

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

---

Институт Энергетический  
Направление подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»  
Кафедра Электропривода и электрооборудования

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Асинхронный тиристорный электропривод погружного насоса УДК 62-83-523:621.671

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Маньков Алексей Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Александр Юрьевич	К.Т.Н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко Аркадий Альбертович	К.Э.Н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Король Ирина Степановна	К.Х.Н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электропривода и электрооборудования	Дементьев Юрий Николаевич	К.Т.Н., доцент		

Томск – 2017 г.

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

Институт Институт Электронного обучения (ИнЭО)  
 Направление подготовки 140400 – Электроэнергетика и электротехника  
 Кафедра Электропривод и электрооборудование (ЭПЭО)

УТВЕРЖДАЮ:  
 И.о. зав. кафедрой  
 \_\_\_\_\_ Дементьев Ю.Н.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

дипломного проекта

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Б1	Манькову Алексею Евгеньевичу

Тема работы:

Асинхронный тиристорный электропривод погружного насоса

Утверждена приказом директора (дата, номер)	ИнЭО от 17.04.2017г. №2687/с
---	------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2017 г.
--	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> <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>	<i>Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации</i>
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	<i>Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик, Исследование имитационной модели асинхронного тиристорного электропривода погружного насоса, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.</i>
<b>Перечень графического материала</b>	<i>Схема электрическая принципиальная; Схема электрическая функциональная;</i>

		Схема электрическая структурная; Имитационная модель ПЭД;	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)			
<b>Раздел</b>		<b>Консультант</b>	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		Доцент, к.э.н., Фигурко А.А.	
Социальная ответственность		Доцент, к.х.н., Король И.С.	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	10.03.2017 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев А.Ю.	Кандидат технических наук		10.03.2017

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Маньков А.Е.		10.03.2017

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 95 с., 39 рис., 23 таб., 16 источников.

### АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОГРУЖНОГО НАСОСА

Объектом исследования является асинхронный электропривод погружного насоса.

Цель работы - спроектировать регулируемый электропривод переменного тока для погружного центробежного насоса.

В процессе работы был произведён расчёт и выбор электрооборудования для привода.

Для управления электроприводом принята система управления асинхронным двигателем со скалярным управлением.

Проведены исследования в области статики и динамики системы с помощью численного моделирования на ЭВМ.

Определена стоимость исследовательской работы.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2010 на листах белой бумаге А4 с помощью программных средств Matlab, Mathcad, Visio .

## СОДЕРЖАНИЕ

стр.

Введение	8
1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СХЕМ И КОНСТРУКЦИЙ	
1.1. Краткая характеристика скважин	10
1.2. Состав и комплектность установки электропривода центробежного насоса	10
1.3. Технические характеристика погружного электродвигателя	14
1.4. Основные технические данные кабельной линии	14
2. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ С ЧАСТОТНЫМ ПРИВОДОМ	16
2.1. Структура системы управления с частотным приводом	16
2.2. Особенности применения ПЧ в системе «ПЧ – трансформатор - погружной двигатель».	17
2.3. Дополнительные возможности станции управления с преобразователем частоты	17
3. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ	20
3.1. Общие вопросы проектирования	20
3.2. Выбор двигателя	22
3.3. Выбор преобразователя частоты	23
3.4. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным	26
3.5. Естественные механические и электромеханические характеристики АД	29
3.6. Математическое описание обобщенной асинхронной машины	32
3.7. Структурная схема канала электропривода	36
4. РАСЧЁТ И ПОСТРОЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМЫ «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ-АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ	40
4.1. Модель системы преобразователь частоты-асинхронный электропривод	43
4.2. Расчёт потерь в асинхронном двигателе при работе на искусственных характеристиках	48
5. РАСЧЁТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СКОРОСТИ И МОМЕНТА ДЛЯ РЕЖИМА ПУСКА И ВИНТИЛЯТОРНОЙ НАГРУЗКИ НА ВАЛУ ДВИГАТЕЛЯ СИСТЕМЫ	50

## «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ-АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ»

6.	БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ	60
6.1.	Введение	60
6.2.	Характеристика объекта исследования	61
6.3	Производственная безопасность	62
6.4	Анализ выявленных вредных факторов. Отклонение показателей микроклимата	62
6.5	Повышенный уровень шума на рабочем месте	64
6.6	Повышенный уровень вибрации	65
6.7	Повышенный уровень электромагнитных излучений	66
6.8	Недостаточная освещенность рабочей зоны	66
6.9	Анализ выявленных опасных факторов	67
6.9.1.	Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	67
6.9.2.	Порядок расчета устройства защитного заземления	69
6.9.3.	Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	72
6.10	Экологическая безопасность	74
6.11	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	75
6.11.1.	Чрезвычайные ситуации. Основные причины и ликвидация последствий	75
6.11.2.	Пожары	77
6.12	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
7.	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.	79
7.1	Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование	80
7.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	80
7.1.2.	Анализ технических решений	81
7.1.3.	Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	83
7.2	Формирование плана и графика работ по проекту	85
7.3	Расчет сметы затрат на исследование	86
7.3.1.	Затраты на оплату труда работников	87
7.3.2	Отчисления в социальные фонды	88
7.3.3	Расчёт затрат на материалы	89

7.3.4 Амортизация вычислительной техники	89
7.3.5 Расчёт на прочие прямые затраты	89
7.3.6 Расчёт накладных расходов	89
7.3.7 Себестоимость проекта	89
7.4. Определение экономической эффективности	90
7.5 Выводы по раздел „ Финансовый менеджмент, ресурсо- эффективности и ресурсосбережение”	91
Заключение	92
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	94

## Введение

Бесштанговыми насосами в России начали заниматься еще до начала революции, А.С. Артюнов и В.К. Домовой спроектировали скважинный агрегат, в котором погружным электродвигателем приводился в действие центробежный насос. Начиная с 20-х годов, советские инженеры предложили разработать поршневой насос у которого будет поршневой пневматический двигатель М.И. Марцишевский в числе первых из первых разработал такие насосы.

В Азинмаше В.И. Документовым. разработка скважинного насоса с пневмодвигателем была продолжена, в предвоенный период А.А.Богдановым, А.В. Крыловым, Л.И. Штурман вели разработку скважинных насосов с электроприводом. Промышленные образцы разрабатывались в особом конструкторском бюро специализированного по бесштанговым насосам.

С основанием новых мест с залежами нефти и газа, нефтегазодобывающая промышленность с целью отбора с скважины значительного числа воды нуждалась в насосах. Рациональным решением для таких целей стало созданный для больших подач лопастной насос, получили распространение насосы центробежного типа с рабочими колесами, поскольку могли давать большой напор при заданных подачах габаритах насоса и жидкости. Широкое использование глубинных центробежных насосов с электроприводом обуславливается многочисленными условиями, при необходимости больших отборов жидкости, из скважины установка ЭЦН наименее трудоемкая и наиболее экономична при сервисе, согласно сопоставлению с компрессионной добычей и ростом воды насосами иных видов, присутствие подачах на установку энергетические затраты относительно невелики. Установки ЭЦН обслуживаются проще, потому что на поверхности земли располагается только лишь трансформатор, не требующий частого ухода за ним и станция управления.

Монтаж ЭЦН наиболее прост, так как не нужно устройство фундамента для станции управления и трансформатора. Станция управления и трансформатор ЭЦН размещены обычно в легкой будке.

# **1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СХЕМ И КОНСТРУКЦИЙ УЭЦН**

## **1.1 Краткая характеристика скважин**

Бурение скважин на месторождениях осуществлялось кустовым способом, все скважины наклонно-направленного направления. Угол наклона скважины до 45°. Средняя глубина скважины до 3000 метров. Насос спускается на глубину которая колеблется в примерном от 1200 до 1700 метров.

Динамический уровень:

- устье – самый малый;

-> 1000 метров – самый большой.

В пределах от 0 до 800 метров динамический уровень.

## **1.2 Состав и комплектность установки электропривода центробежного насоса**

Установка УЭЦН состоит из погружного насосного агрегата (гидрозащищенного электродвигателя и насоса), колонны, насосно-компрессорных труб (НКТ), оборудования устья скважины, кабельной линии (круглого плоского кабеля с муфтой кабельного ввода) и наземного электрооборудования: и станции управления (комплектного устройства) и трансформатора (см. рисунок 1.1.).

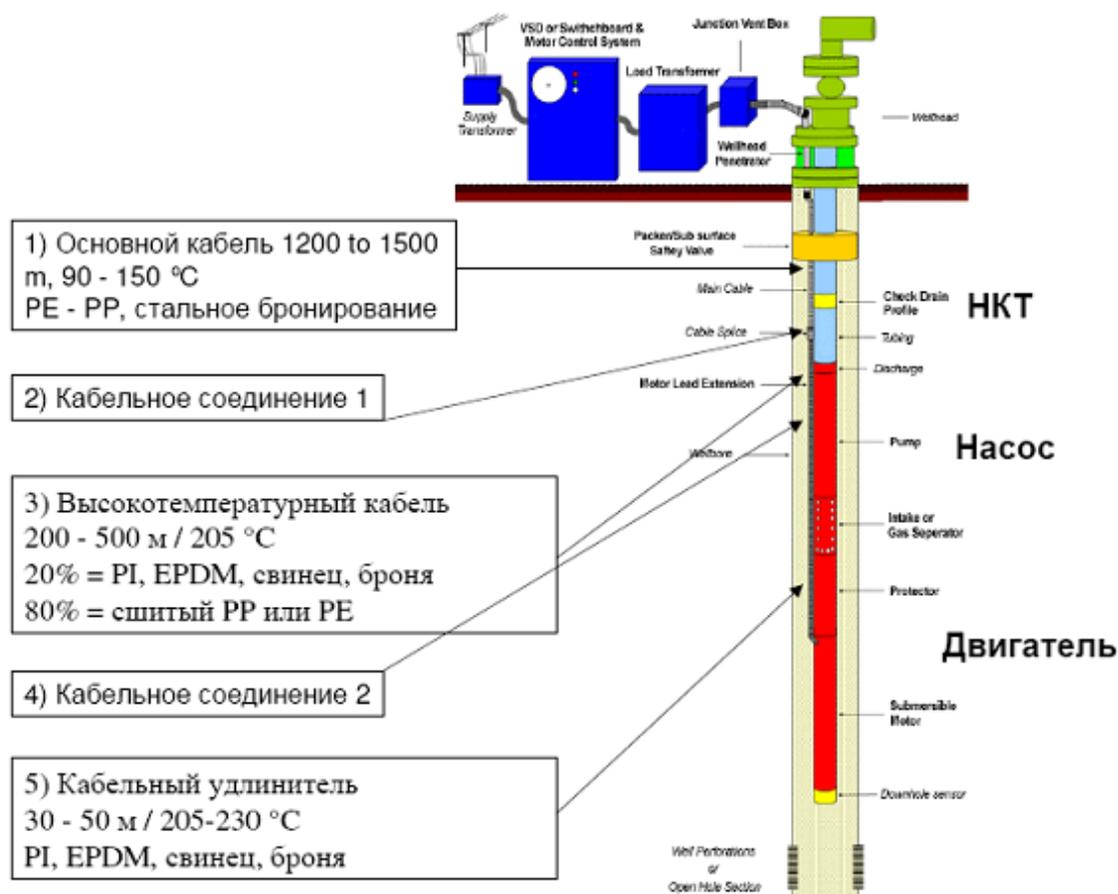


Рисунок 1.1- Установка электропривода центробежного насоса

Напряжение промышленной сети преобразуется в трансформаторной подстанции. Управление насосных агрегатов и защитой при оптимальных режимах обеспечивается станцией управления.

Погружной насосный агрегат, состоящий из насоса и гидрозащищенного электродвигателя, компенсатора, опускается в скважину по НКТ. Кабельная линия обеспечивает подвод электроэнергии к электродвигателю, закрепляется к НКТ металлическими колесами. По длине насоса и протектора плоский кабель, прикреплен к ним металлическими колесами и защищен от повреждений кожухами и хомутами. Над секциями насоса устанавливаются обратный и сливные клапаны. Насос качает жидкость из скважины и подает ее на поверхность по колонне НКТ (см. рисунок 1.2.)



Рисунок 1.2 – Схема погружного насоса

Погружные, секционные, центробежные, многоступенчатые насосы по принципу действия не отличается от обычных центробежных насосов.

Различие заключается в следующем многоступенчатый, секционный, с небольшим диаметром работающих ступеней – направляющих аппаратов и рабочих колес. Изготавливаемые для промышленности нефтяной отрасли погружные насосы содержат от 1300 до 415 ступеней.

Секции погружного насоса, связаны между собой фланцевыми соединениями, представляя из себя корпус из металла. Изготавливаемых из стальных труб длина которых 5500мм. Числом рабочих ступеней определяется длина насоса, число которых, задается подачей и напором. Напор и подача зависит от системы проточной части, поперечного сечения, частоты вращения. В корпус секции насоса устанавливается пакет ступеней, и представляет собой сбор на направляющих аппаратах и валу рабочих колес.

Рабочие колеса установлены на валу на шпонке призматического вида по и имеют возможность двигаться по осевому направлению. От поворота в корпусе ниппеля закреплены направляющие аппараты, расположенные в верхней части насоса. В корпус снизу ввинчивается основание насоса с

фильтром и приемными отверстиями, из которой вода поступает из скважины в первую ступень.

Ловильная головка установлена в верхней части насоса, к которой крепится НКТ и устанавливается обратный клапан.

В системе используется электродвигатель погружной, асинхронный, трехфазный, заполненный маслом с короткозамкнутым ротором обычного исполнения и коррозионностойкого исполнения ПЭДУ (ТУ 16-652-029-86). Климатическое исполнение – В, категория размещения – 5 по ГОСТ 15150 – 69. На основании двигателя имеется клапан который нужен для закачки и слива масла, с фильтром для его очистки от механических примесей.

Гидрозащита состоит из компенсатора и протектора, предназначена для защиты от попадания в нутрь воды.

Протектор двухкамерный с сальником.. Компенсатор с резиновой диафрагмой.

Используется кабель имеющий три жилы, полиэтиленовую изоляцию, броню. Кабель намотан на барабан, на жиле имеется слой изоляции, а также подушки из прорезиненной ткани и брони. Жилы уложены параллельно в ряд.

Конструкция УЭЦНК, УЭЦНМ с насосом имеющим ступени и вал, исполнены из коррозионностойкого материала, и УЭЦНИ с насосом, имеющий рабочее колесо изготовленное из пластмасы и резинометаллические подшипники аналогична конструкция установок УЭЦН.

При наличии большого газового фактора применяются насосные модули – газосепараторы, предназначенные для уменьшения содержания свободного газа на приеме насоса.

Модули имеют два исполнения:

Газосепараторы обычного исполнения – 1МНГ5, 1МНГ5а, 1МНГ6;

Газосепараторы повышенной коррозионной стойкости – 1 МНГК5, МНГ5а.

Модули устанавливаются между входным модулем и модулем -секцией погружного насоса.

Электродвигатель, погружной насос, гидрозащита соединяются между собой шпильками и фланцами.

### **1.3 Технические характеристики погружного электродвигателя**

Приводом ПЦН служит специально заполненный маслом асинхронный двигатель работающий от трехфазного переменного тока с короткозамкнутым ротором вертикального исполнения типа ПЭД. Электродвигатели имеют диаметры корпусов 103, 117, 123, 130, 138 мм. Диаметры электродвигателей ограничены, и при необходимости больших мощностей двигатель имеет большую длину, а при необходимости в некоторых случаях выполнен секционным. Электродвигатель осуществляет свою работу погруженным в жидкость и зачастую под большим гидростатическим давлением, условие надежной его работы – герметичность.

ПЭД заполняется специальным высокомолекулярной диэлектрической прочностью, маловязким маслом, предназначено оно для охлаждения, смазки деталей.

Погружной электродвигатель состоит из статора, ротора, головки, основания. Из стальной трубы изготавливается корпус статора, на концах предусмотрена резьба для подсоединения головки и основания двигателя. Из активной и немагнитной шихтованной жести собирается магнитопровод статора, имеющих пазы, в которых располагаются обмотка. Обмотка статора имеет следующее исполнение и может быть, однослойной, катушечной или двухслойной, петлевой, стержневой. Обмотки фазы соединены.

### **1.4 Основные технические данные кабельной линии**

По назначению в кабельную линию входят:

1. КПБК или КПБПС – используется как основной кабель.

2. Кабели марки КПБП (плоский)

3. Муфты кабельного ввода бывают круглые или плоские.

КПБК – медный, из одно или много проволочных жил, изоляция в два слоя используется полиэтилен высокой прочности и скрученных между собой, подушка, броня.

КПБП и КППБПС находятся в общей шланговой оболочке, жила медная однопроволочная или многопроволочная, изолированная полиэтиленом высокой плотности и уложенных они в одной плоскости, подушка, броня.

КППБПС с отдельно отшлангованными жилами- медная одно-,многопроволочные жилы, изолированные в два слоя полиэтиленом высокого давления и уложенных в одной плоскости.

КПБК имеет:

Рабочее напряжение, В – 3300

Допустимое давление пластовой жидкости, МПа – 19,6

Допустимый газовый фактор, м/т – 180

Кабель марки КПБП имеет:

Рабочее напряжение, В - 2500

Допустимое давление пластовой жидкости, МПа – 19,6

Допустимый газовый фактор, м/т – 180

Кабель марки КПБК и КПБП имеет допустимые температуры окружающей среды от 60 до 45 С воздуха, 90 С – пластовой жидкости.

## 2 СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ С ЧАСТОТНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

### 2.1 Структура системы управления с частотным преобразователем

На настоящий момент единственным устройством, позволяющим регулировать частоту вращения асинхронного двигателя является преобразователь частоты. ПЧ используют с целью регулировки частоты вращения электродвигателей переменного тока, приводящих в движение разные трудовые машины (насосы, вентиляторы, компрессоры и др.). Урегулирование частоты электродвигателя ЭЦН дает возможность корректировать и эффективность самого насоса. Причём урегулирование данное совершается весьма размеренно, т. к. инновационные ПЧ дают возможность корректировать частоту с дискретностью 0,1 Гц. Помимо регулировки частоты использование ПЧ дает возможность:

Осуществлять мягкий разбег и останов почти в отсутствие превышения номинального тока при разгоне.

Иметь  $\cos\varphi = 1$  в входе почти, то что важно с целью сбережения аккуратности узлы.

Осуществлять высокоактивные наибольшие охраны (К примеру, согласно наибольшему току).дискретностью 0,1 Гц.

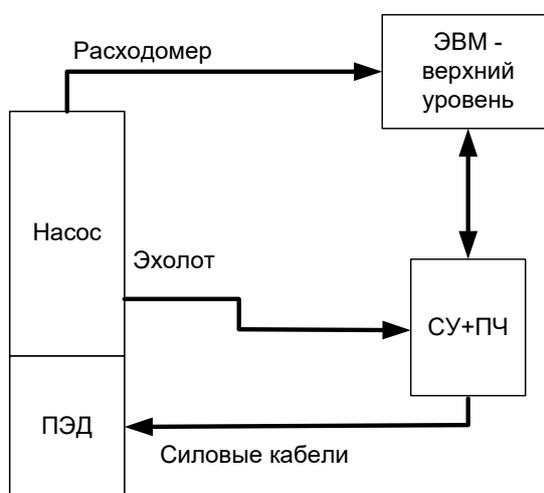


Рисунок 2.1 - Структура системы управления с частотным приводом

## **2.2 Особенности применения ПЧ в системе «ПЧ – трансформатор - погружной двигатель»**

При работе преобразователя частоты в системе «ПЧ - повышающий трансформатор - погружной электродвигатель» возникает ряд проблем:

### **1. Влияние на входной трансформатор.**

Как известно, следствием работы преобразователя частоты является повышение потерь в стали и обмотках, а, следовательно, и повышенный нагрев трансформатора. Появляется шум ТР.

### **Влияние на выходной трансформатор.**

Выходной трансформатор также подвержен влиянию работы преобразователя частоты. В трансформаторе увеличиваются потери в стали и возникает шум при его работе.

В кабелях, которые объединяют выход преобразователя с повышающим трансформатором УЭЦН к тому же возрастает возможность пробоя изоляции из-за увеличения скорости нарастания усилия в импульсах, создаваемых инвертором.

Существуют методы уменьшения отрицательного воздействия ПЧ в УЭЦН:

- Применение ПЧ с высокой частотой ШИМ позволяет улучшить синусоидальность выходного напряжения, что приводит к:

- Применение LC-фильтров также улучшает форму синусоиды и значительно снижает величину пиков напряжения, что означает:

- Уменьшение нагрева трансформатора, кабеля и двигателя
- Замедляет старение изоляции
- Повышению момента и к.п.д. двигателя

## **2.3 Дополнительные возможности станции управления с преобразователем частоты**

Кроме всех вышеперечисленных плюсов СУ с ПЧ хотелось бы отметить некоторые уникальные возможности, вносимые в СУ ПЧ:

- Плавный пуск останов

Кроме изменения частоты вращения электродвигателя, преобразователь частоты может плавно разгонять двигатель до номинального режима работы и плавно его останавливать. Плавный пуск и торможения исключают биения механизма, а значит, уменьшают механический и электрический износ оборудования.

- Пуск ЭЦН при турбинном вращении (см. рисунок 2.2.)

Общеизвестно, что при остановке насоса нефть начинает стекать, возникает т. н. турбинное вращение, т. е. разворот двигателя в противоположенном направлении. Повторный запуск в случае турбинного вращения возможен только по его окончании. На опыте нашей эксплуатации это время составляет от 20 до 60 мин. Используя станцию управления с преобразователем частоты можно запустить двигатель в любой момент, игнорируя турбинное вращение.

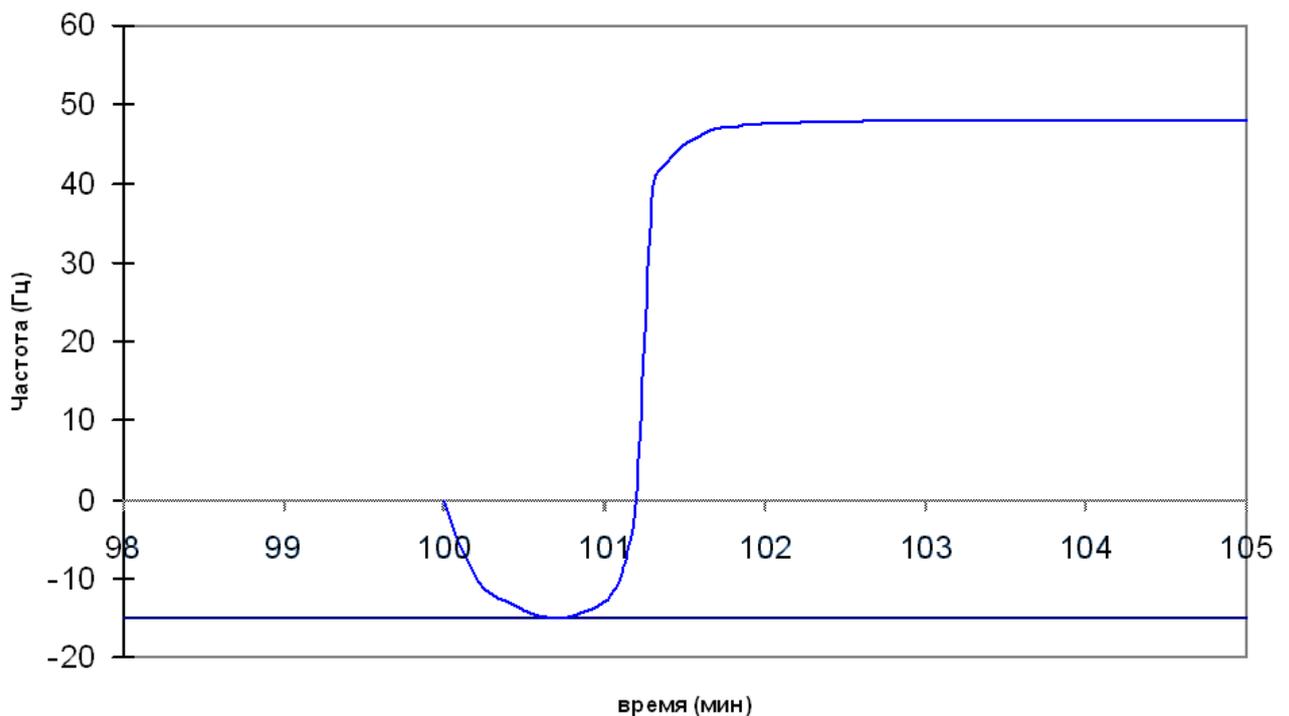


Рисунок 2.2 - График торможения и разгона при турбинном вращении

Методика пуска довольно проста:

При пуске ПЧ начинает «поиск» частоты вращения в другую сторону. Найдя эту частоту, он плавно подхватывает двигатель, затем плавно тормо-

зит и запускает в другую сторону и выходит на рабочую частоту. Эта особенность позволяет экономить время и более полно использовать ресурс оборудования.

➤ Возможности расклинивания двигателя путём раскачки.

При заклинивании насоса происходит срабатывание защиты от заклинивания вала (Защита от перегрузки).

Если запустить двигатель после этого не удаётся в нормальном режиме, то единственное, что остаётся это снять защиту от перегрузки и попытаться запустить двигатель путём подачи на него прямого напряжения и, как следствие ничем неконтролируемого тока. Надо ли говорить, что при данном способе расклинивания и двигатель и насос и всё электрооборудование испытывают «шоковые» перегрузки.

При использовании ПЧ в данном случае возможно применение методики «раскачки» ПЧ подаёт повышенное напряжение пониженной частоты в одном, а затем в другом направлении, как бы раскачивая двигатель. При этом момент на валу двигателя может быть выше номинального, а ток, тем не менее, не превышать номинального. Такая возможность присуща только СУ с ПЧ. Применение аналогичных методик, с использованием реверсивного контактора, когда полное напряжение подаётся то в одну, то в другую сторону влечёт за собой повышенные механические нагрузки на насос и повышенные нагрузки на электрооборудование.

## 3 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

### 3.1 Общие вопросы проектирования

Эффективным способом регулировки скорости короткозамкнутого АД связано с изменением скорости вращения в статоре его электромагнитного поля.

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{Z_p}$$

Отсюда вытекает два главных метода регулировки изменяя:

- количества пар полюсов  $z_p$ ;
- частоты  $f_1$  напряжения на статоре двигателя.

Способы частотного регулировки скорости электроприводов переменного тока с короткозамкнутыми асинхронными двигателями все без исключения наибольшее использование в разных секторах техники. Преобразование переменного напряжения питающей сети в переменное напряжение с регулируемой частотой, напряжением и током осуществляют преобразователи частоты. Сейчас ПЧ производятся в основе силовых полупроводниковых ключей.

В последние годы нашли применение автономные инверторы с ключами на силовых транзисторах типа IGBT и MOSFET. Асинхронный электропривод с автономным инвертором напряжения, выполненным на IGBT-транзисторах, приведен на рис. 3.1.

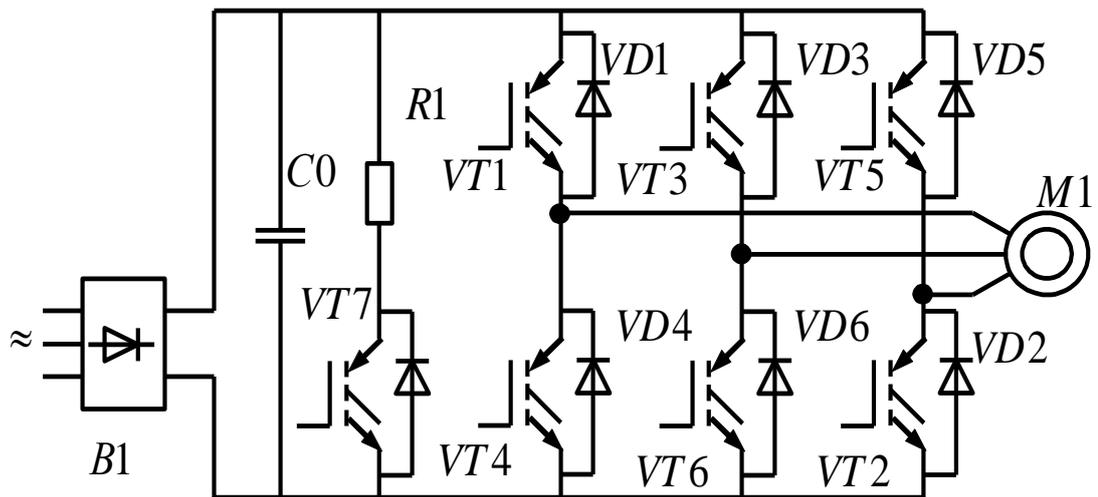


Рисунок 3.1 - Асинхронный электропривод с автономным инвертором напряжения, выполненным на IGBT-транзисторах

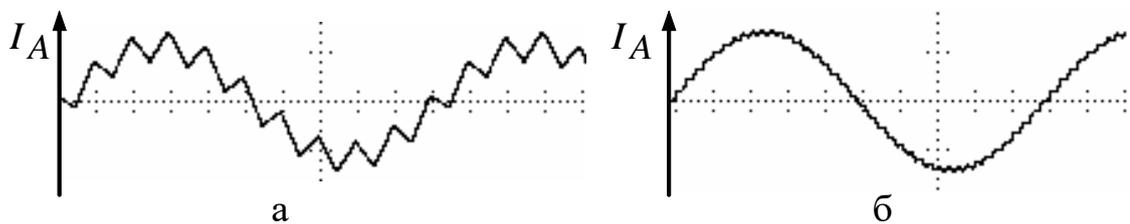


Рисунок 3.2 - Осциллограммы токов статора асинхронного двигателя при низкой (а) и высокой (б) несущей частоте опорного напряжения ШИМ модулятора

Применение автономных инверторов напряжения с индивидуальной коммутацией ключей позволяет регулировать выходное напряжение с помощью автономного инвертора, при постоянном неизменном напряжении на его входе.

Преимущества инверторов напряжения заключаются:

- в более жесткой выходной вольт-амперной характеристики
- в возможности достижения больших пределов регулирования частоты
- способность работать как с одним так и с несколькими двигателями

Недостатки:

- большая емкость электролитического конденсатора  $C_0$  фильтра
- мощности инверторов напряжения сравнительно небольшие 3-1500 кВА

- трудности обеспечения рекуперации электрической энергии в сеть в тормозных режимах

### 3.2 Выбор двигателя

Мощность двигателя выбираем в соответствии с выражением:

$$P_{\text{эд}} = \frac{g \cdot Q \cdot H}{\eta_{\text{н}} \cdot 3600}, \quad \text{где}$$

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;

$Q = 6 \text{ м}^3/\text{ч}$  – требуемый расход системы;

$H = 1800 \text{ м}$  – требуемый напор;

$\eta_{\text{н}} = 0,795$  – КПД насоса, о.е.

$$P_{\text{эд}} = \frac{9,81 \cdot 6 \cdot 1800}{0,795 \cdot 3600} = 37 \text{ кВт}$$

В соответствие с ISO 5199 обеспечивается запас по мощности двигателя. Поэтому мощность двигателя должна быть не менее 40 кВт. Паспортные данные двигателя ПЭД 40-103 приведены в таблице 3.1. Режим работы электродвигателя продолжительный – S1.

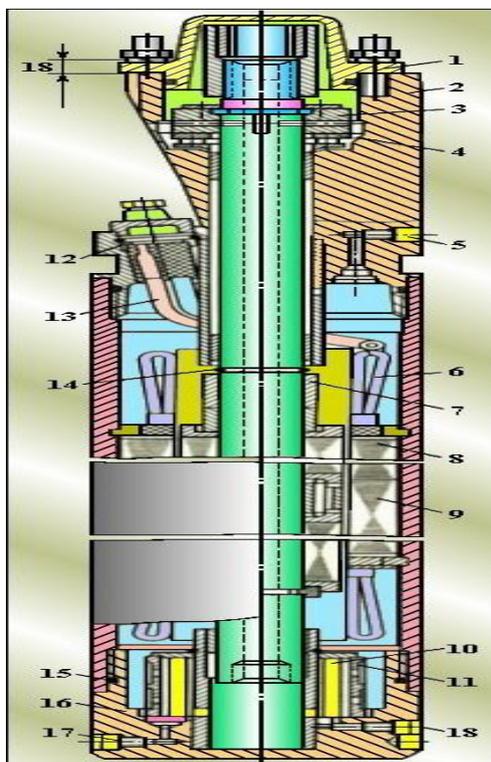


Рис. 3.3- Электродвигатель односекционный

Таблица 3.1 - Паспортные данные двигателя ПЭД 40-103

Наименование	Значение
тип	ПЭД 40-103
номинальная мощность, кВт	40
номинальное напряжение, В	1000
номинальное фазное напряжение, В	578
кратности минимального момента	0.9
номинальная частота вращения, об/мин	2745
КПД, %	72
коэффициент мощности	0,78
кратность пускового момента	2,5
кратность максимального момента	3,2
кратность пускового тока	7,2
коэффициент загрузки двигателя	0,75

### 3.3 Выбор преобразователя частоты

Регуляторы частоты вращения дают возможность перекачивать среду в наиболее широком спектре диапазоне объемов, нежели данное допустимо при постоянной скорости, а так же осуществлять плавный контролируемый запуск двигателя при этом ограничивая пусковые токи. Это увеличивает надежность УЭЦН так как снижаются электрические нагрузки на кабели, а также на обмотку при запуске электродвигателя. Система телеметрии дает возможность поддержания динамического уровня в скважине.

Регулирование частоты вращения вала центробежного насоса позволяет в широких пределах менять добывные возможности оборудования установок ЭЦН, например, подача насоса пропорциональна частоте вращения вала, напор насоса зависит от частоты вращения в квадрате, мощность – в кубе ( $Q=f(n)$ ,  $H=f(n^2)$ ,  $N=f(n^3)$ ). Регулятор частоты вращения позволяет так же обеспечить постепенный контролируемый плавный пуск асинхронного ПЭД при этом ограничивая пусковой ток.

Первый метод регулировки частот вращения ротора УЭЦН это изменение частоты питающего двигателя ток.

Оборудование которое может обеспечить этот метод станция управления с регулированием частоты вращения насосной установки «ЭЛЕКТОН» (г. Радужный Владимирской обл.). При использовании указанной станции управления имеется возможность запуска насосной установки по задаваемой программе, в ручном и в толчковом режиме, а также возможность стабилизации выходного напряжения.

При выборе преобразователя частоты необходимо учесть ряд особенностей, обусловленных физическими параметрами.

При выборе станции управления необходимо руководствоваться параметрами двигателя и скважины. Мощность преобразователя частоты и всей остальной силовой аппаратуры зависит от мощности двигателя и от глубины его расположения в скважине. Обычно для номинальной работы преобразователь частоты выбирают на типоразмер выше, чем мощность двигателя. Если преобразователь частоты поставить на двигатель большей мощности, чем сам преобразователь, то нет никакой гарантии, что привод запустится, и будет работать. У каждого преобразователя частоты есть свои внутренние защиты, которые не позволят работать приводу за пределами критических параметров (выходной ток не должен превышать допустимого значения). Преобразователь частоты может запустить двигатель, но он будет работать неустойчиво, что может привести к выходу его из строя.

Учтя выше приведенные особенности и то, что ПЧ для питания обмотки статора АД КЗ выбирается из условий

$$I_{н.пч.} \geq I_{н.дв.}, U_{н.пч.} \geq U_{н.дв.},$$

то выбираем преобразователь частоты Электон-05 со следующими паспортными данными:

### Характеристика Электон-05-3 60 (63)

Номинальное напряжение питания.....	380 В, 50±1 Гц
Диапазон отклонения питающего Напряжения от номинального.....	±25 %
Номинальный ток первичной силовой цепи.....	не более 63 А
Номинальная мощность преобразователя.....	120 кВт
Мощность подключаемого электродвигателя.....	75 кВт
Температурный диапазон.....	-60 °С...+40 °С
Степень защиты...IP43	
Схема управления.....	контроллер «Электон»
Диапазон изменения частоты.....	0,5...60 Гц
Габаритные размеры.....	1735×700×600
Масса.....	160 кг

Преобразователь ПЧ-ТТПТ-ХХХ-380-50-1-УХЛ1 служит для регулировки частоты вращения асинхронного трех фазного электро двигателя с короткозамкнутым ротором.

СУ имеет следующие режимы :

а) изменение частоты вращения в ручную с помощью встроенного пульта (имеется возможность дистанционно при помощи пульта управления)

б) автозапуск после потери питания;

в) разгон с заданным темпом обеспечивая плавный пуск;

г) разгон электродвигателя по предельному (заданному) значению тока фаз ;

д) плавная остановка электродвигателя;

е) изменение чередования фаз на выходе (реверс);

ж) остановка электродвигателя по предельному значению напряжения в звене постоянного тока

з) автоматическая поддержка значений технологических параметров;

- и) компенсацию колебаний скольжения при работе АД на механизм с большими моментами инерции;
- к) режим автоматического управления технологическим параметром в зависимости от времени суток;
- л) работа под управлением по каналу RS-232;

### 3.4 Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя необходимо воспользоваться его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для расчетов асинхронного двигателя является T-образная схема замещения:

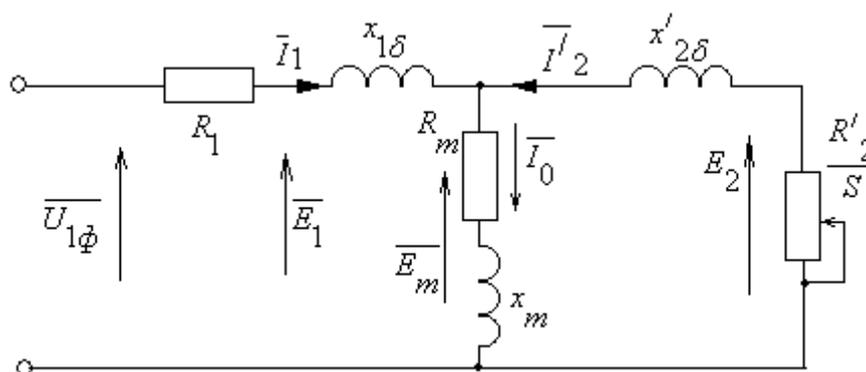


Рисунок 3.4 – Схема замещения асинхронного двигателя  
Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие данной схеме:

$$\begin{aligned} \bar{U}_{1\phi} - \bar{E}_m - j \cdot X_1 \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 &= 0 \\ \bar{E}_m + j \cdot X'_2 \cdot \bar{I}'_2 + R'_2 \cdot \bar{I}'_2 / s &= 0 \\ \bar{I}_1 + \bar{I}'_2 - \bar{I}_0 &= 0 \end{aligned}$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений изображена на рисунке 3.5.

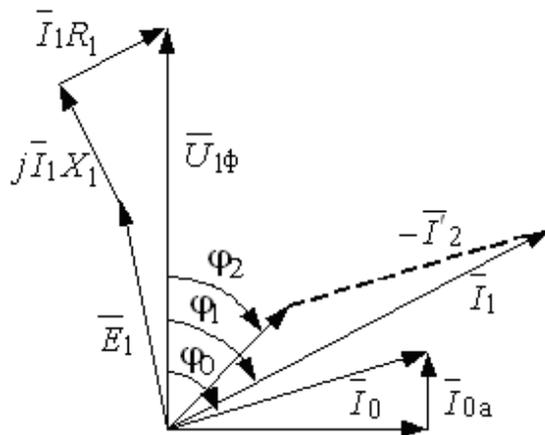


Рисунок 3.5 – Векторная диаграмма асинхронной машины

Номинальный ток статора двигателя

$$I_{1н} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \phi_n \cdot \eta_n} = \frac{40000}{3 \cdot 578 \cdot 0,78 \cdot 0,72} = 41,076 \text{ (A)}$$

Ток статора при частичной нагрузке

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_n}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \phi_{p_*} \cdot \eta_{n_*}} = \frac{0,75 \cdot 40000}{3 \cdot 578 \cdot 0,772 \cdot 0,72} = 31,118 \text{ (A)}$$

Коэффициент мощности при частичной нагрузке

$$\cos \phi_{p_*} = 0,99 \cdot \cos \phi_n = 0,99 \cdot 0,78 = 0,772 \text{ о.е.}$$

Определяется исходя из рис. 3.6.

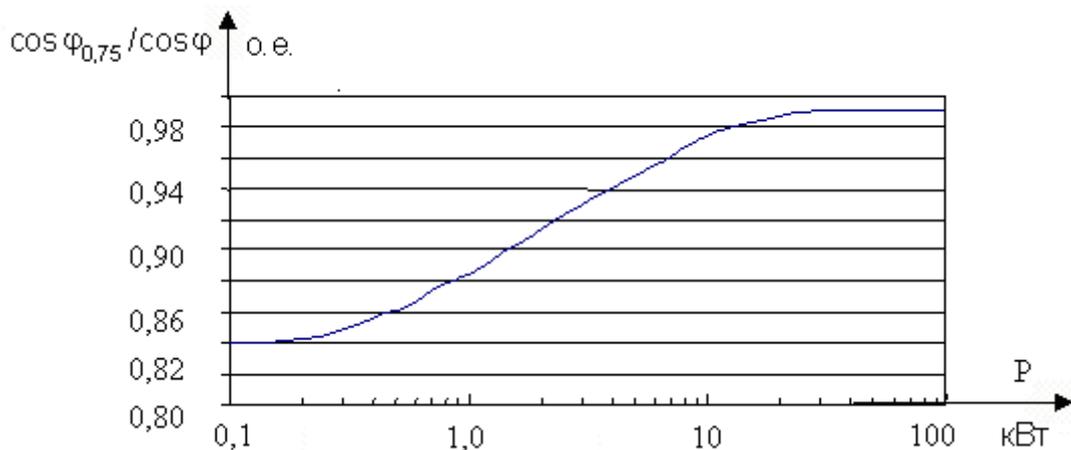


Рис. 3.6 - Зависимость  $\cos \phi_{0,75} / \cos \phi_n$  от мощности асинхронного двигателя

Коэффициент загрузки двигателя

$$p_* = P/P_H = 0,75$$

КПД при номинальной нагрузке и нагрузке  $p_* = 0,75$  практически равны между собой, т.е.

$$\eta_H \approx \eta_{0,75}$$

Находим ток холостого хода

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - p_* I_{1H} \cdot \left(\frac{1-s_H}{1-p_* s_H}\right)^2}{1-p_* \cdot \left(\frac{1-s_H}{1-p_* s_H}\right)^2}} = \sqrt{\frac{31,118^2 - \left(0,75 \cdot 41,076 \cdot \frac{1-0,085}{1-0,75 \cdot 0,085}\right)^2}{1 - \left(0,75 \cdot \frac{1-0,085}{1-0,75 \cdot 0,085}\right)^2}} = 11,562 \text{ (A)}$$

Принимаем  $\beta = 1$

$$S_k = S_H \cdot \frac{k_{\text{макс}} + \sqrt{k_{\text{макс}}^2 - (1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (k_{\text{макс}} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (k_{\text{макс}} - 1)} =$$

$$= 0,085 \cdot \frac{3,2 + \sqrt{3,2^2 - (1 - 2 \cdot 0,085 \cdot 1 \cdot (3,2 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,085 \cdot 1 \cdot (3,2 - 1)} = 0,856 ,$$

$$\text{где } \beta = \frac{R_1}{C_1 \cdot R_2'} = \frac{0,62}{1,02 \cdot 1,589} = 1$$

Определим коэффициенты

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{11,562}{2 \cdot 7,2 \cdot 41,076} = 1,02$$

$$A_1 = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 (1-s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\text{макс}} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 578^2 \cdot (1-0,085)}{2 \cdot 1,02 \cdot 3,2 \cdot 40000} = 3,514$$

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_k}\right) \cdot C_1} = \frac{3,514}{\left(1 + \frac{1}{0,856}\right) \cdot 1,02} = 1,589 \text{ Ом.}$$

Находим активное сопротивление обмотки ротора.

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,02 \cdot 1,589 \cdot 1 = 1,62 \text{ Ом.}$$

Находим  $\gamma$ , которое даст возможность найти индукционное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,856^2} - 1^2} = 0,605$$

Тогда

$$X_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 0,605 \cdot 1,02 \cdot 1,589 = 0,98 \text{ Ом.}$$

Находим индуктивное сопротивление роторной обмотки:

$$X'_{2н} = \frac{0,58 \cdot X_{кн}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 0,98}{1,02} = 0,558 \text{ Ом.}$$

Находим индуктивное сопротивление статора;

$$X_{1н} = 0,42 \cdot X_{кн} = 0,42 \cdot 0,98 = 0,412 \text{ (Ом)}$$

По рассчитанным значениям  $C_1$ ,  $R'_2$ ,  $R_1$  и  $X_k$  определяем критическое скольжение;

$$s_k = \frac{C_1 \cdot R'_2}{\pm \sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}} = \frac{1,02 \cdot 1,589}{\pm \sqrt{1,62^2 + 0,98^2}} = 0,856$$

Электродвижущую силу для ветки намагничивания  $E_1$ , которая наводится потоком воздушного зазора в статорной обмотке при номинальном режиме, равна то индуктивное сопротивление намагничивания

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1j} \cos \varphi_{1н} - R_1 I_{1н})^2 + (U_{1j} \sin \varphi_{1н} - X_1 I_{1н})^2} = \\ &= \sqrt{(578 \cdot 0,78 - 1,62 \cdot 41,076)^2 + (578 \cdot 0,626 - 0,412 \cdot 41,076)^2} = 516,297 \text{ В.} \end{aligned}$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu н} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{516,297}{11,562} = 44,654 \text{ Ом.}$$

### 3.5 Естественные механические и электромеханические характеристики АД

Рассчитаем и построим естественные механические и электромеханические характеристики асинхронного двигателя ПЭД 40-103.

Найдем синхронную угловую скорость

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 50}{1} = 314,159$$

Рассчитаем и построим естественную электромеханическую характеристику

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + (I'_2(\omega))^2 + I_0 \cdot I'_2(\omega) \cdot \sin \phi_2(\omega)},$$

где:

$$\sin \phi_2(\omega) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{KH}^2}};$$

$I'_2(\omega)$  - значение приведенного тока ротора от скольжения;

$$I'_2(s) = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}}$$

По выше приведённым формулам рассчитывается естественная электромеханическая характеристика, приведенная на рис. 3.6.

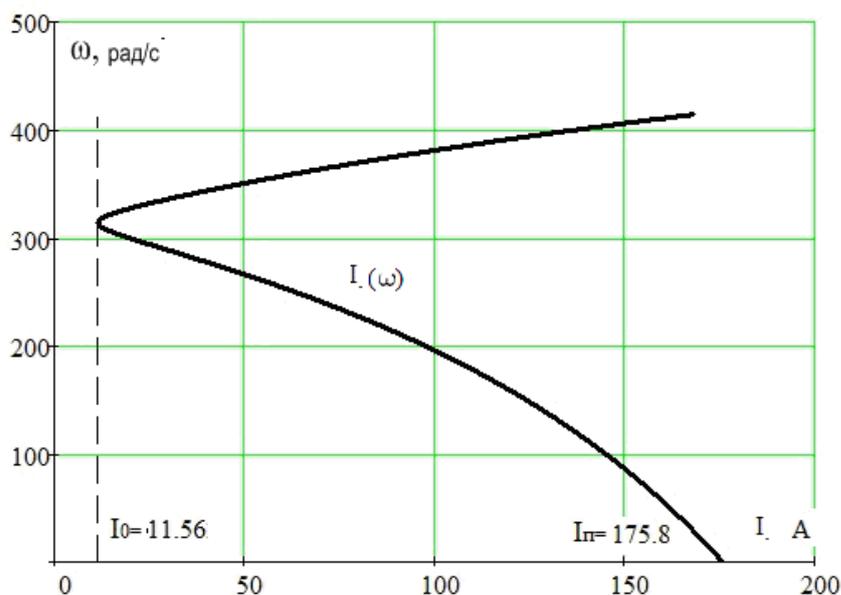


Рисунок 3.7 – Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя

Рассчитаем и построим естественную механическую характеристику по следующей формуле

$$M = \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R_2'}{s \cdot \omega_0 \cdot \left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]},$$

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

По выше приведённым формулам строим естественную механическую характеристику, приведенную на рис. 3.7.

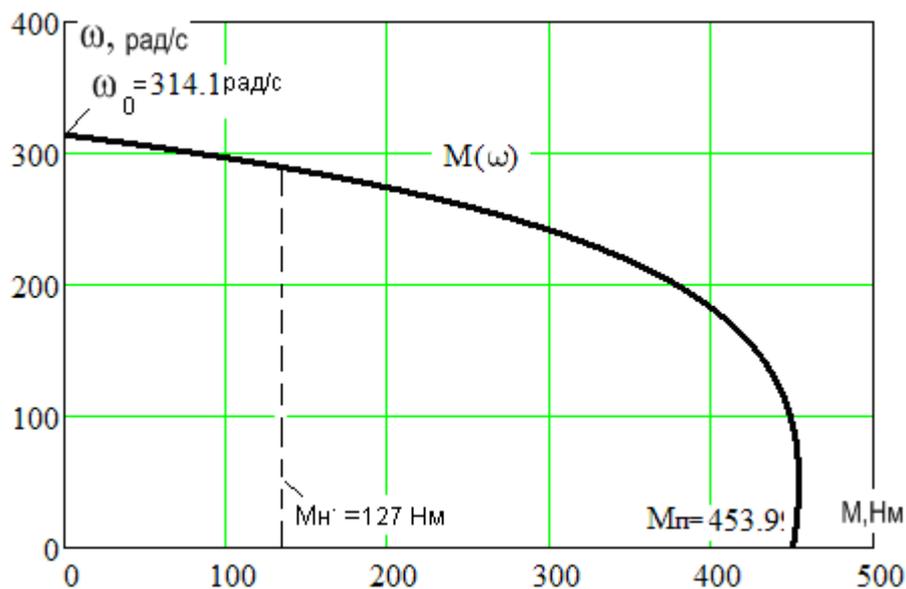


Рисунок 3.8 – Естественная механическая характеристика  $M = f(\omega)$  асинхронного двигателя

### Расчетная характеристика

Момент номинальный

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_0(1 - S_H)} = \frac{40000}{314 \cdot (1 - 0,085)} = 127 \text{ Нм}$$

Момент минимальный:  $M_{мин} = M_{ном} \cdot k_{мин} = 127 \cdot 0,9 = 114 \text{ Нм}$

Момент критический:  $M_{кр} = M_{ном} \cdot k_{маx} = 127 \cdot 3,2 = 406 \text{ Нм}$

Момент пусковой:  $M_{\text{пуск}} = M_{\text{ном}} \cdot M_{\text{пуск}^*} = 127 \cdot 2.5 = 317 \text{ Нм}$

Данными методами можно построить электромеханическую характеристику, но механическая характеристика получается не точной, так как не учитываются многие факторы и приняты допущения магнитные и механические потери  $0,02 P_{\text{н}}$ .

Расхождения в расчетных данных с паспортными, построенных по ним графиков вызвано тем, что паспортные данные приведены для двигателя с насыщенной магнитной системой, а мы не учитывали насыщение двигателя. Этим и вызвано различие полученных графиков и расчетных данных с паспортными.

### 3.6 Математическое описание обобщенной асинхронной машины

Уравнение для нахождения равновесия ЭДС на обмотках статора и ротора на втором законе Кирхгофа.

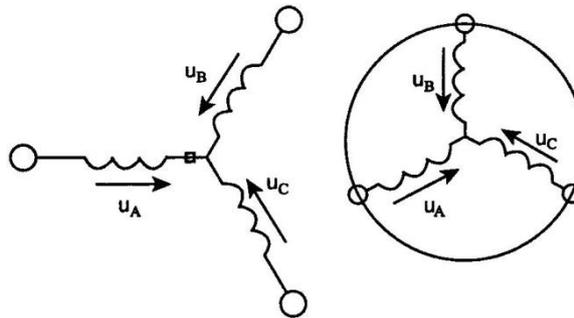


Рисунок 3.9 – Обобщённая асинхронная машина

Для статора

Для ротора

$$\left\{ \begin{array}{l} u_A = R_A \cdot i_A + \frac{d\psi_A}{dt} \\ u_B = R_B \cdot i_B + \frac{d\psi_B}{dt} \\ u_C = R_C \cdot i_C + \frac{d\psi_C}{dt} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} u_a = R_a \cdot i_a + \frac{d\psi_a}{dt} \\ u_b = R_b \cdot i_b + \frac{d\psi_b}{dt} \\ u_c = R_c \cdot i_c + \frac{d\psi_c}{dt} \end{array} \right.$$

(3.6.1)

Для статора

$$\left. \begin{aligned} \psi_A &= L_{AA} \cdot i_A + L_{AB} \cdot i_B + L_{AC} \cdot i_C + L_{Aa} \cdot i_a + L_{Ab} \cdot i_b + L_{Ac} \cdot i_c \\ \psi_B &= L_{BA} \cdot i_A + L_{BB} \cdot i_B + L_{BC} \cdot i_C + L_{Ba} \cdot i_a + L_{Bb} \cdot i_b + L_{Bc} \cdot i_c \\ \psi_C &= L_{CA} \cdot i_A + L_{CB} \cdot i_B + L_{CC} \cdot i_C + L_{Ca} \cdot i_a + L_{Cb} \cdot i_b + L_{Cc} \cdot i_c \end{aligned} \right\}$$

(3.6.2а)

Для ротора

$$\left. \begin{aligned} \psi_a &= L_{aA} \cdot i_A + L_{aB} \cdot i_B + L_{aC} \cdot i_C + L_{aa} \cdot i_a + L_{ab} \cdot i_b + L_{ac} \cdot i_c \\ \psi_B &= L_{bA} \cdot i_A + L_{bB} \cdot i_B + L_{bC} \cdot i_C + L_{ba} \cdot i_a + L_{bb} \cdot i_b + L_{bc} \cdot i_c \\ \psi_c &= L_{cA} \cdot i_A + L_{cB} \cdot i_B + L_{cC} \cdot i_C + L_{ca} \cdot i_a + L_{cb} \cdot i_b + L_{cc} \cdot i_c \end{aligned} \right\} \quad (3.6.2б)$$

По симметричному уравнению мы можем увидеть что потокосцепление каждой обмотки зависит от токов во всех обмотках и эти зависимости проявляются через взаимоиנדукцию.

$$\text{ю. } J_{\Sigma} \cdot \frac{d\vec{\omega}_m}{dt} = \vec{M} - \vec{M}_H, \quad (3.6.3)$$

$$\vec{M} = k \cdot (\vec{\psi} \times \vec{i}) \quad (3.6.4)$$

$$\vec{i} = \frac{2}{3} \cdot (i_A + \vec{a} \cdot i_B + \vec{a}^2 \cdot i_C) \quad (3.6.5)$$

Где  $\vec{a} = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ ,  $\vec{a}^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}}$  – это векторы, учитывающие пространственное смещение обмоток..

$$i_A = I_m \cdot \cos(\omega \cdot t), i_B = I_m \cdot \cos\left(\omega \cdot t - \frac{2\pi}{3}\right), i_C = I_m \cdot \cos\left(\omega \cdot t + \frac{2\pi}{3}\right) \quad \text{– трех}$$

фазная симметричная система токов статора.

Находим математическое описание пространственного вектора статорного тока:

$$\vec{i}_s = \frac{2}{3} \cdot \left( \cos \omega t + e^{j\frac{2\pi}{3}} \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + e^{j\frac{4\pi}{3}} \cdot \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \right) = I_m \cdot e^{j\omega t} \quad (3.6.6)$$

На рисунке 3.10 представлена геометрическая интерпретация пространственного вектора тока — это вектор на комплексной плоскости с модулем (длиной)  $I_m$ , вращающийся с угловой скоростью  $\omega$  в положительном направлении. Проекции вектора  $\vec{i}_s$  на фазные оси A, B, C определяют мгновенные токи в фазах. Аналогично пространственными векторами можно представить все напряжения, токи и потокосцепления, входящие в уравнения (1), (2).

Переходим к упрощению уравнений.

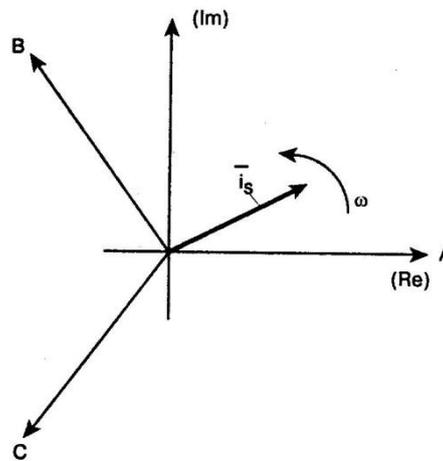


Рисунок 3.10 – Пространственный вектор тока.

**Шаг первый.** Для преобразования уравнений (3.6.1) в мгновенных значениях к уравнениям в пространственных векторах умножим их на выражения: первые уравнения на  $\frac{2}{3}$ , вторые на  $\frac{2}{3} \cdot \bar{a}$ , третьи на  $\frac{2}{3} \cdot \bar{a}^2$ , — и сложим отдельно для статора и ротора. Тогда получим:

$$\begin{cases} \vec{u}_s = R_s \cdot \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} \\ \vec{u}_r = R_r \cdot \vec{i}_r + \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} \\ \vec{\psi}_s = L_s \cdot \vec{i}_s + L_m(\Theta) \cdot \vec{i}_r \\ \vec{\psi}_r = L_r \cdot \vec{i}_r + L_m(\Theta) \cdot \vec{i}_s \end{cases} \quad (3.6.7)$$

где  $L_s, L_r$  — собственные индуктивности статора и ротора

$L_m(\Theta)$  – взаимная индуктивность между статором и ротором.

Таким образом, вместо двенадцати уравнений (3.6.1) – (3.6.2) получено лишь четыре уравнения (3.6.7).

**Шаг второй.**

$$\begin{cases} \vec{u}_s = R_s \cdot \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_s \\ \vec{u}_r = R_r \cdot \vec{i}_r + \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} + j(\omega_k - \omega) \cdot \vec{\psi}_r \\ \vec{\psi}_s = L_s \cdot \vec{i}_s + L_m(\Theta) \cdot \vec{i}_r \\ \vec{\psi}_r = L_r \cdot \vec{i}_r + L_m(\Theta) \cdot \vec{i}_s \end{cases} \quad (3.6.8)$$

где  $\omega = z_p \cdot \omega_m$ ,  $z_p$  – число пар полюсов в машине.

В уравнениях (3.6.8) все коэффициенты являются величинами постоянными, имеют четкий физический смысл и могут быть определены по паспортным данным двигателя, либо экспериментально .

**Шаг третий.** Этот шаг связан с определением момента. Момент в уравнении (3.6.4) является векторным произведением любой пары векторов. Из уравнения (3.6.8) следует, что таких пар может быть шесть  $(\vec{i}_s, \vec{i}_r); (\vec{\psi}_s, \vec{\psi}_r); (\vec{i}_s, \vec{\psi}_s); (\vec{i}_s, \vec{\psi}_r); (\vec{i}_r, \vec{\psi}_r); (\vec{i}_r, \vec{\psi}_s)$ . Часто в рассмотрение вводится потокосцепление взаимной индукции  $\vec{\psi}_m = L_m \cdot (\vec{i}_s + \vec{i}_r)$ . В этом случае появляется ещё четыре возможности представления электромагнитного момента машины через следующие пары:  $(\vec{i}_s, \vec{\psi}_m); (\vec{i}_r, \vec{\psi}_m); (\vec{i}_r, \vec{\psi}_m); (\vec{\psi}_r, \vec{\psi}_m)$  после выбора той или иной пары уравнение момента приобретает определенность, а количество уравнений в системе (3.6.8) сокращается до двух. Кроме того, в уравнениях (3.6.3) и (3.6.4) векторные величины момента и скорости могут быть заменены их модульными значениями. Это является следствием того, что пространственные векторы токов и потокосцеплений расположены в плоскости, перпендикулярной оси вращения, а векторы момента и угловой

скорости совпадают с осью. В качестве примера покажем запись уравнений момента через некоторые пары переменных состояния машины.

$$\begin{cases} M = \frac{3}{2} \cdot p \cdot L_m \cdot \text{Mod}(\vec{i}_s \times \vec{i}_r) \\ M = \frac{3}{2} \cdot p \cdot L_m \cdot \text{Mod}(\vec{\psi}_s \times \vec{i}_s) \\ M = \frac{3}{2} \cdot p \cdot L_m \cdot \text{Mod}(\vec{\psi}_r \times \vec{i}_s) \end{cases} \quad (3.6.9)$$

### 3.7 Структурная схема силового канала электропривода

Математическое описание силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель, в неподвижной системе координат  $\alpha, \beta$ , ориентированной по вектору потокосцепления ротора.

$$\begin{cases} U_{1\alpha} = R_2 \cdot (T_2 p + 1) \cdot I_{1\alpha} - \frac{R_2' \cdot L_\mu}{L_2^2} \cdot \psi_{2\alpha} - \frac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} = R_2 \cdot (T_2 p + 1) \cdot I_{1\beta} - \frac{R_2' \cdot L_\mu}{L_2^2} \cdot \psi_{2\beta} - \frac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \psi_{2\alpha} - L_\mu \cdot I_{1\alpha} + \frac{L_2}{R_2'} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \psi_{2\beta} - L_\mu \cdot I_{1\beta} + \frac{L_2}{R_2'} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ M_{эм} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_\mu}{L_2} \cdot z_p \cdot (\psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\ \omega = \frac{1}{Jp} \cdot (M_{эм} - M_c) \end{cases}$$

На основании данной системы уравнений была составлена структурная схема на рисунке 3.11[8].

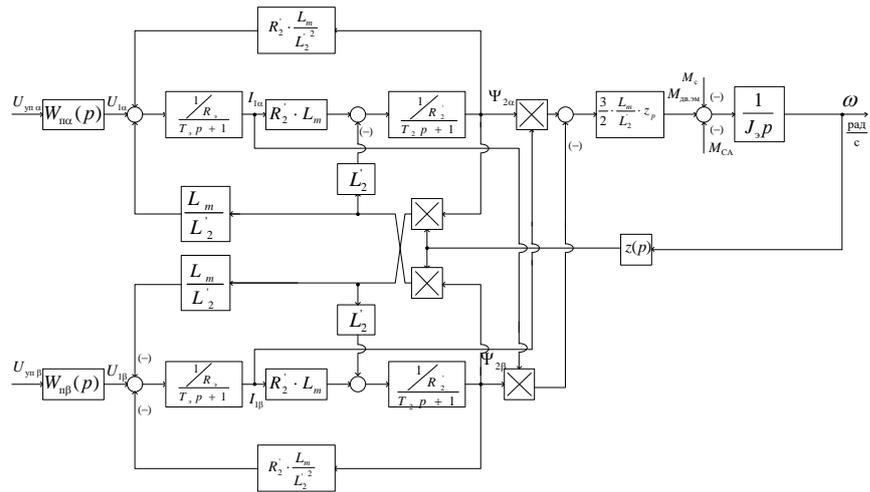


Рисунок 3.11 - Структурная схема силового канала системы преобразователь-асинхронный электродвигатель в неподвижной двухфазной системе координат

По структурной схеме рисунка 3.11 в пакете MATLAB разработана имитационная модель силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель в неподвижной системе координат [8], представленная на рисунке 3.12.

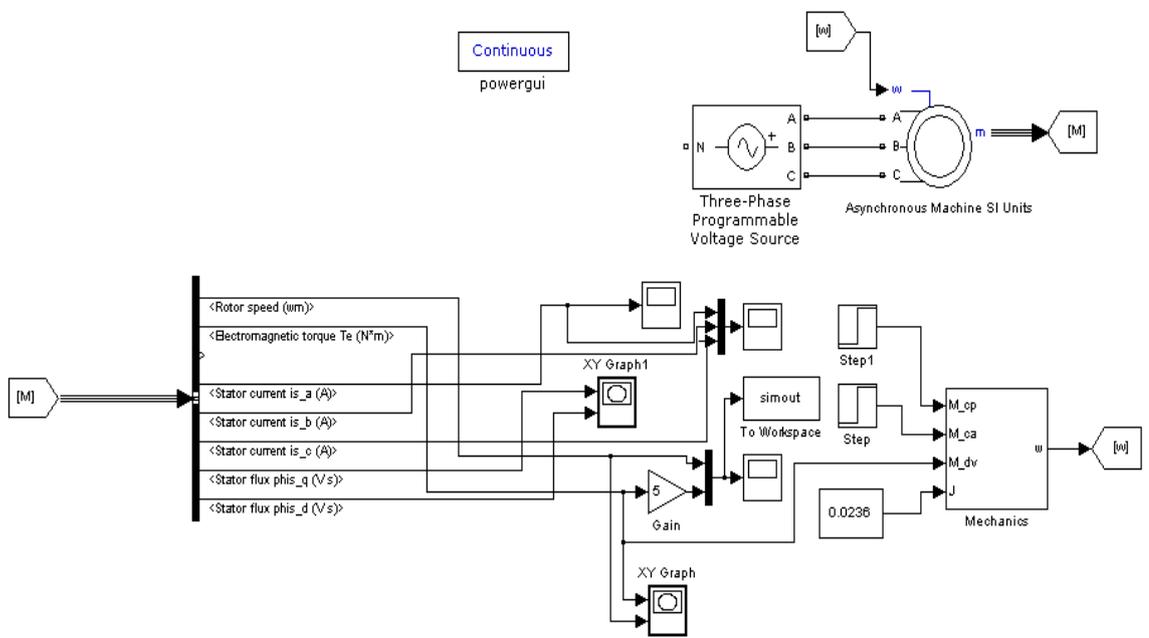


Рисунок 3.12 – Имитационная модель силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель

Динамические механические и переходные характеристики скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске на частоте преобразователя частоты 50Гц, полученные на модели, представлены на рисунках 3.13-3.15.

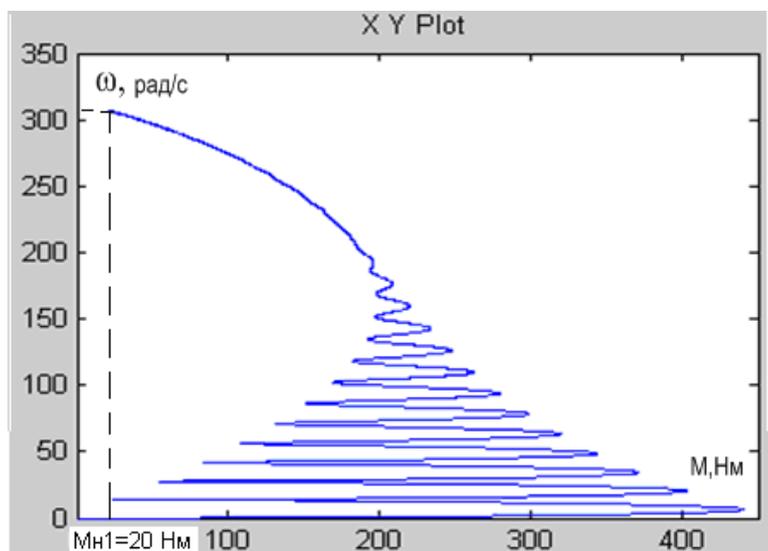


Рисунок 3.13 - Динамическая механическая характеристика ПЭД.

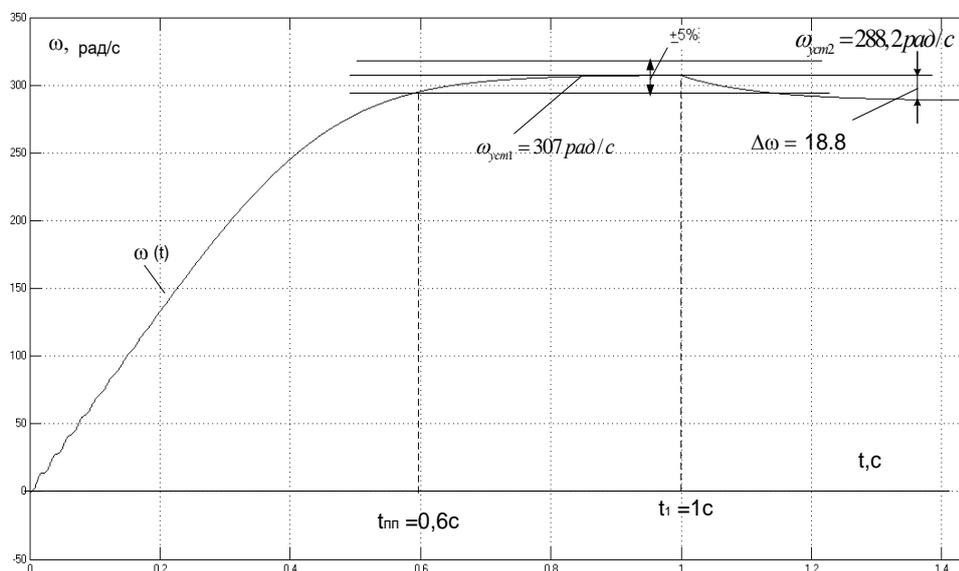


Рисунок 3.14 - График переходного процесса скорости ПЭД при набросе нагрузки  $M_{Н2} = 70\text{Нм}$

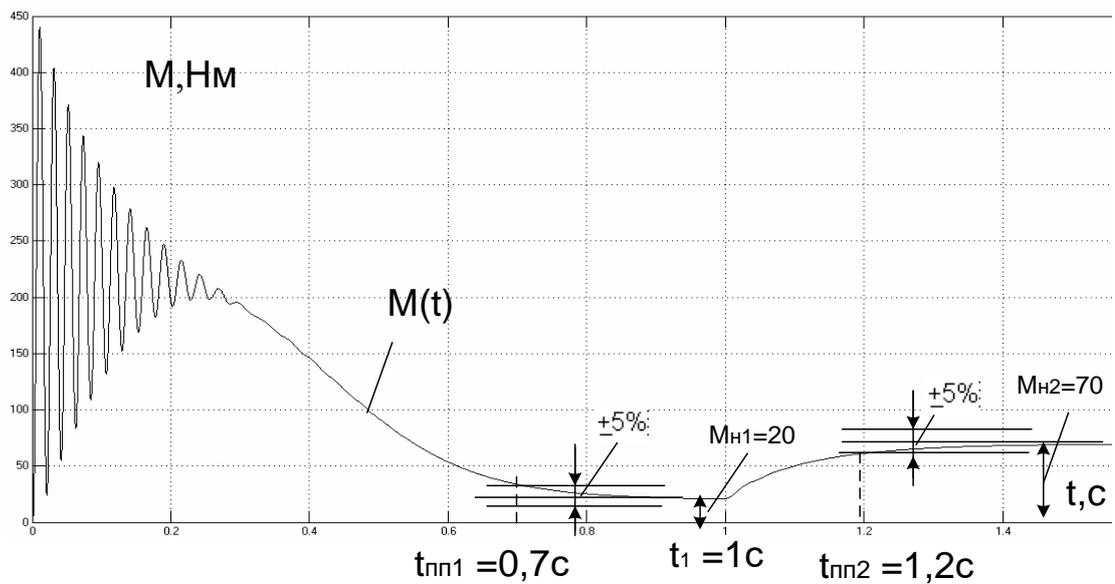


Рисунок 3.15 - График переходного процесса момента ПЭД при набросе нагрузки  $M_{н2} = 70$  Нм

Из рисунков видно, что с нагрузкой  $M_{н1} = 20$  Нм двигатель развил скорость равную  $\omega_{ycm} = 307$  рад/с, а при набросе нагрузки  $M_{н2} = 70$  Нм скорость снизилась на величину  $\Delta\omega = 18,8$  рад/с и стала равной  $\omega_{ycm2} = 288,2$  рад/с

#### 4 Расчет и построение искусственных механических и электромеханических характеристик разомкнутой системы «Преобразователь частоты - Асинхронный двигатель»

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

При законе регулирования  $Z_p = U_{1\phi} / f_1^3 = 578 / 50^3 = 0,0046$ .

Найдем относительные значения частот питающего напряжения:

$$\text{при } f_{1н1}=50 \text{ Гц} \quad f_{1*1} / f_{1i} = 50/50 = 1;$$

$$\text{при } f_{1н2}=40 \text{ Гц} \quad f_{1*2} = f_{2i} / f_{1i} = 40/50 = 0,8;$$

$$\text{при } f_{1н3}= 30 \text{ Гц} \quad f_{1*3} = f_{3i} / f_{1i} = 30/50 = 0,6;$$

$$\text{при } f_{1н4}=20 \text{ Гц} \quad f_{1*4} = f_{4i} / f_{1i} = 20/50 = 0,4.$$

Найдем фазное напряжение обмотки статора асинхронного двигателя

$$U_{1i1} = Z_p \cdot f_1^3 = 0,0046 \cdot 50^3 = 578 \text{ В};$$

$$U_{1н2} = Z_p \cdot f_{1н2}^3 = 0,0046 \cdot 40^3 = 294,4 \text{ В};$$

$$U_{1н3} = Z_p \cdot f_{1н3}^3 = 0,0046 \cdot 30^3 = 124,2 \text{ В};$$

$$U_{1i4} = Z_p \cdot f_{1i4}^3 = 0,0046 \cdot 20^3 = 37 \text{ В}.$$

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

$$\omega_{01} = \frac{2\pi \cdot f_{1i}}{\delta} = \frac{2\pi \cdot 50}{1} = 314,159 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{02} = \frac{2\pi \cdot f_{1i2}}{\delta} = \frac{2\pi \cdot 40}{1} = 251,2 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{03} = \frac{2\pi \cdot f_{1i3}}{\delta} = \frac{2\pi \cdot 30}{1} = 188,5 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{04} = \frac{2\pi \cdot f_{1i}}{\delta} = \frac{2\pi \cdot 20}{1} = 125,6 \text{ рад/с}.$$

Определим токи холостого хода при данных частотах регулирования.

$$I_{01} = \frac{U_{1н1}}{X_{\mu H}} = \frac{578}{44,654} = 10,5 \text{ А};$$

$$I_{02} = \frac{U_{1H2}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*2}} = \frac{294,4}{44,65 \cdot 0,8} = 6,7 \text{ A};$$

$$I_{03} = \frac{U_{1H3}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*3}} = \frac{124,2}{44,65 \cdot 0,6} = 3,77 \text{ A};$$

$$I_{04} = \frac{U_{1H4}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*4}} = \frac{37}{44,65 \cdot 0,4} = 1,68 \text{ A}.$$

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

$$I'_2(s, f) = \frac{U_1(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f) + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}\right)^2}},$$

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

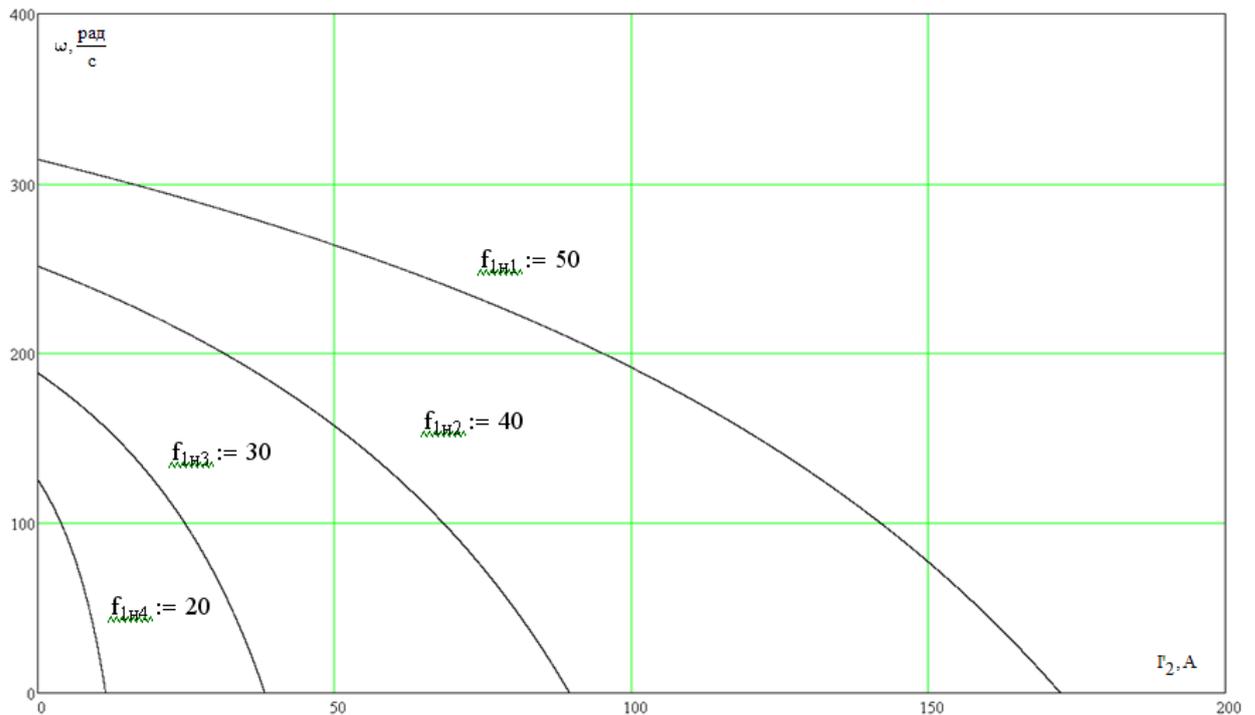


Рисунок 4.1 – Искусственные электромеханические характеристики  $\Gamma_2(\omega)$  при частотном регулировании скорости

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

$$I_1(s, f) = \sqrt{\left(I_0(f)\right)^2 + \left(I'_2(s, f)\right)^2 + 2 \cdot I_0(f) \cdot I'_2(s, f) \cdot \sin \varphi_2(s, f)},$$

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

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

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

МОСТИ ОТ ЧАСТОТЫ.

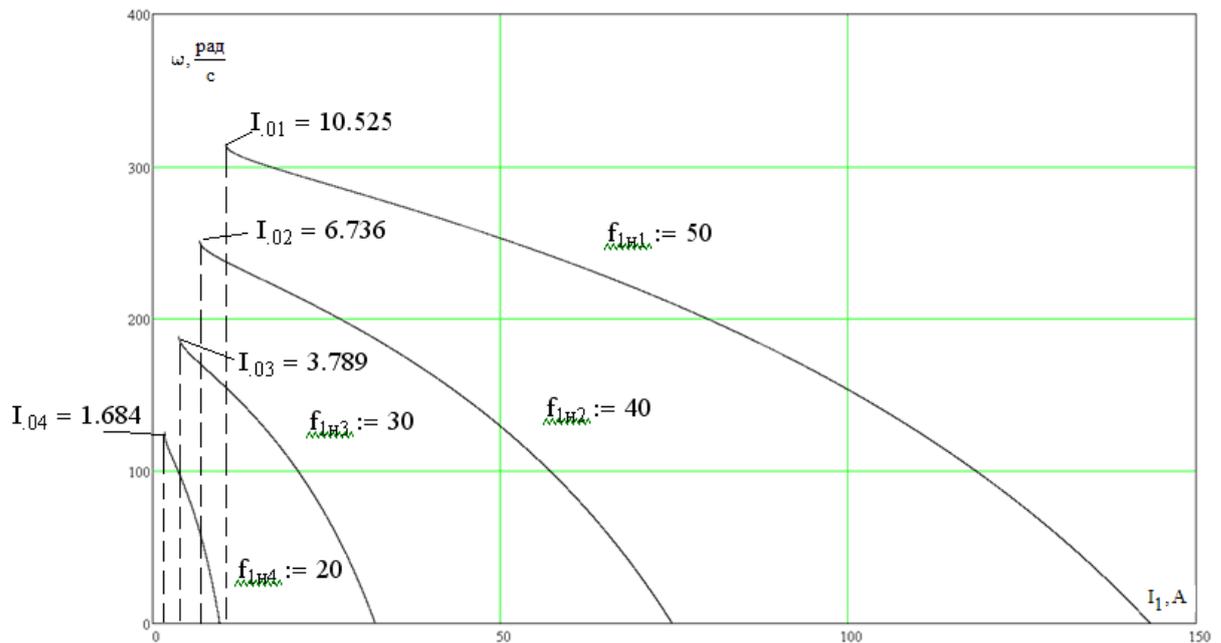


Рисунок 4.2 – Искусственные электромеханические характеристики  $I_1(\omega)$  при частотном регулировании скорости

Механические характеристики АД  $M(\omega)$  рассчитываем для выбранных частот, по выражениям:

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2 \cdot R_2'}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[ X_{\text{эф}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu i} \cdot f_{1*}(f)}\right)^2 \right]},$$

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

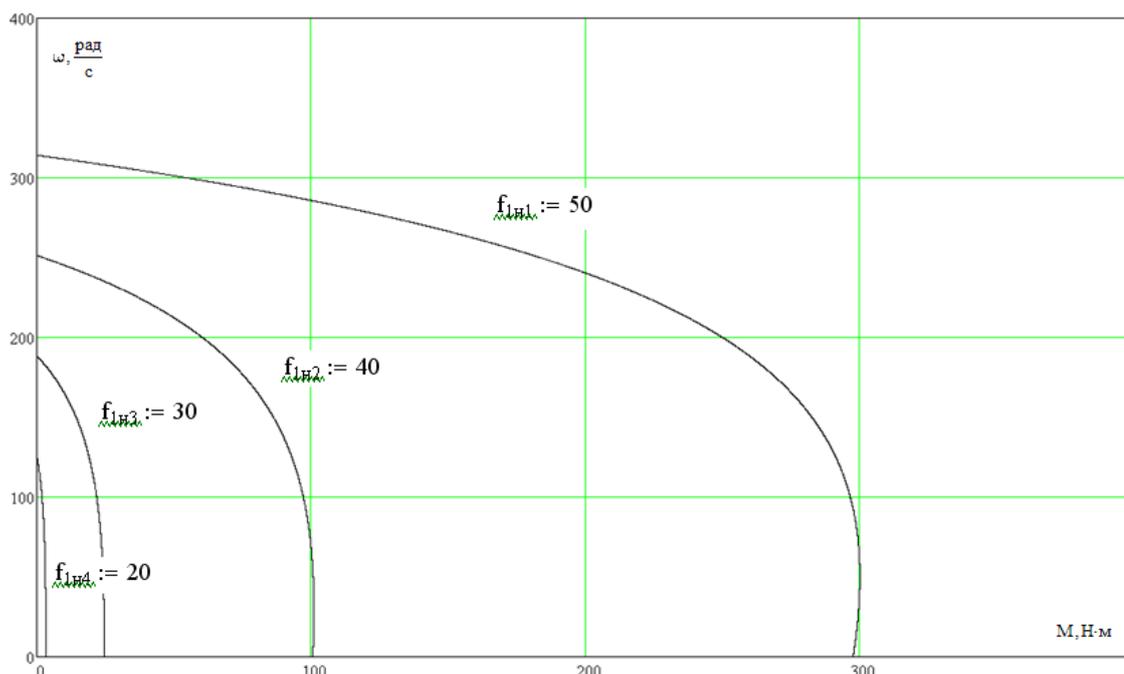


Рисунок 4.3 – Искусственные механические характеристики  $M(\omega)$  при частотном регулировании скорости

#### 4.1 Модель системы преобразователь частоты – асинхронный электропривод

Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией приведена на рисунке 4.4.

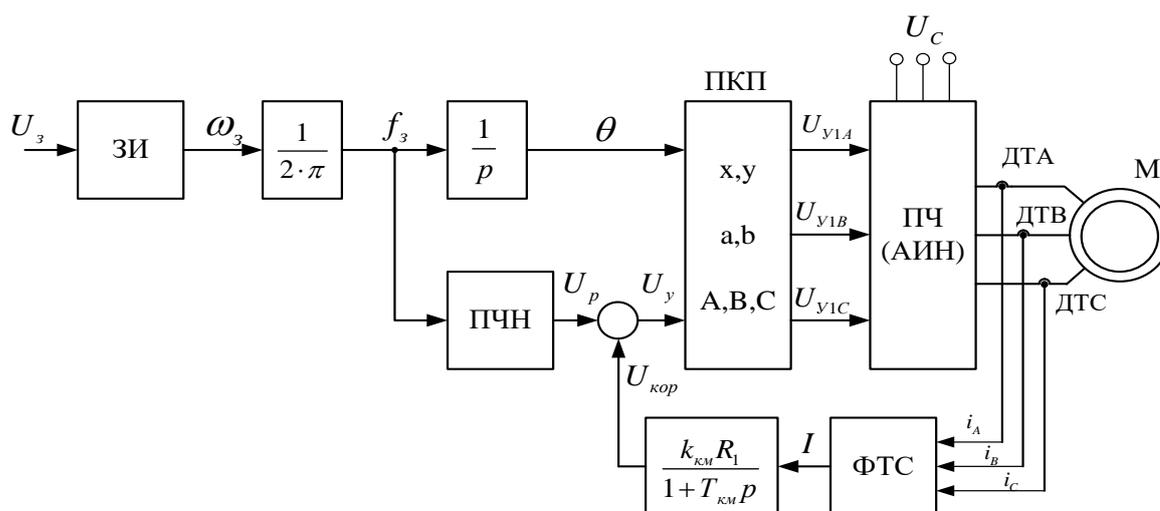


Рисунок 4.4 - Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией

Задатчик интенсивности формирует кривую и темп разгона двигателя. При дистанционном управлении электроприводом сигналом задания скорости является задающее напряжение  $U_3$ . Ему соответствует задающая частота  $f_3$  местного управления, в этом случае управление пуском и остановом двигателем производится с панели преобразователя. Блок “преобразователь частота-напряжение” ПЧН формирует требуемую зависимость скалярного управления между частотой и напряжением преобразователя, чем и устанавливается принятый закон частотного регулирования  $U_{1\phi} / f_1^3 = const$ .

При скалярной ИР-компенсации сигнал управления  $U_y$  является суммой сигналов регулирования  $U_p$  и положительной обратной связи по току  $U_{кор}$

$$U_y = U_p + U_{кор} = U_p + k_{км} \cdot R_1 \cdot I ,$$

где  $k_{км}$  – коэффициент положительной обратной связи по току;

$R_1$ - активное сопротивление фазы обмотки статора АД;

$I$  – сигнал пропорциональный действующим значениям токов  $i_a, i_b, i_c$  обмоток статора АД.

Сигнал управления является входным для прямого координатного преобразователя (ПКП), на выходе которого формируется три синусоидальных напряжения управления  $U_{1yA}, U_{1yB}, U_{1yC}$  сдвинутые относительно друг друга на угол  $\pm 2\pi/3$ , с амплитудами пропорциональными напряжению управления. Сигналы  $U_{1yA}, U_{1yB}, U_{1yC}$  формируют фазные напряжения на выходе автономного инвертора напряжения (АИН).

Произведем расчет статических характеристик.

Примем коэффициенты компенсации:  $K_{км}=0,25; 0,5; 0,75$ .

Найдем эквивалентные сопротивление ротора с учетом ИР – компенсации

$$R_{1ЭKB1} = R_1 \cdot (1 - K_{км1}) = 1,62 \cdot (1 - 0,25) = 1,215 \text{ Ом};$$

$$R_{1ЭKB2} = R_1 \cdot (1 - K_{км2}) = 1,62 \cdot (1 - 0,5) = 0,81 \text{ Ом};$$

$$R_{1ЭKB3} = R_1 \cdot (1 - K_{км3}) = 1,62 \cdot (1 - 0,75) = 0,405 \hat{=} \hat{i} .$$

Строим электромеханические характеристики  $\Gamma_2(\omega)$  для выбранных частот и коэффициентов  $K_{\text{КМ}}$  по выражениям

$$I_2'(s, f, K_{\text{КМ}}) = \frac{U_1(f)}{\sqrt{\left( R_{1\text{ЭКВ}}(K_{\text{КМ}}) + R_2' / s \right)^2 + X_{\text{КН}}^2 \cdot f_{1*}^2(f) + \left( \frac{R_{1\text{ЭКВ}}(K_{\text{КМ}}) \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu\text{Н}} \cdot f_{1*}(f)} \right)^2}},$$

где  $R_{1\text{ЭКВ}}(K_{\text{КМ}}) = R_1 \cdot (1 - K_{\text{КМ}})$  – эквивалентное активное сопротивление статорной цепи.

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

$f_{1*}(f) = \frac{f}{f_{1\text{Н}}}$  – относительная частота питающего напряжения;

$\omega_0(f) = \omega_{0\text{Н}} \cdot f_{1*}(f)$  – скорость идеального холостого хода при данной частоте напряжения питания;

в диапазоне скорости  $\omega = 0 \div \omega_0$ .

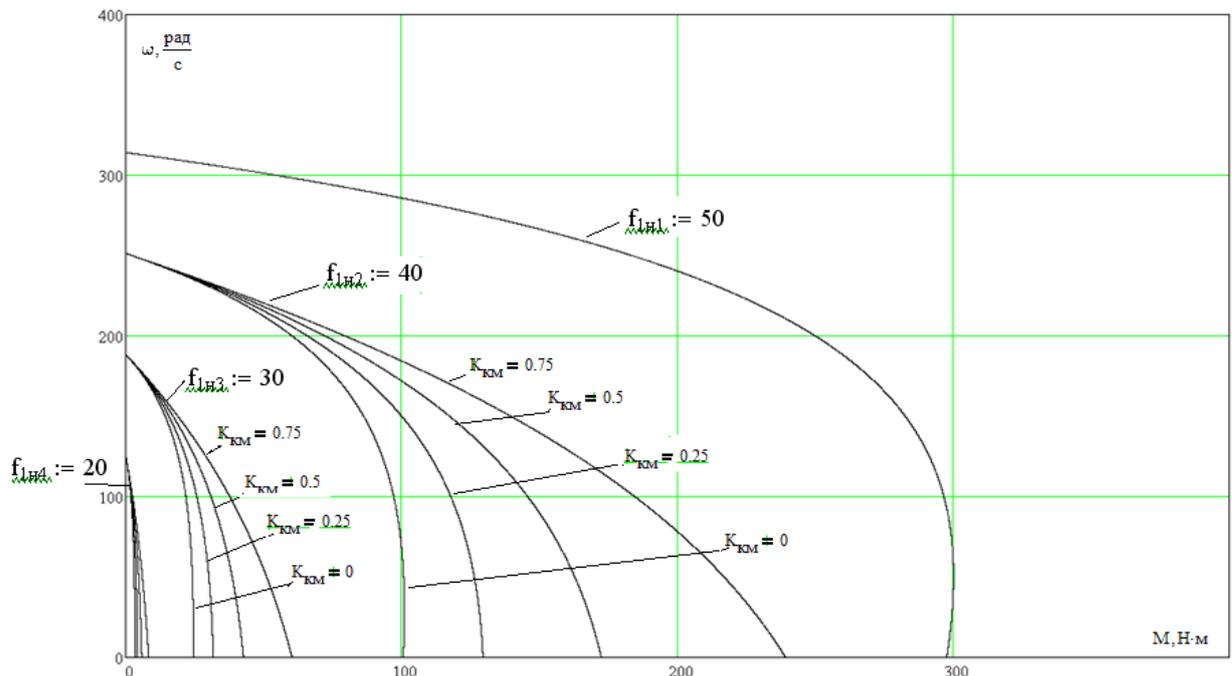


Рисунок 4.5 – Искусственные электромеханические характеристики  $\Gamma_2(\omega)$  при частотном регулировании скорости с IR-компенсацией

Также строим электромеханические характеристики  $I_1(\omega)$  для выбранных частот и коэффициентов  $K_{\text{КМ}}$  по выражениям

$$I_1(s, f, K_{KM}) = \sqrt{(I_0(f))^2 + (I'_2(s, f, K_{KM}))^2 + 2 \cdot I_0(f) \cdot I'_2(s, f, K_{KM}) \cdot \sin \varphi_2(s, f, K_{KM})}$$

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

$$\text{где } \sin \varphi_2(s, f, K_{KM}) = \frac{X_{KH} \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{\left(R_{1\text{ЭKB}}(K_{KM}) + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f)}};$$

$$I_0(f) = \frac{U_1(f)}{X_{\mu\text{H}} \cdot f_{1*}(f)}$$

ток холостого хода асинхронного двигателя в зависимости от частоты.

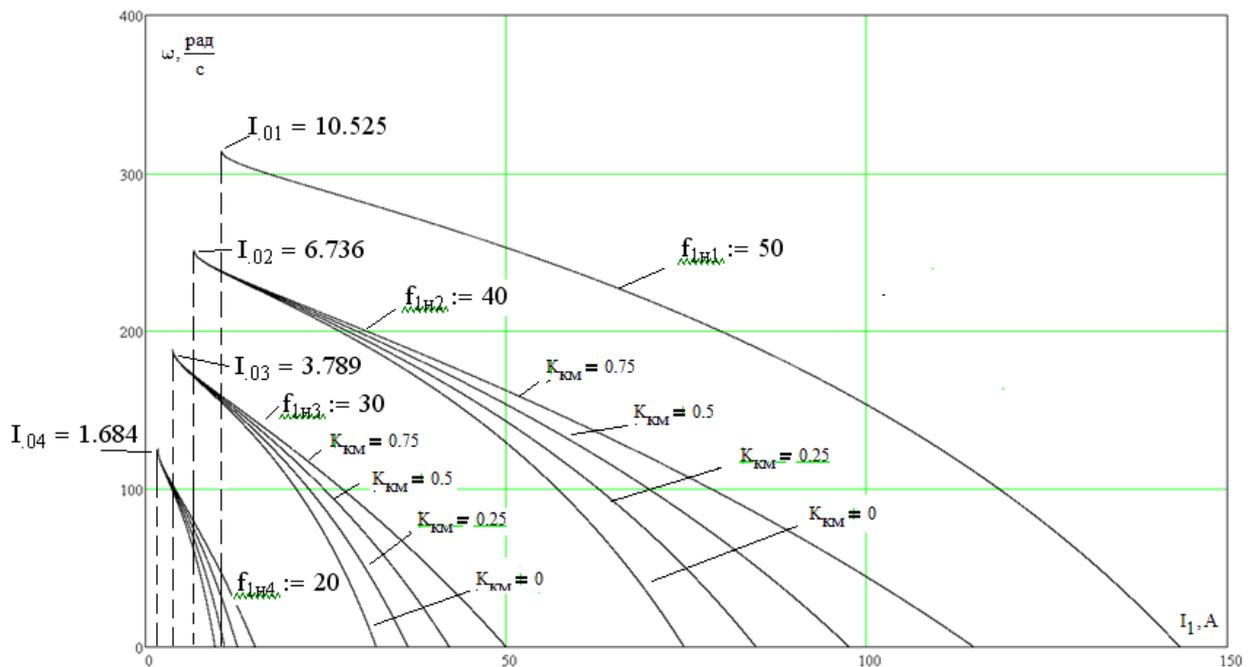


Рисунок 4.6 – Искусственные электромеханические характеристики  $I_1(\omega)$  при частотном регулировании скорости с ИР-компенсацией

Механические характеристики асинхронного двигателя  $M(\omega)$  рассчитываем для выбранных частот и коэффициентов  $K_{KM}$  по выражениям

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2 \cdot R'_2}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[ X_{KH}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 + \left(R_{1\text{ЭKB}}(K_{KM}) + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_{1\text{ЭKB}}(K_{KM}) \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu\text{H}} \cdot f_{1*}(f)}\right)^2 \right]}$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1-s)\sqrt{2}.$$

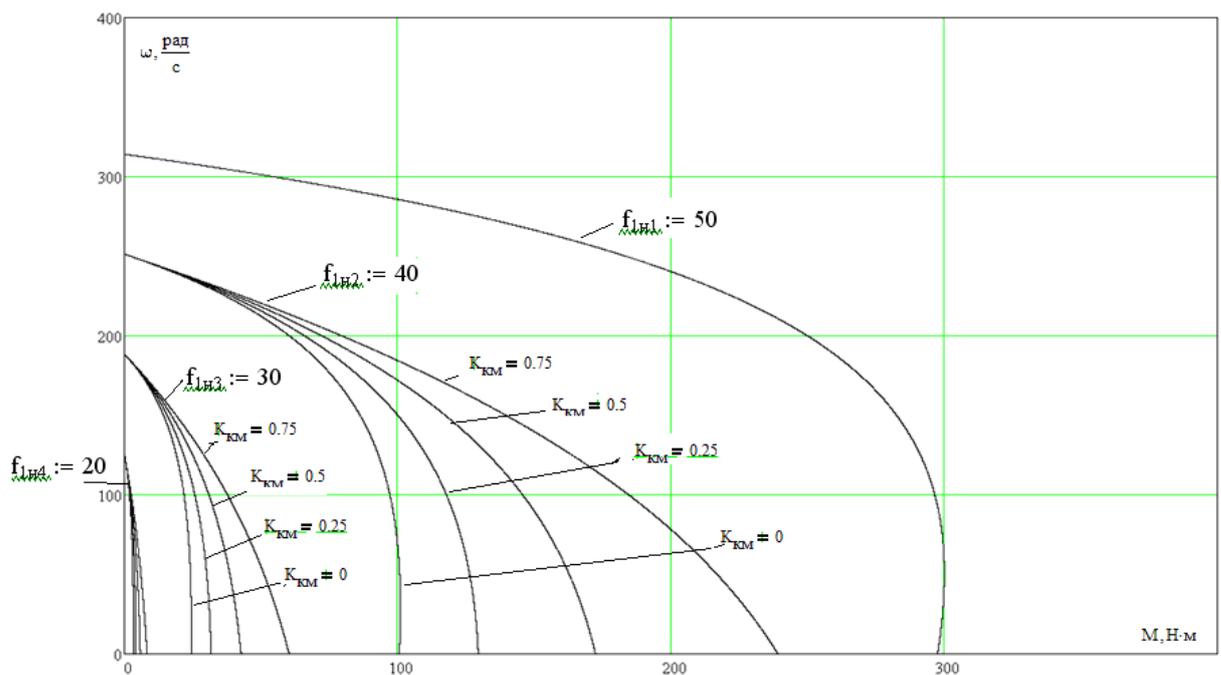


Рисунок 4.7 – Искусственные механические характеристики  $M(\omega)$  при частотном регулировании скорости с IR-компенсацией

При работе на естественной характеристике ( $f=50$  Гц) IR-компенсация не применяется, так как фазное напряжение повышается выше номинального что недопустимо.

- электромеханические характеристики;

при увеличении коэффициента компенсации момента  $K_{KM}$  токи короткого замыкания  $I_{KЗ}$  имеют большие значения, причем эти различия тем больше, чем меньше частота обмоток статора  $f_1$ . Это объясняется тем, что при малых частотах больше доля падения напряжения на активном сопротивлении  $R_1$ , следовательно, больше доля компенсации.

- механические характеристики;

при увеличении коэффициента компенсации момента  $K_{KM}$  критический момент увеличивается, а характеристики становятся более жесткими. На графике различия в критическом и пусковом моментах при различных  $K_{KM}$  не так заметны. Это можно объяснить тем, что мощность двигателя ве-

лика и сопротивление его статорной обмотки мало, а соответственно и падение напряжения на ней невелико.

#### 4.2 Расчет потерь в асинхронном двигателе при работе на искусственных характеристиках вентиляторной нагрузкой

Определим потери в роторе при работе с вентиляторной нагрузкой. Зададим функцию нагрузки. Примем момент трения  $M_0 = 2 \text{ Н·м}$ . Примем, что при частоте  $f_{1н} = 50 \text{ Гц}$  нагрузка проходит через точку номинального режима двигателя. Рассчитаем коэффициент  $k$ .

$$k = \frac{M_{\text{н.дв}} - M_0}{\omega_{\text{н.дв}}^3} = \frac{127 - 2}{287^3} = 5,26 \cdot 10^{-6}.$$

Вентиляторная нагрузка описывается функцией

$$M_{\text{н.дв}} = M_0 + k \cdot \omega^3 = 2 + 5,26 \cdot 10^{-6} \cdot \omega^3.$$

Построим механические характеристики двигателя и нагрузки.

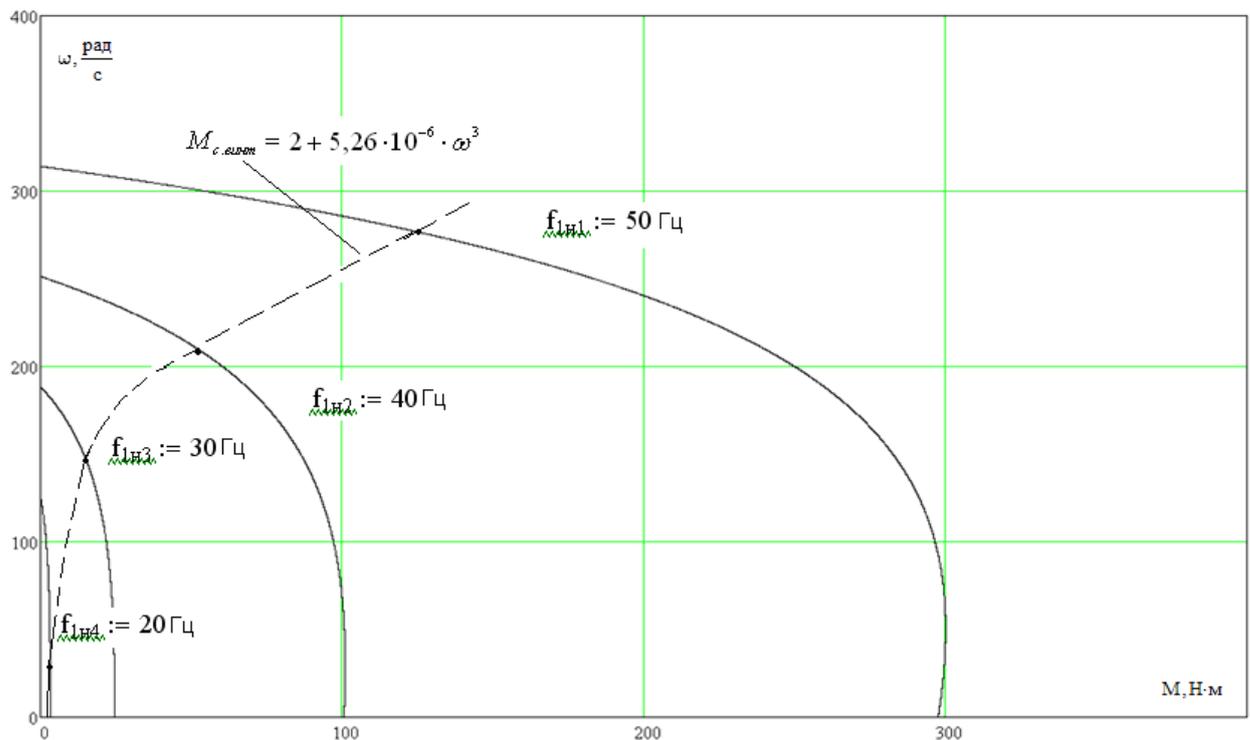


Рисунок 4.8 – Искусственные механические характеристики  $M(\omega)$  при частотном регулировании скорости с вентиляторной нагрузкой

Найдем частоты вращения, при которых происходит пересечение механических характеристик нагрузки и двигателя:

1.  $f_{1H1}=50$  Гц –  $\omega_{p1}=287$  рад/с;
2.  $f_{1H2}=40$  Гц –  $\omega_{p2}=209$  рад/с;
3.  $f_{1H3}=30$  Гц –  $\omega_{p3}=147,5$  рад/с;
4.  $f_{1H4}=20$  Гц –  $\omega_{p4}=44$  рад/с;

Определим момент нагрузки и скольжение для каждой частоты вращения.

$$1. M_{\tilde{n}, \hat{\omega} \dot{\delta} 1} = M_0 + k \cdot \omega_{\delta 1}^3 = 2 + 5,26 \cdot 10^{-6} \cdot 287^3 = 127 \text{ Ё } \dot{\delta} ;$$

$$s_{\delta 1} = \frac{\omega_0 - \omega_{\delta 1}}{\omega_0} = \frac{314,16 - 287}{314,16} = 0,085 ,$$

$$2. M_{\tilde{n}, \hat{\omega} \dot{\delta} 2} = M_0 + k \cdot \omega_{\delta 2}^3 = 2 + 5,26 \cdot 10^{-6} \cdot 209^3 = 50,3 \text{ Ё } \dot{\delta} ;$$

$$s_{\delta 2} = \frac{\omega_{02} - \omega_{\delta 2}}{\omega_{02}} = \frac{251,2 - 209}{251,2} = 0,168 ,$$

$$3. M_{\tilde{n}, \hat{\omega} \dot{\delta} 3} = M_0 + k \cdot \omega_{\delta 3}^3 = 2 + 5,26 \cdot 10^{-6} \cdot 147,5^3 = 19 \text{ Ё } \dot{\delta} ;$$

$$s_{\delta 3} = \frac{\omega_{03} - \omega_{\delta 3}}{\omega_{03}} = \frac{188,4 - 147,5}{188,4} = 0,277 ,$$

$$4. M_{\tilde{n}, \hat{\omega} \dot{\delta} 4} = M_0 + k \cdot \omega_{\delta 4}^3 = 2 + 5,26 \cdot 10^{-6} \cdot 44^3 = 2,45 \text{ Ё } \dot{\delta} ;$$

$$s_{\delta 3} = \frac{\omega_{03} - \omega_{\delta 3}}{\omega_{03}} = \frac{125,6 - 44}{125,6} = 0,65$$

Потери в роторе рассчитаем по выражению

$$\Delta \mathcal{E}_2 = \omega_0 \cdot s_p \cdot M_{\tilde{n}, \hat{\omega} \dot{\delta}}$$

$$\Delta \mathcal{E}_{21} = \omega_{01} \cdot s_{p1} \cdot M_{\tilde{n}, \hat{\omega} \dot{\delta} 1} = 314,16 \cdot 0,085 \cdot 127 = 3391,4 \text{ Ђ } \dot{\delta} ;$$

$$\Delta \mathcal{E}_{22} = \omega_{02} \cdot s_{p2} \cdot M_{\tilde{n}, \hat{\omega} \dot{\delta} 2} = 251,52 \cdot 0,168 \cdot 50,3 = 2122,7 \text{ Ђ } \dot{\delta} ;$$

$$\Delta \mathcal{E}_3 = \omega_{03} \cdot s_{p3} \cdot M_{\tilde{n}, \hat{\omega} \dot{\delta} 3} = 188,5 \cdot 0,277 \cdot 19 = 992,1 \text{ Ђ } \dot{\delta} ;$$

$$\Delta \mathcal{E}_4 = \omega_{04} \cdot s_{p4} \cdot M_{\tilde{n}, \hat{\omega} \dot{\delta} 4} = 125 \cdot 0,65 \cdot 2,45 = 199 \text{ Ђ } \dot{\delta} .$$

Анализируя потери в роторе можно сказать, что уменьшение частоты преобразователя приводит к их уменьшению. Это можно объяснить тем, что момент нагрузки прямо пропорционален частоте вращения.

**5 Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска при вентиляторной нагрузке на валу двигателя системы «Преобразователь частоты – Асинхронный двигатель»**

В соответствии с функциональной схемой, представленной на рисунке 4.1, составим имитационную модель привода.

Для этого определим передаточные функции входящих в нее блоков. Представим математически рассчитанную и аппроксимированную ломаными линиями кривую зависимости  $U_{1\phi} = 0,0046 \cdot f_1^3$ .

Кривая задается в блоке ПЧН шестью точками:

1.  $f = 5$  Гц,  $U = 5,78$ В; 2.  $f = 10$  Гц,  $U = 8$ В; 3.  $f = 15$  Гц,  $U = 15,6$ В; 4.  $f = 25$  Гц,  $U = 72,5$ В; 5.  $f = 35$  Гц,  $U = 197$ В; 6.  $f = 50$  Гц,  $U = 578$ В.

Инвертор напряжения представим аperiodическим звеном. Его передаточная функция:

$$W_{ин}(p) = \frac{k_{ин}}{T_{ин} \cdot p + 1} = \frac{1}{0,0002p + 1},$$

где  $k_{ин} = 1$  - коэффициент передачи инвертора;

$$T_{ин} = \frac{1}{f_{нч}} = \frac{1}{5000} = 0,0002.$$

постоянная времени запаздывания автономного инвертора напряжения, где  $f_{нч} = 5000$  Гц - несущая частота инвертора.

Положительная обратная связь по току представляется аperiodическим звеном

$$W_{км}(p) = \frac{k_{км}}{T_{км}p + 1} = \frac{0,1}{0,02p + 1}.$$

где  $k_{км}$  - коэффициент положительной обратной связи по току, примем  $k_{км} = 0,1$ ;

$T_{\hat{e}i}$  - постоянная времени задержки измерения тока. Время достаточное для определения мгновенного значения тока статора асинхронного двигателя для современных контроллеров составляет  $T_{\hat{e}i} = 0,02$  с.

Имитационная модель изображена на рисунке 5.1. Модели входящих в нее блоков представлены на рисунках 5.2-5.5.



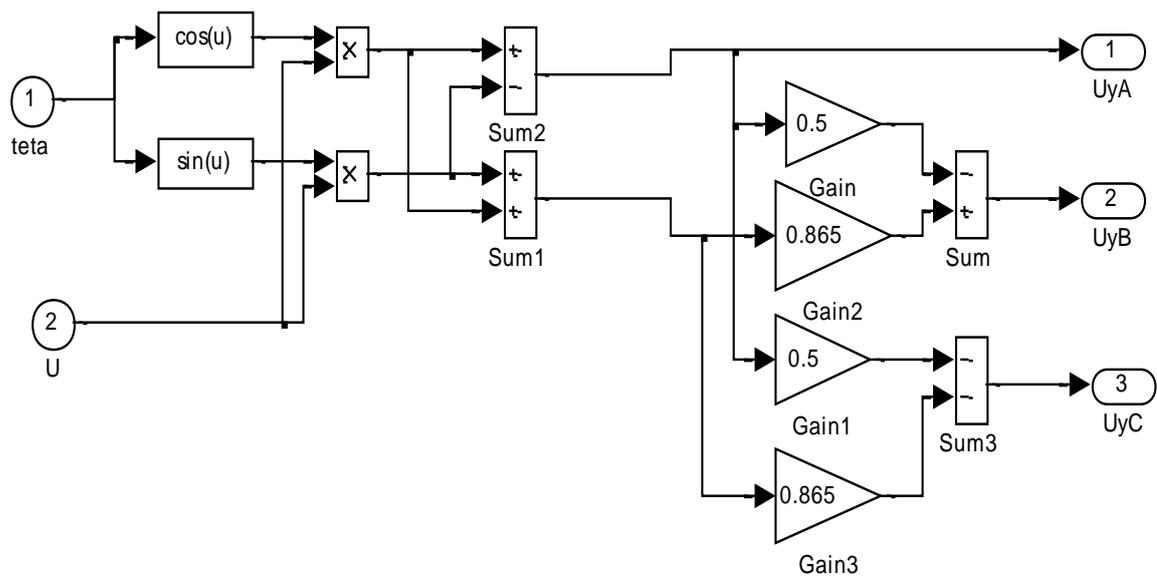


Рисунок 5.2 - Имитационная модель прямого координатного преобразователя

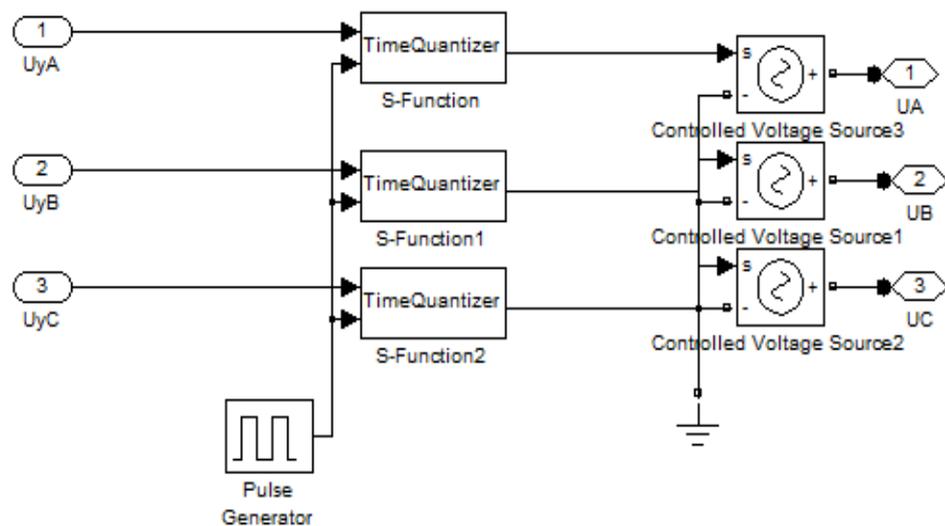


Рисунок 5.3 - Имитационная модель преобразователя частоты

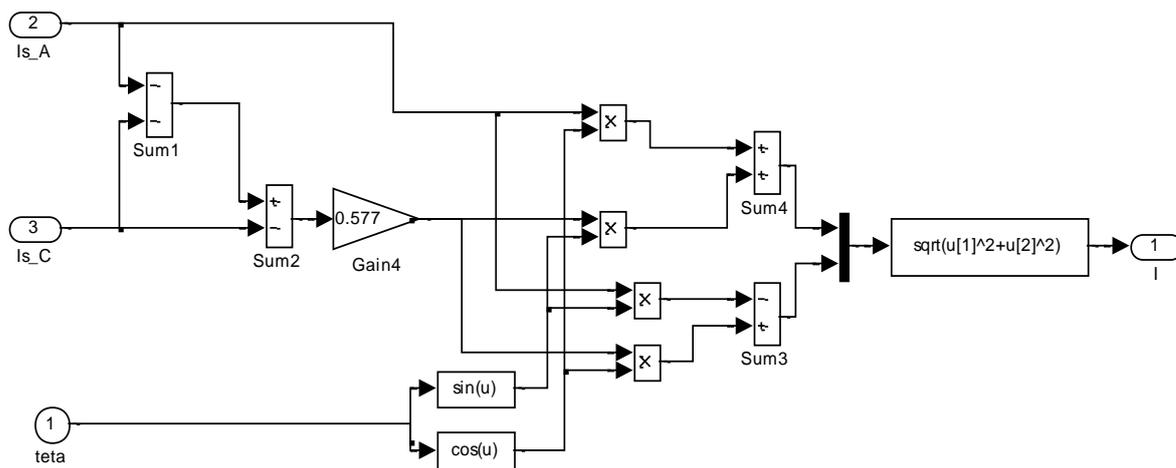


Рисунок 5.4 - Имитационная модель обратного координатного Преобразователя

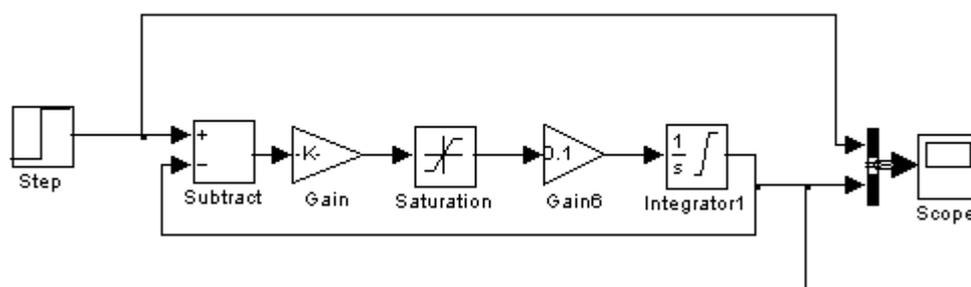


Рисунок 5.5 - Имитационная модель задатчика интенсивности

На входе электропривода установлен линейный задатчик интенсивности (ЗИ) имитационная модель, которого приведена на рисунке 5.5. Постоянная времени ЗИ по технологии равна  $T_{ЗИ} = 10$  с. С его применением во входной цепи управления электропривода может быть достигнуто ограничение момента и тока двигателя в пусковых режимах.

Динамические механические и переходные характеристики скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске от ЗИ при частотах преобразователя частоты 50Гц, 30Гц и 20Гц при коэффициенте IR-компенсации  $k_{км} = 0,1$  полученные на модели представлены на рисунках 5.6-5.11.

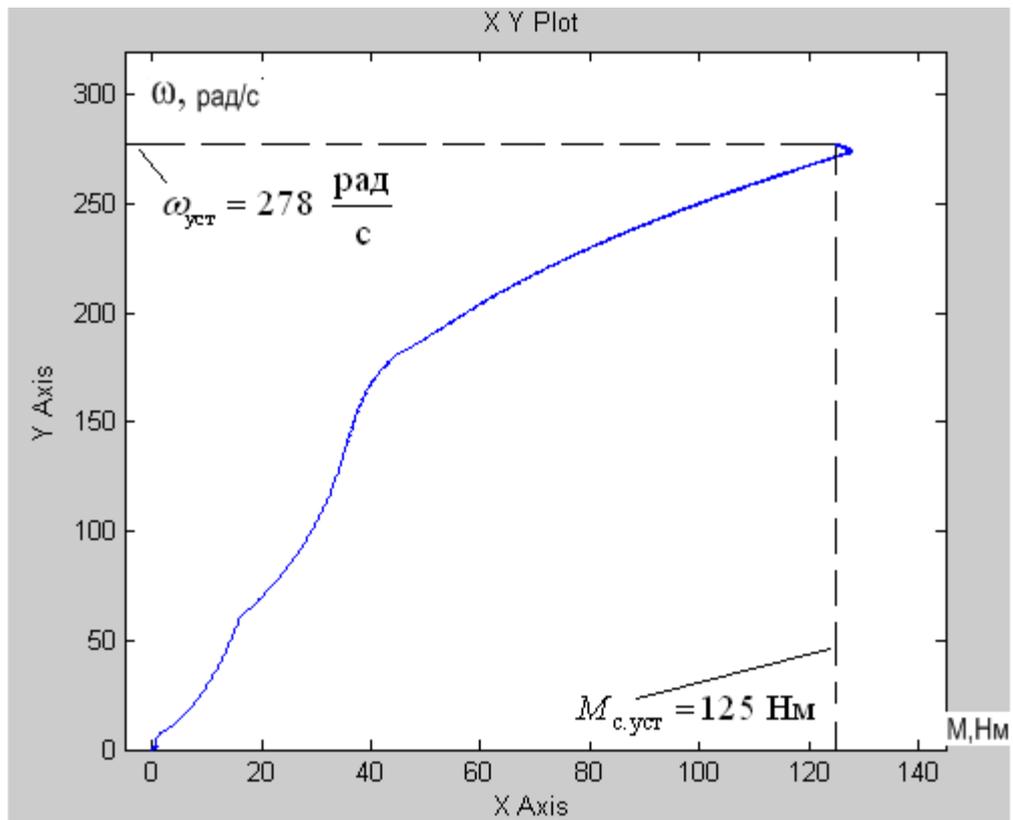


Рисунок 5.6 – Динамическая механическая характеристика при пуске с ЗИ при задании частоты преобразователя  $f = 50$  Гц и с  $k_{\text{км}} = 0,1$

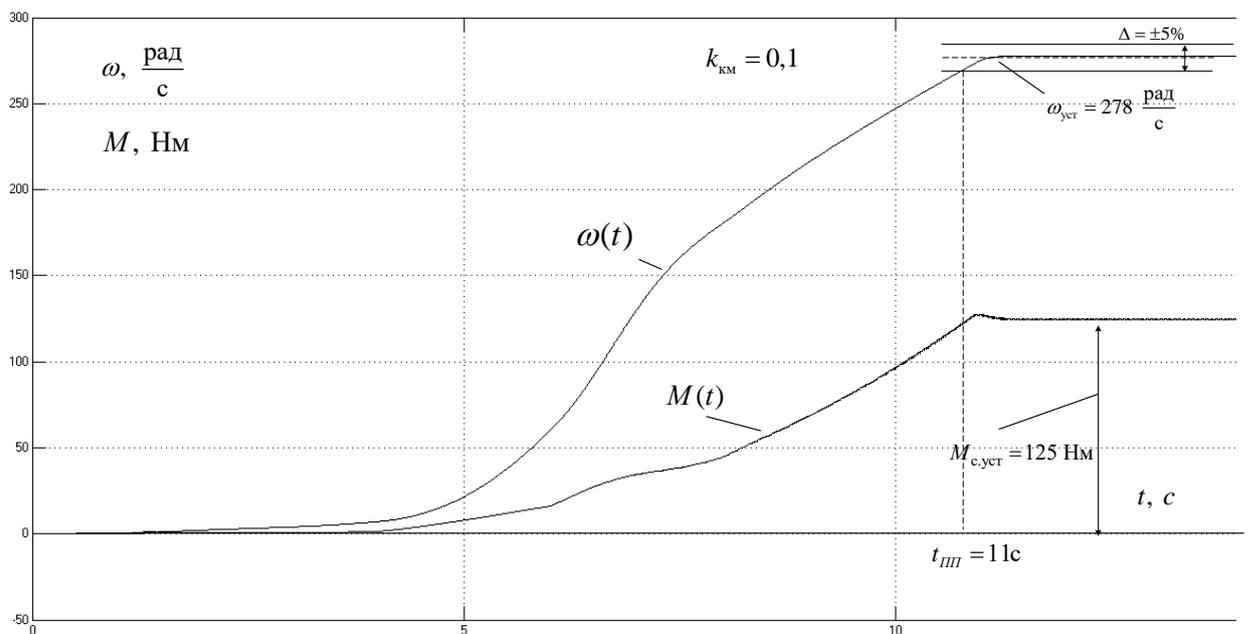


Рисунок 5.7 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске с ЗИ при задании частоты преобразователя  $f = 50$  Гц и с  $k_{\text{км}} = 0,1$

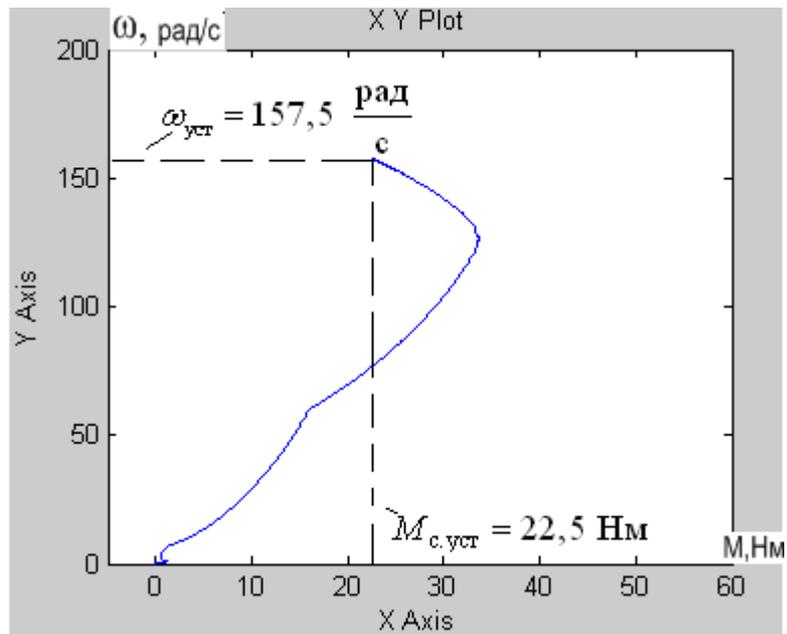


Рисунок 5.8 – Динамическая механическая характеристика при пуске с ЗИ при задании частоты преобразователя  $f = 30$  Гц и с  $k_{км} = 0,1$

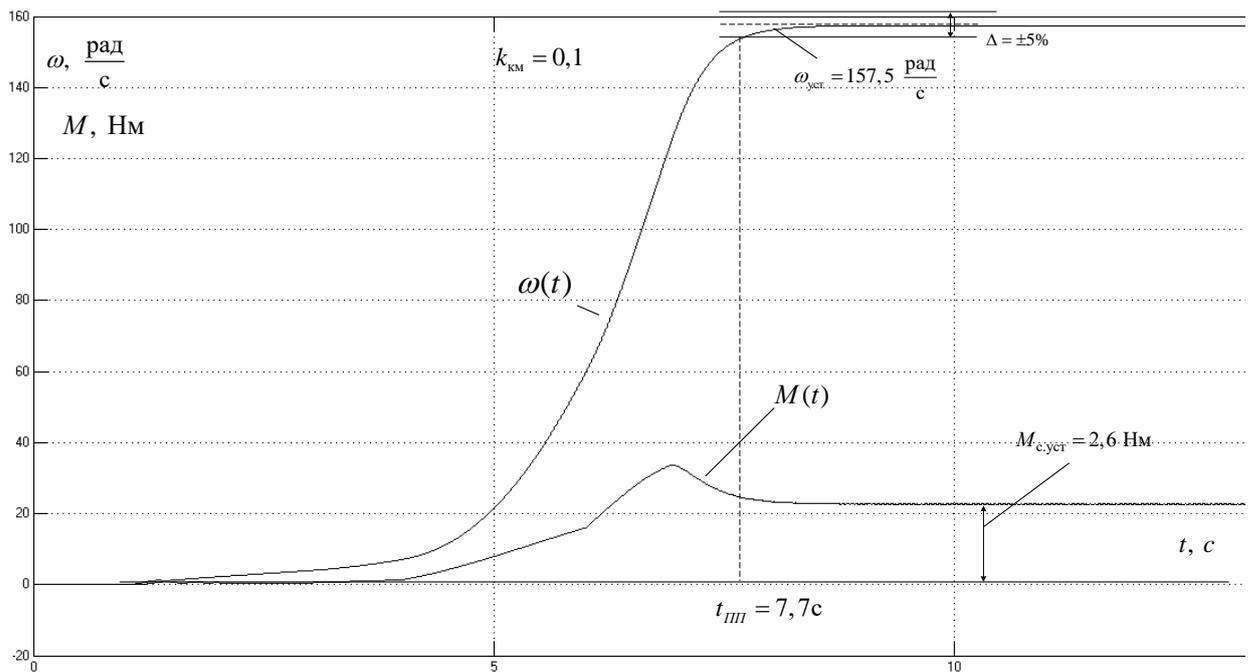


Рисунок 5.9 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске при пуске с ЗИ при задании частоты преобразователя  $f = 30$  Гц и с  $k_{км} = 0,1$

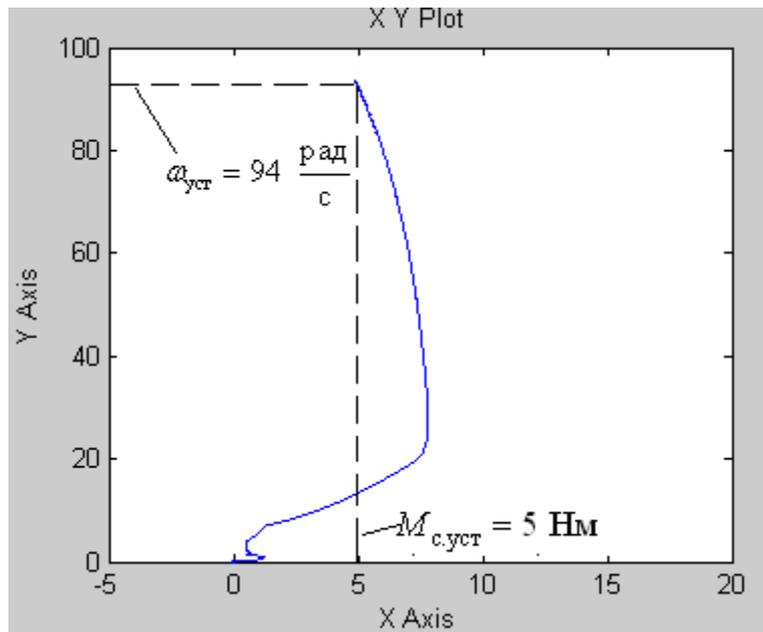


Рисунок 5.10 – Динамическая механическая характеристика при пуске с ЗИ при задании частоты преобразователя  $f = 20$  Гц и с  $k_{\text{км}} = 0,1$

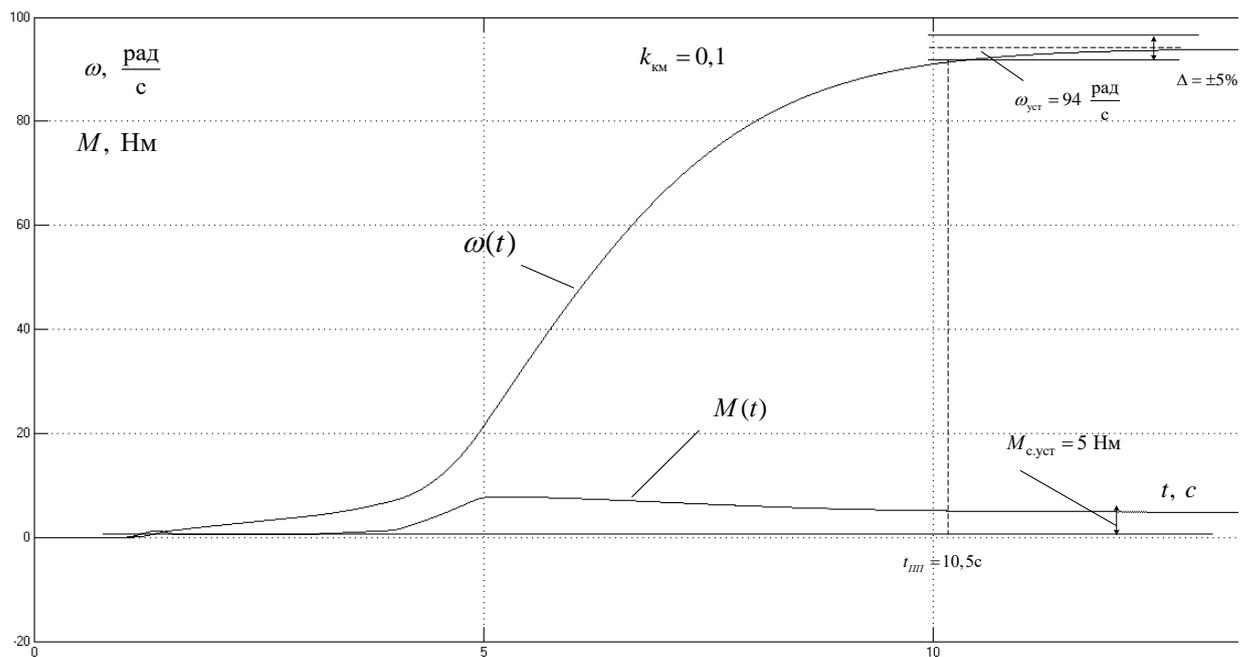


Рисунок 5.11 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске при пуске с ЗИ при задании частоты преобразователя  $f = 20$  Гц и с  $k_{\text{км}} = 0,1$

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г2Б1	Маньков Алексей Евгеньевич

<b>Институт</b>	<b>ИнЭО</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭПЭО</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	140400/140610.65

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	«Асинхронный тиристорный электропривод погружного насоса»; - область применения – нефтяная промышленность; - рабочая зона - площадка обслуживания погружного насоса.
--	--

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– показатели микроклимата;</li> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).</li> </ul>	<p>Анализ вредных факторов:</p> <p><b>1. Микроклимат</b> (ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»; СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- температура воздуха <math>t = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}</math>;</li> <li>- относительная влажность воздуха <math>\phi = 75\%</math>;</li> <li>- скорость движения воздуха 1 м/с.</li> </ul> <p><b>2. Шум</b> (ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности»): не превышает 85 дБ. СИЗ: наушники, противoshумные каски</p> <p><b>3. Вибрация</b> (ГОСТ 12.1.012 – 90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования», Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»): не превышает 92 дБ. Защита: наблюдение за оборудованием и своевременное его обслуживание.</p> <p><b>4. Электромагнитное излучение</b> (ГОСТ 12.1.002 – 84 "Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах"): не более 5 кВ/м (в пределах нормы).</p> <p><b>5. Недостаток освещения</b> (СП 52.13330.2011) Естественное и искусственное освещение.</p> <p>Анализ опасных факторов:</p> <p><b>1. Механические травмы</b> («Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок» ПОТРМ-016-2001; РД 153 -34,0-03,150-00).</p> <p><b>2. Термическая опасность:</b> отсутствует.</p> <p><b>3. Электробезопасность</b> (ГОСТ 12.1.038 – 82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»; ПУЭ; Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»). Защита: ограждения, сигнализация, плакаты, экраны. СИЗ: боты, перчатки, ковры, клещи, штанги.</p>
--	--

<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p><b>1. Воздействие на селитебную зону</b> (СанПиН 2.2.1/21.1-1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»): отсутствует.</p> <p><b>2. Воздействие на атмосферу</b> (ГН 2.1.5.2280-07 «ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования»): отсутствуют.</p> <p><b>3. Воздействия объекта на гидросферу</b> ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.</p> <p><b>4. Воздействия на литосферу</b> - отсутствуют</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Наиболее типичная ЧС для рассматриваемого цеха является пожар (Федеральный закон от 22.07.2013 г. №213-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»). Для обеспечения безопасности приняты меры:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- установлена автоматическая пожарная сигнализация и система автоматического пожаротушения;</li> <li>- разработана инструкция по пожарной безопасности для работников;</li> <li>- помещения оснащены первичными средствами пожаротушения;</li> <li>- разработан план эвакуации работников при пожаре;</li> <li>- назначено ответственное лицо при возникновении ЧС.</li> </ul>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Трудовой кодекс РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и компенсаций»;</li> <li>- Правило внутреннего трудового распорядка предприятия;</li> <li>- Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны (ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности и настоящего стандарта»; ГОСТ 12.2.049-80 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.»).</li> </ul>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	к.х.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Маньков Алексей Евгеньевич		

## **6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **6.1 Введение**

В данной работе объектом исследования является электропривод клиновой задвижки нефтепровода. Нефтепровод предназначен для перекачки больших объемов нефти от нефтепромысла к нефтеперерабатывающему предприятию. Нефтепровод, как и любая другая система, требует своевременного и качественного обслуживания. Такие механизмы, как задвижка, дают возможность выполнить эту задачу.

С помощью задвижек можно перекрыть отдельный участок нефтепровода при аварии, что предотвратит серьезные последствия и даст возможность ликвидировать эту аварию. Так же необходимость перекрытия отдельного участка нефтепровода может быть связана с проведением плановых мероприятий по обслуживанию нефтепровода.

Исходя из специфики такого устройства, как электропривод задвижки нефтепровода, можно выделить вредные и опасные производственные факторы при обслуживании или ремонте участков нефтепровода.

## 6.2 Характеристика объекта исследования

В общем виде задвижка состоит из корпуса и крышки, которые образуют полость рабочей среды. Внутри этой полости находится элемент, который обеспечивает перекрытие потока жидкости – затвор. Крепление задвижки к корпусу осуществляется одним из трех способов: фланцевый, муфтовый и приварочный.

Внутри корпуса задвижки находятся седла, к уплотнением которых прилегает уплотнитель затвора. Таким образом, достигается максимальная герметичность закрытой задвижки. Затвор приводится в движение штоком или шпинделем.

Седла таких задвижек размещены под углом. Затвор выполнен в форме клина, что обуславливает название клиновой задвижки.

При закрытии затвор плотно входит в промежуток между седлами, что обеспечивает хорошую герметичность. Простота конструкции клиновой задвижки позволяет использовать ее в различных условиях. Также клиновая задвижка имеет малое гидравлическое сопротивление, что особо ценится при использовании в магистральных трубопроводах.

С целью управления клиновой задвижкой, установленной на магистральном нефтепроводе, используется электропривод ЭПЦ-15000. Данный привод рассчитан на работу с арматурой, установленной на трубопроводах, давление которых достигает 15 МПа.

Данный электропривод позволяет осуществлять:

- закрытие-открытие проходного сечения арматуры и остановку затвора арматуры в любом промежуточном положении по командам оператора с местного или дистанционного поста управления;
- автоматическое отключение электродвигателя по сигналам датчика положения при достижении затвором арматуры крайних положений;
- автоматическое отключение электродвигателя по сигналам муфты ограничения крутящего момента при превышении допустимых нагрузок на выходном звене в любом промежуточном положении затвора арматуры и при его достижении крайних положений;
- выдача дискретных сигналов при достижении затвором арматуры крайних положений и при срабатывании муфты ограничения крутящего момента;
- управление затвором арматуры с помощью привода ручного дублера;
- указание положения затвора арматуры в процессе работы на местном указателе положения;
- автоматическое выключение привода ручного дублера.

### 6.3 Производственная безопасность

Перечень опасных и вредных производственных факторов, характерные для площадки оператора клиновой задвижки представим в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Опасные и вредные производственные факторы при выполнении работ в рассматриваемом помещении

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
<p>Виды работ:</p> <p>1. Техническое обслуживание;</p> <p>2. Осмотры электрооборудования и электроаппаратуры;</p> <p>3. Испытания</p> <p>4. Текущий ремонт и капитальный ремонт электрооборудования и электроаппаратуры</p> <p>Источники факторов:</p> <p>1. Электрооборудование и электроаппаратура</p> <p>2. Производственное оборудование</p> <p>3. Сварочные аппараты</p> <p>4. Кран-балка и др.</p>	<p>1. Недостаточная освещенность рабочей зоны;</p> <p>2. Повышенный уровень электромагнитных излучений;</p> <p>3. Повышенный уровень шума на рабочем месте;</p> <p>4. Повышенный уровень вибрации;</p> <p>5. Отклонение показателей микроклимата.</p>	<p>1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы;</p> <p>2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</p> <p>3. Пожар.</p>	<p>1. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [14]</p> <p>2. ПУЭ [15]</p> <p>3. Приказ №328 [16]</p> <p>4. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [17]</p> <p>5. ПОТ Р М-016-2001 [18]</p> <p>6. РД 153-34.0-03.150-00 [19]</p> <p>7. ГОСТ 12.2.003-91 [20]</p> <p>8. СанПиН 2.2.4.548-96 [21]</p> <p>9. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [22]</p> <p>10. СНиП 41-01-2003 [23]</p> <p>11. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ [24]</p> <p>12. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ [25]</p> <p>13. СН 2.2.4/2.1.8.556 [26]</p> <p>14. СанПиН 2.2.4.1191-03 [27]</p> <p>15. СП 51.13330.2011 [28]</p> <p>16. ГОСТ 17.1.3.13-86 [29]</p> <p>17. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [30]</p> <p>18. ГН 2.2.5.2308-07 [31]</p> <p>19. ГОСТ Р 22.0.07-95 [32]</p> <p>20. ФЗ № 68-ФЗ [33]</p> <p>21. ГОСТ Р 22.3.03-94 [34]</p> <p>22. ФЗ №213-ФЗ [35]</p> <p>23. РД 153-34.0-03.301-00 [36]</p> <p>24. ПП №188 [37]</p> <p>25. ФЗ №426-ФЗ [38]</p>

### 6.4 Анализ выявленных вредных факторов

#### Отклонение показателей микроклимата

Для обеспечения нормальных условий труда персонала немаловажную роль играет микроклимат, т.е. факторы производственной среды, влияющие на физическое и эмоциональное состояние человеческого организма.

Производственные процессы могут сопровождаться выделением вредных газов, паров, пыли или избыточного тепла, вследствие чего воздух в помещении претерпевает некоторые изменения, которые могут вредно отражаться на здоровье работающих.

Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [21].

Показателями, характеризующими микроклимат, являются:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Человек постоянно находится в процессе теплового взаимодействия с окружающей средой. Для того чтобы физиологические процессы в его организме протекали нормально, тепло должно отводиться в окружающую среду. В условиях у человека не возникает беспокоящих его тепловых ощущений – перегрева или переохлаждения.

Оптимальные показатели микроклимата распространяются на всю рабочую зону, допустимые показатели устанавливаются дифференцировано для постоянных и непостоянных рабочих мест. Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне рассматриваемого цеха, указаны в таблице 6.2 [21].

Таблица 6.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	IIa (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
Теплый	IIa (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2

Допустимые макроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьми часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенные в таблице 6.3 [21].

Таблица 6.3 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптим. вел.	Диапазон выше оптим. вел.			Для диапазона темпер. воздуха ниже оптим. вел., не более	Для диапазона темпер. воздуха выше оптим. вел., не более
Холодный	IIa (175-232)	17-18,9	21,1-23	16-24	15-75	0,1	0,3
Теплый	IIa (175-232)	18-19,9	22,1-27	17-28	15-75	0,1	0,4

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 6.4 [21].

Таблица 6.4 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников

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

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.) не должны превышать 140 Вт/м<sup>2</sup>. При этом облучению не должно подвергаться более 25 % поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Мероприятия по созданию условий для нормальной терморегуляции организма:

1. Механизация и автоматизация производств.
2. Теплоизоляция и экранизация.
3. Естественная и искусственная вентиляция производственных помещений.
4. Рациональный питьевой режим, кратковременные перерывы в работе, спецодежда.
5. Вентиляция и отопление.

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 [22] В рассматриваемом помещении используются малоопасные вредные вещества (ПДК > 10 мг/м<sup>3</sup>). Основной мерой борьбы с вредными веществами является применение системы вентиляции.

Нормы производственной вентиляции установлены согласно СНиП 41-01- 2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [23].

### 6.5 Повышенный уровень шума на рабочем месте

В производственных условиях разнообразные машины, аппараты и механизмы являются агрегатами динамически неуравновешенными. Для рассматриваемого цеха такими аппаратами являются насосы, вентиляторы, кран-балки, трансформаторы на трансформаторных подстанциях.

Длительное систематическое воздействие шума на организм человека приводит к следующим негативным последствиям:

- снижает производительность труда;
- снижает чувствительность слуха;
- количество ошибок возрастает;
- нарушает артериальное давление и ритм сердечной деятельности.

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления. Для ориентировочной оценки (например, при проверке органами надзора, выявлении необходимости осуществления мер по шумоглушению и др.) допускается в качестве характеристики постоянного широкополосного шума на рабочих местах принимать уровень звука значение которого приведено в ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности» [24].

Допустимый уровень звукового давления для цеха 75 дБ в октавных полосах со среднегеометрической частотой 1000 Гц и уровень звука 80 дБА [24].

В механических устройствах часто причинами не допустимого шума являются износ подшипников, неточная сборка деталей при ремонтах и т. п. Поэтому в процессе эксплуатации всех видов машин и механизмов следует точно выполнять все требования Правил технической эксплуатации.

ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. «Средства и методы защиты от шума. Квалификация» [25]. предусматривает следующие меры для снижения уровня шума:

1. Устройство кратковременных перерывов в работе.
2. Установка в помещениях звукопоглощающих конструкций и экранов.
3. Качественное изготовление деталей станков и машин.
4. Звукоизоляция ограждающих конструкций.
5. Укрытия в кожухи источников шума.
6. Применение средств индивидуальной защиты (беруши, противумные наушники, шлемофоны и др.).

### 6.6 Повышенный уровень вибрации

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием СН 2.2.4/2.1.8.556 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [26].

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда.

Физические вибрации характеризуются частотой (Гц, 1/с), амплитудой виброперемещения (м), виброскоростью и виброускорением.

Таблица 6.5 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест

Вид вибрации: Технологическая	Среднегеометрические частоты, Гц.					
	2	4	8	16	32,5	63
Предельно допустимые значения виброскорости, дБ	108	99	93	92	92	92
Предельно допустимые значения виброускорения, дБ	103	100	100	106	112	110

Вибрацию в рассматриваемом помещении (площадке) можно наблюдать при работе большинства оборудования. Для снижения уровня вибрации производится тщательное наблюдение за узлами оборудования, и в случае необходимости, настройка оборудования и замена изношенных частей установки, виброизоляция, применение динамических виброгасителей, уравнивание, балансировка, жесткое присоединение агрегата к фундаменту большой массы. Применение средств индивидуальной защиты: рукавицы с прокладкой на ладонной поверхности и обувь на толстой мягкой подошве.

## **6.7 Повышенный уровень электромагнитных излучений**

Нормирование ЭМП промышленной частоты осуществляется по предельно допустимым уровням напряженности электрического и магнитного поля частотой 50 Гц в зависимости от времени пребывания в нем СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» [27].

Источники электромагнитных полей являются ВЛЭП, кабели, трансформаторы, шинопроводы, устройства защиты и автоматики, и др.

Предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м. При напряженности свыше 20 до 25 кВ/м допустимое время пребывания в ЭП составляет 10 мин. Пребывание в ЭП с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается. Напряженность магнитного поля в соответствии с предельно допустимым уровнем на рабочем месте не должна превышать 8 кА/м [27].

К основным методам защиты относятся:

- выбор рациональных режимов работы оборудования;
- ограничение места и времени нахождения работающих в ЭМП;
- защита расстоянием;
- рациональное размещение в рабочем помещении оборудования;
- уменьшение мощности источника излучений;
- использование поглощающих или отражающих экранов;

Применение средств индивидуальной защиты: специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани, очки с латунной сеткой вместо стекла, очки со стеклом, покрытым слоем полупроводникового материала, специальные каски и шлемы.

## **6.8 Недостаточная освещенность рабочей зоны**

К современному производственному освещению предъявляют высокие требования гигиенического и технико-экономического характера. Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое воздействие на рабочих, содействует повышению производительности труда.

Искусственное освещение в производственных помещениях должно удовлетворять нормам СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» [28].

Для безопасного продолжения работы или выхода людей из помещений при внезапном отключении, должно быть предусмотрено аварийное освещение. Длительное снижение напряжения у наиболее удаленной лампы не должно быть более 5%. Питание аварийного освещения должно быть надежным и от независимого источника. Для аварийного освещения должны применяться светильники, отличающиеся от светильников рабочего освещения типом или размером, или на них должны быть нанесены специальные знаки [28].

На площадке оператора предусмотрено четыре системы освещения: общее, аварийное, эвакуационное и ремонтное. Норма освещенности для рассматриваемого цеха (площадке) приведена в таблице 6.6 [28].

Таблица 6.6 – Норма освещенности для рассматриваемого цеха

Разряд зрительной работы	Характеристика	Подразряд	Наименьший объект различения, мм	Освещённость (комбинированная система), Лк	Освещённость (общая система), Лк
IV	Средней точности	в	0,5-1,0	400	200

Вдоль всех главных коридоров, лестничным клеткам и над пожарным краном, предусмотрены эвакуационные светильники, показывающие выход. Данные светильники оборудованы аккумуляторными батареями и приборами автоматики, так что при исчезновении напряжения в сети, автоматически включаются с помощью собственного источника питания.

Ремонтное освещение предусматривается в технических помещениях, и осуществлено переносными светильниками напряжением питания 36 В. Светильники подключаются с помощью штепсельной розетки, которая размещена в отдельном корпусе вместе с трансформатором 220/36В.

## 6.9 Анализ выявленных опасных факторов

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

Настоящий стандарт ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» [14] устанавливает предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека, предназначенные для проектирования способов и средств защиты людей, при взаимодействии их с электроустановками производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц, ПУЭ [15], Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328 н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» [16].

В отношении опасности поражения электрическим током рассматриваемый цех относится к помещению с повышенной опасностью. На площадке отсутствует токопроводящая пыль, но присутствует влажность и есть возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям здания, имеющего соединение с землей, технологическим аппаратам и механизмам с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям), с другой [15].

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов установлены для путей тока от одной руки к другой и от руки к ногам [14].

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 6.7 [14].

Таблица 6.7 – Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки

Род тока	U, В	I, mA
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Основные факторы, определяющие опасность поражения электрическим током:

- электрическое сопротивление тела человека;
- величина напряжения и тока;
- продолжительность воздействия электрического тока;
- условия внешней среды и состояние человека;
- род и частота электрического тока;
- пути тока через тело человека.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1000 В с глухозаземленной или изолированной нейтралью и выше 1000 В с изолированной нейтралью не должны превышать значений, указанных в таблице 6.8 [14].

Таблица 6.8 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t, с							
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	Св.1,0
Переменный 50 Гц	U, В	340	135	105	85	75	70	60	20
	I, mA	400	160	125	90	75	65	50	6
Переменный 400 Гц	U, В	500	330	200	140	130	110	100	36
	I, mA								8
Постоянный	U, В	500	350	250	230	220	210	200	40
	I, mA								15

Защиту человека от воздействия напряжений прикосновения и токов обеспечивают конструкция электроустановок, технические способы и средства защиты, организационные и технические мероприятия по ГОСТ Р 12.1.019-2009 [17].

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства [16]:

- защитные оболочки;
- защитные ограждения (временные или стационарные);
- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляцию токоведущих частей (рабочую, дополнительную, усиленную, двойную);
- изоляцию рабочего места;

- малое напряжение;
- защитное отключение;
- предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы [16]:

- защитное заземление;
- зануление;
- выравнивание потенциала;
- систему защитных проводов;
- защитное отключение;
- изоляцию нетоковедущих частей;
- электрическое разделение сети;
- малое напряжение;
- контроль изоляции;
- компенсация токов замыкания на землю;
- средства индивидуальной защиты.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

### 6.9.2. Порядок расчета устройства защитного заземления.

Стержневые электроды, забиваемые вертикально в землю, обычно сделаны из стальных труб длиной 2,5-3 м и диаметром 5-6 см (толщина стенки не менее 3,5 мм).

Данные, полученные при измерений удельного сопротивления грунта на участке, где предполагается установить заземлитель, представлены в таблице 6.9.

Таблица 6.9 - Удельные сопротивления грунта

Грунт	Удельное сопротивление, (Ом·м)	Грунт	Удельное сопротивление, (Ом·м)
Песок сухой	2500	Глина	60
Песок влажный	600	Торф	20
Супесок	300	Каменный	4000
Чернозем	200	Вода речная	100
Суглинок	100	Вода озерная	50

Сопротивление вертикального электрода:

$$R_3 = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot K_B}{l_3} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot l_3}{d_3} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot h_3 + l_3}{4 \cdot h_3 - l_3} \right)$$

$$= \frac{0,366 \cdot 200 \cdot 1,9}{2,7} \cdot \left( \lg \frac{2 \cdot 2,7}{0,05} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 2,7 + 2,7}{4 \cdot 2,7 - 2,7} \right) = 58,947 \text{ Ом.}$$

$K_B$  - повышающий сезонный коэффициент (1,9);

$\rho$  - удельное сопротивление грунта (200 Ом·м);

$l_3$  - длина стержня (2,7 м);

$d_3$  - диаметр стержня (0,05 м);

$h_3$  - глубина заложения электрода (2,7 м);

Максимальные сопротивления заземляющего устройства, установленные ПУЭ, составляют:

для установок до 1000 В

10 Ом - при суммарной мощности генераторов или трансформаторов, питающих данную сеть, не более 100 кВА;

4 Ом - во всех остальных случаях;

Примечание: при удельном сопротивлении грунта более 100 Ом·м разрешается увеличивать данные нормы в  $0,01 \cdot \rho$  раз, но не более десятикратного.

Определяем предварительно количество электродов  $n'$ :

$$n' = \frac{R_3}{R_3} = \frac{58,947}{8} = 7,37.$$

Зная расположение электродов (в ряд или по контуру), отношение расстояния между электродами к их длине  $\frac{a}{l_3} = \eta$  предварительное количество электродов, определяем коэффициент использования электродов (таблица 6.10).

Таблица 6.10 - Коэффициент использования электродов

Количество электродов	Электроды в ряд, при отношении $a/l_3$			Электроды по контуру, при отношении $a/l_3$		
	3	2	1	3	2	1
5	0,87	0,80	0,63	-	-	-
10	0,83	0,70	0,55	0,78	0,67	0,50
20	0,77	0,62	0,47	0,72	0,60	0,43
30	0,75	0,60	0,40	0,71	0,59	0,42
50	0,73	0,58	0,38	0,68	0,52	0,37
100	-	-	-	0,64	0,48	0,33
200	-	-	-	0,61	0,44	0,30
300	-	-	-	0,60	0,43	0,28

Окончательное количество электродов  $n$ :

$$n = \frac{R_3}{R_3 \cdot \eta_3} = \frac{58,947}{8 \cdot 0,83} = 8,88.$$

Длина соединительной полосы  $l_n$  (при расположении электродов по контуру):

$$l_n = a \cdot n = 4.8 \cdot 9 = 43.2 \text{ м.}$$

Так как оборудование расположено на открытом воздухе, то согласовывать размеры заземляющего устройства с размерами помещения не требуется.

Сопротивление соединительной полосы:

$$R_n = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot K_B}{l_n} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_n^2}{h_n \cdot b} = \frac{0,366 \cdot 2000 \cdot 5}{43.2} \cdot \lg \frac{2 \cdot 43.2^2}{1 \cdot 0.1} = 38.735 \text{ Ом.}$$

Общее сопротивление контура защитного заземления

$$R_Z = \frac{R_3 \cdot R_n}{R_3 \cdot \eta_n + R_n \cdot \eta_3 \cdot n} = \frac{58.947 \cdot 38.735}{58.947 \cdot 0,79 + 38.735 \cdot 0.83 \cdot 9} = 6,797 \text{ Ом.}$$

где  $\eta_n, \eta_3$  коэффициент использования полосы (таблица 6.11).

Таблица 6.11 - Коэффициент использования полосы

Количество электродов	Электроды в ряд, при отношении $a/l_s$			Электроды по контуру, при отношении $a/l_s$		
	3	2	1	3	2	1
5	0,90	0,85	0,72	0,71	0,50	0,41
10	0,79	0,70	0,59	0,55	0,39	0,33
20	0,65	0,55	0,40	0,44	0,32	0,27
30	0,57	0,45	0,30	0,40	0,30	0,23
50	0,49	0,35	0,21	0,37	0,27	0,21
70	0,46	0,33	0,19	0,35	0,25	0,20
100	–	–	–	0,33	0,24	0,19

Производим проверку выполнения условия

$$R_Z \leq R_3$$

$$6,797 \text{ Ом} \leq 10 \text{ Ом}$$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что расчет выполнен верно.

Для работы с электроустановками ниже 1000 В применяются [16]:

Основные защитные средства:

- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- указатели напряжения;
- диэлектрические перчатки;
- слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками.

Дополнительные защитные средства:

- диэлектрические боты;
- диэлектрические ковры;

- переносные заземления;
- изолирующие подставки и накладки;
- оградительные устройства;
- плакаты и знаки безопасности.

Каждая подстанция должна иметь комплект предупредительных плакатов.

На рабочем месте дежурного персонала находится полный комплект рабочих инструкций и инструкций по технике безопасности [16]:

1. Должностная инструкция дежурного данного района обслуживания.
2. Инструкция по производству оперативных переключений на подстанции данного района.
3. Инструкция действий оперативного персонала в случае аварии.
4. Инструкция по отысканию однофазных замыканий на землю в данном районе подстанций.
5. Инструкция дежурного персонала по технике безопасности.
6. Оперативный журнал.
7. Журнал производства работ.
8. Журнал телефонограмм.
9. Журнал закороток.

На подстанции имеется список лиц административно – технического персонала утвержденный главным энергетиком предприятия, имеющих право единоличного осмотра подстанций [16].

### **6.9.3. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования**

Безопасные условия работы обеспечиваются правильной организацией работ, постоянным надзором за работающими со стороны производителя работ и соблюдением рабочими техники безопасности и регламентируются ПОТ Р М-016-2001 [18]; РД 153-34.0-03.150-00 «Межотраслевыми правилами по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок» [19].

Правила распространяются на работников организаций независимо от форм собственности и организационно-правовых форм и других физических лиц, занятых техническим обслуживанием электроустановок, проводящих в них оперативные переключения, организующих и выполняющих строительные, монтажные, наладочные, ремонтные работы, испытания и измерения [19].

В рассматриваемой помещении большая доля вероятности получить механическую травму, так как используется большое количество оборудования. При необходимости принимаются меры для уменьшения вероятности травмирования персонала - предупредительные плакаты, ограждения, сигнализация [19].

Настоящий стандарт ГОСТ 12.2.003-91 [20] распространяется на производственное оборудование, применяемое во всех отраслях народного хозяйства, и устанавливает общие требования безопасности, являющиеся основой для установления требований безопасности в стандартах, технических условиях, эксплуатационных и других конструкторских документах на производственное оборудование конкретных групп, видов, моделей (марок).

Каждый технологический комплекс и автономно используемое производственное оборудование должны укомплектовываться эксплуатационной документацией, содержащей требования (правила), предотвращающие возникновение опасных ситуаций при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации [20].

Материалы конструкции производственного оборудования не должны оказывать опасное и вредное воздействие на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также создавать пожаровзрывоопасные ситуации [20].

Части производственного оборудования (в том числе трубопроводы гидро-, паро-, пневмосистем, предохранительные клапаны, кабели и др.), механическое повреждение которых может вызвать возникновение опасности, должны быть защищены ограждениями или расположены так, чтобы предотвратить их случайное повреждение работающими или средствами технического обслуживания [20].

Полное или частичное прекращение энергоснабжения и последующее его восстановление, а также повреждение цепи управления энергоснабжением не должны приводить к возникновению опасных ситуаций, в том числе:

- самопроизвольному пуску при восстановлении энергоснабжения;
- невыполнению уже выданной команды на останов;
- падению и выбрасыванию подвижных частей производственного оборудования и закрепленных на нем предметов (например, заготовок, инструмента и т.д.);
- снижению эффективности защитных устройств.

Требования к средствам защиты, входящим в конструкцию, и сигнальным устройствам [20].

Конструкция средств защиты должна обеспечивать возможность контроля выполнения ими своего назначения до начала и (или) в процессе функционирования производственного оборудования.

Средства защиты должны выполнять свое назначение непрерывно в процессе функционирования производственного оборудования или при возникновении опасной ситуации.

Действие средств защиты не должно прекращаться раньше, чем закончится действие соответствующего опасного или вредного производственного фактора.

Отказ одного из средств защиты или его элемента не должен приводить к прекращению нормального функционирования других средств защиты.

Производственное оборудование, в состав которого входят средства защиты, требующие их включения до начала функционирования производственного оборудования и (или) выключения после окончания его функционирования, должно иметь устройства, обеспечивающие такую последовательность.

Конструкция и расположение средств защиты не должны ограничивать технологические возможности производственного оборудования и должны обеспечивать удобство эксплуатации и технического обслуживания.

Сигнальные устройства, предупреждающие об опасности, должны быть выполнены и расположены так, чтобы их сигналы были хорошо различимы и

слышны в производственной обстановке всеми лицами, которым угрожает опасность.

Части производственного оборудования, представляющие опасность, должны быть окрашены в сигнальные цвета и обозначены соответствующим знаком безопасности в соответствии с действующими стандартами.

#### **6.10 Экологическая безопасность**

Влияние электрических сетей на окружающую среду определяется воздействием электрического поля, использованием земельных ресурсов, нарушением природных ландшафтов.

Для исключения влияния на окружающую среду возможных сбросов трансформаторного масла при авариях с маслонаполненным оборудованием, на подстанциях предусматриваются маслоприемники, аварийные маслостоки и закрытые маслосборники.

Мероприятия по экологической безопасности регламентируются ГОСТ 17.1.3.13-86. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений» [29], СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» [30], ГН 2.2.5.2308-07. «Ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [31].

Для работающих на промышленных предприятиях, непосредственной окружающей средой является воздух рабочей зоны.

Для предприятия устанавливается санитарно-защитная зона в соответствии с санитарной классификацией предприятия, 1000 м [30].

Охрана окружающей среды на предприятии предусматривает мероприятия предотвращающие загрязнение воздушного бассейна. С этой целью загрязненный воздух, удаляемый из производственных помещений, пропускается через специальные очистительные фильтрующие и обезвреживающие устройства, которые обеспечивают вытяжному воздуху то же качество, что и на входе.

В самом помещении не образуются сточные воды. Сточные воды появляются в результате мойки оборудования и текущей уборки и специальными сливами отводятся в технологическую канализационную сеть. Предварительная обработка этой воды перед выливанием в общие сети достигается отведением в бассейн для нейтрализации.

В процессе деятельности цеха предприятия образуются твердые промышленные отходы. Отходы, которые в дальнейшем могут быть использованы в производстве собираются, складированы и по мере их накопления отправляются на переработку. Отходы, не подлежащие переработке и дальнейшему использованию, выносятся на свалки. Твердые отходы, которые представляет вторичная упаковка, может сортироваться и отправляться на переработку на картонажно-бумажные фабрики.

Сохранение природы является для предприятия одной из приоритетных задач. Регулярно разрабатываются и внедряются новые проекты, позволяющие сберечь окружающую среду. В структуру компании входит отдел экологии с собственными аккредитованными лабораториями, отслеживающими состояние воды и воздуха, как на

территории предприятия, так и за его пределами.

В целях общего улучшения состояния окружающей среды мероприятиями по обеспечению благоприятных условий жизни населения предусматривается:

1. Озеленение и благоустройство территории предприятия;
2. Содержание дорог, тротуаров и прилегающих озелененных территорий в соответствии с санитарными требованиями;
3. Ликвидация несанкционированных свалок отходов;
4. Создание и обустройство санитарно-защитной зоны предприятия.

## **Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **6.11.1. Чрезвычайные ситуации. Основные причины и ликвидация последствий**

Мероприятия по безопасности и защите населения и территорий регламентируются ГОСТ Р 22.0.07-95 «Безопасность в ЧС. Источники техногенных ЧС. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров» [32], ФЗ от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера» [33], ГОСТ Р 22.3.03-94. «Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения» [34].

К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, катастрофы, пожары, стихийные бедствия. К стихийным бедствиям обычно относят землетрясения, наводнения, селевые потоки, оползни и др. [32].

Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций:

- результат стихийных бедствий;
- воздействие внешних природных факторов, приводящих к старению материалов;
- технико-производственные дефекты сооружений;
- нарушение правил эксплуатации сооружений и технологических процессов;
- нарушение правил техники безопасности при ведении работ и во время технологических процессов.

При получении сообщения об аварии на нефтепроводе или обнаружении каких либо признаков такой аварии, оператор должен сообщить об этом диспетчеру РДП, РНУ (УМН) и начальнику ЛПДС, НПС. Действия персонала, обслуживающего нефтепровод должны соответствовать [18].

Существуют различные методы обнаружения утечки нефти из нефтепровода:

- контроль давления;
- визуальное обнаружение;
- анализ изменения нагрузки двигателей;
- параметрического контроля расхода и давления;
- графоаналитический метод;
- приборная диагностика (ультразвуковой и акустический);
- метод балансного учета нефти;

Аварийно-восстановительные службы, обходчики нефтепроводов при осмотре трассы нефтепровода и обнаружении нарушения целостности нефтепровода

должны:

- сообщить о нарушении целостности нефтепровода оператору НПС и диспетчеру РДП;
- продублировать сообщение по радию или телефону с ближайшей ЛПДС (НПС);
- начать устранение аварии, действуя согласно ПЛА.

При облете трассы и обнаружении целостности нефтепровода летный наблюдатель или бортовой оператор должны:

- сообщить диспетчеру РНУ (УМН) об обнаруженном месте нарушения целостности нефтепровода;
- сделать круг над ближайшей ЛПДС (НПС) и сбросить вымпел с сообщением об обнаружении нарушения целостности нефтепровода;
- продублировать свое сообщение диспетчеру РДП с ближайшего аэропорта;
- находиться на связи в ожидании указаний диспетчера РДП.

Руководитель ЛПДС, на участке которого произошла авария, при получении сообщения об аварии, должен сообщить руководству РНУ (УМН), взять на себя руководство по ликвидации аварии до прибытия на место аварии руководителя работ от РНУ (УМН) или ответственного руководителя по ликвидации аварии, назначенного приказом по ОАО МН.

Диспетчер РДП, получив сообщение об аварии, обязан:

- отключить аварийный участок в режиме телеуправления в соответствии с Регламентом действия оперативного персонала при аварийных ситуациях;
- немедленно сообщить об аварии руководству РНУ (УМН), начальнику ЦРС (СУПЛАВ), диспетчеру ОАО МН, диспетчеру связи ПТУС;
- обеспечить выезд аварийно-восстановительной бригады, патрульной группы.

Диспетчер ОАО МН, получив известие об аварии, обязан:

- немедленно уведомить о возникновении аварии генеральному директору ОАО МН, его заместителям, руководству ПТУС, диспетчеру ОАО "АК "Транснефть" по форме указанной в Регламенте представления срочных донесений об авариях и отказах на магистральных нефтепроводах, НПС и РП и их учет;
- уточнить с диспетчером РДП схему и порядок отключения аварийного участка;
- контролировать ход выполнения мероприятий по ликвидации аварии.

Разлившаяся по поверхности земли покрытой снегом и снежной массой нефть должна быть собрана в сборные котлованы для откачки или вывезена в очистные сооружения ближайшей НПС. Остатки нефти с землей должны быть собраны и вывезены на пункты утилизации, а участок земли подвергнут рекультивации согласно [19].

От прямых ударов молнии установлена молниезащита.

Молниеприемниками служат неизолированные стержневые молниеотводы. В качестве токоотводов используют наружные вертикальные стальные конструкции (пожарные лестницы). По каждому этажу проложены стальные пояса из полосовой стали, к которым присоединяются токоотводы, все металлические конструкции и оборудование. Каждый токоотвод такого устройства присоединен к замкнутому контуру, уложенному по периметру здания.

В качестве профилактики от сезонных вспышек вируса гриппа регулярно проводится вакцинация работающих.

Для снижения вероятности пожара предусмотрена автоматическая пожарная сигнализация. На случай возникновения пожара предусмотрены первичные средства пожаротушения.

Ликвидация последствий стихийных бедствий организуется, как правило, под руководством специально создаваемых чрезвычайных комиссий. Для непосредственного осуществления мероприятий гражданской обороны (ГО) и проведения спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ на всех объектах формируются службы ГО.

### **6.11.2 Пожары**

Основы противопожарной защиты определяются Федеральным законом от 22.07.2013 г. №213-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [35].

Вероятной чрезвычайной ситуацией при работе электропривода задвижки может стать пожар или взрыв. Опасность возникновения пожара или взрыва связана с наличием нефти и ее паров на месте работы электропривода задвижки. Потенциальное короткое замыкание в электроприводе может спровоцировать пожар или взрыв.

Предотвратить подобные ситуации помогает конструктивное исполнение составных частей электропривода (электродвигатель ДАТЭК-350-03 и блок управления «БУР-15,0»). Пожаро- и взрывобезопасность обеспечивается заключением электрических частей во взрывонепроницаемую оболочку, выдерживающую давление взрыва внутри нее и исключающую передачу взрыва в окружающую взрывоопасную среду. Также в данном электроприводе используется искробезопасная электрическая цепь, что существенно снижает риск возникновения пожара или взрыва при эксплуатации данного электропривода.

Действия обслуживающего персонала при возникновении подобных ситуаций должны соответствовать требованиям [20].

### **6.12 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Под вредными условиями труда следует понимать присутствие на производстве таких факторов, которые наносят ущерб здоровью работников. То есть на рабочих местах не соблюдены определенные гигиенические требования, что может оказывать отрицательное воздействие на дееспособность служащих, а также на здоровье их возможных детей.

Работникам предприятия приходится часто выполнять различные операции, сопряженные с прямым риском здоровью (вредные условия труда). Какие сферы деятельности и специальности связаны с вредными условиями труда, указывается в постановлении РФ, должности с вредными условиями труда в нефтяной промышленности и строительстве, на меры социальной поддержки, Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда» [38].

Люди, работающие на вредных производствах, обеспечиваются льготами и компенсациями, Трудовой кодекс РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и

компенсаций».

Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливаются на основании статей Трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия.

Грамотная социальная политика - ключ к успеху предприятия, ведь эффективность работы напрямую зависит от эмоционального комфорта и позитивного настроения коллектива.

Эффективная социальная политика и ответственные, партнерские отношения со своими работниками, являются важнейшими факторами долгосрочного устойчивого развития компании. Максимальная безопасность производства и забота о благосостоянии сотрудников были и остаются основными составляющими социальных программ.

Ежегодно на социальные программы предприятие выделяет средства. Сюда входит:

- организация санаторно-курортного лечения, оздоровление работников и их детей;
- оказание медицинских услуг;
- развитие корпоративного спорта и культурно-массовой деятельности;
- материальное поощрение работников к юбилеям и знаменательным датам;
- материальная помощь работникам, нуждающимся в дополнительной социальной поддержке;
- единовременные компенсационные выплаты увольняющимся работникам в связи с выходом на пенсию;
- пенсионные социальные программы, предусматривающие досрочное оформление пенсии работникам;
- выплаты ежеквартальной материальной помощи для частичного покрытия расходов по квартплате, коммунальным услугам, приобретению угля на зимний период, а также единовременной материальной помощи на оплату медикаментов и т.д.

Сотрудники предприятия имеют ряд социальных гарантий, а также спектр финансовых льгот, таких как социальное страхование, кредитование, материнские выплаты. Предусмотрено бесплатное обучение в ВУЗах, регулярное повышение квалификации.

К организационным мероприятиям, обеспечивающим, безопасность работ электромонтера согласно Межотраслевым правилам по охране труда относятся:

- инструктаж;
- оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончание работы.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5Г2Б1	Манькову Алексею Евгеньевичу

<b>Институт</b>	<b>ИнЭО</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭПЭО</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетика и электротехника

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

1. *Стоимость ресурсов проектных работ*
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*
3. *Используемая система социальных отчислений*

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

1. *Оценка перспективности выполнения технического проекта;*
2. *Планирование технико-конструкторских работ;*
3. *Планирование сметы технического проекта;*
4. *Определение ресурсной (ресурсосберегающей), и экономической эффективности исследования.*

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

1. *График выполнения работ исполнителями ТП (диаграмма Ганта)*

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко Аркадий Альбертович	Кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Г2Б1	Маньков Алексей Евгеньевич		

## 7. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.

### 7.1. Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование

Исследования, проводимые в данной выпускной работе, являются инициативными в рамках научно-исследовательской работы для Сургутского ОАО «Сургутнефтегаз». Таким образом, потенциальными потребителями результатов этого исследования являются предприятия нефтедобывающей промышленности, расположенные на территории Российской Федерации, добывающие, распространяющие, перерабатывающие нефтяную продукцию. Нефтедобывающие компании находятся в постоянном поиске новых месторождений, что является толчком для создания новых станций и проектных организаций. В условиях кризиса многое оборудование стало экономически не выгодно, и появилась необходимость на замену оборудования Российского производства. Учитывая закон президента РФ от 05.04.2013г. №44-ФЗ (закон о госзакупках), Импортзамещения.

#### 7.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Сегментируем рынок по следующим критериям: размер компании-заказчика, вид электропривода (таб.7 .1)

		Вид электропривода			
		Электропривод постоянного тока	Электропривод переменного тока	Электропривод АД с фазным ротором	Электропривод с частотным регулированием
мсп	Крупные		Фирма Б		Фирма Б

	Сред- ние	Фирма А	Фирма В	Фирма В	
	Мелкие	Фирма А		Фирма Г	

Таблица 7.1 – Карта сегментирования рынка электрооборудования по используемым видам электроприводов.

На карте сегментирования представлено, которые ниши в рынке электрического оснащения не забраны соперниками либо в каком месте степень конкурентной борьбы низок..

Результат сегментирования:

- главным секторам рынка принадлежат применение электропривода с частотным регулировкой средними и небольшими фирмами;
- наиболее многообещающим сектором считается рекомендация электропривода с частотным регулировкой средним фирмам;
- сегментом рынка, заманчивых для компании в перспективе, считается рекомендация электропривода с частотным регулировкой небольшим, активно развивающимся, фирмам.

### 7.1.2. Анализ технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности различных марок электропривода, которые можно использовать в центробежном насосе.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в табл. 7.2. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок. В качестве конкурентных товаров были рассмотрены электроприводы (Бф - ПЭД 40-103, БК1-1ВЭДБТ-117/3М1В5, БК2- 1ВЭДБ-117/3В5.

Таблица 7.2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	4	3	2	0,16	0,12	0,6
3. Энергоэкономичность	0,11	4	3	2	0,44	0,33	0,22
4. Надежность	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
5. Уровень шума	0,03	2	3	3	0,06	0,09	0,09
6. Безопасность	0,08	4	2	3	0,32	0,16	0,24
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	3	2	2	0,12	0,08	0,08
2. Цена	0,15	5	4	3	0,6	0,6	0,45
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,12	5	3	4	0,6	0,36	0,48
4. Послепродажное обслуживание	0,05	3	5	2	0,15	0,25	0,1
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>39</b>	<b>33</b>	<b>31</b>	<b>4</b>	<b>3,39</b>	<b>2,94</b>

Аспекты с целью сопоставления и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таб.7.2 , выбираются, отталкиваясь с подобранных предметов сопоставления с учетом их технических и финансовых отличительных черт разработки, формирования и эксплуатации.

Позиция исследования и соперников расценивается согласно каждому признаку экспертным путем согласно пятибалльной шкале, где 1 – более невысокая позиция, а 5 – более крепкая.

### 7.1.3. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)

Выбор структурной (принципиальной) схемы электропривода сводится к сравнению нескольких возможных вариантов и выбору наиболее оптимальной.

I вариант: БК1- 1ВЭДБТ-117/3М1В5, БК2- 1ВЭДБ-117/3В5

II вариант: .ПЭД 40-103;

Таблица 7.3 Оценка и выбор двигателей

	Варианты		Примечания (преимущества недостатки)
	I	II	
1. Общее количество составных частей	4	4	
2. Количество типов элементов	4	4	
3. Количество оригинальных элементов	2	2	
4. Стоимость покупных комплектующих	Дорогие комплектующие	Стоимость в 2 раза меньше	Простота конструкции
5. Показатели надежности	Надежность, сложность обслуживания	Надежность, простота обслуживания	

6. Питание:			
а) вид	U=380 В	U=380 В	
б) мощность	P=45 кВт	P=40 кВт	
7. Габариты		Меньше в 2 раза	
8. Масса		Легче в 2 раза	

Для оценки коммерческого потенциала ИР были рассмотрены следующие:

1. уровень капитальных вложений;
2. уровень надежности;
3. уровень обслуживания;
4. завышение мощности электропривода;
5. уровень затрат на эксплуатацию;
6. коэффициент мощности;
7. генерирование помех.

Таблица 7.4 Коэффициент весомости критериев

Номер критерия	1	2	3	4	5	6	7
Коэффициент весомости	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1

По каждому частотному критерию устанавливаем оценку степени обеспечения цели:

Оценка обеспечения цели: низкий 1.0, средний 0.5, высокий 0.

Полученные результаты сведены в таб.7.5.

Таблица 7.5 Оценка качества по групповым критериям

Номер варианта	Групповой критерий							Общая оценка качества
	1.0	0.8	0.6	0.3	0.4	0.2	0.1	
I	0,5	0	0,5	0	0,5	0,5	0,5	1,15
II	1,0	0,5	1,0	0	0,5	0	0,5	2,25

Из таблицы 7.5 видно, что выбранные качественные характеристики обеспечиваются в варианте II.

Итогом данного анализа является определение конкурентных преимуществ, которые отличающихся высоким уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров. Из данного анализа видно, что наиболее перспективен электропривод ПЭД 40-103.

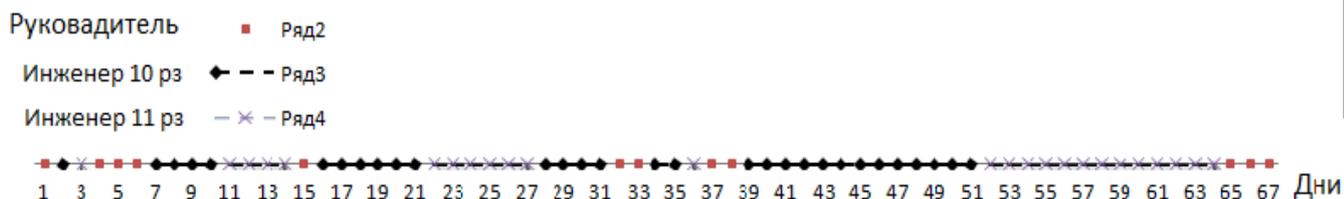
## 7.2 Формирования плана и графика работ по проекту

Этапы проектирования, количество и должности исполнителей, а также трудоемкость работ сведены в таблицу 7.6

Таблица 7.6- Расчет трудоемкости работ проекта

№ пп	Перечень работ	Исполнители	Трудоем- кость, дней
		должность	
1	2	3	4
1	Получение задания на разработку проекта	Научный руков-ль	1
		Инженер 10 рз	1
		Инженер 11 рз	1
2	Сбор исходных данных: - электрические схемы соединения; - параметров трансформаторов, авто- трансформаторов, линий, генераторов,	Научный руков-ль	3
		Инженер 10 рз	4
		Инженер 11 рз	4
3	Подготовка данных для ввода в базу комплекса - составление схем замещения (прямой, обратной, нулевой последовательно-	Научный руков-ль	1
		Инженер 10 рз	6
		Инженер 11 рз	6
4	Ввод данных в базу комплекса	Инженер 10 рз	4
5	Отладка базы данных и проведение тестовых расчетов	Научный руков-ль	2
		Инженер 10 рз	2
6	Расчёт модели АД	Инженер 11 рз	1
7	Проверка модели АД	Научный руков-ль	2

8	Расчёт модели АД-ПЧ	Инженер 10 рз	13
9	Проверка модели АД-ПЧ	Инженер 11 рз	13
10	Оформление пояснительной записки	Научный руков-ль	3
<b>Длительность работы, дней</b>			<b>67</b>



**Рис 7.1 График занятости исполнителей.**

Согласно плана, исполнители заняты в абсолютном и нужном размере никак не допуская переработки, период исполнения заказа и конструирования удовлетворяет клиента.

### **7.3 Расчет сметы затрат на исследование**

В структура расходов на конструирование новой технической концепции содержит цена абсолютно всех затрат, образующих сущность этого исследования.

Расходы сгруппировываются согласно заметкам расходов:

Расходы группируются по статьям затрат:

- 1) затраты на оплату труда работников;
- 2) отчисления в социальный налог;
- 3) материальные затраты;
- 4) амортизация основных фондов НМА;
- 5) прочие прямые затраты;
- 6) накладные расходы.

### 7.3.1 Затраты на оплату труда работников

Расчёт окладов приведён в таблице 7.7.

Таблица 7.7- Расчёт окладов

Исполнители	Разряд	К <sub>с</sub>	З <sub>тс</sub> , руб
1. Научный руководитель	15	3,62	14801
2. Инженер 1	10	2,44	11250
3. Инженер 2	11	2,68	12357
Итого			38408

Расчёт месячной заработной платы научного руководителя:

$$Z_{MEC} = (Z_{TC} \cdot K_{np} \cdot K_p) + C_{уч.сов.},$$

где  $Z_{TC}$  – оклад,  $K_{np}$  – коэффициент премиальных выплат по данным предприятия;  $K_{np} = 1,4$ ;

$K_p$  – районный коэффициент,  $C_{уч.сов.}$  – доплата за учёный совет.

$$Z_{мес} = (14801 \cdot 1,4 \cdot 1,3) + 2000 = 28937,82 \text{ р.}$$

Расчёт месячной заработной платы инженера 10 разряда:

$$Z_{MEC} = Z_{TC} \cdot K_{np} \cdot K_p$$

$$Z_{мес инж1} = 11250 \cdot 1,4 \cdot 1,3 = 20475 \text{ р.}$$

Расчёт месячной заработной платы инженера 11 разряда:

$$Z_{мес инж2} = 12357 \cdot 1,4 \cdot 1,3 = 22489,74 \text{ р.}$$

Расчеты сводим в таблицу 7.8.

Таблица 7.8.

Должность	Разряд	Оклад, руб.
Научный руководитель	15	28937,82

Инженер	11	22489,74
Инженер	10	20475

Зарплата за один день рабочего месяца

$$Z_{\text{день}} = Zi^{P.K} / 21(\text{руб.})$$

Основная зарплата за отработанное время

$$Z_1^{\text{осн}} = Z_{\text{день}} \cdot t_{\text{раб}}(\text{руб.})$$

где  $t_{\text{раб}}$  - количество отработанных дней

Результаты расчета сводим в таблицу 7.9.

Таблица 7.9.

Должность	Разряд	Оклад, руб	Колич. дней	Зарплата за 1 день рабо- чего месяца, руб.	Основная зарплата за отработанное время, руб.
Руковод. проекта	15	28937,82	36	1377,99	49607,64
Инженер	11	22489,74	39	1070,94	41766,66
Инженер	10	20475	33	975	32175
Итого основная заработная плата исполнителей, руб.					123549,3

### 7.3.2 Отчисления в социальные фонды

Рассчитаем размер отчислений в социальные фонды

$$Z_{\text{соц.н}} = 0,260 \cdot Z_{\text{осн}} = 0,260 \cdot 123549,3 = 32122,818 \text{ руб}$$

### 7.3.3 Расчет затрат на материалы

Затраты на канцелярские товары:

Примем эти затраты в размере 600 руб.  $I_{\text{мат}} = 600$  руб.

### 7.3.4. Амортизация вычислительной техники

Примем, что компьютер стоит 30 тыс. руб. (ср. цена по городу подходящей комплектации), стоимость принтера равна 5 тыс. руб.

Тогда в год амортизационные отчисления на оргтехнику составят:

$$A = \frac{T_{\text{исп}}}{365} \cdot C_{\text{ОРГ.ТЕХ.}} \cdot H_A = \frac{35}{365} \cdot 35000 \cdot 0,1 = 335,61 \text{ руб.}$$

### 7.3.5. Расчет на прочие прямые затраты

Статья содержит расходы на получение научно – тех. литературы, осуществление патентных изучений, содержание оргтехники, обслуживание связи, канцтовары, представительские затраты, командировки, изнашивание по не-материальным активам и на прочие никак не принадлежащие к прежде упомянутым статьям.

$$\text{Пр}_{\text{зат}} = 0,1 \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{соц.н}} + I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}}) = (123549,3 + 32122,818 + 600 + 335,61) \cdot 0,1 = 15660,77 \text{ руб.}$$

### 7.3.6. Расчет накладных расходов

Накладные расходы:

$$H_{\text{рас}} = 200 \% \cdot Z_{\text{осн}} = 200 \% \cdot 123549,3 = 247098,6 \text{ руб.}$$

### 7.3.7. Себестоимость проекта

Полная стоимость проекта:

$$\text{Ст}_{\text{пр}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{соц.н}} + I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}} + \text{Пр}_{\text{зат}} + H_{\text{рас}} = 123549,3 + 32122,818 + 600 + 335,61 + 15660,77 + 247098,6 = 419367,098 \text{ (руб)}$$

Плановые накопления 20-30% от себестоимости проекта

$$H = 0,2 \cdot \text{Ст}_{\text{пр}} = 0,2 \cdot 419367,098 = 83873,4196 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{ПРОЕКТА}} = \text{Ст}_{\text{пр}} + H = 419367,098 + 83873,4196 = 503240,5176 \text{ руб.}$$

Затраты на проектирование по статьям приведены в таблице 7.10

Таблица 7.10- Смета затрат на проектирование

<b>Затраты</b>	<b>Сумма, руб.</b>
1. Материальные затраты, Имат	600
2. Основная заработная плата работников, Зосн	123549,3
3. Отчисление в социальные фонды,	32122,818
4. Амортизация компьютерной техники, Иам	335,61
5. Прочие прямые расходы, Ипр	15660,77
6. Накладные расходы, Нрас	247098,6
7. Себестоимость проекта, (п1+п2+п3+п4+п5+п6)	419367,098
8. Плановые накопления, 20%(п7)	83873,4196
Итого: (п7+п8)	503240,5176

**Вывод по разделу.** Себестоимость затрат на исследовательскую работу составила 503240,5176 руб., данная сумма не превышает требования.

#### **7.4. Определение экономической эффективности исследования**

Определение эффективности затрат на проектирование проекта, заключается в следующем: что проектирование проекта будет происходить в Федеральном научном производственном центре «Алтай» и это позволит сэкономить на оплате труда, так как районный коэффициент для данного региона страны составляет 1,25, в Сургутском регионе он составляет 1,7, а также доплата за северный регион.

И при условии, что заказчик может предоставить максимум 600 000 рублей на проектирование, то конструкторское бюро Федерального научного производственного центра «Алтай» выполнит данную работу за 503 240,5176 руб и это является оптимальным и наиболее экономически выгодной.

Ресурсы на проектирование не большие и устраивают заказчика, так как они являются расходными.

### **7.5 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».**

В данном разделе ВКР были выполнены все поставленные задачи:

1) ОАО «Сургутнефтегаз» открывает новые месторождения по добычи нефти, требуется правильного и целесообразного расхода средств, не допуская ошибок при проектировании.

2) Экономически обоснован выбор электропривода погружного центробежного насоса, был произведен расчет коэффициента научно-технического уровня – 2,5, указывающий на высокий потенциал данного исследования.

3) Осуществлено планирование и составлены графики исследовательских работ. Всего потребуется 67 рабочих дней на разработку проекта.

4) Рассчитаны издержки на амортизационные вложения, расчет заработной платы исполнителей и обслуживающего персонала. Величина затрат на проектирование составила 503 240 рублей.

Таким образом, себестоимость проекта составила 503240 рублей, данная сумма полностью удовлетворяет заказчика и экономит ему 96 759 рублей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе была разработана и исследована с помощью программы Matlab математическая модель погружного асинхронного электродвигателя, имитационная модель замкнутой системы ПЧ-АД с IR-компенсацией. В ходе разработки и выполнения проекта был осуществлен выбор оборудования. Выбор и расчет параметров погружного электродвигателя. Предложено использовать современный асинхронный частотно-регулируемый электропривод. Выбран электродвигатель серии ПЭД 40-103, преобразователь частоты Электрон-05.

Получены механические и электромеханические характеристики выбранного асинхронного двигателя, построенные по расчетным и каталожным значениям. В качестве закона управления, для преобразователя частоты выбран закон регулирования  $\frac{U_{1j}}{f_{1j}^3} = const$ .

Также произведено моделирование переходных процессов при пуске двигателя в программной среде Matlab. С использованием имитационных моделей построены динамические характеристики. Был реализован задатчик интенсивности (ЗИ), опытным путем установлено оптимальное значение времени разгона  $T_{разг}$

Была выбрана система со скалярным управлением и законом  $U/f^3 = const$ , с положительной обратной связью по току, как наиболее подходящая для вентиляторной нагрузки и проведено исследование динамических характеристик для данного закона регулирования. По результатам, полученным в ходе моделирования, были сделаны выводы.

Спроектированная система удовлетворяет требованиям технического задания.

В экономической части произведена оценка затрат на проектирование.

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

## Список использованной литературы

1. Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Расчет характеристики электроприводов переменного тока. Часть 1. Асинхронный двигатель. Учебное пособие./Томский политехнический университет. – Томск: Издательство ТПУ, 2005.–136 с.
2. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 120 с.
3. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие. –Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 244 с.
4. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов. – Томск: Изд. ТПУ, 2011. – 476с.
5. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 4. – тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 152 с.
6. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 8. – Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2010. – 448 с.
7. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
8. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»
9. ГОСТ Р 50571.3-94 “Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защиты от поражения электрическим током.”
10. ГОСТ 21753-76. Система «человек-машина». Рычаги управления. Общие эргономические требования.

11. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328 н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»
12. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности»
13. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение»
14. ГОСТ Р 22.3.03-94. «Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения»
15. О.Б. Назаренко, А.Г. Дашковский. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2001
16. Борисова Л.М., Гершанович Е.А. Экономика энергетики: учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2006.