

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетики и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Частотно-регулируемый электропривод компрессора насосной станции
УДК 62-83-52:628.12:621.51

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Васильев Владислав Владимирович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев М.В.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения по ООП

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки		
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1,6; ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4,5; ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2,3; ОПК-1; ПК-1, 2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Иметь представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии отрасли, навыки проведения работ с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1,6; ОПК-1, 4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.	Требования ФГОС ВО (УК-5, ОПК-4; ПК- 4-6), Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
По профилям подготовки		
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.	Требования ФГОС ВО (ПК-1, 7,8), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростаций/гидроаккумулирующих электростанций»)

P7	Выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.	Требования ФГОС ВО (ПК-2, 9, 10, 11), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.	Требования ФГОС (ПК-3, 13, 14, 15, 24-26), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростаций/гидроаккумулирующих электростанций»)
P9	Проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 16-21, 24, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные</i> работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.	Требования ФГОС (ПК-22, 23, 25, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	<i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое <i>оборудование</i> ; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.	Требования ФГОС (ПК-27, 28), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростаций/гидроаккумулирующих электростанций»)
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.	Требования ФГОС (ПК-29, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетики и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
 _____ Гарганеев А.Г.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ72	Васильеву Владиславу Владимировичу

Тема работы:

Частотно-регулируемый электропривод компрессора насосной станции	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	01.02.2019 № 753/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2019 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Регулируемый электропривод компрессора насосной станции Материалы производственной практики, техническая литература, техническая документация
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>	Титульный лист Задание Реферат Введение Раздел 1 Техническая характеристика и выбор оборудования, исполнительного механизма электропривода компрессора Раздел 2 Выбор элементов силового части электропривода Раздел 3 Разработка и исследование моделей электропривода Раздел 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Раздел 5 Социальная ответственность Заключение

	Список литературы
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	- функциональная схема электропривода; -имитационная модель; -графики переходных процессов электропривода
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Основное исследование	Однокопылов И.Г.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Подопригора И.В.
Социальная ответственность	Гуляев М.В.
Иностранный язык	Токмашев Д.М.
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
Раздел 1 Техническая характеристика и выбор оборудования, исполнительного механизма электропривода компрессора насосной станции	
Раздел 3 Разработка и исследование моделей электропривода	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12.02.2019 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Васильев В.В.		

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетики и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники
 Период выполнения осенний/ весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2018
--	------------

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

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

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

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ72	Васильев Владислав Владимирович

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроэнергетика и Электротехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- общая сумма всех затрат на выполнение проекта составляет 1 049 000 руб.; - в разработке проекта задействованы 3 человек: а) старший инженер-наладчик 6 разряда (бригадир); б) инженер-наладчик 6 разряда (наладчик); в) инженер-наладчик 5 разряда (электромонтер);
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» - минимальный размер оплаты труда в 2019 году составляет 11280 руб.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления на социальные нужды – 30%; норма амортизации – 0,33; расходы на командировки – 10 %; накладные расходы – 16 %; Социальное страхование – 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	- Потенциальные потребители результатов проекта - Формирование вариантов проектного решения проблем с учетом потерь электроэнергии
2. Разработка устава научно-технического проекта	- Допущения и ограничения во время производства работ - Высокоуровневое требование к проекту - Создание нововведения, получение результата по завершении проекта
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	- Планирование работ по проекту - Расчет бюджета затрат на проектирование и реконструкцию оборудования - Расчет капитальных вложений в основные средства
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	- Определение экономической эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ 2. Сегментирование рынка 3. Оценка конкурентоспособности технических решений 4. Диаграмма FAST 5. Матрица SWOT 6. График проведения и бюджет НТИ 7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ 8. Потенциальные риски	Дата выдачи задания для раздела по линейному графику
20.03.2019 г.	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально- гуманитарных наук	Подопригора Игнат Валерьевич	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ72	Васильев Владислав Владимирович		

Реферат

Магистерская диссертация содержит 112 страниц, 24 рисунка, 21 таблицу, 19 используемых источников, 2 приложения.

Ключевые слова: Частотно-регулируемый электропривод компрессора насосной станции, выбор оборудования исполнительного механизма, получение статических характеристик, разработка имитационного моделирования, графическое изображение, анализ работы.

Цель работы – разработать регулируемый электропривод компрессора насосной станции, удовлетворяющий требованиям технического задания.

Объект исследования – частотно-регулируемый электропривод компрессора, установленный на установке подготовки топливного газа насосной станции.

В ходе работы был разработан электропривод, отвечающий требованиям технического задания.

Область применения: нефтяные и газодобывающие предприятия, осуществляющие добычу и перекачку нефти.

Экономическая значимость работы: исследования в данной области, могут открыть принципиально новые технологии, что способствует модернизации существующих производств и созданию новых.

В будущем планируется поиск наиболее эффективных областей внедрения электропривода добычи и перекачки нефти, для повышения работоспособности оборудования.

Расчеты производились с помощью пакета прикладных программ *MathCAD 15*. Имитационное моделирование электропривода выполнено с помощью пакета программ *Matlab R 2018 b*.

Оглавление

Введение.....	12
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ.....	15
1.1 Назначение и конструкция установки подготовки топливного газа	15
1.2 Техническое описание работы установки	16
1.3 Устройство компрессорного блока	17
2. РАСЧЁТ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	19
2.1 Расчетные параметры двигателя.....	19
2.1.1 Определение параметров схемы замещения двигателя.....	21
2.1.2 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя.....	24
2.2 Выбор типа преобразователя и способа регулирования скорости	25
3. МЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПРЕССОРА.....	27
3.1 Структурная схема силового канала электропривода.....	28
3.2 Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением.....	30
3.3 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода.....	33
3.3.1 Расчет параметров преобразователя	33
3.3.2 Расчет параметров двигателя.....	34
3.4 Расчет естественных характеристик электродвигателя	35
3.4.1 Расчет естественной механической характеристики	35
4. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМЫ “ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ - АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ”	38
5. РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СКОРОСТИ И МОМЕНТА ДЛЯ РЕЖИМА ПУСКА, СБРОСА И НАБРОСА НАГРУЗКИ НА ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ	45
6. РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СКОРОСТИ И МОМЕНТА ДЛЯ РЕЖИМА ПУСКА СБРОСА И НАБРОСА НАГРУЗКИ НА ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ	

ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ“ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ”	49
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	51
8. «Портрет» потребителя результатов НТИ	52
8.1 Модернизация электропривода компрессора насосной станции	52
INSTANT FCI-P250-4F.....	52
8.2 Затраты на монтаж нового оборудования	53
8.3 Расчет эксплуатационных затрат	56
8.4 Определение технико-экономических показателей.....	59
8.5 Сегментирование рынка	61
8.5.1. Разработка графика проведения научного исследования.....	62
8.6 Матрица SWOT.....	68
9 Социальная ответственность	74
9.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	75
9.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	75
9.2. Производственная безопасность	76
9.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	76
9.2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов.....	77
9.2.3 Промышленная безопасность при работе на электродвигателе	86
9.3. Экологическая безопасность.....	88
9.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	88
9.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	89
9.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	89
9.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС	89
9.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС	91
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	94

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	95
ПРИЛОЖЕНИЕ А	97
Приложение Б	98
GENERAL INFORMATION ABOUT THE PRODUCT.....	100
Figure 1 - The appearance and main elements of the installation of the FGTU.....	101
Technical description of the installation	101
CALCULATION AND CHOICE OF EQUIPMENT OF THE VARIABLE FREQUENCY DRIVE.....	103
Engine design parameters	103
Determination of the parameters of the equivalent circuit of the engine	106
Check the adequacy of the calculated parameters of the engine	108
Selecting the type of converter and speed control method	109

Введение

Попутный нефтяной газ (ПНГ) – смесь различных газообразных углеводородов, растворенных в нефти которые выделяются в процессе добычи и перегонки [1]. Технология использования ПНГ, на сегодняшний день, является весьма актуальной задачей, способствующей решению проблемы утилизации ПНГ.

Одним из способов утилизация попутного нефтяного газа (ПНГ) является применение его в качестве топлива для автономных газотурбинных и газопоршневых электростанций, обеспечивающих дешевой электроэнергией и теплом сооружения на удаленных месторождениях.

Прямое использование ПНГ в качестве топливного газа для ГПЭС без надлежащей подготовки приводит к потере мощности электростанции и износу двигателей. Для достижения ГПЭС заявленной мощности необходимо выполнить ряд требований. Кроме традиционных требований по очистке от механических примесей и обеспечению точек росы (по воде и углеводородам) производители ГПЭС также предъявляют требование к компонентному составу и метановому числу топливного газа.

Одним из способов повышения качества топливного газа является использование установки подготовки топливного газа (УПТГ), одним из основных компонентов которой является компрессор управляемый электроприводом.

Электропривод – это электромеханическая система, состоящая из преобразователей электроэнергии, электромеханических и механических преобразователей, управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения с внешними электрическими, механическими, управляющими и информационными системами, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением в целях осуществления технологического процесса. Современный этап развития привода характеризуется массовым переходом от нерегулируемого электропривода к регулируемому [1].

Целью выпускной квалификационной работы является разработка регулируемого электропривода компрессора насосной станции установки подготовки топливного газа.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ

1.1 Назначение и конструкция установки подготовки топливного газа

Установка подготовки топливного газа предназначена для подготовки попутного нефтяного газа с целью получения топливного газа с минимальным содержанием компонента C4+.

Установка УПТГ обеспечивает:

- очистку газа поступающего в блок от капельной жидкости;
- компримирование газа;
- охлаждение газа;
- отделение сконденсированной капельной жидкости;
- подогрев газа;
- измерение расхода компримируемого газа;
- измерение расхода отделенного газового конденсата.

Установка состоит из двух транспортных модулей собираемых на площадке в единый блок и представляет собой металлический, утепленный, обогреваемый бокс контейнерного типа, в котором обеспечиваются все противопожарные, взрывозащитные и другие нормативные мероприятия. Бокс разделен газонепроницаемой перегородкой на технологическое и пультное отделения. Вход в отделения отдельный. Для вентиляции технологического отсека предусмотрены вентиляционные окна, для принудительной вентиляции вытяжной вентилятор. Освещение лампами дневного света. Сброс конденсата из накопительных емкостей осуществляется автоматически. К крыше контейнера размещены воздушные охладители тосола для систем охлаждения масла и газа.

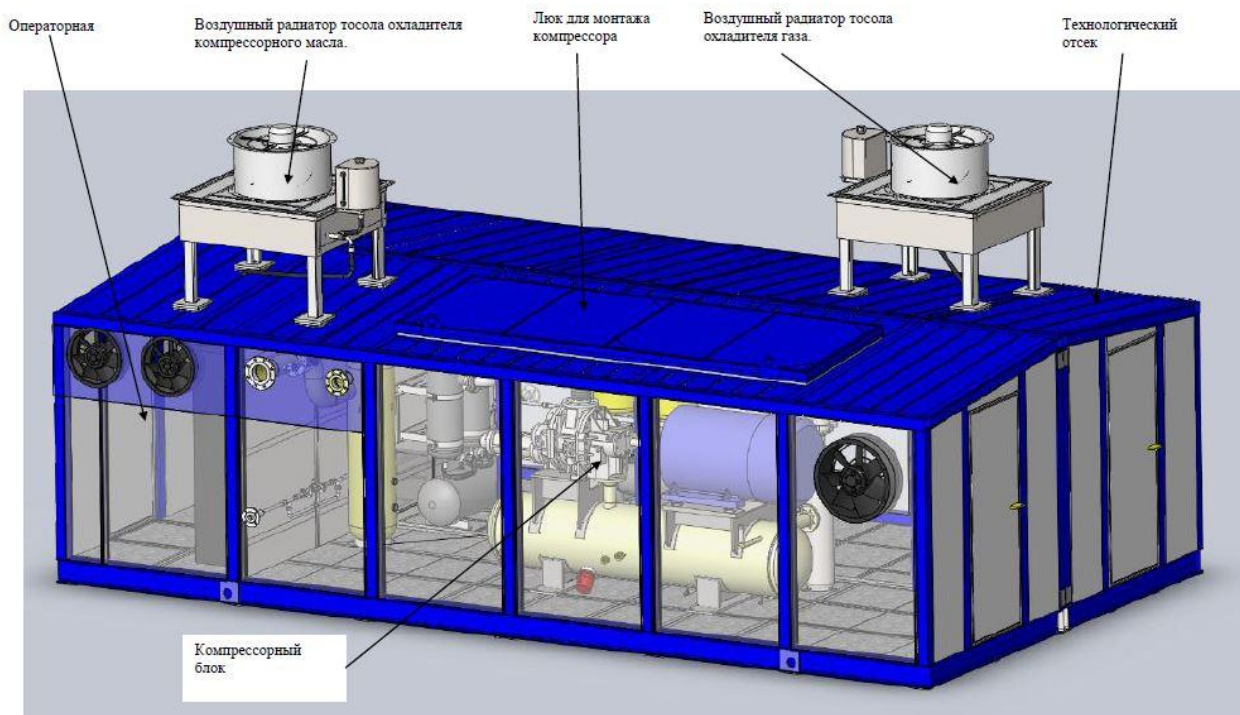


Рисунок 1.1– Внешний вид и основные элементы установки УПТГ

1.2 Техническое описание работы установки

Газ первой ступени сепарации при давлении 2,0...5,0 кгс/см² (изб.) и температуре +20...+400С поступает через сепаратор в компрессорный блок. Сжатие попутного газа обеспечивается винтовым маслонаполненным компрессором. Компрессор обеспечивает сжатие до 2500 нм³/час газа до давления на выходе 10...13 кгс/см² (изб.) при рабочей температуре 95°С. После сжатия газа, смазочное масло отсекается и возвращается через охладитель масла и масляный фильтр в газовый компрессор для его смазки и охлаждения. Система охлаждения масла с промежуточным теплоносителем (водный раствор гликоля). Насос, перекачивающий тосол в контуре охлаждения масла поддерживает необходимую температуру на выходе компрессора, обеспечивающую отсутствие конденсации. Радиатор охлаждения тосола масляного контура оснащен вентилятором, обеспечивающим необходимую температуру тосола. Отделение масла от газа происходит в три ступени: в маслосепараторе, циклоне и фильтрах тонкой очистки газа. Газ, очищенный от масла, через обратный клапан и клапан минимального давления поступает в теплообменник газ-тосол для предварительного охлаждения. После предварительного охлаждения газ поступает в осушитель газа рефрижераторного типа. В осушителе применен

хладагент R134A. Охлажденный газ отделенный от образовавшегося конденсата поступает в фильтрующий модуль состоящий из основного и резервного фильтра. Очищенный газ через расходомер поступает в магистраль ГПЭС.

1.3 Устройство компрессорного блока

Компрессорный блок включает следующее оборудование:

- винтовой модуль КР-800;
- сепаратор опорный масляный ГС 0,82-2,0;
- блок электронагревателей взрывозащищенный БЭВ-2;
- обратный клапан поворотный ГРАНЛОК CV16/01/150/16 Dn 150;
- муфта полужесткая ROTAX 75;
- комбинированный блок VD4M60;
- сепаратор типа циклон Ц-300;
- предохранительный клапан Goetze;
- блок фильтров Ф-200;
- масляный насос шестеренчатый 2 гр. С17 X2T1B;
- рукав высокого давления с гайками типа BSP: РВД 1” L=1785-0-90.

Конструкция винтового компрессорного модуля КР-800 изображена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Конструкция компрессорного винтового модуля

В таблице 1.1 приведены основные параметры компрессорного модуля.

Таблица 1.1 - Параметры компрессорного модуля

Производительность, м ³ /час	0...800
Давление газа на входе, кгс/см ²	2,0...5,0
Давление газа на выходе, кгс/см ²	11,0...13,0
Температура газа на входе, °C	20,0...40,0
Температура газа на выходе, °C	+10...+35

Компрессор и электродвигатель располагаются на общей раме с интегрированным маслобаком для подачи масла на подшипники, что позволяет снизить габариты компрессорного агрегата при размещении на нем всех дополнительных систем и обеспечивает свободный доступ ко всем узлам компрессорного агрегата.

2. РАСЧЁТ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

2.1 Расчетные параметры двигателя

Рассчитаем необходимую мощность электродвигателя, основываясь на данных, приведенных в таблице 2.1.

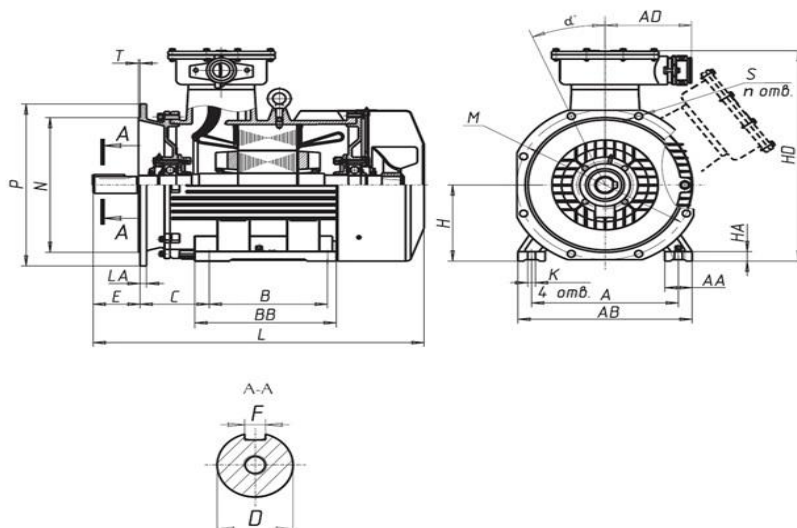
$$P_{ЭД} = k_3 \frac{Q \cdot A}{\eta_k \cdot \eta_n} \quad (1)$$

где Q – производительность, $\text{м}^3/\text{с}$; A – работа изотермического и адиабатического сжатия 1 м^3 атмосферного воздуха, $\text{Дж}/\text{м}^3$ ($350 \text{ Дж}/\text{м}^3$ при давлении $13 \text{ кгс}/\text{см}^2$); η_k – индикаторный КПД компрессора, равный $0,6-0,8$; η_n – КПД передачи равный $0,8-0,9$; η_3 – коэффициент запаса, равный $1,1-1,3$

$$P_{ЭД} = 1,3 \frac{0,22 \cdot 350}{0,7 \cdot 0,8} = 188,8 \text{ кВт}$$

Из отечественных производителей требуемым параметрам соответствует взрывозащищенный электродвигатель производства ОАО «Орлан» 2АИМУР 280 L2.

Габаритно-присоединительные размеры двигателя 2АИМУР 280 L2 приведены на рисунке 2.1.



Н	L	E	B	T	C	P	D	K	M
280	1090	140	457	6	190	660	75	24	600
N	S	F	a	A	LA	HD	HA	GA	GD
550	24	20	22.5	457	22	770	35	74.5	12

Рисунок 2.1 - Габаритно-присоединительные размеры двигателя

В таблице 2.1 приведены паспортные данные электродвигателя.

Таблица 2.1 -. Паспортные данные электродвигателя

Типо размер	$n_0, \frac{\text{об}}{\text{мин}}$	$U_{1H}, \text{В}$	$P_{\text{дв.н}}, \text{кВт}$	При номинальной нагрузке			$J_{\text{дв}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$
				$s_H, \%$	$\cos \varphi_H$	$\eta_H, \%$	
2АИМУР 280 L2	3000	380	200	0,91	0,92	94,8	2,35
$m_k = \frac{M_{\text{макс}}}{M_H}$		$m_{\Pi} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_H}$		$m_M = \frac{M_{\text{мин}}}{M_H}$		$K_{i\text{дв}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_H}$	
2.2		1.8		0,8		7,1	

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.14 \cdot 3000}{30} = 314,159 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальная скорость вращения двигателя

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - s_H) \cdot n_0 = (1 - 0.0091) \cdot 3000 = 2972 \frac{\text{об}}{\text{мин}};$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{n_{\text{дв.н}}}{9.55} = \frac{2972}{9.55} = 311.3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{200 \cdot 10^3}{311.3} = 642,46 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный ток статора. Для определения номинального фазного тока необходимо знать схему соединения обмоток статора. Соединение обмоток неизвестно, принимаем соединение Y.

$$U_{1\phi H} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}.$$

$$I_{1\phi H} = I_{1\text{лн}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\phi H} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{200 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.91 \cdot 0.948} = 347,448 \text{ А.}$$

Примечание: $I_{1\text{лн}}$ – ток, потребляемый двигателем из сети в номинальном режиме работы.

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске

$$I_{1\text{макс}} = I_{1\text{лн}} \cdot K_{i\text{дв}} = 347,448 \cdot 7,1 = 2466,8 \text{ А.}$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике

$$M_k = m_k \cdot M_{\text{дв.н}} = 2.2 \cdot 642,46 = 1413,4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 1,8 \cdot 642,46 = 1156,42 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

2.1.1 Определение параметров схемы замещения двигателя

Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, представленная на рисунке 2.1 [2].

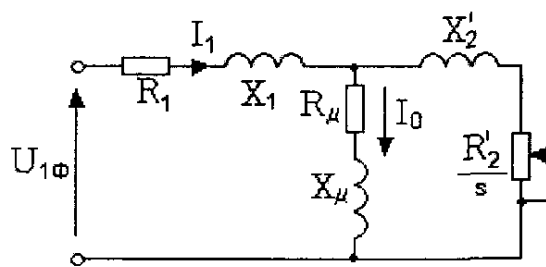


Рисунок 2.1 - Схема замещения асинхронного двигателя

Ток фазы статора при частичной нагрузке

$$I_{1p*} = \frac{p^* \cdot P_{\text{дв.н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{1\phi H} \cdot \cos \varphi_{p*} \cdot \eta_{p*}} = \frac{0,75 \cdot 200000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,907 \cdot 0,94} = 264,7 \text{ А,} \quad (2)$$

где $\cos \varphi_{p*} = 0.907$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке

[2];

$\eta_{p^*} = 0.94$ – КПД при частичной загрузке [2];

$p^* = 0.75$ – коэффициент загрузки двигателя [2].

Ток холостого хода асинхронного двигателя

$$I_0 = I_{1H} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{I_{1p^*}}{I_{1H}}\right)^2 \cdot \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{(1 - p^* \cdot s_H)}\right]^2}{1 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{(1 - p^* \cdot s_H)}\right]^2}} = 70,982 \text{ A}$$

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения

$$s_K = s_H \cdot \frac{m_k + \sqrt{(m_k)^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} = 0.039, \quad (3)$$

где β – коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора, принимаем $\beta = 1$.

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1фH}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot m_k \cdot P_{дв.н} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_K}\right)} = 0.00591 \text{ Ом}, \quad (4)$$

где $C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot K_{i_{дв}} \cdot I_{1дв}} = 1.015$ – коэффициент, характеризующий

соотношение $\frac{X_\mu + X_{1\delta}}{X_\mu}$;

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 0,006 \text{ Ом.}$$

Определим параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_{\text{кн}}$

$$\gamma = \sqrt{(1/s_K^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0.039^2) - 1^2} = 25,7,$$

тогда, индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$X_{\text{кн}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 0.155 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора

$$X_{1\delta} = 0.42 \cdot X_{\text{кн}} = 0.065 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = 2,071 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора в номинальном режиме

$$X_{2\delta}' = 0.58 \cdot \frac{X_{\text{кн}}}{C_1} = 0.089 \text{ Ом.}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{2\delta}' = \frac{X_{2\delta}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = 2,817 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведённая потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме,

$$E_1 = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sin \varphi - X_{1\delta} \cdot I_{1H})^2} = 210,171 \text{ В,}$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = 2,803 \text{ Ом}.$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = 0.00892 \text{ Гн}.$$

2.1.2 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя $M_{\text{эм.н}}$ и $M_{\text{эм.н}}^*$:

$$M_{\text{эм.н}}(s_H) = M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[(X_{\text{кн}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_{\mu}}\right)^2 \right]} = 660,9 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_{\mu}}{(L_{\mu} + L_{2\delta}') \cdot \Psi_{2H}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1H}^2 - I_0^2} = 660,048 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (5)$$

где $\Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_{\mu} = 0.928 \text{ Вб}$.

Должны выполняться условия:

$$M_{\text{эм.н}}^* \approx M_{\text{эм.н}};$$

$$M_{\text{эм.н}}^* \leq (1.05 \div 1.1) \cdot M_{\text{дв.н}} = (1.05 \div 1.1) \cdot 642,466 = (674,5 \div 706,713) \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По результатам расчета эти условия выполняются [1].

Параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1\delta}$, Ом	$L_{1\delta}$, Гн	X_{μ} , Ом	L_{μ} , Гн	R_2' , Ом	$X_{2\delta}'$, Ом	$L_{2\delta}'$, Гн	$X_{\text{кн}}$, Ом
0,006	0,065	$2,07 \cdot 10^{-4}$	2,803	0,0089	0,0059	0,089	$2,81 \cdot 10^{-4}$	0.155

2.2 Выбор типа преобразователя и способа регулирования скорости

При выборе преобразователя частоты для трехфазного асинхронного двигателя с номинальным напряжением фазных обмоток 220 В и соединением обмоток по схеме Y следует руководствоваться приведёнными ниже рекомендациям [1].

1. Параметры питающей сети: 3-х фазная сеть 380/220 В, 50 Гц.

2. Выходные параметры преобразователя частоты:

- 3 фазы;
- максимальное выходное (линейное) напряжение 380 В;
- максимальная выходная частота преобразователя

$$f_{п.макс} > 50 \cdot \frac{\omega_{дв.макс}}{\omega_0 \cdot (1 - s_k)} = 50 \cdot \frac{314,15}{314,15 \cdot (1 - 0,039)} = 52,02 \text{ Гц} ;$$

- минимальная выходная частота преобразователя

$$f_{п.мин} < 50 \cdot \frac{\omega_{дв.мин}}{\omega_0} = 50 \cdot \frac{31,4}{314,15} = 5 \text{ Гц} .$$

3. Выбираем преобразователь по номинальному (длительно допустимому) току $I_{и.н}$ и максимальному (кратковременно допустимому) току $I_{и.макс} = I_{и.н} \cdot k_{и}$, где $k_{и}$ – коэффициент допустимой перегрузки инвертора по току, по следующим условиям:

- в однозонном электроприводе

$$I_{и.н} \geq I_{1лн} \cdot \frac{M_{сприв.макс}}{M_{дв.н}} \geq 347,44 \cdot \frac{642,46}{642,46} = 347,44 \text{ А} ;$$

$$I_{и.макс} \geq I_{1лн} \cdot \frac{2 \cdot M_{сприв.макс}}{M_{дв.н}} \geq 347,44 \cdot \frac{2 \cdot 642,46}{642,46} = 694,88 \text{ А} .$$

Принимаем способ управления – скалярное без датчика скорости. Согласно выбранному способу управления выбираем преобразователь.

Параметры выбранного преобразователя частоты сведены в таблице 2.3 [4].

Таблица 2.3 - Паспортные данные преобразователя частоты фирмы SIEMENS SIMOVERT MASTERDRIVES Vector Control 6SE70

Типоразмер	Макс мощность двигателя, кВт	Номинальный выходной ток, А	Базовый ток нагрузки, А	Ток перегрузки, А	Номинальный ток звена постоянного тока, А	Потребляемый ток, А	Потери при 2,5 кГц, кВт	Примерный вес, кг
70.33	200	370	337	694	440	407	5,05	180

Выбор несущей частоты инвертора $f_{\text{шим}}$ осуществляется в соответствии с рекомендациями фирмы-производителя для выбранного типа преобразователя с учетом фактического тока загрузки [4].

Принимаем несущую частоту инвертора $f_{\text{шим}} = 10 \text{ кГц}$.

3. МЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПРЕССОРА

Из принципа работы винтового компрессора можно предположить, что с некоторым приближением можно зависимость между скоростью вращения и моментом на валу двигателя имеет «вентиляторный» характер нагрузки [11].

Момент от сил трения на валу ротора можно принять постоянным и равным [7]

$$\Delta M_{\text{сдв}} = M_{\text{эмн}} - M_{\text{двн}} = 660,9 - 642,466 = 18,434 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для механизма с «вентиляторным» типом нагрузки, статический момент сопротивления на валу двигателя изменяется в зависимости от скорости вращения двигателя в соответствии с выражением [7]

$$M_c(\omega) = \Delta M_{\text{сдв}} + (M_{\text{смакс}} - \Delta M_{\text{сдв}}) \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{дв.н}}} \right)^2 \quad (6)$$

где $M_{\text{смакс}} = M_{\text{эмн}} = 660,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$ момент нагрузки при скорости вращения;
 $\omega_{\text{дв.н}} = 311 \text{ рад/с}$, равный номинальному электромагнитному моменту двигателя.

Механическая характеристика полного момента сопротивления на валу двигателя, соответствующая механической характеристике компрессора, приведена на рисунке 3.1.

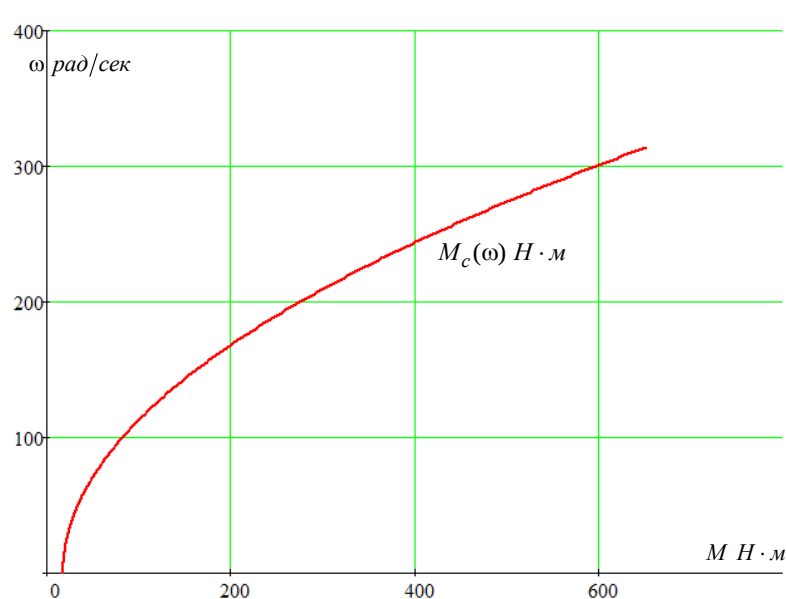


Рисунок 3.1 – Механическая характеристика полного момента сопротивления на валу двигателя

3.1 Структурная схема силового канала электропривода

В моделях асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением используется модель двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора, структурная схема которого представлена на рис. 3.2.

Принятая модель двухфазного асинхронного двигателя в связанной со статором неподвижной системе ортогональных координат α , β , вектор фазы α которой совпадает с вектором фазы a трехфазного двигателя, обеспечивает равенство амплитуд мгновенных значений электрических и магнитных величин: токов, напряжений и потокосцеплений двухфазного и трехфазного двигателя. При этом все параметры фазы α полностью совпадают с параметрами фазы a .

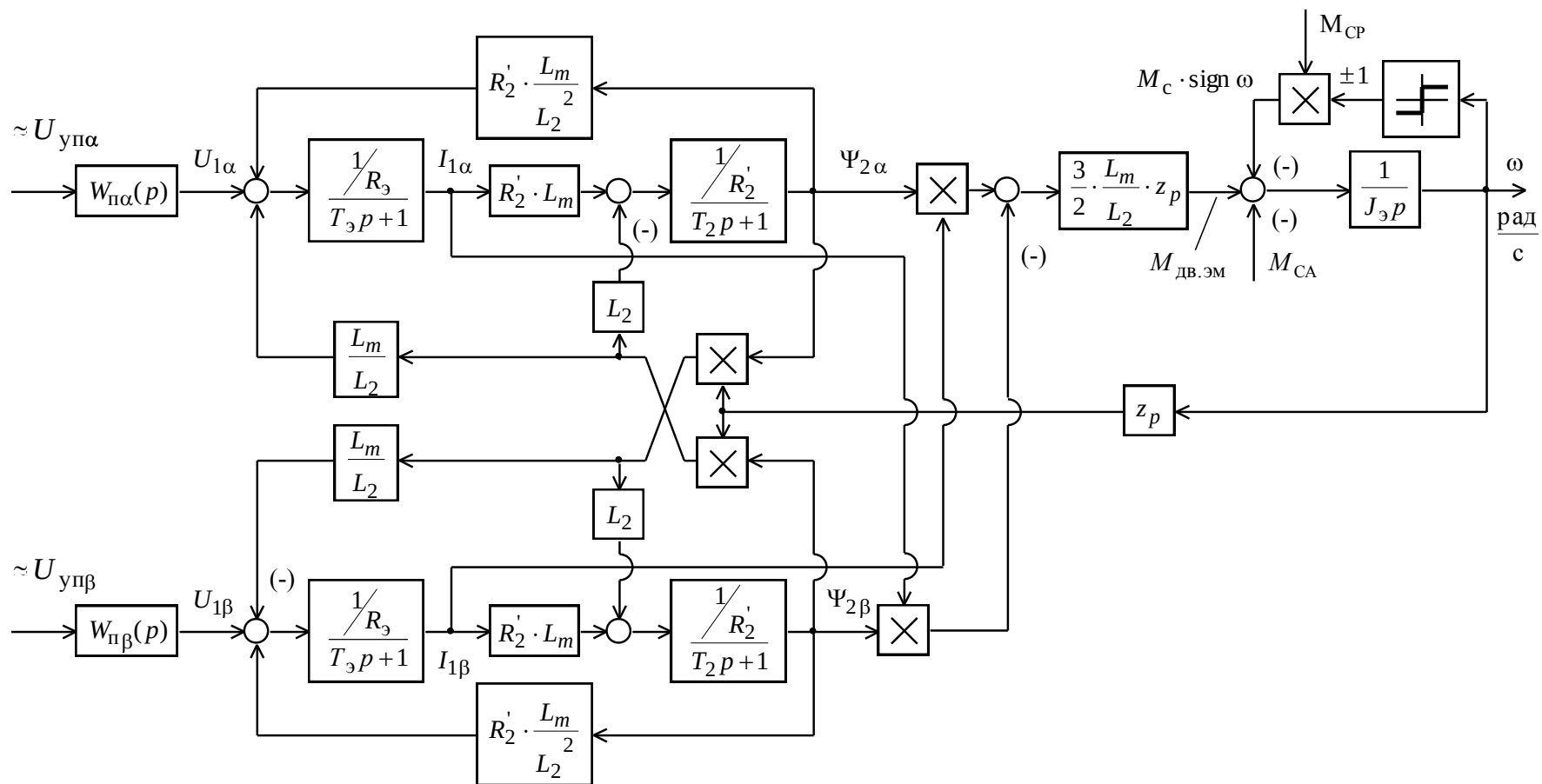


Рисунок 3.2 - Структурная схема силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель в неподвижной двухфазной системе координат

3.2 Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

Обобщенная функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением приведена на рис. 3. На схеме символом * обозначены сигналы задания и управления и приняты следующие обозначения:

$\Delta f_{1к}^*$, $\Delta U_{1к}^*$ — компенсационные сигналы управления соответственно в канале регулирования частоты и напряжения;

ω — фактическое значение угловой скорости вращения электродвигателя (ротора);

ЗИС — задатчик интенсивности скорости с линейной или S-образной характеристикой;

РС — регулятор скорости;

ФНУ1 — формирователь напряжений управления двухфазным асинхронным двигателем

$$U_{\alpha}^* = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \sin 2\pi f_1, \quad U_{\beta}^* = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \cos 2\pi f_1;$$

ФНУ2 — преобразователь напряжений управления двухфазным двигателем в напряжения управления трехфазным двигателем.

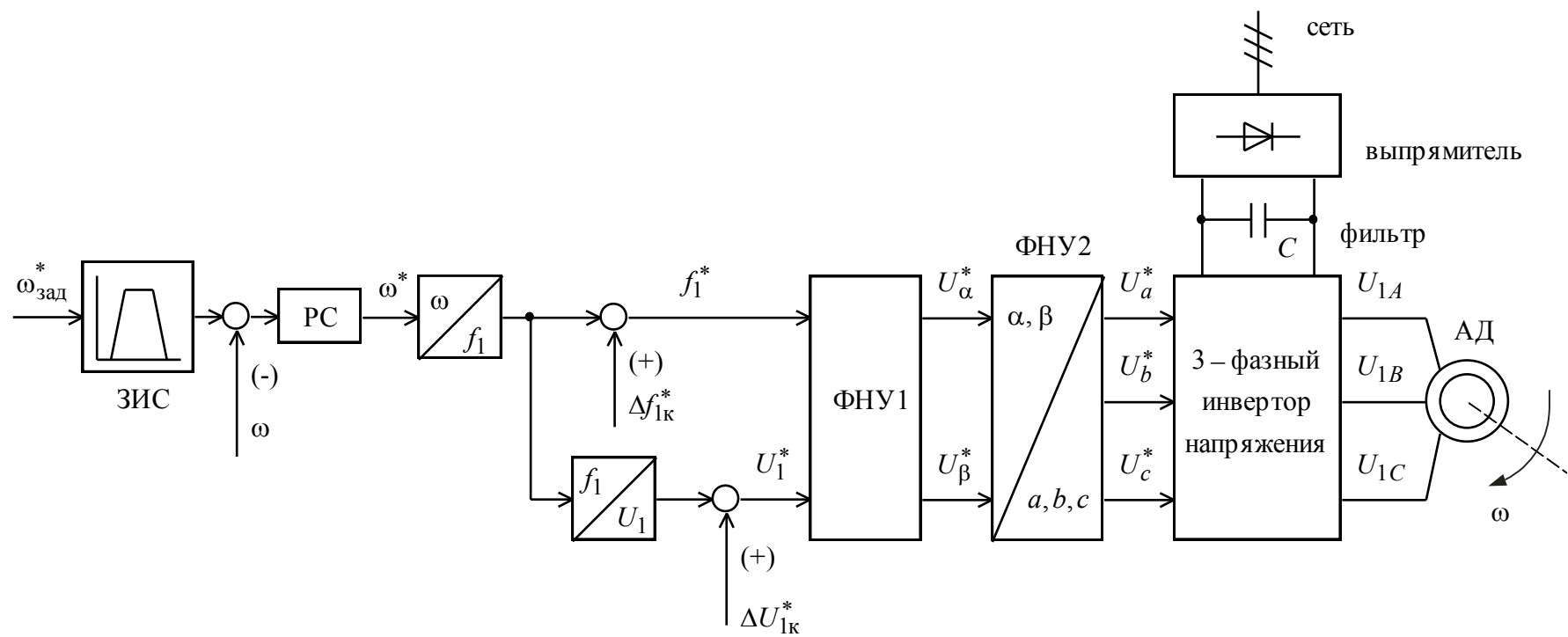


Рисунок 3.3 - Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

The diagram illustrates a speed-torque control system for an induction motor. Key components and their interactions are as follows:

- Reference and Feedback:** The reference speed n^* is compared with the actual speed n (from the tachometer) at a summing junction. The resulting error signal is processed by the **Регулятор ограничения тока** (Current Limit Controller) and the **Компенсация скольжения** (Slip Compensation) block.
- Control Logic:** The **Регулятор ограничения тока** outputs a reference current I^* (limited to $I_{\max}^*$) which is compared with the actual current $\hat{i}$ at another summing junction. The error is fed into the **Компенсация скольжения** block.
- U/f Characteristic:** The speed error signal is also fed into the **U/f - характеристика** block, which generates a voltage reference U_m .
- Current Feedback:** The actual current i is measured and fed into the **Оценка истинного значения тока** (True Current Estimation) block, which provides feedback to the **IR компенсация** (IR Compensation) block.
- Summing and Correction:** The output of the **IR компенсация** block is summed with the current error signal. This result is then summed with the U_m signal (with a negative sign) to produce the voltage reference U^* . The U^* signal is then processed by the **U_d - корректор** (Voltage Correction) block.
- Frequency Feedback:** The frequency f is fed back to the **Компенсация скольжения** block and the **U_d - корректор** block.
- Power Conversion:** The corrected voltage U and frequency f are inputs to the **Блок драйверов** (Driver Block), which controls the **Преобразователь частоты** (Frequency Converter). The converter's output is connected to the induction motor **M**.

Из-за ограниченной жесткости рабочей части механических характеристик асинхронных двигателей, диапазон регулирования скорости в разомкнутых системах частотно-регулируемого асинхронного электропривода не может быть более 1:10. Для расширения диапазона регулирования до 20 применяют компенсационные сигналы по скорости (скольжению) – модуль компенсации скольжения КС (рис. 5), до 100 – замкнутый контур регулирования с регулятором скорости РС и обратной связью по скорости с датчиком и регулятором скорости (рис. 3.5).

линейной или S-образной характеристикой, который устанавливается на входе электропривода в канале задания скорости.

Системы *IR*-компенсации и компенсации скольжения представляют собой нелинейные положительные обратные связи и их применение необходимо только в области малых скоростей двигателя. Ограничение тока двигателя с помощью датчика и регулятора тока необходимо в системах электроприводов, в которых возможны кратковременные перегрузки. Это исключит аварийное отключение привода средствами защитной аппаратуры. Применение систем управления с датчиками и регуляторами скорости в электроприводах со скалярным управлением представляется нецелесообразным вообще, а тем более для двигателей с самовентиляцией.

Для имитационного моделирования асинхронного электропривода со скалярным управлением используется структурная схема двухфазной модели асинхронного двигателя, составленная в неподвижной системе координат или во вращающейся системе координат. В первом случае сигналами управления модели являются синусоидальные напряжения обмоток статора двухфазной машины, у которых может изменяться амплитуда $U_{1\alpha m} = U_{1\beta m} = \sqrt{2} \cdot U_1$ и частота f_1 . Во втором случае входными сигналами модели двигателя являются напряжения постоянного тока $U_{1x} = U_{1y} = U_1$ и угловая скорость вращения системы координат $\omega_{кс} = \omega_{эл1} = 2\pi \cdot f_1$.

3.3 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода

3.3.1 Расчет параметров преобразователя

Инвертор с ШИМ может быть представлен линейным усилителем с коэффициентом усиления [2]

$$k_{и} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1фн}}{N_{уп.макс}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{1} = 311.13, \quad (7)$$

где $N_{\text{уп.макс}}$ – максимальное значение управления на входе преобразователя, принимается $N_{\text{уп.макс}} = 1$.

Инерционность инвертора характеризуется чистым запаздыванием на величину периода широтно-импульсной модуляции

$$T_{\text{шим}} = \frac{1}{f_{\text{шим}}} = \frac{1}{10000} = 0.0001 \text{ с} , \quad (8)$$

где $f_{\text{шим}}$ несущая частота инвертора, Гц.

3.3.2 Расчет параметров двигателя

Эквивалентная индуктивность обмоток [2]:

- статора

$$L_1 = L_{1\delta} + L_{\mu} = 0.0091 \text{ Гн} ;$$

- ротора

$$L_2 = L'_{2\delta} + L_{\mu} = 0.00918 \text{ Гн} .$$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \cdot L_2} = 0.052 .$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_{\Sigma} = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_{\mu}^2}{L_2^2} = 0.0115 \text{ Ом} .$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_{\Sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{\Sigma}} = 0.041 \text{ с} ;$$

$$T_2 = \frac{L_2'}{R_2'} = 1.5 \text{ с}.$$

3.4 Расчет естественных характеристик электродвигателя

Расчет естественных характеристик проводится с целью оценки степени совпадения параметров основных характерных точек расчетных естественных характеристик электродвигателя с параметрами двигателя определенными по справочным техническим данным выбранного электродвигателя [1].

3.4.1 Расчет естественной механической характеристики

Естественная механическая характеристика $M=f(s)$ асинхронного электродвигателя рассчитывается для частоты по выражению

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

Задаемся скольжением в пределах $s = 0.01, 0.02, \dots, 1$ и рассчитываем характеристику $M=f(s)$ (рисунок 3.6), где $\omega = \omega_0(1-s)$.

Также рассчитываются значения электромагнитного момента $M_{эм.н.}$:

$$M_{эм.н.}(s_H) = M_{эм.н.} = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = 642,46 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

критического скольжения

$$s_K = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu} \right)^2}{R_1^2 + X_{KH}^2}} = 0.039$$

и электромагнитного критического момента

$$M_{\text{эм.н}}(s_k) = M_{\text{эм.к}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2}{\omega_0 \cdot 2 \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{\text{кн}}^2) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{X_\mu}\right)^2} \right]} = 1,434 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

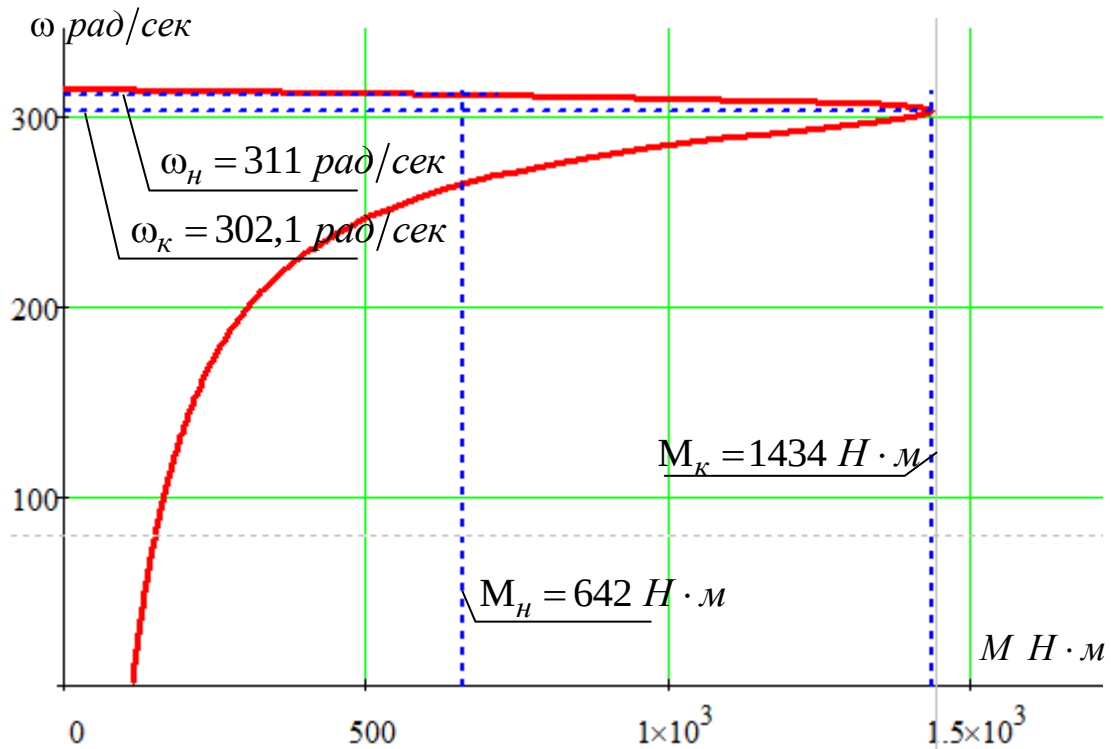


Рисунок 3.6 - Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

3.4.2 Расчет естественной электромеханической характеристики

Естественная электромеханическая характеристика $I_1(s)$ электродвигателя рассчитывается для значения частоты $f_{\text{и}} = f_{1\text{н}} = 50$ Гц по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)}, \quad (9)$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu})^2}};$$

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

По вышеприведенным выражениям для скольжений $s = s_H$ и $s \rightarrow 0$ рассчитываются значения тока статора $I_1(s_H)$ и I_0 :

$$I_0 = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_\mu)^2}} = 76,7 \text{ A},$$

$$I_1(s_H) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)} = 347,44 \text{ A}, \quad (10)$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu})^2}} = 326,239 \text{ A};$$

По результатам расчета строится естественная электромеханическая характеристика $I_1 = f(\omega)$. Электромеханическая характеристика приведена на рисунке 3.7.

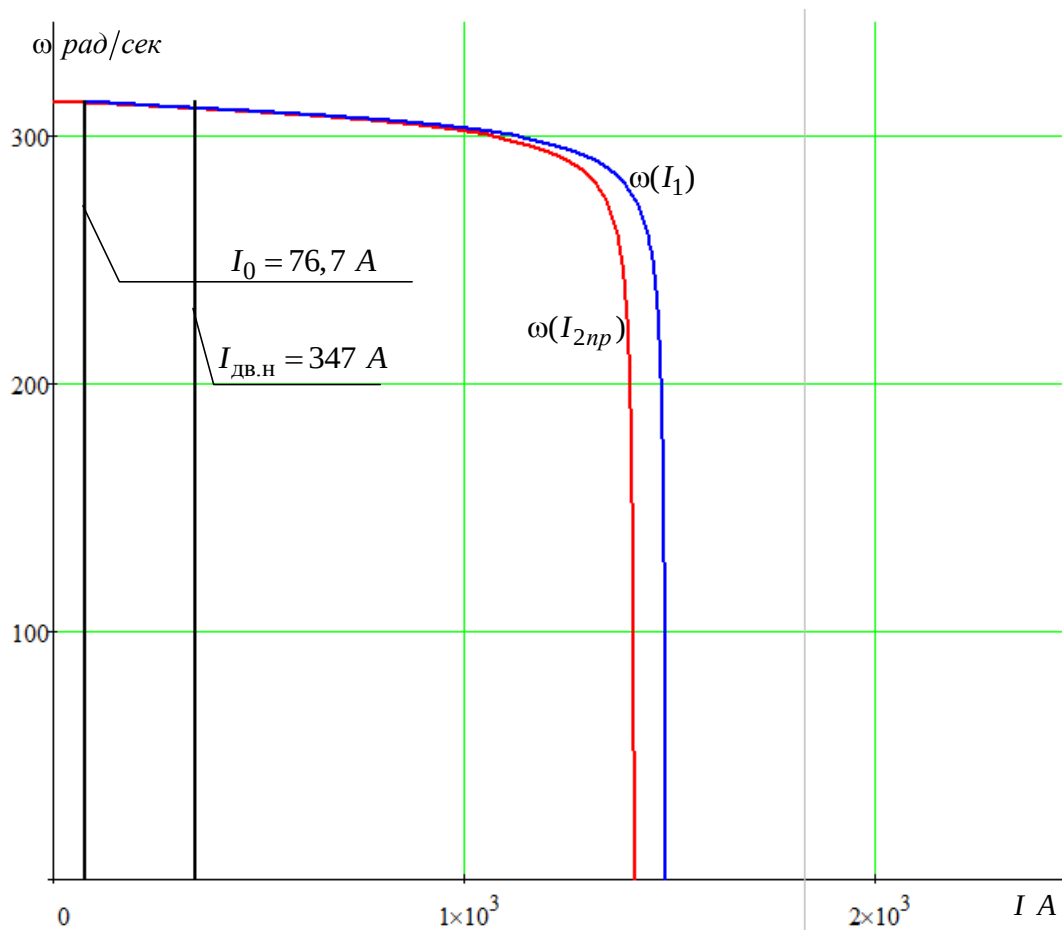


Рисунок 3.7. Естественная электромеханическая характеристика асинхронного электродвигателя

4. РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМЫ “ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ - АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ”

Расчет характеристик производим для частот $f_1=50;45;40;30;20;10$ Гц.

При законе регулирования $Z_p = \frac{U_{1H}}{f^2} = \frac{220}{50^2} = 0,088$.

Найдем относительные значения частот питающего напряжения:

$$\text{при } f_{1H1}=50 \text{ Гц} \quad f_{1*1} = \frac{f_{1i}}{f_{1i}} = \frac{50}{50} = 1$$

$$\text{при } f_{1H2}=40 \text{ Гц} \quad f_{1*2} = \frac{f_{2i}}{f_{1i}} = \frac{40}{50} = 0.8$$

при $f_{1н3}=30$ Гц	$f_{1*3} = \frac{f_{3i}}{f_{1i}} = \frac{30}{50} = 0.6$
при $f_{1н4}=20$ Гц	$f_{1*4} = \frac{f_{4i}}{f_{1i}} = \frac{20}{50} = 0.4$
при $f_{1н5}=10$ Гц	$f_{1*5} = \frac{f_{5i}}{f_{1i}} = \frac{10}{50} = 0.2$

Найдем фазное напряжение обмотки статора асинхронного двигателя:

$$U_{1n1} = Z_p \cdot f_{1n1}^2 = 220 \text{ В}$$

$$U_{1n2} = Z_p \cdot f_{1n2}^2 = 140.8 \text{ В}$$

$$U_{1n3} = Z_p \cdot f_{1n3}^2 = 79.2 \text{ В}$$

$$U_{1n4} = Z_p \cdot f_{1n4}^2 = 35.2 \text{ В}$$

$$U_{1n5} = Z_p \cdot f_{1n5}^2 = 8.8 \text{ В}$$

В соответствии с представленными частотами питающего напряжения произведем расчет значений скорости идеального холостого хода:

$$\omega_{01} = \frac{2\pi \cdot f_{1n1}}{p} = 314.159 \text{ В рад/с;}$$

$$\omega_{02} = \frac{2\pi \cdot f_{1n2}}{p} = 251.327 \text{ В рад/с;}$$

$$\omega_{03} = \frac{2\pi \cdot f_{1n3}}{p} = 188.496 \text{ В рад/с;}$$

$$\omega_{04} = \frac{2\pi \cdot f_{1n4}}{p} = 125.664 \text{ В рад/с;}$$

$$\omega_{05} = \frac{2\pi \cdot f_{1n5}}{p} = 62.832 \text{ В рад/с.}$$

Определим токи холостого хода при данных частотах регулирования:

$$I_{01} = \frac{U_{1n1}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*1}} = 80,047 \text{ А;}$$

$$I_{02} = \frac{U_{1n2}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*2}} = 64,038 \text{ A};$$

$$I_{03} = \frac{U_{1n3}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*3}} = 48,028 \text{ A};$$

$$I_{04} = \frac{U_{1n4}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*4}} = 32,019 \text{ A};$$

$$I_{05} = \frac{U_{1n5}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*5}} = 16,009 \text{ A}.$$

Строим электромеханические характеристики $\Gamma_2(\omega)$ для выбранных частот по выражениям:

$$I_2'(s, f) = \frac{U_1(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f) + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}\right)^2}}, \quad (11)$$

где $\omega(s, f) = \omega_0(f) \cdot (1 - s)$.

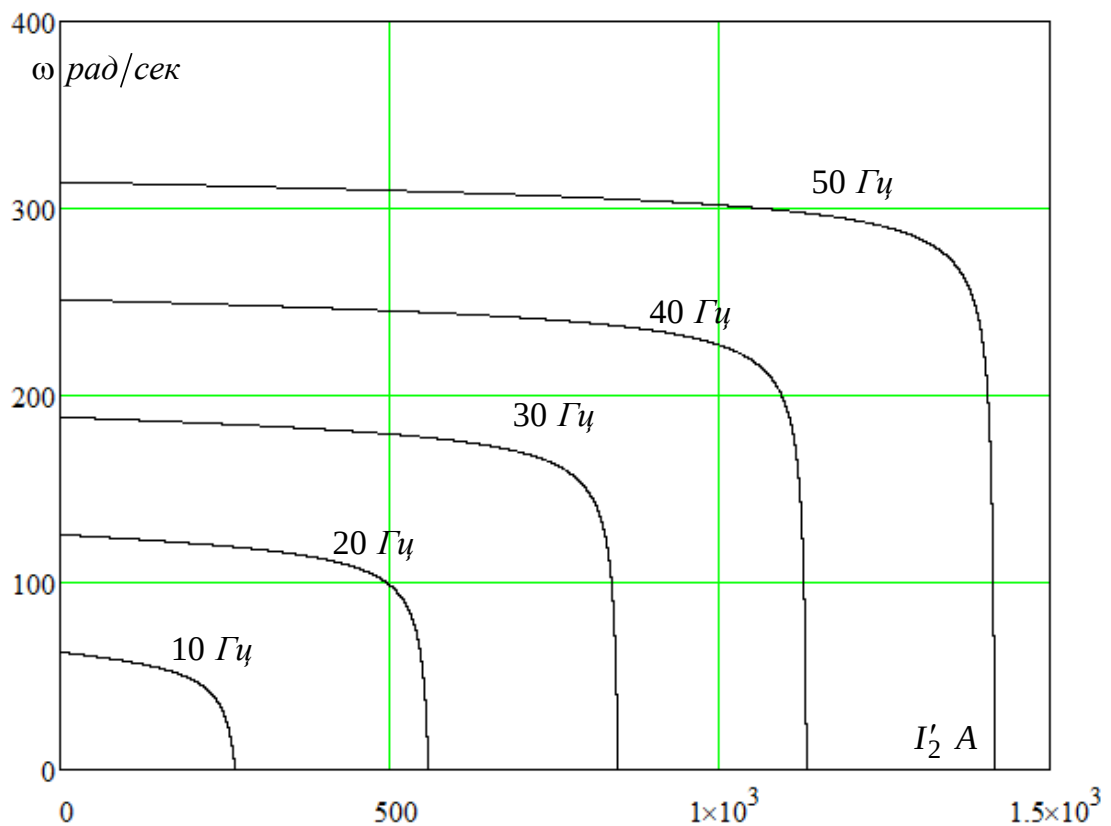


Рисунок 4.1 - Искусственные электромеханические характеристики $\Gamma_2(\omega)$ при частотном регулировании скорости

Также строим электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ для выбранных частот по выражениям

$$I_1(s, f) = \sqrt{(I_0(f))^2 + (I_2'(s, f))^2 + 2 \cdot I_0(f) \cdot I_2'(s, f) \cdot \sin \varphi_2(s, f)}, \quad (12)$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1 - s),$$

$$\text{где } \sin \varphi_2(s, f) = \frac{X_{KH} \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f)}};$$

$$I_0(f) = \frac{U_1(f)}{X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)} - \text{ток холостого хода асинхронного двигателя в зависимости от частоты.}$$

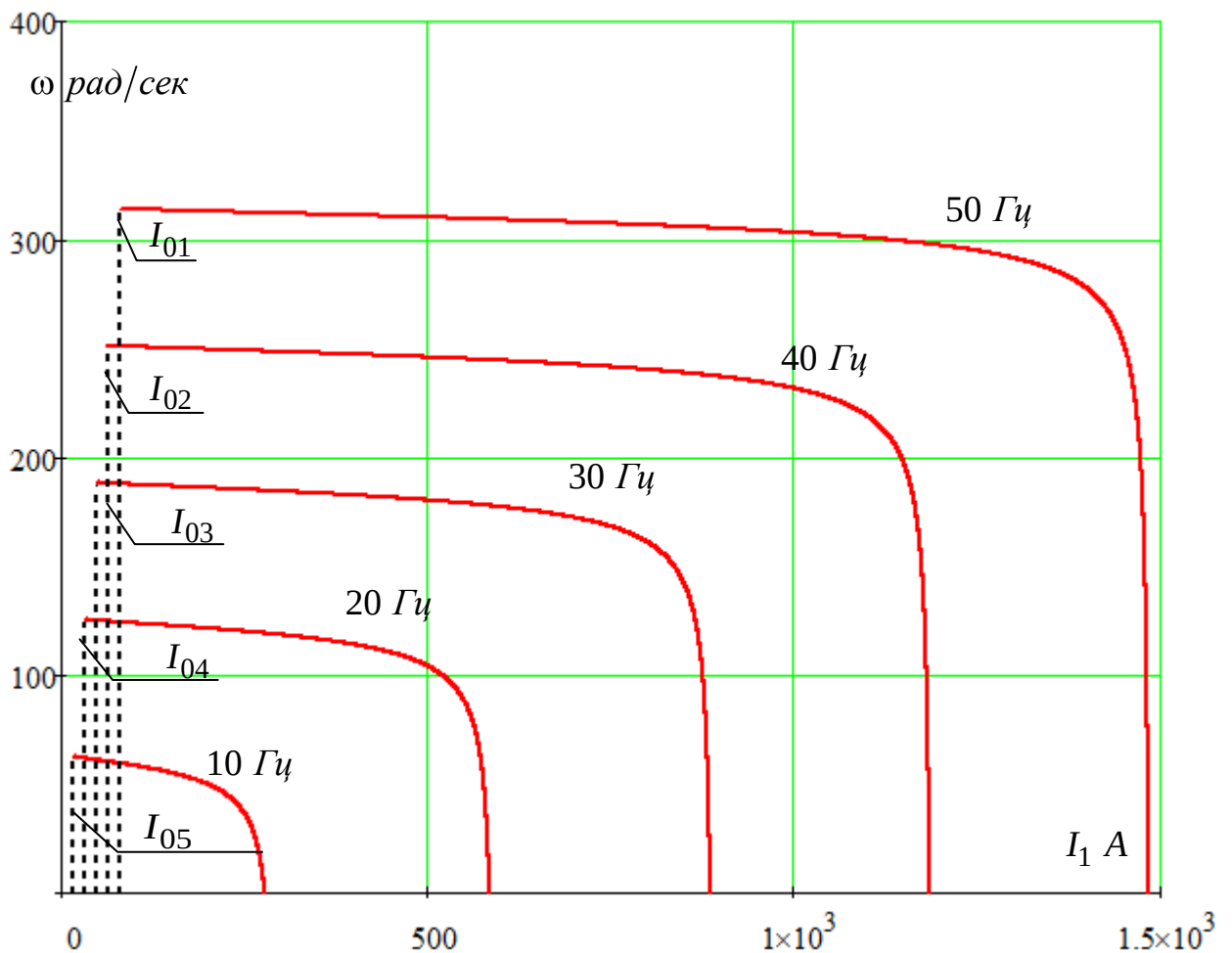


Рисунок 4.2 - Искусственные электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ при частотном регулировании скорости

Механические характеристики асинхронного двигателя $M(\omega)$ (рис.4.3) рассчитываем для выбранных по выражениям

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2 \cdot R'_2}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[X_{\text{éi}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu\text{i}} \cdot f_{1*}(f)} \right)^2 \right]},$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1-s).$$

Критические момент и скольжение можно определить по выражениям

$$M_{\text{к}}(f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2}{2 \cdot \omega_0(f) \cdot \left[R_1 + \sqrt{\left(R_1^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 \right) \cdot \left(1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu\text{н}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2} \right)} \right]},$$

$$s_{\text{к}}(f) = R'_2 \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu\text{н}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2}}{R_1^2 + X_{\mu\text{н}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2}},$$

$$\omega_{\text{к}}(f) = \omega(s_{\text{к}}(f), f).$$

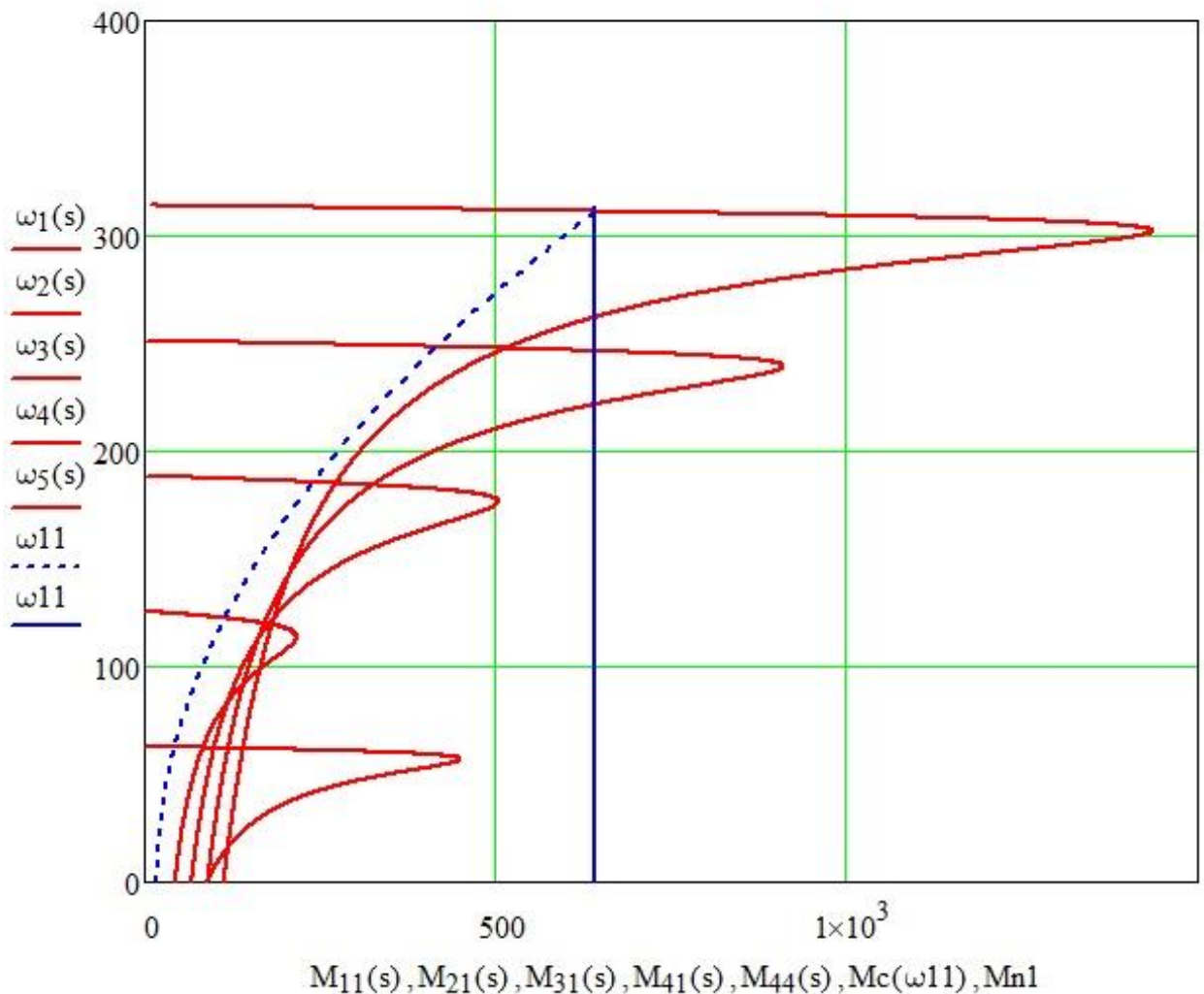


Рисунок 4.3 - Искусственные механические характеристики $M(\omega)$ при частотном регулировании скорости

Электромеханические характеристики:

При уменьшении частоты происходит уменьшение синхронной скорости, т.к.

$$1. \omega_0 = \frac{60 \cdot f}{p} \cong f \quad - \text{при уменьшении частоты синхронная скорость}$$

снижается.

$$2. I'_{2кз} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + X_{кн}^2}} \cong \frac{U_1}{f} \cong f \quad - \text{ток короткого замыкания обратно}$$

пропорционален квадратному корню из частоты.

Механические характеристики:

$$1. \omega_0 = \frac{60 \cdot f}{p} \cong f \quad - \quad \text{при уменьшении частоты синхронная скорость}$$

снижается.

$$2. s_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + (\frac{R_1}{X_\mu})^2}{R_1^2 + X_{KH}^2}} \cong \frac{1}{f}; M_k = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot [R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}]} \cong \frac{U_1^2}{f^2} \cong f^2.$$

Критические момент и скольжение обратно пропорциональны частоте.

3. $M_{\pi} = 2 \cdot M_k \cdot s_k \cong f$ - пусковой момент обратно пропорционален квадрату частоты.

5. РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СКОРОСТИ И МОМЕНТА ДЛЯ РЕЖИМА ПУСКА, СБРОСА И НАБРОСА НАГРУЗКИ НА ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ

Моделирование асинхронного двигателя осуществим с помощью программы MATLAB Simulink. Параметры модели представлены в m-файле ПРИЛОЖЕНИЯ А. Имитационная модель представлена на рисунке 5.1.

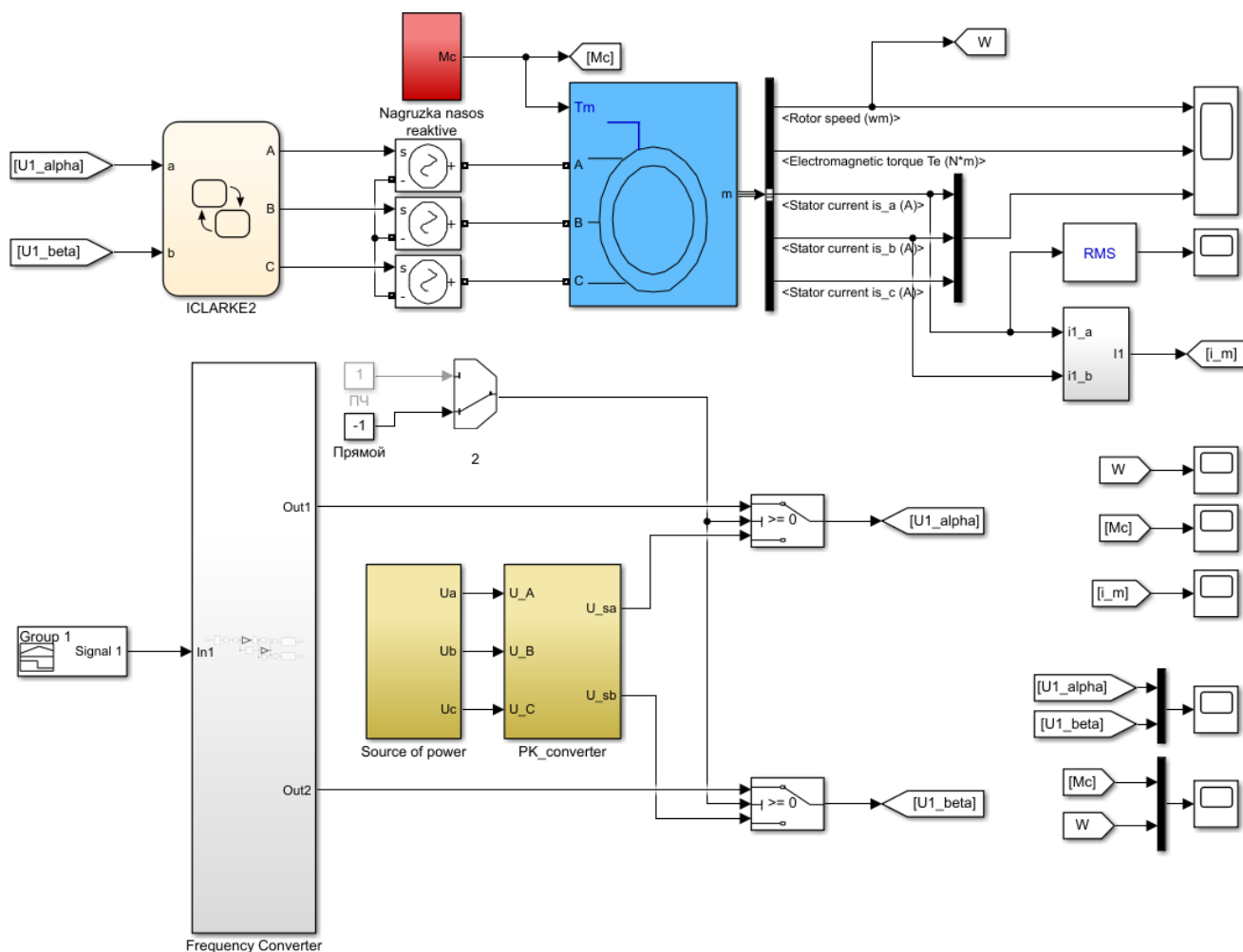


Рисунок 5.1 - Имитационная модель прямого и частотного пуска асинхронного двигателя

Имитационная модель включает в себя подсистемы:

- Преобразователь частоты «Frequency Converter»;
- Источник напряжения «Source of power»;
- Преобразование парка «PK_converter»;
- Блок инверсного преобразования Кларка «ICLARKE»;

- Блоки управляемых источников питания;
- Модель асинхронного двигателя;
- Подсистему реактивной нагрузки;
- Подсистему вычислителя модуля тока статора.

Модель предусматривает переключение между режимами пуска, прямой или частотный, для этого достаточно изменить положение переключателя 2.

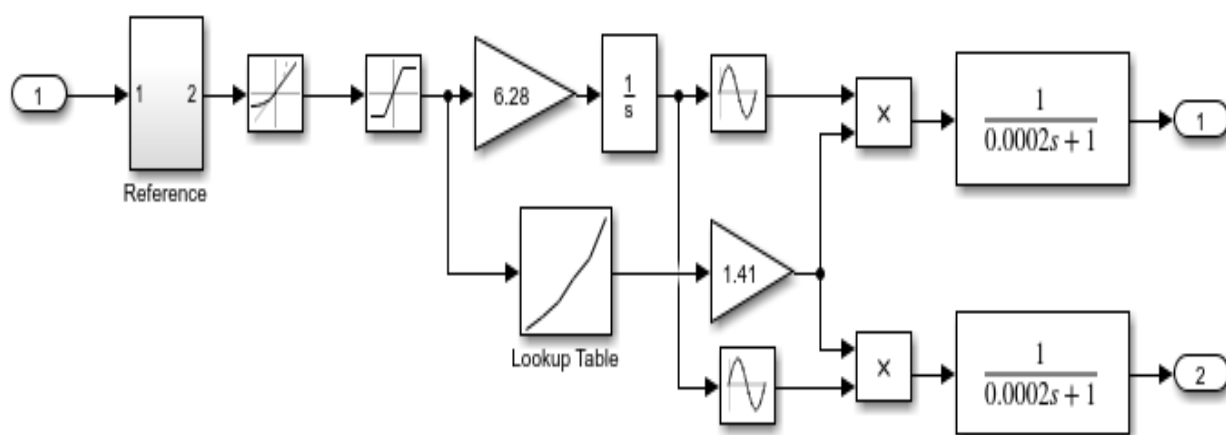


Рисунок 5.2 – Подсистема преобразователь частоты «Frequency Converter»

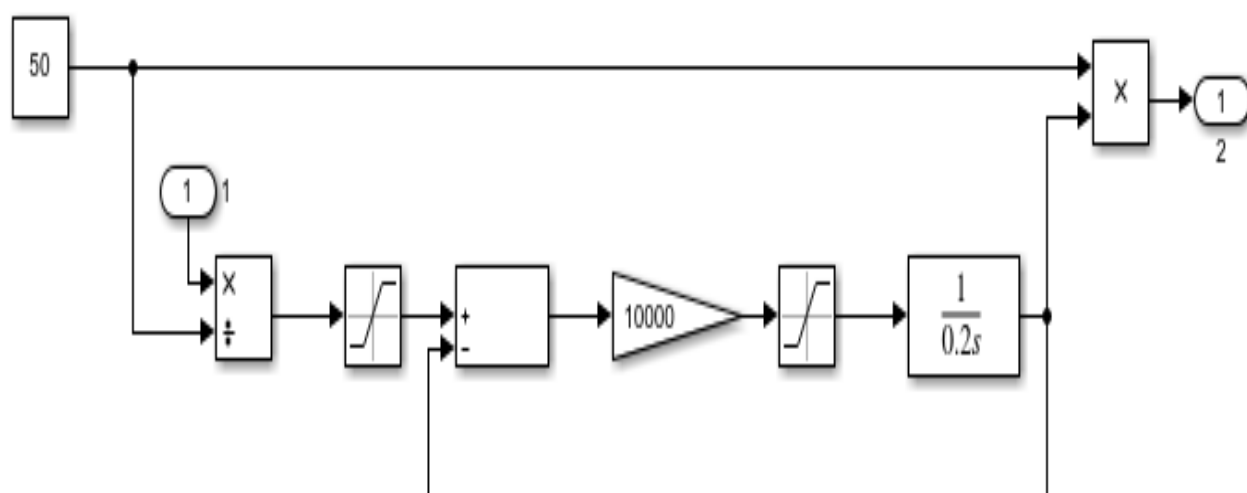


Рисунок 5.3 – Подсистема задатчика интенсивности «Reference»

Подсистема преобразователя частоты «Frequency Converter» включает в себя блок задатчика интенсивности «Reference», блок формирования вольт частотной характеристики для выбранного закона управления, а также блоки формирования гармонического напряжения питания для асинхронного двигателя.

Для проверки адекватности модели смоделированы переходные процессы пуска двигателя на холостом ходу и наброса номинальной нагрузки.

Ниже представлены переходные характеристики скорости, момента и токов при прямом пуске АД и набросе нагрузки.

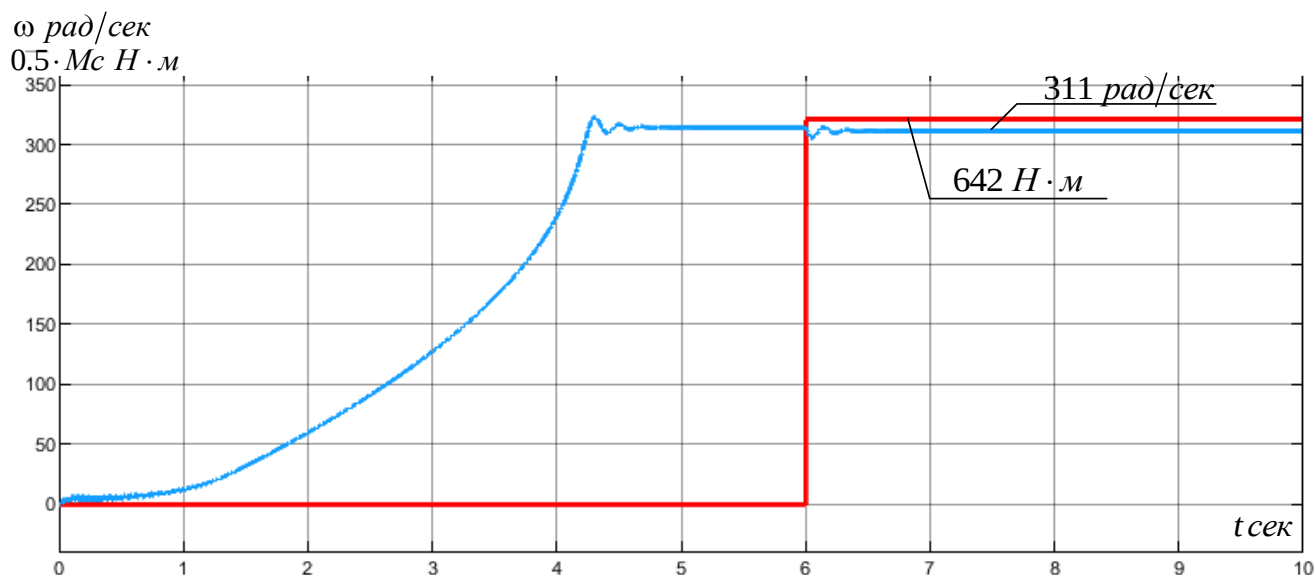


Рисунок 5.4 - Переходная характеристика скорости ротора АД при прямом пуске

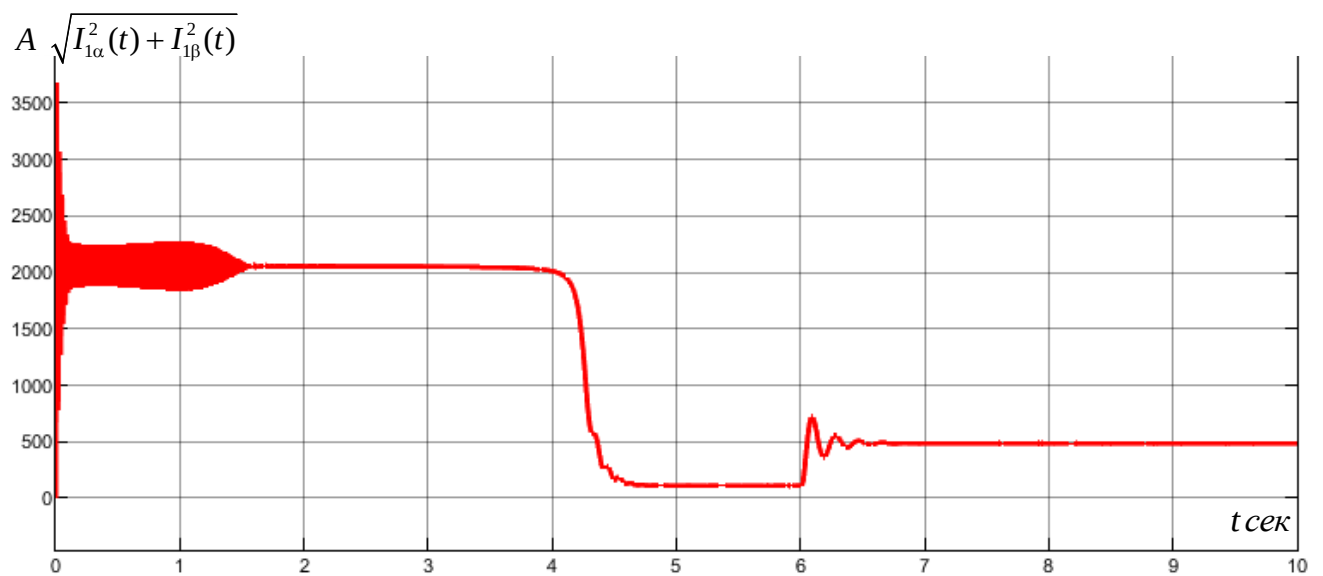


Рисунок 5.5 - Переходная характеристика модуля тока статора АД при прямом пуске

Из рисунков 5.4 и 5.5 видно, что данные, полученные при моделировании в среде MATLAB Simulink, практически совпали с расчетными значениями в среде MathCad.

6. РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СКОРОСТИ И МОМЕНТА ДЛЯ РЕЖИМА ПУСКА СБРОСА И НАБРОСА НАГРУЗКИ НА ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ“ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ”

В соответствии с функциональной схемой, представленной на рисунке 3.4, составим имитационную модель привода

На рисунке 6.1 представлены математически рассчитанная и аппроксимированная ломаными линиями кривая зависимости $U_{1j} / f_{1j}^2 = const$.

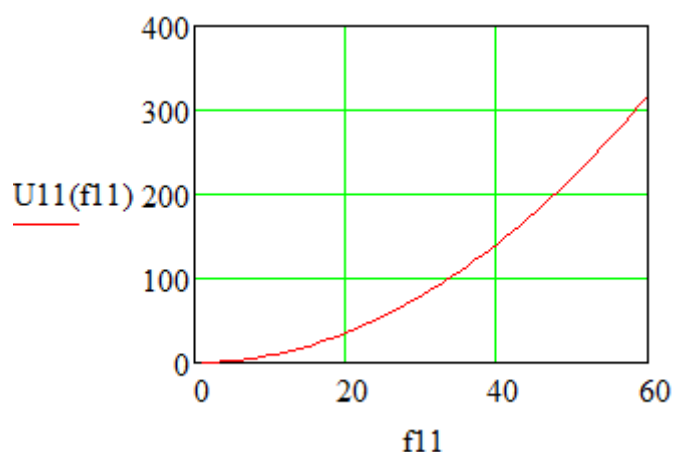


Рисунок 6.1 - Кривая зависимости $U(f)$

Была смоделирована работа электропривода при пуске двигателя с плавным повышением частоты питающего напряжения до 30 Гц, работе при 30 Гц и дальнейшем повышении частоты до 50 Гц. На рисунке 6.2 представлены переходные процессы скорости и момента.

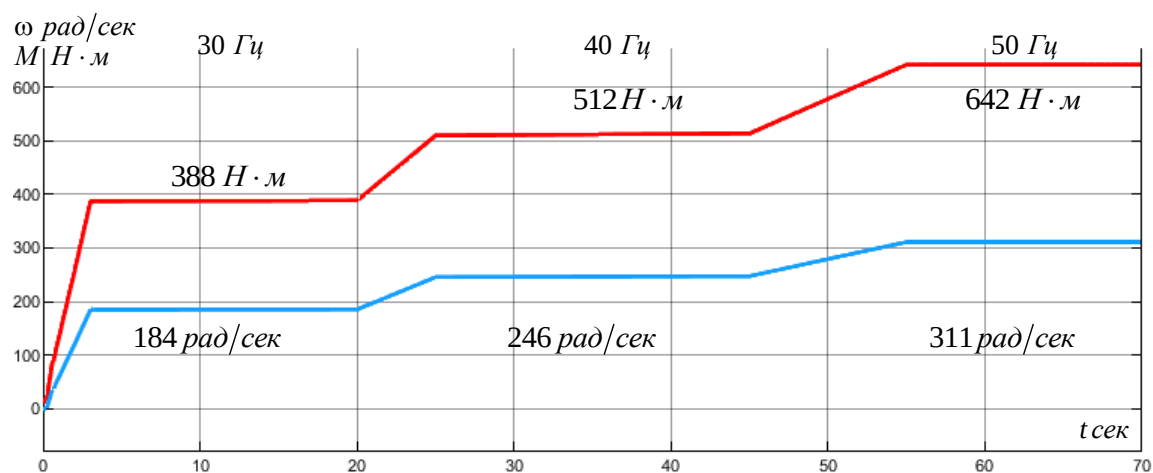


Рисунок 6.2 - Переходные процессы момента и скорости в заданном режиме работы электропривода

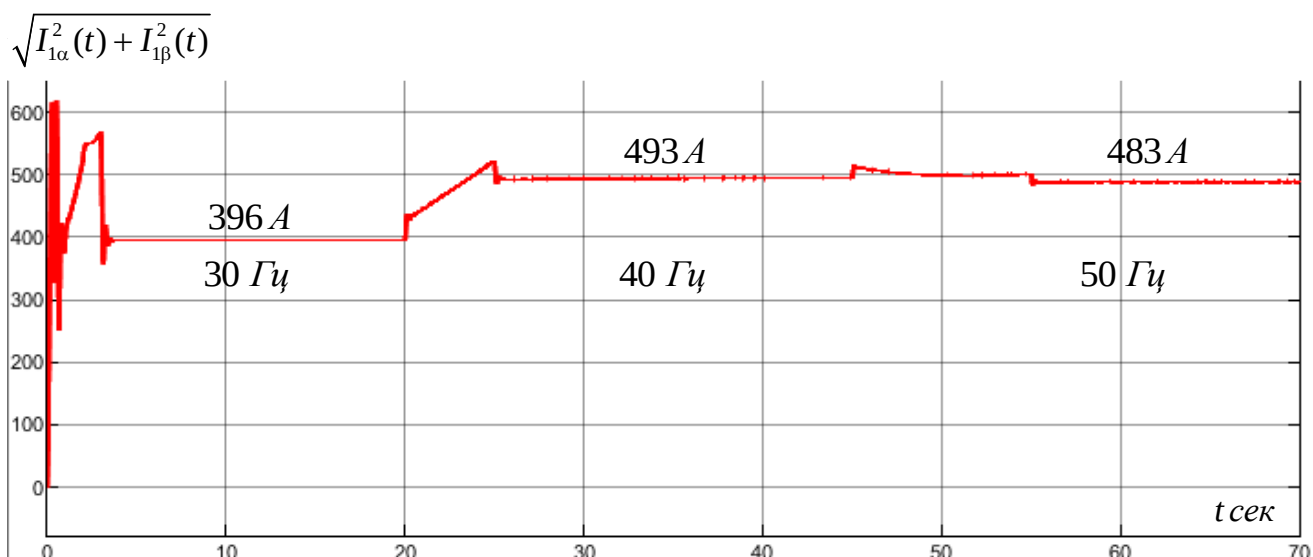


Рисунок 6.3 - Переходные процессы модуля тока статора в заданном режиме работы электропривода

Проведенные исследования имитационной модели электропривода компрессора позволяют сделать следующий вывод о том, что асинхронный электропривод с частотным скалярным управлением имеет удовлетворительные регулировочные свойства, это позволяет регулировать скорость вращения двигателя в широких пределах и обеспечить плавный запуск двигателя, что делает процесс подготовки газа более эффективным.

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности магистерской диссертации, а так же модернизации оборудования при частотном регулировании электропривода двигателя компрессора. Исследования, проводимые в данной магистерской диссертации, являются инициативными в рамках работы для ОАО НордИмпериял «Майское НМР». Внедрение такой системы позволит снизить пусковые токи, что увеличит срок службы двигателя, уменьшить потребление электрической энергии. В последнее время Россия стремится все больше решить вопрос энергосбережения на производстве в одну из актуальных тем. Это тенденция началась с ростом цен на электроэнергию. Снижение энергозатрат уменьшает себестоимость производимой продукции, что существенно улучшает ее конкурентоспособность. Энергосбережение на производстве, по сути, сводится к снижению потерь энергии в потребителях. Учитывая, что, как правило, основными потребителями на производстве являются электродвигатели, можно сделать вывод, что одной из приоритетных задач энергосбережения является снижение потерь в электроприводе. В ходе выполнения данной части будут определены необходимые капитальные вложения, срок окупаемости проекта, его прибыльность.

Таким образом, потенциальными потребителями результатов этого исследования являются предприятия нефтедобывающей промышленности, расположенные на территории Российской Федерации, добывающие, распространяющие, перерабатывающие нефтяную продукцию. Нефтедобывающие компании находятся в постоянном поиске новых месторождений, что является толчком для создания новых станций и проектных организаций. В условиях кризиса многое оборудование стало экономически не выгодно, и появилась необходимость на замену

оборудования Российского производства. Учитывая закон президента РФ от 05.04.2013г. №44-ФЗ (закон о госзакупках), Импортозамещения.

8. «Портрет» потребителя результатов НТИ

8.1 Модернизация электропривода компрессора насосной станции

В этом разделе определена стоимость установки нового оборудования для модернизации технологического процесса электропривода двигателя компрессора установки подготовки товарного газа и некоторые показатели эффективности. На модернизацию установки подготовки товарного газа было потрачено 1049 тыс. руб, в таблице 8.1 приведены цены на некоторое технологическое и вспомогательное оборудование.

Таблица 8.1 – Оборудование насосной станции

№	Наименование	Стоимость, руб
1	INSTART FCI-P250-4F	590 000
2	Двигатель 2АИМУР 280	260 000
3	Компрессор 38/110	160000
4	Датчик давления	34000
5	Комплектующие	5000
Итого		1 049 000

Ликвидационная стоимость старого оборудования составила 450 тыс. руб., старые электродвигатели, насосы, запорная арматура, трубопроводная арматура были реализованы как лом и как запасные ремонтные детали. Согласно паспортным данным срок эффективного использования нового оборудования составляет 4 лет, соответственно затраты на амортизацию должны распределить поровну на все 4 лет. Ежегодная величина амортизации составила $(1049 \text{ т.р.} - 450 \text{ т.р.}) / 4 \text{ года} = 149,75 \text{ тыс. руб.}$

Ликвидационная стоимость нового оборудования приблизительно составит 450 тыс. руб.

8.2 Затраты на монтаж нового оборудования

Монтажные работы являются важнейшим звеном подготовки оборудования, обеспечивающим ввод в эксплуатацию электротехнического оборудования. Эти работы должны выполняться высококвалифицированными специалистами и рабочими по заранее составленным планам. Исходя из выше перечисленного, в состав бригады входят: а) старший инженер-наладчик 6 разряда (бригадир); б) инженер-наладчик 6 разряда (наладчик); в) инженер-наладчик 5 разряда (электромонтер).

В состав затрат на монтаж нового оборудования включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание монтажных работ.

В смету затрат на выполнение монтажных работ входят следующие элементы затрат:

1. Материальные затраты;
2. Заработная плата;
3. Отчисления на социальные выплаты;
4. Накладные расходы.

Материальные затраты

Для модернизации УПТГ необходимо:

- Преобразователь фирмы SIEMENS SIMOVERT MASTERDRIVES Vector Control 6SE70 ;
- Двигатель 2АИМУР 280 L2;
- Компрессор 38/110;
- Датчик давления;

- Счётчик расходомер;
- Микроконтроллер;
- Модуль PROFibus; и комплектующие.

Под комплектующими подразумеваются: болты, винты, гайки, шайба, пружины, различные разъемы, вилки, розетки, зажимы, соединительные кабели и провода, пульты и кнопки управления. Данные компоненты покупаются, их стоимость приведена в таблице 1.

Затраты на оплату труда

Заработная плата работникам бригады выплачивается по аккордной системе. Принцип распределения в зависимости от количества и качества труда предполагает увязку системы заработной платы не только с качеством труда, но и с его количеством, т.е. производительностью труда. Мерой количества труда является отработанное рабочим время. Установленные для отдельных категорий работников формы и системы оплаты труда должны материально заинтересовать их в повышении количественных и качественных показателей работы.

Правильный выбор форм и систем оплаты труда является важным экономическим фактором стимулирования эффективности работы коллектива.

Для бригады наиболее эффективной является аккордная система оплаты труда. Эта система представляет собой разновидность сдельной системы, при которой сдельная расценка (сумма аккордного наряда) устанавливается на значительный объем работ без установления норм и расценок на отдельные ее элементы. При этом определяется срок окончания всей работы. Расчет с рабочими по аккордной системе производится после выполнения всего объема работ. Если выполнение аккордного задания требует значительного времени, то по аккордным нарядам выплачивается

аванс за текущий месяц с учетом выполненного объема работ, а окончательный расчет производится после завершения всей работы.

Аккордная система является бригадной, и аккордный заработок распределяется между членами бригады. Аккордная система может сочетаться с выплатой премий за улучшение качества работы и сокращения сроков ее выполнения.

Исходя из того, что в среднем инженер-наладчик 5-го - 6-го разряда в месяц получает 15 тыс. руб., а по плану длительность проведения монтажных работ составляет 51 час, из них бригадир проработал 45 часов, наладчик 40 часов, электрик 26 часов. Учитывая, что в месяц рабочих часов 208 (26 рабочих дней), то бригадир должен получить 3300 рублей, наладчик 3000 рублей, электрик 2000 рублей. Отсюда видно, что целесообразно выделить бригаде, состоящей из трех человек, на оплату труда, для проведения монтажных работ, сумму в 8300 руб.

Отчисления на социальные выплаты

При заключении трудового договора и начислении заработной платы предприятие должно заплатить социальное страхование, отчисления на социальное страхование составляет 30 %. Отчисления на социальные выплаты

$$Отч = \sum Z_{np} \cdot 30\% = 8300 \cdot 0,3 = 2490 \text{ руб/мес}$$

Накладные расходы

Накладные расходы – это расходы, связанные с производством, управлением и хозяйственным обслуживанием, при расчете сметы данные расходы принимаем равными 20 % от заработной платы, осуществляющих монтажные работы

$$HP = \sum Z_{np} \cdot 0,2\% = 8300 \cdot 0,2 = 1660 \text{ руб/мес}$$

Суммарные затраты на проведение монтажных работ сведены в таблицу 8.2.

Таблица 8.2 – Суммарные затраты на проведение монтажных работ и оборудования

№	Статья затрат	Сумма, руб.
1	Оборудование	1 049 000
2	Заработная плата	8300
3	Отчисления на социальные цели	2490
4	Накладные расходы	1600
5	Итого себестоимость монтажных работ	1 061 390

Работы проводились собственными силами, поэтому в расчетах не учитывались плановые накопления и НДС.

8.3 Расчет эксплуатационных затрат

Затраты на технологическую энергию

Вследствие полной автоматизации технологического процесса снизились годовые затраты на потребление электроэнергии электроприводом. Сейчас они составляют приблизительно 1583600 кВт, в то время как до модернизации составляли 1981429 кВт. Тариф за кВт/ч в Томской области составляет 3.93 руб/ кВт ч

$$C_{\text{год.затр.на ЭЭ}} = P_{\text{выр}} \cdot C_{\text{ЭЛ}} = 1583600 \cdot 3,93 = 6223548 \text{ руб/год}$$

$$C_{\text{год.затр.на ЭЭ}} = P_{\text{выр}} \cdot C_{\text{ЭЛ}} = 1981429 \cdot 3,93 = 7787015 \text{ руб/год}$$

где $C_{\text{ЭЛ}}=3,93$ руб./кВт·ч – цена за электроэнергию.

Затраты на заработную плату обслуживающего персонала

При обслуживании УПТГ персонал имеет повременную оплату труда. Оплата труда включает в себя основную и дополнительную заработную

плату. К основной относится оплата, начисленная за проработанное время на предприятии и различные доплаты (сверхурочная работа, работа в выходные дни, региональные надбавки, премии, районный коэффициент).

Расчет затрат на заработную плату обслуживающему персоналу до модернизации электропривода насоса внешней перекачки нефти

Дневная заработная плата

$$З = \frac{З_м \cdot K_п}{F_д} = \frac{10000 \cdot 1,3}{26} = 500 \text{ руб/день}$$

где $З_м$ – заработная плата в месяц,

$K_п = 1,3$ – коэффициент, учитывающий выплату премии и доплат,

$F_д = 26$ – количество рабочих дней в месяц.

Основная заработная плата

$$З_{осн} = З \cdot \tau_p = 500 \cdot 26 = 13000 \text{ руб/день}$$

где $\tau_p = 26$ дней – период рабочего времени

Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата – это выплаты за неотработанное время (оплата отпусков и т. д.).

$$З_{осн} = З_{осн} \cdot 0,15 = 13000 \cdot 0,15 = 1950 \text{ руб/мес}$$

$$З_{ип} = З_{осн} + З_{доп} = 13000 + 1950 = 14950 \text{ руб/мес}$$

Учитывая, что до модернизации УПТГ обслуживала бригада, состоящая из 4 человек, тогда сумма затрат на заработную плату:

$$C_з = З_{ип} \cdot 4 = 14950 \cdot 4 = 59800 \text{ руб/мес}$$

Отчисления на социальные выплаты

Социальное страхование равно 30 %, в эти проценты входят обязательное пенсионное страхование с выплат, не превышающих предельную базу для начисления взносов, на обязательное медицинское

страхование, предельной величины выплат нет, на обязательное социальное страхование с выплат в пределах лимита, платежей сверх лимита нет.

Социальные страхования 30 % от начисленной зарплаты, 0,2 % – отчисления на страхование от несчастных случаев на производстве.

$$Отч = C_3 \cdot 30\% = 59800 \cdot 0,3 = 17940 \text{ руб/мес}$$

Расчет затрат на заработную плату обслуживающему персоналу после модернизации электропривода насоса

Дневная заработная плата

$$З = \frac{З_м \cdot K_{п}}{F_{д}} = \frac{10000 \cdot 1,3}{26} = 500 \text{ руб/день}$$

где $З_м$ – заработная плата в месяц,

$K_{п} = 1,3$ – коэффициент, учитывающий выплату премии и доплат,

$F_{д} = 26$ – количество рабочих дней в месяц.

Основная заработная плата

$$З_{осн} = З \cdot \tau_p = 500 \cdot 26 = 13000 \text{ руб/день}$$

где $\tau_p = 26$ дней – период рабочего времени

Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата – это выплаты за неотработанное время (оплата отпусков и т. д.).

$$З_{осн} = З_{осн} \cdot 0,15 = 13000 \cdot 0,15 = 1950 \text{ руб/мес}$$

$$З_{пр} = З_{осн} + З_{доп} = 13000 + 1950 = 14950 \text{ руб/мес}$$

После модернизации численность обслуживающего персонала сократилась вдвое и теперь составляет 2 человека.

$$C_3 = З_{пр} \cdot 2 = 14950 \cdot 2 = 29900 \text{ руб/мес}$$

Отчисления на социальные выплаты

$$Отч = C_3 \cdot 30\% = 29900 \cdot 0,3 = 8970 \text{ руб/мес}$$

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

В расходы на содержание и эксплуатацию оборудования входят затраты на смазочные материалы, запасные детали.

$$PCЭO_{ДПТ} = 10\% \cdot Ц_j = 10\% \cdot 315000 = 31500 \text{ руб/год}$$

$$PCЭO_{АД} = 10\% \cdot Ц_j = 5\% \cdot 26000 = 13000 \text{ руб/год}$$

Суммарные эксплуатационные затраты

$$C_{\text{Сум.эсп.затр}} = C_{\text{год.затр.ЭЭ}} + C_C + O_D + PCЭO_{ДПТ} = 4976300 + 764400 + 200272,8 + 31500 = 5972472,8 \text{ руб/год}$$

$$C_{\text{Сум.эсп.затр}} = C_{\text{год.затр.ЭЭ}} + C_C + O_D + PCЭO_{АД} = 4436250 + 382200 + 100136,4 + 6150 = 4924736,4 \text{ руб/год}$$

Из расчетов видно, что суммарные расходы за год на содержание УПТГ до модернизации, значительно превышают расходы на содержание после модернизации. Отсюда можно сделать вывод о гораздо большей эффективности использования электропривода переменного тока.

8.4 Определение технико-экономических показателей

Срок окупаемости (Токуп) представляет собой период, за который вложенные средства окупятся доходами, полученными от реализации проекта.

$$T_{\text{ОКУП}} = \frac{K}{Д_Г} \cdot \tau$$

$\tau = 20\%$ – ставка налога на прибыль, руб/год

$C_{\text{Стоим.эконом.ЭЭ}} = 1047736,4$ руб-данные рассчитываются предприятием

$$\sum НП = \frac{НБ_{ин} \cdot C_{ин}}{100} - \text{сумма налога на прибыль руб/год}$$

$$T_{\text{ОКУП}} = 1047736,4 \cdot \frac{20}{100} = 209547,28 \text{ руб/год}$$

Амортизационные отчисления

$$A = \frac{\gamma * C_{\text{себестоимость}}}{100}$$

$\gamma = 16,6\%$ – норма амортизационных отчислений

$$A = \frac{16,7 * 1684134,6}{100} = 281250,5 \text{руб в год}$$

Определим денежные средства за расчетный год

$$P_{\text{ДЕН.СР-ВА ГОД}} = C_{\text{Стоим.эконом.ЭЭ}} - T_{\text{ОКУП}} + A = 1047736,4 - 209547,28 + 281250,5 = 1119439,2 \text{ год/руб}$$

Определим срок окупаемости

$$K_{\text{срок.окуп}} = \frac{C_{\text{себестоимость}}}{P_{\text{ДЕН.СР-ВА ГОД}}} = \frac{1684134,6}{1119439,2} = 1,5 \text{ лет} .$$

Согласно паспортным данным срок эффективного использования нового оборудования составляет 6 лет. Расчет показывает, что срок окупаемости приемлем. Произведем расчет чистого дисконтированного дохода (NPV), индекса доходности затрат (PI) и дисконтированного срока окупаемости (PP).

Чистый дисконтированный доход (NPV)

$$P_t - \text{денежные поступления} = P_{\text{ДЕН.СР-ВА ГОД}} = 1119439,2 \text{руб / год} ;$$

d – ставка дисконтирования;

Пусть $d = 0.15$ – норма дисконта. Тогда:

$$NPV = \sum_t \frac{P_{\text{ДЕН.СР-ВА ГОД}}}{(1+d)^t} - C_{\text{себестоимость}} = \frac{1119439,2}{(1+0,15)} + \frac{1119439,2}{(1+0,15)^2} + \frac{1119439,2}{(1+0,15)^3} - 1684134,6 = 871800 \text{руб}$$

Получившееся значение $PI > 1$, а значит, при данной ставке дисконтирования проект является прибыльным.

Так как $NPV > 0$, то при данной ставке дисконтирования проект является прибыльным.

Индекс доходности затрат (PI)

Индекс доходности (рентабельности) показывает, сколько приходится денежных поступлений на рубль инвестиций.

Если $PI > 1$, то проект является выгодным.

$$PI = \frac{\sum_t \frac{P_{\text{ДЕН.СР-ВА ГОД}}}{(1+d)^t}}{C_{\text{себестоимость}}} = \frac{\frac{1119439,2}{(1+0,15)} + \frac{1119439,2}{(1+0,15)^2} + \frac{1119439,2}{(1+0,15)^3}}{1684134,6} = 1,518.$$

Дисконтированный срок окупаемости (PP)

При определении дисконтированного срока окупаемости, используется формула:

где K – одновременные инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

ДП – денежные поступления;

d – ставка дисконтирования.

$$PP = \frac{\log(1 - d \cdot \frac{C_{\text{себестоимость}}}{P_{\text{ДЕН.СР-ВА ГОД}}})}{\log(1 + d)} = \frac{\log(1 - 0,15 \cdot \frac{1684134,6}{1119439,2})}{\log(1 + 0,15)} = 1,8 \text{ год}.$$

Таким образом, из полученных результатов можно сделать вывод о том, что данный проект по модернизации установки подготовки товарного газа является экономически привлекательным. Сумма всех капитальных затрат проекта составляет 1684134,6 руб., стоимость сэкономленной электроэнергии и экономии на обслуживании за год равна 1047736,4 руб. Срок окупаемости проекта составляет 1,5 года, в то время как дисконтированный срок окупаемости равен 1,9 года. Рассматривая получившиеся значения таких показателей как чистый дисконтированный доход (NPV), индекс доходности затрат (PI), можно заключить, что проект является экономически выгодным и привлекательным.

8.5 Сегментирование рынка

Сегментируем рынок по следующим критериям: размер компании заказчика, вид электропривода

	Вид электропривода			
	Электропривод постоянного тока	Электропривод переменного тока	Электропривод АД с фазным ротором	Электропривод с частотным регулированием
Крупные		Фирма Б		Фирма Б
Средние	Фирма А	Фирма Б	Фирма В	
Мелкие	Фирма А		Фирма Г	

На карте сегментирования представлено, которые ниши в рынке электрического оснащения не забраны соперниками либо в каком месте степень конкурентной борьбы низок. Результат сегментирования: – главным секторам рынка принадлежат применение электропривода с частотным регулировкой средними и небольшими фирмами; – наиболее многообещающим сектором считается рекомендация электропривода с частотным регулировкой средним фирмам; – сегментом рынка, заманчивых для компании в перспективе, считается рекомендация электропривода с частотным регулировкой небольшим, активно развивающимся, фирмам.

8.5.1. Разработка графика проведения научного исследования

Построим график проведения научного исследования в виде графика Ганта, который представляет собой график зависимости работ от времени их выполнения.

Для удобства построения графика длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переведем в календарные дни. Для этого нужно воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}$$

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Пример расчета для работы №1 из таблицы 4:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 1,48 \cdot 2 = 2,96 = 3 \text{ дн}$$

Коэффициент календарности определяют по следующей формуле:

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

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

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

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

Расчет коэффициента календарности:

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

В таблице 8.2 представлены все расчетные значения.

Таблица 8.2– Временные показатели проведения НИ

Номер работы из табл. 5	Трудоемкость работ						Испол- нители		Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел- дни							
	Исп.1	Исп. 2	Исп.1	Исп. 2	Исп.1	Исп. 2	Исп.1	Исп. 2	Исп.1	Исп. 2	Исп.1	Исп. 2
1	–	1	–	2	–	1,4	–	+	–	2	–	3
2	–	1	–	2	–	1,4	–	+	–	2	–	3
3	2	–	4	–	2,8	–	+	–	3	–	5	–
4	1		2		1,4		+	+	1	1	2	2
5	6	–	10	–	7,6	–	+	–	8	–	12	–
6	4	–	7	–	5,2	–	+	–	6	–	9	–

7	8	–	11	–	9,2	–	+	–	10	–	15	–
8	3	–	5	–	3,8	–	+	–	4	–	6	–
9	4	–	7	–	5,2	–	+	–	6	–	9	–
10	8	–	9	–	8,4	–	+	–	9	–	14	–
11	7	–	8	–	7,4	–	+	–	8	–	12	–
12	3	–	5	–	3,8	–	+	–	4	–	6	–

Примечание: исп. 1 – инженер–наладчик; исп. 2 – старший инженер

В таблице 8.2 отражены количества дней, выраженные в рабочих и календарных днях, отводимых на выполнение различных частей научного исследования. На основе этого составлена таблица 8.3 «Календарный план-график проведения НИ по теме», в которой отражен календарный план работ в виде графика Ганта.

Инженер–наладчик не принимает участие в разработке исследования. Разработку как правильно проводят административно-технический состав, электромонтер 6 разряда, в основном проводит работы.

Таблица 8.3– Календарный план – график проведения НИ по теме

№ ра бо т	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				февраль				март			апрель			май	
				10- 12	13- 15	16- 20	21- 22	23-6	7-15	16- 30	31-5	6-14	15- 28	29- 10	11- 16
1	Назначение и утверждение темы диссертации	Ст. инженер	3												
2	Выбор необходимой литературы	Ст. инженер	3												
3	Изучение литературы и статьи	Инженер-наладчик	5												
4	Составление календарного плана работ	Ст. инженер, инж.	2												
5	Расчет параметров АД, выбор оборудования	Инженер	12												
6	Выбор преобразователя частоты Расчета блока частот. регулировки	Инженер	9												
7	Моделирование режимов работы АД	Инженер	15												
8	Разработка средств энергетических показателей	Инженер	6												
9	Анализ полученных результатов	Инженер	9												
10	Анализ конкурентных технических решений	Инженер	14												
11	Анализ воздействия вредных факторов при работе с электроприводом	Инженер	12												
12	Оформление ПЗ и чертежей	Инженер	6												



–Ст.инженер



– Инженер-наладчик

В подразделе 8.3 было произведено планирование научно исследовательских работ, а именно: определили структуру работ в рамках научного исследования, трудоемкость выполнения работ, разработали график проведения научного исследования. Все это позволило правильно распределить время, необходимое для проведения различных работ в рамках научного исследования.

8.6 Матрица SWOT

SWOT-анализ SWOT - Strengths (сильные стороны), Weakness (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта.

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы. **Сильные стороны.** Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону проекта

1. Энергоэффективность;
2. Текущая доля на рынке;
3. Технический уровень производства;
4. Более низкая стоимость ЭЭ по сравнению с другими технологиями;
5. Хорошая инфраструктура.

Слабые стороны. Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

1. Потери ЭЭ в электрических сетях составляют 14 %;
2. Занимают большие территории;
3. Большие затраты на доставку сырья.

Возможности. Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 8.4.

Таблица 8.4 – матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Высокая энергоэффективность и экономичность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Повышение надежности технологии С4. Квалифицированный персонал	Слабые стороны проекта: Сл1. Сложность ремонта некоторых частей оборудования Сл2. Дороговизна оборудования Сл3. Сложность эксплуатации электрооборудования
Возможности: В1. Появление дополнительной автоматизированной системы управления В2. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследованиях В3. Повышение стоимости конкурентных разработок В4. Развитие технологий в данной отрасли	В1С1С2С3С4; В2С1С3С4; В3С3С4; В4С1С2С3С4;	В1Сл2; В2Сл1Сл2; В3Сл2; В4Сл2;
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на технологию У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции У4. Угрозы выхода из строя оборудования	У1С1С3; У2С4; У3С4; У4С3	У1Сл2; У2Сл1Сл2; У3Сл2; У4Сл1Сл2Сл3;

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:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

«+» – сильное соответствие

«-» – слабое соответствие;

Таблица 8.5 – Интерактивная матрица возможностей.

Возможности	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	
	B1	+	+	+	+	
	B2	+	-	+	+	
	B3	-	+	+	+	
	B4	+	+	+	+	
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	B1	-	+	-		
	B2	+	+	-		
	B3	-	+	-		
	B4	-	+	-		

Таблица 8.6 – Интерактивная матрица угроз

Возможности	Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4
	У1	+	-	+	-
	У2	-	-	-	+
	У3	-	-	-	+
	У4	-	-	+	-
	Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	-	-
	У2	+	+	-	-
	У3	-	+	-	-

	У4	+	+	+	-	
--	----	---	---	---	---	--

В результате проведения SWOT-анализа были выявлены как сильные, так и слабые стороны технического проекта. Данный технический проект имеет несколько важных преимуществ, таких как внедрение продукта на мировой уровень, в различные технологические процессы, которые обеспечат повышение производительности, безопасности и надежности. Так же установлен недостаток - отсутствие спроса на технологии производства, который может повлиять на дальнейшее использование продукта.

8.7 Оценка конкурентоспособности и ресурсоэффективности проекта

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики проекта;
- конкурентоспособность проекта;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа, модели и т.п.);
- бюджет разработки и т.д

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научного проекта и определить направления для его будущего повышения и реализации.

Для оценки ресурсоэффективности проекта были подобраны критерии эффективности такие как: экономичность, безопасность, обеспечение надлежащего качества и надежности прибора, сфера применения и удобство использования.

1. Экономичность - оптимизация затрат на электрическую часть предприятия на стадии проектирования приводит к их уменьшению на доли процентов, в абсолютном же измерении речь идет об экономии значительных средств.

2. Под обеспечением надлежащего качества и надежности прибора понимается поставка потребителю нового, неизношенного прибора с допустимыми показателями его качества и исключения ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

3. Безопасность - это свойство прибора сохранять с некоторой вероятностью безопасное состояние при выполнении заданных функций в условиях, установленных нормативно-технической документацией.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 8.7.

Таблица 8.7 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки	Конкурентоспособность
1. Качество и надежность исполнение	0,25	5	1,25
2. Сфера применения и удобство использования	0,25	5	1,25
3. Безопасность	0,3	5	1,5
4. Экономичность	0,2	4	0,8
Итого:	1,00		4,8

Позиция оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Значения показателей, определяемые экспертным путем, в сумме составляют

1. Анализ конкурентоспособности проекта определяется согласно выражению:

$$K = \sum B_j \cdot B_j$$

где К – конкурентоспособность научной разработки; Вj– вес показателя (в долях единицы); Bj – балл j-го показателя.

$$K_{\sum} = 0.25 \cdot 5 + 0.25 \cdot 5 + 0.3 \cdot 5 + 0.2 \cdot 4 = 4.8$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы качества, надежности и безопасности позволяют судить о надежности системы.

Из всего вышеперечисленного можно сделать вывод о том, что реализация данного технического проекта позволяет увеличить эффективность оборудования.

9 Социальная ответственность

Социальная ответственность и охрана труда являются важнейшими составляющими любой деятельности, в особенности производственной, т.к. непосредственно связаны со здоровьем и жизнью человека.

Социальная ответственность – сознательное отношение субъекта социальной деятельности к требованиям социальной необходимости, гражданского долга, социальных задач и, норм и ценностей, понимание осуществляемой деятельности для определенных социальных групп и личностей, для социального прогресса общества.

Охрана труда – совокупность нормативных, технических и правовых актов, мероприятий и правил, целью которых является сохранение здоровья и жизни работника в процессе трудовой деятельности. Данные мероприятия могут быть организационно-технического, санитарно-гигиенического, социально-экономического, лечебно-профилактического, реабилитационного характера.

Индивидуальная ответственность может проявляться во внутренней и внешней среде. Она является основой дисциплины и своеобразным предохранителем от ошибочных решений.

Научно-исследовательская работа направлена на расчёт параметров имитационной модели частотно регулируемого электропривода компрессора установки подготовки товарного газа, а также на оценку конкурентоспособности и планирование проектных работ; исследование рабочего места инженера с целью выявления вредных и опасных производственных и экологических факторов и средств защиты от них.

Для выполнения работы была использована программная среда Matlab, Mathcad, а также пакет Microsoft Office.

9.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

9.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ работник аудитории 241, 8 корпуса ТПУ имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

9.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м², высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м³ на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом

должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

Рабочее место сотрудника аудитории 241, 8 корпуса ТПУ соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

9.2. Производственная безопасность

Расчёт защит линий подразумевает использование электронной вычислительной машины (ЭВМ), с точки зрения социальной ответственности целесообразно рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникать при работе с оборудованием при выполнении расчётов, а также требования по организации рабочего места.

9.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [2]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы:

Таблица 9.1. Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке программного модуля

Источник фактора, наименование вида работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) Работа с ЭВМ	1. Повышенный уровень электромагнитных полей [2, 17]; 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; [2,3, 17]; 3. Повышенный уровень шума на рабочем месте; [2, 17]; 4. Неудовлетворительный микроклимат [2, 17]; 5. Повышенный уровень напряженности электростатического поля [2, 17].	1. Электрический ток	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 СанПиН 2.2.2.542-96 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 СанПиН 2.2.4.1191-03 СП 52.13330.2011 СанПиН 2.2.4.548–96 СН 2.2.4/2.1.8.562–96 ГОСТ 30494-2011

9.2.2. Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов

При использовании оборудования в аудитории 241 8 корпуса ТПУ, основным источником потенциально опасных факторов является ЭВМ и возможность поражения электрическим током. Использование данного оборудования может привести к наличию таких вредных факторов, как

повышенный уровень статического электричества, повышенный уровень электромагнитных полей, повышенная напряженность электрического поля.

К основной документации, которая регламентирует вышеперечисленные вредные факторы относится СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к электронно-вычислительным машинам и организации работы":

ЭВМ должны соответствовать требованиям настоящих санитарных правил и каждый их тип подлежит санитарно-эпидемиологической экспертизе с оценкой в испытательных лабораториях, аккредитованных в установленном порядке[4].

Допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ [5], создаваемых ЭВМ, не должны превышать значений [5], представленных в таблице 9.2:

Таблица 9.2 - Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ

Наименование параметров	Диапазон	ДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Уровни ЭМП, ЭСП в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ, перечисленные в таблице 5.2. соответствуют нормам.[17]

Электробезопасность:

Для предотвращения поражения электрическим током, где размещаются рабочее место с ЭВМ в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ, оборудование оснащено защитным заземлением, занулением в соответствии с

техническими требованиями по эксплуатации[16]. Для предупреждения электротравматизма предусмотрены соответствующие организационные и технические мероприятия: 1) оформление работы нарядом или устным распоряжением; 2) проведение инструктажей и допуск к работе; 3) надзор во время работы. Напряжение для питания ЭВМ 220 В, для серверного оборудования 380 В. По опасности поражения электрическим током помещение 241, 8 корпуса ТПУ относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой $<30^{\circ}\text{C}$, с влажностью $<70\%$), отсутствует токопроводящая пыль [16].

Основными непосредственными причинами электротравматизма, являются: 1) прикосновение к токоведущим частям электроустановки, находящейся под напряжением в случае пробоя изоляции; 2) прикосновение к металлическим конструкциям электроустановок, находящимся под напряжением; 3) ошибочное включение электроустановки или несогласованных действий обслуживающего персонала; 4) поражение шаговым напряжением.

Основными техническими средствами защиты, согласно ПУЭ [2], являются защитное заземление, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электрозащитные средства, знаки и плакаты безопасности. Указанные средства защиты обеспечивают защиту от поражения электрическим током в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ. В целях профилактики периодически проводится инструктаж на рабочем месте по технике безопасности.

Не следует размещать рабочие места с ЭВМ вблизи силовых кабелей, технологического оборудования, создающего помехи в работе ЭВМ[4].

Рассчитано защитное заземление для шкафов релейной защиты и серверного оборудования, которое находится в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ [18]:

1. В качестве заземляющего устройства (вертикальные электроды) используем стальные трубы диаметром $d = 55$ мм, в качестве соединяющего элемента – стальная полоса шириной $b = 50$ мм.

2. Сопротивлению грунта в районе размещения установки или устройства.

Таблица 9.3 - Исходные данные для расчета

Вид заземления	контурное
Длина заземлителя l , м	2,7
Глубина заземлителя в грунте h , м	0,65
Сезонный коэффициент K_c	2,0
Удельное сопротивление земли ρ , Ом·м	70
Диаметр d , мм	55
Ширина соединительной полосы b , мм	50
Допустимое сопротивление системы заземления по ПУЭ $R_{з.у.}$, Ом	4
Уровень напряжения, В	220-380

3. Величина электрического сопротивления растекания тока в грунт с одиночного заземлителя:

$$R_z = 0,366 \frac{\rho \cdot K_c}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) =$$

$$= 0,366 \frac{70 \cdot 2}{2,7} \left(\lg \frac{2 \cdot 2,7}{0,055} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2 + 2,7}{4 \cdot 2 - 2,7} \right) = 38,51 \text{ Ом},$$

где $\rho = 70$ Ом – удельное сопротивление грунта,

$K_c = 2$ – коэффициент сезонности,

$l = 2,7$ м – длина заземлителя,

$d = 0,055$ м – диаметр заземлителя,

$t = h + 0,5l = 0,65 + 0,5 \cdot 2,7 = 2$ м – длина от поверхности земли до середины заземлителя.

4. Число заземлителей без взаимных помех, получаемых друг от друга, без так называемого явления «экранирования»:

$$n = \frac{R_z}{R_{з.у.}} = \frac{38,51}{4} = 9,62 \approx 10$$

5. Число заземлителей с коэффициентом экранирования:

$$n = \frac{n'}{\eta_z} = \frac{10}{0,58} = 17,24 \approx 18$$

где $\eta_z = 0,58$ – коэффициент экранирования [56].

Принимаем расстояние между заземлителями $a = l = 2,7$ м.

6. Длина соединительной полосы:

$$l_n = 1,05 \cdot n \cdot a = 1,05 \cdot 18 \cdot 2,7 = 51 \text{ м}$$

7. Значение сопротивления растекания тока с соединительной полосы:

$$R_{II} = 0,366 \frac{\rho K_c}{l_n} \lg \frac{2l_n^2}{b \cdot h} = 0,366 \frac{70 \cdot 2}{51} \lg \frac{2 \cdot 51^2}{0,05 \cdot 0,65} = 5,1 \text{ Ом}$$

8. Полное сопротивление системы заземления:

$$R_{zy} = \frac{R_z \cdot R_{II}}{R_z \cdot \eta_n + R_{II} \cdot \eta_z \cdot n} = \frac{38,51 \cdot 5,1}{38,51 \cdot 0,51 + 5,1 \cdot 0,58 \cdot 18} = 2,63 \text{ Ом},$$

где $\eta_n = 0,51$ – коэффициент экранирования полосы.

Таким образом, сопротивление $R_{zy} = 2,63$ Ом не превышает 4 Ом. Следовательно, диаметр заземлителя $d = 55$ мм при числе заземлителей $n = 18$ является достаточным для обеспечения защиты при контурной схеме расположения заземлителей.

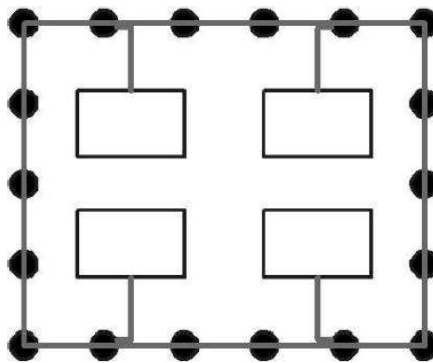


Рисунок 9.1 – Схема полученного контурного заземления

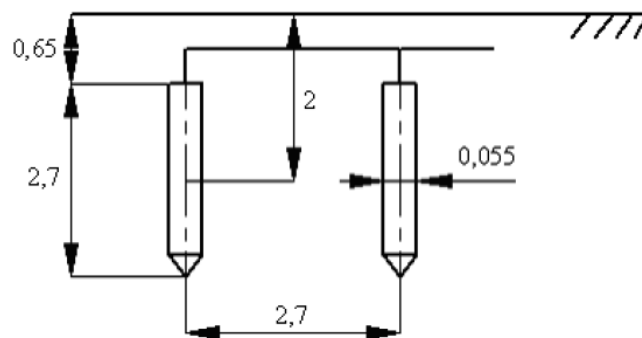


Рисунок 9.2 – Схема расположения заземлителей

Разработанные мероприятия и расчеты обеспечивают безопасную эксплуатацию электроустановок в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ.

Освещение:

В аудитории 241, 8 корпуса ТПУ имеется естественное (боковое двухстороннее) и искусственное освещение. Рабочие столы размещены таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ЭВМ осуществляется системой общего равномерного освещения. В аудитории 243, 8 корпуса, в случаях работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк [6]. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [6].

В качестве источников света применяются светодиодные светильники или металлогалогенные лампы (используются в качестве местного освещения) [6].

Таблица 9.4. Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения помещений жилых зданий [6]

Помещение	Рабочая поверхность и плоскость плоскости нормирования КЕО и освещенности и высота плоскости и над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение		
		КЕО e_n , %		КЕО e_n , %		Освещенность рабочих поверхностей, лк	Показатель дисконтности, не более	Коэффициент пульсации K_p , %, не более
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении			
Кабинеты	Г-0,0	3,0	1,0	1,8	0,6	300	-	≤5%(работа с ЭВМ) ≤20%(при работе с документацией)

Согласно [17] освещение в аудитории 241 8 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

Шум

При работе с ЭВМ в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ характер шума – широкополосный с непрерывным спектром более 1 октавы.

Таблица 9.5 - Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест [8]

N пп.	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Согласно [17] уровень шума в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ не более 80 дБА и соответствует нормам.

Микроклимат

Для создания и автоматического поддержания в аудитории 241, 8 корпуса ТПУ независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Аудитория 241, 8 корпуса ТПУ является помещением I б категории. Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) [7]

Таблица 9.6. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Катег. работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относ. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб	21-23	20-24	40-60	0,1
Теплый	Iб	22-24	21-25	40-60	0,1

Таблица 9.7. Допустимые величины интенсивности теплового облучения

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

В аудитории проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ЭВМ.

Согласно [17] микроклимат аудитории 241, 8 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

9.2.3 Промышленная безопасность при работе на электродвигателе

Если работа на электродвигателе или приводимом им в движение механизме связана с прикосновением к токоведущим и вращающимся частям, электродвигатель должен быть отключен с выполнением предусмотренных настоящими правилами технических мероприятий, предотвращающих его ошибочное включение. При этом у двухскоростного электродвигателя должны быть отключены и разобраны обе цепи питания обмоток статора.

Работа, не связанная с прикосновением к токоведущим или вращающимся частям электродвигателя и приводимого им в движение механизма, может производиться на работающем электродвигателе.

Не допускается снимать ограждения вращающихся частей, работающих электродвигателя и механизма.

При работе на электродвигателе допускается установка заземления на любом участке кабельной линии, соединяющей электродвигатель с секцией РУ, щитом, сборкой.

Если работы на электродвигателе рассчитаны на длительный срок, не выполняются или прерваны на несколько дней, то отсоединенная от него кабельная линия должна быть заземлена также со стороны электродвигателя.

В тех случаях, когда сечение жил кабеля не позволяет применять переносные заземления, у электродвигателей напряжением до 1000В допускается заземлять кабельную линию медным проводником сечением не менее сечения жилы кабеля либо соединять между собой жилы кабеля и изолировать их. Такое заземление или соединение жил кабеля должно учитываться в оперативной документации наравне с переносным заземлением.

Защита человека от воздействия высоких температур выполняется путем тепловой изоляции нагретых частей оборудования. Температура на

наружной поверхности изоляции регламентируется согласно [22] «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».

Перед допуском к работам на электродвигателях, способных к вращению за счет соединенных с ними механизмов (дымососы, вентиляторы, насосы и др.), штурвалы запорной арматуры (задвижек, вентилей, шиберов и т.п.) должны быть заперты на замок. Кроме того, приняты меры по затормаживанию роторов электродвигателей или расцеплению соединительных муфт.

Необходимые операции с запорной арматурой должны быть согласованы с начальником смены технологического объекта, участка с записью в оперативном журнале.

Обслуживание щеточного аппарата на работающем электродвигателе допускается по распоряжению обученному для этой цели работнику, имеющему группу III, при соблюдении следующих мер предосторожности:

- работать с использованием средств защиты лица и глаз, в застегнутой спецодежде, остерегаясь захвата ее вращающимися частями электродвигателя;
- пользоваться диэлектрическими галошами, коврами;
- не касаться руками одновременно токоведущих частей двух полюсов или токоведущих и заземляющих частей.

Кольца ротора допускается шлифовать на вращающемся электродвигателе лишь с помощью колодок из изоляционного материала.

Под электробезопасностью понимается система организационных и технических мероприятий по защите человека от действий электрического тока, электрической дуги, статического электричества, электромагнитного поля.

При работе на электродвигателе источником электрической опасности является все оборудование, установленное как на самом двигателе, так и в специализированных помещениях по управлению им.

Поражения электрическим током при прикосновении к неизолированным токоведущим частям можно избежать соблюдением правил

ТБ обслуживающим персоналом, а также обеспечением освещения оборудования в темное время суток.

Во избежание поражения электрическим током персонала при прикосновении к оборудованию с нарушенной изоляцией необходимо применять защитное заземление оборудования и сооружать контура заземления, соответствующие нормам ПУЭ.

В качестве профилактических мероприятий применяется соблюдение персоналом норм и правил пожарной безопасности. Все рабочие должны проходить специальную противопожарную подготовку. Приобретение навыков в использовании имеющихся средств пожарной защиты, умения безопасно и правильно действовать при возникновении пожара и оказывать первую помощь пострадавшим.

В качестве первичных средств пожаротушения применяются ящики с песком и лопатами, топоры, углекислотные или порошковые огнетушители, пожарные рукава. Устанавливаются пожарные щиты или посты.

9.3. Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

9.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Конструкция оборудования должна соответствовать требованиям ГОСТ 12.2003-91, «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. Федерального закона от 10.07.2012 N117-ФЗ)», а также Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности»,

утвержденным Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12.03.2013 № 1012.

Необходимая информация по нанесению поясняющих надписей и знаков безопасности на оборудовании должна быть выполнена в соответствии с ГОСТ Р 12.4-026-2001.

9.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Процесс исследования представляет из себя работу с информацией, такой как технологическая литература, статьи, ГОСТы и нормативно-техническая документация, а также разработка математической модели с помощью различных программных комплексов. Таким образом процесс исследования не имеет влияния негативных факторов на окружающую среду.

9.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

9.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 ЧС - это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

Наиболее характерными для объектов газодобычи являются ЧС техногенного и экологического характера. Возможными ЧС техногенного характера являются пожары и взрывы на используемом газовом оборудовании. Экологического характера – загрязнение атмосферы, происходящие при сжигании попутного газа факельным методом.

Наиболее типичной чрезвычайной ситуацией, которая может произойти на объекте газодобычи является пожар, возникающий вследствие неисправности газового оборудования является пожар. Категория помещений по пожаровзрывоопасности по СП 12.13130.2009.

В качестве превентивных мер по предупреждению пожаров и взрывов на объекте будут использованы следующие меры: проведение противопожарных инструктажей со всеми работниками, с периодичностью не менее одного раза в полугодие; обучение персонала правилам противопожарной безопасности; внедрение инструктивных материалов наглядной агитации, регламентов и норм ведения технологического процесса; периодическая организация противоаварийных работ и установление порядка ведения работ в аварийных условиях [16].

Для повышения устойчивости к возникновению пожара: периодический осмотр состояния оборудования газового оборудования, при необходимости вывод его в ремонт; содержание в исправном состоянии токоведущих проводников, обеспечение беспрепятственного подхода, подъезда и отхода от оборудования; благоустройство территории, скашивание травы.

В помещениях для оповещения рабочего персонала о наличии ЧС предусмотрено звуковое оповещение, происходящее при срабатывании датчиков на задымление в помещениях. На дверях помещений устанавливаются планы по эвакуации людей из здания и памятка в случае пожара.

В случае возникновения пожара в зданиях необходимо срочно покинуть их, используя основной и запасные пожарные выходы. Необходимо позвонить в пожарную охрану, сообщить свои Ф.И.О., адрес и о месте пожара, оповестить руководство. В случае если пожар находится в начальной стадии, можно попытаться потушить его, используя первичные средства пожаротушения (огнетушители, пожарные рукава, песок, воду и др.). При тушении электроприборов, изначально необходимо их обесточить. Для их

тушения предпочтительно использовать огнетушители углекислотного или порошкового типа. [17]. Кроме устранения самого очага пожара нужно, своевременно, организовать эвакуацию людей.

9.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в помещении 241, 8 корпуса ТПУ. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара:

- 1) Неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования;
- 2) Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов;
- 3) Перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);

- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;
- обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода.

Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Аудитория 241, 8 корпуса ТПУ оснащена первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-3 1шт., ОП-3, 1шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е.).

Таблица 9.8 – Типы используемых огнетушителей при пожаре в электроустановках

Напряжение, кВ	Тип огнетушителя (марка)
До 1,0	порошковый (серии ОП)
До 10,0	углекислотный (серии ОУ)

Согласно НПБ 105-03 помещение, предназначенное для проектирования и использования результатов проекта, относится к типу П-2а.

Таблица 9.9. Категории помещений по пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
---------------------	---

П-2а	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр.
------	---

В корпусе 8 ТПУ имеется пожарная автоматика, сигнализация. В случае возникновения загорания необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения (на начальной стадии) и обеспечить срочную эвакуацию студентов и сотрудников в соответствии с планом эвакуации.



Рисунок 9.3 - План эвакуации людей на случай пожара.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе был рассмотрен и рассчитан частотно–регулируемый электропривод компрессора насосной станции установки подготовки топливного газа. На основе действующего оборудования, выбран электродвигатель, предназначенный для частотного регулирования, и преобразователь частоты, обеспечивающий требуемый набор функций управления. В качестве способа управления выбрано скалярное управление. В ходе работы рассчитаны и построены электромеханические и механические характеристики электропривода и нагрузки, на основании которых была проведена проверка правильности выбора двигателя и преобразователя. Путем имитационного моделирования исследованы переходные процессы скорости и момента для режима пуска сброса и наброса нагрузки на валу двигателя. Данные, полученные при моделировании в среде MATLAB Simulink, практически совпали с расчетными значениями в среде MathCad. Спроектированный электропривод является отличной заменой оборудованию, используемому в настоящее время для подготовки топливного газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов. – Томск: Изд. ТПУ, 2011. – 476с.
2. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о винтовом компрессоре Режим доступа: <http://compressor02.ru/vintovye> <http://www.fiak.ru/articles.phtml?art=39>, дата обращения 20.02.2019.
3. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 8. – Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2010. – 448 с.
4. Преобразователи частоты для одно- и многодвигательных электроприводов мощностью от 2.2 кВт до 230 кВт. Каталог DA65.10.201 –[www.siemens.de/masterdrive vector control](http://www.siemens.de/masterdrive/vector/control)
5. Электротехнический справочник: В 4т. Т.4. Использование электрической энергии / под общей редакцией профессора МЭИ Герасимова В.Г. и др. (гл. ред. Попов А.И.). – 8-е изд., испр. и доп. – М.: издательство МЭИ, 2002. – 696 с.
6. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 120 с.
7. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 4. – тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 152 с.
8. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5. –Применение программы DORRA-FUZZY в расчётах электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 156 с.
9. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие. –Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 244 с.

10. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с.
11. Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского.- М.: Энергоатомиздат, 1983.-616 с. ил.
12. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра, специалиста и бакалавра всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ, Томск 2019.
13. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, 2015.
14. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий, 2003 .
15. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, 2003.
16. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях, 2003.
17. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение, 2011
18. СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений, 1996.
19. СН 2.2.4/2.1.8.562–96, Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки, 1996.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

```

Pn=200000; %Мощность двигателя
n0=3000; %частота вращения XX
kpd=0.948;
cosf=0.92;
sn=0.0091; %скольжение
mpusk=1.8;
f=50; % частота питающей линии
Wref = 2*pi*f;
zp=1;
mkrit=2.2;%перегрузка по моменту
mmin=0.8;
kidv=7.1; %перегрузка по току
Jdv=2.35; %момент инерции
nn=(1-sn)*n0; %частота вращения номинальная
w0=(pi*n0)/30; %скорость вращения XX
wn=(1-sn)*w0; %скорость вращения номинальная
Mdv=Pn/wn; %Номинальный момент двигателя
Uf=220; % Номинальное фазное напряжение
Mk=mkrit*Mdv; %Критический момент двигателя на естественной характеристике
Mpusk=mpusk*Mdv;% Пусковой момент двигателя при прямом пуске
I1fn=Pn/(3*Uf*cosf*kpd); %номинальный фазный и линейный ток
I1max=kidv*I1fn; %максимальный потребляемый ток
I1l=264.705;
I0=74.98;
B=1;
Sk=sn*((mkrit+sqrt(mkrit^2-(1-2*sn*B*(mkrit-1))))/(1-2*sn*B*(mkrit-1))); %критич
скольжение
C1=1+(I0/(2*kidv*I1fn));
A1=(3*(Uf^2)*(1-sn))/(2*C1*mkrit*Pn);
R2=A1/((B+1/Sk)*C1);% Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке
статора
R1=C1*R2*B;%Активное сопротивление статорной обмотки
y=sqrt((1/Sk^2)-B^2);
Xkn=y*C1*R2; %Сопротивление короткого замыкания
X2=(0.58*Xkn)/C1;%Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки,
приведенное к статорной
X1=0.42*Xkn;%Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки
Em=sqrt(((Uf*cosf-R1*I1fn)^2)+((Uf*sqrt(1-cosf^2)-X1*I1fn)^2));%ЭДС ветви
намагничивания
Xm=Em/I0;%Индуктивное сопротивление намагничивания
Ld1=X1/(2*pi*f);%Индуктивность рассеяния статорной обмотки
Ld2=X2/(2*pi*f);%Индуктивность рассеяния роторной обмотки
Lm=Xm/(2*pi*f);%Индуктивность ветви намагничивания
L1=Ld1+Lm; %Полная индуктивность цепи статора
L2=Ld2+Lm; %Полная индуктивность цепи ротора
Kr=Lm/L2;
Le=L1-(Lm^2)/L2;
Re=R1+R2*Kr^2;
Ar=R2/L2;
Km=(3/2)*Kr*zp;
friction=0.005752;
Ts_HW=0.0002;
Mc0 = 15.387;

```

Приложение Б

Раздел 6

Variable frequency drive compressor

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM72	Васильев Владислав Владимирович		

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

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

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы Отделение иностранных языков школы базовой инженерной подготовки:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Токмашев Денис Михайлович	к.ф.н.		

Introduction

Associated petroleum gas (APG) is a mixture of various gaseous hydrocarbons dissolved in oil that are released during the process of extraction and distillation [1]. The technology of utilization of APG, today, is a very urgent task, contributing to solving the problem of utilization of APG.

One of the ways to utilize associated petroleum gas (APG) is to use it as a fuel for autonomous gas turbine and gas piston power plants, which provide cheap electricity and heat for facilities at remote fields.

Direct use of APG as a fuel gas for gas-fired power plants without proper preparation leads to a loss of power from the power plant and engine wear. To achieve the stated capacity it is necessary to fulfill a number of requirements. In addition to the traditional requirements for the purification of mechanical impurities and the provision of dew points (for water and hydrocarbons), the producers of gas-fired plants also impose a requirement on the component composition and methane number of the fuel gas.

One of the ways to improve the quality of fuel gas is to use a fuel gas treatment unit (FGTU), one of the main components of which is a compressor controlled by an electric drive.

An electric drive is an electromechanical system consisting of electric power converters, electromechanical and mechanical converters, control and information devices and devices for interfacing with external electrical, mechanical, control and information systems designed to propel the executive parts of the working machine and control this movement in order to implement technological process. The current stage of drive development is characterized by a massive transition from an unregulated to a regulated electric drive 1.

The purpose of the final qualifying work is the development of an adjustable electric drive of the compressor of the pumping station of the fuel gas preparation plant.

GENERAL INFORMATION ABOUT THE PRODUCT

The fuel gas treatment unit is intended to prepare associated petroleum gas in order to produce fuel gas with a minimum content of the C4 + component.

The FGTU installation provides:

- cleaning the entering gas;
- gas compression;
- gas cooling;
- separation of condensed dropping liquid;
- gas heating;
- measurement of compressed gas flow rate;
- measurement of the flow rate of the separated gas condensate.

The unit consists of two transport modules assembled on the site in a single unit and is a metal, insulated, heated container-type box, in which all fire-fighting, explosion-proof and other regulatory measures are provided. The box is divided by a gas-tight partition into the process and console compartments. The entrance to the offices is separate. For ventilation of a technological compartment ventilation windows are provided, for forced ventilation an exhaust fan. Fluorescent lighting. Condensate is discharged from storage tanks automatically. To the roof of the container placed antifreeze air coolers for oil and gas cooling systems.

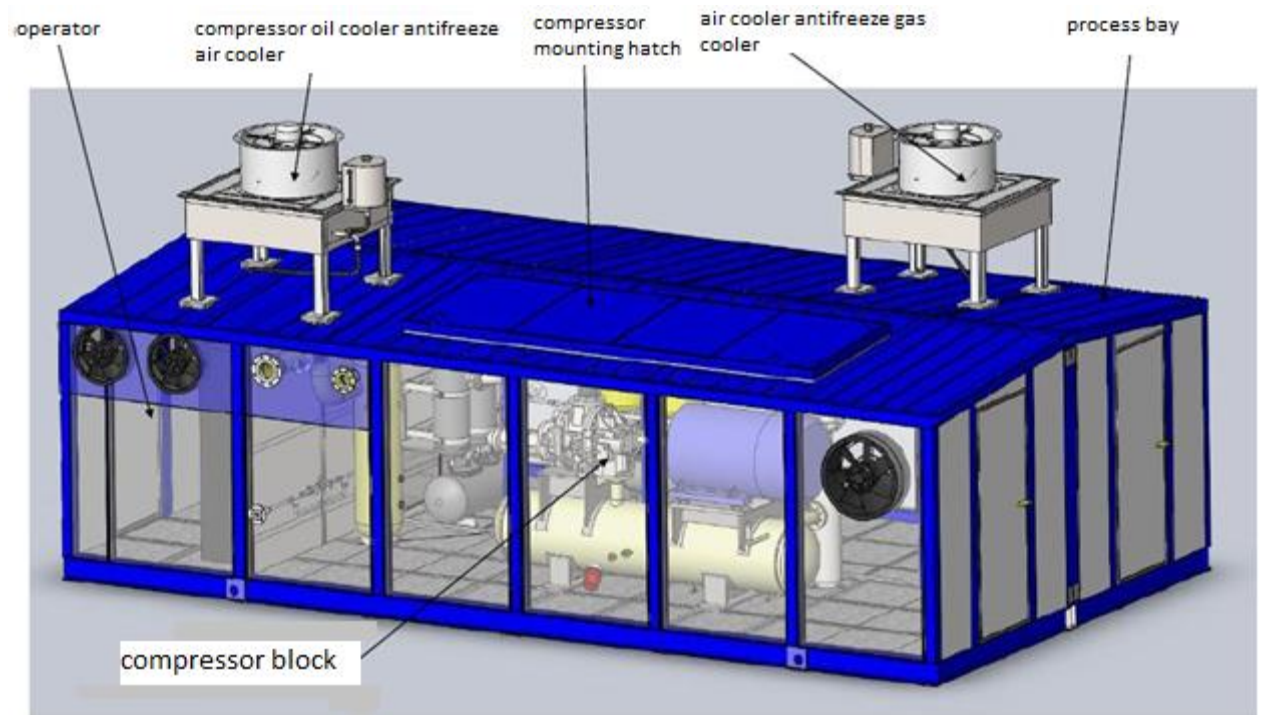


Figure 1 - The appearance and main elements of the installation of the FG TU

Technical description of the installation

The gas of the first separation stage at a pressure of 2.0 ... 5.0 kgf / cm² (g) and a temperature of + 20 ... + 400 ° C flows through the separator into the compressor unit. The compression of the associated gas is provided by an oil-filled screw compressor. The compressor provides compression of up to 2500 nm³ gas per hour to an outlet pressure of 10 ... 13 kgf / cm² (g) at an operating temperature of 95 ° C. After the gas has been compressed, the lubricating oil is cut off and returned through the oil cooler and the oil filter to the gas compressor for lubrication and cooling. Oil cooling system with intermediate coolant (glycol water solution). The pump, pumping antifreeze in the circuit of oil cooling maintains the required temperature at the outlet of the compressor, ensuring the absence of condensation. The cooling radiator of the oil circuit antifreeze is equipped with a fan that provides the required temperature of antifreeze. The separation of oil from gas occurs in three stages: in the oil separator, cyclone and fine gas filters. Gas, purified from oil, through a check valve and a minimum pressure valve enters the heat exchanger gas-antifreeze for pre-cooling. After pre-cooling, the gas enters the refrigerant gas dryer. In the dryer applied refrigerant R134A. The cooled gas separated from the formed condensate enters the

filter module consisting of the main and backup filter. The purified gas through the flow meter enters the main gas line.

The device of the compressor block

The compressor block includes the following equipment:

- screw module KR-800
- oil separator GS 0,82-2,0
- block of electric heaters explosion-proof BEV-2
- swivel check valve GRANLOCK CV16 / 01/150/16 Dn 150
- semi-rigid coupling ROTAX 75
- combined block VD4M60
- cyclone separator type TS-300
- safety valve Goetze
- filter unit F-200
- oil pump gear 2 gr. C17 X2T1B
- high pressure hose with nuts of type BSP: RVD 1 "L = 1785-0-90

The design of the screw compressor module KR-800 is shown in Figure 2.



Figure 2 - The design of the compressor screw module

Table 1 shows the main parameters of the compressor module.

Table 1. Compressor Module Parameters

Productivity, m ³ / hour	0...800
Inlet gas pressure, kgf / cm ²	2,0...5,0
Outlet gas pressure, kgf / cm ²	11,0...13,0
Inlet gas temperature, ° C	20,0...40,0
Outlet gas temperature, oC	+10...+35

The compressor and the electric motor are located on a common frame with an integrated oil tank to supply oil to the bearings, which reduces the size of the compressor unit when all additional systems are placed on it and provides free access to all components of the compressor unit.

CALCULATION AND CHOICE OF EQUIPMENT OF THE VARIABLE FREQUENCY DRIVE

Engine design parameters

Calculate the required power of the electric motor, based on the data given in table 1.

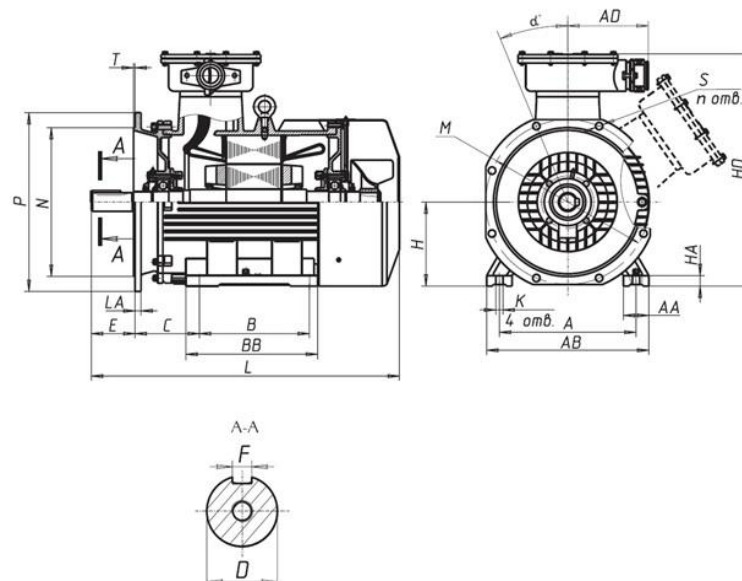
$$P_{\Theta\Delta} = k_3 \frac{Q \cdot A}{\eta_K \cdot \eta_{\pi}} \quad (2.1)$$

Q is the productivity, m³ / s; A - work of isothermal and adiabatic compression of 1 m³ of atmospheric air, J / m³ (350 J / m³ at a pressure of 13 kgf / cm²); η_K - indicator compressor efficiency, equal to 0.6-0.8; η_{π} - transmission efficiency equal to 0.8-0.9; η_3 - safety factor equal to 1.1-1.3

$$P_{\Theta\Delta} = 1.3 \frac{0.22 \cdot 350}{0.7 \cdot 0.8} = 188,8 \text{ kw}$$

From domestic manufacturers the required parameters correspond to an explosion-proof electric motor manufactured by JSC Orlan 2 AIMUR 280 L2

Overall and mounting dimensions of the engine 2AIMUR 280 L2 are shown in figure 3.



H	L	E	B	T	C	P	D	K	M
280	1090	140	457	6	190	660	75	24	600
N	S	F	a	A	LA	HD	HA	GA	GD
550	24	20	22.5	457	22	770	35	74.5	12

Figure 3 - Overall and connecting engine size

Table 2 shows the passport data of the electric motor.

Table 2. Passport data of the electric motor

The Type The size	$n_0, \frac{\text{об}}{\text{мин}}$	$U_{1H}, \text{В}$	$P_{\text{дв.н}}, \text{кВт}$	At rated load			$J_{\text{дв}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$
				$S_H, \%$	$\cos \varphi_H$	$\eta_H, \%$	
2AIMUR 280 L2	3000	380	200	0,91	0,92	94,8	2,35
$m_k = \frac{M_{\text{макс}}}{M_H}$		$m_{\Pi} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_H}$		$m_M = \frac{M_{\text{мин}}}{M_H}$		$K_{i\text{дв}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_H}$	
2.2		1.8		0,8		7,1	

Synchronous angular engine speed

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.14 \cdot 3000}{30} = 314,159 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Rated engine speed

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - s_{\text{н}}) \cdot n_0 = (1 - 0.0091) \cdot 3000 = 2972 \frac{\text{об}}{\text{мин}};$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{n_{\text{дв.н}}}{9.55} = \frac{2972}{9.55} = 311.3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Rated motor torque

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{200 \cdot 10^3}{311.3} = 642,46 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Rated phase voltage and rated stator phase current. To determine the nominal phase current, it is necessary to know the connection circuit of the stator windings. Compound windings unknown compound accept Y.

$$U_{1\phi\text{н}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}.$$

$$I_{1\phi\text{н}} = I_{1\text{лн}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\phi\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{200 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.91 \cdot 0.948} = 347,448 \text{ А}.$$

Note: $I_{1\text{лн}}$ – the current consumed by the motor from the network in the nominal mode of operation.

Maximum current consumption of the motor during direct start
 $I_{1\text{макс}} = I_{1\text{лн}} \cdot K_{i\text{дв}} = 347,448 \cdot 7,1 = 2466,8 \text{ А}.$

Engine torque at natural response

$$M_k = m_k \cdot M_{\text{дв.н}} = 2.2 \cdot 642,46 = 1413,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Engine starting torque at direct start

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 1,8 \cdot 642,46 = 1156,42 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Determination of the parameters of the equivalent circuit of the engine

The simplest and most convenient for engineering calculations of an induction motor is a T-shaped equivalent circuit, shown in Figure 4 [2].

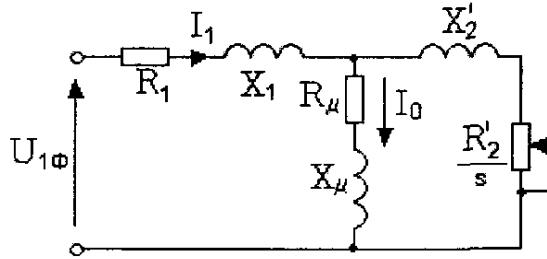


Figure 4. Asynchronous motor equivalent circuit

Partial stator phase current

$$I_{1p*} = \frac{p^* \cdot P_{\text{дв.н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{1\phi\text{н}} \cdot \cos \varphi_{p*} \cdot \eta_{p*}} = \frac{0,75 \cdot 200000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,907 \cdot 0,94} = 264,7 \text{ A},$$

$\cos \varphi_{p*} = 0.907$ – power factor at partial load [2];

$\eta_{p*} = 0.94$ – Efficiency at partial load [2];

$p^* = 0.75$ – engine load factor [2].

Asynchronous motor no-load current

$$I_0 = I_{1\text{н}} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{I_{1p*}}{I_{1\text{н}}}\right)^2 \cdot \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_{\text{н}})}{(1 - p^* \cdot s_{\text{н}})}\right]^2}{1 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_{\text{н}})}{(1 - p^* \cdot s_{\text{н}})}\right]^2}} = 70,982 \text{ A}$$

From the Kloss equation, we determine the ratio for calculating the critical slip.

$$s_{\text{к}} = s_{\text{н}} \cdot \frac{m_{\text{к}} + \sqrt{(m_{\text{к}})^2 - [1 - 2 \cdot s_{\text{н}} \cdot \beta \cdot (m_{\text{к}} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_{\text{н}} \cdot \beta \cdot (m_{\text{к}} - 1)} = 0.039,$$

where β is the coefficient characterizing the ratio of active resistances of the stator and the rotor, taken $\beta = 1$.

Active resistance of the rotor, reduced to the stator winding of the induction motor.

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot m_k \cdot P_{\text{дв.н}} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_K} \right)} = 0.00591 \text{ Ом},$$

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot K_{i\text{дв}} \cdot I_{1\text{дв}}} = 1.015 - \text{coefficient characterizing the ratio } \frac{X_\mu + X_{1\delta}}{X_\mu};$$

Active resistance of stator winding

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 0.006 \text{ Ом}.$$

Determine the parameter γ , which allows you to find the inductive short circuit resistance X_{KH}

$$\gamma = \sqrt{(1 / s_K^2) - \beta^2} = \sqrt{(1 / 0.039^2) - 1^2} = 25.7,$$

then, the inductive short circuit impedance

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 0.155 \text{ Ом}.$$

Inductive resistance of the stator winding

$$X_{1\delta} = 0.42 \cdot X_{KH} = 0.065 \text{ Ом}.$$

The inductance of the stator winding, due to the leakage flux, in nominal mode

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = 2.071 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}.$$

Led to stator winding inductive dissipation resistance of the rotor winding in nominal mode

$$X'_{2\delta} = 0.58 \cdot \frac{X_{KH}}{C_1} = 0.089 \text{ Ом.}$$

Reduced inductance of rotor winding due to leakage flux in nominal mode

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_{2\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = 2,817 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

The EMF of the magnetization branch E 1 induced by the air gap flow in the stator winding in nominal mode,

$$E_1 = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sin \varphi - X_{1\delta} \cdot I_{1H})^2} = 210,171 \text{ В,}$$

then the inductive magnetization resistance

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = 2,803 \text{ Ом.}$$

The resulting inductance due to the magnetic flux in the air gap

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = 0.00892 \text{ Гн.}$$

Check the adequacy of the calculated parameters of the engine

With the parameters found, the values of the nominal electromagnetic torque of the motor are calculated $M_{\text{эм.н}}$ and $M^*_{\text{эм.н}}$:

$$M_{\text{эм.н}}(s_H) = M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[(X_{KH})^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} = 660,9 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M^*_{\text{эм.н}} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_\mu}{(L_\mu + L'_{2\delta})} \cdot \Psi_{2H} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1H}^2 - I_0^2} = 660,048 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$\Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_\mu = 0.928 \text{ Вб.}$$

The following conditions must be met:

$$M^*_{\text{ЭМ.Н}} \approx M_{\text{ЭМ.Н}};$$

$$M^*_{\text{ЭМ.Н}} \leq (1.05 \div 1.1) \cdot M_{\text{ДВ.Н}} = (1.05 \div 1.1) \cdot 642,466 = (674,5 \div 706,713) \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

According to the results of the calculation, these conditions are fulfilled [1].

The parameters of the equivalent circuit of the electric motor are summarized in table 3.

Table 3 . Motor Circuit Parameters

R_1 , Ом	$X_{1\delta}$, Ом	$L_{1\delta}$, Гн	X_{μ} , Ом	L_{μ} , Гн	R_2' , Ом	$X_{2\delta}'$, Ом	$L_{2\delta}'$, Гн	$X_{\text{кн}}$, Ом
0,006	0,065	$2,07 \cdot 10^{-4}$	2,803	0,0089	0.0059	0,089	$2,81 \cdot 10^{-4}$	0.155

Selecting the type of converter and speed control method

When choosing a frequency converter for a three-phase asynchronous motor with a nominal voltage of 220 V phase windings and connecting the windings according to the Y scheme, you should follow the recommendations given below [3].

1. Power supply parameters: 3-phase network 380/220 V , 50 Hz.

2. Output parameters of the frequency converter:

- 3 phases;
- maximum output (linear) voltage 380 V ;
- maximum output frequency converter

$$f_{\text{П.макс}} > 50 \cdot \frac{\omega_{\text{ДВ.макс}}}{\omega_0 \cdot (1 - s_{\text{к}})} = 50 \cdot \frac{314.15}{314.15 \cdot (1 - 0.039)} = 52,02 \text{ Гц}$$

- minimum output frequency converter

$$f_{\text{П.мин}} < 50 \cdot \frac{\omega_{\text{ДВ.мин}}}{\omega_0} = 50 \cdot \frac{31.4}{314.15} = 5 \text{ Гц} .$$

3. Choose a converter for the nominal (long-term allowable) current and maximum (short-term allowable) current where - the coefficient of permissible inverter overload current, according to the following conditions:

- in one- zone electric drive

$$I_{и.н} \geq I_{1.лн} \cdot \frac{M_{сприв.макс}}{M_{дв.н}} \geq 347,44 \cdot \frac{642,46}{642,46} = 347,44 \text{ A} ;$$

$$I_{и.макс} \geq I_{1.лн} \cdot \frac{2 \cdot M_{сприв.макс}}{M_{дв.н}} \geq 347,44 \cdot \frac{2 \cdot 642,46}{642,46} = 694,88 \text{ A} .$$

Accept control method - scalar without speed sensor. According to the selected control method, select the converter.

The parameters of the selected frequency converter are summarized in Table 4 [4] .

Table 4. Passport data frequency converter company SIEMENS SIMOVERT MASTERDRIVES Vector Control 6 SE 70

Standard size	Standard size	Standard size	Standard size	Standard size	Standard size	Standard size	Standard size	Standard size
70.33	200	370	337	694	440	407	5,05	180

Inverter carrier frequency selection $f_{шим}$ carried out in accordance with the recommendations of the manufacturer for the selected type of converter, taking into account the actual load current [3].

Accept the inverter carrier frequency $f_{шим} = 10 \text{ кГц}$.

CONCLUSION

In work the frequency – controlled electric drive of the compressor of the pump station of the fuel gas treatment plant was considered and calculated. On the basis of the operating equipment, an electric motor used for frequency regulation and a frequency converter providing the required set of control functions are used. Scalar control is selected as the control method. In the course of the work, the electromechanical and mechanical characteristics of the electric drive and the load were calculated and constructed, on the basis of which the correctness of the choice of the motor and converter was checked. By means of simulation modeling, the transients

of speed and moment for the mode of starting the dump and loading the load on the motor shaft are investigated. The data obtained in the simulation in the MATLAB Simulink environment, almost coincided with the calculated values in the MathCad environment. Designed electric drive is an excellent substitute for equipment currently used for the preparation of fuel gas.

REFERENCES

1. Jingjing Zhang, Ming Ding, Xianjun Qi, Yi Guo “Research on Hidden Failure Reliability Modeling of variable frequency drive”, *Energy and Power Engineering*, 2013.
2. G. Phadke and J. S. Thorp, “Variable frequency drive for power systems”, In second edition, Research Studies Press Ltd and John Wiley & Sons, 2009
3. A.G. Phadke, “Hidden failures in electric power systems”, *International Journal of Critical Infrastructures*, January 2004.