаны на русском языке.	

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Крылов Александр Андреевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОС-
БЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Крылов Александр Андреевич

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

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

1. Стоимость затрат технического проекта	Приблизительная оценка стоимости технического проекта составляет 117168 руб.
2. Продолжительность выполнения	Приблизительная оценка продолжительности выполнения технического проекта составляет 74 рабочих дня.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Планирование и формирование графика работ по реализации технического проекта	В процессе осуществления планирования определяется перечень основных работ технического проекта, их последовательность, длительность, назначаются исполнители. По полученным значениям строится диаграмма Ганта. Кроме того оценивается потенциал проекта с помощью SWOT-анализа.
2. Формирование сметы технического проекта	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: <ul style="list-style-type: none"> • затраты на спец. оборудование • полная заработная плата исполнителей; • отчисления во внебюджетные фонды; • накладные расходы
3. Ресурсоэффективность технического проекта	Оценка эффективности проекта производится с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2019
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	Доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Крылов Александр Андреевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Крылов Александр Андреевич

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: Автоматизация электропривода холодильной установки

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является холодильная установка, для поддержания на объектах торговли температурных режимов.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<ul style="list-style-type: none"> – объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; специальные (характерные при эксплуатации – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны
2. Анализ выявленных вредных и опасных факторов:	<ol style="list-style-type: none"> 1. разлетающихся осколков оборудования и струй хладагента 2. расположения рабочих мест на значительной высоте относительно поверхности земли (пола); 3. подвижных частей оборудования 4. повышенной загазованности воздуха рабочих зон 5. замыкания электрических цепей через тело человека. 6. Отклонение показателей микроклимата 7. Пожаро- и взрывоопасность
3. Экологическая безопасность:	– воздействие на атмосферу
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– Наиболее вероятной ЧС является утечка фреона и пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Крылов Александр Андреевич		

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение Электроэнергетики и электротехники
 Профиль Электропривод и автоматика

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

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

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

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.01.2019	Литературный обзор	2
19.02.2019	Расчёт и выбор электродвигателя	3
04.04.2019	Согласование компрессорного оборудования	2
18.03.2019	Расчет и построение механических характеристик	4
28.03.2019	Моделирование силового канала ПЧ-АД	2
04.04.2019	Моделирование различных пусков ЭЦН	3
08.04.2019	Разработка функциональной схемы	4
17.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	5
23.05.2019	Социальная ответственность	5
27.05.2019	Оформление работы	10
29.05.2019	Итог	40

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

И.о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко Александр Сергеевич	К.Т.Н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 86 страниц, 27 рисунков, 18 таблиц, 13 источников.

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

Цель работы – замена полугерметичного поршневого компрессора холодильной установки на компрессор открытого типа с асинхронным двигателем общепромышленного назначения АИС160М4 соединенного на основе муфты с коническим замком с валом компрессора и подключенного через частотный преобразователь.

В результате исследования был разработан частотно-регулируемый электропривод компрессора холодильной установки.

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, Mathcad.

Оглавление

Реферат	9
Введение.....	12
1. Принцип работы холодильной машины.....	13
1.2. Автоматизация холодильной установки	15
1.3. Основные технические параметры холодильной установки.	19
1.4 . Параметры компрессора Frascold S10-52Y.....	20
2. Обоснование выбора частотно-регулируемого электропривод	23
2.1. Выбор способа и закона частотного регулирования.....	24
Нагрузочная характеристика поршневого компрессора	24
3.1. Замена и подбор компрессора Frascold на компрессор Bitzer 4P. 2Y- К открытого типа.	26
3.2. Выбор электродвигателя для привода компрессора	28
3.3. Расчет схемы замещения электродвигателя	29
3.4. Расчет статических характеристик асинхронного двигателя. Анализ полученных результатов.....	31
3.5. Расчет искусственных механических и электромеханических характеристик системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель	33
3.6. Выбор преобразователя частоты	36
3.7. Структурная схема асинхронного двигателя.....	37
3.8. Расчет переходных процессов пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть и при изменении нагрузки. анализ полученных результатов.....	40
3.9. Моделирование частотно-регулируемого асинхронного электропривода поршневого компрессора со скалярным управлением.	47
3.9.1. Прямой пуск электропривода без преобразователя частоты	48
3.9.2. Прямой пуск электропривода с преобразователем частоты, но без датчика интенсивности.....	49
3.9.3. Прямой пуск электропривода с преобразователем частоты и датчиком интенсивности	50
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение.....	52
4.1. SWOT-анализ проекта автоматизации электропривода холодильных установок	52
4.2. Планирование технического проекта	56
4.2.1. Определение структуры работ в рамках технического	

проектирования.....	57
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ.....	58
4.3. Составление сметы технического проекта	61
4.3.1. Затраты на специализированное оборудование	62
4.3.2. Полная заработная плата исполнителей ВКР	64
4.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	66
4.3.4. Накладные расходы.....	67
4.3.5. Формирование сметы технического проекта	67
4.4. Определение ресурсоэффективности проекта	68
5. Социальная ответственность.	70
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. ..	70
5.2. Производственная безопасность.....	71
Таблица 16.	71
5.3. Анализ выявленных вредных производственных факторов	72
5.3.1 Расположения рабочих мест на значительной высоте относительно поверхности земли (пола).....	73
5.3.2. Подвижных частей оборудования.	73
5.3.3. Повышенная загазованность воздуха рабочих зон.	73
5.3.4. Замыкания электрических цепей через тело человека.	74
5.3.5. Отклонение показателей микроклимата	75
5.4. Пожарная безопасность.....	76
5.5. Мероприятия по устранению опасных и вредных факторов.....	77
5.6. Экологическая безопасность	78
5.7. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	80
Заключение	82
Conclusion	83
Список литературы.....	84
Приложение А.....	86

Введение

При осуществление различных технологических процессов проходящих ниже температуры окружающей среды необходимо производство искусственного холода. Со времён появления первых холодильных машин область их применения существенно расширилась: от бытовой холодильной техники и кондиционеров до промышленных холодильных установок глубокого холода, климатического оборудования, установок охлаждения воды и технологических жидкостей, систем утилизации тепла за счет работы холодильной машины[1].

Холодильная технология охватывает все сферы бизнеса, пищевые, производственные и торговые предприятия, транспорт (автомобильный, железнодорожный и водный). По температурному диапазону холодильное оборудование подразделяется на климатическое от $+16^{\circ}$ - $+32^{\circ}$, среднетемпературный холод в пределах 0° , низкотемпературный холод ниже ноля и область глубокого холода криогенных температур от -120° до -273° .

Современные холодильные машины и установки невозможно представить без средств автоматизации, которые обеспечивают стабильную работу, точное поддержание требуемых температур, защиту установок от аварий, увеличивают срок службы механизмов и позволяют сократить обслуживающий персонал до минимума. В связи с развитием микропроцессорной техники начался выпуск электронных систем контроля холодильных установок, позволяющих отслеживать работу агрегатов и удаленно управлять ими.

Оптимизация и совершенствование холодильных установок и агрегатов развиваются по пути совершенствования не только систем регулирования компрессоров и электродвигателей, но и систем управления, построенных на математическом моделировании процесса с решением сложных интегральных и дифференциальных задач, регулировочные гидравлические устройства и реле.

При разработке проекта рассматривается низкотемпературная компрессионная холодильная установка, для улучшения и надежности работы

которой предлагается замена одного полугерметичного поршневого компрессора Frascold S10-52Y на компрессор открытого поршневого типа Bitzer 4P.2Y для подбора и расчета асинхронного двигателя АИС160М4 общепромышленного назначения соединенного на основе муфты с коническим замком с валом компрессора и подключенного через частотник Danfoss VLT.

1. Принцип работы холодильной машины

Холодильная машина работает по принципу теплового насоса, отнимает теплоту от охлаждаемого тела и с затратой энергии передает ее окружающей среде, имеющей более высокую температуру, чем охлаждаемое тело. Работа холодильной машины характеризуется ее холодопроизводительностью, которая для современных машин лежит в пределах от несколько сотен Вт до нескольких МВт.

Компрессионная холодильная машина состоит из 4-х основных элементов:

1. Компрессор
2. Конденсатор
3. Терморегулирующий вентиль (дроссель)
4. Испаритель

Остальное все оборудование входящие в систему холодильной машины является вспомогательным. Принципиальная схема холодильной установки приведена на рис.1

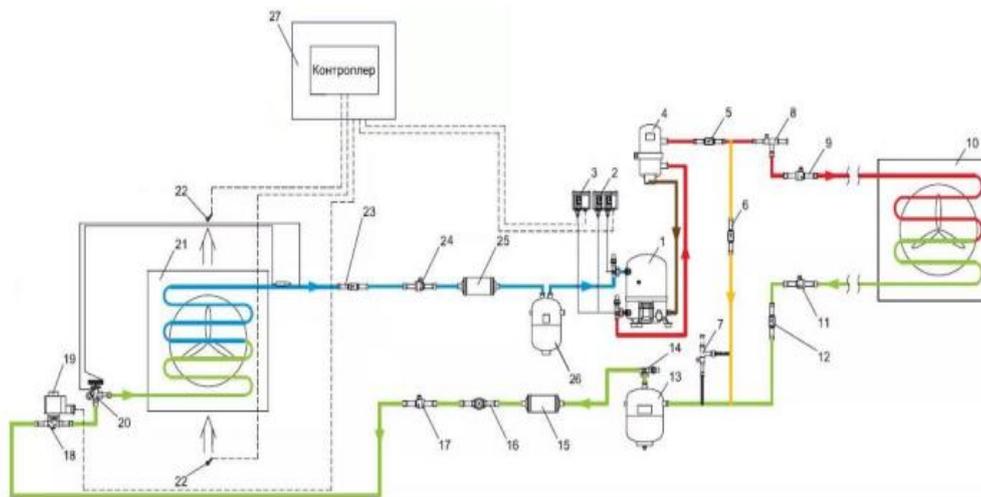


Схема работы холодильной машины с конденсатором воздушного охлаждения

- | | |
|---|---|
| 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 | |

Рис. 1. Схема принципа работы холодильной установки воздушного охлаждения.

В разрабатываемом проекте рассмотрена именно компрессионная холодильная машина, так как другие их разновидности (абсорбционные, термоэлектрические и т.д.) распространены не так широко и приборы для их автоматизации имеют незначительное отличие — по месту установки и алгоритму работы.

Компрессор в холодильной установке является основным элементом в котором происходит сжатие поступившего на всасывание пара холодильного агента. Компрессора бывают разных типов: поршневыми, спиральными, винтовыми, центробежными. Например, поршневой компрессор (сходный с двигателем внутреннего сгорания) при помощи поршня сжимает газ (холодильный агент) в цилиндре. Холодильный агент попадает в цилиндр через всасывающий клапан, а выходит через нагнетательный. Коленвал, двигающий поршни через шатуны, приводится в движение электродвигателем (это обратный цикл, а бензиновый двигатель — прямой цикл — детонирующее

топливо толкает поршень, тот — шатун, он в свою очередь — коленчатый вал, от которого вращение передается на колеса).

После компрессора сжатый перегретый пар поступает в маслоотделитель и дальше в конденсатор. На входе маслоотделителя фреон с частицами масла проходит через сетчатый фильтр. При снижении потока фреона, частицы масла, сталкиваясь друг с другом, формируют капли, которые оседают на фильтре и стенках маслоотделителя. Отдельное масло скапливается на дне маслоотделителя и уходит в масляный ресивер, с ресивера в картер компрессора. На выходе из маслоотделителя газообразный хладагент поступает в конденсатор. Попадая в конденсатор, за счет отвода теплоты окружающей средой и работой вентиляторов, пары хладагента конденсируются и превращаются в жидкость. Жидкий хладагент накапливается в ресивере. При работе установки в ресивере скапливается 80% жидкости и 20% насыщенного пара. Затем жидкий хладагент через фильтр-осушитель направляется на вход в испаритель (воздухоохладитель), перед которым устанавливается специальное дросселирующее устройство ТРВ. В фильтре-осушителе осуществляется удаление из системы загрязнений, кислоты и влаги, ТРВ поддерживает заданный перегрев на входе в испаритель, при этом хладагент дросселируется с давления конденсации до давления кипения и поступает в испаритель. Образовавшаяся парожидкостная смесь поступает в батарею испарителя (воздухоохладителя), где происходит вскипание жидкой фазы за счет отвода теплоты из охлаждаемого объекта. Образующийся пар откачивается компрессором. Цикл повторяется.

1.2. Автоматизация холодильной установки

В состав холодильной автоматики входят микропроцессорные блоки управления со встроенными сетевыми картами, что позволяет их подключать к системе мониторинга. Релейно-контакторная аппаратура, датчики давления и температуры. С классической точки зрения автоматизация холодильных

машин не так сложна, но требует глубокого понимания работы приборов автоматики их настройки в зависимости от технологического процесса работы холодильной установки.

Автоматизация холодильных установок обеспечивает более точное поддержание требуемых температур в охлаждаемых помещениях, защиту установок от аварий, увеличивает срок службы механизмов и позволяет сократить обслуживающий персонал до минимума[2].

Для регулирования холодильной установки и защиты от аварий, автоматизация холодильных установок предполагает оснащение их автоматическими устройствами (приборами и средствами автоматизации).

Основным управляющим устройством холодильной установки исследуемой в данной работе является микропроцессорный контроллер фирмы **Danfoss AK-PC-551**. Контроллер используется для регулирования холодопроизводительности компрессоров и конденсаторов в холодильных системах. Может регулироваться работа максимум 8 компрессоров и одного конденсатора. Имеет два аналоговых выхода для регулирования частоты вращения компрессоров или вентиляторов конденсатора.

Регулирование холодопроизводительности определяется сигналами подключенного датчика давления датчика температуры и заданным опорным значением. Вблизи опорного значения должна быть задана нейтральная зона. Внутри нейтральной зоны холодопроизводительность компрессора регулируется таким образом, чтобы можно было поддерживать давление. Когда станет невозможным поддержание давления в пределах нейтральной зоны, контроллер выключит или включит следующий компрессор в последовательности. При дальнейшем подключении или отключении дополнительной холодопроизводительности, холодопроизводительность регулируемого компрессора будет соответствующим образом изменяться, чтобы поддерживать давление в пределах нейтральной зоны (только в том случае, если можно плавно регулировать холодопроизводительность компрессора):

- если давление выше величины “опорное значение + половина нейтральной зоны”, разрешается включение следующего компрессора (стрелка вверх).
- если давление ниже величины “опорное значение – половина нейтральной зоны”, разрешается выключение компрессора (стрелка вниз).
- если давление находится в нейтральной зоне, продолжается работа с включенными в данное время компрессорами. Схема регулирования холодпроизводительности в пределах нейтральной зоны приведена на рис.2.

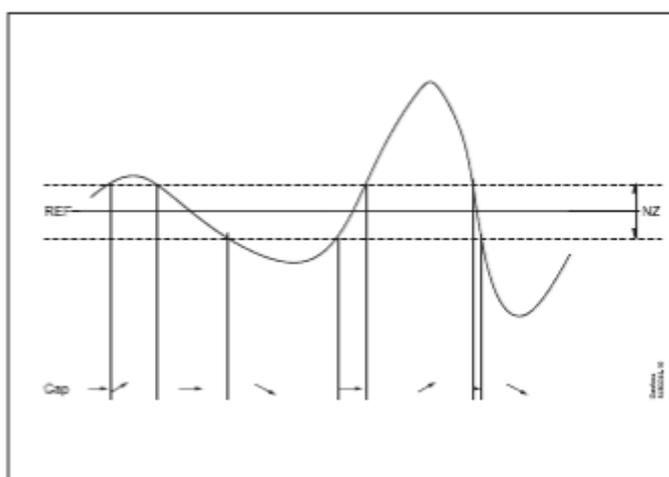


рис.2. Схема регулирования холодпроизводительности в пределах нейтральной зоны.

Управление вентиляторами конденсатора может использоваться инкрементное (ступенчатое) управление вентиляторами с помощью реле контроллера или регулирование их частоты вращения с помощью аналогового выхода контроллера. Схема управления вентиляторами приведена на рис.3 Для регулирования используется сигнал измерительного преобразователя давления P_c или датчика температуры среды $S7$. Сигнал сравнивается с опорным значением регулирования[3].

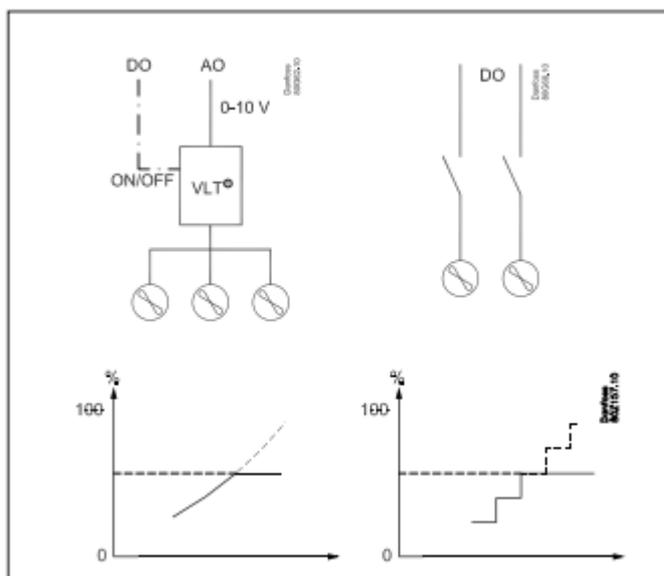


Рис 3. Схема управления вентиляторами

В систему защиты компрессора входит: реле высокого и низкого давления, электронный регулятор уровня масла с функцией аварийного оповещения и возможности отключения компрессора, в котором используется датчик холла для измерения уровня масла и электронный блок со встроенным соленоидным вентилем, который управляет подачей масла в картер компрессора. Тепловая защита, INT -устройство предназначено для контроля температуры обмоток двигателя при помощи РТС датчиков (резисторов R2), встроенных в каждую из обмоток двигателя. Сверху над компрессорами установлены вентиляторы, которые включаются одновременно при запуске компрессора для охлаждения головки блока цилиндров компрессоров. Первый компрессор подключен через частотный преобразователь Danfoss VLT, идет плавное регулирование компрессора, с ростом тепловой нагрузки, когда первый компрессор не справляется с ростом давления, подключается второй компрессор. Второй компрессор подключен через пускатели по схеме в данной установке. Обмотки компрессора двух статорные. Идет отдельное подключение обмоток, первая обмотка запускается сразу, вторая через реле времени 0,5с. Это ограничивает величину пускового тока асинхронного двигателя компрессора. При отключении компрессора включается тэн подогрева

картера компрессора, для избегания значительного растворение хладагентом масла, находящегося в картере, либо когда температура в месте установки компрессора опускается ниже допустимой. Последствиями этого являются повышенный выброс масла, гидроудары и недостаточная смазочная способность масла при последующем пуске компрессора.

Запорно-регулирующая арматура трубопровода холодильной установки включает в себя; соленоидный клапан для перекрытия подачи газа на жидкостной линии, обратные клапана, запорные клапана, клапаны регуляторы KVR и NRD используются для поддержания постоянного и достаточно высокого давления в конденсаторе и ресивере холодильных установок в зимнее время года. Терморегулирующий вентиль (трв) - это регулятор подачи необходимого количества жидкости фреона в испаритель, кипение в котором происходит за счет перепада давления, а регулирование подачи фреона за счет перегрева.

1.3. Основные технические параметры холодильной установки.

1. Тип агрегата – одноступенчатый, состоящий из двух поршневых четырех цилиндровых компрессоров: полугерметичный компрессор фирмы FRASCOLD и компрессор открытого типа фирмы BITZER.
 - S 10 52Y серийный № 3Q001253
 - 4P. 2Y-K BITZER
2. Номинальная холодопроизводительность хол. установки 14,54 кВт.
 - при температуре кипения хладагента -35°C
 - температура конденсации $+45^{\circ}\text{C}$
3. Мощность потребляемая агрегатом при номинальной холодопроизводительности 27.8 кВт
4. Напряжение сети трехфазного переменного тока(50Гц) 380-420 В
5. Холодильный агент (хладагент) R404a

6. Смазочное масло TOTAL ACD 68
7. Режим работы агрегата:
 - температура кипения хладагента от -30°C до -40°C
 - предельная температура конденсации $+50^{\circ}\text{C}$
8. Габаритные размеры, не более:
 - длина 1850мм
 - ширина 1050мм
 - высота 1950мм
9. Масса 470кг
10. Ресивер марки FP-LR-32.5 32.5л

1.4 . Параметры компрессора Frascold S10-52Y

Максимальная потребляемая мощность компрессора по паспорту завода изготовителя: 14,9 кВт. 1450 об/мин при 50Гц, 1740об/мин при 60Гц. Двигатель асинхронный с короткозамкнутым ротором. Компрессор имеет две абсолютно независимые обмотки с отдельным пуском подключенные по схеме звезда, наложенные одна на другую таким образом, чтобы образовать единый статор (технология Part Winding (PW)). Схема обмоток приведена на рис.4

В таблицы 1 и 2 приведены технические параметры компрессора и характеристики для фреона R404A при различных температурах кипения и конденсации влияющие на холодопроизводительность и мощность потребляемую компрессором.

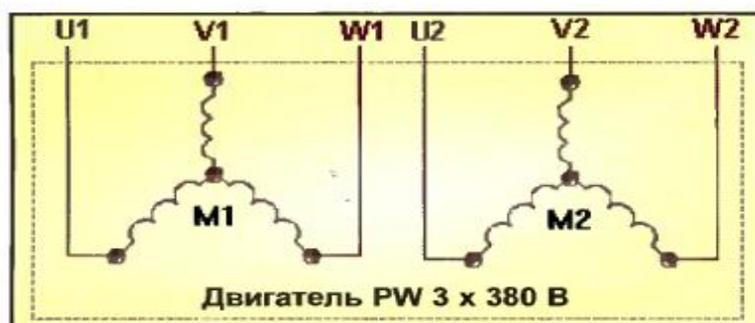


Рис. 4. Схема обмоток компрессора

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						
					Двигатель		Макс. рабочий ток А			Макс. потребляемая мощность, кВт	Ток заблокированного ротора А		Всасывание		Нагнетание			
					Версия	Размещение						230V	400V	230V	400V	дюйм	мм	дюйм
							DOL	DOL		PWS								
S5-33Y	4	32,80	2,9	115	2				15,9	7,8		57,8	35,5	17%	35,0	17%	28,6	
S7-33Y	4		2,9	117	1				20,4	11,1		75,0	47,0	17%	35,0	17%	28,6	
S8-42E	4	41,32	2,9	117	3				12,8	7,3		90,3	52,7	17%	35,0	17%	28,6	
S8-42Y	4		2,9	117	2				20,3	11,8		90,3	52,7	17%	35,0	17%	28,6	
S12-42Y	4		2,9	120	1				22,4	12,9		102,3	59,1	17%	35,0	17%	28,6	
S10-52E	4	51,50	2,9	120	3				14,7	8,4		102,7	59,5	17%	35,0	17%	28,6	
S10-52Y	4		2,9	120	2				24,5	14,9		102,3	59,1	17%	35,0	17%	28,6	

По каталожным параметрам завода изготовителя компрессора определяем номинальную мощность и холодопроизводительность компрессора при заданных рабочих параметрах температуры конденсации и температуры кипения хладагента холодильной установки.

Таблица 2. Характеристики для фреона R404A при различных температурах кипения и конденсации влияющие на холодопроизводительность и мощность потребляемую компрессором.

Полугерметичные поршневые компрессоры

Характеристики для R404A - R507A [50 Гц]

Компрессор	Версия двигателя	T конд. [°C]	Qo [Вт] = Холодопроизв-ть Pe [кВт] = потр. мощность	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
Pe			7,88				7,42	6,9	6,33	5,72	5,09	4,45	3,82	3,20
Qo			24673				20325	16534	13256	10442	8048	6028	4334	2921
40	Qo					9,10	8,40	7,65	6,88	6,10	5,31	4,54	3,79	3,08
	Pe					20173	16505	13328	10594	8258	6273	4594	3173	
	Qo					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	8497	6137	4147
			Pe			8,67	8,15	7,56	6,91	6,22	5,49	4,74	3,97	3,21
			Qo			28341	23401	19083	15328	12078	9276	6862	4778	2967
		40	Qo			9,93	9,17	8,35	7,50	6,62	5,73	4,83	3,94	3,07
			Pe			22954	18862	15302	12218	9550	7240	5230	3463	
			Qo			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	
			Qo			39041	32568	26869	21889	17573	13866	10713	8059	
		40	Qo			10,32	9,75	9,09	8,36	7,57	6,74	5,90	5,06	
			Pe			32203	26668	21829	17629	14016	10933	8325	6138	
			Qo			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
			Qo			34176	28191	23096	18767	15081	11915	9146	6651	4308
		40	Qo			12,48	11,61	10,62	9,54	8,42	7,30	6,22	5,23	4,35
			Pe			28585	23477	19147	15471	12327	9591	7142	4855	
			Qo			14,16	12,97	11,69	10,36	9,01	7,70	6,46	5,34	

Методом интерполяции определяем при конденсацию 45^0 холодопроизводительность и мощность компрессора:

$$f(X) = f(X1) - (f(X1) - f(X3)) \cdot (X - X1) / (X2 - X1) = 9146 - (9146 - 7142) \cdot (45 - 40) / (50 - 40) = 8144 \text{ Вт}$$

$$f(X) = f(X1) + (f(X2) - f(X1)) \cdot (X - X1) / (X2 - X1) = 6.22 + (6.46 - 6.22) \cdot (45 - 40) / (50 - 40) = 6.34 \text{ кВт}$$

При рабочих параметрах температуры компрессор будет потреблять 6,34 кВт. Мощность, потребляемая компрессором, будет меняться в зависимости от температуры конденсации, тепловой нагрузки, сопротивления на валу двигателя.

Определяем номинальное значение тока статора:

$$I_{НОМ} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{6340}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,85} = 13,$$

при раздельном подключении обмоток 6,5 А.

Мощность, потребляемая из сети:

$$P_1 = \frac{P_{НОМ}}{\eta_{НОМ}} = \frac{6,34}{0,85} = 7,45 \text{ кВт}$$

Номинальный момент, развиваемый двигателем:

$$M = 9,55 \frac{P_{НОМ}}{n_2} = \frac{9,55 \cdot 6340}{1450} = 41,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номинальное скольжение:

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

Частота тока в роторе:

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

2. Обоснование выбора частотно-регулируемого электропривода

Как показывают теория и практика, частотное регулирование элементов холодильной системы, обеспечивает максимальную гибкость и энергоэффективность. Большую часть времени холодильные системы работают с производительностью ниже номинальной, так как рассчитаны на пиковую нагрузку, которой система может никогда не потребовать. Винтовые компрессоры с регулировкой производительности золотниковым механизмом, поршневые компрессоры с управлением производительностью при помощи соленоидных клапанов и другие типы компрессоров работают в режиме «вкл»/«выкл». К сожалению, эти методы управления не обеспечивают максимально возможного сокращения потребления электроэнергии при снижении холодопроизводительности. При стандартном подходе к управлению компрессором скорость вращения электродвигателя не регулируется и зависит от частоты питающей сети, а так же от конструктивных особенностей двигателя (количества полюсов). Нагрузка на валу двигателя определяется произведением частоты вращения вала на крутящий момент. При постоянной скорости вращения, мощность двигателя определяется моментом нагрузки. В случае изменения скорости вращения, нагрузка на двигатель будет уменьшаться не только за счет снижения скорости, но и за счет уменьшения крутящего момента. Использование преобразователей частоты для управления холодопроизводительностью обеспечивает высокую эффективность регулирования компрессоров, вентиляторов и насосов. Преобразователь частоты поддерживает постоянное давления всасывания путем непрерывного регулирования скорости вращения ведущего компрессора. Использование преобразователей частоты для управления скоростью вращения компрессора способствует росту COP (coefficient of performance, коэффициент полезного действия холодильной машины) системы и снижению энергопотребления.

\

2.1. Выбор способа и закона частотного регулирования

Под частотным управлением понимается управление электродвигателем переменного тока путем изменения амплитуды и частоты питающего напряжения, подаваемого на электродвигатель.

В качестве способа управления выберем скалярный закон регулирования с разомкнутым контуром для регулирования скорости электродвигателя поршневого компрессора.

Данный способ управления позволит плавно изменять скорость вращения электродвигателя компрессора в соответствии с технологическим процессом работы холодильной установки.

Объемные компрессоры (например, винтовые, поршневые, ротационные, спиральные) относятся к устройствам с постоянным крутящим моментом. Это означает, что крутящее усилие, необходимое для поворота вала, постоянно, то есть не зависит от скорости вращения. Таким образом, мощность на валу определяется рабочими условиями (давлением) и способом управления производительностью, влияющими на крутящий момент. В общем, снижение скорости вращения на 50% приводит к пропорциональному уменьшению мощности на валу двигателя на 50%.

Принимая во внимание вышесказанное, может быть принят один из двух законов частотного управления: $\frac{U}{f} = const$

Нагрузочная характеристика поршневого компрессора

Объемные компрессоры относятся к устройствам с постоянным крутящим моментом. Это означает, что крутящее усилие, необходимое для поворота вала, постоянно, то есть не зависит от скорости вращения. Таким образом, мощность на валу определяется рабочими условиями (давлением) и способом управления производительностью, влияющими на крутящий момент. В общем, снижение скорости вращения на 50% приводит к пропорциональному уменьшению мощности на валу двигателя на 50% [4]. Зависимость

максимального момента на валу компрессора от частоты вращения вала приведена на рис. 5.

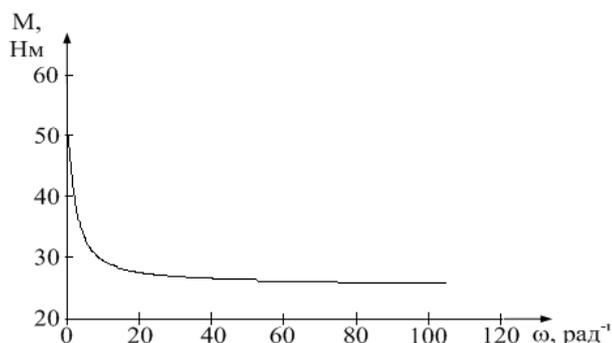


Рис. 5. – Зависимость максимального момента на валу компрессора от частоты вращения вала

Для определения момента, создаваемого компрессором, необходимо учитывать геометрические параметры поршневой машины, зависимость момента от угла поворота вала при единичном радиусе и давлении на поршень, а также изменение давления в полости сжатия[5].

При регулировании изменением частоты вращения привода компрессора необходимо выполнять регулирование в области частот, превышающих критическую 15 рад/с., пульсации момента плавно возрастают при уменьшении частоты вращения до 15 рад/с, при дальнейшем уменьшении частоты вращения пульсации резко возрастают. При увеличении частоты вращения пульсации момента уменьшаются, а при уменьшении – увеличиваются. В данной работе момент нагрузки поршневого компрессора был определен с помощью программы **Bitzer Software**. (Приложение А. Рис.1.).

3.1. Замена и подбор компрессора Frascold на компрессор Bitzer

4P. 2Y-K открытого типа.

Для подбора компрессора Bitzer будем использовать программу **Bitzer Software**[7]. Вводим рабочие параметры холодильной установки и ее нагрузку. Программа автоматически определяет тип открытого компрессора и мощность электродвигателя привода компрессора. Результаты расчета приведены на рисунке 6,7,8.



Рис. 6. Исходные данные и результаты подбора компрессора и необходимого мотора привода.

Границы применения Standard

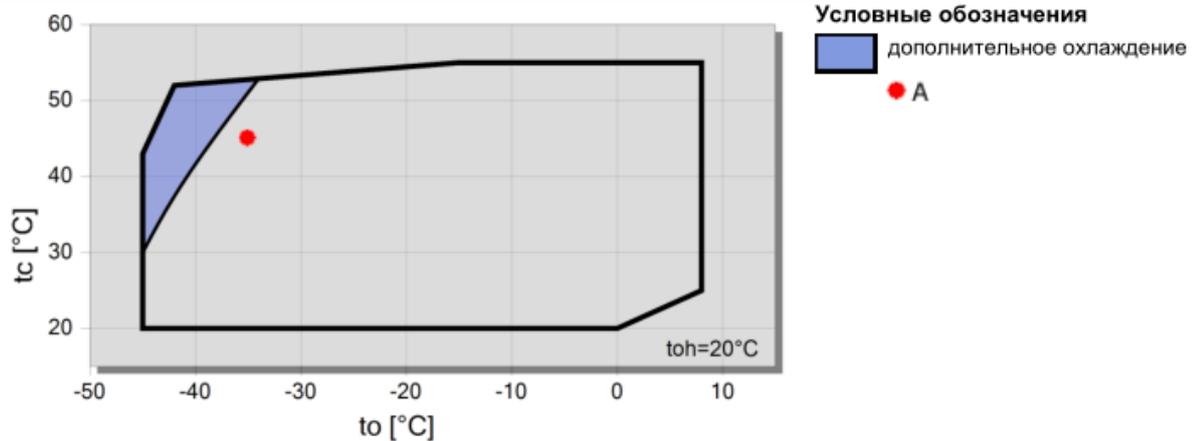
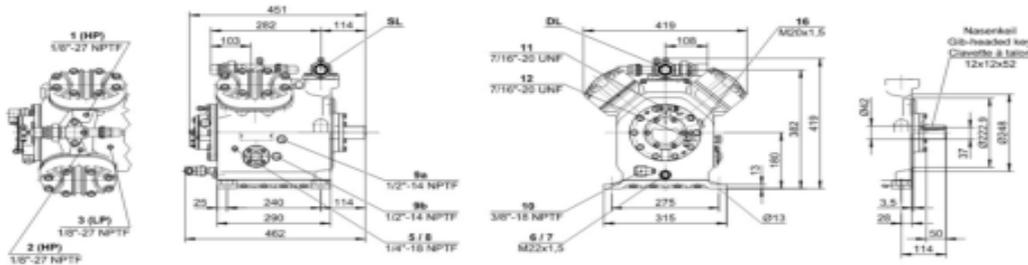


Рис. 7. Рабочая точка и границы применения компрессора при заданной температуре кипения и конденсации.

Технические данные: 4P.2Y-K

Размеры и соединения



Технические данные

Технические параметры

Объемная производ-сть (1450 об/мин 50Гц)	47,14 m ³ /h
Объемная производ-сть (1750 об/мин 60Гц)	56,9 m ³ /h
Число цилиндров x Диаметр x Ход поршня	4 x 55 mm x 57 mm
Допустимый диапазон скоростей	750 .. 1750 1/min
Вес	77 kg
Макс. избыточное давление (НД/ВД)	19 / 25 bar
Присоединение линии всасывания	35 mm - 1 3/8"
Присоединение линии нагнетания	28 mm - 1 1/8"
Тип масла для R134a/R404A/R507A/R407A/R407C/R407F	tc<55°C: BSE32 / tc>55°C: BSE55 (Option)

Тип масла для R22 (R12/R502)

B5.2 (Standard)

Комплект поставки

Заправка масла	4,0 dm ³
Защитная заправка	Standard
Запорный вентиль на всасывании	Standard
Запорный вентиль на нагнетании	Standard

Доступные опции

Соед. муфта (...K) для А/С и средн. темп.	KK411 [<11kW] / KK420 [<22kW] (Option)
Соед. муфта (...K) для низких темп.	KK415 [<7.5kW] / KK425 [<22kW] (Option)
Кожух соединительной муфты	Option
Шкив мотора (...S)	190, 210, 230 mm (Option)
Приводные ремни	3 x SPA (Option)
Датчик температуры нагнетания	Option (incl. INT69VS)
Стартовая разгрузка	Option
Присоединение воды-охладителя	R 1/2" (Option)
Регулирование производительности	100-50% (Option)
Дополнительный вентилятор	Option
Водоохлаждаемые головки цилиндров	Option
Сервисный масляный клапан	Option
Подогреватель масла в картере	100 W (Option)
Контроль давления масла	MP54 (Option)
Набор для морского применения	Option

Рис. 8. Технические параметры компрессора и требуемой соединительной муфты для приводного двигателя компрессора.

Необходимая мощность двигателя для привода: 11кВт, муфта КК425. Муфта компрессора должна быть тщательно установлена, чтобы гарантировать нормальную работу всей машины. Неправильная установка может привести к ее повреждению и повлияет на работу компрессора. Геометрические параметры муфты должны соответствовать размерам валов компрессора и двигателя. Выбор типа муфты можно сделать по следующей таблице (Приложение А таблица 1). Устройство и расположение деталей муфты приведено в (приложение А рис.1,2).

3.2. Выбор электродвигателя для привода компрессора

1. Электродвигатель выбираем общепромышленного (общего) назначения серии АИС европейского стандарта "**DIN (cenelec)**" с самовентиляцией со степенью защиты *IP55*, что удовлетворяет техническим требованиям к регулируемому электроприводу.

2. Номинальная скорость электродвигателя выбирается исходя из условия $\omega_{дв.н} \geq \omega_{эп.макс}$, что требует регулирования скорости двигателя в первой зоне ($f_{и} \leq 50$ Гц), где $\omega_{эп.макс} = \omega_{нас}$.

3. Мощность электродвигателя выбирается в соответствии с зависимостями длительно допустимого и кратковременно допустимого тока и момента или мощности двигателя в функции скорости.

4. Номинальная мощность электродвигателя выбирается в режиме длительной работы в соответствии со следующим условием $P_{дв.н} \geq P_{дв.потр}$, где $P_{дв.потр} = P_{полн}$.

Компрессор исходя из технических требований к нему, работает в режиме *S1* – продолжительная работа с постоянной нагрузкой. Поэтому электродвигатель компрессора по мощности выбирается из условия работы но с максимальной производительностью[8].

Мощность на валу компрессора 6,30 кВт, необходимый мотор привода 11 Квт. Выбираем электродвигатель АИС160М4, степень защиты IP55.

Технические данные выбранного электродвигателя сведены в таблице 3.

Таблица 3.

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

3.3. Расчет схемы замещения электродвигателя

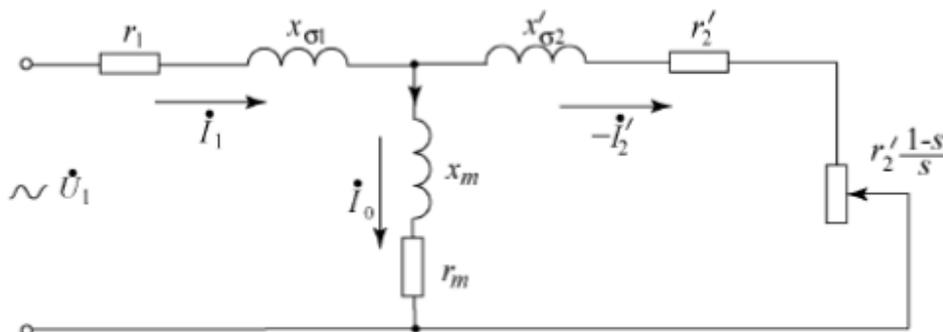


Рис. 9. Схема замещения электродвигателя

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

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p_* \cdot I_{1n} (1 - s_n) / (1 - p_* \cdot s_n)]^2}{1 - [p_* \cdot (1 - s_n) / (1 - p_* \cdot s_n)]^2}} = \sqrt{\frac{17,05^2 - [0,75 \cdot 22,28 \cdot (1 - 0,026) / (1 - 0,75 \cdot 0,026)]^2}{1 - [0,75 \cdot (1 - 0,026) / (1 - 0,75 \cdot 0,026)]^2}} = 5,83 \text{ A}$$

Номинальный ток статора двигателя:

$$I_{1n} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{1n} \cdot \cos \phi_n \cdot \eta_n} = \frac{11000}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,88} = 22,28 \text{ A}$$

Ток статора двигателя при частичной нагрузке:

$$I_{11} = \frac{P_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 11000}{3 \cdot 220 \cdot 0,833 \cdot 0,88} = 17,05 \text{ A}$$

$\cos \varphi_{p_*} = 0,98 \cdot 0,85 = 0,833$ - коэффициент мощности при частичной нагрузке;

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

Критическое скольжение;

$$s_k = s_H \frac{\kappa_{\max} + \sqrt{(\kappa_{\max})^2 - 1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (\kappa_{\max} - 1)}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (\kappa_{\max} - 1)} = 0,026 \frac{2,3 + \sqrt{2,3^2 - [1 - 2 \cdot 0,026 \cdot 1,3(2,3 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,026 \cdot 1,3(2,3 - 1)} = 0,125$$

Определяем коэффициенты;

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{5,83}{2 \cdot 7 \cdot 22,28} = 1,018$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot \kappa_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 (1 - 0,026)}{2 \cdot 1,018 \cdot 2,3 \cdot 11000} = 2,745$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя;

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + 1/s_k) \cdot C_1} = \frac{2,745}{(1,3 + 1/0,125) \cdot 1,018} = 0,290 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора;

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,018 \cdot 0,261 \cdot 1,3 = 0,383 \text{ Ом}$$

Определяем параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_{кн}$

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0,125^2) - 1,3^2} = 7,893$$

$$X_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 7,893 \cdot 1,018 \cdot 0,290 = 2,356$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы роторной обмотки;

$$X_{2\sigma H}' = 0,58 \cdot X_{кн} / C_1 = 0,58 \cdot 2,356 / 1,018 = 1,342 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы статорной обмотки;

$$X_{1\sigma H} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 2,356 = 0,989 \text{ Ом}$$

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

$$E_m = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi_{1H} - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{1H}} - X_{1\sigma H} \cdot I_{1H})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0,85 - 0,383 \cdot 22,28)^2 + (220 \sqrt{1 - 0,85^2} - 0,989 \cdot 22,28)^2} = 182,68 \text{ В}$$

тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания;

$$X_m = \frac{E_m}{I_0} = \frac{182,68}{5,83} = 31,33 \text{ Ом}$$

3.4. Расчет статических характеристик асинхронного двигателя.

Анализ полученных результатов

Определяем синхронную угловую скорость двигателя [10]:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,1415 \cdot 1500}{30} = 157,075 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Электромагнитный момент;

$$M = \frac{m_1 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot [(R_1 + R_2' \cdot s^{-1})^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')^2]} =$$

$$M := \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,261}{157,075 \cdot 0,026 \left[(0,345 + 0,261 \cdot 0,026^{-1})^2 + (0,890 + 1,208)^2 \right]}$$

$$M = 82,695 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент критический двигательного режима;

$$M_{KД} = \frac{m \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2})} =$$

$$M := \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157,07 \left[0,345 + \sqrt{0,345^2 + 2,12^2} \right]}$$

$$M_{KД} = 185,34 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номинальная скорость двигателя;

$$\omega_n = \omega_0(1 - s_n) = 157.07(1 - 0.026) = 152.98 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент двигателя;

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{11000}{152.98} = 71.90 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальный момент двигателя;

$$M_{\max} = k_{\max} \cdot M_n = 2.3 \cdot 71.90 = 165.37 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определим зависимость тока ротора I_2' , приведенного к обмотке статора, от скольжения:

$$I_2' = \frac{U_{1\phi n}}{\pm \sqrt{(R_1 + R_2'/s)^2 + X_{\kappa n}^2}} = \frac{220}{\pm \sqrt{(0.345 + 0.261/0.026)^2 + 2.121^2}} = 22.77 \text{ А}$$

По результату расчета строится естественная механическая и электромеханическая характеристика двигателя рис.10,11.

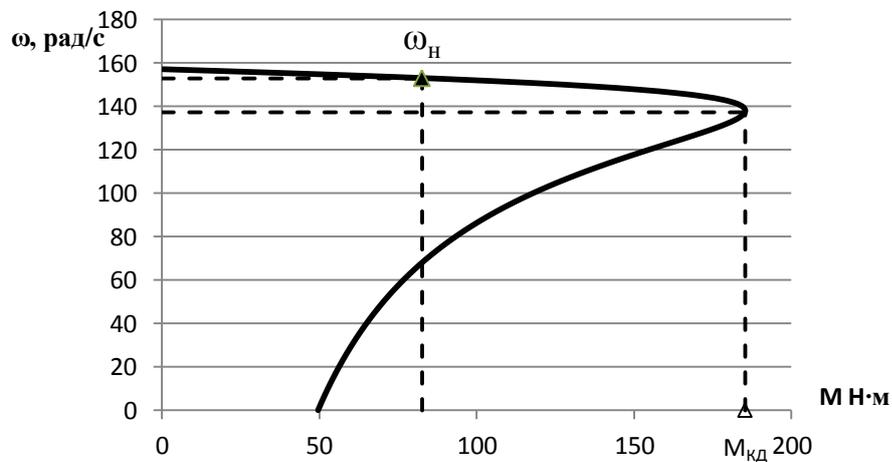


Рис. 10. Естественная механическая характеристика двигателя

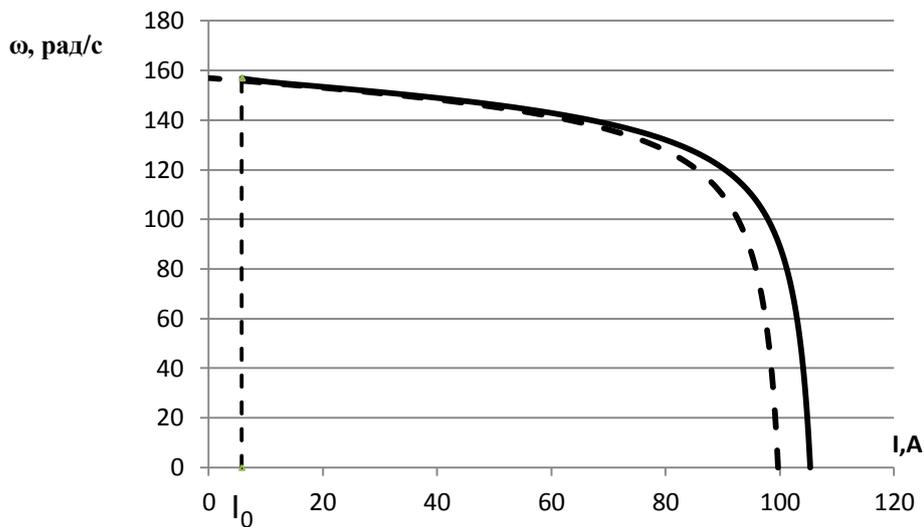


рис. 11. Естественные электромеханическая характеристики двигателя

3.5. Расчет искусственных механических и электромеханических характеристик системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель

Для обеспечения пусковой характеристики принимаем минимальную частоту инвертора $f_{1\text{мин}} = 10$ Гц. Минимальную частоту вращения компрессора, в соответствии с техническими требованиями к электроприводу $n_{\text{дв.раб.мин}} = 750$ об / мин . Следовательно минимальная рабочая частота инвертора

$$f_{\text{р.мин}} = \frac{n_{\text{дв.раб.мин}}}{n_{\text{дв.н}}} \cdot f_{\text{сети}} = \frac{750}{1450} \cdot 50 = 25 \text{ Гц}$$

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

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

При скалярном управлении электроприводом компрессора следует рассчитать и построить семейство механических характеристик электродвигателя в диапазоне частот от 10 Гц до 50 Гц.

1. Произведем расчет и построение искусственных механических характеристик.

Искусственная механическая характеристика $M_{эм}(s)$ электродвигателя для частоты f_1 при законе управления $\frac{U}{f} = const$ рассчитывается по выражению[11]:

$$M_{эм}(s, f_1) = \frac{3 \cdot \left(U_{1фн} \cdot \frac{f_1}{f_{сему}} \right)^2 \cdot R_2'}{\omega_0(f_1) \cdot s \cdot \left[\left(X_{кн} \cdot \frac{f_1}{f_{сему}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{сему}}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot \left(220 \cdot \frac{f_1}{50} \right)^2 \cdot 0,261}{\omega_0(f_1) \cdot s \cdot \left[\left(2,121 \cdot \frac{f_1}{50} \right)^2 + \left(0,345 + \frac{0,261}{s} \right)^2 + \left(\frac{0,345 \cdot 0,261}{s \cdot 34,890 \cdot \frac{f_1}{50}} \right)^2 \right]},$$

где $\omega_0(f_1) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{сему}} = 104,7 \cdot \frac{f_1}{50}$.

По результатам расчета строятся механические характеристика $\omega(M_{эм})$ для частоты f_1 (где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению $\omega = \omega_0(f_1) \cdot (1-s)$). На рисунке 12 изображены искусственные механические характеристики соответствующие частотам $f_1 = 10\text{Гц}, 20\text{Гц}, 30\text{Гц}, 40\text{Гц}, 50\text{Гц}$.

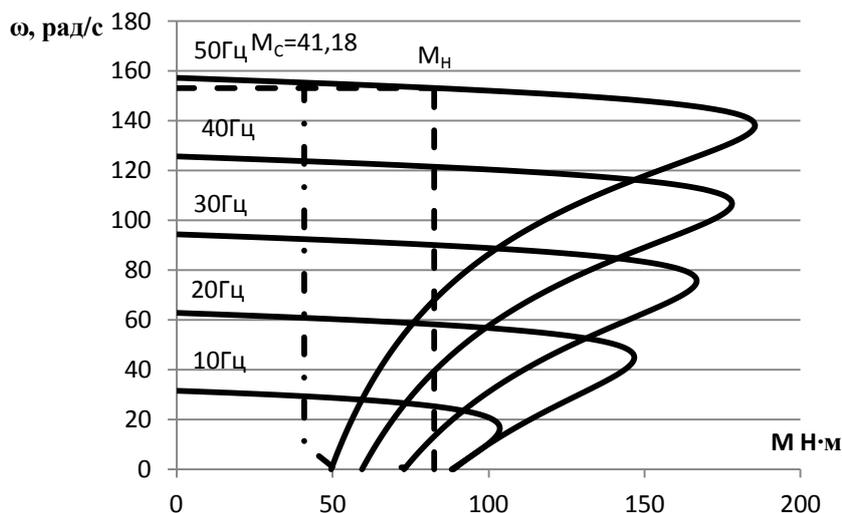


Рис. 12. Механическая характеристика системы преобразователь-двигатель при законе регулирования $\frac{U}{f} = const$ и постоянной нагрузке.

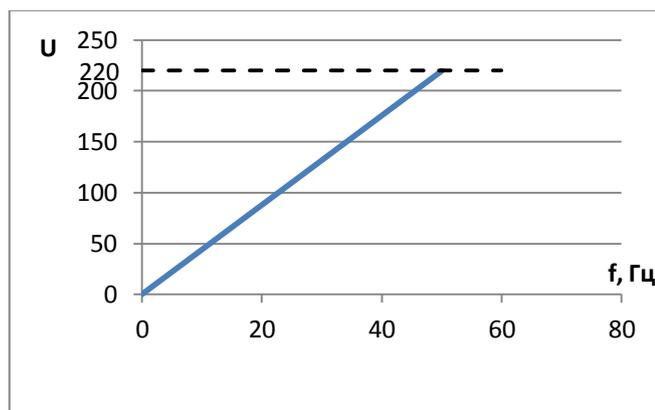


Рис. 13. Вольт-частотная характеристика преобразователя: при законе регулирования $\frac{U}{f} = const$.

2. Произведем расчет и построение искусственных электромеханических характеристик рисунок 14.

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2^2(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2(s, f_1) \cdot \sin \phi_2(s, f_1)} ;$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_{\mu})^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{cemu}}\right)}} = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0.261^2 + (0.890 + 34.89)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)}} ;$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{cemu}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu} \cdot \frac{f_{cemu}}{f_1}\right)^2}} =$$

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

$$\sin \phi_2(s, f_1) = \frac{X_{KH} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{cemu}}\right)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_{KH})^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{cemu}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu} \cdot \frac{f_{cemu}}{f_1}\right)^2}} =$$

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

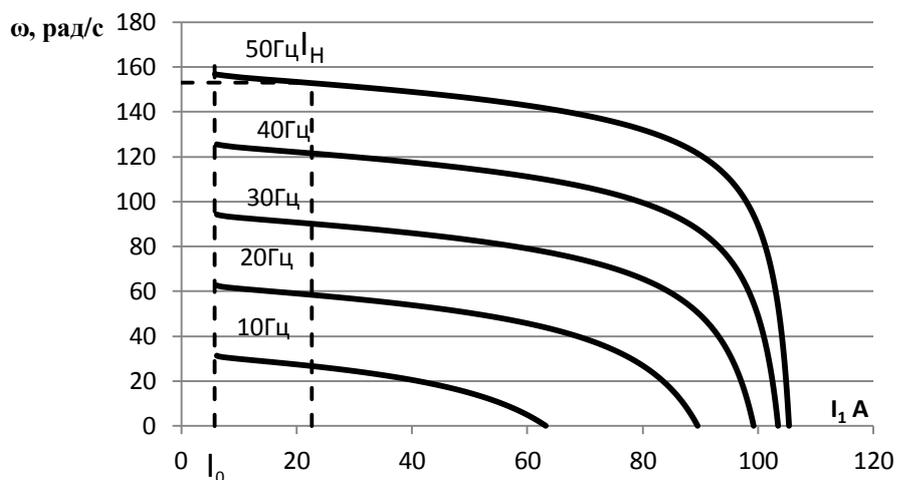


Рис. 14. Семейство электромеханических характеристик $\omega(I_1)$ системы ПЧ.

3.6. Выбор преобразователя частоты

Преобразователь частоты для управления электродвигателя компрессора должен соответствовать следующим характеристикам:

- номинальная мощность, не менее 11 кВт
- номинальный (длительно допустимый) ток, не менее 22.30 А

- максимальный (кратковременный) ток, не менее	22.30 А
- диапазон регулирования скорости, не менее	1:10
- точность регулирования скорости, не менее	0.01
- плавность регулирования, не менее	0.01
- напряжение питающей сети	3×380 В
- частота питающей сети	50 Гц

Поскольку для технологического процесса не требуется значительный диапазон регулирования скорости выбираем преобразователь частоты с возможностью скалярного способа управления электродвигателем.

Предварительно, для управления электродвигателем компрессора выберем преобразователь частоты марки VLT MICRO DRIVE FC 51 132F0059 фирмы «Danfoss», номинальной мощностью 15 кВт.

Параметры выбранного ПЧ сведены в таблице 4.

Таблица 4.

Напряжение сети питания, В:	3х380
Напряжение питания двигателя, В:	3х380
Мощность, кВт:	15
Номинальный ток, А:	31
Перегрузочная способность, %:	150% в течении минуты
Пусковой момент:	150% от 1 Гц
Характеристика управления:	векторное или U/F
Протокол связи:	Modbus
Тормозной прерыватель:	Встроен
Тормозной резистор:	Опционален

3.7. Структурная схема асинхронного двигателя

Система уравнений, описывающих работу асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат α, β имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dI_{1\alpha}}{dt} = \frac{1}{\sigma \cdot L_1} \cdot U_{1\alpha} - \frac{R_3}{\sigma \cdot L_1} \cdot I_{1\alpha} + \frac{R_2' \cdot L_m}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2^2} \cdot \Psi_{2\alpha} + \frac{L_m}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\beta}; \\ \frac{dI_{1\beta}}{dt} = \frac{1}{\sigma \cdot L_1} \cdot u_{1\beta} - \frac{R_3}{\sigma \cdot L_1} \cdot I_{1\beta} + \frac{R_2' \cdot L_m}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2^2} \cdot \Psi_{2\beta} - \frac{L_m}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\alpha}; \\ \frac{d\Psi_{2\alpha}}{dt} = -\frac{R_2'}{L_2} \cdot \Psi_{2\alpha} + \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2} \cdot I_{1\alpha} - z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\beta}; \\ \frac{d\Psi_{2\beta}}{dt} = -\frac{R_2'}{L_2} \cdot \Psi_{2\beta} + \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2} \cdot i_{1\beta} + z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\alpha}; \\ M_{эм} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot (\Psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \Psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} \cdot (M_{эм} - M_c) \end{array} \right.$$

где

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

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

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

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, A ;

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

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

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

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

J – момент инерции двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

В операторной форме записи система уравнений принимает вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1\alpha} = R_3 \cdot (T_3 \cdot p + 1) \cdot I_{1\alpha} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2\alpha} - \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} = R_3 \cdot (T_3 \cdot p + 1) \cdot I_{1\beta} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2\beta} + \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\alpha}; \\ 0 = (T_2 \cdot p + 1) \cdot \Psi_{2\alpha} - L_m \cdot I_{1\alpha} - \frac{L_2}{R_2'} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\beta}; \\ 0 = (T_2 \cdot p + 1) \cdot \Psi_{2\beta} - L_m \cdot I_{1\beta} + \frac{L_2}{R_2'} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2\alpha}; \\ M_{\text{эм}} - \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot (\Psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \Psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\ \omega = \frac{1}{J \cdot p} \cdot (M_{\text{эм}} - M_c), \end{array} \right.$$

где

$$R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2}; \quad T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3}; \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2'}.$$

Уравнениям соответствует структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора α , β , приведенная на рис. 15.

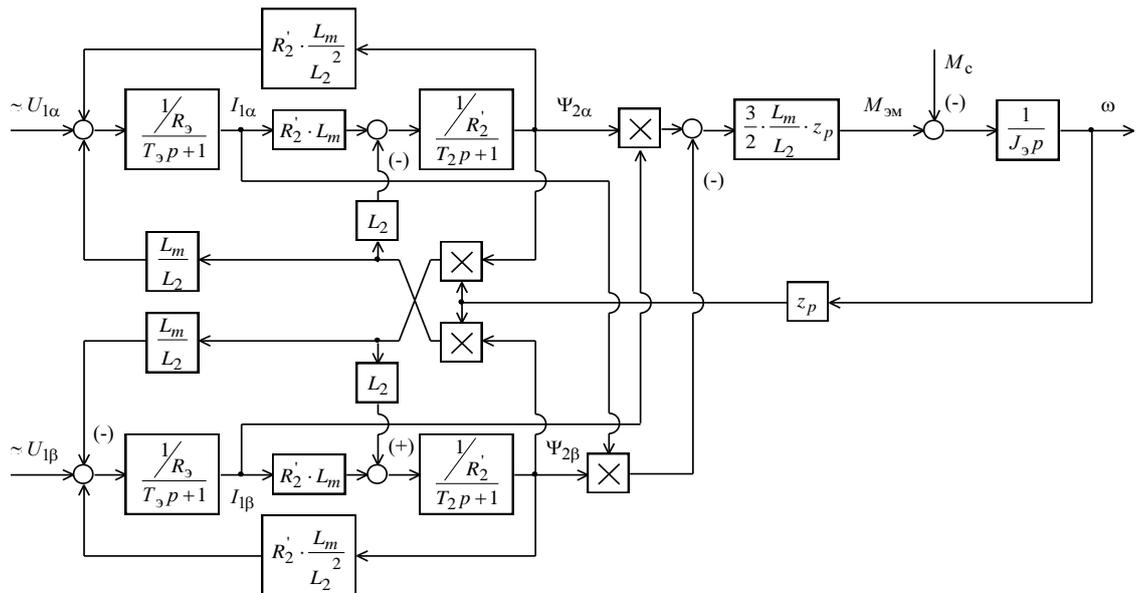


Рис. 15. - Структурная схема асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат статора α, β

3.8. Расчет переходных процессов пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть и при изменении нагрузки. анализ полученных результатов

Для расчета переходных характеристик воспользуемся имитационной моделью короткозамкнутого асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат. Для создания имитационной модели найдем следующие параметры двигателя.

Индуктивности рассеяния обмоток статора и ротора:

$$L_{1\sigma} = \frac{x_{1н}}{2\pi f} = \frac{0,989}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0031 \text{ Гн};$$

$$L_{2\sigma} = \frac{x'_{2н}}{2\pi f} = \frac{1,342}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0042 \text{ Гн}.$$

Взаимная индуктивность:

$$L_m = \frac{x_m}{2\pi f} = \frac{31,33}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0997 \text{ Гн}.$$

Полные индуктивности обмоток статора и ротора:

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0,0031 + 0,0997 = 0,1028 \text{ Гн};$$

$$L_2' = L_{2\sigma} + L_m = 0,0042 + 0,0997 = 0,1039 \text{ Гн.}$$

Коэффициент рассеяния:

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,0997^2}{0,1028 \cdot 0,1039} = 0,069.$$

Эквивалентное сопротивление:

$$R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2} = 0,383 + 0,290 \cdot \frac{0,0997^2}{0,1039^2} = 0,65 \text{ Ом.}$$

Электромагнитные постоянные времени:

$$T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3} = \frac{0,069 \cdot 0,1028}{0,65} = 0,0109 \text{ с;}$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{0,1039}{0,290} = 0,358 \text{ с.}$$

Момент инерции двигателя:

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

Примем момент инерции на валу машины:

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

Зададим функцию нагрузки. Примем момент трения $M_0 = 1,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Примем, что при частоте $f_{1н} = 50 \text{ Гц}$ нагрузка проходит через точку номинального режима двигателя. Рассчитаем коэффициент k :

$$k = \frac{M_n - M_0}{\omega_n^2} = \frac{71,90 - 1,2}{152,98^2} = 0,0030$$

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

Моделирование асинхронного двигателя осуществим с помощью программы MATLAB Simulink. Имитационная модель изображена на рисунке 16.

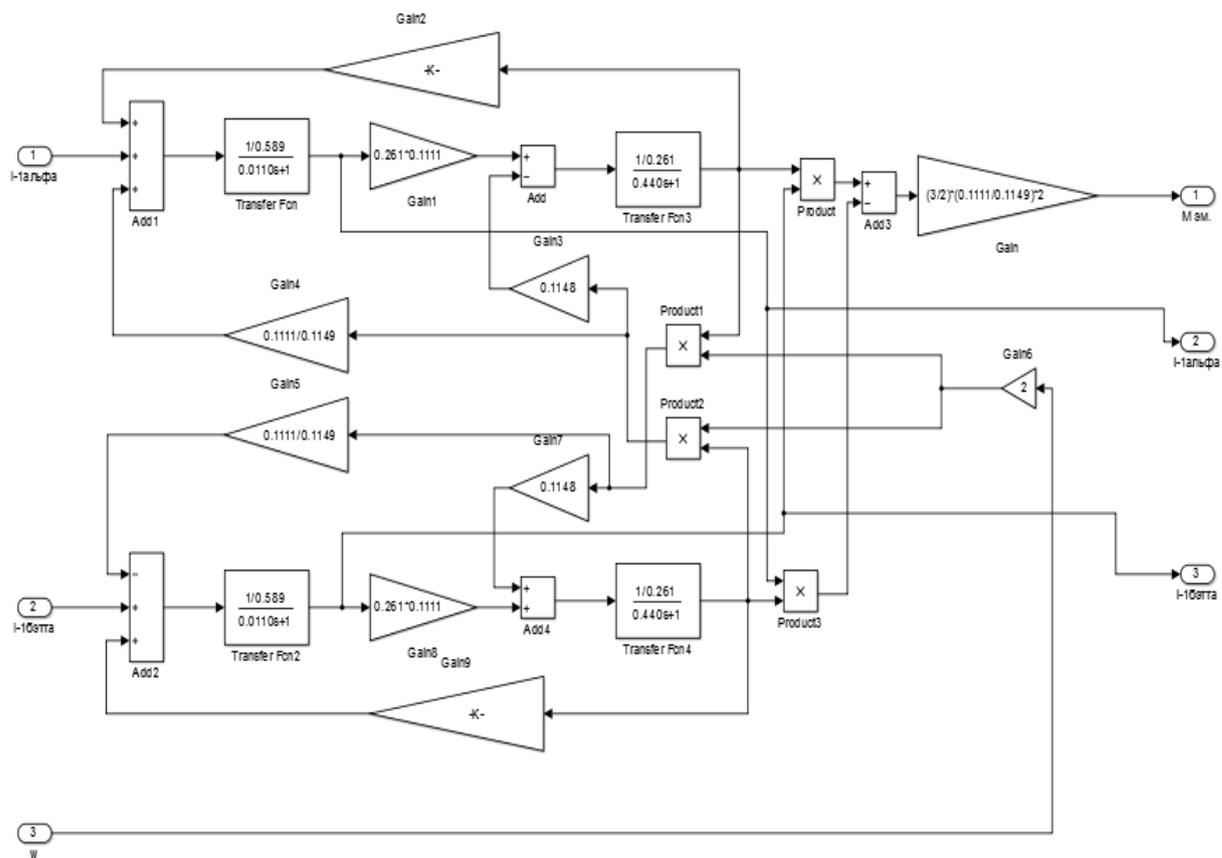


Рис. 16. Имитационная модель двухфазного АД в программной среде MatLAB/Simulink

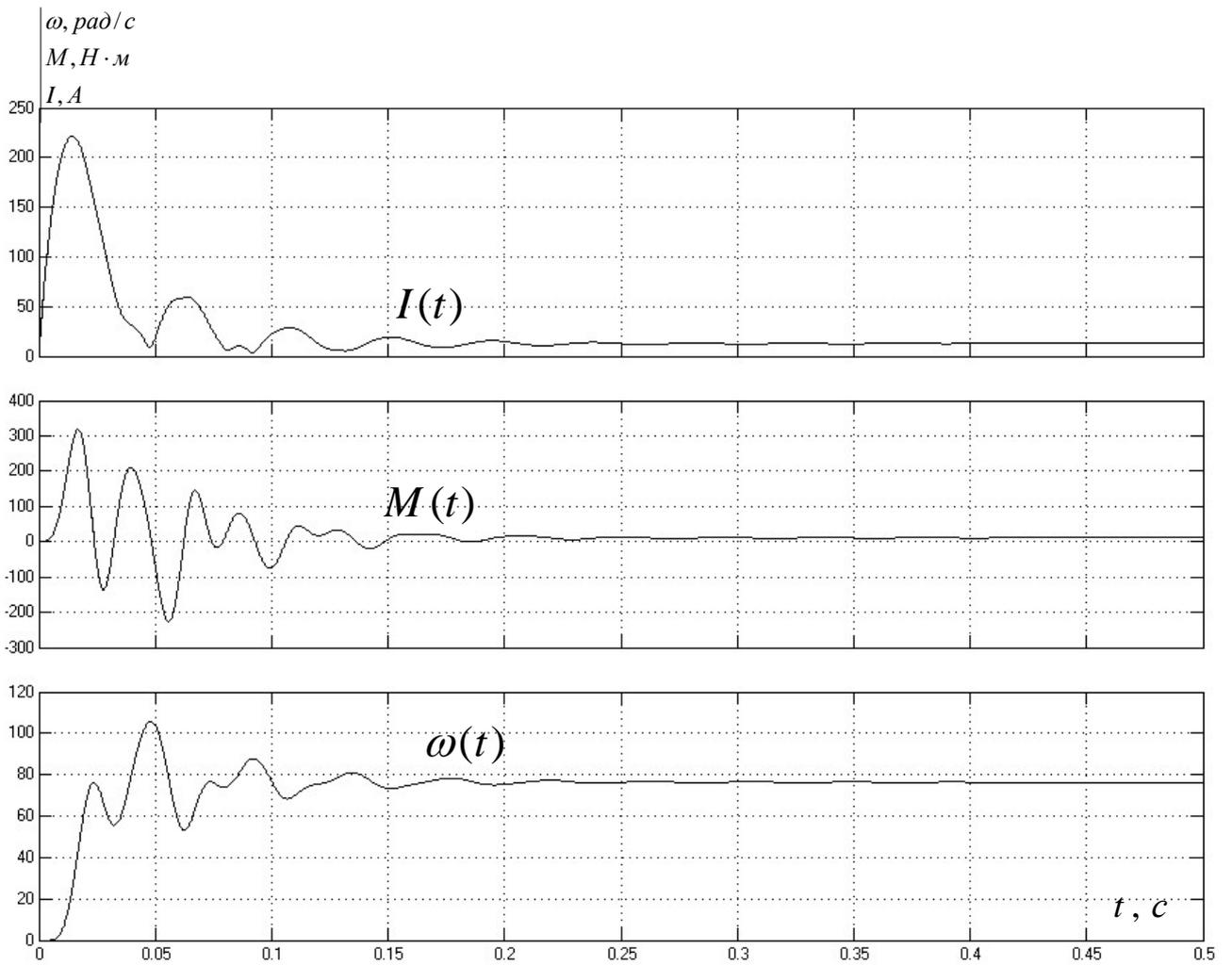


Рис. 17. Характеристики асинхронного двигателя при прямом пуске без нагрузки

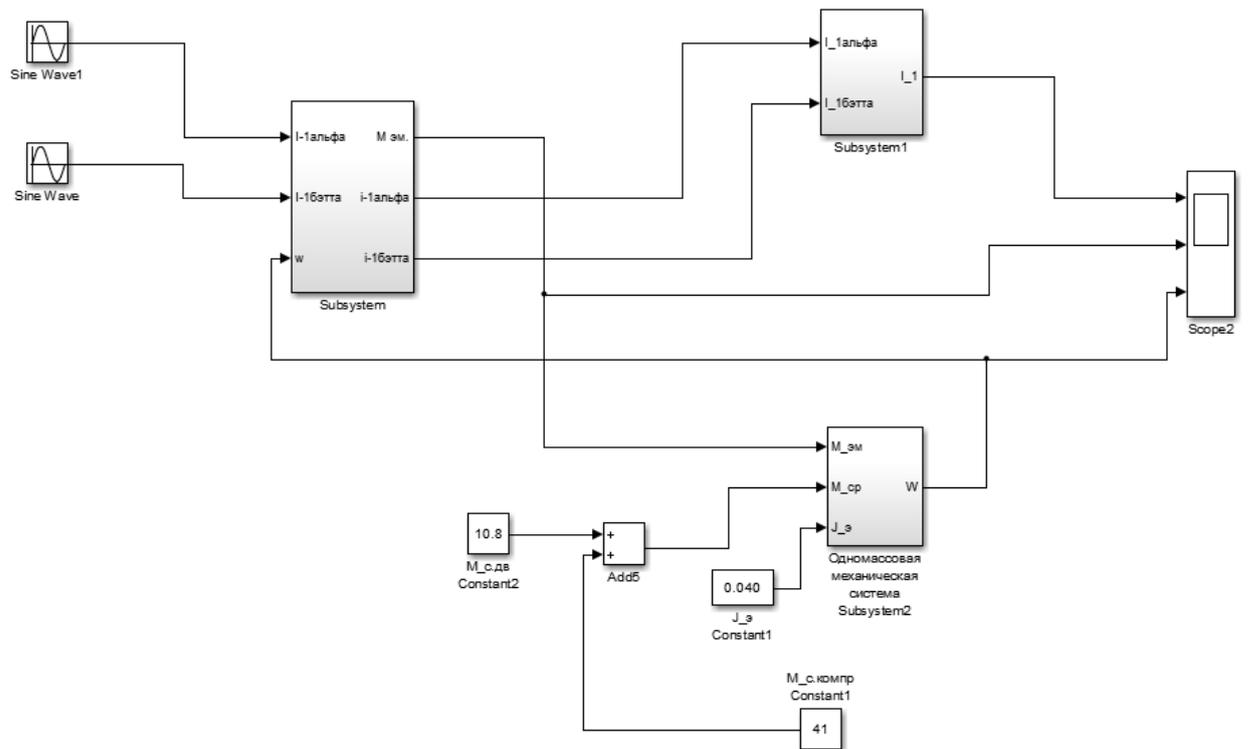


Рис. 18. Имитационная модель двухфазного асинхронного двигателя с одно-массовой механической системой и постоянной нагрузкой.

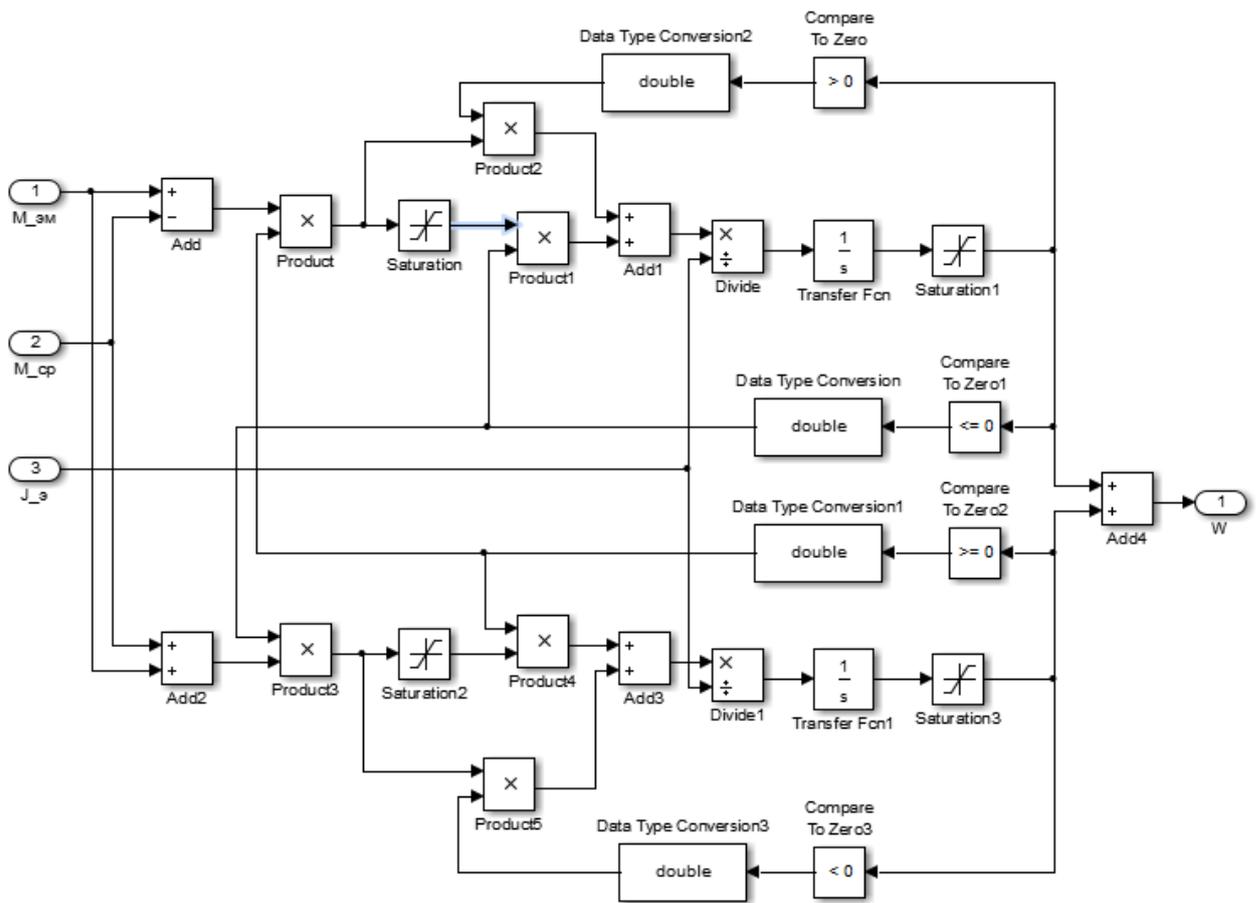


Рис. 20. Имитационная модель одномассовой механической системы

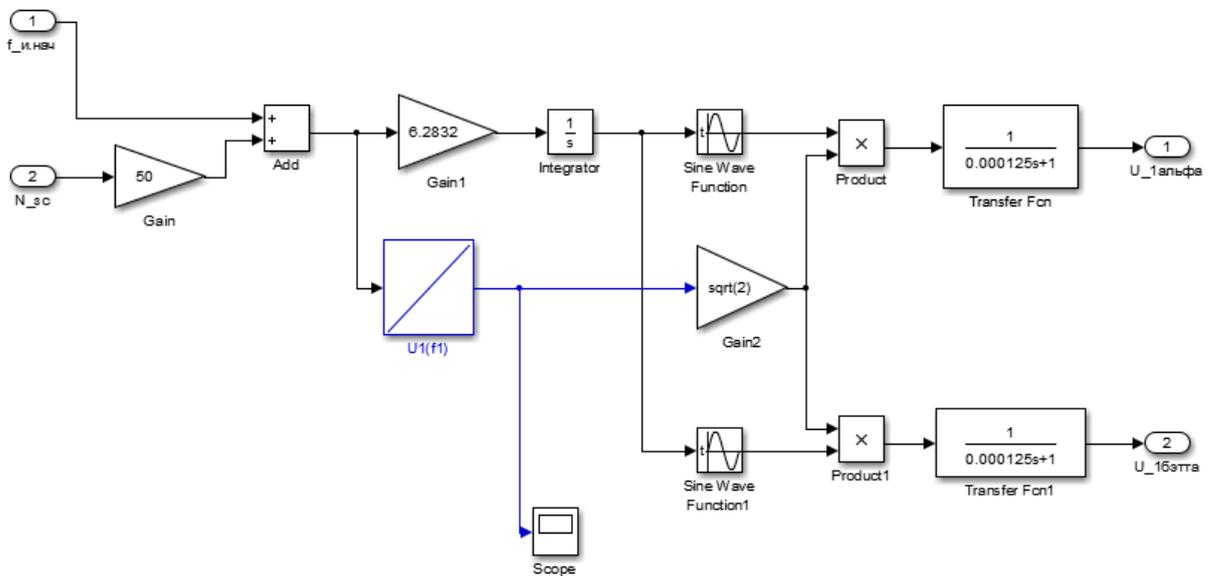


Рис. 21. Имитационная модель формирователя напряжений управления

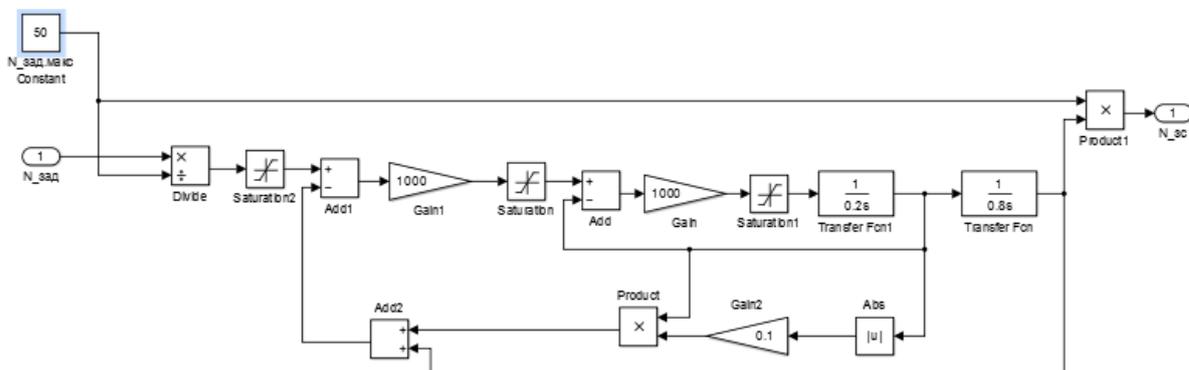


Рис. 22. Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной выходной характеристикой.

Вольт- частотная характеристика задается в блоке ФНУ тремя точками представленная в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры вольт-частотной характеристики преобразователя

$f_1, \text{Гц}$	44	132	220
$U_1, \text{В}$	10	30	50

Период квантования по времени напряжения инвертора ПЧ принимаем равным величине постоянной времени запаздывания при ШИМ

$$T_3 = \frac{1}{f_{in}} = \frac{1}{8000} = 0,000125 \text{ с,}$$

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

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

Сравним три способа пуска электродвигателя компрессора и выявим какой способ наиболее благоприятен. Сравнить будем:

1. Прямой пуск электропривода без преобразователя частоты;
2. Прямой пуск электропривода с преобразователем частоты, но без задатчика интенсивности;
3. Прямой пуск электропривода с преобразователем частоты и задатчиком интенсивности.

3.9.1. Прямой пуск электропривода без преобразователя частоты

Моделирование в программной среде Matlab Simulink пуска без преобразователя частоты представлено на рисунке 23.

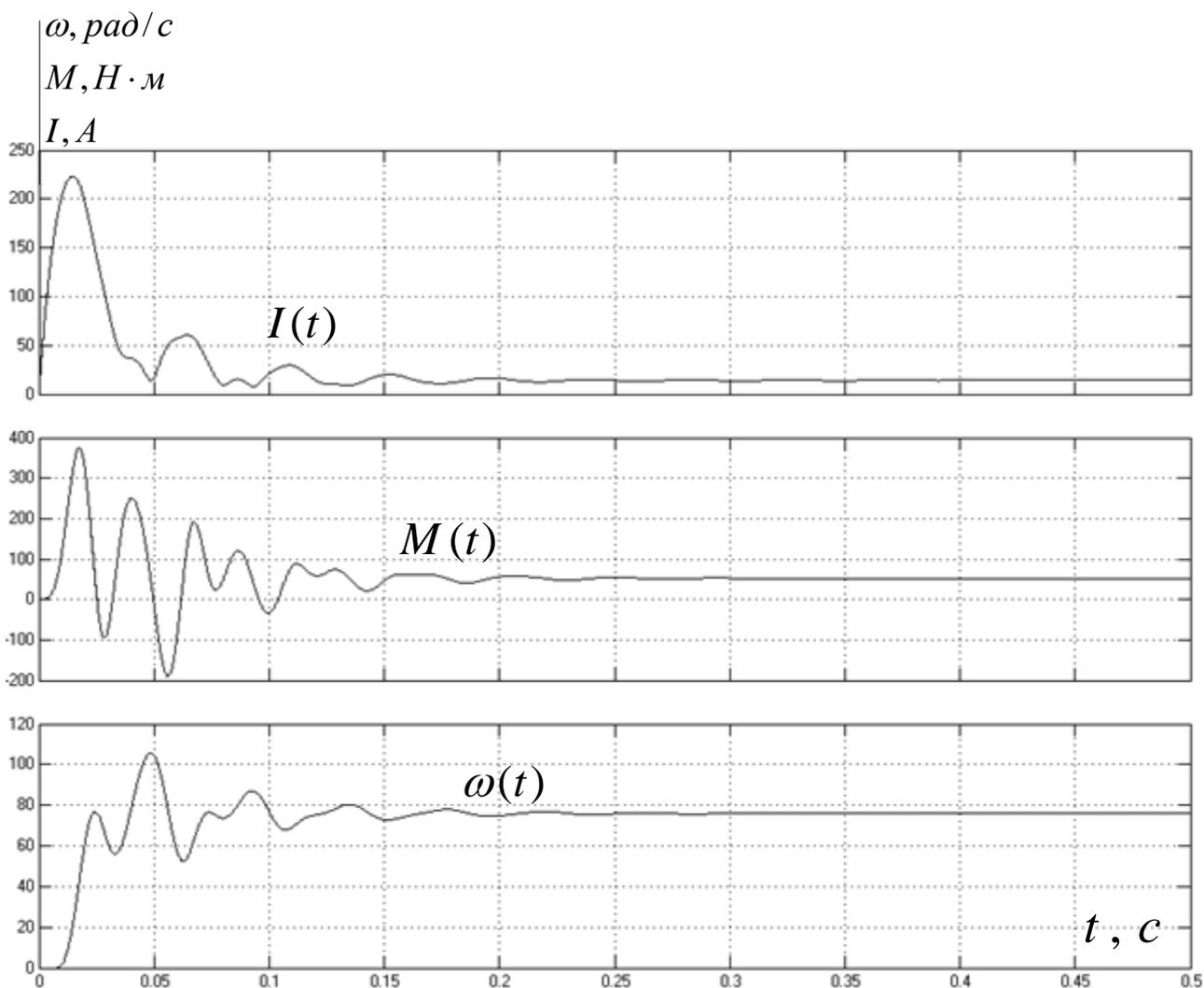


Рис. 23. Имитация прямого пуска электропривода

3.9.2. Прямой пуск электропривода с преобразователем частоты, но без задатчика интенсивности

Моделирование в программной среде Matlab Simulink пуска с преобразователем частоты, но без задатчика интенсивности представлено на рисунке 24.

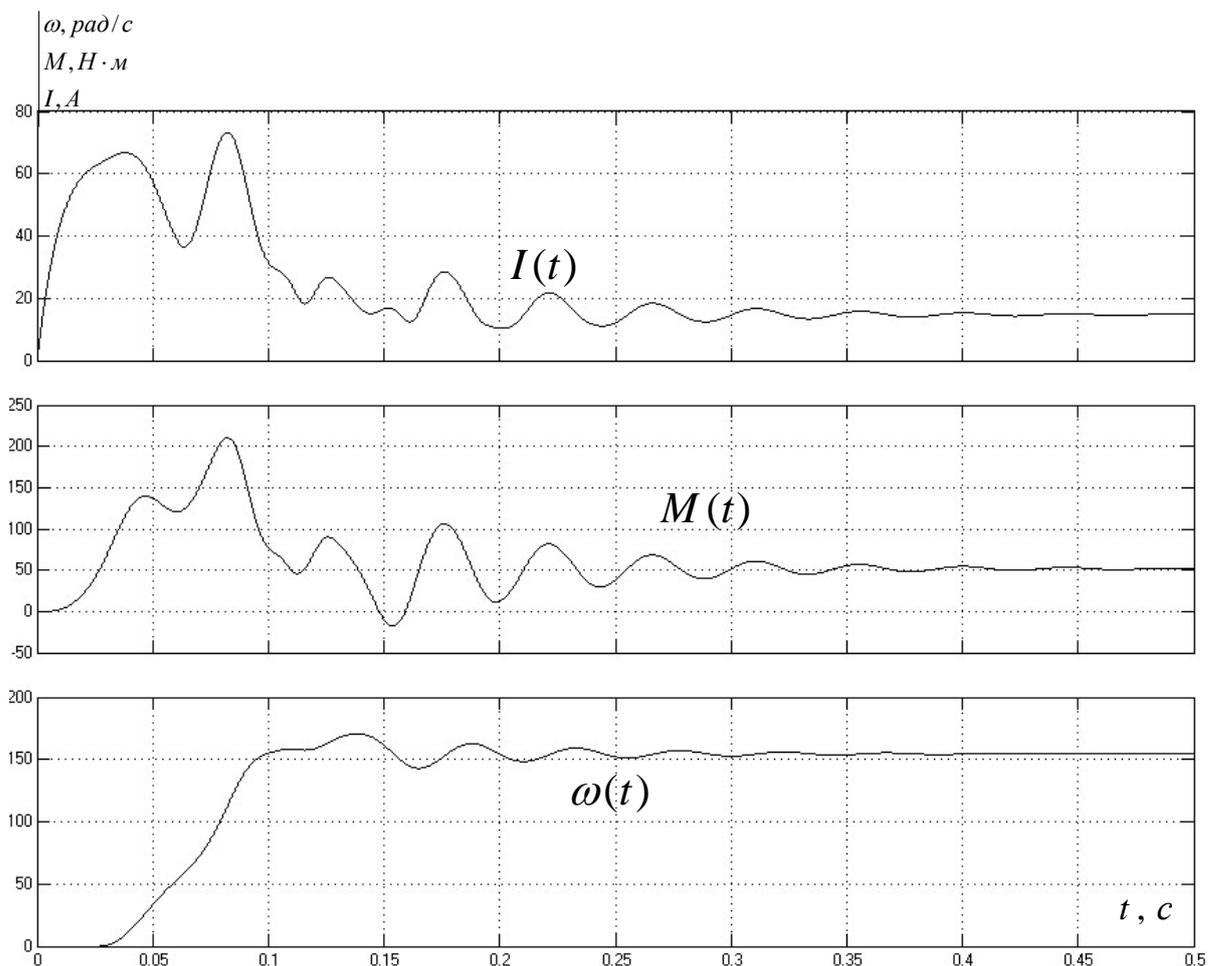


Рис.24. Имитация пуска электропривода без задатчика интенсивности

3.9.3. Прямой пуск электропривода с преобразователем частоты и датчиком интенсивности

Моделирование в программной среде Matlab Simulink пуска с преобразователем частоты и датчиком интенсивности представлено на рисунке 25.

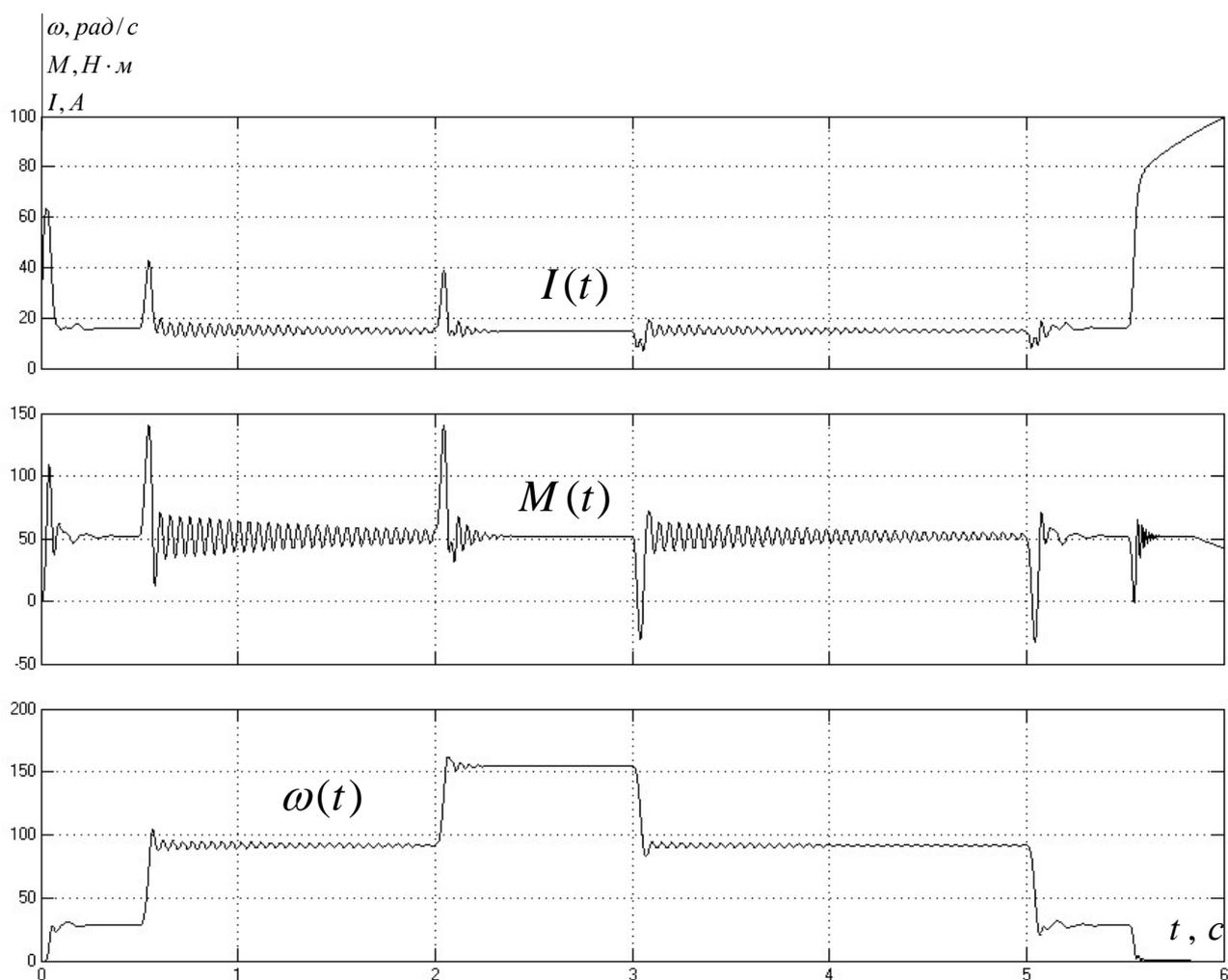


Рис. 25. Имитация прямого пуска электропривода с ПЧ и датчиком интенсивности

Вывод: из полученных результатов имитационного исследования можно сделать выводы по каждому моделированию пуска асинхронного двигателя компрессора со скалярном управлении с законом управления $U_1/f_1 = \text{const}$. При прямом пуске без преобразователя частоты образуется повышенный бросок тока, этот ток вызывает перегрузку проводов системы питания, резкому провалу напряжения в ней. Возникает высокий вращательный момент (резкий рывок с места), перегружающий механические части компрессора и самого электродвигателя. При прямом пуске с частотным преобразователем без датчика интенсивности идет плавное нарастание тока, что уменьшает проблемы, сопровождающие переходные процессы пуска компрессора. увеличивается срок службы электродвигателя и компрессора за счет резкого снижения ударных нагрузок. При пуске двигателя с ПЧ и датчиком интенсивности обеспечивается мягкий пуск двигателя и регулируется скоростью вращения электродвигателя компрессора, что способствует росту COP (coefficient of performance, коэффициент полезного действия холодильной машины) системы и снижению энергопотребления. В результате трех пусков в разных режимов, моделирование при пуске с ПЧ и датчиком интенсивности является наиболее гибким и энергоэффективным.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение

Целью данного раздела является определения перспективности и успешности технического проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка технического проекта при помощи SWOT-анализа;
- планирование технического проекта;
- составление сметы технического проекта;
- определение ресурсоэффективности проекта.

4.1. SWOT-анализ проекта автоматизации электропривода холодильных установок

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Применительно к проекту автоматизации электропривода холодильных установок, SWOT-анализ позволит оценить положительные и отрицательные стороны проекта[1].

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT (табл. 1), которая помогает выявить соответствия слабых и сильных сторон проекта, а также их возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT-анализа использованы следующие обозначения: **С** – сильные стороны проекта; **Сл** – слабые стороны проекта; **В** – возможности; **У** – угрозы.

Таблица 6. - Матрица SWOT-анализа технического проекта

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Высокое качество питающего напряжения</p> <p>С2. Надежность систем защиты и аварийной сигнализации</p> <p>С3. Экономия потребляемой электроэнергии</p> <p>С4. Квалифицированный персонал</p> <p>С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования</p> <p>С6. Высокоточная автоматизация режима работы электропривода</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Аварийные ситуации</p> <p>Сл2. Повышенная точность характеристик совместимости оборудования</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.</p>	V1 C1C2C3C4C6	V1 Сл1
<p>В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода</p>	V2 C2C4C5C6	
<p>В3. Резервное питание электропривода</p>	V3 C1C2C4C5C6	V3 Сл1
<p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	V4 C1C3C5C6	V4 Сл2
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитая конкуренция технологии производства</p>	У1 C5	У1 Сл2
<p>У2. Риск несвоевременной поставки и ремонта оборудования</p>	У2 C6	У2 Сл2

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения: «+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие (табл. 7, 8).

Таблица 7. Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта					
	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защиты и аварийной сигнализации	С3. Экономия потребляемой электроэнергии	С4. Квалифицированный персонал	С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования	С6. Высокая точная автоматизация режима работы электропривода
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя	+	+	+	+	-	+
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	-	+	-	+	+	+
В3. Резервное питание электропривода холл.установки	+	+	-	+	+	+
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок	+	-	+	-	+	+
Возможности	Слабые стороны проекта					
	Сл1. Аварийные ситуации			Сл2. Повышенная точность характеристик совместимости оборудования		
В1. Экономия	+			-		

электроэнергии за счет использования частотного преобразователя		
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	–	–
В3. Резервное питание электропривода подачи токарного станка	+	–
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок	–	+

Таблица 8. Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защиты и аварийной сигнализации	С3. Экономия потребляемой электроэнергии	С4. Квалификация рованный персонал	С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования	С6. Высокая точная автоматизация режима работы электропривода
У1. Развитая конкуренция технологии производства	–	–	–	–	+	–
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	–	–	–	–	–	+
Угрозы	Слабые стороны проекта					
	Сл1. Аварийные ситуации			Сл2. Повышенная точность харак-		

		теристик совместимости оборудо- вания
У1. Развитая конкуренция технологии производства	–	+
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	–	+

Вывод: по результатам интерактивных матриц видно, что самой сильной стороной проекта является высокоточная автоматизация режима работы электропривода, что дает значительную экономию электроэнергии и повышает износоустойчивость агрегатов холодильной установки, а также позволяет соблюдать технологический режим при использовании холодильной установки. Кроме того, большая экономия потребляемой электрической энергии и высокое качество питающего напряжения показывают перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта. В целом проведенная оценка при помощи SWOT-анализа показала перспективность и ресурсоэффективность данного проекта.

4.2. Планирование технического проекта

Организация работ технического проекта осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение трудоемкости выполнения работ;
- установление продолжительности работ;
- разработка графика проведения технического проектирования.

4.2.1. Определение структуры работ в рамках технического проектирования

В данном разделе, представлен весь перечень этапов и работ, а также дано краткое описание работ, выполненных в ходе технического проектирования:

1. Составление и утверждение технического задания
Руководитель проекта составляет техническое задание по выбранной теме, утверждает его у заведующего отделением электроэнергетики и электротехники.
2. Подбор и изучение материалов по теме
Инженер подбирает материал (учебники, статьи, публикации, патенты) по технической теме проекта, уточняет его состав у руководителя проекта, ознакоми́вается с материалом и проясняет непонятные вопросы с руководителем.
3. Определение режима работы и требуемых рабочих параметров холодильной установки
4. Календарное планирование работ по теме
Руководитель составляет календарный план технического проекта.
5. Выбор и подбор оборудования с учетом технологического процесса работы холодильной установки
6. Технические расчёты электропривода холодильной установки
Для реализации метода проводятся технические расчёты, подбираются компрессор, двигатель, система управления с преобразователем частоты. Расчёты согласовываются с руководителем.
7. Проверка работы электропривода компрессора с помощью математической модели
На основе расчётов инженер строит математическую модель в среде MATLAB Simulink и согласовывает её с руководителем.
8. Оценка эффективности полученных результатов

Руководитель оценивает полученные результаты и, если они неудовлетворительные, требует коррекции модели.

9. Техничко-экономические расчеты

10. Вопросы безопасности и экологичности проекта

Инженер проводит оценку безопасности и экологичности технического проекта. Согласовывает результат с руководителем.

11. Составление отчета

Инженер компонует все расчёты и модели в один отчёт.

12. Проверка ВКР руководителем

Окончательная проверка ВКР руководителем.

13. Подготовка к защите ВКР

Инженер готовится к защите под руководством руководителя.

Указав этапы работ и назначив исполнителей работ приступаем к определению трудоемкости выполнения работ.

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта. Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в рабочих-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{min i} + 2t_{max i}}{5} [1],$$

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

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

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

Результаты расчетов продолжительности выполнения работ приведены в таблице 9.

Таблица 9. Расчет продолжительности выполнения работ, раб.дн.

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в днях	
	t_{\min} , чел-дни		t_{\max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни			
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
1. Составление и утверждение технического задания	1		1		1		1	
2. Подбор и изучение материалов по теме	1	10	1	20	1	14	1	14
3. Определение режима работы хол.установки	1	3	1	4	1	4	1	4
4. Календарное планирование работ по теме	1		1		1		1	
5. Выбор и подбор оборудования	1	10	1	20	1	14	1	14
6. Технические расчёты электпривода компрессора	1	11	1	21	1	15	1	15
7. Проверка работы электпривода компрессора с помощью математической модели	1	4	1	8	1	6	1	6
8. Оценка эффективности полученных результатов	1		1		1		1	
9. Техничко-экономические расчеты	1	5	1	8	1	7	1	7
10. Вопросы безопасности и экологичности проек-	1	3	1	7	1	5	1	5

та								
11. Составление отчета		1		2		2		2
12. Проверка ВКР руководителем	1		1		1		1	
13. Подготовка к защите ВКР	1	2	2	3	2	3	2	3

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ (табл. 10).

Исходя из диаграммы продолжительности работ, определяется участие каждого специалиста рабочей группы в разработке проекта: руководитель 13 дней, дипломник 70 день. Общая продолжительность выполнения ВКР составила 74 рабочих дней.

Таблица 10. График работ при проектировании, представленный в виде диаграммы Ганта

Вид работ	Исполнители	кан. дн.	Продолжительность выполнения работ											
			март			апрель			май			июнь		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1		
1 Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	■											
2 Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	16	■	■	■									
	Руководитель	1			■									
3 Определение режима работы хол.установки	Инженер	5			■	■								
	Руководитель	1				■								
4 Календарное планирование работ по теме	Руководитель	1				■								
5 Выбор и подбор оборудования	Инженер	16				■	■	■						
	Руководитель	1						■						
6 Технические расчёты электропривода компрессора	Инженер	18						■	■	■				
	Руководитель	1								■				
7 Проверка с помощью математической модели	Инженер	7								■	■			
	Руководитель	1									■			
8 Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	1									■			
9 Техно-экономические расчеты	Инженер	8									■	■		
	Руководитель	1										■		
10 Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер	6										■	■	
	Руководитель	1											■	
11 Составление пояснительной записки	Инженер	2											■	■
12 Проверка ВКР	Руководитель	1												■
13 Подготовка к защите ВКР	Инженер	3												■
	Руководитель	2												■

4.3. Составление сметы технического проекта

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных

с его выполнением. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- затраты на спец. оборудование;
- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.
- формирование сметы технического проекта

4.3.1. Затраты на специализированное оборудование

Стоимость специализированного оборудования электропривода компрессора холодильной установки приведена в таблице 11.

Таблица 11.- Затраты специализированного оборудования

Наименование оборудования	шт.	Цена, тыс. руб.
1. Компрессор Bitzer 4P.2Y-K	1	22 4
2. Частотный преобразователь Danfoss VLT 132F0059	1	57
3. Двигатель АИС160М4	1	35
4. Муфта КК425	1	13
Итого:		32 9

Расчет амортизации компрессора 4P.2Y-K, который планируем использовать для написания ВКР: первоначальная стоимость компрессора 224000 рублей; срок полезного использования для «Насосы и компрессоры» код 330.28.30 составляет 3-5 лет, берем 5 лет; планируем использовать компрессор для написания ВКР в течение 3 месяцев. Тогда:

- норма амортизации:

$$A_n = \frac{1}{n} * 100\% = \frac{1}{5} \times 100\% = 20\% \quad (27)$$

- годовые амортизационные отчисления:

$$A_g = 224000 \times 0,2 = 8960 \text{ рублей}$$

- ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = \frac{8960}{12} = 746,66 \text{ рублей}$$

- итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 746,66 \times 3 = 2239,98 \text{ рублей}$$

Расчет амортизации электродвигателя АИС160М4, который планируется использовать для написания ВКР: первоначальная стоимость электродвигателя 35000рублей; срок полезного использования для «Машины и оборудование общего назначения» код 330.28.29 составляет 3-5 лет, берем 5 лет; планируем использовать электродвигатель для написания ВКР в течение 3 месяцев. Тогда:

- норма амортизации:

$$A_n = \frac{1}{n} * 100\% = \frac{1}{5} \times 100\% = 20\%$$

- годовые амортизационные отчисления:

$$A_g = 35000 \times 0,2 = 7000 \text{ рублей}$$

- ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = \frac{7000}{12} = 583,33 \text{ рублей}$$

- итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 583,33 \times 3 = 1749,99 \text{ рублей}$$

Расчет амортизации частотного преобразователя Danfoss VLT, который планируем использовать для написания ВКР: первоначальная стоимость частотного преобразователя 57000 рублей; срок полезного использования для «Электростанции» код 220.42.22.13 составляет 25-30 лет, берем 30 лет; планируем использовать частотный преобразователь для написания ВКР в течение месяцев. Тогда:

- норма амортизации:

$$A_n = \frac{1}{n} * 100\% = \frac{1}{30} \times 100\% = 3.33\%$$

- годовые амортизационные отчисления:

$$A_g = 57000 \times 0,03 = 1710 \text{ рублей}$$

- ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = \frac{1710}{12} = 142,5 \text{ рублей}$$

- итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 142,5 \times 3 = 427,5 \text{ рублей}$$

Расчет амортизации муфты КК425, который планируем использовать для написания ВКР: первоначальная стоимость муфты 12000 рублей; срок полезного использования для «Машины и оборудование общего назначения» код 330.28.29 составляет 3-5 лет, берем 5 лет; планируем использовать муфту для написания ВКР в течение 3 месяцев. Тогда:

- норма амортизации:

$$A_n = \frac{1}{n} * 100\% = \frac{1}{5} \times 100\% = 20\%$$

- годовые амортизационные отчисления:

$$A_g = 12000 \times 0,2 = 2400 \text{ рублей}$$

- ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = \frac{2400}{12} = 200 \text{ рублей}$$

- итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 200 \times 3 = 600 \text{ рублей}$$

4.3.2. Полная заработная плата исполнителей ВКР

В этом разделе включена основная и дополнительная заработная плата исполнителей (руководитель, дипломник), непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате

определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_p,$$

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

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. (таблица 1.6).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{тс} + Z_{р.к}}{F_d},$$

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

$Z_{допл}$ – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{р.к.}$ – районная доплата, руб

F_d – количество рабочих дней в месяце, раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 12.

Таблица 12. Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Оклад	Доплаты и надбавки руб.	Районная доплата 30%, руб.	Зарплата за месяц, Руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Продолжительность работ, рабочих дней	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	3366 4	–	10099	43764	1683	13	21879

Однокопы- лов И.Г. Доцент к.т.н.							
Дипломник	1230 0	–	3690	15990	615	70	43050
Итого З _{осн} , руб.							64929

Дополнительная заработная плата, составляет 12-15% от основной.

Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 13.

Таблица 13. Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной пла- ты, %	Основная за- работная пла- та, руб/	Дополнительная заработная пла- та, руб.	Полная зара- ботной плата, руб/
Руководитель Однокопылов И.Г. Доцент к.т.н.	15	21879	3282	25161
Дипломник	12	43 050	5166	48 216
Итого		64929	8448	73377

4.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды
 $k_{\text{внеб}} = 30\%$ в 2019 году.

$$Z_{\text{внеб}} = 0,3 \times 73377 = 22,013 \text{ тыс. руб.}$$

4.3.4. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, и т.д. Величину накладных расходов принимаем в размере $K_{\text{нр}}$ - 16% от общей суммы затрат.

$$\Sigma_{\text{нр}} = \Sigma Z_{\text{осн}} * K_{\text{нр}} = 101007 \times 0,16 = 16161 \text{ руб.}$$

4.3.5. Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции. Затраты на технический проект приведены в таблице 14.

Таблица 14. Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.	Структура затрат, %
Затраты на специальное оборудование	5617	5
Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	73377	62
Отчисления во внебюджетные фонды	22013	19
Накладные расходы	16161	14
Итого	117168	100

Исходя из анализа затрат технического проекта, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение проекта составляет 117168 руб. Боль-

шая часть (62%) составляют затраты по заработной плате для выполнения проекта.

4.4. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию электропривода компрессора холодильной установки рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

- надежность электропривода холодильной установки – это длительный эксплуатационный ресурс (в частности, в условиях изменчивости температурного режима и влажности окружающей среды). Исполнение всех деталей оборудования в пыли – и влагозащищенном корпусе повышает надежность и безотказность работы. Электроснабжение обеспечивается дополнительным резервным питанием, что в свою очередь позволяет обеспечить безаварийность и бесперебойность в работе;

- материалоемкость автоматизации электропривода – это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме. При проектировании учитывалось, что работа холодильной установки должна характеризоваться и обеспечиваться непрерывно-постоянно и обесточиваться только для обслуживания;

- производительность холодильной установки – должна обеспечить заданный технологический процесс. Производительность достигается за счет правильного расчета и подбора агрегатов для холодильной установки;

- Удобство – это возможность лёгкой настройки, монтажа и демонтажа холодильного агрегата. Удобство монтажа и демонтажа осуществляется за счет установки запорных клапанов на гидравлическом контуре холодильной установки, а легкость в настройке и управлении обеспечивает блок управления и частотный преобразователь;

- производительности труда – это показатель, характеризующий результативность труда, обеспечивается в проекте благодаря автоматизации, но при этом капиталовложения возрастают. Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 15.

Таблица 15. Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
Надежность	0,25	5
Энергосбережение	0,30	5
Материалоемкость	0,15	5
Производительность	0,15	4
Удобство	0,15	5
Итого:	1,00	4,8

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{pi}=5*0,25+5*0,3+5*0,15+4*0,15+5*0,15=4,8$$

С точки зрения коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта отметим следующее:

показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5 балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и энергосбережения позволяют судить о надежности системы. В данном разделе были рассмотрены и раскрыты следующие вопросы: - произведен SWOT-анализ, который выявил, приоритетные стороны этого проекта, указывающие на перспективность проекта в целом. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта. - составлена диаграмма продолжительности работ, позволяющая скоординировать работу исполнителей;

- рассчитана смета затрат на выполнение технического проекта, которая составила 117168 тыс.руб. - определен показатель ресурсоэффективности проекта, который имеет достаточно высокое значение – 4,8 (по 5- балльной шкале)

5. Социальная ответственность.

Место работы машиниста холодильных установок находится в торговых объектах и в специально отведенном месте ЦХМ центральная холодильная машина (машинный зал). Холодильная установка работает в автоматическом режиме и контролируется системой мониторинга. При аварийных ситуациях вызывается аварийно-сервисная служба. Ежемесячно в соответствие с регламентом производится плановый осмотр холодильного оборудования.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

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.

Общие требования к помещению ЦХМ указаны в ПБ 09-592-03 "Правила устройства и безопасной эксплуатации холодильных систем", МГСН 4.13-97 "Предприятия розничной торговли". СНиП 2.08.02-89* "Общественные здания и сооружения". СНиП 21-01-97* "Противопожарная безопасность зданий и сооружений". ПОТ РМ 015-2000 "Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации фреоновых холодильных установок", СНиП 2.09.02, СНиП 2.04.05, ГОСТ 12.2.142 и другой действующей нормативной документации. Помещение ЦХМ должно иметь систему автоматического пожаротушения или автоматическую пожарную сигнализацию в соответ-

вии с требованиями НПБ 110-99. Помещение ЦХМ следует относить к категории Д в соответствии с требованиями НПБ 105-95. Освещение в помещении ЦХМ должно выполняться согласно требованиям СНиП 23-05. Воздухообмен по расчету, принудительную приточную и вытяжную вентиляцию с вытяжкой из верхней и нижней зоны помещения.

Кратность воздухообмена –15. Должна быть предусмотрена вентиляционная жалюзийная решетка, в коридор, с ручным открыванием. При невозможности обеспечить температурный режим вентиляцией, выполнить кондиционирование. Должна быть обеспечена звукоизоляция стен и перекрытий.

5.2. Производственная безопасность.

Таблица опасных и вредных факторов приведена в таблице 16.

Таблица 16.

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Раз работк	Изг отовле	Экс	
1. Разлетающихся осколков оборудования и струй хладагента			+	Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации фреоновых холодильных установок ПОТ Р М-015-2000
2. Расположения рабочих мест на значительной высоте относительно поверхности земли (пола);			+	Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации фреоновых холодильных установок ПОТ Р М-015-2000
3. Подвижных частей оборудования			+	Определяться требованиями ГОСТ 12.2.062.

4. Повышенной загазованности воздуха рабочих зон			+	Определяться требованиями ГОСТ 12.1.005, ГН 2.2.5.686, ГН 2.2.5.692, ГН 2.2.5.794
5. Замыкания электрических цепей через тело человека.			+	ГОСТ 12.1.038., ГОСТ 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура защит.
6. Отклонение показателей микроклимата			+	ГОСТ 12.1.005, <u>снип 2.04.05</u> , <u>санпин 2.2.4.548 снип 2.04.05</u> , <u>гост р 12.2.142</u> . требования к помещениям и их инженерному оборудованию
7. Пожаро- и взрывоопасность			+	(ППБ 01-93* «Правила пожарной безопасности в Российской Федерации»). правила устройства и безопасной эксплуатации холодильных систем в соответствии с Федеральным законом от 21.07.97 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»

5.3. Анализ выявленных вредных производственных факторов

При эксплуатации холодильных установок возможно воздействие на работников ряда опасных и вредных производственных факторов, в том числе: разлетающихся осколков оборудования и струй хладагента (жидкого, газообразного под давлением), хладоносителей при возможных разрушениях элементов оборудования и трубопроводов (компрессоры, насосы, вентиляторы).

Для защиты работников 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.

5.3.1 Расположения рабочих мест на значительной высоте относительно поверхности земли (пола).

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.

5.3.2. Подвижных частей оборудования.

Защита работников от опасностей, вызываемых движущимися частями оборудования холодильных установок, должна определяться требованиями ГОСТ 12.2.062. Движущиеся части оборудования должны иметь защитные ограждения.

5.3.3. Повышенная загазованность воздуха рабочих зон.

Повышенной загазованности воздуха рабочих зон (из-за возможных утечек хладагента из холодильных систем и вследствие пожара). Содержание паров хладагента в воздухе рабочих зон не должно превышать значений, определенных действующими стандартами и гигиеническими нормативами, в том числе ГОСТ 12.1.005, ГН 2.2.5.686, ГН 2.2.5.692, ГН 2.2.5.794.

5.3.4. Замыкания электрических цепей через тело человека.

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 предназначаются 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.)

5.3.5. 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.

Приемные отверстия воздуховодов для удаления воздуха должны размещаться на уровне 0,3 м от пола помещения или от пола канала, если канал имеет глубину 0,5 м и более. В каналах глубиной менее 0,5 м вентиляция не предусматривается. Удаляемый воздух может выбрасываться в атмосферу без очистки.

5.4. Пожарная безопасность

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранение материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла (научная разработка, проектирование, строительство и эксплуатация). Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия. Требуемый уровень обеспечения пожарной безопасности людей с помощью указанных систем должен быть не менее 0,999999 предотвращения воздействия опасных факторов в год в расчёте на каждого человека.

Система предотвращения пожаров составляет комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на исключение возможности возникновения пожара. Предотвращение пожара достигается: устранением образования горючей среды; устранением образования в горючей среде (или внесения в неё) источника зажигания; поддержанием температуры горючей среды ниже максимально допустимой; поддержание в горючей среде давление ниже максимально допустимого и другими мерами.

Система противопожарной защиты составляет комплекс организационных и технических средств, направленных на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара и ограничение материального ущерба от него.

Устройства пожарной сигнализации выполняют искробезопасными. Запрещается эксплуатация холодильной установки с неисправными приборами защитной автоматики.

Курение в машинных отделениях, а также в других помещениях, где установлено холодильное оборудование, запрещается.

5.5. 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 хладагентами 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.

5.6. Экологическая безопасность

Решения Монреальского протокола (сентябрь 1987 г.), коренным образом изменили подход к традиционным озоноразрушающим хладагентам, и, начиная с 90-х годов на одно из первых мест вышел вопрос об опасности изменения климата и сохранения эмиссии парниковых газов, вызванной применением таких хладагентов.

В качестве альтернативы запрещенным к производству хладагентам Монреальским протоколом рассматриваются следующие классы веществ: гидрохлорфторуглероды (ГХФУ); гидрофторуглероды (ГФУ); природные хладагенты - аммиак, диоксид углерода, вода, углеводороды.

По степени озоноразрушающей активности озонового слоя Земли галлоидопроизводные углеводороды разделены на три группы: хладагенты с вы-

сокой озоноразрушающей активностью - это хлорфторуглероды (ХФУ) R11, R12, R13, R113, R114, R115, R502, R503, R12B1, R13B1; хладагенты с низкой озоноразрушающей активностью - это гидрохлорфторуглероды (ГХФУ) R21, R22, R141b, R142b, R123, R124 и другие, в молекулах, которых содержится водород. Для этих веществ характерно меньшее время существования в атмосфере по сравнению с ХФУ, и, как следствие, они оказывают меньшее влияние на разрушение озонового слоя. Ряд многокомпонентных смесей, предлагаемых в качестве альтернативы ХФУ, содержат в своем составе ГХФУ, например, R401A, R402A, R406A и другие. Согласно решению Венской конвенции, производство хладагентов группы ГХФУ должно быть прекращено к 2030 году; хладагенты полностью озонобезопасные, не содержащие атомов хлора (фторуглероды ФУ (FC), гидрофторуглероды ГФУ (HFC), углеводороды (HC) и другие). Таковыми являются хладагенты R134, R134a, R152a, R143a, R125, R32, R23, R218, R116, RC318, R290, R600, R600a, R717 и другие.

Для анализа экологической целесообразности применения хладагентов используют следующие параметры: потенциал разрушения озона ODP; потенциал глобального потепления GWP. Классификация хладагентов приведена в таблице 17.

Таблица 17.

Классификация хладагентов

Группа хладагентов	Цифровое обозначение	Химическое название	Химическая формула	Температура кипения, °С, при $p_{абс} = 0,1$ МПа
1	R 11	Трихлорфторметан	CCl_3F	23,7
	R 12	Дихлордифторметан	CCl_2F_2	-29,8
	R 12B1	Дифторбромхлорметан	$CBrClF_2$	-3,8
	R 124	1-Хлор-1,2,2,2-тетрафторэтан	$CHFCl-CF_3$	-11
	R 125	Пентафторэтан	C_2HF_5	-48
	R 13	Трифторхлорметан	$CClF_3$	-81,5
	R 13B1	Трифторбромметан	$CBrF_3$	-55,8
	R 22	Дифтормонохлорметан	$CHClF_2$	-40,8
	R 134a	1,1,1,2-Тetraфторэтан	CF_3-CH_2F	-26,5
	R 143a	1,1,1-Трифторэтан	$CF_3 CH_3$	-47,6
	R 23	Трифторметан	CHF_3	-82,2

Группа хладагентов	Цифровое обозначение	Химическое название	Химическая формула	Температура кипения, °С, при $p_{абс} = 0,1$ МПа
	R 32	Дифторметан	CH_2F_2	-52
	R 404A	R 125 (44 %) + R 143a (52 %) + R 134a (4 %)	$C_2HF_5 +$ $CF_3CH_3 +$ CF_3-CH_2F	-47
	R 407C	R 32 (23 %) + R 125 (25 %) + R 134a (52 %)	$CH_2F_2 +$ $C_2HF_5 +$ CF_3-CH_2F	-44
	R 408A	R 22 (47 %) + R 143a (46 %) + R 125 (7 %)	$CHClF_2 +$ $CF_3CH_3 +$ C_2HF_5	-44,5
	R 410A	R 32 (50 %) + R 125 (50 %)	$CH_2F_2 +$ C_2HF_5	-51
	R 500	R 12 (73,8 %) + R 152a (26,2 %)	$CClF_2 +$ $C_2H_4F_2$	-33,3
	R 502	R 22 (48,8 %) + R 115 (51,2 %)	$CHClF_2 +$ $CClF_5$	-45,6
	R 507	R 125 (50 %) + R 143a (50 %)	$C_2HF_5 +$ CF_3CH_3	-47
	R 744	Двуокись углерода	CO_2	-78,5
2	R 717	Аммиак	NH_3	-33,3
	R 160	Этил хлористый	C_2H_5Cl	12,2
3	R 170	Этан	C_2H_6	-88,6
	R 290	Пропан	C_3H_8	-42,2
	R 600	Бутан	C_4H_{10}	-0,6
	R 1150	Этилен	C_2H_4	-103,7
	R 1270	Пропилен	C_3H_6	-47,7

Охрана окружающей природной среды обеспечивается тщательной герметизацией холодильных систем, недопущением выбросов хладагентов при ремонтах, освидетельствованиях, демонтаже оборудования и трубопроводов, контролем за недопущением утечек хладагентов во время выработки холода в соответствии с инструкциями организаций-изготовителей холодильных установок.

5.7. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Наиболее вероятной ЧС является утечка фреона и пожар:

Аварии при разгерметизация холодильного контура.

При концентрации фреона в воздухе около 30 процентов по объему создается опасность удушья из-за недостатка кислорода. В жидком виде

попадая на кожу фреон вызывает ее обморожение, как и любое другое вещество, кипящее при низкой температуре и атмосферном давлении.

Пожар из-за короткого замыкания электрических проводов и перегрева электрооборудования и не нарушения правил пожарной безопасности при производстве электрогазосварочных и других огневых работ.

Обоснованы мероприятия по предотвращению ЧС и разработан порядок действий в случае возникновения ЧС (ППБ 01-93* «Правила пожарной безопасности в Российской Федерации»). Разработаны правила устройства и безопасной эксплуатации холодильных систем в соответствии с Федеральным законом от 21.07.97 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе была разработана и исследована с помощью программы Matlab имитационная модель разомкнутой системы частотного преобразователя со скалярным управлением для электропривода поршневого компрессора холодильной установки. В ходе разработки и выполнения проекта был осуществлен выбор оборудования, выбор и расчет параметров компрессора, электродвигателя и частотного преобразователя. Предложено использовать современный асинхронный частотно-регулируемый электропривод. Выбран электродвигатель серии АИС160М4, преобразователь частоты Danfoss VLT 132F0059, компрессор Bitzer 4P.2Y-K.

Получены механические и электромеханические характеристики выбранного асинхронного двигателя, построенные по расчетным и каталожным значениям. В качестве закона управления, для преобразователя частоты выбран закон регулирования $U_1/f_1 = \text{const}$.

Также произведено моделирование переходных процессов при пуске двигателя в программной среде Matlab, с использованием имитационных моделей построены динамические характеристики.

Была выбрана система со скалярным управлением и законом $U_1/f_1 = \text{const}$, с целью обеспечения постоянного пускового момента на малых скоростях. По результатам, полученным в ходе моделирования, были сделаны выводы.

Спроектированная система удовлетворяет требованиям технического задания.

В экономической части произведена оценка затрат на проектирование.

В разделе безопасности и экологичности проанализированы опасные и вредные производственные факторы, даны практические рекомендации по технике безопасности и производственной санитарии.

Conclusion

In this final qualifying work, a simulation model of the open-loop system of a partial converter with scalar control for the electric drive of the piston compressor of the refrigeration unit was developed and investigated using the Matlab program.

During the development and implementation of the project, equipment selection, selection and calculation of parameters of the compressor, electric motor and frequency converter was carried out. It is proposed to use modern asynchronous variable frequency drive. AIC160M4 series electric motor, Danfoss VLT 132F0059 frequency converter, Bitzer 4P.2Y-K compressor are selected.

Mechanical and electromechanical characteristics of the selected asynchronous motor, based on calculated and catalog values, are obtained. The control law for the frequency converter is selected as the control law.

Simulation of transient processes during engine start-up in the Matlab software environment was also performed, and dynamic characteristics were built using simulation models.

A system with scalar control and law was chosen to ensure a constant starting torque at low speeds. According to the results obtained during the simulation, conclusions were made.

The designed system meets the requirements of the technical specifications.

In the economic part of the estimated cost of the design.

In the section of safety and environmental protection, hazardous and harmful production factors are analyzed, practical recommendations on safety measures and industrial hygiene are given.

Список литературы

1. Промышленные технологии, применяющие холод [Электронный ресурс]: <http://www.xiron.ru/content/view/30281/28>
2. Полевой А.А. Автоматизация холодильных установок и систем кондиционирования воздуха [Текст]/ А.А. Полевой - СПб.: Профессия, 2010. — 244 с., рис.
3. Danfoss. Контроллер производительности АК-РС руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]: http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/01/RS8GZ350_AK-PC351_rus.pdf
4. Преобразователи частоты позволяют снизить энергопотребление и повысить эффективность холодильных машин [Электронный ресурс]: <https://drives.ru/stati/preobrazovateli-chastoty-pozvolyayut-snizit-energopotreblenie-i-povysit-effektivnost-holodilnyh-mashin>
5. Перекрест А.Л., Коренькова Т.В., Лузан П.В., Яценко А.Н. Компьютеризированный лабораторный комплекс компрессорной установки [Текст] / Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. Наукових праць КДПУ. – Вип. 3/2004(32). – Кременчук: КДПУ, С. 71-76.
6. Компания Frascold-технические параметры компрессоров – руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]: https://aircool.ru/files/tex_info_katalogi/KATALOGI/frascold/FCAT100_06_RU.pdf
7. Bitzer Software – онлайн программа по подбору компрессоров BITZER- [Электронный ресурс]: <https://www.bitzer.de/websoftware>
8. Выбор электродвигателя [Электронный ресурс] <http://www.электродвигатели-редукторы.рф/product/15642/>
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. – 648 с.
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. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. 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. Креницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
13. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации фреоновых холодильных установок ПОТ Р М-015-2000 [Электронный ресурс]: СПб., ЦОТПБСП, 2003. <https://files.stroyinf.ru/Data1/42/42401>

Приложение А

Таблица 1

Тип компрессора	Двигатель, кВт		Диаметр вала двигателя, мм	Тип муфты	Код муфты
	IP54	IP23			
2Т.2-...2N.2-	5.5	-	Ø38	КК215	342031-01
	7.5	-	Ø38	КК215	342031-01
4Т.2-...4Р.2- ...4N.2-	5.5	-	Ø38	КК415	342036-01
	7.5	-	Ø38	КК415	342036-01
	11/15	-	Ø42	КК425	342040-01
	18.5/22	11/15/18.5	Ø48	КК425	342040-02

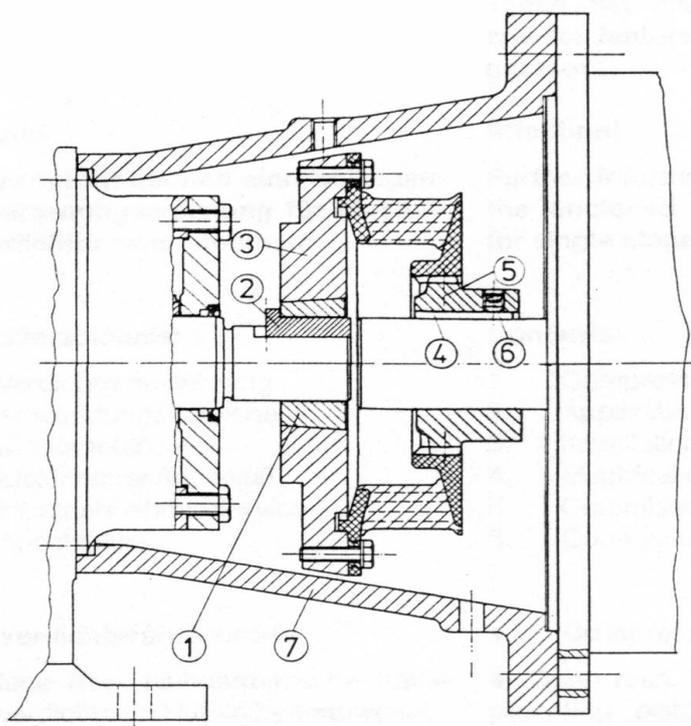


Рис.1 Устройство и расположение деталей муфты.

1. Втулка конического замка.
2. Шпонка.

3. Соединительный фланец.
4. Прижимной элемент.
5. Втулка двигателя.
6. Винт установочный.
7. Кожух муфты.



Рис. 2. Соединение валов муфтой