

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

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и Электротехника
 Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование установки электроцентробежного насоса с частотным пускателем ПЧ-АД
УДК <u>622.276.53</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ06	Мао Маоин		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОЭЭ ИШЭ	Кладиев Сергей Николаевич	к.т.н., доцент.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	Д.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу на иностранном языке:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Федоринова Зоя Владимировна	к.п.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОЭЭ ИШЭ	Гарганеев Александр Георгиевич	докт. техн наук		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ

13.04.02 электроэнергетика и электротехника

Код результата	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий.
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла.
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели.
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном языке, для академического и профессионального взаимодействия.
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия.
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки.
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки.
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы.
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности.
ПК(У)-2	Способен применять методы создания и анализа математических моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов профессиональной деятельности.
ПК(У)-3	Способен разрабатывать, реализовывать и осуществлять контроль выполнения технических и организационных мероприятий, направленных на энергосбережение и повышение энергетической эффективности.
ПК(У)-4	Способен формулировать технические задания, анализировать различные варианты и искать компромиссные решения.
ПК(У)-5	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий.

Календарный план

№ п/п	Содержание выполняемой работы	Дата начала работ	Дата окончания работ	Должность исполнителя
1	Определение темы исследования	16.02.22	19.02.22	Руководитель
2	Исследование соответствующей литературы	20.02.22	29.02.22	Исполнитель
3	Составление технических заданий	01.03.22	06.03.22	Руководитель
4	Выбор насоса	07.03.22	12.03.22	Исполнитель
				Руководитель
5	Выбор электропривода	14.03.22	20.03.22	Исполнитель
				Руководитель
6	Выбор станций управления и другого оборудования	21.03.22	04.04.22	Исполнитель
7	Расчет характеристики электропривода	05.04.22	20.04.22	Исполнитель
8	Компьютерное моделирование	21.04.22	06.05.22	Исполнитель
9	Выполнение сводной работы и отчета	08.05.22	18.05.22	Исполнитель
10	Проверка полноты и правильности	20.05.22	26.05.22	Исполнитель
				Руководитель
11	сдача и защита проекта	01.06.22	02.06.22	Исполнитель

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

Школа: ИШЭ (Инженерная школа энергетики)
 Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Отделение: ОЭЭ (Электроэнергетики и электротехники)

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ «_____» С.Н. Кладиев
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>
--

Студенту:

Группа	ФИО
5AM06	Мао Маоин

Тема работы:

Исследование установки электроцентробежного насоса с частотным пускателем ПЧ-АД	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	10.12.2021 г. № 344-50/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	3.06.2022 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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Схема и параметры элементов электропривода УЭЦН: <ul style="list-style-type: none"> – Подача насоса: 125 м³/сут; – Напор: 1170 м; – Плотность нефти: 850 кг/ м³; – Параметры питающей сети: 3-х фазная сеть 380/220 В, 50 Гц; – Тип управления: разомкнутое скалярное частотное регулирование; – Диапазон регулирования: 5:1; 2. Система компьютерной математики Mathcad 15. 3. Пакет прикладных программ MATLAB R2014a.
---	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (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).	– 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
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	1. Электрическая схема силовой части ПЧ-АД. 2. Статические и динамические характеристики
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Былкова Татьяна Васильевна
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна
Раздел на иностранном языке	Федоринова Зоя Владимировна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
General information about ESP	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	11 марта 2022 года
--	--------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОЭЭ ИШЭ	Кладиев Сергей Николаевич	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM06	Мао Маоин		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM06	Мао Маоин

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и Электротехника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней рыночной стоимости. Оклады в соответствии с окладами сотрудников «НИ ТПУ».
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	50 % доплата и надбавка; 30 % районный коэффициент; 15% дополнительная плата; 16% накладные расходы.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления в социальные внебюджетные фонды – 30.2 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Провести предпроектный анализ
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Представить Устав научного проекта магистерской работы
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Разработать план управления НТИ
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Рассчитать сравнительную эффективность исследования использования УЭЦН под управлением софт-стартерного устройства.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *График проведения и бюджет НТИ*
4. *Оценка абсолютной и ресурсной, финансовой эффективности НТИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	07.02.2022 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	канд.экон. наук		07.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM06	Мао Маоин		07.02.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО		
5АМ06	Мао Маоин		
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и Электротехника

Тема ВКР:

<i>Исследование установки электроцентробежного насоса с частотным пускателем ПЧ-АД</i>	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации 	<p>Объект исследования: электроцентробежный насос с частотным пускателем ПЧ-АД. Область применения: нефтегазодобывающая отрасль. Рабочая зона: производственное помещение (10x15)м. Количество и наименование оборудования рабочей зоны. Несколько электрических погружных насосных агрегатов и соответствующие станции управления с функцией ПЧ-АД. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне. Исследование УЭЦН с инверторным пуском полевых исследований и компьютерного моделирования.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя – ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места – Трудовой кодекс РФ Работа по обеспечению безопасности может быть организована в соответствии с указанными выше соответствующими кодексами.
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 будут возникать вредные производственные факторы при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Суровые условия на открытых рабочих площадках; – Повышенный уровень шума; – Ухудшение качества воздуха из-за выбросов выхлопных газов; – Возможность воздействия токсичных химических веществ; – Повышенный уровень вибрации. <p>будут возникать опасные производственные факторы при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Авария с поражением электрическим током, вызванная утечкой оборудования.

	Принимать соответствующие меры к известным опасностям для обеспечения безопасности производства и оценить уровень риска с помощью соответствующих правил
3. Экологическая безопасность при эксплуатации : <ul style="list-style-type: none"> – Указание воздействия на атмосферу; – Указание воздействия на гидросферу; – Указание воздействия на литосферу; 	Воздействие на селитебную зону (оккупация земель) Воздействие на литосферу (структурное повреждение) Воздействие на гидросферу (сброс сточных вод) Воздействие на атмосферу (чрезмерный выхлопной газ от добычи нефти)
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации : <ul style="list-style-type: none"> – Перечислить возможные ЧС при эксплуатации; – выбор наиболее типичной ЧС; 	Возможные ЧС: <ul style="list-style-type: none"> – Пожар; – поражение электрическим током; – Взрыв из-за повреждения оборудования; – Остановка производства из-за неисправности насосного агрегата. Наиболее типичная ЧС: <ul style="list-style-type: none"> – Пожар. Обозначение планов и восстановительных мероприятий по подготовке к аварийным ситуациям

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ06	Мао Маоин		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 127 с., 41 рис., 33 табл., 19 источников, 1 прил.

Ключевые слова: нефтяные скважины, электрические драйверы, электрические центробежные насосы, кабели дайвинга

Объектом исследования является разработка математической и имитационных моделей УЭЦН с описанием всех необходимых подсистем: ПЭД; погружной кабель; силовой преобразователь - ПЧ-АД.

Предмет исследования: исследование установки электроцентробежного насоса с частотным пускателем ПЧ-АД.

Цель работы: для выбора и расчета силового оборудования системы управляемого электропривода необходимо выбрать погружной электронасос, погружной электродвигатель, преобразователь системы регулируемого привода и кабели силовой части электропривода. Рассчитайте соответствующие параметры выбранного оборудования, спроектируйте измерительный канал, выберите оборудование управления и защиты и, наконец, используйте Mathcad для расчета статических характеристик системы и исправления нестабильной части.

Была создана имитационная модель Simulink, которая может имитировать динамические характеристики ПЭД, что привело к предложению о целесообразности этого исследования.

Область применения: электрический привод, нефтяная промышленность.

Экономическая эффективность: удалось существенно снизить себестоимость исследования.

В будущем планируется применять сформулированные в работе рекомендации в промышленности и расширить перечень рекомендаций путём проведения аналогичных дополнительных исследований

Обозначения и сокращения

ПЧ – преобразователь частоты;

АД – асинхронный двигатель;

ПЭД – Погружной электродвигатель;

УЭЦН – Установка электроцентробежного насоса;

ЭЦН – Электроцентробежный насос;

АД– Асинхронный двигатель;

СУ – Система управления;

НКТ – Насосно-компрессорные трубы;

Содержание

Введение	13
1 Общие сведения о УЭЦН с частотным пускателем ПЧ-АД.....	15
1.1 Процесс разработки УЭЦН.....	15
1.2 Структура электротехнической установки погружного центробежного насоса.....	16
2 Способ пуска трехфазного асинхронного двигателя	20
2.1 Методы «мягкого» пуска софт-стартером.....	20
2.2 Прямой пуск при номинальном напряжении сети	21
2.3 Пуск при ступенчатом регулировании напряжения.....	22
2.4 Пуск с использованием преобразователя частоты	23
3 Расчет и выбор силового оборудования системы регулируемого электропривода.....	26
3.1 Выбор электроцентробежного насоса.....	27
3.2 Выбор погружного электродвигателя.....	30
3.3 Выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого электропривода	32
3.4 Расчет и выбор типа сечения кабеля для силовой части электропривода	34
3.5 Проектирование каналов измерения	38
3.6 Выбор аппаратуры управления и защиты	39
4 Статические характеристики погружного двигателя.....	40
4.1 Расчет параметров схемы замещения ПЭД.....	40
4.2 Расчет естественных характеристик ПЭД.....	46
4.3 Расчет искусственных характеристик разомкнутой системы ПЧ-АД.....	49
4.4 Расчет статической нагрузки УЭЦН и момента инерции двигателя	56
4.5 Коррекция вольт-частотной характеристики	58
5 Динамические характеристики УЭЦН	62
5.1 Создание имитационной модели	63
5.2 Переходный процесс при пуске погружного электронасоса без нагрузки	67
5.3 Переходный процесс при пуске электропогружного насоса под нагрузкой	69
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	72
6.1 Предпроектный анализ.....	72
6.2 Инициация проекта.....	76
6.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	77

6.4 Оценка абсолютной эффективности проекта.....	85
6.5 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	88
7 Социальная ответственность.....	92
7.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	92
7.2. Производственная безопасность.....	95
7.2. Экологическая безопасность.....	104
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	105
Заключение.....	109
Список используемых источников.....	110
Приложение I.....	112

Введение

Погружной электронасос представляет собой многоступенчатый центробежный насос, работающий под землей, он вместе с нефтепроводом заходит в скважину, так что двигатель приводит во вращение многоступенчатый центробежный насос, электрическая энергия преобразуется в механическую энергию и скважинная жидкость в нефтяной скважине поднимается на поверхность. В последние годы технология подъема электрических погружных насосов быстро развивалась в стране и за рубежом. При добыче нефти, особенно в период высокой обводненности, большая часть сырой нефти добывается электрическими погружными насосами. Электрические погружные насосы играют важную роль в технологии подъема несамоизливающихся высокодебитных и высокообводненных скважин.

Добыча нефти с помощью электрических погружных насосов представляет собой метод искусственной добычи нефти, который постепенно развивался и совершенствовался, чтобы приспособиться к экономичной и эффективной эксплуатации подземной нефти. Он имеет характеристики большого рабочего объема и диапазона подъема, большой мощности, большой разницы производственных давлений, сильной адаптивности, простого наземного технологического процесса, длительного срока службы устройства, удобного управления и значительных экономических преимуществ. С тех пор, как в 1928 году был введен в эксплуатацию первый электрический погружной насос, после разработки в 1970-х годах, производство масла погружным электрическим насосом использовалось при проектировании, изготовлении и выборе скважинных скважинных установок, полном выборе агрегата, мониторинге рабочего состояния, диагностике и защите и многослойное производство. Вспомогательные процессы, такие как испытания и испытания, становятся все более и более совершенными, и они подходят для высоких температур и высокой вязкости в производстве. Большой прогресс также был достигнут в установках ЭЦН с высоким содержанием песка, высоким содержанием газа, H_2S и CO_2 и другими суровыми условиями. Он используется

не только для добычи нефти в нефтяных скважинах, но также для дренажа газовых скважин и добычи газа, а также для добычи воды и закачки воды.

1 Общие сведения о УЭЦН с частотным пускателем ПЧ-АД

1.1 Процесс разработки УЭЦН

Соединенные Штаты и Россия являются странами, которые производят и используют больше электрических погружных насосов в мире. Такие страны, как Канада, Франция и Норвегия, также производят и применяют электрические погружные насосы.

В 1911 году 18-летний Армаис Арутюнов организовал Русское электрическое динамо компании Arutunoff Co. в Екатеринославе, Россия, и изобрел первый электродвигатель, который мог работать в воде. Во время Первой мировой войны Арутюнов совместил свой мотор с дрелью. Он имел ограниченное применение для бурения горизонтальных отверстий между траншеями, чтобы можно было протолкнуть взрывчатку. В 1916 году он модернизировал центробежный насос, чтобы соединить его с двигателем для осушения шахт и кораблей.

В 1940 году Группа нефтяной промышленности Глубоководного электроэнергетического бюро Государственного конструкторского института нефтяного машиностроения СССР разработала первый в Советском Союзе электрический погружной насос, который нашел широкое применение на нефтяных промыслах. В 1926 году Соединенные Штаты произвели первый в мире электрический погружной насос, который не использовался в больших количествах до 1950-х годов. В настоящее время компании Reda Company, Centrilift Company, Standard Company ODI Company, Kobe Company и другие производят электрические погружные насосы с годовым объемом производства 6700 единиц. Соединенные Штаты являются страной с самым большим производством и применением электрических погружных насосов в мире. В 1953 году Министерство нефти Китая провело исследования и испытания электрических погружных насосов на месторождении Юмэнь. С 1980 по 1984 год моя страна импортировала из США более 1000 комплектов электрических погружных насосов и более 800 комплектов запасных частей. Он использовался

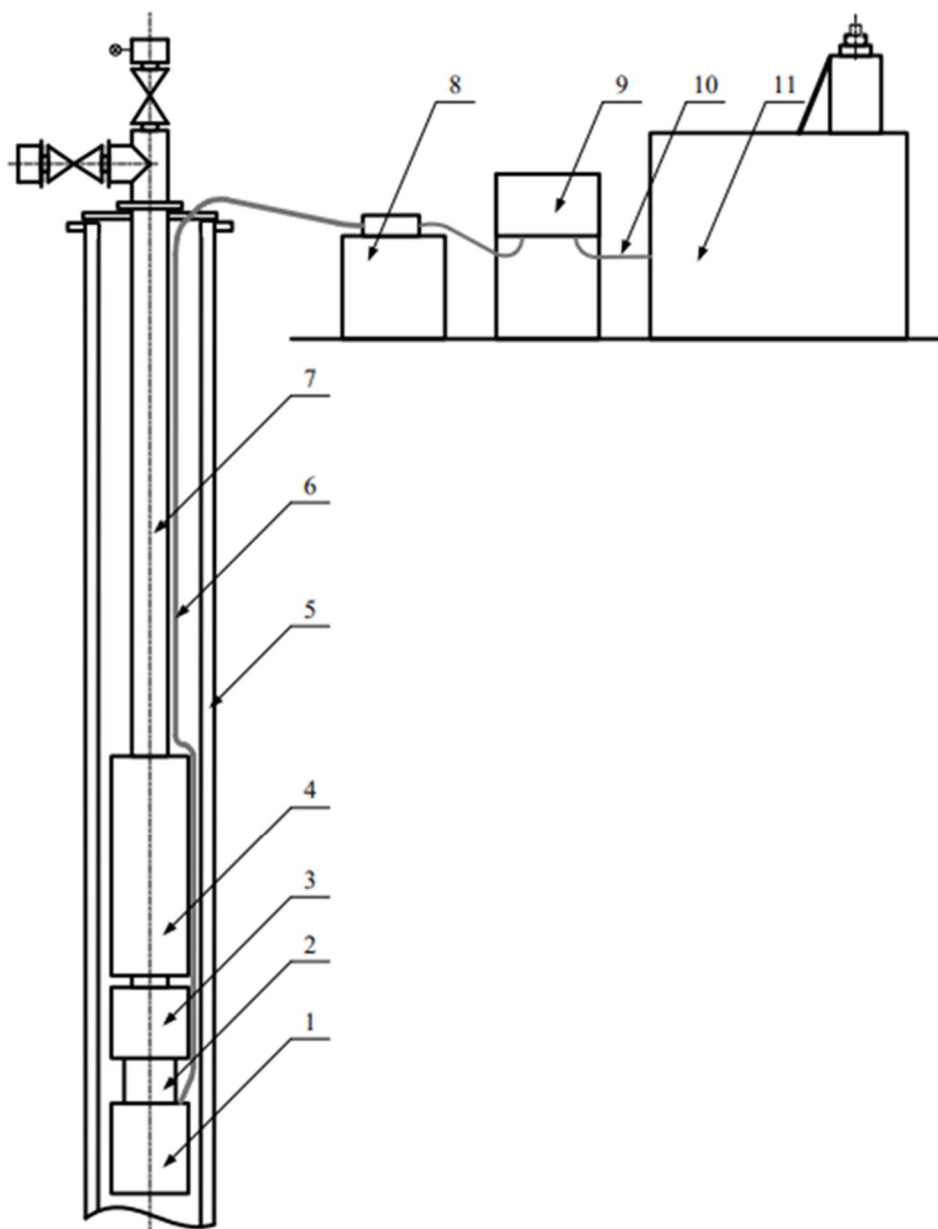
на различных нефтяных месторождениях в моей стране и дал хорошие результаты.

1.2 Структура электротехнической установки погружного центробежного насоса

На рис. 1.1 показаны агрегатный состав и расположение технологического комплекса электроцентробежных погружных насосов.

Остальная часть системы состоит из наземного блока управления и трехфазного силового кабеля, подключенного к двигателю в скважине. Из-за уникальных требований к применению ЭЦН в глубоких корпусах с относительно небольшими отверстиями, разработчики и производители оборудования должны максимально увеличить подъемную силу насоса и выходную мощность двигателя в зависимости от диаметра и длины оборудования. Поэтому устройство обычно длинное и тонкое. Эти компоненты различаются по длине, примерно до 30 футов, и в некоторых случаях насос, уплотнение или двигатель могут состоять из нескольких компонентов, соединенных последовательно.

Центробежные насосы состоят из нескольких ступеней, каждая из которых включает неподвижное направляющее колесо и вращающееся рабочее колесо (рис. 1.2). Тип рабочего колеса определяет рабочий объем насоса. Количество ступеней рабочего колеса определяет напор насоса и мощность, требуемую двигателем. Имеются два типа рабочих колес: неподвижные и плавающие. Плавающая крыльчатка может перемещаться в осевом направлении, а осевая сила, создаваемая каждой ступенью крыльчатки, поддерживается упорным подшипником на крыльчатке и направляющем колесе. Осевое усилие, создаваемое всем насосом, поддерживается упорным подшипником в протекторе. Неподвижное рабочее колесо закреплено на валу насоса и не может ни перемещаться в осевом направлении, ни опираться на упорную площадку направляющего колеса. Вся тяга, создаваемая рабочим колесом, и перепад давления воспринимаются упорным подшипником, установленным в протекторе.



- 1 – электродвигатель; 2 – гидрозащита; 3 – газосепаратор; 4 – насос;
 5 – обсадная труба скважины; 6 – высоковольтная кабельная линия;
 7 – насосно-компрессорная труба; 8 – трансформатор повышающий;
 9 – станция управления; 10 – силовая кабельная линия;
 11 – комплектная трансформаторная подстанция.

Рисунок 1.1 – Погружной электроцентробежный насос



1 – направляющий аппарат; 2 – рабочее колесо

Рисунок 1.2 – Ступень ЭЦН

Скважинные насосы имеют от 80 до 500 ступеней и более, и эта конструкция насоса сочетается с более низким напором на ступень. Ступени насоса работают в порядке ступеней, то есть давления всех ступеней в насосе складываются ступенчато, а подача насоса равна подачей первой ступени.

Рядом с маслопроводом находится кабель круглой формы, а рядом с насосным агрегатом – плоский кабель. Плоский кабель используется для небольшого увеличения диаметра двигателя и насоса, что хорошо для производительности и эффективности. Чтобы максимально использовать внутренний диаметр оболочки, зазор между оболочкой и компонентом может быть максимально уменьшен, а минимальный зазор может составлять 6 мм. Размер ДТН выбирается в соответствии с внутренним диаметром обсадной колонны и допустимым зазором.

Трансформатор типа ТМПН может повышать напряжение, получаемое от полевой сети, обычно до 380 В. Напряжение двигателя в основном превышает 400 В, а некоторые напряжения могут достигать 2000 В. И часто падение напряжения, возникающее в длинных кабелях, можно компенсировать с помощью трансформатора.

С помощью станции управления вы можете управлять устройством с помощью соответствующей программы управления, чтобы включать и выключать его вручную или автоматически, а также выключать его для аварийного режима. Кроме того, станция управления может отображать ток и напряжение с помощью соответствующего оборудования для мониторинга и управления, а также может изменять некоторые параметры. Современные станции управления дают возможность гибко настраивать и поддерживать требуемые режимы работы системы «резервуарный насос» и проводить диагностику работы УЭЦН.

2 Способ пуска трехфазного асинхронного двигателя

К способам пуска трехфазных асинхронных двигателей относятся следующие способы: пуск через устройство плавного пуска, пуск через преобразователь частоты и прямой пуск на полном напряжении.

2.1 Методы «мягкого» пуска софт-стартером

Устройство плавного пуска использует трехфазный параллельный тиристор в качестве регулятора напряжения. При такой схеме, как трехфазная полностью управляемая схема мостового выпрямителя, когда двигатель запускается с помощью устройства плавного пуска, выходное напряжение тиристора постепенно увеличивается, и двигатель постепенно разгоняется до полного включения тиристора. Двигатель работает на механических характеристиках номинального напряжения, осуществляет плавный пуск, снижает пусковой ток, предотвращает срабатывание при перегрузке по току при пуске и подключает его между источником питания и статор двигателя.

1. Мягкий пуск с рампой: Самый простой метод пуска не имеет регулирования тока с обратной связью и может только регулировать угол проводимости тиристора, чтобы увеличить его как функцию времени.

Недостатки: Из-за неограниченного тока в процессе пуска двигателя иногда возникает большой пусковой ток, который может повредить тиристор, что оказывает большее влияние на электросеть и менее практично.

2. Пошаговый запуск: запустите машину, то есть заставьте пусковой ток быстро достичь заданного значения в кратчайшие сроки, то есть пошаговый запуск. Регулируя заданное значение пускового тока, можно добиться эффекта быстрого пуска.

3. Мягкий пуск с линейным постоянным током: этот метод пуска заключается в том, что пусковой ток постепенно увеличивается на начальном этапе пуска двигателя, и когда ток достигает заданного значения, он остается постоянным до завершения пуска. Этот метод запуска является наиболее широко

используемым методом запуска, особенно подходящим для запуска вентиляторов и насосов.

4. Импульсный ударный пуск: в начале пуска позвольте тиристорному проводнику большой ток в течение определенного периода времени за очень короткое время, затем отступите, а затем линейно увеличьте в соответствии с исходным заданным значением и подключите его к пуску с постоянным током. Этот метод запуска редко используется при обычных нагрузках и подходит для случаев запуска с большими нагрузками и большим статическим трением, которое необходимо преодолеть.

5. Пуск с двойным наклоном напряжения: в процессе пуска выходной крутящий момент двигателя увеличивается вместе с напряжением, и во время пуска обеспечивается начальное пусковое напряжение U_s , больше, чем статический момент трения нагрузки. Когда выходное напряжение При достижении напряжения ускорения U_r , двигатель также в основном достигает номинальной скорости.

Устройство плавного пуска автоматически определяет напряжение ускорения во время процесса пуска, и когда двигатель достигает номинальной скорости, выходное напряжение достигает номинального напряжения.

6. Пуск с ограничением по току: Пуск с ограничением по току — это метод плавного пуска, который ограничивает пусковой ток двигателя, чтобы он не превышал определенного заданного значения в процессе пуска двигателя. Выходное напряжение быстро увеличивается от нуля до выходного напряжения. ток достигает заданного предела тока I_m , затем сохраните выходной ток I .

2.2 Прямой пуск при номинальном напряжении сети

Пуск при номинальном напряжении сети, также известный как прямой пуск, является наиболее часто используемым методом пуска. Он заключается в подключении обмотки статора двигателя непосредственно к источнику питания и пуске при номинальном напряжении. Он имеет характеристики большого пускового момента и короткое время пуска. Это также самый простой и

эффективный Экономичный и самый надежный способ пуска. При пуске при полном напряжении ток большой, но пусковой момент невелик. Простота в эксплуатации и быстрый запуск.

Этот метод пуска заключается в том, чтобы напрямую подать напряжение питания на обмотку статора двигателя через переключатель или контактор и запустить двигатель напрямую. Его преимущества заключаются в снижении капиталовложений в оборудование и затрат на техническое обслуживание, а также в простоте эксплуатации. сильно колеблется.

Как правило, двигатели мощностью менее 10 кВт можно запускать напрямую. Двигатели со специальными трансформаторами также можно запускать при полном напряжении. Двигатели, требующие времени запуска и пускового момента, следует запускать при полном напряжении, большой мощности, без нагрузки или пуск с малой нагрузкой, общедоступный трансформатор, чтобы обеспечить нормальную работу других нагрузок, а также защитить себя от повреждений, поэтому требуется ступенчатый пуск! Прямой пуск двигателя тоже очень вреден для самого себя. Во-первых, нагревается обмотка, преждевременно стареет изоляция, сокращается срок службы. Во-вторых: резкое усилие слишком велико, обмотка ослаблена или деформирована, и третий: другие механические повреждения самого себя.

2.3 Пуск при ступенчатом регулировании напряжения

Пуск с автоматической декомпрессией означает снижение пускового напряжения, подаваемого на двигатель через автотрансформатор.

Принцип пуска: при пуске двигателя используется многократный отвод автотрансформатора для снижения давления. После пуска двигателя двигатель отделяется от автотрансформатора, чтобы он мог нормально работать при полном напряжении. Существует два типа ручного управления и автоматического управления.

Особенности: Сторона высокого напряжения автотрансформатора подключена к сети, а сторона низкого напряжения подключена к двигателю. На

выбор имеется несколько отводов с различным соотношением напряжения. Он может не только удовлетворить потребности запуска различных нагрузок, но и получить большой пусковой крутящий момент. Это метод пуска с декомпрессией, который часто используется для запуска двигателей большой мощности.

Преимущества: Пусковой крутящий момент большой. При отводе обмотки на 80 % пусковой крутящий момент может достигать 64 % от прямого пуска. И можно выбрать различные ответвления автотрансформатора в соответствии с допустимым пусковым током и требуемым пусковым моментом для реализации понижающего пуска, независимо от того, использует ли статорная обмотка двигателя метод соединения Y или Δ , его можно использовать.

Недостатки: Оборудование громоздкое, а инвестиции более дорогие.

Область применения: подходит для трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором при любом подключении.

2.4 Пуск с использованием преобразователя частоты

Пусковое устройство с переменной частотой включает в себя часть цепи управления и часть основной цепи. Используя метод и устройство пуска с переменной частотой, ток нагрузки, переносимый системой инвертора управления, можно медленно и незначительно увеличивать до тех пор, пока он не достигнет номинального напряжения и номинальной частоты, когда нагрузка работает плавно, а увеличение тока нагрузки во время пуска ограничивается безопасным диапазоном. Устройство питания обеспечивает стабильную работу системы инвертора управления и снижает потери энергии во время запуска, что имеет хорошую экономическую ценность.

Преобразователь частоты представляет собой устройство управления двигателем (регулирование скорости), которое преобразует источник питания промышленной частоты в другую частоту с помощью функции включения-выключения силового полупроводникового устройства.

Состав 1: 1. Выпрямительный блок: преобразование переменного тока с фиксированной рабочей частотой в постоянный ток.

2. Конденсаторы большой емкости: используются для накопления преобразованной электрической энергии.

3. Инвертор: используется для преобразования постоянного тока в прямоугольные волны различной частоты, ширины и амплитуды.

4. Контроллер: он используется для управления амплитудой и шириной импульса прямоугольной волны на выходе, чтобы она накладывалась на переменный ток, аналогичный синусоидальной волне, для привода двигателя переменного тока.

Вторая композиция: 1. Основная цепь: а) выпрямитель: преобразует мощность промышленной частоты в мощность постоянного тока; б) сглаживающая схема: поглощает пульсации напряжения, создаваемые преобразователем и инвертором; в) инвертор: преобразует мощность постоянного тока в мощность переменного тока на желаемая частота.

2. Цепь управления: цепь, которая подает управляющие сигналы в главную цепь, питающую асинхронный двигатель. Она состоит из «рабочей цепи» частоты и напряжения, «цепи определения напряжения и тока» главной цепи и «цепь определения скорости» двигателя, состоящая из «цепи управления», которая усиливает управляющий сигнал схемы, и «схемы защиты» инвертора и двигателя.

3. Силовая цепь: основной исполнительный компонент инвертора через компоненты силовой части осуществляет управление током и частотой. В настоящее время широко используемые силовые устройства включают тиристор, IGBT и т. д.

Классификация: В соответствии с режимом работы главной цепи ее можно разделить на инверторы напряжения и инверторы тока; в соответствии с режимом переключения ее можно разделить на инверторы управления PAM, инверторы управления PWM и PWM с высокой несущей частотой. инверторы управления; В соответствии с классификацией принципа работы, можно

разделить на инвертор управления V/f , инвертор управления частотой скольжения и инвертор векторного управления; инвертор и трехфазный инвертор и т. д.

Принцип пуска: Преобразователь частоты контролируется в течение всего процесса, и скорость двигателя в любой период может контролироваться сигналом прибора. Он регулирует скорость двигателя и крутящий момент, изменяя частоту энергосистемы.

Особенности: Двигатель управляется преобразованием частоты (напряжение также изменяется с частотой, например, v/f постоянна), эффективность очень высока, и он может обеспечить настоящий плавный пуск, плавный останов и эффективное регулирование скорости.

3 Расчет и выбор силового оборудования системы регулируемого электропривода

Требуется математическое моделирование электрических погружных центробежных насосов для добычи нефти.

Канал преобразования энергии станции управления ЭЦН с ПЧ имеет следующие особенности и функции:

- возможность получать электрическую энергию в полном объеме от полевой подстанции (КТПН), передача электрической энергии обычно осуществляется по воздушным кабелям, а электрическая энергия может экспортироваться от подстанции в систему управления;

- возможно автоматическое или ручное управление работой ЭЦН;

- выпрямленное постоянное напряжение может быть преобразовано в трехфазное переменное напряжение через автономный инвертор с промежуточным звеном постоянного тока, причем параметры трехфазного переменного напряжения регулируются;

- с помощью силового выпрямителя можно преобразовать входной ток из переменного в постоянный с целью выпрямления;

- передача трехфазной мощности с регулируемой частотой и напряжением на повышающие промышленные трансформаторы;

- частота вращения ПЭД регулируется по пропорциональному или другому закону управления;

- показать или использовать программу управления, чтобы изменить соответствующие технические параметры;

- защита оборудования для дайвинга освобождена от нагрузки, перегрузки и других ошибок или режимов экстренной работы;

- возможно использование удаленного механического канала для передачи данных о добыче нефти на АСУ ТП «верхний уровень» для гибкого управления режимами работы УЭЦН [6,7].

3.1 Выбор электроцентробежного насоса

Техническим заданием ЭЦН должен обеспечивать:

1. Подача насоса – $Q = 125 \text{ м}^3/\text{сут}$;
2. Напор – $H = 1170 \text{ м}$;

Также требуется учитывать плотность нефтяного флюида – $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$.

По каталогу [8] выбираем ЭЦН модель ВНН5-125. В таблице 3.1 приведены каталожные данные для избранных электропогружных центробежных насосов с номинальной частотой питающего напряжения 50 Гц. Характеристики одной ступени отображения на изображении 3.1.

Таблица 3.1 – Каталожные данные ВНН5-125

Рабочий диапазон Q , $\text{м}^3/\text{сут}$	80-160
Напор $H_{\text{мех}}$, м	125
Напор на ступень, м	6,0
Скорость вращения $n_{\text{мех}}$, об/мин	2910
Миним. диаметр обсадной трубы, мм	121,7
Мощность на ступень, кВт	0,143
Наружный диаметр, мм	92

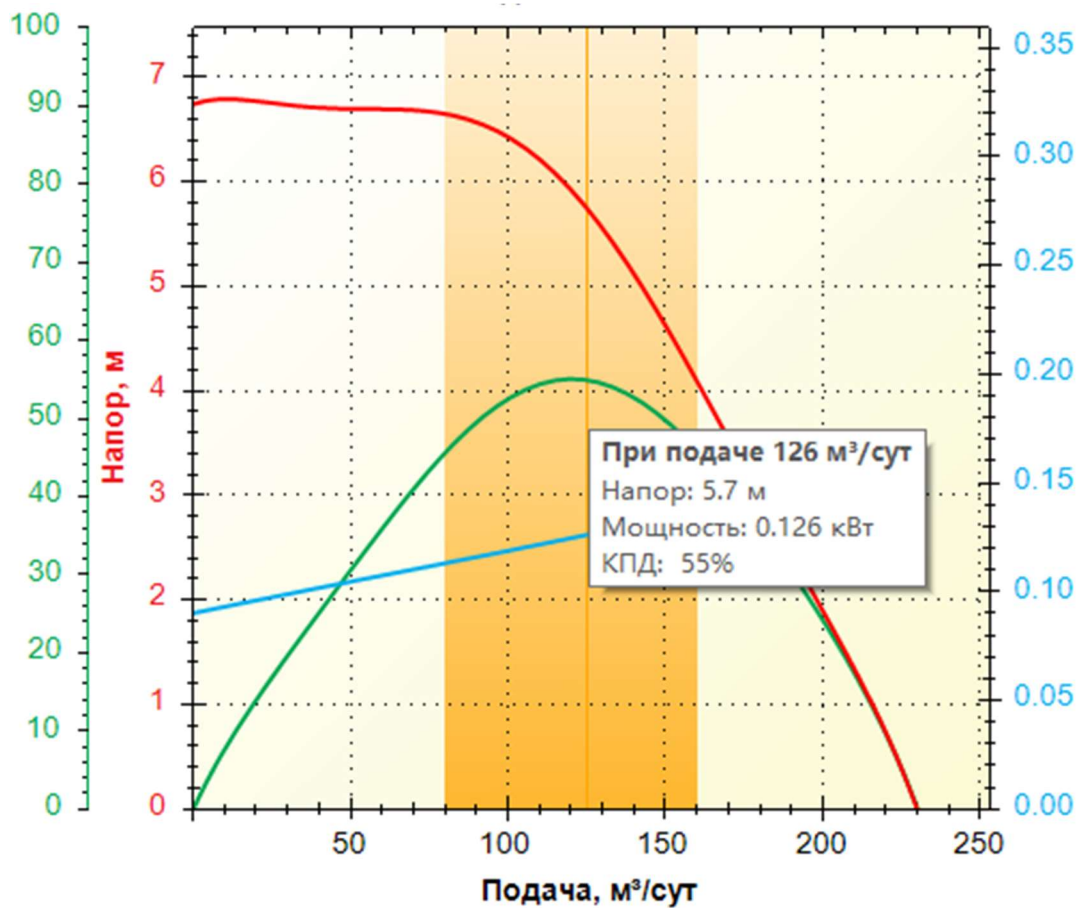


Рисунок 3.1 – Характеристики одной ступени Новомет ЭЦН ВNH5-125

Из рисунка 3.1 видно, что при подаче в $Q = 125 \text{ м}^3/\text{сут}$, КПД насоса $\eta_{\text{мех}} = 55\%$, напор одной ступени $H_{\text{ст}} = 5,75 \text{ м}$, мощность одной ступени $P_{\text{ст}} = 0,126 \text{ кВт}$. Определим число ступеней для обеспечения требуемого напора 1170 м:

$$N = \frac{H}{H_{\text{ст}}} = \frac{1170}{5,75} \cong 203,48 = 204. \quad (3.1)$$

С помощью программы электронного калькулятора мы можем получить характеристики многоступенчатой ступени Новомет ЭЦН ВNH5-125.

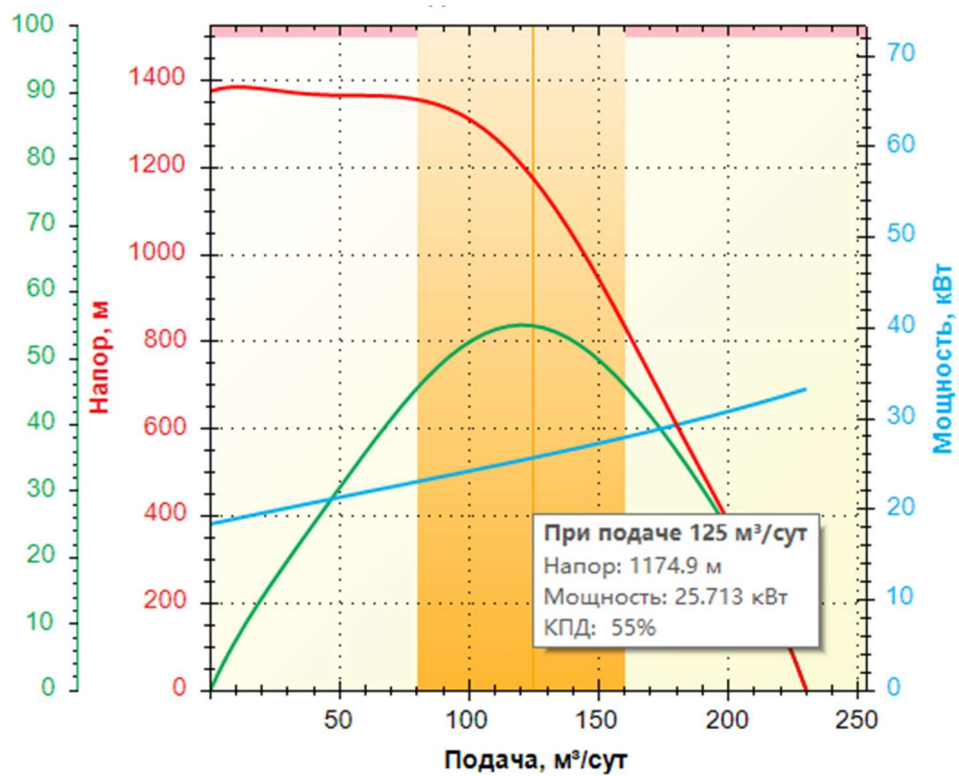


Рисунок 3.2 – Характеристики многоступенчатой ступени Новомет ЭЦН ВНН5-125

Найдем мощность, потребляемую насосом:

$$P_{\text{мех}} = \frac{P_{\text{ст}}N}{\eta_{\text{мех}}} = \frac{0,126 \cdot 204}{0,55} = 46,73 \text{ кВт.} \quad (3.2)$$

Напорные характеристики также может быть получена с помощью программного обеспечения, как показано на рисунке 3.3.

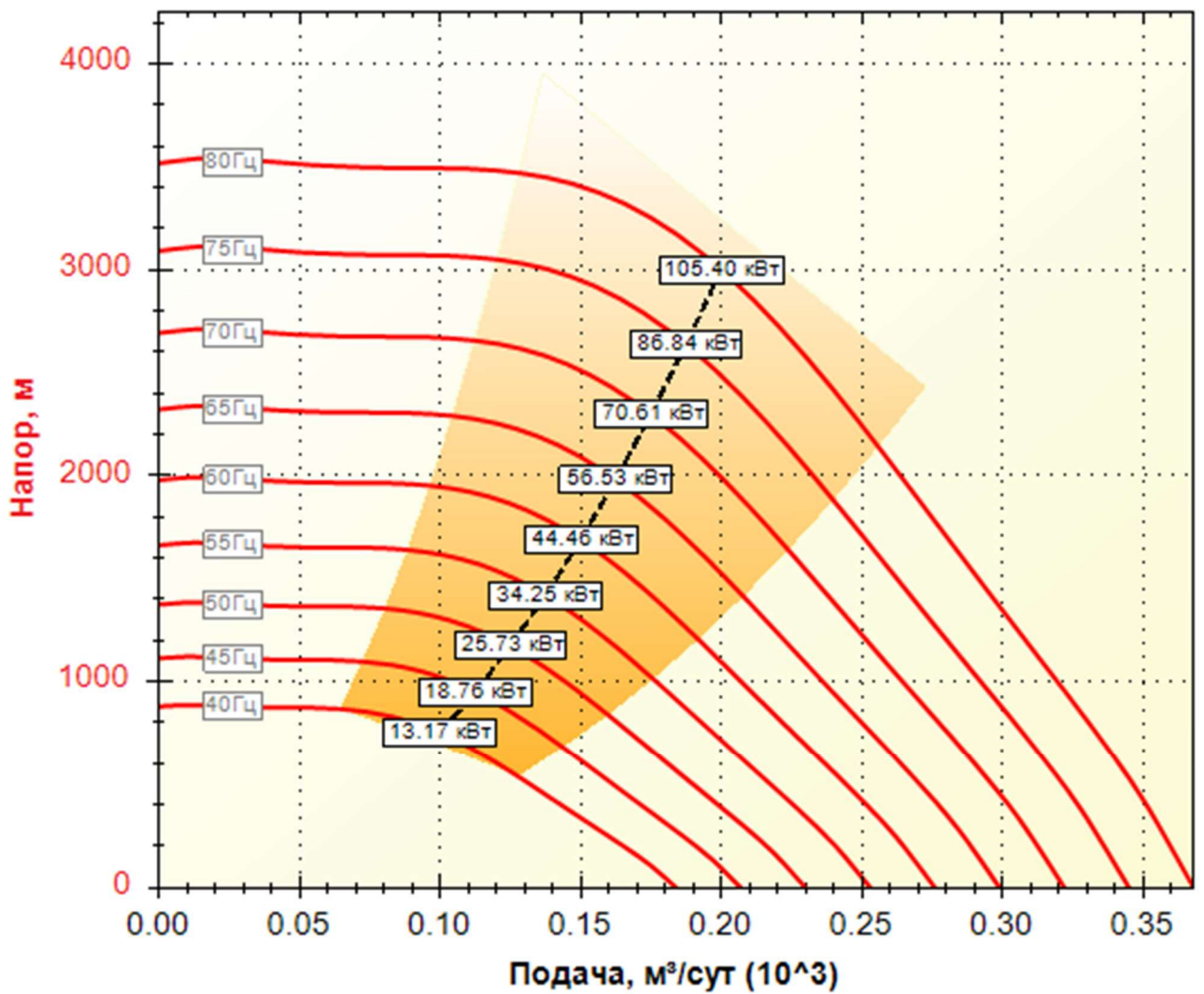


Рисунок 3.3 – Напорные характеристики насоса Новомет ЭЦН ВНН5-

125

3.2 Выбор погружного электродвигателя

Согласно каталогу [8], выбираем односекционный ПЭД типа ПЭДНС 50-96-1650/00. Каталожные данные выбранного ПЭД при номинальной частоте питающего напряжения 50 Гц приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Каталожные данные двигателя ПЭДНС 50-96-1650/00

ПЭДНС 50-96-1650/00		
секции	ПЭДН 22-96-750/00В	ПЭДН 28-96-900/00Н
Номинальное линейное напряжение U_1 , В	750	900
Номинальная мощность P_2 , кВт	22	28
КПД $\eta_{дв}$, %	79,5	
Номинальный фазный ток I_1 , А	28,7	
Коэффициент мощности $\cos \varphi$	0,8	
Номинальное скольжение s_n , %	4,5	
Габарит (длина), мм	10082	

Расчетная полная мощность двигателя:

$$S_2 = \sqrt{3}U_1I_1 = \sqrt{3} \cdot 1650 \cdot 57,4 \cong 164,043 \text{ кВА.} \quad (3.3)$$

Проверка величины номинальной мощности из расчетной полной мощности:

$$P_2 = S_2\eta_{дв} \cos \varphi = 164,043 \cdot 0,795 \cdot 0,8 \cong 104,332 \text{ кВт.} \quad (3.4)$$

Номинальная мощность, проверенная с помощью формулы (3.4), имеет абсолютную погрешность 0,332 кВт.

После вышеизложенной проверки можно сделать вывод, что в конструкции можно использовать погружной асинхронный двигатель ПЭДНС 50-96-1650/00 для обеспечения энергией насоса ЭЦН ВНН5-125, что соответствует условиям работы системы.

3.3 Выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого электропривода

Основная область применения СУ – управление и защита погружных ЭЦН добычи нефти, оснащенных ПЭД.

Основными параметрами для выбора СУ и ПЧ являются номинальные мощность, напряжение, ток, частота вращения управляемого двигателя [7].

Через станцию управления серии «Электрон-5» возможны следующие режимы работы электропривода:

- торможение ПЭД плавное;
- стабильное поддержание выходной частоты;
- плавный разгон ПЭД с заданной скоростью;
- поддерживать стабильность тока ПЭД;
- работа по заданной программе;
- поддерживать температуру, давление или любые другие заданные параметры на основе аналогового входного сигнала, используя встроенный ПИД-регулятор, автоматически регулируя выходную частоту в соответствии с изменением значения параметра.

Единая схема строит силовую часть последовательной последовательности SU. Силовая часть последовательной последовательности СУ также является двухфазным преобразователем энергии трехфазного тока сети, представляющим собой энергию трехфазного тока с регулируемой частотой и напряжением.

В технологической схеме преобразователя частоты используется управляемый тиристорный выпрямитель на инверторе IGBT-промежуточный LC-link-PWM. Конденсатор фильтра источника питания состоит из двух последовательно соединенных групп конденсаторов, благодаря которым может быть обеспечен достаточный запас по напряжению. Система управления формирует управляющие импульсы IGBT, и в то же время подает импульсные сигналы на плату драйвера, а управление затвором транзистора осуществляется путем формирования на плате драйвера двойного сигнала предельной мощности.

Компоненты гальванической развязки и схема отслеживания аварийных состояний транзисторов моста AIN также являются важной частью платы драйвера. Напряжение на выходе инвертора формируется путем изменения уровня напряжения на выходе управляемого выпрямителя методом ШИМ и методом амплитудно-импульсной модуляции (АИМ).

В варианте СУ тиристорные и IGBT модули монтируются на алюминиевом радиаторе, датчик температуры монтируется на алюминиевом радиаторе. Когда температура достигнет или даже превысит допустимый диапазон температуры радиатора, система управления получит сигналы от этих датчиков, а затем система управления выдаст сигнал тревоги, а через световые индикаторы будет выведено предупреждающее сообщение. панели управления [6, 9].

По каталогу производителя [10] выбираем СУ Электон-05А ПЧ-ТТПТ-250-380-50-УХЛ1. Каталожные данные СУ сведены в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Каталожные данные СУ Электон-05А ПЧ-ТТПТ-250-380-50-УХЛ1

Номинальное напряжение питания, В	Номинальный ток первичной силовой цепи, А, не более	Предельно допустимое отклонение напряжения от номинального значения, %
380 (50±1 Гц)	250	-15...+15
Полная выходная мощность, кВА	Диапазон изменения частоты, Гц	Температурный диапазон, °С
160	3,5...80±0,1% (±0,08 Гц)	-60...+40

Оснащен датчиками тока и напряжения для обеспечения функций контроля, защиты и управления СУ.

Важными частями СУ являются управляющий драйвер IGBT, контроллер, источник питания, блок управления потоком воздуха для нагрева и оборудование для измерения сопротивления изоляции.

Возможность обеспечения просмотра текущих параметров, формирование хронологии событий, управление режимами работы КС, просмотр и изменение настроек, хранение и передача на внешние устройства также являются особенностями контроллера «Электрон-10.1» [6, 10].

3.4 Расчет и выбор типа сечения кабеля для силовой части электропривода

Кабельные линии предназначены для подачи электроэнергии с поверхности земли (от комплектных устройств и станций управления) к ПЭД.

Такие факторы, как низкие электрические потери, малый диаметр и отличные диэлектрические свойства изоляции, также являются частью соображений, которые должны быть приняты во внимание.

Кабельная линия состоит из основного питающего кабеля (круглого или плоского) и соединенного с ним плоского кабеля удлинителя с муфтой кабельного ввода.

Соединение основного кабеля с кабелем-удлинителем обеспечивается неразъемной соединительной муфтой. С их помощью могут быть соединены также участки основного кабеля для получения требуемой длины.

Кабельная линия на основной длине чаще всего имеет сечение круглое или близкое к треугольному.

Уменьшение диаметра нижней части кабеля водолазной установки позволяет использовать прямоугольные секции[11].

Итак, нужно учитывать следующие данные кабеля:

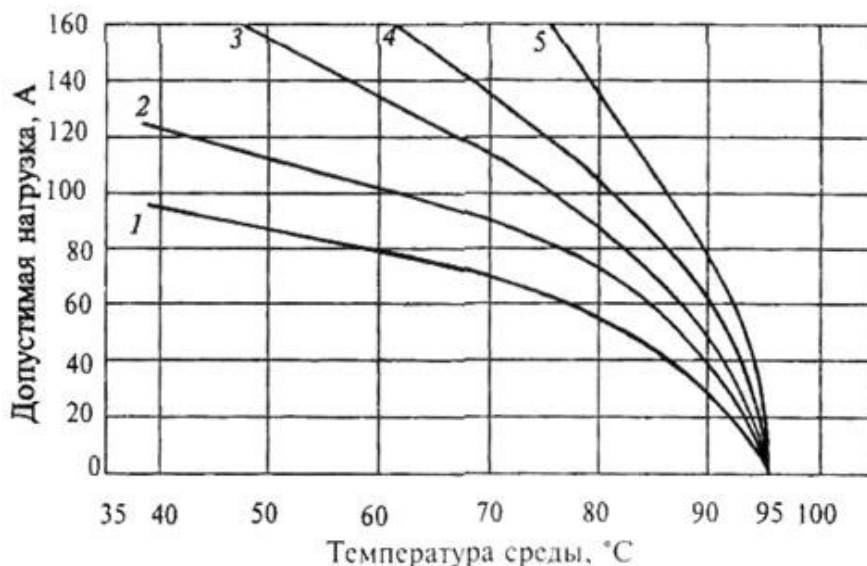
- 1) длина кабеля;
- 2) Тип кабеля;
- 3) Площади сечения кабеля.

Температура окружающего воздуха скважины и текущая нагрузка, параметры жидкости и пространственные ограничения кольцевого пространства между НКТ и обсадной колонной определяют выбор площади поперечного сечения сердечника и типа кабеля.

ПЭД Глубина спуска в скважину определяет длину используемого кабеля, также при выборе кабеля следует учитывать расстояние от устья скважины до трансформатора.

С учетом допустимой нагрузки по току и температурной среды скважины длину удлинителя следует выбирать так, чтобы место соединения удлинителя с магистральным кабелем находилось не менее чем на 2-3 м выше ловильного напора насоса.

Выбор удлиненных или термостойких вставок осуществляется с учетом комплексного учета температуры скважинного флюида НКТ и допустимой токовой нагрузки (рисунки 3.2-3.4). [11, 12].



1 – 10 мм²; 2 – 16 мм²; 3 – 25 мм²; 4 – 35 мм²; 5 – 50 мм²

Рисунок 3.2 – Зависимость допустимых токовых нагрузок кабеля КППП от температуры скважинной среды (смеси жидкости и газа)

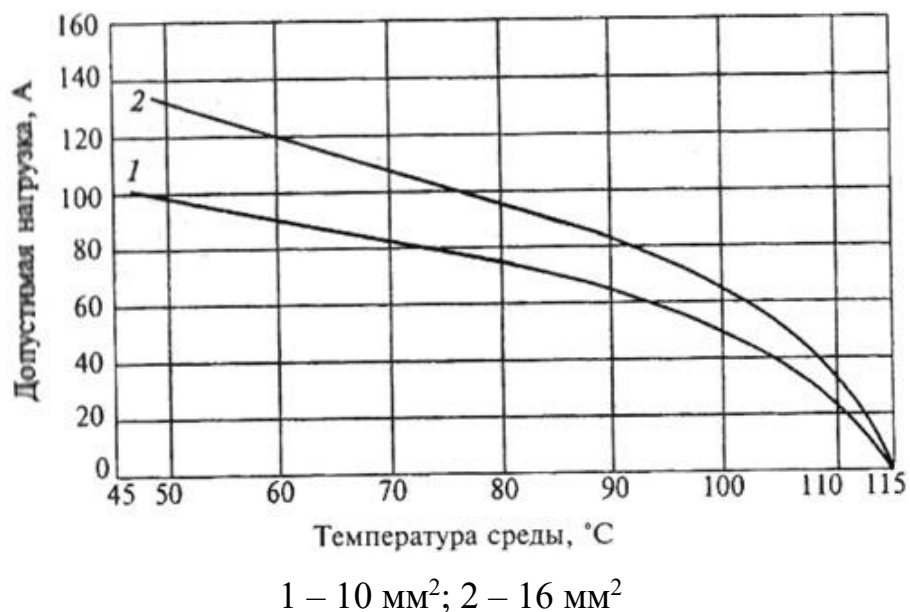


Рисунок 3.3 – Зависимость допустимых токовых нагрузок кабеля КППБПТ от температуры скважинной среды (смеси жидкости и газа)

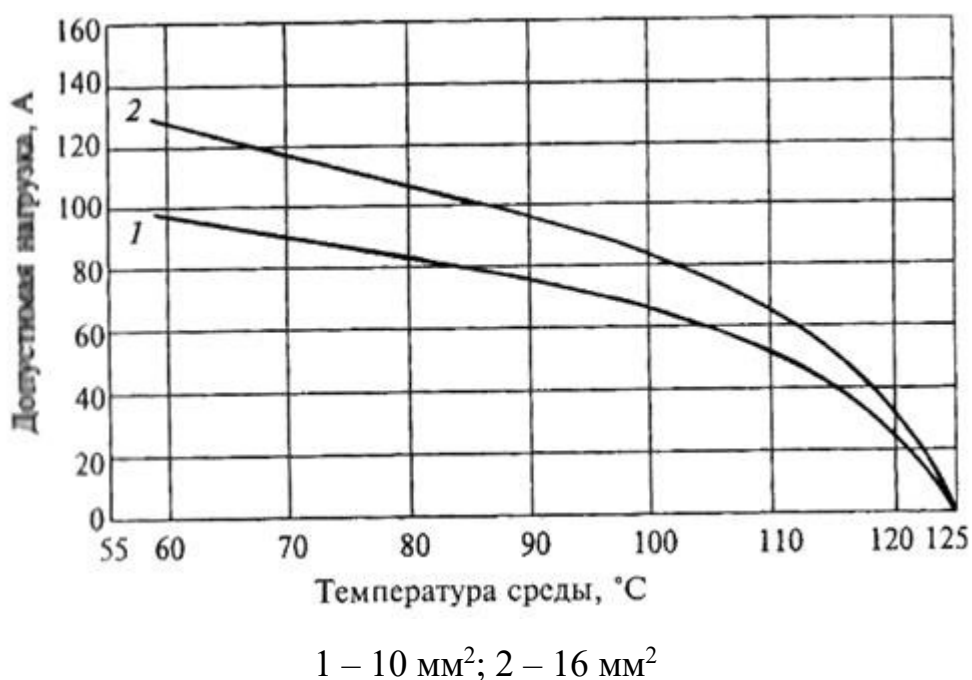


Рисунок 3.4 – Зависимость допустимых токовых нагрузок кабеля КППБПТ от температуры скважинной среды (смеси жидкости и газа)

Дальнейшие расчеты производятся по зависимости допустимой токовой нагрузки кабеля серии КППБПТ от температуры скважинной среды.

Сечение жилы кабеля:

$$S_K = \frac{I_H}{i} = \frac{57,4}{5} = 11,5 \text{ мм}^2. \quad (3.5)$$

Общая длина кабеля:

$$l_K = l_{\text{подв}} + 200 = 1170 + 200 = 1370 \text{ м}. \quad (3.6)$$

Потери мощности в кабеле:

$$\Delta P_K = 3I_H^2 R_K l_K, \quad (3.7)$$

где R_K – активное сопротивление кабельной линии:

$$R_K = \frac{\rho_{Cu20^\circ C}}{S_K} (1 + \alpha_T (T - 20)). \quad (3.8)$$

$$R_K = \frac{0,0175}{11,5} \cdot (1 + 0,004 \cdot (113 - 20)) = 2,09 \cdot 10^{-3} \text{ Ом/м};$$

$$\Delta P_K = 3I_H^2 R_K l_K = 3 \cdot 57,4^2 \cdot 2,09 \cdot 10^{-3} \cdot 1370 \cong 28,302 \text{ кВт}.$$

По каталогу [13] выбираем нефтепогружной кабель типа КППБПТЛ-125-УХЛ1 3x10. Каталожные данные кабеля приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Каталожные данные нефтепогружного кабеля КППБПТЛ-125-УХЛ1 3x10

Наружные размеры кабеля, мм	Номинальное напряжение частотой 50 Гц, кВ	Электрическое сопротивление жилы, Ом/км, не более	Электрическое сопротивление изоляции, МОм/км, не менее
12,8x31,3	3,3	1,84	4000
Радиус изгиба при монтаже, мм, не менее	Максимальная рабочая температура жилы, °С	Гидростатическое давление, МПа, не более	Температурный диапазон окружающей среды, °С
380	125	25	-60...+125

Расчетом установлено, что потребуется 1270 м нефтепогружного кабеля КППБПТЛ-125-УХЛ1 3x10.

3.5 Проектирование каналов измерения

Для обеспечения необходимых для измерения параметров (температура ПЭД, температура и давление пластовой жидкости) требуется выбрать систему ТМС. По каталогу [14] для «жестких» условий эксплуатации можно выбрать погружную телеметрическую систему ИРЗ ТМС, способную работать в условиях высокого уровня шумового давления, высокого электродвигателя, температуры пластового флюида до 150°C и глубина до 6000 метров Контролируйте и оптимизируйте работу ЭЦН. В систему входят:

- блок погружной БП-103МЗ;
- наземный блок ТМС-Э5.

Каталожные данные системы ТМС представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Каталожные данные системы погружной телеметрии ИРЗ ТМС

Напряжение питания, В	Время обновления телеметрической информации, с		Диапазон рабочих температур, °С	
			блока погружного	наземного блока
160...300	20 (опционально, раз в 5 с – давление на приеме, остальные параметры – раз в 30)		-60...+60	0...+150 (опционально до +180)
Диапазон измерения температур, °С			Диапазон измерения давления, кгс/см ²	Разрешение измерения давления, кгс/см ²
статорной обмотки ПЭД	масла ПЭД	пластовой жидкости		
0...+250	0...+250	0...+150	0...600	0,01
Погрешность измерения, %		Диапазон измерения виброускорений ПЭД, g		Интерфейсы для связи с КСУ
0,25		0...5		RS-232, RS-485

Погружной блок может устанавливаться непосредственно в днище ПЭД, а для некоторых типов погружных электродвигателей - отдельно через переходник и подшипниковый кронштейн. Наземный блок установлен в пункте управления. Телеметрическая информация с подводного аппарата передается по линии электропередачи ПЭД на наземный блок, где обрабатывается и далее передается на наземный пункт управления.

3.6 Выбор аппаратуры управления и защиты

При выборе преобразовательного устройства для системы регулируемого электропривода было отмечено, что СУ Электон-05А ПЧ-ТТПТ-250-380-50-УХЛ1 также выступает в качестве средства управления и защиты.

СУ Электон-05А ПЧ-ТТПТ-250-380-50-УХЛ1 имеет следующие виды защит:

- защита от перегрузки ПЭД;
- защита от КЗ;
- защита от недогрузки ПЭД;
- контроль коэффициента мощности;
- защита от перенапряжения во входной сети;
- защита от дисбаланса токов;
- контроль изоляции «трансформатор-погружной кабель-ПЭД» [6, 10].

4 Статические характеристики погружного двигателя

4.1 Расчет параметров схемы замещения ПЭД

Основные каталожные данные двигателя ПЭДНС 50-96-1650/00 были приведены в таблице 3.2. Для выполнения расчета параметров схемы необходимо дополнить каталожные данные до расчетных данных (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Расчетные данные двигателя ПЭДНС 50-96-1650/00

$P_{2н}$, кВт	$U_{1н}$, В	$f_{1н}$, Гц	n_n , об/мин	η_n	$\cos\varphi_n$	K_I	$K_{МП}$	$K_{МК}$	s_n	p
50	1650	50	2865	0,795	0,8	7	1	1,9	0,045	1

Метод расчета параметров моторной замены, включая дайвинг -двигатель, можно найти в [15, 16].

Т-образная схема замещения асинхронного двигателя является наиболее простым и оптимальным способом анализа (рисунок 4.1).

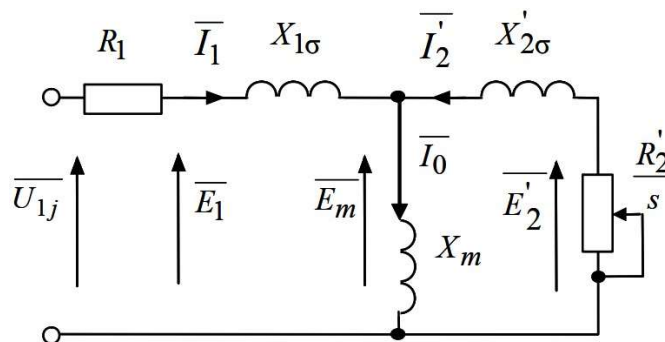


Рисунок 4.1 – Схема замещения асинхронного двигателя

Основное уравнение эквивалентной схемы асинхронного двигателя выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \overline{U}_{1\phi} - \overline{E}_m - jX_{1\sigma}\overline{I}_1 - R_1\overline{I}_1 = 0, \\ \overline{E}_m + jX'_{2\sigma}\overline{I}'_2 + R'_2\overline{I}'_2/s = 0, \\ \overline{I}_1 + \overline{I}'_2 - \overline{I}_0 = 0, \end{cases} \quad (4.1)$$

$$\text{где } \overline{U}_{1\phi} = \frac{U_{1н}}{\sqrt{3}} = \frac{1650}{\sqrt{3}} \cong 953 \text{ В} - \text{ фазное напряжение обмотки статора}; \quad (4.2)$$

R_1 – активное сопротивление обмотки статора;

$X_{1\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;

$I_1 = 27,509$ А – ток обмотки статора;

E_1 – ЭДС обмотки статора;

R'_2 – активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора;

$X'_{2\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенное к обмотке статора;

$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$ – скольжение;

$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{z_p}$ – синхронная угловая скорость вращения магнитного поля статора;

статора;

ω – угловая скорость вращения вала двигателя;

p – число пар полюсов;

f_1 – значение частоты напряжения переменного тока, подводимого к обмотке статора;

E_m – ЭДС от главного магнитного потока машины;

E'_2 – ЭДС обмотки ротора, приведенная к обмотке статора.

Векторная диаграмма этой системы уравнений показана на рисунке 4.2.

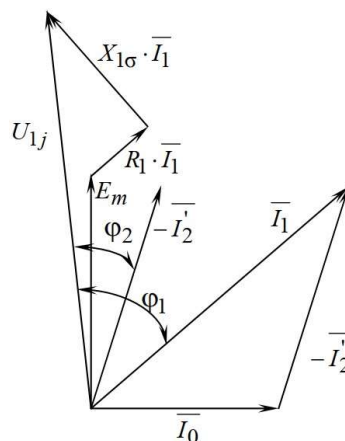


Рисунок 4.2 – Векторная диаграмма асинхронного двигателя

Определим дополнительные параметры АД по каталожным данным.

Номинальная угловая скорость вращения вала:

$$\omega_H = \frac{\pi n_H}{30} = \frac{\pi \cdot 2865}{30} \cong 300,022 \text{ рад/с.} \quad (4.3)$$

Синхронная частота вращения магнитного поля статора:

$$n_0 = \frac{60f_{1H}}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ об/мин.} \quad (4.4)$$

Синхронная угловая скорость вращения магнитного поля статора:

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 3000}{30} \cong 314,159 \text{ рад/с.} \quad (4.5)$$

Номинальный электромагнитный момент на валу:

$$M_H = \frac{P_{2H}}{\omega_H} = \frac{50 \cdot 10^3}{300,022} \cong 166,654 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (4.6)$$

Ток холостого хода АД:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left[\frac{p_* I_{1H} (1-s_H)}{(1-p_* s_H)} \right]^2}{1 - \left[\frac{p_* I_{1H} (1-s_H)}{(1-p_* s_H)} \right]^2}}, \quad (4.7)$$

где $s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{3000 - 2865}{3000} = 0,045$ – номинальное скольжение; (4.8)

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_{2H}}{3U_{1\phi} \eta_{p_*} \cos \varphi_{p_*}} \text{ – ток статора при частичной нагрузке;} \quad (4.9)$$

$$p_* = \frac{P}{P_H} = 0,75 \text{ – коэффициент загрузки двигателя;}$$

$\cos \varphi_{p_*}$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке;

η_{p_*} – КПД при частичной нагрузке.

В реальном инженерно-прикладном процессе мощности и КПД в процессе нагружения определяются следующими факторами:

– Нагрузка на 10-15% ниже номинальной для максимальной эффективности. Потому что большинство двигателей работают в условиях нагрузки. Тогда при $p_* = 0,75$ можно принять, что: $\eta_H \approx \eta_{0,75} = 0,795$;

– Из-за разницы в мощности АД коэффициент мощности $p_* = 0,75$ при частичной нагрузке сильно отличается от номинального значения. Зависимости, которым следует IM, показаны на рисунке 4.3.

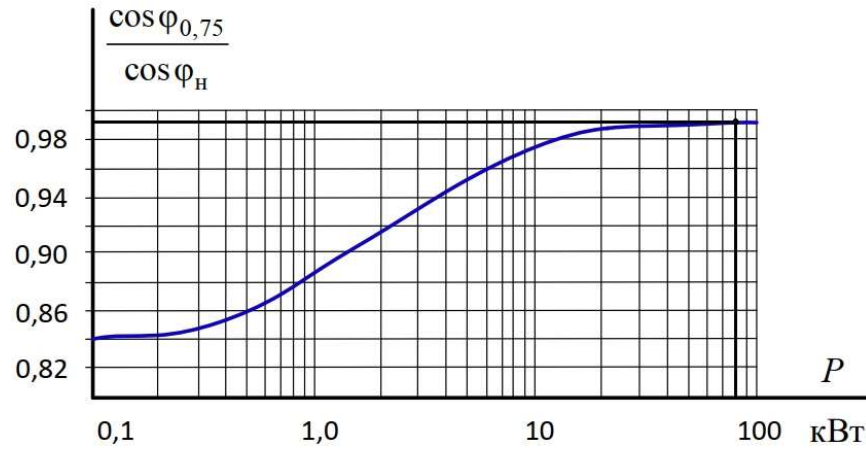


Рисунок 4.3 – Зависимость $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_H$ от мощности асинхронного двигателя

Согласно рисунку 4.3 мы можем получить следующие данные:
 $\cos \varphi_{0,75} \cong 0,99 \cos \varphi_H = 0,792$.

Ток статора при частичной нагрузке:

$$I_{11} = \frac{0,75 \cdot 50 \cdot 10^3}{3 \cdot 953 \cdot 0,795 \cdot 0,792} \cong 20,832 \text{ А.}$$

Ток холостого хода АД:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left[\frac{0,75 \cdot 1_H (1 - s_H)}{1 - 0,75 s_H} \right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot 1_H (1 - s_H)}{1 - 0,75 s_H} \right]^2}} = \sqrt{\frac{20,832^2 - \left[\frac{0,75 \cdot 27,509 \cdot (1 - 0,045)}{1 - 0,75 \cdot 0,045} \right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot 27,509 \cdot (1 - 0,045)}{1 - 0,75 \cdot 0,045} \right]^2}} \cong 6,407 \text{ А.}$$

Определим коэффициент β для расчета величины критического скольжения, выраженной из формулы Клосса. В первом приближении принимаем $\beta = 1,2$:

Критическое скольжение, выраженное из формулы Клосса:

$$s_K = s_H \frac{K_{MK} + \sqrt{K_{MK}^2 - [1 - 2s_H \beta (K_{MK} - 1)]}}{1 - 2s_H \beta (K_{MK} - 1)} = 0,045 \cdot \frac{2 + \sqrt{1,9^2 - [1 - 2 \cdot 1,2 \cdot 0,045 \cdot (1,9 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 1,2 \cdot 0,045 \cdot (1,9 - 1)} = 0,177 \quad (4.10)$$

Расчет промежуточных коэффициентов для дальнейшего расчета параметров АД:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2K_I I_{1H}} = 1 + \frac{6,407}{2 \cdot 7 \cdot 27,509} \cong 1,017, \quad (4.11)$$

$$A_1 = \frac{3U_{1\phi}^2 (1 - s_H)}{2C_1 K_{MK} P_{2H}} = \frac{3 \cdot 953^2 \cdot (1 - 0,045)}{2 \cdot 1,017 \cdot 1,9 \cdot 50 \cdot 10^3} \cong 13,46, \quad (4.12)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_{\text{к}}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,177^2} - 1,2^2} \cong 5,53. \quad (4.13)$$

Активное сопротивление ротора, приведенное обмотке статора:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_{\text{к}}}\right)C_1} = \frac{13,46}{\left(1 + \frac{1}{0,177}\right) \cdot 1,017} \cong 1,93 \text{ Ом}. \quad (4.14)$$

Активное сопротивление статора:

$$R_1 = C_1 R'_2 \beta = 1,017 \cdot 1,93 \cdot 1,2 \cong 2,355 \text{ Ом}. \quad (4.15)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$X_{\text{кн}} = \gamma C_1 R'_2 = 5,53 \cdot 1,017 \cdot 1,93 \cong 10,853 \text{ Ом}. \quad (4.16)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния ротора, приведенное к обмотке статора:

$$X'_{2\sigma} = 0,58 \frac{X_{\text{кн}}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{10,853}{1,017} \cong 6,192 \text{ Ом}. \quad (4.17)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статора:

$$X_{1\sigma} = 0,42 X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 10,853 = 4,558 \text{ Ом}. \quad (4.18)$$

Проверка величины критического скольжения:

$$s_{\text{кр}} = \frac{C_1 R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = \frac{1,017 \cdot 1,93}{\sqrt{2,355^2 + 10,853^2}} \cong 0,177. \quad (4.19)$$

Величины критического скольжения, рассчитанные по формулам (4.10) и (4.19), совпали. Расчет коэффициента β считаем окончанным.

ЭДС ветви намагничивания в номинальном режиме:

$$E_{\text{мн}} = \sqrt{(U_{1\phi} \cos \varphi_{\text{н}} - R_1 I_{1\text{н}})^2 + (U_{1\phi} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{н}}} - X_{1\sigma} I_{1\text{н}})^2} = \\ \sqrt{(953 \cdot 0,8 - 1,609 \cdot 27,509)^2 + (953 \cdot \sqrt{1 - 0,8^2} - 4,558 \cdot 27,509)^2} \cong 985,908 \text{ В}. \quad (4.20)$$

Индуктивное сопротивление ветви намагничивания:

$$X_{\mu} = \frac{E_{\text{мн}}}{I_0} = \frac{985,908}{6,407} \cong 153,868 \text{ Ом}. \quad (4.21)$$

Расчетные параметры для альтернативных вариантов двигателей приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Расчетные параметры схемы замещения двигателя

$R_1, \text{ Ом}$	$X_{1\sigma}, \text{ Ом}$	$R'_2, \text{ Ом}$	$X_{\text{кн}}, \text{ Ом}$	$X_\mu, \text{ Ом}$	$X'_{2\sigma}, \text{ Ом}$
2,355	4,558	1,93	10,853	153,868	6,192

Параметры схемы замещения будут использованы для построения естественных характеристик двигателя.

Индуктивность рассеяния статора:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2\pi f_1} = \frac{4,558}{2\pi \cdot 50} \cong 1,451 \cdot 10^{-2} \text{ Гн.} \quad (4.22)$$

Индуктивность рассеяния ротора, приведенная к обмотке статора:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2\pi f_1} = \frac{6,192}{2\pi \cdot 50} \cong 1,971 \cdot 10^{-2} \text{ Гн.} \quad (4.23)$$

Индуктивность ветви намагничивания:

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2\pi f_1} = \frac{153,868}{2\pi \cdot 50} \cong 0,49 \text{ Гн.} \quad (4.24)$$

Эквивалентная индуктивность цепи статора:

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_\mu = 1,451 \cdot 10^{-2} + 0,49 \cong 0,505 \text{ Гн.} \quad (4.25)$$

Эквивалентная индуктивность цепи ротора:

$$L_2 = L'_{2\sigma} + L_\mu = 1,971 \cdot 10^{-2} + 0,49 \cong 0,51 \text{ Гн.} \quad (4.26)$$

Коэффициенты для расчета динамики АД:

$$K_r = \frac{L_\mu}{L_2} = \frac{0,49}{0,51} \cong 0,961, \quad (4.27)$$

$$A_r = \frac{R'_2}{L_2} = \frac{1,93}{0,51} \cong 3,784, \quad (4.28)$$

$$L_3 = L_1 - \frac{L_\mu^2}{L_2} = 0,505 - \frac{0,49^2}{0,51} \cong 0,034, \quad (4.29)$$

$$R_3 = R_1 + R'_2 K_r = 2,355 + 1,93 \cdot 0,961 \cong 4,21, \quad (4.30)$$

$$K_m = \frac{3}{2} K_r z_p = \frac{3}{2} \cdot 0,961 \cdot 1 \cong 1,442. \quad (4.31)$$

Полученные параметры индуктивностей и коэффициентов будут использоваться для расчетов динамики по структурной схеме АД.

4.2 Расчет естественных характеристик ПЭД

Собственные характеристики электрической машины рассчитываются с целью сравнения степени совпадения основных характерных точек расчетных характеристик электрической машины с характеристиками двигателя, найденными по справочным техническим данным выбранной электрической машины. [15, 17]. Все дальнейшие расчеты и построение характеристик производится средствами системы компьютерной математики Mathcad.

Зададимся величиной скольжения $s = 0 \dots 1$ для построения характеристик, соответствующих двигательному режиму.

Расчет естественной механической характеристики (МХ) АД для номинальной частоты $f_{и} = f_{1н} = 50$ Гц производится по выражению:

$$M(s) = \frac{3U_{1\phi}^2 R_2'}{\omega_0 s \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_{кн}^2 \right]} \quad (4.32)$$

При этом угловая скорость вращения как зависимость от скольжения определяется данным выражением:

$$\omega(s) = \omega_0(1 - s). \quad (4.33)$$

Определим величины номинального и критического моментов, а также угловой скорости вращения при критическом скольжении:

$$M_{н} = \frac{3U_{1\phi}^2 R_2'}{\omega_0 s_{н} \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{н}} \right)^2 + X_{кн}^2 \right]} \cong 171,665 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{к} = \frac{3U_{1\phi}^2 R_2'}{\omega_0 s_{к} \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{к}} \right)^2 + X_{кн}^2 \right]} \cong 321,868 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\omega_{к} = \omega_0(1 - s_{к}) \cong 215,979 \text{ рад/с.}$$

Естественная МХ изображена на рисунке 4.4.

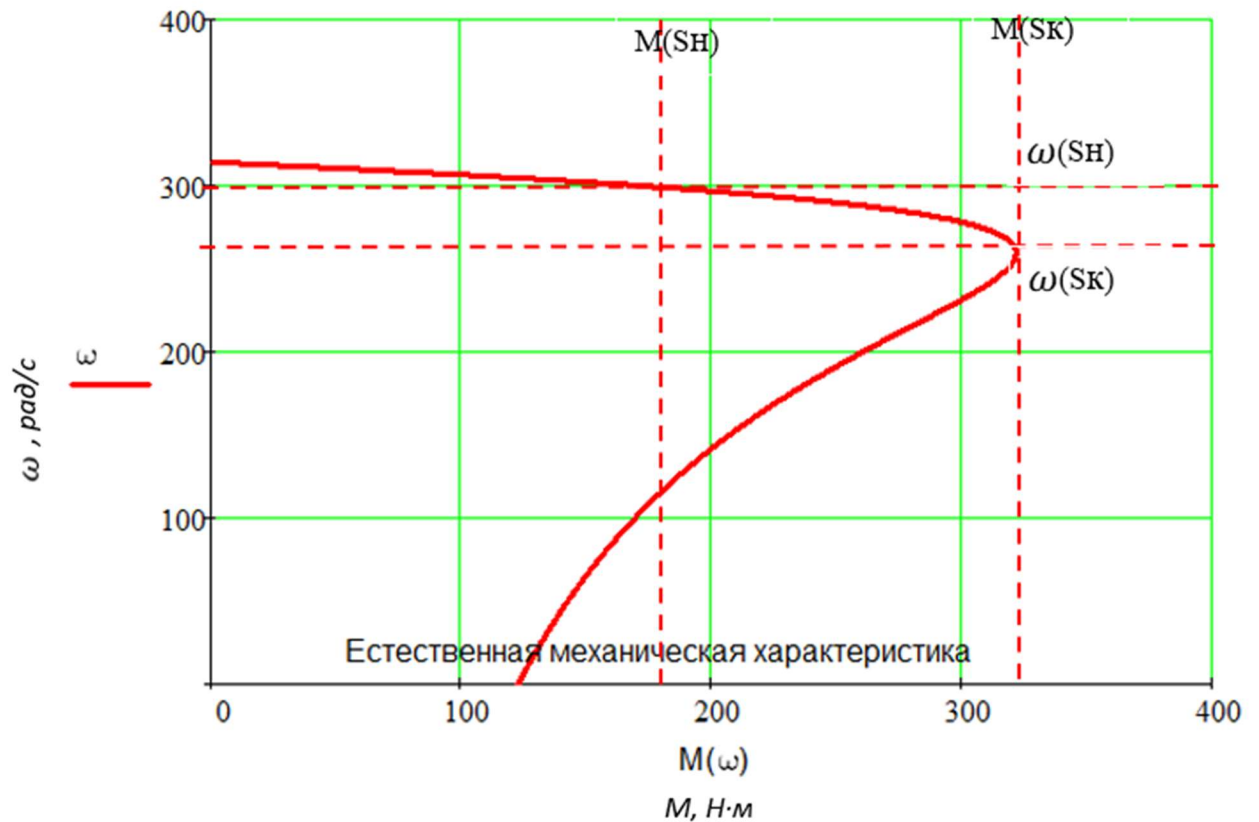


Рисунок 4.4 – Естественная механическая характеристика ПЭД

Расчет естественных электромеханических характеристик (ЭМХ) АД производится по выражениям:

$$I'_2(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2}}, \quad (4.34)$$

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2I_0 I_2'(s) \sin \varphi_2(s)}, \quad (4.35)$$

где $\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2}}$ – синус угла между вектором сопряженного

тока ротора и вектором напряжения фазы статора.

Определим величины номинальных и пусковых токов:

$$I'_{2\text{H}} = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_{\text{H}}}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2}} \cong 20,996 \text{ A};$$

$$I'_{2\text{П}} = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + X_{\text{кн}}^2}} \cong 176,552 \text{ A};$$

$$I_{1H} = \sqrt{I_0^2 + I_{2H}'^2 + 2I_0I_{2H}' \sin \varphi_{2H}} \cong 23,346 \text{ A};$$

$$I_{1П} = \sqrt{I_0^2 + I_{2H}'^2 + 2I_0I_{2H}' \sin \varphi_{2H}} \cong 182,418 \text{ A};$$

Естественные ЭМХ изображены на рисунках 4.5 и 4.6.

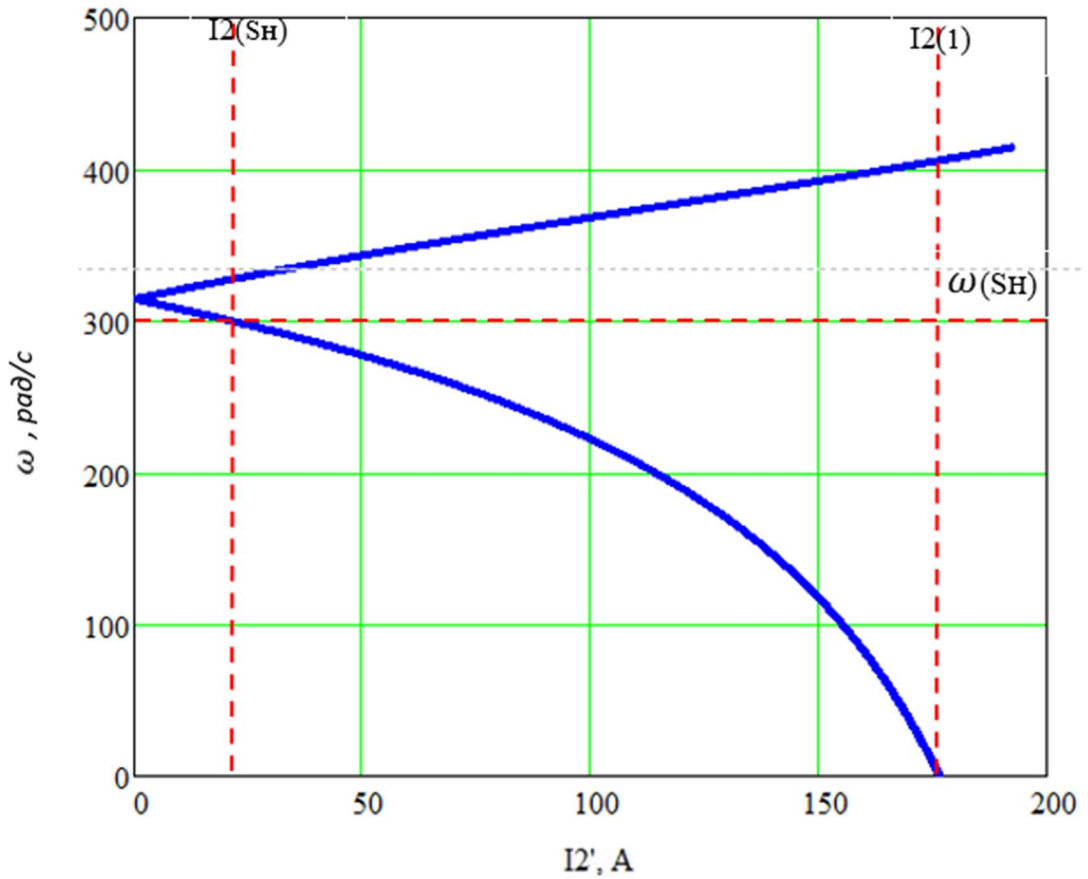


Рисунок 4.5 – Естественная электромеханическая характеристика тока ротора ПЭД

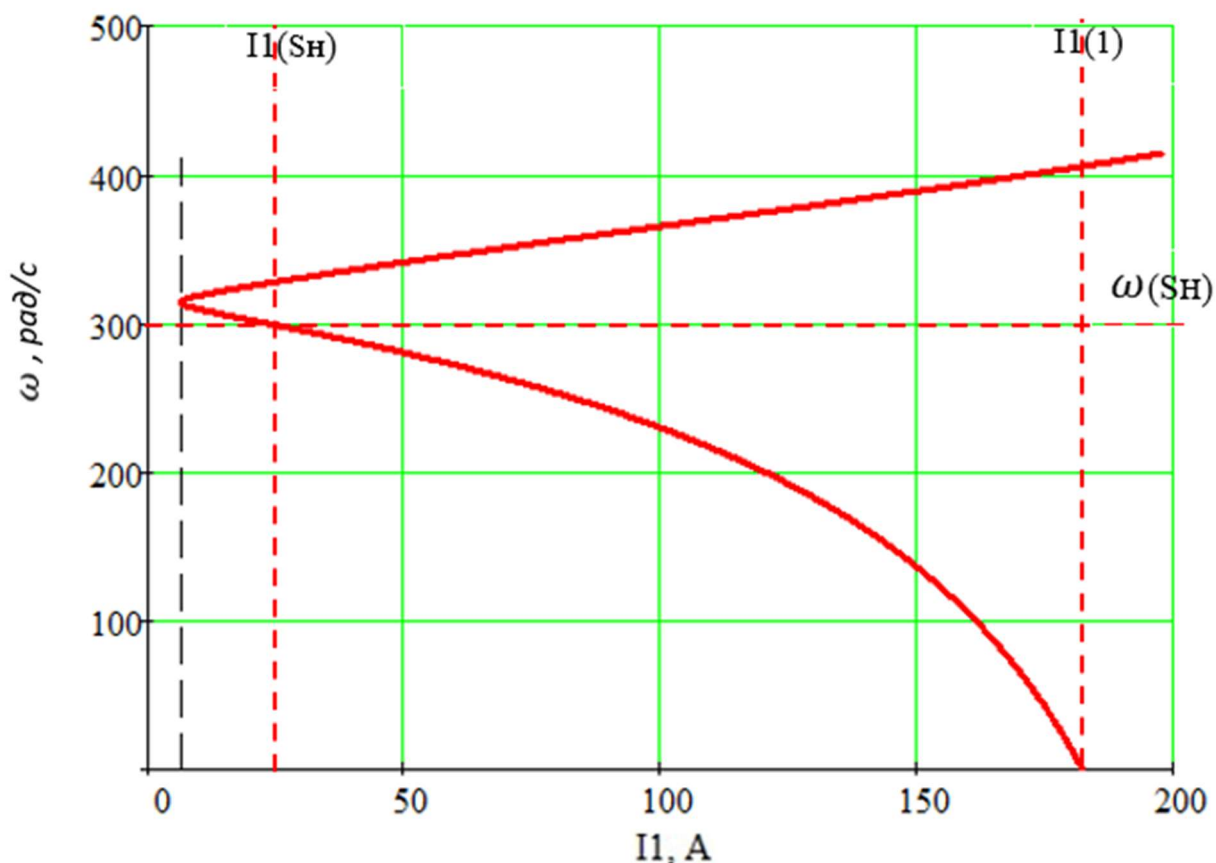
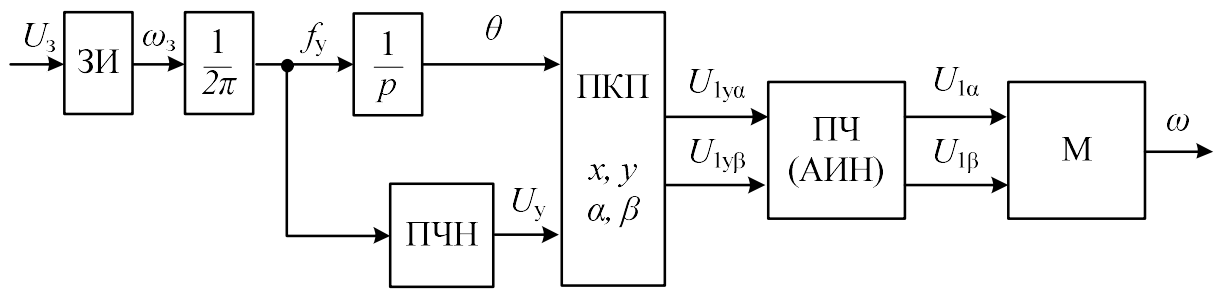


Рисунок 4.6 – Естественная электромеханическая характеристика тока статора ПЭД

Предельные характеристики обобщенной системы преобразователь-двигатель ограничивают область работы электропривода максимально достижимой или допустимой скоростью с одной стороны, а с другой – длительно или кратковременно допустимыми значениями токов или моментов электропривода. Ограничивающими характеристиками разомкнутой системы ПЧ-АД являются электромеханические и естественные механические характеристики погружного электродвигателя. [16, 18].

4.3 Расчет искусственных характеристик разомкнутой системы ПЧ-АД

Как показано на рисунке 4.7, это функциональная схема асинхронного двигателя со скалярным частотным регулированием скорости.



ЗИ – задатчик интенсивности, ПКП – прямой координатный преобразователь, ПЧ (АИН) – преобразователь частоты (автономный инвертор напряжения), ПЧН – блок «преобразователь частота – напряжение»

Рисунок 4.7 – Функциональная схема асинхронного двигателя при скалярном частотном регулировании скорости

Ускорение и траектория движения двигателя определяются ЗИ. Заданное напряжение U_3 определяется угловой скоростью электропривода. Опорная частота f_3 соответствует напряжению. Скалярная управляемая зависимость между напряжением и частотой преобразователя формируется блоком ПЧН.

Изменение частоты f_{1j} питающего напряжения АД изменяет его синхронную скорость ω_0 и его реактивное сопротивление, которое изменяется пропорционально изменению частоты:

$$X_{1\sigma j} = X_{1\sigma} \frac{f_{1j}}{f_{1н}}; X'_{2\sigma j} = X'_{2\sigmaн} \frac{f_{1j}}{f_{1н}}; X_\mu = X_{\muн} \frac{f_{1j}}{f_{1н}}. \quad (4.36)$$

При напряжении переменного тока U_{1j} и частоте обмотки статора АД можно регулировать различные скорости с помощью системы ПЧ-АД. Мы используем уравнение баланса мощности для сравнительной оценки этих методов управления. Мощность двигателя составляет:

$$P_2 = P_{эм} - \Delta P_2 = \omega M - \omega s M = \omega(1 - s)M, \quad (4.37)$$

где $P_{эм}$ – электромагнитная мощность в воздушном зазоре;

ΔP_2 – мощность роторных потерь.

Из (4.37) видно, что согласование регулирующих механических характеристик двигателя с его нагрузкой является любым способом управления скоростью АД.

Характер зависимости $M_c = f(\omega)$ определяется исполнительным механизмом. Для «насосных» нагрузок контроль напряжения и частоты тока статора асинхронного двигателя следует производить следующим образом:

$$\frac{U_{1j}}{f_{1j}^2} = const. \quad (4.38)$$

Тогда в электроприводе частотно-регулируемого электропривода электромагнитный момент двигателя может формироваться по закону изменения напряжения при частотном регулировании и частотном регулировании:

$$U_{1j} = U_{1н} \frac{f_{1j}}{f_{1н}} \sqrt{\frac{M_c}{M_н}}, \quad (4.39)$$

где U_{1j} – напряжение на выходе преобразователя частоты;

f_{1j} – частота на регулировочной характеристике;

$U_{1н}$ – номинальное напряжение питающей сети;

$f_{1н}$ – номинальная частота питающей сети;

M_c – момент сопротивления на валу двигателя при частоте f_{1j} на регулировочной характеристике.

Согласно (4.38) можно знать, что для увеличения частоты f_{1j} и скорости в 2 раза необходимо увеличить напряжение U_{1j} в 4 раза. Потери на повторное намагничивание и потери в железе будут уменьшены, так что перегрузочная способность двигателя может быть относительно стабильной:

$$\frac{M_c}{M_к} = const, \quad (4.40)$$

Из соотношения (4.39) частотно-регулируемое управление двигателем с ненасыщенной магнитной системой также позволяет поддерживать коэффициент мощности и абсолютное скольжение электропривода практически постоянными, с тем преимуществом, что его КПД не зависит от скорости.

Использование вида нагрузки на валу двигателя для управления напряжением, подаваемым на статор, и соотнесение его с изменением частоты тока статора позволяет наиболее эффективно реализовать принцип частотного регулирования асинхронного двигателя.

Искусственные статические характеристики системы ПЧ-АД будут рассчитываться при законе регулирования $\frac{U_1}{f_1^2} = const$.

Характеристики разомкнутой системы ПЧ-АД при выбранном законе регулирования будут построены для ряда выбранных значений выходной частоты инвертора, соответствующему диапазону регулирования скорости $D=1:10$ [14, 37]. МХ и ЭМХ определяются по формулам:

$$M(s, f_{1*j}) = \frac{m_1 U_{1Hj}^2 R_2'}{\omega_{0j} s \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_{KH} f_{1*j})^2 + \left(\frac{R_1 R_2'}{s X_{\mu H} f_{1*j}} \right)^2 \right]}, \quad (4.41)$$

$$I_2'(s, f_{1*j}) = \frac{U_{1Hj}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_{KH} f_{1*j})^2 + \left(\frac{R_1 R_2'}{s X_{\mu H} f_{1*j}} \right)^2}}, \quad (4.42)$$

$$I_1(s, f_{1*j}) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s, f_{1*j}) + 2I_0 I_2'(s, f_{1*j}) \sin \varphi_2(s, f_{1*j})}, \quad (4.43)$$

$$I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_{\mu})^2 (f_{1*})^2}}, \quad (3.44)$$

где $U_{1\phi}(f_{1*j}) = U_{1\phi} \left(\frac{f_{1*j}}{f_{1Hj}} \right)^2$;

$$\sin \varphi_2(s, f_{1*j}) = \frac{X_{KH} f_{1*j}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_{KH} f_{1*j})^2}}.$$

При этом угловая частоты вращения определяется следующим выражением:

$$\omega_j(s, f_{1*j}) = \omega_{0j}(1 - s). \quad (4.45)$$

Расчет характеристик производится в интервале от 3,5 до 50 Гц ($D=1:10$) по значениям 50, 40, 30, 20, 10, 5, 3,5 Гц.

Фазные напряжения статора АД для соответствующих частот:

$$U_{1H1}(f_{1H1} = 50 \text{ Гц}) = 953 \cdot \left(\frac{50}{50} \right)^2 = 953 \text{ В},$$

$$U_{1H2}(f_{1H2} = 40 \text{ Гц}) = 953 \cdot \left(\frac{40}{50} \right)^2 = 609,682 \text{ В},$$

$$U_{1H3}(f_{1H3} = 30 \text{ Гц}) = 953 \cdot \left(\frac{30}{50} \right)^2 = 342,946 \text{ В},$$

$$U_{1H4}(f_{1H4} = 20 \text{ Гц}) = 953 \cdot \left(\frac{20}{50}\right)^2 = 152,42 \text{ В},$$

$$U_{1H5}(f_{1H5} = 10 \text{ Гц}) = 953 \cdot \left(\frac{10}{50}\right)^2 = 38,105 \text{ В},$$

$$U_{1H6}(f_{1H6} = 5 \text{ Гц}) = 953 \cdot \left(\frac{5}{50}\right)^2 = 9,526 \text{ В}.$$

$$U_{1H7}(f_{1H7} = 3,5 \text{ Гц}) = 953 \cdot \left(\frac{3,5}{50}\right)^2 = 4,668 \text{ В}$$

Угловые скорости идеального холостого хода АД для соответствующих частот:

$$\omega_{01}(f_{1H1} = 50 \text{ Гц}) = 314,159 \cdot \frac{50}{50} \cong 314,159 \text{ рад/с},$$

$$\omega_{02}(f_{1H2} = 40 \text{ Гц}) = 314,159 \cdot \frac{40}{50} \cong 251,327 \text{ рад/с},$$

$$\omega_{03}(f_{1H3} = 30 \text{ Гц}) = 314,159 \cdot \frac{30}{50} \cong 188,495 \text{ рад/с},$$

$$\omega_{04}(f_{1H4} = 20 \text{ Гц}) = 314,159 \cdot \frac{20}{50} \cong 125,664 \text{ рад/с},$$

$$\omega_{05}(f_{1H5} = 10 \text{ Гц}) = 314,159 \cdot \frac{10}{50} \cong 62,832 \text{ рад/с},$$

$$\omega_{06}(f_{1H6} = 5 \text{ Гц}) = 314,159 \cdot \frac{5}{50} \cong 31,416 \text{ рад/с}.$$

$$\omega_{07}(f_{1H7} = 3,5 \text{ Гц}) = 314,159 \cdot \frac{3,5}{50} \cong 21,991 \text{ рад/с}.$$

Искусственные МХ и ЭМХ представлены на рисунках 4.8-4.10.

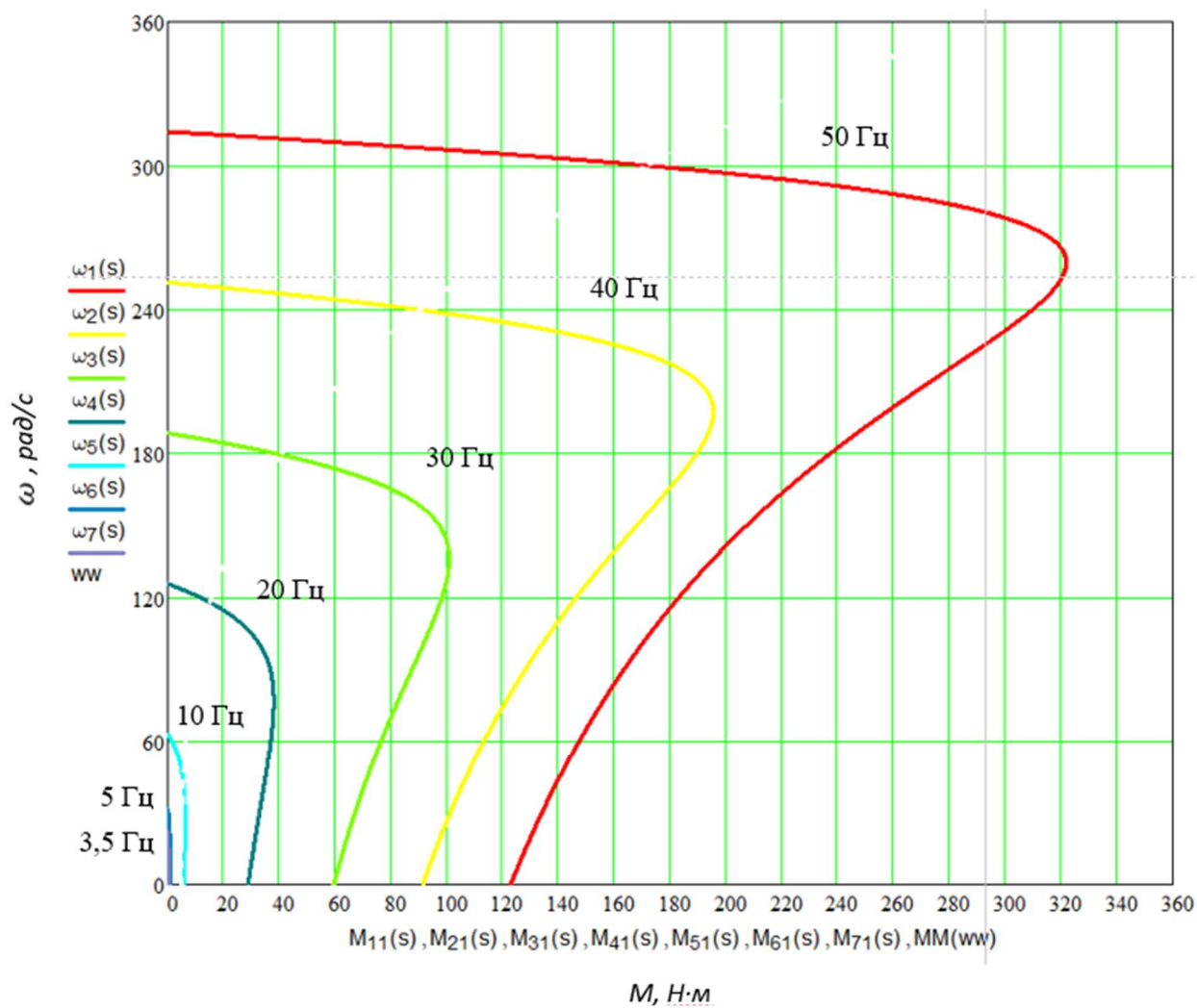


Рисунок 4.8 – Искусственные механические характеристики разомкнутой системы ПЧ-АД

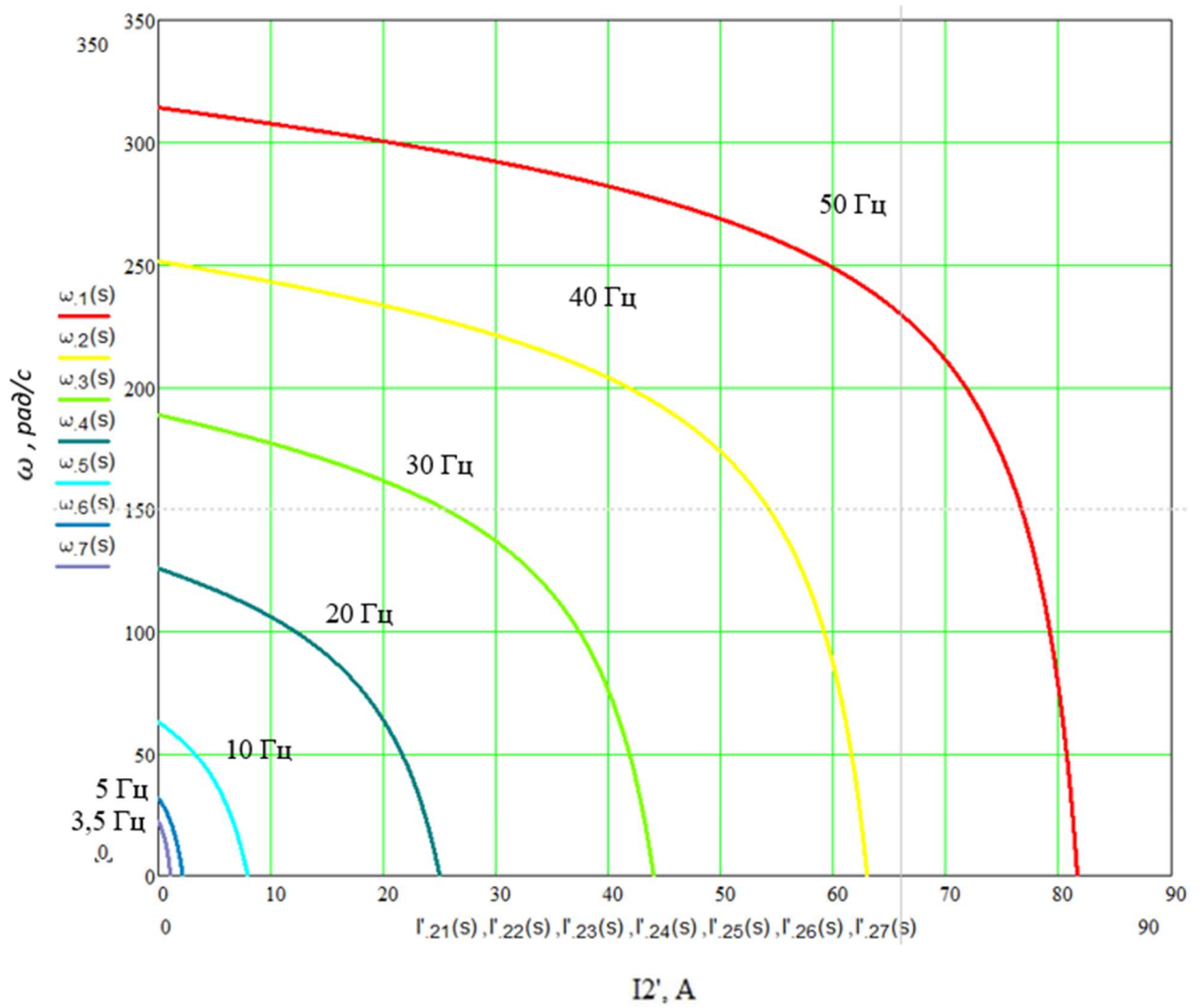


Рисунок 4.9 – Искусственные электромеханические характеристики тока ротора разомкнутой системы ПЧ-АД

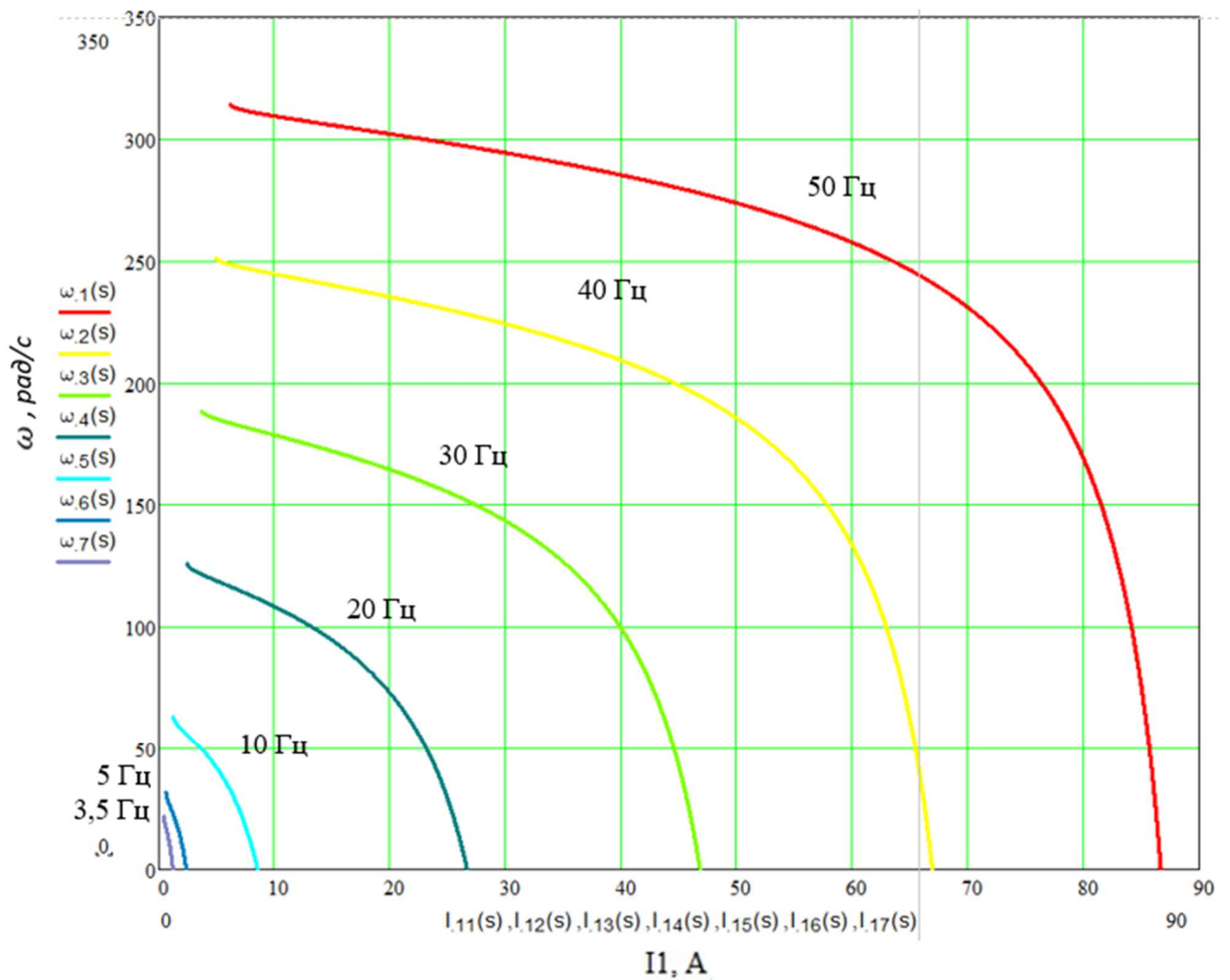


Рисунок 4.10 – Искусственные электромеханические характеристики тока статора разомкнутой системы ПЧ-АД

Как видно из полученных искусственных механических характеристик, пусковой момент при малых частотах может оказаться слишком мал для статической нагрузки, образуемой УЭЦН, и, как следствие, потребуется коррекция вольт-частотной характеристики. Для этого необходимо определить статическую нагрузку УЭЦН.

4.4 Расчет статической нагрузки УЭЦН и момента инерции двигателя

Электромагнитный момент рассчитывается с использованием механических свойств АД, также необходимо учитывать собственный момент трения двигателя. Крутящий момент от трения на валу АД обычно постоянен и равен [16]:

$$\Delta M_{с.дв} = M_{эм.н} - M_{дв.н} = 171,665 - 166,654 = 5,011 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (4.46)$$

Поскольку УЭЦН представляет собой производственный механизм с насосным типом нагрузки с нелинейно-возрастающей механической характеристикой, выражение для полного момента сопротивления на валу АД, именуемое формулой Бланка, имеет вид [15, 16]:

$$M_c(\omega) = \Delta M_{с.дв} + (M_{эм.н} - \Delta M_{с.дв}) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^3. \quad (4.47)$$

$$M_c(\omega) = 5,011 + (171,665 - 5,011) \cdot \left(\frac{\omega}{300,022} \right)^3.$$

Определим приближенное значение момента инерции ПЭД в соответствии с формулой [19]:

$$J_{дв} = 1,6 D_n^4 l_2 \cdot 10^{-12}, \quad (4.48)$$

где $D_n = 96$ мм – наружный диаметр ПЭД;

l_2 – длина сердечника ПЭД. Поскольку длина сердечника статора ПЭД l_1 имеет длину 10000 мм [9], принимаем $l_1 = l_2 = 10000$ мм.

$$J_{дв} = 1,6 \cdot 96^4 \cdot 10000 \cdot 10^{-12} \cong 1,359 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Принимаем эквивалентный момент инерции электропривода равным:

$$J_{экв} = 1,3 J_{дв} = 1,3 \cdot 1,359 \cong 1,7667 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (4.49)$$

Двигатель МХ с регулировкой частоты в сочетании с механическими характеристиками полного момента сопротивления на валу двигателя может получить характеристическую диаграмму, показанную на рисунке 4.11.

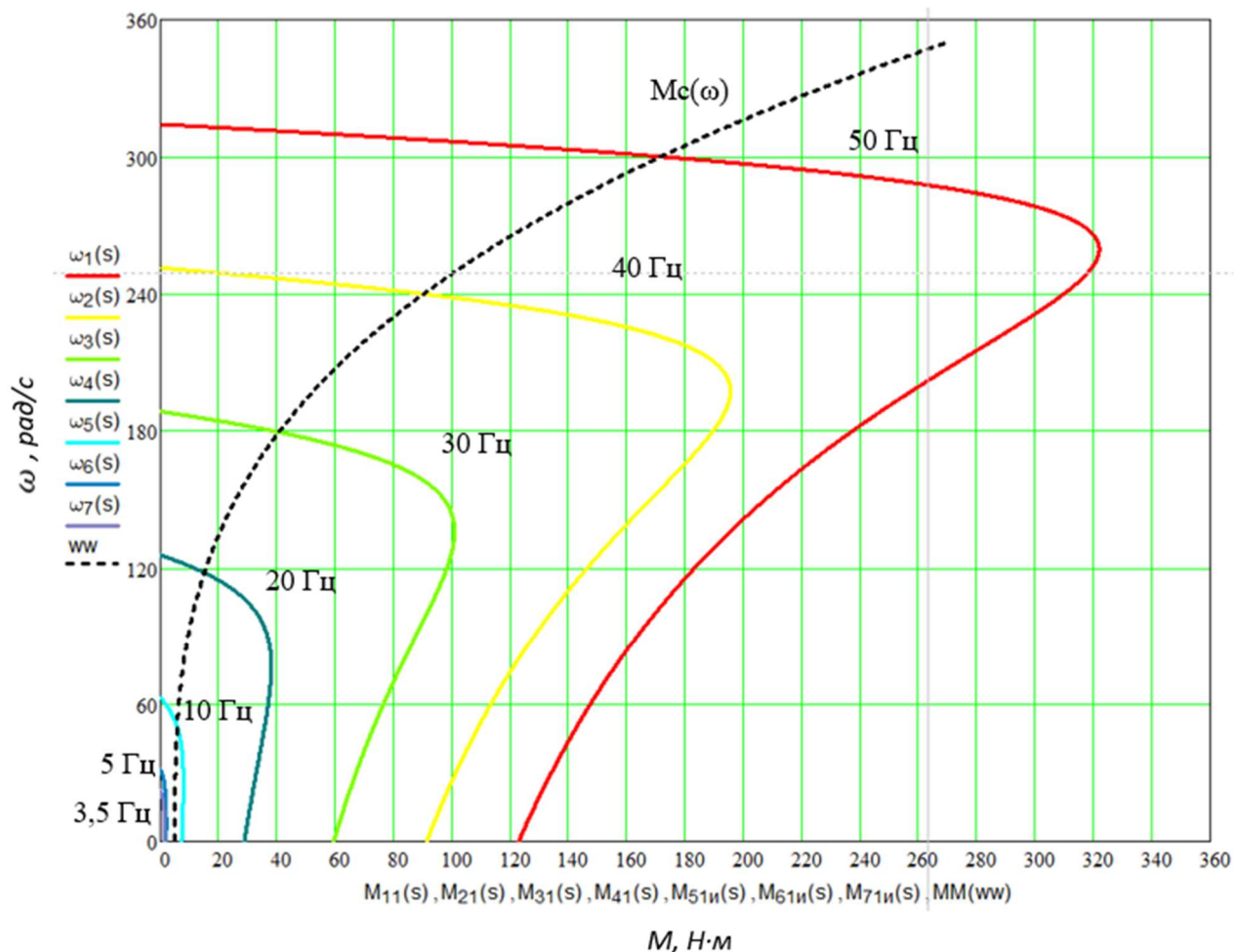


Рисунок 4.11 – Механические характеристики полного момента сопротивления на валу двигателя и механические характеристики разомкнутой системы ПЧ-АД

Из рисунка 4.11 видно, что на частотах 3,5, 5 и 10 Гц пусковой момент двигателя недостаточен для пуска УЭЦН. Необходимо ввести коррекцию вольт-частотной характеристики на частотах 3,5, 5 и 10 Гц для обеспечения пуска.

4.5 Коррекция вольт-частотной характеристики

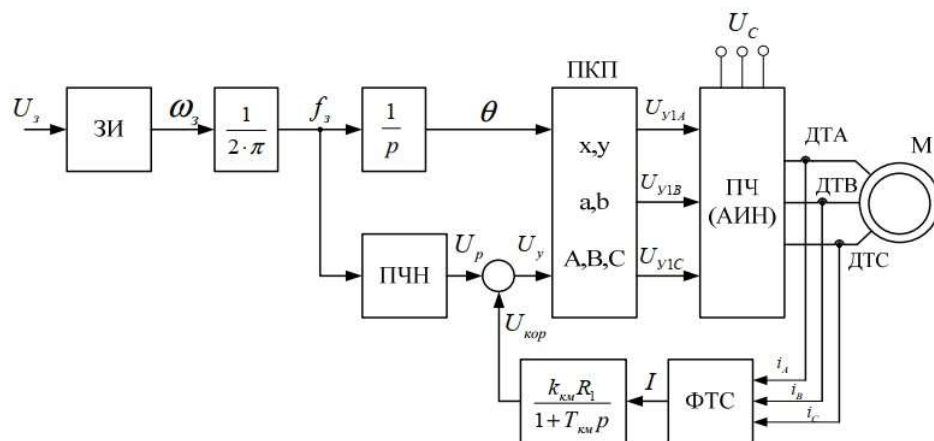
T-образная схема замещения асинхронного двигателя была рассмотрена ранее. В соответствии с данной схемой можно записать уравнения для ЭДС контуров АД по закону напряжений Кирхгофа:

$$\begin{cases} U_{1j} = E_{1j} + R_1 I_1, \\ U_{1j} = E_{mj} + (R_1 + jX_{1\sigma}) I_1, \\ U_{1j} = E'_{2j} + (R_1 + jX_{1\sigma j}) I_1 + jX'_{2\sigma j} I'_2. \end{cases} \quad (4.50)$$

Таким образом, компенсируя падения напряжения на сопротивлениях R_1 , $R_1 + jX_{1\sigma j}$, $R_1 + jX_{1\sigma}$ и $X'_{2\sigma j}$, можно получить частотные законы регулирования скорости классов $\frac{E_{1j}}{f_{1j}}$, $\frac{E_{mj}}{f_{1j}}$, $\frac{E'_{2j}}{f_{1j}}$.

На практике наибольшее распространение получили законы регулирования класса $\frac{E_{1j}}{f_{1j}}$. В частности, для УЭЦН будет использоваться закон $\frac{E_{1j}}{f_{1j}^2} = const$. При регулировании скорости необходимо увеличивать фазное напряжение статора через падение напряжения $I_1 R_1$ на активном сопротивлении обмотки статора. Такой способ управления скоростью АД называется регулировкой частоты и IR-компенсацией.

На рисунке 4.12 показана структурная схема цепи по системе ПЧ-АД со скалярной IR-компенсацией.



ДТФ, ДТВ, ДТС – датчики тока статора, ФТС – формирователь тока статора

Рисунок 4.12 – Структурная схема частотного управления со скалярной IR-компенсацией

Сигнал управления U_y формируется суммой положительной обратной связи сигнала управления U_p и тока статора $U_{кор}$, что может быть достигнуто скалярной компенсацией IR:

$$U_y = U_p + U_{кор} = U_p + k_{км} R_1 I, \quad (4.51)$$

где $k_{\text{км}}$ – коэффициент компенсации момента (положительной обратной связи по току),

I – формируемый ФТС сигнал, пропорциональный действующим значениям токов i_A, i_B, i_C обмоток статора АД.

Сигнал управления поступает на приемную часть панели управления. На выходе ПКП могут формироваться три синусоидальных управляющих напряжения, которые смещены относительно друг друга на угол $\pm 2\pi/3$. Чем больше управляющий сигнал, тем больше значение амплитуды. По трем сигналам напряжения могут быть сформированы фазные напряжения на выходе АИН и затем поданы на статорные обмотки АД.

Поскольку корректировка вольт-частотной характеристики может быть осуществлена для конкретного тока двигателя, то и применять ее следует при работе с постоянной нагрузкой. При увеличении нагрузки напряжение двигателя оказывается недостаточным, что приводит к уменьшению потокосцепления и момента. При уменьшении нагрузки напряжение оказывается излишним, что приводит к увеличению потока и насыщению магнитной системы двигателя [14].

Для улучшения пускового момента двигателя на частотах 3,5, 5 и 10 Гц параметры начального этапа ВАХ преобразователя могут быть подобраны экспериментально. Для компенсации были выбраны следующие параметры:

$$U_{1\text{нач}} = 25 \text{ В}; f_{\text{и.нач}} = 3,5 \text{ Гц}.$$

В результате вольт-частотные характеристики представлены следующей зависимостью [16]:

$$U_{1\phi}(f_1) = U_{1\text{нач}} + (U_{1\text{фн}} - U_{1\text{нач}}) \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}}\right)^2. \quad (4.52)$$

$$U_{1\phi}(f_1 = 10 \text{ Гц}) = 25 + (953 - 25) \cdot \left(\frac{10}{50}\right)^2 = 62,12 \text{ В};$$

$$U_{1\phi}(f_1 = 5 \text{ Гц}) = 25 + (953 - 25) \cdot \left(\frac{5}{50}\right)^2 = 34,28 \text{ В}.$$

$$U_{1\phi}(f_1 = 3,5 \text{ Гц}) = 25 + (953 - 25) \cdot \left(\frac{3,5}{50}\right)^2 = 29,55 \text{ В}$$

Искусственные МХ с корректировкой вольт-частотных характеристик представлены на рисунке 4.13.

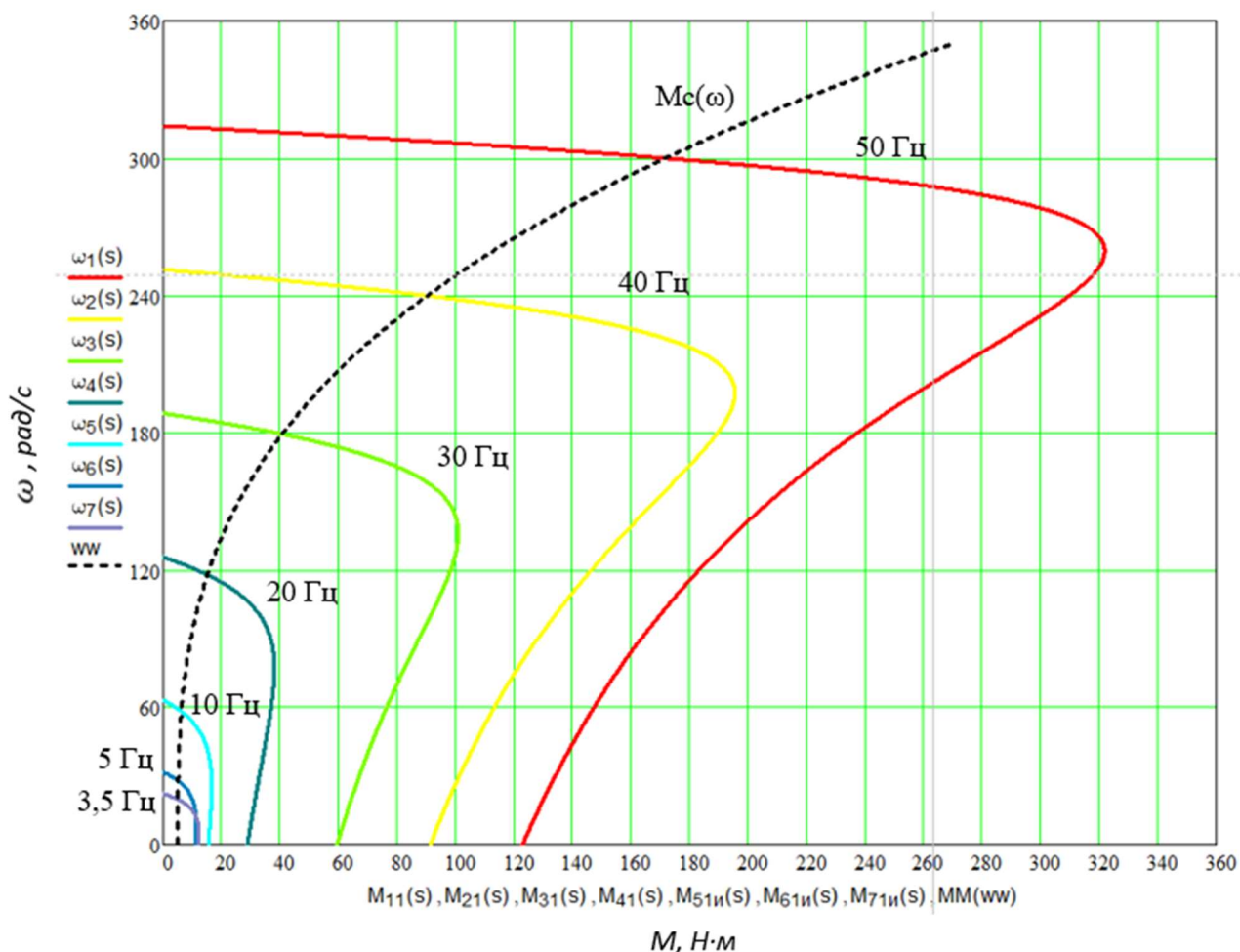


Рисунок 4.13 – Искусственные механические характеристики разомкнутой системы ПЧ-АД с коррекцией вольт-частотной характеристики

После коррекции вольт-частотной МХ на частотах 3,5, 5 и 10 Гц обеспечивается повышенный пусковой момент, позволяющий запустить УЭЦН. Таким образом, электродвигатель ПЭДНС 50-96-1650/00 обеспечивает требуемое значение максимальной частоты вращения ЭЦН ВНН5-125 $\omega_{дв.н} = 300,022$ рад/с . Непрерывная работа с максимальным моментом нагрузки и перегрузкой по моменту более чем в два раза во всем диапазоне регулирования D.

5 Динамические характеристики УЭЦН

Прошлые практика и теория показали, что трудно обеспечить как хорошие энергетические, так и механические свойства в широком диапазоне изменений нагрузки и скорости по закону класса U_{1j} / f_{1j} , поскольку активное сопротивление обмотки статора увеличивается с уменьшением частоты напряжения питания. Обычно для управления электроприводами со скалярным управлением для асинхронного регулирования частоты мы используем следующую теорему: $E_1 / f_1, E_m / f_1, E_2' / f_1$.

Чтобы воспользоваться этими теоремами, нам нужно вычислить передаточную функцию.

Кривая зависимости $U_{1j} / f_{1j}^2 = const$ показана на рисунке 5.1.

При законе регулирования $Z_p = \frac{U_{1H}}{f^2} = \frac{952,628}{50^2} = 0,381$.

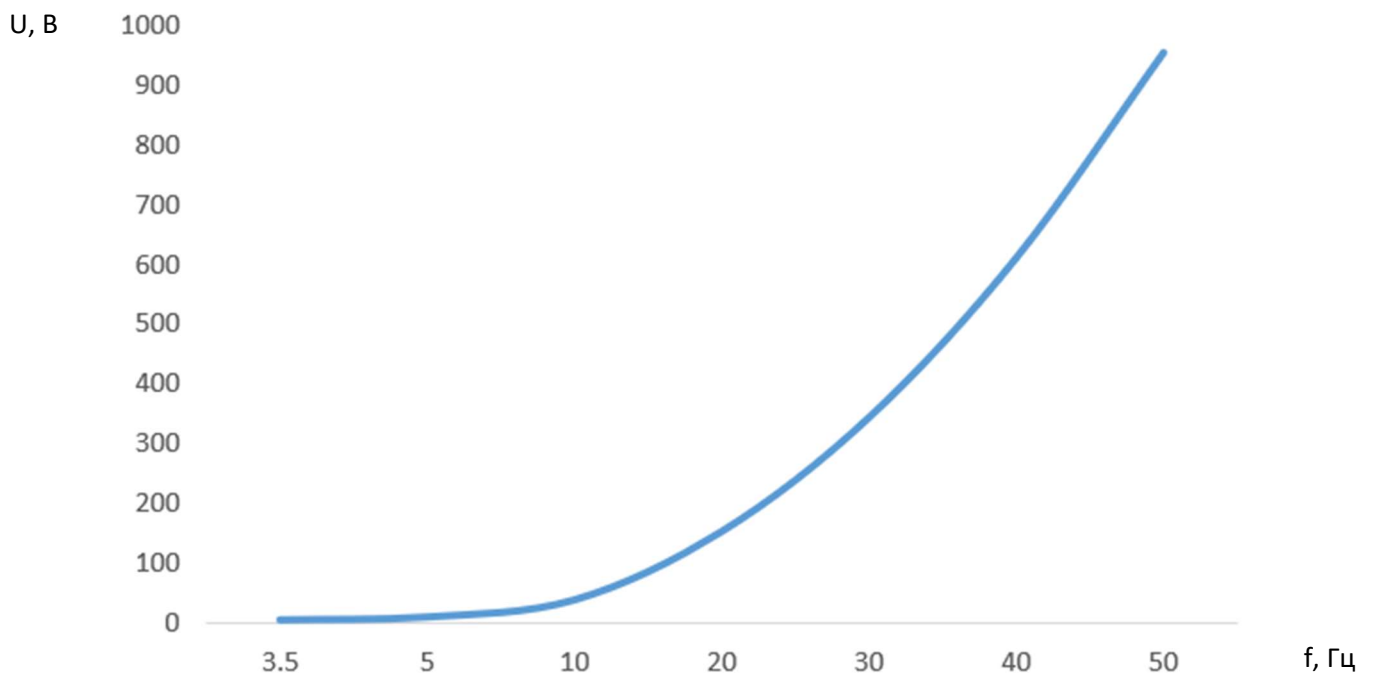


Рисунок 5.1 – Кривая зависимости

Мы можем сделать имитационную модель привода в соответствии с функциональной схемой, показанной на рисунке 5.2.

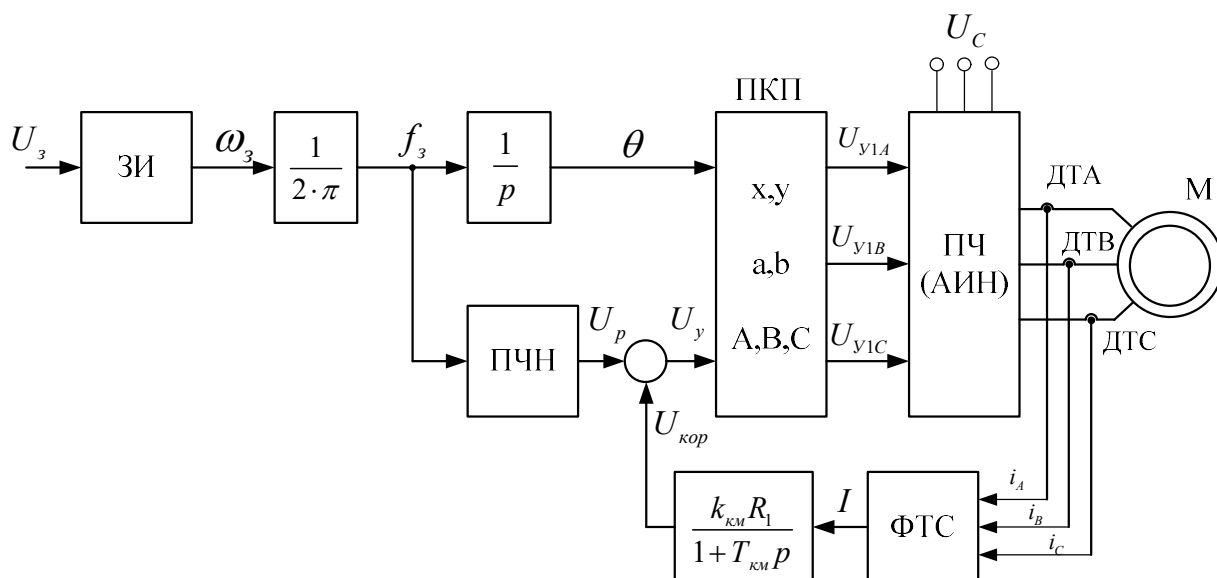


Рисунок 5.2 - Структурная схема системы скалярного частотного управления.

5.1 Создание имитационной модели

Вход датчика прямых координат (ПКП) используется в качестве управляющего сигнала, а выходной контакт может формировать три синусоидальных управляющих напряжения, три управляющих напряжения смещены относительно друг друга на угол $\pm 2\pi/3$, а амплитуда равно управляющему напряжению. Сигналы формируют фазные напряжения на выходе АВИ.

Семь точечных определений кривой следующие:

1. $f = 3,5$ Гц, $U = 4,67$ В;
2. $f = 5$ Гц, $U = 9,53$ В;
3. $f = 10$ Гц, $U = 38,11$ В;
4. $f = 20$ Гц, $U = 152,421$ В;
5. $f = 30$ Гц, $U = 342,946$ В;
6. $f = 40$ Гц, $U = 609,682$ В;
7. $f = 50$ Гц, $U = 952,628$ В;

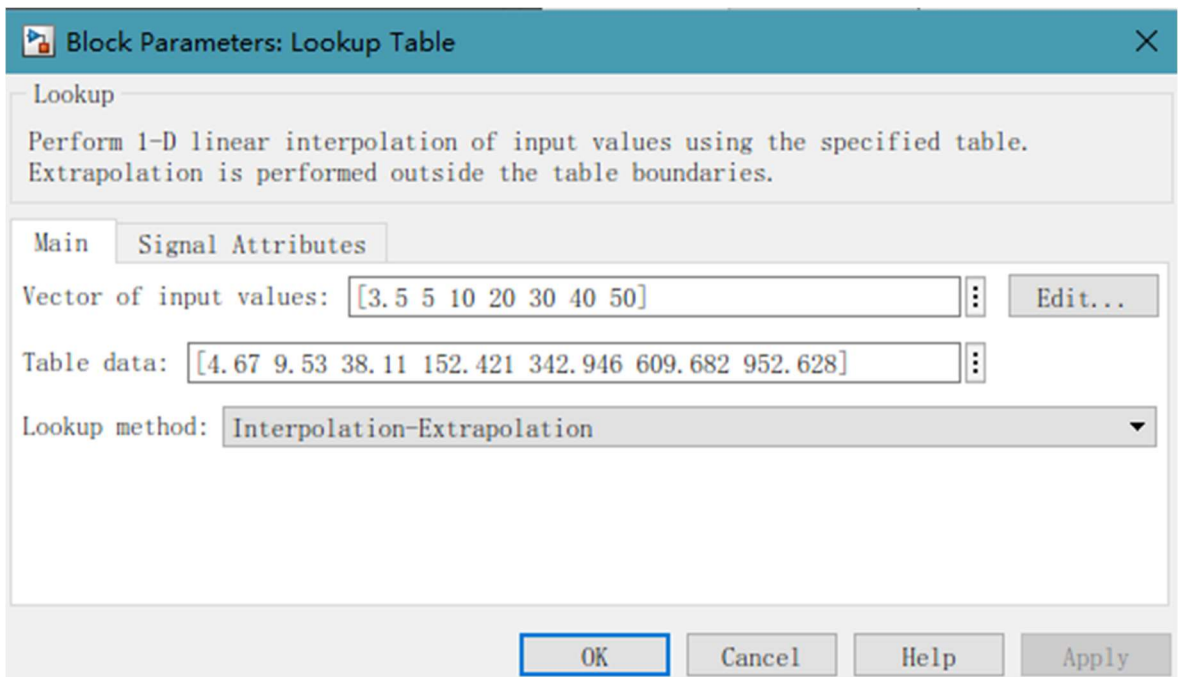


Рисунок 5.3 - Настройки модуля «Lookup Table»

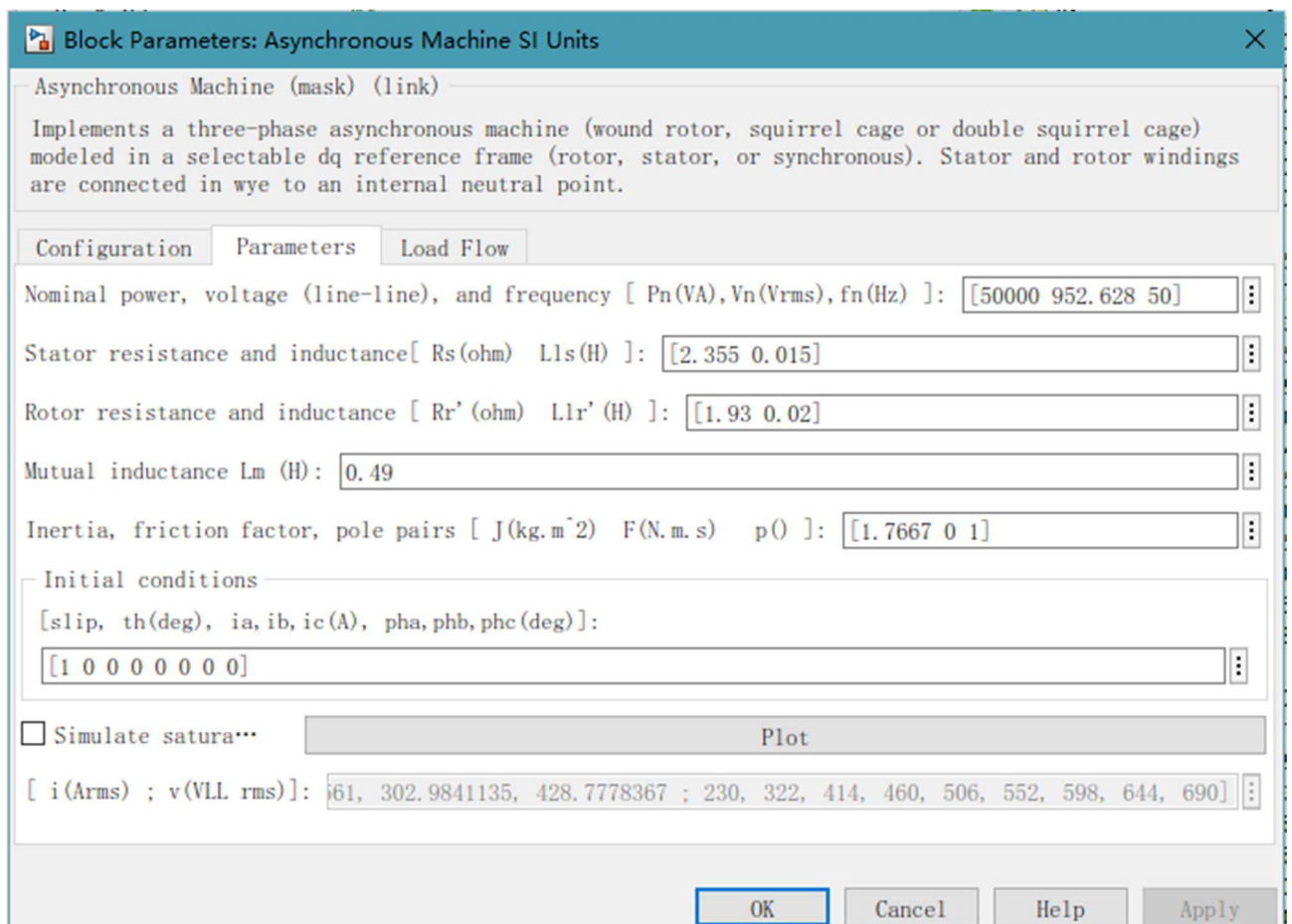


Рисунок 5.4 - Параметры двигателя

Имитационная модель показана на рис. 5.5. На рисунках 5.6-5.8 показаны два модуля в модели.

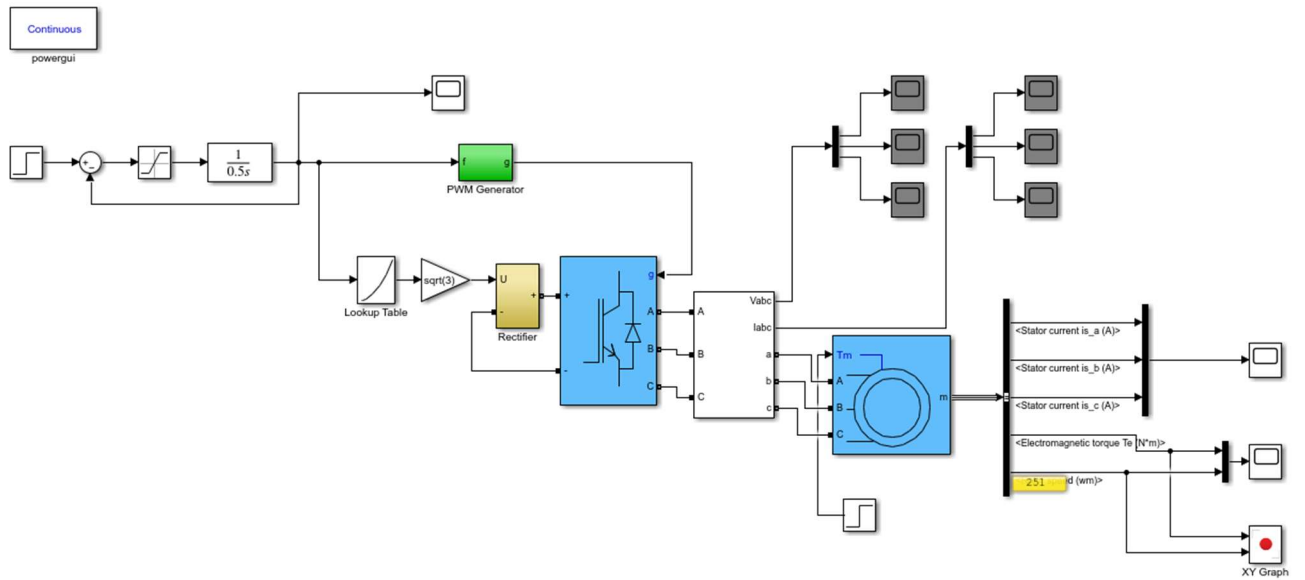


Рисунок 5.4 - Имитационная модель электрического погружного насоса

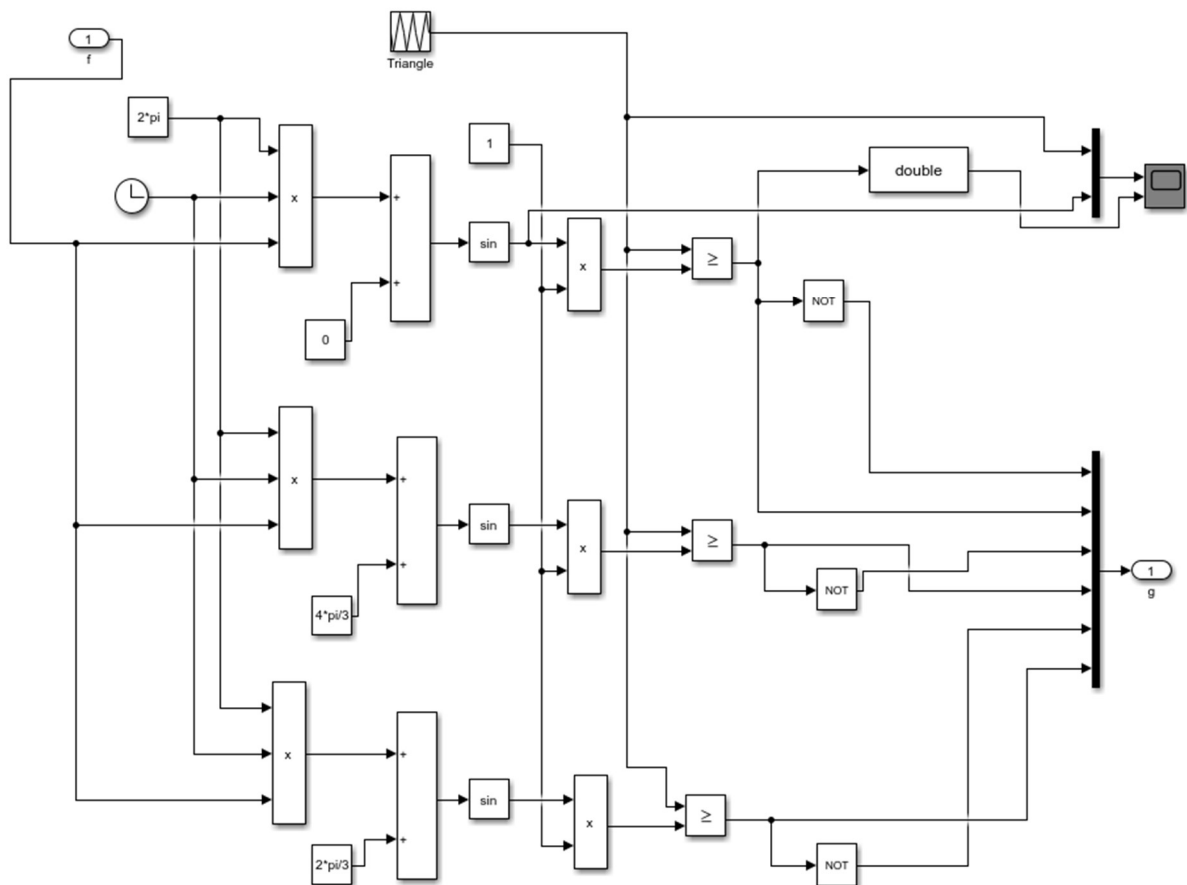


Рисунок 5.5 - Имитационная модель генератора ШИМ

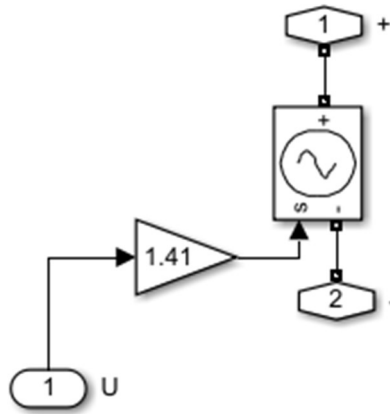


Рисунок 5.6 - Имитационная модель выпрямителя

Параметры моделирования были заданы с помощью m-файла в командной строке MATLAB на основе предыдущих расчетов:

```

%Параметры сети
f=50;
U=952.628;
U1=952.628*sqrt(3); %Линейное напряжение
%Параметры двигателя
Pn=50000; %Номинальная мощность
Lr_=0.02; %Индуктивность рассеяния обмотки ротора
Rs=2.355; %Активное сопротивление статора
Rr=1.93; %Активное сопротивление ротора
Ls_=0.015; %Индуктивность рассеяния обмотки статора
Lm=0.49; %Индуктивность цепи намагничивания
Lr=Lr_+Lm;
Ls=Ls_+Lm;
p=2; %Количество полюсов
J=1.7667; %Момент инерции
zp=p/2; %Число пар полюсов
n=2865; %Номинальная скорость

%Расчет параметров имитационной модели АД
Kr=Lm/Lr;
Km=(3*zp)/2;
Re=Rs+Rr*Kr^2;
w=(n*pi)/30;
Le=Ls-Lm^2/Lr;
Mn=Pn/w;
Ar=Rr/Lr;
Wref=2*pi*f;

%Задание закона частотного регулирования
kk = U / (f^2);
f1 = 50; U01 = kk*(f1^2);
f2 = 40; U02 = kk*(f2^2);
f3 = 30; U03 = kk*(f3^2);

```

$f_4 = 20$; $U_{04} = k k^*(f_4^2)$;
 $f_5 = 10$; $U_{05} = k k^*(f_5^2)$;
 $f_6 = 5$; $U_{06} = k k^*(f_6^2)$;
 $f_7 = 3.5$; $U_{07} = k k^*(f_7^2)$;

5.2 Переходный процесс при пуске погружного электронасоса без нагрузки

Сначала запустим имитационную модель напрямую без нагрузки. Для этого в имитационной модели отключаем нагрузку и запускаем имитационную модель для получения графика переходного процесса. Переходные процессы электромагнитного момента и скорости, тока статора и МХ показаны на рисунках 5.7-5.9 соответственно.

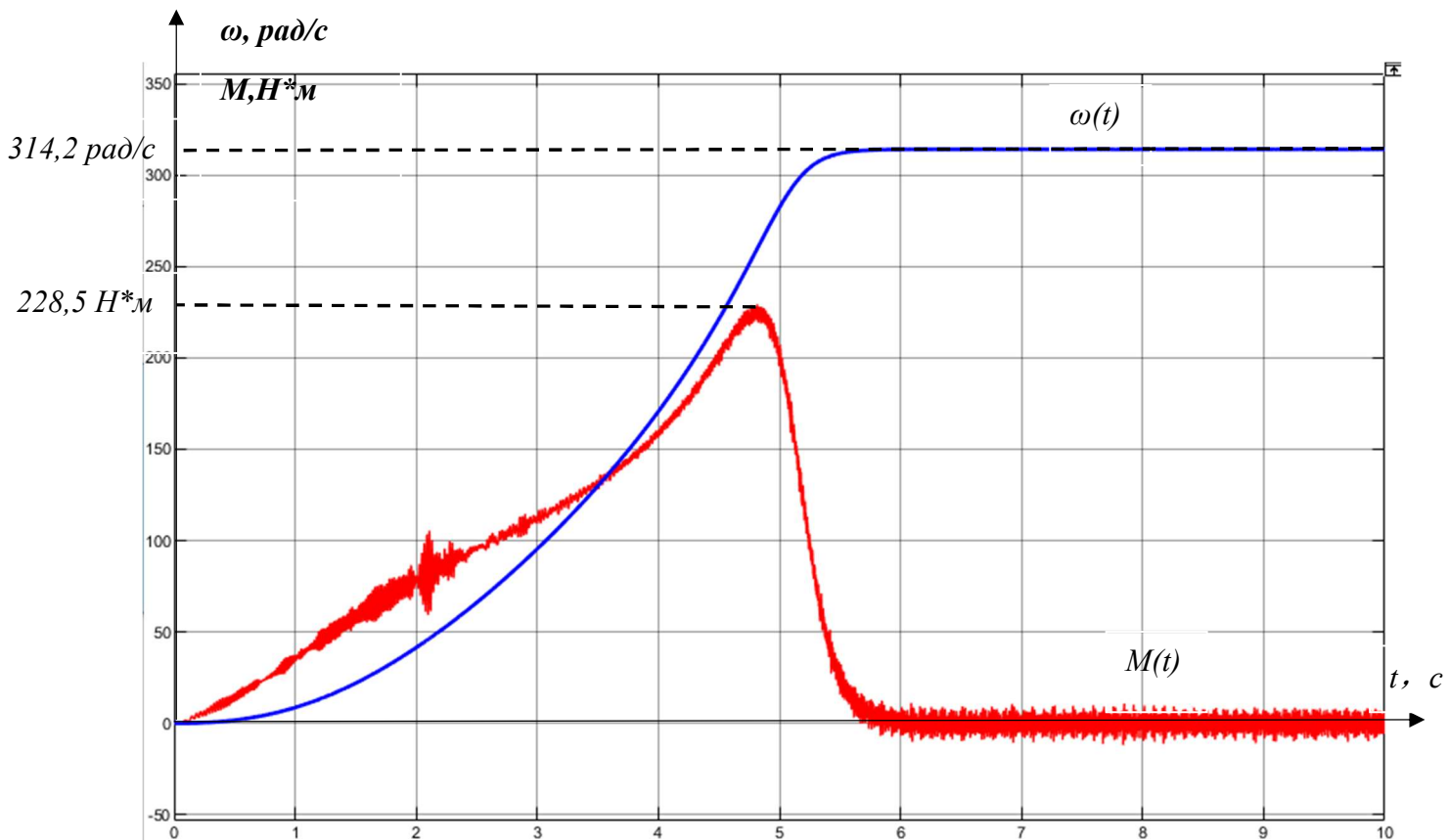


Рисунок 5.7 – Переходные процессы электромагнитного момента и частоты вращения погружного электронасоса при пуске без нагрузки

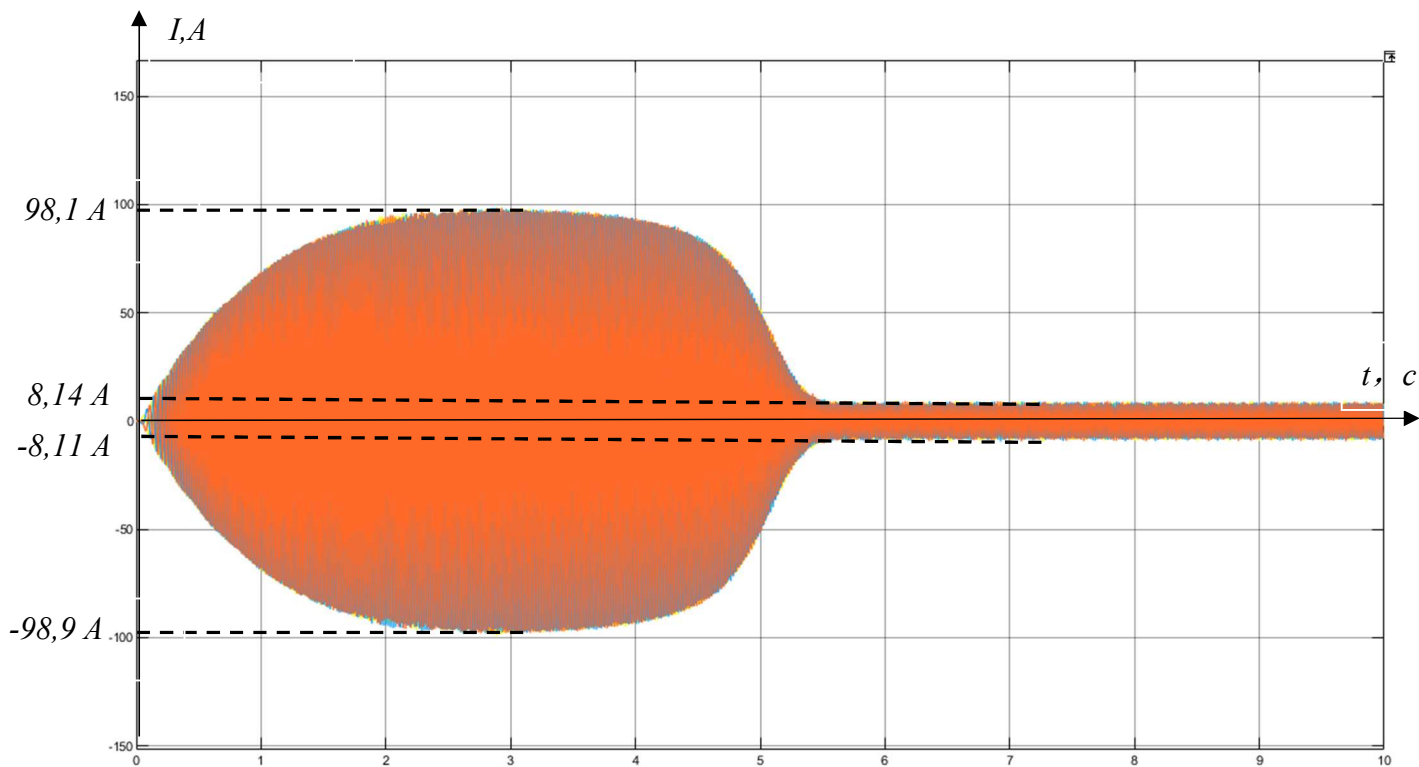


Рисунок 5.8 – Переходный процесс мгновенного значения тока статора погружного электронасоса при пуске без нагрузки

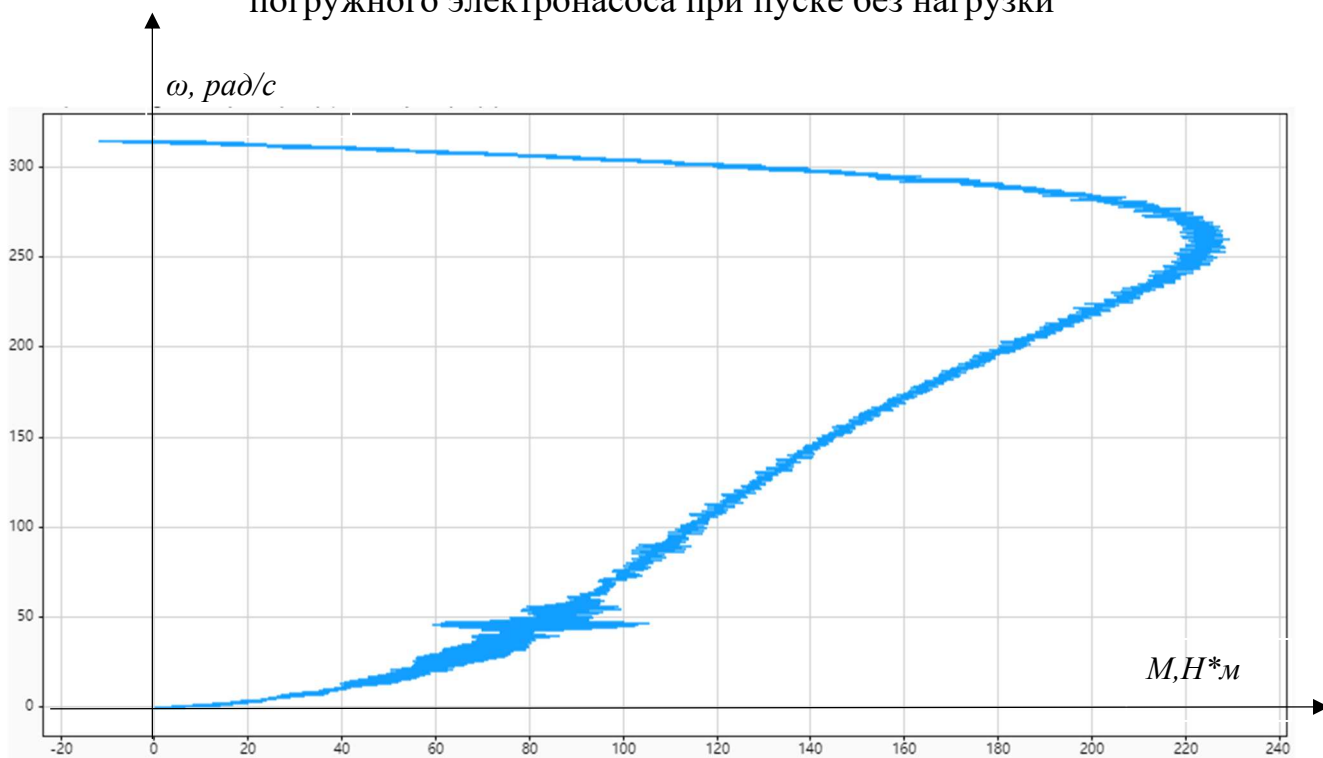


Рисунок 5.9 – Динамическая механическая характеристика электропогружного насоса без нагрузки

5.3 Переходный процесс при пуске электропогружного насоса под нагрузкой

Теперь запускаем модель прямо под нагрузкой. Ранее было указано, что нагрузка представляет собой насосную характеристику с нелинейно возрастающей характеристикой. Для этого переподключим модуль «Нагрузка» в имитационную модель погружного электронасоса и добавим нагрузку на седьмой секунде. Переходные процессы электромагнитного момента и скорости, тока статора и динамического МХ показаны на рис. 5.10-5.12 соответственно.

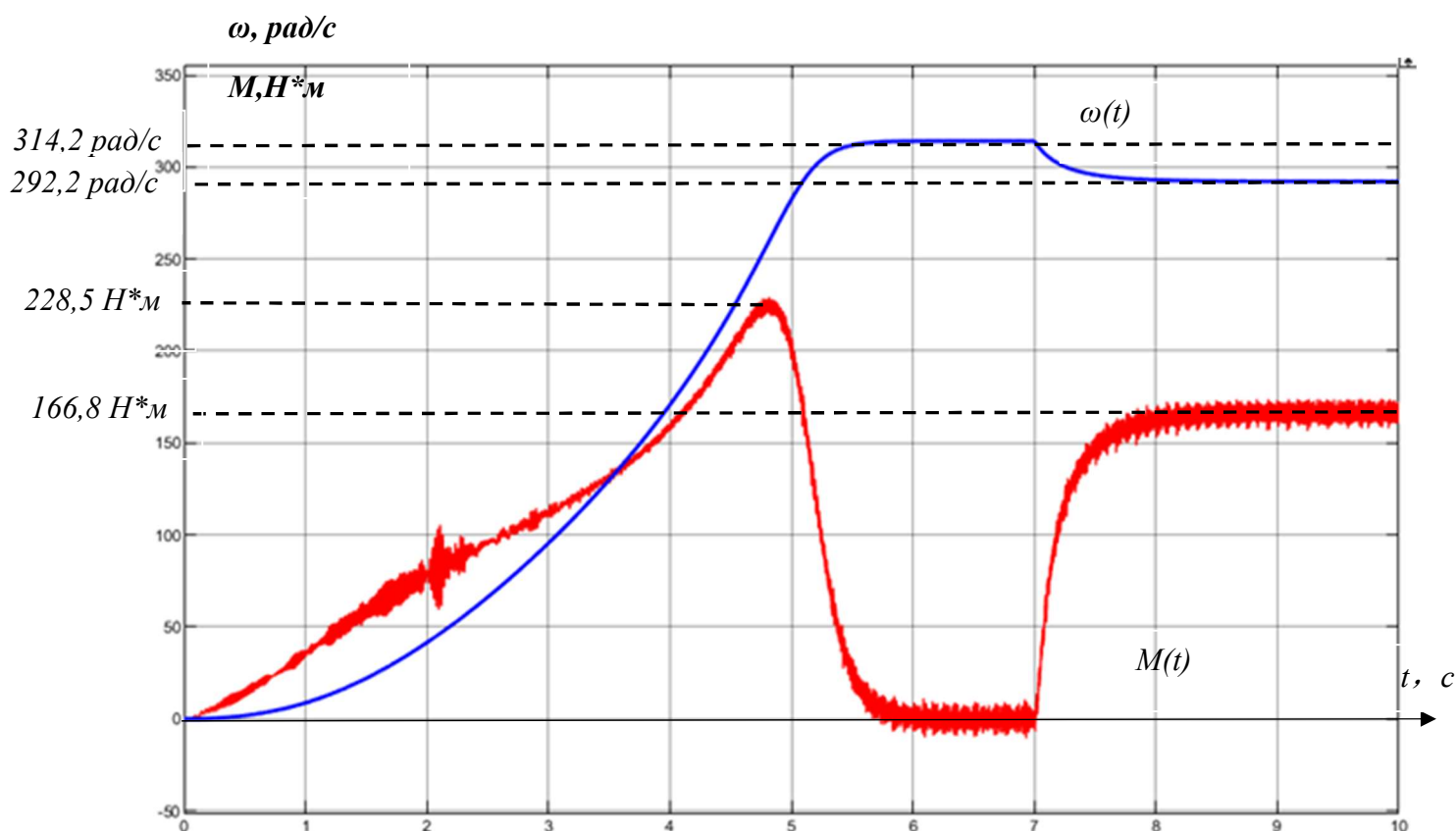


Рисунок 5.10 – Переходные процессы электромагнитного момента и частоты вращения погружного электронасоса при пуске без нагрузки с подачей нагрузки в момент времени 7 с

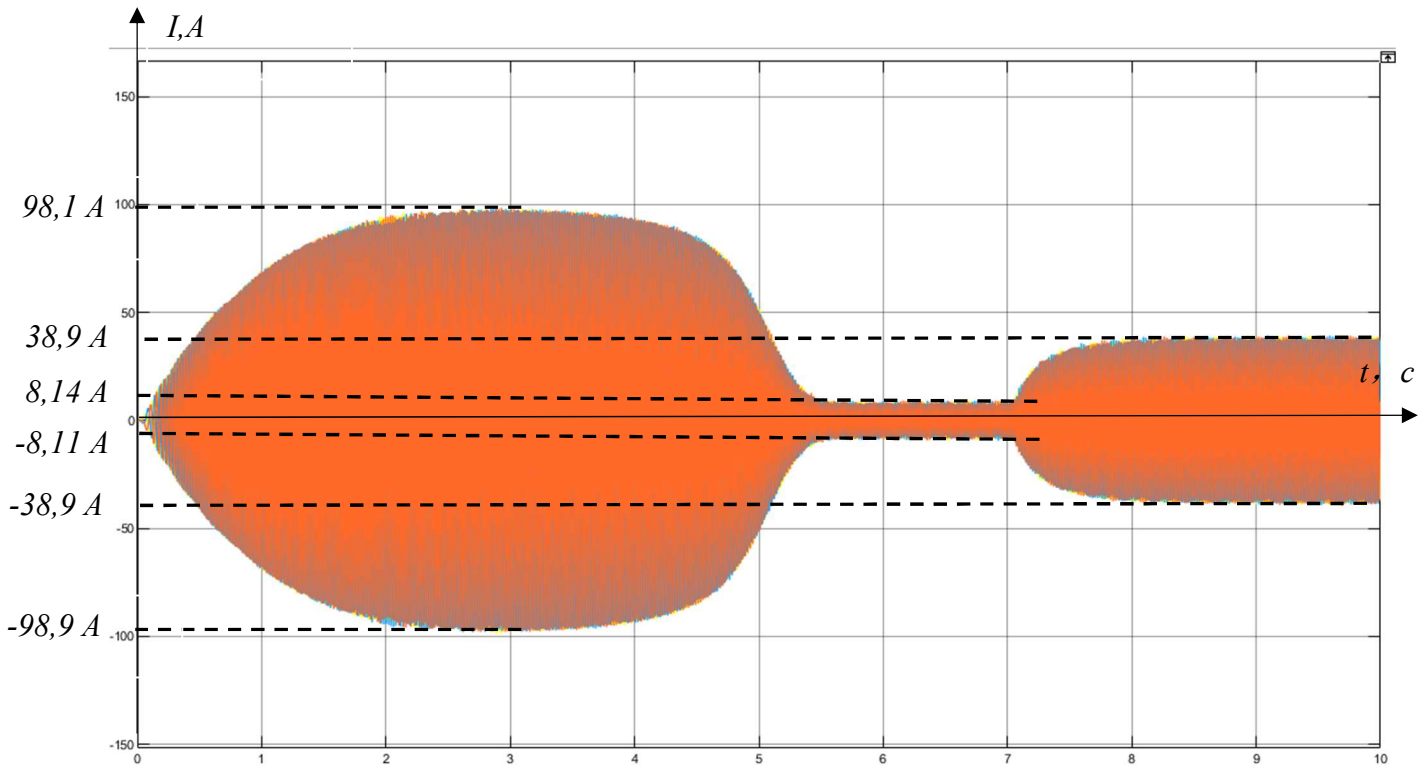


Рисунок 5.11 – Переходный процесс мгновенного значения тока статора погружного электронасоса при пуске без нагрузки с подачей нагрузки в момент времени 7 с

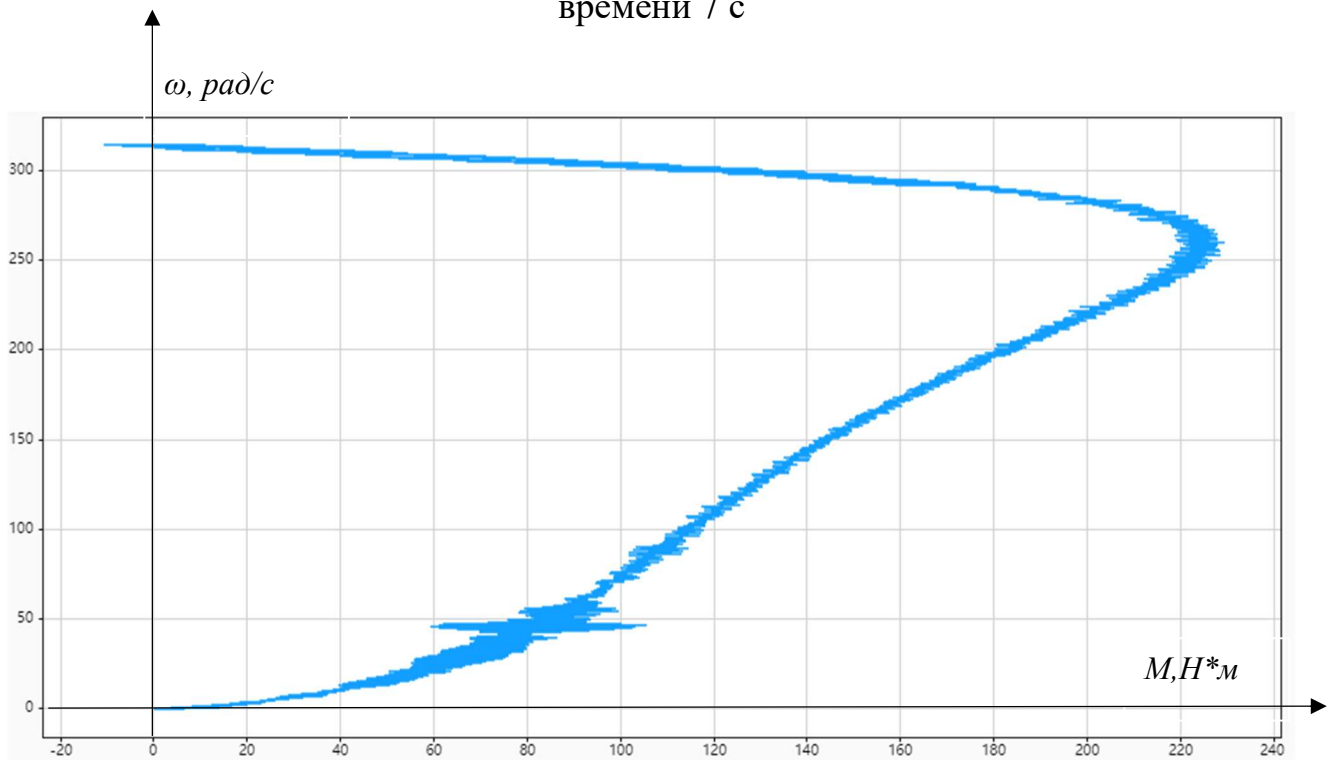


Рисунок 5.12 – Динамическая механическая характеристика электропогружного насоса без нагрузки с подачей нагрузки в момент времени 7 с

Сравнивая рисунки 5.7 и 5.10, мы можем утверждать, что до добавления нагрузки динамические характеристики вращения и момента двигателя одинаковы, вращение стабильно на уровне 314,2 рад/с, а момент до 228,5 Н*м. Динамический и статический моменты равны нулю. При набросе нагрузки на седьмой секунде число оборотов падает и стабилизируется на уровне 292,2 рад/с, момент нагрузки, равный моменту ПЭД, возрастает примерно до 166,8 Н*м, и система входит в устойчивый режим.

Затем, сравнивая рисунок 5.8 и рисунок 5.11, делаю вывод, что до добавления нагрузки ток статора постепенно увеличивается при пуске, максимальное значение составляет около 98 А, а при выходе на скорость постепенно уменьшается, и ток холостого хода составляет около 8,1 А после окончания переходного процесса пуска. После добавления нагрузки на седьмой секунде ток статора постепенно увеличивался до рабочего номинального значения 39 А, после чего система вошла в устойчивый статический режим работы.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

В магистерской диссертации описывается устройство электроцентробежного насоса с частотным пускателем ПЧ-АД, которое будет широко использоваться в нефтяной промышленности, что необходимо для защиты нормальной работы оборудования.

Поэтому для этого нам предстоит решить следующие задачи:

Проводить отраслевой анализ технических решений;

Анализ SWOT;

Определить план исследования и сроки;

Определить бюджет исследования.

Определить эффективность исследования

6.1 Предпроектный анализ

В настоящее время на российском рынке представлено множество станций управления устройствами погружных электронасосов с частотным пускателем ПЧ-АД.

На данный момент существует четыре основных варианта:

Станции управления ШГС 5805-МР;

Станции управления НКУ 800

Станция управления серии Электон-05.

Для серии станций управления Электон-05, используемых в проекте, мы привели рейтинговую шкалу и сравнили ее со Станцией управления НКУ 800. В оценочной таблице мы сравниваем и оцениваем несколько аспектов и, наконец, получаем фактор оценки качества, который может отражать плюсы и минусы решения по оборудованию. В таблице 1 Изготовитель 1 означает Станция управления Электон-05, Изготовитель 2 означает Станция управления НКУ 800.

Таблица 6.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес Критерия	Баллы		Максимальный балл	Конкурентоспособность	
		Изготовитель 1	Изготовитель 2		К1	К2
1	2					
Показатели оценки качества разработки						
1. Энергоэффективность	0.07	95	94	100	6.65	6.58
2. Помехоустойчивостью	0.1	90	90	100	9	9
3. Надежность	0.04	90	87	100	3.6	3.48
4. Унифицированность	0.08	90	88	100	7.2	7.04
5. Уровень материалоемкости разработки	0.05	97	95	100	4.85	4.75
6. Уровень шума	0.04	82	80	100	3.28	3.2
7. Безопасность	0.01	90	90	100	0.9	0.9
8. Потребность в ресурсах памяти	0.03	90	85	100	2.7	2.55
9. Функциональная мощность(предоставляемые возможности)	0.03	95	85	100	2.85	2.55
10. Простота эксплуатации	0.04	98	98	100	3.92	3.92
11. Качество интеллектуального интерфейса	0.06	96	90	100	5.76	5.4
12. Ремонтопригодность	0.05	100	100	100	5	5
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки						
13. Конкурентоспособность продукта	0.04	90	88	100	3.6	3.52
14. Уровень проникновения на рынок	0.04	70	67	100	2.8	2.68
15. Перспективность рынка	0.08	95	95	100	7.6	7.6
16. Цена	0.1	65	75		6.5	7.5
17. Послепродажное обслуживание	0.02	90	90	100	1.8	1.8
18. Финансовая эффективность научной разработки	0.05	78	75	100	3.9	3.75
19. Срок выхода на рынок	0.04	71	60	100	2.84	2.4

20. Наличие сертификации разработки	0.03	80	80	100	2.4	2.4
Итого	1				87.15	86.02

Чтобы проанализировать производительность и экономичность основных технологических решений оборудования в нефтяной промышленности, используются следующие формулы для измерения их плюсов и минусов:

$$K_i = \sum B_i \cdot B_i$$

где K_i – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Оценка по приведенной выше формуле:

$$K_1 = 0,07 * 95 + 0,1 * 90 \dots + 0,03 * 80 = 87,15$$

$$K_2 = 0,07 * 94 + 0,1 * 90 \dots + 0,03 * 80 = 86,02$$

Видно, что у обоих производителей баллы выше 85, что говорит о том, что оба имеют перспективы практического применения, но проект Станция управления серии Электон-05 имеет более высокую прикладную ценность, и его балл составляет 87,15. Сравнивая их, можно обнаружить, что Станция управления серии Электон-05 имеет большее преимущество в следующих аспектах: Функциональная мощность; Качество интеллектуального интерфейса; Срок выхода на рынок;

Это означает, что станция управления серии «Электон-05» более современная и интеллектуальная. Преимущество станции управления ЭЦН Триола в том, что она дешевле и экономичнее. Однако из-за раннего дизайна он не такой умный, как первый.

Но все они могут реализовать управление плавным пуском электроцентробежного насосного устройства, и предприятие может выбрать их в соответствии с конкретными потребностями в производственных условиях.

При проведении SWOT-анализа выделили следующие аспекты (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Снижение потребления электроэнергии;</p> <p>С2. Обеспечение высокого уровня отказоустойчивости;</p> <p>С3. Увеличение уровня безопасности производственного процесса;</p> <p>С4. Невысокие затраты на ремонт и обслуживание оборудования;</p> <p>С5. Квалифицированные кадры.</p>	<p>Сл1. Большая стоимость устанавливаемого оборудования;</p> <p>Сл2. Длительный срок поставки;</p> <p>Сл3. Высокий уровень шума во время работы.</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Снижение себестоимости благодаря интеграции новых технологий;</p> <p>В2. Регулировка производительности энергоблоков;</p> <p>В3. Увеличение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>1) Системная структура погружного насосного устройства с электроприводом, управляемого станцией управления плавным пуском, проще и удобнее в использовании и может использоваться для других целей, таких как разведка нефти.</p> <p>2) Возможность запуска нескольких асинхронных двигателей последовательно через систему ТРН-АД для снижения затрат на оборудование;</p> <p>3) Оборудование данной схемы просто по устройству и легко в обслуживании.</p>	<p>1) Сократить срок окупаемости инвестиций в оборудование за счет внедрения инновационных решений;</p> <p>2) Осуществлять более совершенный надзор.</p>

	Предприятиям, перешедшим на непрерывный режим производства, рекомендуется внедрять это оборудование.	
Угрозы У1. Ухудшение отношений с поставщиками; У2. Ужесточение требований к стандартизации и сертификации со стороны государства; У3. Отсутствие финансовой поддержки со стороны государства.	1) Техническое обслуживание и увеличение стоимости из-за вложения сложного оборудования; 2) повысить строгость проверки технического состояния и рабочего состояния оборудования;	1) Возможность сокращения срока окупаемости производственной системы; 2) Из-за отсутствия регулирования напряжения теряется защита системы и регулировка скорости.

Из матрицы SWOT мы четко перечисляем сильные и слабые стороны этой системы электропривода. Анализ отражает возможности, вытекающие из наличия сильных сторон, и угрозы, которые могут повлиять на эти сильные стороны. Вероятность возникновения известных угроз намного ниже, чем у других решений с электроприводом, а положительное влияние проекта больше. В ходе реализации данного проекта мы получим УЭЦН, управляемый станцией плавного пуска ПЧ-АД, обладающий высоким КПД, длительным сроком службы и неприхотливостью в обслуживании.

6.2 Инициация проекта

Устав научного проекта магистерской работы:

1. Цели и результат проекта. Целью проекта является разработка математической и имитационных моделей УЭЦН с описанием всех необходимых подсистем: ПЭД; погружной кабель; силовой преобразователь - ПЧ-АД. Проведены исследования режимов работы, подтверждающие все необходимые

требования для вывода скважины в нормальную эксплуатацию. Мы завершили подбор оборудования и компонентов и расчет теоретической части, затем завершили моделирование статической характеристики в mathcad, а затем завершили моделирование динамической характеристики в Simulink.

2. Организационная структура проекта. В таблице 6.3 представлена организационная структура проекта (роль каждого участника, их функции).

Таблица 6.3 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции
1.	Кладиев Сергей Николаевич, доцент ОЭЭ ИШЭ	Руководитель проекта	Реализация проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координация деятельности участников проекта
2.	Мао Маоин	Исполнитель по проекту	Разработка математической и имитационных моделей УЭЦН с описанием всех необходимых подсистем.

6.3 Планирование управления научно-техническим проектом

План работ. Сначала мы сформировали рабочую группу, состоящую из руководителя и ученика, которые совместно организуют рабочий процесс и рабочий календарь [26].

В этом исследовании конкретный рабочий процесс разделен на следующие этапы:

№ 1 – Определение темы исследования – на этом этапе руководитель разрабатывает тему исследования для студента;

№ 2 – Исследование соответствующей литературы - студент получают необходимые знания для решения проблем из предметной литературы.

№ 3 – Составление технических заданий – на этом этапе руководитель формулирует параметры технического задания для студента, на основании которого студент выполняет исследовательскую работу;

№ 4 – Выбор подходящих насосов;

№ 5 – Выбор подходящих элементов электропривода;

№ 6 – Выбор подходящих станций управления и другого оборудования;

№ 7 – Расчет элементов электропривода, построение механических и электромеханических характеристик;

№ 8 – Компьютерное моделирование на основе выбранных компонентов;

№ 9 – Выполнение сводной работы и отчета о научно-исследовательской работе;

№10 – Руководитель проверит полноту и правильность работы

№11 – сдача и защита проекта перед комиссией.

Таблица 6.4– Календарь исследовательской работы

№	Основные этапы	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, t_{min} , чел.-дн	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, t_{max} , чел.-дн.	Продолжительность одной работы, T_p , раб.дн.	Должность исполнителя
1	Определение темы исследования	1	1	1	Руководитель
2	Исследование соответствующей литературы	8	12	10	Студент
3	Составление технических заданий	1	1	5	Руководитель
4	Выбор насоса	4	6	5	Студент
					Руководитель
5	Выбор электропривода	4	6	5	Студент
					Руководитель
6	Выбор станций управления и другого оборудования	14	16	15	Студент
					Руководитель
7	Расчет характеристики электропривода	14	16	15	Студент

8	Компьютерное моделирование	14	16	15	Студент
9	Выполнение сводной работы и отчета	8	9	10	Студент
10	Проверка полноты и правильности	4	6	5	Руководитель
					Студент
11	сдача и защита проекта	1	1	1	Студент

Составленная нами таблица этапов работы устанавливает последовательность научных исследований и эффективно распределяет роли исполнителей по этапам плана работы. Весь рабочий цикл составляет 87 дней, в основном для выполнения заданий студентами, а руководители будут участвовать в руководстве. Фактическая продолжительность работы может отличаться от плана, но в целом соответствует плану.

Представим бюджет НТИ. Комплектующие, необходимые для данной разработки, приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.5 – Затраты на комплектующие

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1.	Электродвигатель ПЭДНС 50-96-1650/00	1	2500	2500
2.	Системы погружной телеметрии ИРЗ ТМС	1	51030	51030

3.	устройства для системы регулируемого электропривода СУ Электон-05А ПЧ-ТППТ-250-380-50-УХЛ1	1	10000	10000
4.	Кабель КППБПТЛ-125-УХЛ1 3x10	10	112,43	1124,3
ИТОГО:				64654,3

Из таблицы видно, что затраты на комплектующие для проектирования составляют 64654,3 рублей.

Рассчитаем стоимость создания аналога, а именно УЭЦН с частотным пускателем ТРН-АД. Все расчеты по приобретению комплектующих для выполнения данной темы, сводятся в таблицу 6.6.

Таблица 6.6 – Затраты на комплектующие для создания системы электропитания ТРН-АД

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1.	Асинхронный двигатель АИР160L6	1	47380р.	47380р.
2.	устройства для системы регулируемого электропривода СУ Электон-07 ПЧ-ТППТ-250-380-50-УХЛ1	1	82340р.	82340р.

3.	Оборудованная печатная плата	1	15000р.	15000р.
4.	КПСнг(А)-FRHF 2x2x1,00 (ЭНТЭ)	10	112,43	1124,3
ИТОГО:				145844,3

Основная заработная плата научных и инженерных работников, непосредственно вовлеченных в выполнение работ по этому предмету проектирования, определяется на основе трудоемкости выполняемой работы и существующей системы окладов и тарифных ставок. Статья включает в себя основную заработную плату сотрудников, непосредственно занимающихся проектированием и дополнительной заработной платой:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп};$$

где:

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

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб};$$

где:

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

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн;

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

Средневзвешенная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D},$$

где:

Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

F_D – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_б \cdot (k_{np} + k_д) \cdot k_p,$$

где:

$Z_б$ – базовый оклад, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент;

$k_д$ – коэффициент доплат и надбавок;

k_p – районный коэффициент.

Определим месячный должностной оклад инженера:

$$Z_{M(инж.)} = Z_б \cdot (k_{np} + k_д) \cdot k_p = 17000 \cdot 1,3 = 22100 \text{ руб.}$$

Далее произведем расчет среднедневной заработной платы для инженера:

$$Z_{дн(инж.)} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D} = \frac{22100 \cdot 10,4}{243} = 945,84 \text{ руб.}$$

Рассчитаем основную заработную плату инженера:

$$Z_{осн(инж.)} = Z_{дн} \cdot T_{раб} = 945,84 \cdot 100 = 94584,36 \text{ руб.}$$

Аналогично произведем расчет для руководителя проекта.

Месячный должностной оклад руководителя проекта

$$Z_{M(рук.пр.)} = Z_б \cdot (k_{np} + k_д) \cdot k_p = 26300 \cdot 1,3 = 34190 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата руководителя проекта:

$$Z_{дн(рук.пр.)} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D} = \frac{34190 \cdot 10,4}{243} = 1463,28 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата руководителя проекта:

$$Z_{осн(рук.пр.)} = Z_{дн} \cdot T_{раб} = 1463,28 \cdot 9 = 13169,52 \text{ руб.}$$

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн};$$

где:

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

$$Z_{доп}(инж) = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 94584,36 = 14187,65 \text{ руб.};$$

$$Z_{доп}(рук.пр) = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 13169,52 = 1975,43 \text{ руб.};$$

$$C_{зн}(инж.) = 94584,36 + 14187,65 = 108772 \text{ руб.};$$

$$C_{зн}(рук.пр.) = 13169,52 + 1975,43 = 15144,95 \text{ руб.}$$

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп});$$

где:

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

$$Z_{внеб}(рук.пр) = 0,302 \cdot 15144,95 = 4573,78 \text{ руб.}$$

$$Z_{внеб}(инж) = 0,302 \cdot 108772 = 32849,14 \text{ руб.}$$

Расчет амортизационных отчислений для полного восстановления основных фондов производится по нормам амортизации, утвержденным в порядке, установленном действующим законодательством, и определяется в зависимости от стоимости оборудования. Для проектирования требуется следующее оборудование на сумму– 64654,3 рублей.

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

где:

- $T_{ис}$ – время использования оборудования = 81 дней;

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

$$I_{ам} = \frac{T_{ис}}{T_{\Gamma}} \cdot \frac{1}{T_{сл}} \cdot C_{обор} = \frac{81}{365} \cdot \frac{1}{3} \cdot 64654,3 = 4782,64 \text{ руб.}$$

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

$$З_{накл} = (З_{осн} + З_{дон}) \cdot k_{нр};$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$З_{накл} = (108772 + 15144,95) \cdot 0,16 = 19826,712 \text{ руб.}$$

Определение бюджета затрат на проектирование по каждому варианту исполнения приведен в таблице 6.5.

Таблица 6.7 – Бюджет затрат на проектирование

Наименование статьи	руб.	%
Материальные затраты НТИ	64654,3	25,8
Затраты на заработную плату исполнителей темы	123916,95	49,44
Отчисления во внебюджетные фонды	37422,92	14,93
Амортизационные отчисления	4782,64	1,9
Накладные расходы	19826,712	7,93
Итого	250603,522	100

Таблица 6.8 – Бюджет затрат по вариантам исполнения проекта

Наименование статьи	руб.
---------------------	------

Материальные затраты НТИ	64654,3	145844,3
Затраты на заработную плату исполнителей темы	123916,95	123916,95
Отчисления во внебюджетные фонды	37422,92	37422,92
Амортизационные отчисления	4782,64	4782,64
Накладные расходы	19826,712	19826,712
Итого	250603,52	331793,52

6.4 Оценка абсолютной эффективности проекта

Для оценки общей экономической эффективности используются основные показатели: чистая текущая стоимость (NPV); индекс доходности (PI); внутренняя ставка доходности (IRR); срок окупаемости (DPP). Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 6.9. При расчете рентабельность проекта составляла 25 %.

Таблица 6.9 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	313254,4	313254,4	313254,4	313254,4
2	Итого приток, руб.	0	313254,4	313254,4	313254,4	313254,4
3	Инвестиционные издержки, руб.	- 250603,522	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (35% от бюджета)	0	87711,23	87711,23	87711,23	87711,23
5	Налогооблагаемая прибыль	0	225543,17	225543,17	225543,17	225543,17
6	Налоги (20%), руб.	0	45108,63	45108,63	45108,63	45108,63
7	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	180434,54	180434,54	180434,54	180434,54
8	Чистый денежный поток (ЧДП), руб	- 250603,522	185217,18	185217,18	185217,18	185217,18
9	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$ (КД)	1	0,833	0,694	0,578	0,482
10	Чистый дисконтированный	- 250603,522	154285,91	128540,72	107055,53	89274,68

	денежный поток (ЧДД), руб.					
11	\sum ЧДД	479156,54				
12	Итого NPV, руб.	228553				

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 6.10 и на рисунке 6.1.

Таблица 6.10 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	- 250603,522	185217,18	185217,18	185217,18	185217,18	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
1	1	0,500	0,250	0,125	0,062		
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	- 250603,522	168362,4	152989,4	139098,1	126503,3	336349,7
	0,2	- 250603,522	154285,9	128540,7	107055,5	89274,7	228553,3
	0,3	- 250603,522	142432,0	109648,6	84273,8	64826,0	150576,9
	0,4	- 250603,522	132245,1	94460,8	67419,1	48156,5	91677,8
	0,5	- 250603,522	123539,9	82236,4	54639,1	36673,0	46484,8
	0,6	- 250603,522	115760,7	72234,7	45193,0	28338,2	10923,1
	0,7	- 250603,522	108907,7	62047,8	37599,1	20744,3	-21304,7

	0,8	- 250603,522	102980,8	57232,1	31672,1	17595,6	-41122,9
	0,9	- 250603,522	97424,2	51305,2	27041,7	14261,7	-60570,7
	1,0	- 250603,522	92608,6	46304,3	23152,1	11483,5	-77055,0

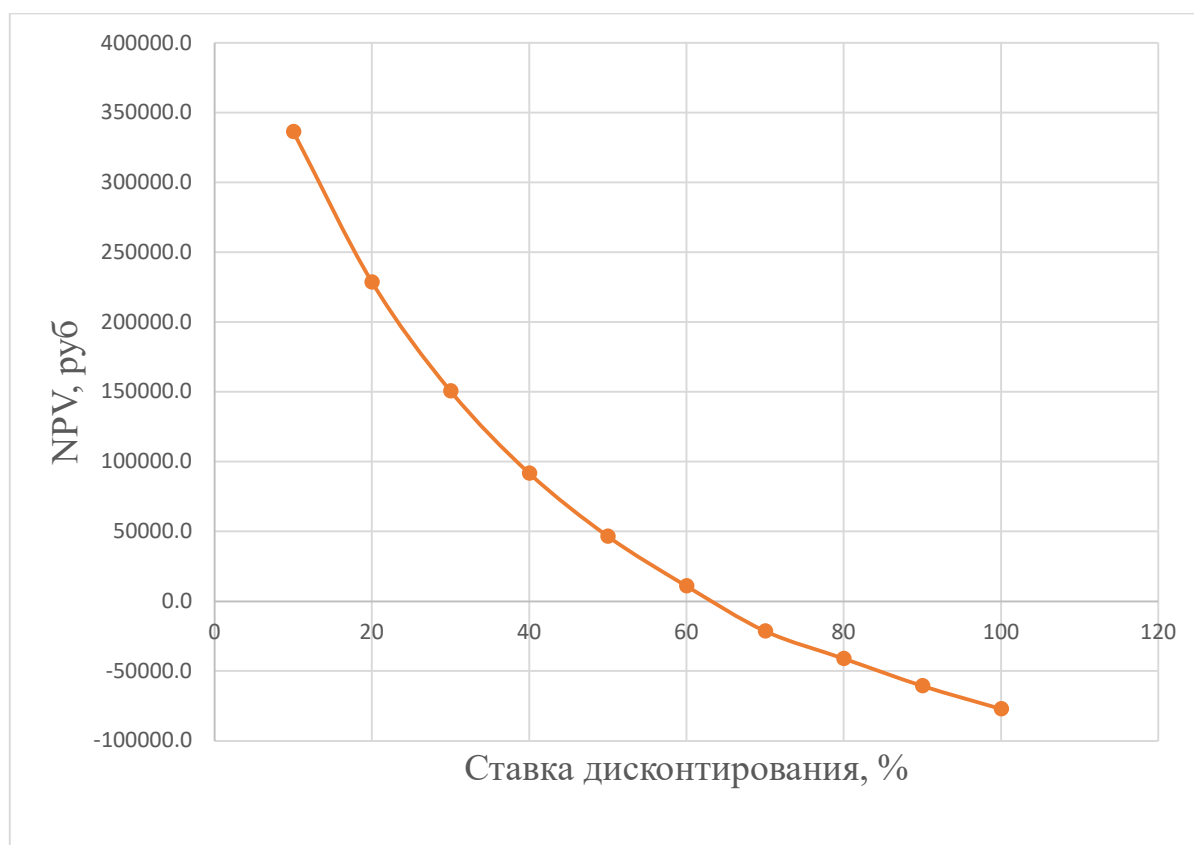


Рисунок 6.1 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет $\approx 63\%$, следовательно, проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта: $63\% - 30\% = 33\%$

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 6.11).

Таблица 6.11 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток, руб.	- 250603,5 22	154285,91	128540,72	107055,53	89274,68
2	То же нарастающим итогом, руб.	- 250603,5 22	-96317,6	32223,13	139278,66	228553,34
3	Дисконтированный срок окупаемости	$DRR_{дск} = 1 + (96317,6 / 128540,72) = 1,75$ года				

6.5 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}$$

где I_{ϕ}^p – интегральный показатель разработки;

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

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно – исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\phi 1}^p = \frac{250603,52}{331793,52} = 0,76;$$

$$I_{\phi 2}^p = \frac{331793,52}{331793,52} = 1;$$

Следовательно, исходя из этого, можно сделать вывод, что интегральный показатель разработки текущего проекта показывает удешевление стоимости разработки в 0,693 раз (около 30 %), а интегральный показатель разработки аналога 2 равен 1.

Ресурсоэффективность проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта рекомендуется рассмотреть следующие критерии, см. таблицу 6.7:

1. Удобство в эксплуатации;
2. Надежность;
3. Безопасность;
4. Экономичность;
5. Гибкость.

Таблица 6.11 – Критерии ресурсоэффективности и их характеристики

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки	Балльная оценка аналога 1
1. Удобство в эксплуатации	0,15	5	4
2. Надежность	0,2	5	4
3. Безопасность	0,15	5	4
4. Экономичность	0,2	5	4
5. материалоемкость	0,15	5	4
6. Энергосбережение	0,15	5	3
Итого:	1	5	3,85

Интегральный показатель эффективности разработки и аналога определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя результат представлен в таблице 6.8

Сравнительная эффективность проекта представлена в таблице 6.8:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a}$$

где

\mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта;

$I_{финр}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{финр}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Отразим сравнительную эффективность разработки в таблице 6.8.

Таблица 6.12 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,76	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	5	3,85
3	Интегральный показатель эффективности	6,58	3,85
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,7	

Выводы по главе:

В результате сравнения и оценки критериев систем стабилизации частоты вращения, выбрана разрабатываемая система управления микроконтроллером, т.к. она обладает оптимальными техническими показателями при выгодной стоимости проекта. Были составлены графики проведения НИИ, определено количество работников, рассчитаны затраты. На проведение работ затрачено 250603,5 руб., на приобретение оборудования 64654,3 руб. Работы были проведены за 100 рабочих дней бригадой из двух человек. На основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования, а также по

итогах сравнения финансовой и ресурсной эффективности наиболее эффективной получается наша разработка. Также, проведя абсолютную оценку эффективности проекта сделан вывод, что проект является эффективным.

7 Социальная ответственность

Проведен анализ рабочих характеристик электроцентробежного насосного устройства при работе устройства плавного пуска в виде компьютерной имитационной модели. Но это моделирование в идеальных лабораторных условиях, а не сценарий реального применения.

В реальном производственном процессе монтаж и управление устройством электроцентробежного насоса является потенциально опасным процессом. Небрежное обращение приведет к экономическим потерям предприятия и травмам или даже гибели персонала.

Поэтому нам необходимо предусмотреть полные меры безопасности для устранения всех возможных аварийных ситуаций в производственном процессе.

7.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Чтобы узнать, как организовать операторов для правильного и безопасного использования электрических погружных насосов для производственных операций, мы можем обратиться к соответствующим законам, обнародованным в стране.

Основные правовые гарантии обеспечения промышленной безопасности регулируются Трудовым кодексом Российской Федерации (2001 г. и последующими изменениями и дополнениями). Законодательство о труде Российской Федерации регулирует правоотношения между работниками и работодателями, включая, но не ограничиваясь правами и вознаграждениями, нормированием труда, отпусками и др.

Кодекс предусматривает, что работодатели должны приобретать услуги обязательного социального страхования для работников для обеспечения прав работников, а работники должны получать надлежащую компенсацию при возникновении производственных травм или профессиональных заболеваний. В то же время работодатели должны проводить до приема на работу сотрудников по технике безопасности и профессиональному обучению.

В процессе работы отделение должно соблюдать правила техники

безопасности, предусмотренные законом:

- Обеспечение безопасности работников при эксплуатации оборудования и инструментов, сырья и материалов, используемых в производстве;
- Необходимо использовать специальную защитную одежду, каски, маски, обувь и другие предметы (в процессе производства погружного электронасоса выбросы выхлопных газов большие, загрязняющие вещества сложные, токсичные, разнообразные, выбросы концентрированные, что это очень вредно) ;
- Операторы работают посменно в соответствии с установленным временем - каждый человек работает непрерывно не более 8 часов в день (долговременная работа будет отвлекать внимание оператора, что приведет к увеличению аварийности) ;
- Проведение необходимых периодических медицинских осмотров сотрудников;
- Несовершеннолетним и лицам с медицинскими противопоказаниями запрещается работать во взрывоопасных зонах;
- Регулярная проверка техники безопасности на производственных площадках.

Вышеуказанные правила могут эффективно защитить личную безопасность рабочих на производственной площадке, но в процессе производства электрических погружных насосов, помимо операторов на площадке, также присутствует персонал в удаленной операционной. Нам также необходимо сформулировать соответствующие правила безопасности для него.

Применительно к рабочим местам в помещении учитывайте: позу сотрудников в офисе, вместимость помещения, возможность просматривать элементы рабочего места, связь с внешним пространством, способность организовывать и публиковать офисные документы.

Планировка рабочего места должна оставлять достаточно места для передвижения людей и работы оборудования, при этом необходимо учитывать

ограничения, налагаемые рабочей одеждой и оборудованием. При этом планировка рабочей зоны должна обеспечивать необходимую связь оператора с оборудованием и между операторами (зрительную, слуховую, тактильную и т.д). В то же время работникам должно быть предоставлено соответствующее время и место для отдыха, чтобы снизить рабочую утомляемость и повысить эффективность работы.

Персонал в удаленной операционной может удаленно наблюдать за состоянием всего производственного оборудования в режиме реального времени через компьютерную систему и подолгу сидеть перед рабочим столом. Размер верстака влияет на рабочее положение оператора. Высота верстака определяется высотой инструмента от пола до ровного стола. В то же время конструкция сиденья (угол, высота, площадь и т. д.) также очень важна, и в соответствии с различными видами работ предъявляются различные требования к конструкции в ГОСТ 12.2.032–78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» и ГОСТ 21889–76* «Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования». Общие диапазоны регулировки перечислены в таблице 7.1, согласно [27] и [28].

Таблица 7.1 – Организационные требования к рабочим местам при использовании персональных компьютеров

Требование	Требуемое значение	Значение параметров в помещении
Высота рабочей поверхности стола	Регулируемая высота (680-800мм) Нерегулируемая высота (725мм)	Нерегулируемая высота (700 мм)
Рабочий стул	Подъемно-поворотный, регулируемый по высоте и углу наклона спинки	Не соответствует
Расположение монитора от глаз пользователя	600-700мм	Соответствует

При организации рабочего места в организации все работники должны быть защищены от опасных и вредных элементов по ГОСТ 12.0.003-74 [29] и

должны быть обеспечены средствами успешного ухода с рабочего места в случае возникновения аварийной ситуации.

7.2. Производственная безопасность

При добыче нефти с помощью ЭЦН операторы могут подвергаться следующим вредным производственным факторам (ВПФ) опасным производственным факторам (ОПФ)[29].

Таблица 7.2 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы	Нормативные документы
1. Ухудшение и загрязнение воздуха (ВПФ)	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
2. Повышенный уровень шума (ВПФ)	СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003
3. Повышенный уровень вибрации (ВПФ)	ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования. И ГОСТ 12.4.002 – 97 ССБТ. Средства индивидуальной защиты рук от вибрации. Общие технические требования.
4. Опасность поражения электрическим током (ОПФ)	ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

7.2.1 Анализ вредных производственных факторов

Нефть, полученная в процессе производства, содержит такие элементы, как углерод, сера, водород, в процессе эксплуатации и добычи может образовывать различные токсичные и вредные газы (окись углерода, сероводород, двуокись серы, двуокись кислорода и др.), которые могут угрожать жизни персонала на площадке.

После того, как эти газы попадают в организм человека, в результате

биохимического или биофизического воздействия ткани и органы вызывают функциональное метаболическое нарушение или структурное повреждение, вызывая заболевание организма, которое называется отравлением. Токсичный газ попадает в организм человека при проглатывании, вдыхании или всасывании через кожу за короткий промежуток времени, вызывая симптомы острого отравления, которое называется острым отравлением.

Явление отравления, вызванное парами масла, обычно поражает центральную нервную систему, а легкое отравление сопровождается головной болью, головокружением и общей слабостью. В это время оператор должен немедленно покинуть отравленную среду и подышать свежим воздухом, чтобы быстро восстановиться.

Умеренное отравление: спутанность сознания, покраснение кожи, требуется немедленная госпитализация.

Тяжелое отравление: нарушение функции легких, головного мозга и сердца, затрудненное дыхание, необходимо немедленно оказать помощь, иначе это будет опасно для жизни.

Таблица 7.3– Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе[30].

Вещество	ПДК, мг/м³	Класс опасности
Пары нефти	10	3
Метанол	15	3
Диоксид серы	10	3
Сажа	4	3

Кроме того, поскольку нефтяное месторождение будет работать непрерывно круглосуточно, чтобы максимизировать эффективность производства, персонал столкнется с ситуацией работы при низкой температуре на открытом воздухе в ночное время, что приведет к снижению физической функции, что может привести к возникновению аварии.

Поэтому, чтобы обезопасить людей, предприятия должны обеспечить защитные меры для операторов — раздать средства индивидуальной защиты,

такие как противогазы, костюмы химзащиты и каски. А также распространение одежды для защиты от холода и жаростойкой одежды для рабочих условий, чтобы справиться с работой в различных климатических условиях [31].

Кроме того, большая часть производственного оборудования находится в среде с повышенным уровнем шума, и погружные электронасосы не являются исключением. Для обеспечения того, чтобы персонал не подвергался воздействию чрезмерного уровня шума, предусмотрено, что уровень шума в зоне, где работают рабочие, должен быть ниже 80 ДБ [32].

В таблице ниже приведены технические характеристики уровней шума.

Таблица 7.4– Допустимые уровни шума при физических нагрузках [33]

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

Продолжительное воздействие высоких уровней шума может нанести необратимый ущерб работникам, в том числе:

- Сильно влияет на функцию центральной нервной системы, вызывая слабость нервной системы и дисфункцию нервной системы;
- Вызывать симптомы сердечной недостаточности;
- Опасно для органов слуха, вызывая потерю слуха;
- Может оказывать неблагоприятное воздействие на органы зрения;
- Может вызвать желудочно-кишечные расстройства.

С другой стороны, как механическое оборудование, электрический

погружной насос неизбежно будет вибрировать во время работы, что называется продуктивной вибрацией.

Воздействие сильных вибраций на все тело может вызвать повреждение или смещение внутренних органов, изменение функции периферических нервов и сосудов, приводящее к дистрофии тканей, например к боли в стопах, усталости нижних конечностей, уменьшению пульсации спинного жира и снижению температуры кожи; женщины-работницы может развиться провисание матки. Повышенная частота провисания, самопроизвольных аборт и аномальных родов. Ускорение вибрации также может вызывать вестибулярную дисфункцию, что приводит к нарушению регуляции внутреннего уха и баланса, что приводит к бледности, тошноте, рвоте, холодному поту, головным болям, головокружению, поверхностному дыханию, а также снижение частоты сердечных сокращений и артериального давления и другие симптомы. Вибрация всего тела также может вызывать эффекты двигательной системы, такие как травмы поясничного отдела позвоночника. Длительное непрерывное использование вибрирующих инструментов может привести к повреждению периферического кровообращения, периферических нервов и опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистой системы, костной ткани и органов слуха.

Таблица 7.5– Допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий [35].

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с ²
0.6-0.4	Доз	1.12-0.76	22-14
0.4-0.15	3-5	0.76-0.46	14-15
0.15-0.05	5-8	0.46-0.25	15-13
0.05-0.03	8-15	0.25-0.28	13-27
0.03-0.009	15-30	0.28-0.17	27-32
0.009-0.007	30-50	0.17-0.22	32-70
0.007-0.005	50-75	0.22-0.23	70-112
0.005-0.003	75-100	0.23-0.19	112-120
1.5-2	45-55	1.5-25	25-40

Во многих случаях вибрацию невозможно полностью устранить или избежать. Это особенно актуально для некоторых операций, требующих использования ручных вибрационных инструментов. Защита от вибрации в основном заключается в том, как уменьшить и избежать ущерба, причиняемого вибрацией производственному персоналу, который использует ручные вибрационные инструменты. Частота, амплитуда и ускорение вибрации являются основными факторами воздействия вибрации на организм человека, также важны удар и напряжение.

- Реформа технологического оборудования и методов для достижения цели снижения вибрации, контроль или устранение источников вибрации из производственного процесса является наиболее фундаментальной мерой для контроля вибрации, совершенствование вибрационного оборудования и инструментов для снижения интенсивности вибрации;

- Принять меры по виброизоляции пола и основания оборудования (резиновый виброгасящий слой, пробковая виброгасящая подушка, виброгасящая подушка из стекловаты, композитное виброизоляционное устройство)

- Улучшить условия труда. Например, ограничены вес инструмента, амплитуда вибрации и частота вибрации, для операторов реализована система ротации, чтобы они могли отдыхать между работами и т.д.;

- Усилить техническую подготовку и уменьшить статическую рабочую составляющую в работе;

- Регулярный медицинский осмотр заключается в проведении регулярных медицинских осмотров для тех, кто часто использует вибрирующие инструменты или работает в вибрирующей среде, и хорошо справляется с ранней профилактикой и лечением вибрационных заболеваний.

7.2.2 Анализ опасных производственных факторов

Электрический погружной насос, являющийся продуктом тяжелой промышленности, питается от высокого напряжения. Следовательно, в наземной

рабочей зоне должны быть высоковольтные объекты типа подстанций, а исследования в этой же тематике базируются на тиристорно-асинхронном двигателе, а в его структуре имеется несколько силовых электронных компонентов-тиристор. Все это говорит о том, что в этой сложной системе люди могут быть поражены электрическим током.

Безопасное напряжение тела человека 50В. Так что в этой системе в случае аварии с поражением электрическим током персонал обязательно погибнет.

Возможные причины несчастных случаев с поражением электрическим током:

- Отсутствие у сотрудников знаний по электробезопасности, приводящее к неправильной эксплуатации;
- Повреждена изоляция кабеля;
- Сезонные изменения или другие факторы окружающей среды снижают эффективность изоляции кабеля;
- Плохая проводка, такая как вилки оборудования, что приводит к низкой электрической надежности;
- Управление техническим обслуживанием не своевременно;
- Оборудование не соответствует требованиям.

Для предотвращения несчастных случаев, связанных с электричеством, мы должны сделать следующее:

- Использовать квалифицированное электрооборудование;
- Обучить персонал электробезопасности;
- регулярно проверять, качественна ли изоляция электрооборудования;
- Предупреждающие знаки должны быть установлены во взрывоопасных зонах;
- Обеспечить весь персонал защитным снаряжением из изоляционного материала.

Кроме того, нам необходимо произвести расчеты заземляющего оборудования. Расчет заземлителей заключается в определении численности

заземлителей и длины соединителей исходя из разрешенного сопротивления заземления. В данной работе выполнен расчет защитного заземления шкафа релейной защиты и программно-аппаратных комплексов.

Порядок расчета устройства защитного заземления [38]:

1. В качестве заземляющего устройства выбирается стальная трубка диаметром $d= 55$ мм, а в качестве соединяющего элемента — стальная полоска шириной $b = 50$ мм.

2. Выбирается значение сопротивления грунта близкое по величине к удельному сопротивлению грунта в районе размещения установки или устройства.

Таблица 7.6– Технические данные по защите от заземления

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 полоски b , мм	50
Допустимое сопротивление системы заземления по ПУЭ $R_{з.у.}$, Ом	4

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

$$R_3 = 0.366 \frac{\rho \cdot K_c}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right)$$

$$= 0.366 \frac{70 \cdot 2}{2.7} \left(\lg \frac{2 \cdot 2.7}{0.055} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2 + 2.7}{4 \cdot 2 - 2.7} \right) = 40.62 \text{ Ом}$$

Где $\rho= 70$ Ом – удельное сопротивление грунта; $K_c= 2$ – коэффициент сезонности, $l= 2,7$ м – длина заземлителя, $d = 0,055$ м– диаметр заземлителя, $t= 2$ м – длина от поверхности земли до середины заземлителя.

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

$$n = \frac{R_3}{R_{3,y.}} = \frac{40.62}{4} \approx 10$$

5. Рассчитывается число заземлителей с коэффициентом экранирования:

$$n = \frac{R_3}{R_{3,y.}} = \frac{40.62}{4} \approx 10$$

6. Определяется длина соединительной полосы:

$$l_n = 1.05 \cdot n \cdot l = 1.05 \cdot 18 \cdot 2.7 = 51.03 \text{ м}$$

7. Рассчитывается значение сопротивления растекания тока с соединительной полосы:

$$R_n = 0.366 \frac{\rho K_c}{l_n} \lg \frac{2l_n^2}{b \cdot h} = 0.366 \frac{70 \cdot 2}{51.03} \lg \frac{2 \cdot 51.03^2}{0.05 \cdot 0.65} = 5.2 \text{ Ом}$$

8. Рассчитывается полное сопротивление системы заземления:

$$R_{3y} = \frac{R_3 \cdot R_n}{R_3 \cdot 0.51 + R_n \cdot n \cdot 0.58} = \frac{40.62 \cdot 5.2}{40.62 \cdot 0.51 + 5.2 \cdot 18 \cdot 0.58} = 2.82 \text{ Ом}$$

Таким образом, полученное сопротивление $R_{3y} = 2,82 \text{ Ом}$ меньше допустимого сопротивления, равного 4 Ом . Следовательно, диаметр заземлителя $d = 55 \text{ мм}$ при числе заземлителей $n = 18$ является достаточным для обеспечения защиты при контурной схеме расположения заземлителей.

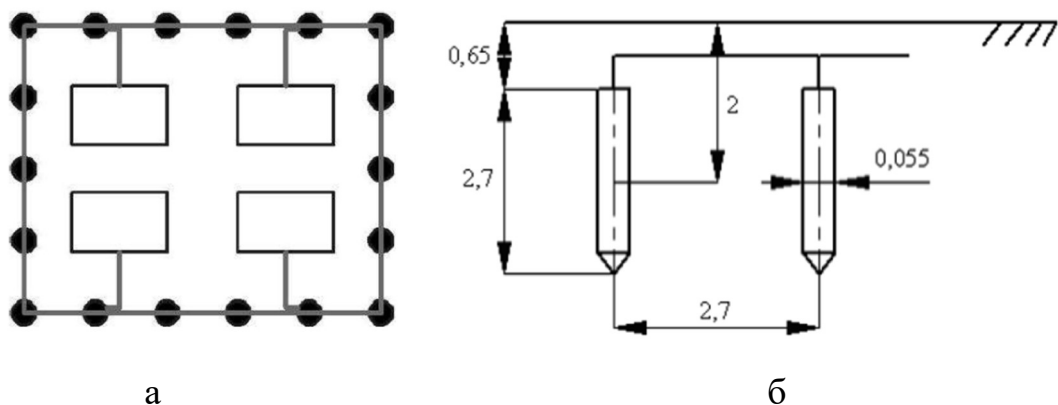


Рисунок 7.1 – Схема полученного контурного заземления (а) и расположения заземлителей (б)

7.3 Экологическая безопасность

Когда электрический погружной насос используется для добычи нефти и

газа, оценка окружающей среды в процессе многогранна.

Во-первых, это воздействие на атмосферу: по статистике, при добыче нефти на воздействие на атмосферу приходится 75% всех побочных реакций. Нефтяное загрязнение воздушной среды проявляется в физико-химических реакциях нефтегазовых летучих и других вредных газов после облучения солнечными ультрафиолетовыми лучами, приводящих к фотохимическому смогу, канцерогенному и парниковому эффектам, разрушению озонового слоя.

Основные меры защиты атмосферной среды можно разделить на следующие пункты:

- Использовать топливо без вредных присадок;
- Очистить выхлопной газ;
- Минимизировать количество рейсов транспортных средств;
- Разумно планируйте использование оборудования.

Во-вторых, загрязнение водных ресурсов, один из ключевых источников загрязнения в нефтяной отрасли. В процессе разработки месторождений скважинная жидкость обезвоживается на станции обезвоживания и перекачки нефти системы сбора и транспорта нефти и газа. Сточные воды добычи нефти являются наиболее продуктивными сточными водами в нефтяной промышленности, на их долю приходится более 90 % от общего объема сточных вод, образующихся при разработке месторождений. Эта часть сточных вод не только содержит сырую нефть, но и растворяет различные соли и минеральные примеси в пласте, а также различные химические вещества, добавляемые при обезвоживании, сборе и транспортировке сырой нефти, ее качественный состав очень сложен.

Если такие сточные воды сбрасываются напрямую без очистки, это может привести к гибели водоплавающих птиц, а в тяжелых случаях - к разрушению экологической структуры всего региона.

Поэтому соответствующими нормативными актами установлено, что содержание нефти в поверхностных сточных водах не должно превышать 10 мг/л.

К мерам по обеспечению эффективной охраны водных ресурсов при

добыче нефти и газа относятся [36]:

- Сточные воды должны быть очищены химическими и физическими средствами, чтобы они соответствовали стандарту сброса;
- Переработка водных ресурсов;
- В местах возможной утечки жидкости в колодец должна быть установлена герметизирующая обработка;
- Запретить использование сильно загрязняющих химических реагентов.

В-третьих, повреждение литосферы. В процессе строительства, добычи и эксплуатации нефтяных месторождений буровые площадки, станции, нефтепроводы и нефтепромысловые дороги будут наносить определенный ущерб первоначальной конфигурации местности, а также оказывать определенное влияние на первоначальную водопроницаемость и газопроницаемость. Первоначальная форма поверхности и профиль почвы будут серьезно повреждены. Воздействие общей деятельности по добыче нефти на литосферу невелико, поскольку при добыче полезных ископаемых в литосферу обычно закачивают воду для предотвращения образования пустот в литосфере. Чрезмерная добыча нефти повредит структуру литосферы, что приведет к оседанию поверхности и другим явлениям.

Сочетая вышеуказанные воздействия, деятельность по добыче нефти и газа влияет на среду обитания человека.

Без надлежащего географического планирования в первые дни нефтяные месторождения были расположены неудачно, что привело к сокращению жилой площади человека - чтобы получить комфортную среду обитания, люди должны были держаться подальше от производственных площадей. Это приводит к заброшенности земель вокруг производственных площадей. В то же время, после того как производственная деятельность загрязняет ресурсы подземных вод, людям приходится искать хозяйственно-бытовую воду из более отдаленных мест.

Поэтому правительству необходимо активно совершенствовать соответствующие законы и нормативные акты, а предприятиям необходимо

активно их внедрять. Только таким образом можно эффективно контролировать загрязнение окружающей среды при промышленном производстве.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Триггеры крупных чрезвычайных ситуаций (ЧС) в нефтегазодобывающей отрасли носят как природный, так и техногенный характер. Среди них чрезвычайные ситуации природного характера обычно представляют собой бедствия, вызванные изменением законов природы, а чрезвычайные ситуации техногенного характера вызваны неправильными действиями персонала.

Возможные ЧС:

- Пожар;
- поражение электрическим током;
- Взрыв из-за повреждения оборудования;
- Остановка производства из-за неисправности насосного агрегата.

О воздействии большого количества выхлопных газов на организм человека в процессе нефтедобычи говорилось в предыдущей статье, но в то же время нужно обратить внимание, что большинство этих выхлопных газов являются горючими газами, а масло также горючий. Поэтому пожар является самой распространенной и опасной чрезвычайной ситуацией при производстве погружных электронасосов [37].

Причин возникновения пожаров при использовании электрических погружных насосов для добычи нефти и газа много, о чем будет подробно рассказано ниже.

В первую очередь из-за свойств нефти и природного газа: воспламеняемости, взрывоопасности и теплового расширения. Доказано, что вероятность возникновения пожара в условиях высокой температуры значительно возрастает.

Сырая нефть, полученная насосом, должна быть нагрета, отделена от нефти и газа и транспортирована на насосную станцию перекачки нефти, а затем

отделена в масляном резервуаре путем разделения нефти и газа, а затем отправлена на нефтебазу для хранения. или продолжение экспорта через серию обработок, таких как обезвоживание и нагревание. В этот период транспортировки горючие и взрывоопасные нефть и газ, высоковольтное оборудование, большое количество зданий с различной пожарной опасностью, а также различные источники огня и источники питания вызовут бедствия.

Во избежание пожара все производственные помещения в зоне проведения работ должны содержаться в чистоте и размещаться в упорядоченном порядке. Все отходы производственного процесса и бытовые отходы должны своевременно сортироваться и утилизироваться нефтепродукты запрещается хранить в пожароопасных зонах. Противопожарное оборудование должно быть обеспечено во всех зонах, а также должны быть проведены обучение и учения по тушению пожаров для всего персонала, чтобы они могли спокойно противостоять огню и предотвратить его распространение. И обязательно для всего персонала не курить и не пользоваться открытым огнем.

При возникновении пожара в высоковольтной электроустановке следует применять первичные средства пожаротушения, такие как фреон, порошок и углекислый газ. Само затухающие электроустановки должны выполняться не менее чем двумя людьми до прибытия пожарных, а персонал должен работать в изолирующих перчатках и сапогах. При напряжении ниже 0,4 кВ допускается приступать к тушению электроустановки без снятия напряжения. Категорически запрещается использовать воду и другие токопроводящие вещества для тушения пожаров в электроустановках.

Вывод:

В этой главе обсуждается социальная ответственность, связанная с проектом.

Согласно "ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК", сценарии применения проекта определены как Помещение с химической активной или органической средой. При нефтедобыче, проводимой с помощью

УЭЦН, полученный продукт-нефть будет подвергать оборудование и операторов воздействию токсичных и агрессивных паров, газов и жидкостей в течение длительного времени, угрожая электрическим характеристикам оборудования и безопасность жизнедеятельности операторов. Кроме того, УЭЦН как механическое устройство неизбежно создает опасность шума и вибрации.

В соответствии с «Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок» работодатели или предприятия должны проводить вводное обучение и выдачу электротехнических или химических средств защиты для групп электроремонтного персонала. При эксплуатации и техническом обслуживании УЭЦН и другого электрооборудования группа электротехнического персонала должна строго соблюдать инструкцию, соблюдать безопасную рабочую дистанцию от работающего оборудования в соответствии с уровнем мощности и не допускать проникновения в места без ограждений или барьеры. При выполнении работ на электродвигателях оператор должен и запускать двигатель в строгом соответствии с инструкцией в установленном порядке, а также выполнять такие операции, как заземление изоляции. Кроме того, в этом проекте маховик запорного клапана должен быть заблокирован, прежде чем погружной насос будет допущен к работе.

Проект был отнесен к первой категории в категории объектов со значительным негативным воздействием на окружающую среду в связи с его использованием в нефтегазодобыче.

По СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания", основными вредными химическими компонентами в проекте являются нефтяной пар, диоксид серы и др. На производстве должно быть установлено очистное оборудование для снижения концентрации токсичных веществ до допустимых значений: не выше 10 мг/м³. При необходимости работы в зоне повышенной концентрации необходимо выдать операторам противогазы, перчатки, обувь и т.п. В дополнение к опасностям, связанным с воздухом,

следует соблюдать осторожность, чтобы избежать длительного воздействия сильного шума и сильной вибрации.

По взрывопожарной и пожарной опасности согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности», оценивается как «А повышенная взрывопожаро-опасность» на участке добычи нефти с использованием УЭЦН. Основные побочные продукты производства - нефтяные пары, метанол и диоксид серы — все это легковоспламеняющиеся вещества, которые могут вызвать взрывы и пожары. Поэтому избегайте использования открытого огня в этом месте и регулярно проверяйте изоляцию электрооборудования, чтобы дуговой разряд не стал причиной возгорания. И регулярно проводить тренировки по пожаро-взрывобезопасности.

Заключение

В ходе выполнения ВКР были решены поставленные задачи. На имитационной модели с учетом параметров выбранного оборудования, учета механической подсистемы УЭЦН, математической модели системы с принятыми допущениями, исследованы статические и динамические режимы системы электропривода погружного насоса с частотным пускателем. Цели исследования системы электропривода УЭЦН полностью достигнуты.

Список используемых источников

1 Рассудов Л.Н. Электроприводы с распределенными параметрами механических элементов / Л.Н. Рассудов, В.Н. Мядзель. Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.

2 Киселев Н.В., Мядзель В.Н., Рассудов Л.Н. Электроприводы с распределенными параметрами / Л.Н. Рассудов, В.Н. Мядзель. Л.: Судостроение, 1985. – 220 с.

3 Работнов Ю.Н. Механика деформирующегося твердого тела. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 744 с.

4 Зюзев А.М. Математические модели механической части электроприводов: учебное пособие / А.М. Зюзев. Екатеринбург: УрФУ, 2010. – 154 с.

5 Зюзев А.М. Развитие теории и обобщение опыта разработки автоматизированных электроприводов агрегатов нефтегазового комплекса: дис. ...д-р. техн. наук. – Екатеринбург, 2004. – 345 с.

6 Ковалев А.Ю. Электротехнологические установки для нефтедобычи: монография / А.Ю. Ковалев, Е.М. Кузнецов, В.В. Аникин. – Омск: Минобрнауки России, ОмГТУ, Нижневартровский академический институт прикладной энергетики, 2015. – 160 с.

7 Новиков В.А., Рассудов Л.Н. Тенденция развития электроприводов, систем автоматизации промышленных установок и технологических комплексов // Электротехника, № 7. – 1996.

8 Каталог продукции Schlumberger. Каталог погружного оборудования УЭЦН TPS-Line. – Тюмень, 2015.

9 Белоусенко И.В., Шварц Г.Р., Великий С.Н. и др. Новые технологии и современное оборудование в электроэнергетике нефтегазовой промышленности / И.В. Белоусенко [и др.]. – М.: Недра – Бизнесцентр, 2007. – 478 с.

10 ЗАО «Электон». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elekton.ru/index.shtml>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 17.04.21)

11 Иванковский В.Н., Пекин С.С., Сабиров А.А. Установки погружных центробежных насосов для добычи нефти / В.Н. Ивановский [и др.]. – М.: «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2002. – 256 с.

12 Методика подбора УЭЦН на предприятии ООО «Новомет-Сервис». – Пермь, 2008.

13 ООО «Камский кабель». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kamkabel.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. (дата обращения 20.04.21)

14 Каталог продукции ООО «ИРЗ ТЭК». Оборудование для топливно-энергетического комплекса. – Ижевск, 2020.

15 Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213 с.

16 Удут Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: учебное пособие. Ч.8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин; Томский политехнический университет. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 648 с.

17 Копырин В.А. Имитационное моделирование режимов работы погружного асинхронного электродвигателя / В.А. Копырин, О.В. Смирнов // Омский научный вестник, №1 (157). – 2018.

18 Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. / В.И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.

19 Гольдберг О.Д., Гурин Я.С., Свириденко И.С. Проектирование электрических машин: Учебник для втузов / О.Д. Гольдберг. – М.: Высшая школа, 1984. – 431 с.

Приложение I

RESEARCH ON ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP DEVICE CONTROLLED BY FREQUENCY CONVERTER-INDUCTION MOTOR FREQUENCY CONVERSION BOOT DEVICE

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM06	Мао Маоин		

Руководитель ВКР

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

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Федоринова Зоя Владимировна	к.п.н., доцент		

Introduction

This research is vital because ESPs are general-purpose machines that are widely used in the petroleum industry. Its direct start will bring great harm, so in this study, the working characteristics of ESP with frequency starter are discussed.

The aim of the present work is to evaluate the transient start-up process of an ESP with a frequency starter and to analyze the impact of the frequency starter on the entire start-up process.

The objectives of the work are:

- to analyze literature data;
- to analyze soft-start method;
- to make simulation models;
- to analyze results of the tests;
- to analyze effectiveness of a frequency starter for the starting process.

The research object is motor PEDNS 50-96-1650/00 and pump ESP Novomet VNN5 - 125 and the control station Elekton-05A PCh-TTPT-250-380-50-UHL1.

The research methods include characteristic calculation and computer simulation.

The scientific novelty of the work is that the performance of the frequency starter is evaluated.

The practical value of the work is to evaluate the motor PEDN 50-96-1650/00 and the submersible pump ESP Novomet VNN5 - 125.

Structure and volume of the work

Our work has 70 pages (excluding appendix) and consists of introduction, five basic units, conclusion, reference, and appendices. Each unit consists of several logically interconnected chapters followed by a conclusion where we enumerate the results of our work concerning that unit. The total outcome of the research is summarized in a separate conclusion. Our references consist of 20 sources represented by books of Russian and foreign authors.

Development history of ESP

Water pump is a common production equipment. Its working principle is that the motor drives the impeller at high speed through the pump shaft, does work on the liquid, and converts the mechanical energy into liquid energy, to achieve the purpose of conveying the liquid [1]. The history of the water pump is very early, the centrifugal pump appeared as early as 1689, and the French physicist Papin created an experimental model. With the advent of electric motors, centrifugal pumps have been widely developed. The history of submersible pumps is relatively late, and the first submersible electric pump appeared in 1928. A submersible pump is a mechatronic device with a compact design. During operation, the submersible pump can only be started by placing it in the liquid. Due to its simple structure, small size, and convenient use, it has developed rapidly [2].

Electric Submersible Pump (ESP) units are Rodless pumping units used in oil production. It contains directly connected downhole pumps and downhole pump drives. And use the cable to power the pump drive. Due to the design of the Rodless pump, the power of the Rodless pump is much higher than that of the Rodless pump. This enables Rodless pumps to handle large volumes of pumped liquids.

The development of Rodless pumps in Russia began in the early 20th century, as early as 1916, Armais Arutyunov successfully invented the world's first Rodless pump that could be used in oil production. He then founded the Bart Manufacturing Company in the United States, which was renamed "REDA Pump" in 1930.

The Rodless Pump Special Design Bureau (OKB BN) was established in 1950 to conduct research in the field of Rodless pumps. Bogdanov Alexander Antonovich is the founder of OKB BN.

The organization has been a leader in the production of Rodless pumps for the oil industry for many years, including progressive cavity pumps, diaphragm pumps, and more.

The invention of the pump has also driven the rapid development of the oil and gas industry. As the world's second largest oil exporter, Russia is a world leader in oil and gas exploration.

Most companies in the Russian Federation choose electric submersible pumps for oil operations, and this proportion has reached 34%. The proportion of oil produced by electric submersible pumps accounts for more than 80%, and this number continues to grow [3].

The main reasons why ESPs are growing faster than other oil production equipment are:

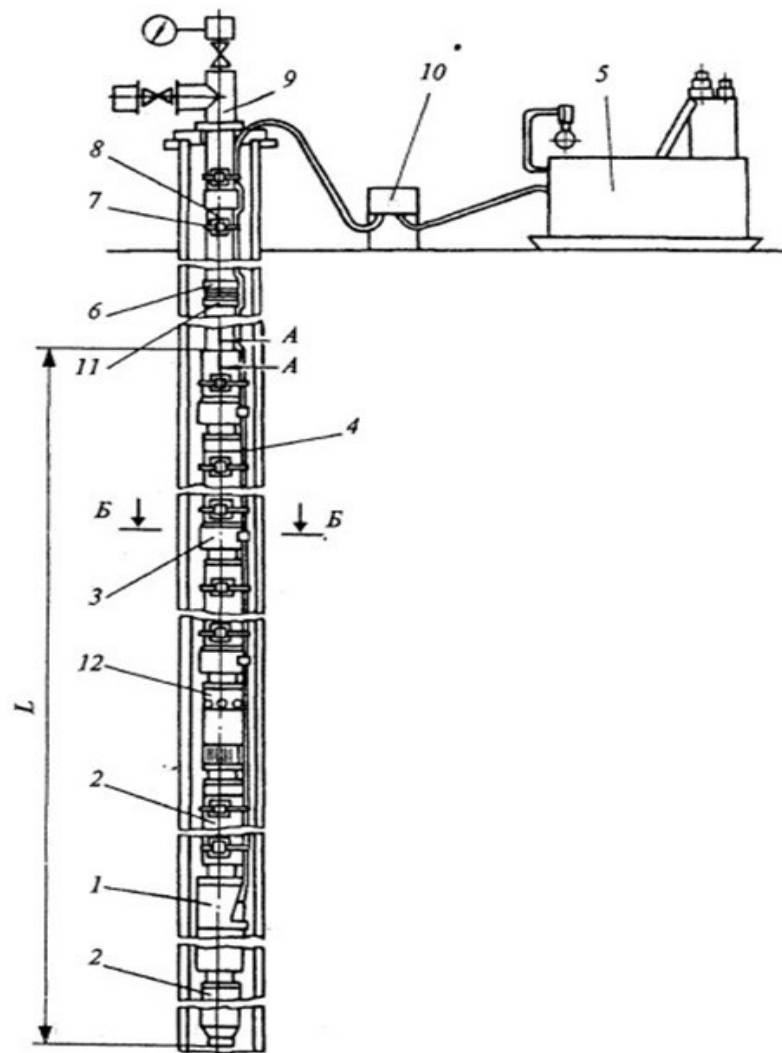
- The electric submersible pump has a large displacement, which can increase the liquid production of a single well and maintain a high and stable oil well production.
- The use of electric submersible pumps for oil recovery increases the pressure drop during production and can improve the recovery of oil reservoirs, especially for heterogeneous fields with multiple reservoirs.
- After the electric pump is pumped out, the reservoir pressure is reduced, thereby reducing the water injection pressure, slowing down the casing damage rate, and reducing the initial pressure of the low-permeability layer of the reservoir. Adjacent wells and increased water absorption.
- Small land footprint, more suitable for deviated and horizontal wells, and offshore oil production.

But it also has many disadvantages:

- The operating depth is limited by engine power, tubing and casing diameter, wellbore temperature, etc.
- Relatively expensive, high initial investment.
- high operating costs and excessive downtime.
- Motors and cables are prone to breakage.

Structure of the submersible electric pump units

ESPs are electro technological complexes that contain ground and submerged electrical equipment (Fig. 1).



- 1 - electric motor; 2 - hydroprotection; 3 - pump; 4 - cable for diving; 5 - transformer;
 6 - drain valve; 7 - belt; 8 - pipeline; 9 – wellhead equipment; 10 - cable connection;
 11 - check valve; 12 - gas separator.

Figure 1. - ESP structure

ESPs are electro technological complexes that contain ground and submerged electrical equipment (Fig. 1). Submerged electrical equipment of ESP consists of a multi-stage (from 80 to 500 and more stages) electrical submersible pump (ESP) with a gas separator at the suction and oil-filled induction submersible electric motor (SEM) with a hydroprotection (protector) that protects SEM from penetration of the surrounding formation fluid .

In the assembled form, the SEM is located at the bottom of the submersible unit (Fig. 1), the protector is above it, and ESP is over the protector. The unit is descended into the well on a flow column (tubing) connected to the wellhead equipment and

suspended on a hanging washer without additional attachment to the well. SEM power supply is carried out on a special oil and gas-resistant circular or flat three-core cable with a flexible tape armor, which is fastened to the tubing with metal belts. In the final section (at the first tubing) the cable line represented by a flat motor lead extension that allows to increase the diameter of ESP and SEM in the casing string of the oil well. The minimum permissible clearance, found and justified by the practice of ESP operation is 6 mm [4]. It guarantees a trouble-free descent and lifting of submersible equipment and determines the transverse dimensions of the submersible unit. In the tubing string (Fig. 1), above ESP, a return valve is installed. When ESP stops, it holds a column of formation fluid to exclude a turbine rotation of ESP and the rotor of SEM and to facilitate subsequent start-up. Turbine rotation occurs in the absence of a return valve when the pump unit stops due to the liquid column remaining in the tubing. Above the return valve is a drain valve that allows the fluid formation to drain into the annular space when the unit is lifted. Without this valve, the liquid, spilled on the surface, creates a threat to the environment and workers.

The transformer and control station (CS) belong to the ground electrical equipment of the electrical complex and the system (ECS) of ESP. The commercial two-winding transformer is designed to step up the voltage 0.4 kV, coming from the output of the CS (Fig. 1) to a voltage of 1.5-3 kV, which is necessary for the operation of the SEM. The secondary winding of the transformer contains from 5 to 36 tap-offs for step-by-step regulation of the output voltage by means of a manual drive in the SWE mode (switching without excitation). Regulation of this kind provides compensation of voltage losses that occur in a long (usually many kilometers) cable line [5].

Analysis of frequency start

The variable frequency starter includes a control circuit part and a main circuit part. Using the variable frequency starting method and device, the load current carried by the control inverter system can be slowly and slightly increased until it reaches the rated voltage and rated frequency when the load runs smoothly, and the increase in load current during starting is limited to safe range. The power device ensures the stable

operation of the control inverter system and reduces the energy loss during startup, which is of good economic value.

The frequency converter is a motor control device (speed control) that converts the power frequency power supply to another frequency by using the on-off function of the power semiconductor device.

Composition 1: 1. Rectifier unit: Convert AC with fixed operating frequency to DC.

2. Large capacity capacitors: used to store converted electrical energy.

3. Inverter: used to convert DC into square waves of different frequency, width and amplitude.

4. Controller: It is used to control the amplitude and pulse width of the output square wave, so that it is superimposed on the AC similar to the sine wave to drive the AC motor.

Second composition: 1. Main circuit: a) rectifier: converts power frequency power into direct current power; b) smoothing circuit: absorbs the voltage ripple generated by the converter and inverter; c) inverter: converts DC power into AC power at the desired frequency.

2. Control circuit: a circuit that supplies control signals to the main circuit that feeds the induction motor. It is composed of a frequency and voltage "working circuit", a main circuit "voltage and current detection circuit", and a "speed detection circuit" of the motor, consisting of a "control circuit" that strengthens the control signal of the circuit, and a "protection circuit" of the inverter and motor.

3. Power circuit: The main actuating component of the inverter controls the current and frequency through the components of the power section. At present, widely used power devices include thyristor, IGBT, etc.

Classification: According to the working mode of the main circuit, it can be divided into voltage inverters and current inverters; according to the switching mode, it can be divided into PAM control inverter, PWM control inverter and PWM high carrier frequency. control inverters; According to the classification of the working principle, can be divided into V/f control inverter, slip frequency control inverter and vector control inverter; inverter and three-phase inverter, etc.

Starting principle: The frequency converter is controlled during the whole process, and the speed of the motor at any period can be controlled by the instrument signal. It regulates the motor speed and torque by changing the frequency of the power system.

Features: The motor is controlled by frequency conversion (voltage also changes with frequency, such as v/f is constant), the efficiency is very high, and it can achieve true soft start, soft stop and effective speed regulation.

Converting device for the controlled electric drive system from Russia

In Russia, Triol Corporation is engaged in the development and production of ESP control stations for oil production.

The main field of application of the control system is the control and protection of submersible oil recovery ESPs equipped with SEMs.

The main parameters for selecting the CS and FC are the rated power, voltage, current, speed of the controlled motor [6].

Elekton-5 series control stations provide electric drive operation in the following modes:

- maintaining the output frequency;
- maintenance of the SEM current;
- work according to a given program;
- smooth acceleration of the SEM with a given rate;
- smooth braking of the SEM;
- CS self-start mode after power restoration;
- maintenance of a given parameter (pressure, temperature, or any other according to the signal at the analog inputs using the built-in PID controller) by automatically adjusting the output frequency depending on the change in the value of this parameter.

The power part of the CS series is built according to a single scheme and is a two-stage three-phase current energy converter of the network into three-phase current energy with adjustable voltage and frequency.

The frequency converter is made according to the scheme controlled thyristor

rectifier-intermediate LC-link-PWM inverter on IGBT. The power filter capacitance is made up of two groups of capacitors connected in series to provide the necessary voltage margin. The IGBT control pulses are generated by the control system and fed to the driver board, where bipolar high-power signals are generated to control the transistor gates. The driver board also contains elements of galvanic isolation and circuits for tracking the emergency conditions of the AIN bridge transistors. The voltage at the output of the inverter is formed both by the PWM method and by pulse amplitude modulation (AIM) by changing the voltage level at the output of the controlled rectifier.

Thyristor and IGBT modules in each CS version are installed on aluminum coolers, on which temperature sensors are mounted. When the maximum allowable heating of the radiator is reached, the signal from these sensors enters the control system, which generates an alarm signal with the issuance of a corresponding message on the indicator of the control panel.

Advantages and disadvantages of traditional step-down start

The traditional undervoltage start is to first reduce the voltage on the stator winding and then restore the voltage to the nominal value after starting. the decompression start may reduce the starting current, the starting torque will also be reduced at the same time [8].

Thus, the decompression start method is usually only suitable for light or no-load conditions. There are many specific methods of traditional decompression launching. Here are the following three methods of undervoltage starting.

Start-up method with series resistance or stator reactance. The series resistance or reactance of the stator winding is equivalent to the reduction of the applied voltage to the stator winding. From the equivalent circuit of the three-phase induction motor, the starting current is proportional to the stator winding voltage, so the series resistance or reactance of the stator winding can achieve the purpose of reducing the starting current. However, since the starting torque is proportional to the square of the stator winding voltage, the starting torque will be further reduced. Therefore, this startup method is only suitable for no-load or light-load startup. For low-power induction

motors, the series resistance of the stator winding is usually used to reduce the voltage, but for high-power induction motors, considering that the series resistance will cause a large amount of copper consumption, the series resistance of the stator winding is used to reduce the voltage.

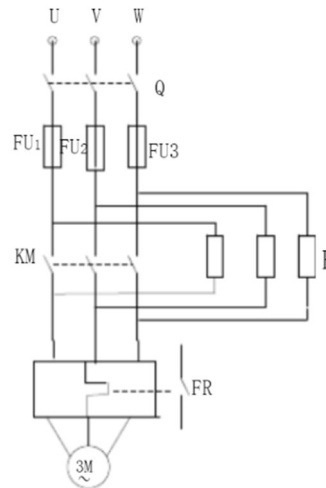


Figure 4. - Schematic diagram of the starting method of stator series resistance or reactance.

The starting method, the principle of which is based on switching the motor stator windings from star to delta. This starting method is that when the motor starts, the stator windings are connected in a star shape. When the speed is close to the rated speed, the windings are switched to a delta connection to make the motor run normally. Although the principle of delta starting is simple, the six output ends of the stator winding of the motor must be drawn out, and the actual operation is difficult. After the stator winding is star-connected, the phase voltage of each phase winding is $1/\sqrt{3}$ of the delta connection (full voltage), so the starting torque during star-delta starting are $1/3$ of the rated voltage when starting. Due to the low starting torque, this method is only suitable for light load starting.

Starters based on this principle are inexpensive, but their effectiveness is limited. The most notable limitations are as follows:

- It is impossible to control the change in the starting current and torque of the motor;
- When switching windings from star to delta, high current and torque values

can occur, which can lead to overload and damage to the equipment.

- High values of current and torque are due to the fact that during switching, the motor EMF may be out of phase with the supply voltage, so there may be a motor current and torque that significantly exceed their values when starting.

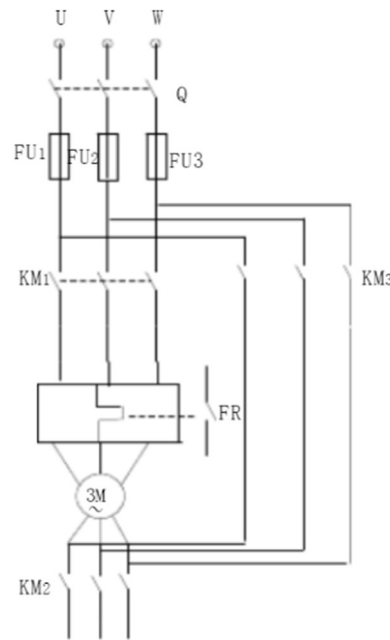


Figure 5. - Schematic diagram of the starting method, the principle of operation of which is based on switching the motor stator winding from star to delta.

Starting method with autotransformer. This starting method is when the motor starts, the power is reduced through the autotransformer and then connected to the motor. Then connect directly to the rated power supply at the appropriate time.

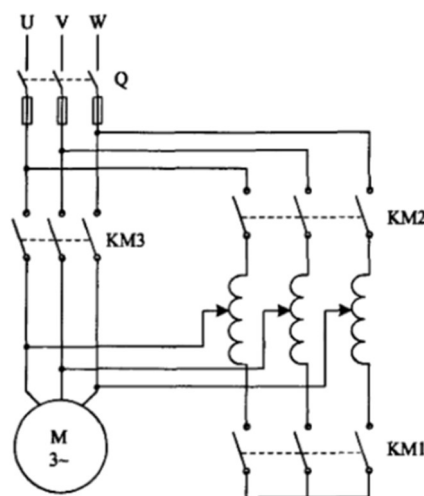


Figure 6. - Schematic diagram of autotransformer startup method

If the transformation ratio of the autotransformer is K , compared with the direct

start, when using the autotransformer to start, the starting torque are reduced to $1/K^2$ of the direct start.

The starting method of the autotransformer is not limited to the motor winding connection (star connection or delta connection), and the allowable starting current and required starting torque can be selected by changing the tap, but the equipment cost is high.

Compared to star-delta switches, autotransformer starters have some control over motor current and torque. However, during this startup, voltage is gradually applied to the motor windings.

Disadvantages of autotransformer starting to include:

- High transient torque and motor current values due to sudden changes in stator terminal voltage.
- A limited number of output voltage switching steps does not allow to provide the required voltage variation at the stator terminals.
- High cost of equipment required for use under conditions of frequent and prolonged activation.
- Inability to provide efficient starting at low supply voltages and working machines with changing starting torque requirements.

The principle and starting method of thyristor starter

Since the 1960s, thyristors and their upgraded products have been widely used in power electronic devices. But its speed regulation performance is far from meeting the needs. In 1968, high-tech enterprises represented by Danfoss began to mass-produce frequency converters, opening a new era of frequency converter industrialization. Since the 1970s, the research on pulse width modulation variable voltage variable frequency (PWM-VVVF) speed regulation has made a breakthrough. In the middle and late 1980s, the VVVF inverter technology in developed countries such as the United States, Japan, Germany, and the United Kingdom was put into practical use, and the products were put into the market and were widely used. The earliest frequency converter may be developed by the Japanese who bought the British

patent. However, with the advantages of electronic component production and electronic technology in the United States and Germany, high-end products quickly seized the market.

The main circuit is the power conversion part that provides voltage regulation and frequency regulation power to the asynchronous motor. The main circuit of the frequency converter can be roughly divided into two categories: the voltage type is the frequency converter that converts the DC of the voltage source to the AC, and the filter of the DC circuit is the capacitor.



Figure 7. - fc360-Danfoss pump inverter cabinet

The current type is a frequency converter that converts the DC of the current source into an AC, and its DC loop filter is an inductance. It consists of three parts, a "rectifier" that converts power frequency power into DC power, a "smoothing loop" that absorbs the voltage pulsation generated by the converter and inverter, and an "inverter" that converts DC power to AC power transformer". The functions of the frequency converter are as follows:

Frequency conversion energy saving. The energy saving of the frequency converter is mainly manifested in the application of fans and water pumps. After the fan and pump load adopts frequency conversion speed regulation, the power saving rate is 20% to 60%. This is because the actual power consumption of the fan and pump

load is basically proportional to the cube of the rotation speed. When the average flow required by the user is small, the fan and pump use frequency conversion speed regulation to reduce the speed, and the energy saving effect is very obvious. The traditional fans and pumps use baffles and valves to adjust the flow, the motor speed is basically unchanged, and the power consumption does not change much. According to statistics, the electricity consumption of fans and pump motors accounts for 31% of the national electricity consumption and 50% of the industrial electricity consumption. It is very important to use the variable frequency speed control device on such loads. At present, the more successful applications are the variable frequency speed regulation of constant pressure water supply, various types of fans, central air conditioners and hydraulic pumps.

Application in automation system. Since the inverter has a built-in 32-bit or 16-bit microprocessor, it has a variety of arithmetic logic operations and intelligent control functions, the output frequency accuracy is 0.1%~0.01%, and it is equipped with perfect detection and protection links. Therefore, in automation widely used in the system. For example: winding, drawing, metering and wire guide in chemical fiber industry; flat glass annealing furnace, glass kiln stirring, edge drawing machine, bottle making machine in glass industry; automatic feeding and batching system of electric arc furnace and intelligent control of elevator Wait. The application of frequency converters in CNC machine tool control, automobile production lines, papermaking and elevators has changed to improve the technological level and product quality.

Implement motor soft start. The hard start of the motor will not only cause a serious impact on the power grid, but also require too much capacity of the power grid. The large current and vibration generated during startup will greatly damage the damper and valve, and it will be extremely detrimental to the service life of equipment and pipelines. After using the inverter, the soft start function of the inverter will make the starting current change from zero, and the maximum value will not exceed the rated current, which reduces the impact on the power grid and the requirements for power supply capacity, and prolongs the service life of equipment and valves, and also save the maintenance cost of the equipment.

Conclusion

From the research that has been carried out, it is possible to conclude that using frequency to start is more cost-effective than other solutions. In spite of the fact that there are data calculation and simulation modeling, it can be found that the static and dynamic parameters of the submersible electric pump in the electric drive system of this scheme are also more in line with the requirements. The system is also very easy to operate with the help of frequency converters and workstations. Optimal control algorithms can be developed in the future to make the scheme better and easier to operate.

References

1. Nevostruev, V. A. Integrated approach to energy efficiency in oil production ESP. *Inzhenernaya praktika*. 2017 – 28 p.
2. Petlin, A. V. Experience in the use of SEM with increased voltage in the Varyoganneftegaz CDO. New developments of Almaz LLC / A. E. Petlin // *Engineering practice*. 2011 – 54 p.
3. V.N. Ivanovsky, S.S. Beijing, A.A. Sabirov. Settings submersible centrifugal pumps for oil production. Moscow. 2003 – 245 p.
4. Tarasov, V.P. Energy-saving design of ESP / V.P. Tarasov // *Engineering practice*. 2010 – 26 p.
5. Installation of an electric centrifugal pump (ESP) [Electronic resource]. – URL: <http://vseonefti.ru/upstream/ustanovka-ESP.html>, free. Russian Date of access: 04/04/2017.
6. History of the control station Triol AK06 [Electronic resource]. URL: <https://triolcorp.ru/news/post/istoriya-razvitiya-stancii-upravleniya-triol-ak06>, free. Russian Date of access: 08.02.2022.
7. Tkachuk, Soft start of a group of asynchronous electric drives /Tkachuk // *Power Electronics*. 2008 – 54 p.
8. Asynchronous electric drive with frequency converter / Kopyrin V.A., Braslavsky. M. "Energoatomizdat", 1998.