

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод циркуляционного насоса

УДК 62-83:62-714.76

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Нажимов Долшоджон Ширин угли		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова А.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> .
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ А.С. Иващутенко

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Нажимову Долшоджону Ширин угли

Тема работы:

Электропривод циркуляционного насоса

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г
---	-------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – подача насоса- 12 м³/час; – напор- 110 м; – минимальная погрешность датчика давления- не более 1%; – диапазон регулирования частоты вращения - не менее 10:1; – датчик давления установить- на выходе насоса; – на основании расчета выбрать электропривод насоса.
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор схем управления и способов регулирования электропривода. Расчет параметров системы управления насоса. Моделирование в среде MatLab.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Функциональная схема системы поддержания постоянного давления в циркуляционном узле; Имитационная модель автоматической системы регулирования давления в узле в среде Matlab Simulink; Переходные характеристики давления, скорости ротора, токов статора и электромагнитного момента АД;</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Мелик-Гайказян Мария Вигеновна</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Сотникова Анна Александровна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Заключение</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>05.04.2019г.</p>
--	---------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент</p>	<p>Однокопылов И.Г.</p>	<p>к.т.н.</p>		<p>05.04.2018г.</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>3-5Г4А2</p>	<p>Нажимов Долшоджон Ширин угли</p>		<p>05.04.2018г.</p>

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)
 Отделение Электроэнергетики и электротехники
 Профиль Электропривод и автоматика
 Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.05.2019	Основная часть	60
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
17.05.2019	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 105 с., 42 рисунков, 24 таблиц, 29 источника.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, скалярное управление, центробежный насос, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, преобразователь частоты, регулирование давления.

Объектом исследования является частотно-регулируемый электропривод переменного тока центробежного насоса в циркуляционном узле.

Цель работы – разработка системы автоматического регулирования давления в циркуляционном узле.

В результате исследования была разработана система автоматического регулирования давления в циркуляционном узле.

Достигнутые технико-эксплуатационные показатели: поддержание давления на уровне 4 атмосферы.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Технологический процесс	11
2 Обзор систем управления и способов регулирования электропривода	14
2.1 Системы управления электроприводом.....	14
2.2 Способы регулирования и механические характеристики электропривода.....	16
2.3 Требования, предъявляемые к электроприводу насосов	19
3 Расчет параметров системы управления насоса	21
3.1 Выбор двигателя и расчет силовой части.....	21
3.2 Определение параметров электродвигателя	22
3.3 Определение параметров схемы замещения двигателя	23
3.4 Выбор преобразователя частоты	27
4 Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик	29
4.1 Расчет и построение естественных механических и электромеханических характеристик разомкнутой системы «Преобразователь частоты - Асинхронный двигатель»	32
5 Моделирование в среде MatLab.....	36
5.1 Силовой канал электропривода. Структурная схема силового канала	36
5.2 Синтез регулятора давления	39
5.3 Нелинейная модель системы поддержания давления в среде MatLab	44
5.4 Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска сброса и наброса нагрузки на валу двигателя замкнутой системы «Преобразователь частоты – Асинхронный двигатель»	49
6 Выбор оборудования для системы поддержания постоянного давления	57
6.1 Выбор измерителя-регулятора.....	58
6.2 Выбор первичного преобразователя давления	59
ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	61
7 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	62
7.1 SWOT-анализ электрооборудования и системы автоматизации системы дозирования сыпучих материалов.....	62
7.2 Организация работ технического проекта.....	65
7.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования.....	66
7.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП	68
7.2.3 Разработка графика проведения технического проекта.....	69
7.3 Расчет затрат на осуществление технического проекта	72
7.3.1 Расчет материальных затрат на технический проект	72
7.3.2 Расчет основной заработной платы исполнителей темы	73
7.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	74
7.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	75
7.3.5 Накладные расходы.....	75
7.3.6 Формирование сметы затрат технического проекта	75

7.3.7 Определение ресурсоэффективности проекта	76
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	79
8 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	80
8.1 Производственная безопасность	80
8.1.1 Анализ выявленных вредных факторов.....	81
8.1.2 Анализ выявленных опасных факторов.....	85
8.2 Экологическая безопасность.....	86
8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	87
Пожарная безопасность.....	87
8.4 Правовые и организационные вопросы	88
Заключение	90
ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	92
ПРИЛОЖЕНИЕ А.	94

Введение

Водоснабжение на предприятии – сооружения, трубопроводы и оборудование, которое обеспечивает забор влаги из натурального источника, очистку и обработку, подачу воды потребителям. Техническое водоснабжение также располагает сооружениями и специальным оборудованием, которое потребуется для приёма проработавшей воды и подготовки ее для вторичного использования. Основным элементом всей этой системы – насосы. Существуют определенные параметры, по которым выбирают агрегат: КПД, место, которое он будет занимать, стоимость, затраты на эксплуатацию.

Если взять для сравнения два вида – циркуляционные и поршневые, то стоит отметить, что наиболее употребительны в настоящее время первые (к ним относятся, например, насосы КМ). Циркуляционные насосы выигрывают в том плане, что могут соединяться непосредственно с электродвигателем, турбиной, что позволяет экономить площадь. Упрощает обслуживание такого оборудования также то, что в нем нет клапанов. Циркуляционные практически полностью вытеснили поршневые, поршневые используются только для подачи большого давления (нефтяные, судовые, гидропрессовые, для химических жидкостей). Большие города, комбинаты, промышленные объекты потребляют очень большое количество воды, и поршневому агрегату с этим трудно справиться: они не могут мгновенно поставить десятки кубометров влаги. Конкуренция в этом случае уже идет между разными типами циркуляционных насосов: быстроходных и тихоходных, пропеллерных и центробежных. Каждый из агрегатов подбирается из расчета веса, необходимой производительности и дежельности, а также стоимости, разумеется. Преимущество среди такого оборудования за быстроходными насосами.

Разные отрасли промышленности требуют, соответственно, и разного оборудования. Конденсатные насосы, например, применимы на

электростанциях, роторные – для осуществления небольших подач жидкостей и т.п. Они являются необходимой частью оборудования на любом предприятии.

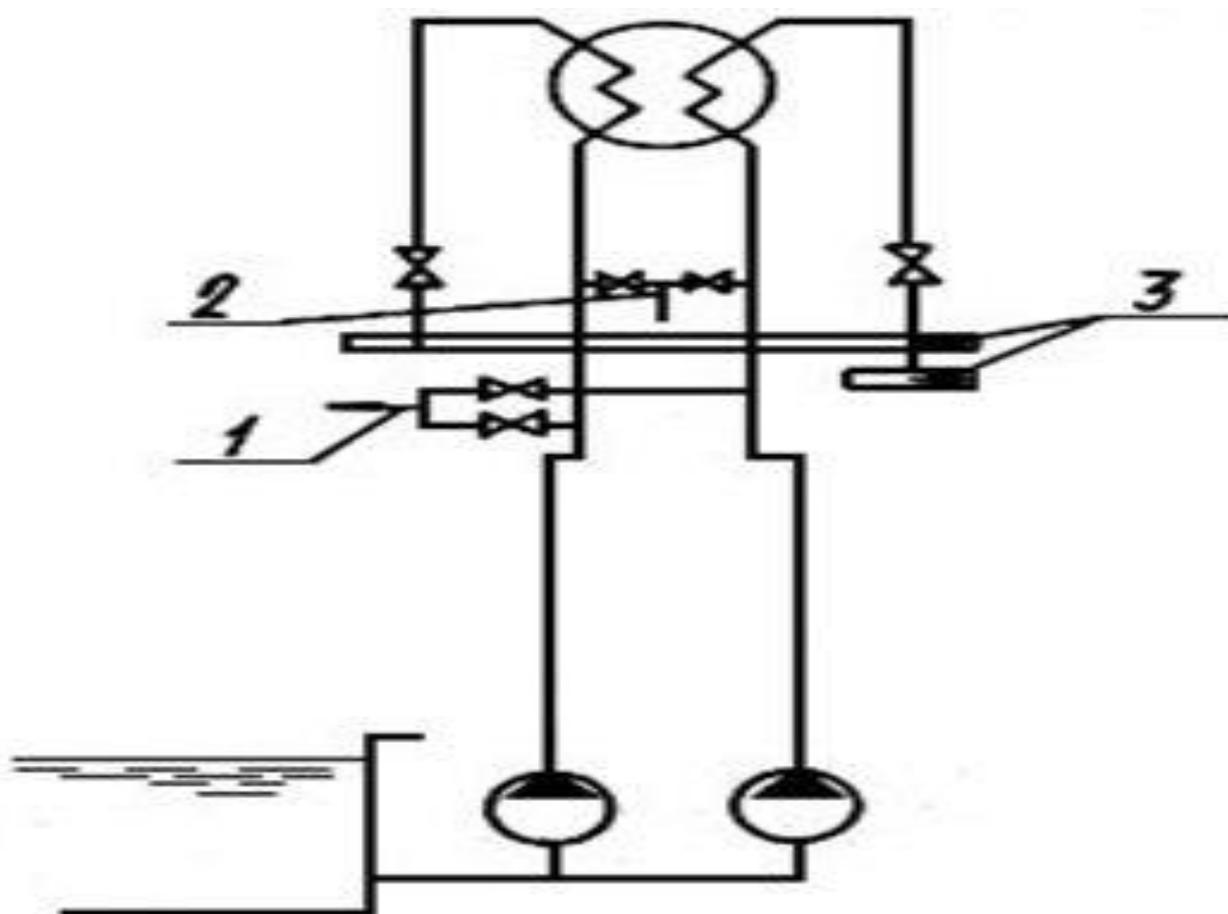
Применение конденсатных насосов серии КС является узкоспециализированным, однако вместе с этим оборудование данной категории очень востребовано на рынке. Конденсатные насосы КС предназначены для перекачивания конденсата, образующегося из отработанного пара, либо жидкостей, имеющие аналогичные характеристики. В процессе работы таких насосов происходит преобразование энергии электродвигателя – механической в гидравлическую энергию.

В качестве привода для центробежных насосов ввиду компактности конструкции, простоты соединений с турбомеханизмом, применения автоматизации и относительно низких эксплуатационных затрат в массовое применение нашли электродвигатели переменного тока. Подбор электродвигателя осуществляется по частоте вращения, рабочему положению (горизонтальный, вертикальный), мощности, напряжению и виду исполнения. Асинхронные двигатели – просты, компактны, но загружают сеть намагничивающим током ($\cos\varphi < 1$). У синхронных двигателей $\cos\varphi$ равен или больше единицы, что улучшает коэффициент мощности сети и экономит электроэнергию. Недостатком синхронных двигателей является их большая масса и большие габариты, что вызвано его системой возбуждения.

В данной дипломной работе была разработана система автоматического поддержания давления насосной установкой в системе перекачки конденсата в пароводяной сети электростанции.

1 Технологический процесс

Система циркуляционного водоснабжения электростанции



1 - отвод воды на собственные нужды; 2 - отвод воды на масло- и газоохладители; 3 - сливные каналы циркуляционной системы.

При блочной схеме на один энергоблок обычно устанавливаются два циркуляционных насоса. При этом каждый циркуляционный насос подключен непосредственно к напорному трубопроводу половины конденсатора и служит для поддержания давления в системе. Задвижка на сливном трубопроводе конденсатора является единственной арматурой на трубопроводе от циркуляционного насоса до стационарного сливного магистрального водовода. Питание масло- и газоохладителей, а также отвод воды на собственные нужды электростанции предусматриваются из обоих напорных водоводов блока.

Для перекачивания конденсата в пароводяных сетях электростанций, работающих на органическом топливе, а также жидкостей, сходных с конденсатом по вязкости применяются насосы типа КС.

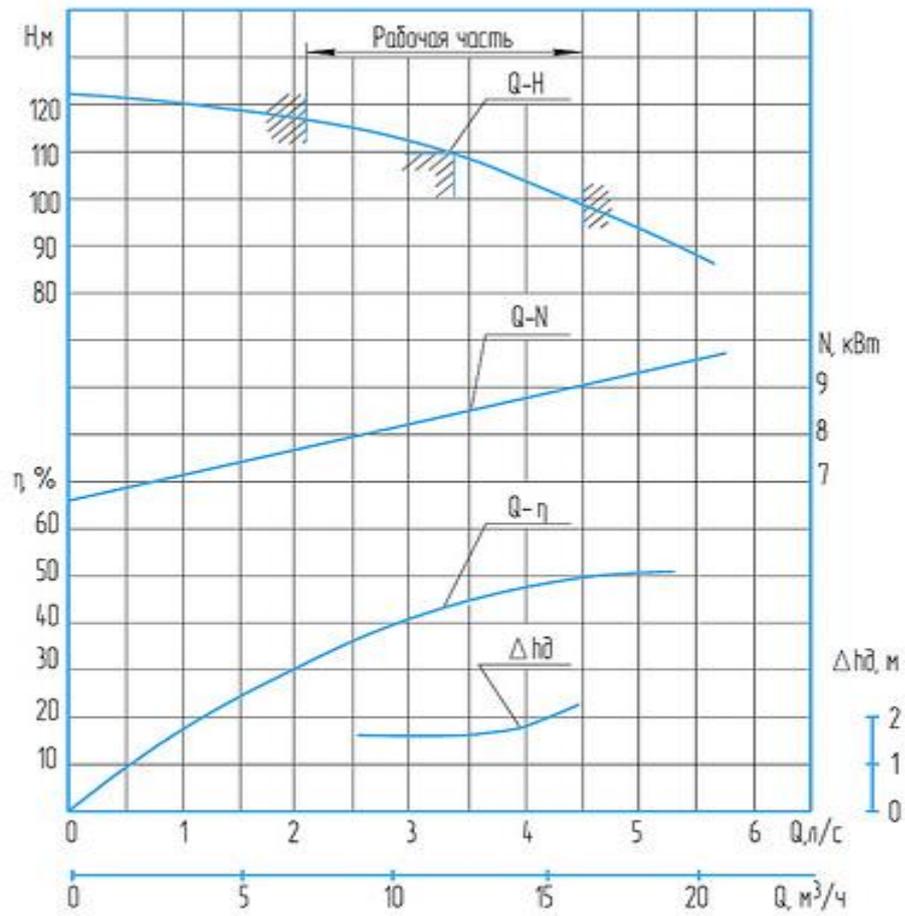
На рисунке 2 приведен внешний вид насоса типа КС 12-110.

Насосы имеют конструкцию с рабочими колесами одностороннего входа и приводом от двигателя через соединительную муфту. Ротор насоса вращается на двух подшипниковых опорах. Корпус насоса с горизонтальным разъемом по оси. Всасывающий патрубок направлен вертикально вниз, напорный – горизонтально.



Рисунок 2 - Внешний вид насоса типа КС 12-110

На рисунке 3. приведена характеристика, а таблице 1 технические данные насоса КС 12-110.



Характеристика насоса Кс 12-110

Рисунок 3 – Характеристика насоса КС 12-110

Таблица 1 – Технические данные насоса КС 12-110

Параметр	Обозначение	Значение	Ед. измерения
Подача	Q	12	м ³ /час
Напор	H	110	м
Частота вращения	n	3000	об/мин
Максимальная потребляемая мощность двигателя	N	11,00	кВт
Допускаемый кавитационный запас	$\Delta h_{\text{доп}}$	6,70	м, не менее
Масса насоса	m	90	кг

2 Обзор систем управления и способов регулирования электропривода

2.1 Системы управления электроприводом

Все ведущие электротехнические корпорации мира сегодня выпускают регулируемые автоматизированные электроприводы (АЭП) комплектно с компьютерными средствами автоматизации в виде гибко программируемых систем, предназначенных для широкого использования. При этом динамичная компьютеризация электроприводов, механизмов, агрегатов и комплексов является устойчивой тенденцией в идеологии проектирования АЭП.

Поэтому актуальность проектирования АЭП насосного агрегата, выполненного в общепромышленном исполнении и не предназначенного для работы на взрывоопасных и пожароопасных производствах и установках, заключается в решении задачи выбора системы управления электроприводом (СУЭП) для максимального повышения эффективности работы и производительности технологического оборудования.

Исходя из требований к СУЭП, при проектировании предлагаются к рассмотрению две схемы управления: схема векторного регулирования и схема скалярного управления электроприводом насосной установки,

выполненными по системе преобразователь частоты - короткозамкнутый асинхронный электродвигатель (ПЧ-АД).

Выбор способа и принципа управления производится на основании требований к регулированию скорости и показателям качества регулирования: диапазону регулирования, плавности, точности поддержания заданной скорости. Обязательно учитываются динамические показатели качества процесса регулирования: быстродействие, перерегулирование и др. Кроме того, при выборе системы управления электроприводом обязательен учет характера нагрузки, создаваемой рабочим механизмом. Частотное управление электродвигателями осуществляется двумя основными способами.

Скалярный принцип частотного управления является наиболее распространенным в электроприводе. Ему свойственна техническая простота измерения и регулирования абсолютных значений переменных АД. Управление осуществляется по функциональной характеристике, связывающей напряжение и частоту статора электродвигателя (U/f^2 -характеристике), с применением модуля IR-компенсации для поддержания постоянства потокосцепления статора в соответствии с этой характеристикой. В статических режимах позволяет добиться за счет обратных связей желаемых свойств электропривода. Применяется для электроприводов, в которых отсутствуют высокие требования к динамике.

Векторный принцип управления базируется на принудительной взаимной ориентации векторов потокосцеплений и токов АД в полярной или декартовой системах координат в соответствии с заданным законом регулирования. За счет регулирования модулей переменных и углов между их векторами обеспечивается управление АД как в статике, так и в динамике, обеспечивая тем самым заметное улучшение качества переходных процессов. Именно этот факт является определяющим при выборе системы с векторным управлением и находит применение в электроприводах со средней и высокой динамикой. Приводы таких механизмов как насосы занимают

промежуточное положение между высокодинамичными, динамичными и низкодинамичными.

Поскольку скалярное управление позволило получить искусственные механические характеристики с требуемой жесткостью и учитывая, преимущества этого вида управления, можно сделать вывод, что данный способ управления может быть применён при проектировании СУЭП по системе ПЧ-АД насосной установки.

2.2 Способы регулирования и механические характеристики электропривода

Асинхронный электропривод со скалярным управлением является на сегодняшний день наиболее распространенным. Он применяется в составе приводов насосов, вентиляторов, компрессоров и других механизмов, для которых важно поддерживать либо скорость вращения вала двигателя (при этом используется датчик скорости), либо технологический параметр (давление в трубопроводе, при этом используется соответствующий датчик).

При проектировании электропривода электродвигатель должен выбираться так, чтобы его механические характеристики соответствовали механическим характеристикам производственного механизма. Механические характеристики дают взаимосвязь переменных в установившихся режимах.

Механической характеристикой механизма называют зависимость между угловой скоростью и моментом сопротивления механизма, приведенными к валу двигателя) $\omega = f(M_c)$.

Для данных характеристик $\beta = \frac{\Delta M_c}{\Delta \omega}$, где M_c - момент сопротивления.

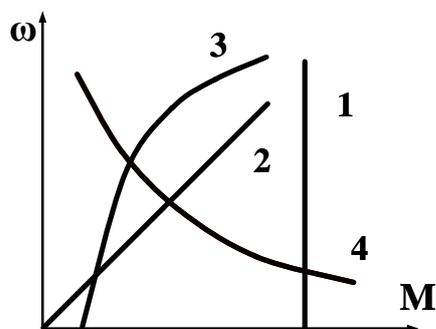


Рисунок 4 – Механические характеристики производственных механизмов

1. Характеристика не зависит от скорости вращения; $M_C = const, X = 1.$

2. Линейно-возрастающая механическая характеристика; $M_C = \beta \cdot n, X = 2;$

3. Нелинейно-возрастающая механическая характеристика;

$$X = 2 - \text{вентилятор}, \quad X = 3 - \text{насос}. \quad M_C = M_0 + M \cdot \omega^X,$$

4. Нелинейно-спадающая характеристика; $M_C = M \cdot \omega^{X-1}, X = 0.$

Все виды механических характеристик могут быть описаны единой формулой:

$$M_C = M_0 + (M_{C.НОМ} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{НОМ}} \right)^{X-1},$$

где M_C - момент нагрузки, при скорости вращения ω ;

$M_{C.НОМ}$ - момент нагрузки при скорости $\omega_{НОМ}$;

M_0 - момент трения; x - показатель степени.

В частотно-регулируемых электроприводах переменного тока для соответствующих моментов производственных механизмов можно сформировать электромагнитные моменты двигателей.

При постоянном моменте нагрузки управление напряжением и частотой статора асинхронного двигателя осуществляется по закону $U_{1j}/f_{1j} = const$;

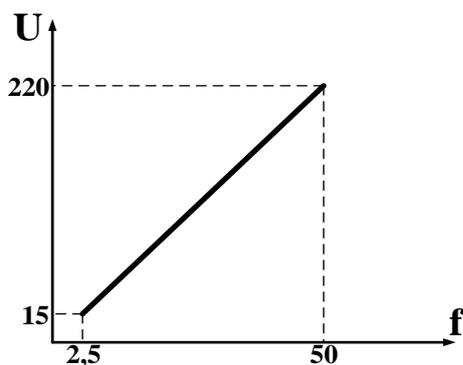


Рисунок 5 – Кривая зависимости $U_{1j}/f_{1j} = const$

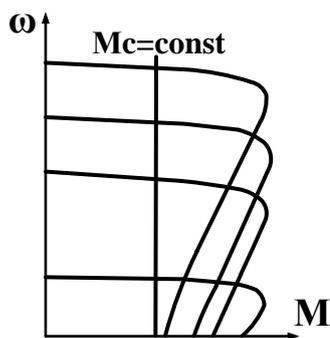


Рисунок 6 – Механические характеристики привода, управляемого по системе ПЧ-АД, при постоянном моменте.

При нелинейно-спадающей нагрузке – закон управления напряжением и частотой принимает вид $U_{1j} / \sqrt{f_{1j}} = const$;

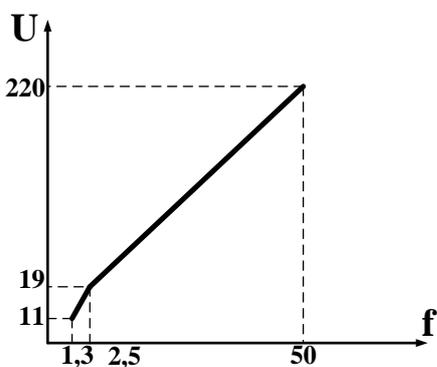


Рисунок 7 – Кривая зависимости $U_{1j} / \sqrt{f_{1j}} = const$

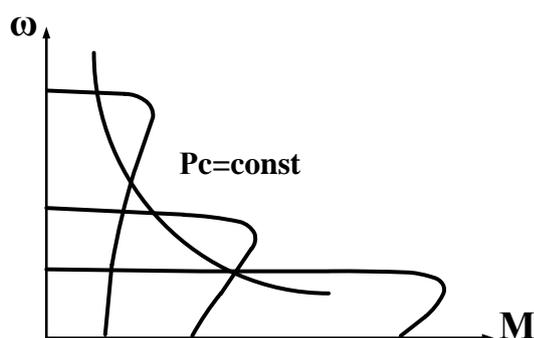


Рисунок 8 – Механические характеристики привода, управляемого по системе ПЧ-АД, при постоянной мощности

При нелинейно-возрастающей «вентиляторной» нагрузке напряжение и частота должны изменяться в соответствии с зависимостью $U_{1j} / f_{1j}^2 = const$;

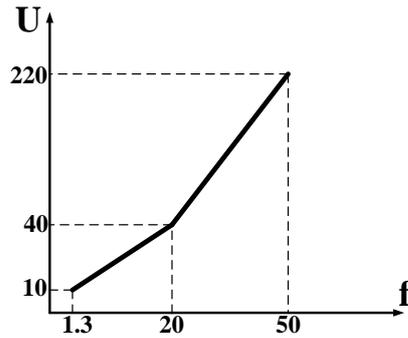


Рисунок 9 – Кривая зависимости $U_{1j}/f_{1j}^2 = const$

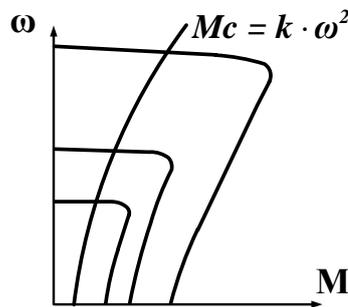


Рисунок 10 – Механические характеристики привода, управляемого по системе ПЧ-АД, при вентиляторной нагрузке

2.3 Требования, предъявляемые к электроприводу насосов

Насосы, работают на сеть с противодавлением, причем статический напор в сети составляет обычно не менее 20% полного напора. Исключением являются лишь циркуляционные насосы, которые могут работать на сеть, практически не имеющую статического напора. Насосы, как правило, являются механизмами с режимами длительной нагрузки с большим числом работы в год; нагрузка на валу приводного двигателя спокойная, перегрузок не возникает. Центробежные насосы являются быстроходными механизмами, номинальная частота вращения приводного двигателя обычно не менее 600 об/мин; верхний предел частоты вращения для насосов ограничен значением 3000 об/мин, лишь в редких случаях требуется более высокая номинальная частота вращения; наиболее современным способом регулирования

производительности насосов является изменение частоты вращения их двигателей, диапазон вращения обычно невелик, глубокое регулирование требуется лишь в отдельных случаях.

Наиболее широкое распространение получили установки с центробежными насосами. В спиральном корпусе насоса помещается рабочее колесо с лопатками. При вращении колеса двигателем жидкость, поступающая к центру колеса из заборного резервуара через всасывающий трубопровод и открытую задвижку, центробежной силой выбрасывается по лопаткам на периферию корпуса. В результате в центре рабочего колеса создается разрежение, жидкость засасывается в насос, снова выбрасывается и далее подается в напорный трубопровод. Таким образом, в системе при открытой задвижке создается непрерывное течение, и центробежный насос имеет равномерный ход. Перед пуском центробежный насос нужно заполнить жидкостью. Насос может находиться как ниже, так и выше уровня жидкости. Если он расположен ниже уровня, то для его заливки достаточно открыть вентиль задвижки. Если же насос находится выше уровня перекачиваемой жидкости, то для заливки требуется создать разрежение внутри корпуса при помощи специального вакуум-насоса, в качестве которых обычно применяют поршневые насосы. После заливки насоса может быть включен приводной двигатель. Применяют три способа пуска:

I. Пуск при закрытой напорной задвижке, при котором плавно повышается давление в напорном трубопроводе и исключается Пуск при закрытой напорной задвижке, при котором плавно повышается давление в напорном трубопроводе и исключается гидравлический удар в системе. От двигателя не требуется повышенный пусковой момент, так как пуск происходит практически вхолостую, но дополнительно тратится время на последующее открытие задвижки.

II. Пуск при открытой напорной задвижке удобен, если насос расположен ниже уровня жидкости в заборном резервуаре и имеется обратный клапан - не тратится время на открытие задвижки, и общее время

агрегата меньше, хотя пуск самого двигателя более длителен из-за увеличение $M_{с.п.}$.

III. Пуск с одновременным включением привода открывания напорной задвижки насоса можно рассматривать как частные случаи первого и второго способов в зависимости от соотношения времени открывания задвижки и пуска насоса.

Пуск насосов обычно производится на закрытую задвижку, зависимость момента на валу от частоты вращения при пуске носит вентиляторный характер с максимальным моментом для большинства насосов, лежащим в пределах 0,4 – 0,8 номинального.

3 Расчет параметров системы управления насоса

3.1 Выбор двигателя и расчет силовой части

Мощность насоса равна

$$P_{\text{нас}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot 10^{-3}}{\eta_{\text{нас}} \cdot \eta_{\text{п}}} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0033 \cdot 110 \cdot 10^{-3}}{0,7 \cdot 0,9} = 6,73 \text{ кВт} .$$

где $Q = 12$ – подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q = \frac{12 \text{ м}^3/\text{ч}}{3600} = 0,0033 \text{ м}^3/\text{с}$;

$H = 110\text{м}$ – напор; $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ – плотность воды; $\eta_{\text{н}} = 0,7$ КПД насоса, $\eta_{\text{п}} = 0,9$ - КПД передачи [2].

Мощность приводного электродвигателя выбирают на основе приведенной выше формулы, но с учетом возможного отклонения режима работы насоса от его номинального (паспортного) режима. Чтобы не перегружать двигатель при любых режимах, его мощность выбирают с запасом.

$$P_{\text{дв}} = k \cdot P_{\text{нас}} = 1,3 \cdot 6,73 = 8,75 \text{ кВт} .$$

где k – коэффициент запаса, выбираем $k = 1,3$, так как ЭД является приводом насоса, работающего при постоянной нагрузке в продолжительном режиме, и имеет редкие пуски при закрытой задвижке.

3.2 Определение параметров электродвигателя

Таблица 2- Технические данные электродвигателя

Тип размер	$n_0, \left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$	$U_{1H}, [\text{В}]$	$P_{\text{ДВ.Н}}, [\text{кВт}]$	При номинальной нагрузки			$J_{\text{ДВ}}, [\text{кг} \cdot \text{м}^2]$
				$s_H, \%$	$\cos\varphi_H$	$\eta_H, \%$	
РА160МА2	3000	380	11	2	0.89	87.3	0.0438

Продолжение таблицы 2.

$m_k = \frac{M_{\text{макс}}}{M_H}$	$m_{\text{П}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_H}$	$m_M = \frac{M_{\text{мин}}}{M_H}$	$K_{i\text{ДВ}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_H}$
3.3	2	1.3	6.8

Расчетные параметры двигателя

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.14 \cdot 1000}{30} = 314 \text{ с}^{-1}.$$

Номинальная скорость вращения двигателя

$$n_{\text{ДВ.Н}} = (1 - s_H) \cdot n_0 = (1 - 0.02) \cdot 3000 = 2940 \frac{\text{об}}{\text{мин}};$$

$$\omega_{\text{ДВ.Н}} = \frac{n_{\text{ДВ.Н}}}{9.55} = \frac{2970}{9.55} = 307.72 \text{ с}^{-1}.$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{ДВ.Н}} = \frac{P_{\text{ДВ.Н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{ДВ.Н}}} = \frac{11 \cdot 10^3}{307.72} = 35.75 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный ток статора.

Для определения номинального фазного тока необходимо знать схему

соединения обмоток статора. Соединение обмоток неизвестно, принимаем соединение Y.

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

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \phi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{11 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.89 \cdot 0.873} = 21.45\text{ А.}$$

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

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске

$$I_{1\text{макс}} = I_{1\text{лн}} \cdot K_{i\text{дв}} = 21.45 \cdot 6.8 = 145.87\text{ А.}$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике

$$M_k = m_k \cdot M_{\text{дв.н}} = 3.3 \cdot 35.747 = 117.964\text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 2 \cdot 35.747 = 71.494\text{ Н} \cdot \text{м.}$$

3.3 Определение параметров схемы замещения двигателя

Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является T-образная схема замещения, представленная на рисунке 11.

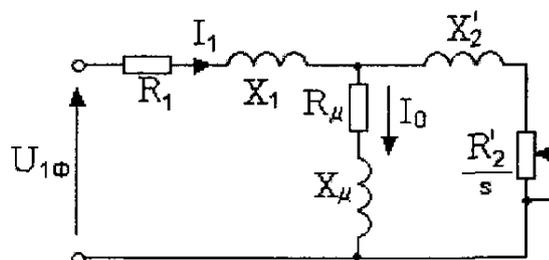


Рисунок 11 – Схема замещения асинхронного двигателя.

Ток фазы статора при частичной нагрузке

$$I_{1p^*} = \frac{p^* \cdot P_{дв.н}}{3 \cdot U_{1фн} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}} = \frac{0.75 \cdot 11000}{3 \cdot 220 \cdot 0.86 \cdot 0.873} = 16.649 \text{ A},$$

где $\cos \varphi_{p^*} = 0.86$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке [2];

$\eta_{p^*} = 0.873$ – КПД при частичной нагрузке [2];

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

Ток холостого хода асинхронного двигателя

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

$$= 21.451 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{16.649}{21.451}\right)^2 \cdot \left[\frac{0.75 \cdot (1 - 0.02)}{(1 - 0.75 \cdot 0.02)}\right]^2}{1 - \left[\frac{0.75 \cdot (1 - 0.02)}{(1 - 0.75 \cdot 0.02)}\right]^2}} = 6.883 \text{ A}$$

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения

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

$$= 0.02 \cdot \frac{3.3 + \sqrt{3.3^2 - [1 - 2 \cdot 0.02 \cdot 1.6 \cdot (3.3 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0.02 \cdot 1.6 \cdot (3.3 - 1)} = 0.152$$

где β – коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора, принимаем $\beta = 1.6$.

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1фн}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot m_k \cdot P_{дв.н} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_K}\right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0.02)}{2 \cdot 3.3 \cdot 11000 \cdot 1.024^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{0.152}\right)} = 0.228 \text{ Ом},$$

где $C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot K_{i_{дв}} \cdot I_{1дв}} = 1 + \frac{6.883}{2 \cdot 6.8 \cdot 21.451} = 1.024$ – коэффициент,

характеризующий соотношением $\frac{X_\mu + X_{1\delta}}{X_\mu}$;

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1.024 \cdot 0.228 \cdot 1.6 = 0,374 \text{ Ом.}$$

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

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0.152^2) - 1.6^2} = 6.395,$$

тогда, индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$X_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 6.395 \cdot 1.024 \cdot 0.228 = 1.495 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора

$$X_{1\delta} = 0.42 \cdot X_{кн} = 0.42 \cdot 1.495 = 0.628 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{0.628}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 1.999 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

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

$$X_{2\delta}' = 0.58 \cdot \frac{X_{кн}}{C_1} = 0.58 \cdot \frac{1.495}{1.024} = 0.847 \text{ Ом.}$$

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

$$L_{2\delta}' = \frac{X_{2\delta}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{0.847}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 2.697 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

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

$$E_1 = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} - X_{1\delta} \cdot I_{1H})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0.89 - 0.374 \cdot 21.451)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0.89^2} - 0.628 \cdot 21.451)^2} = 206.888 \text{ В},$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = \frac{206.888}{6.883} = 30,1 \text{ Ом}.$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{30,06}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,096 \text{ Гн}.$$

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя.

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

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

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,228}{314 \cdot 0,02 \cdot \left[(1,495)^2 + \left(0,374 + \frac{0,228}{0,02} \right)^2 + \left(\frac{0,374 \cdot 0,228}{0,02 \cdot 30,06} \right)^2 \right]} = 37,367 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

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

$$= \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot \frac{0,096}{(0,096 + 0,002697)} \cdot 0,932 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{21,451^2 - 6,883^2} = 39,058 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\text{где } \Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_\mu = \sqrt{2} \cdot 6,883 \cdot 0,096 = 0,932 \text{ Вб}.$$

Должны выполняться условия:

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

$$M_{\text{эм.н}}^* = (1,05 \div 1,1) \cdot M_{\text{дв.н}} = (1,05 \div 1,1) \cdot 35,747 = (37,534 \div 39,321) \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По результатам расчета эти условия выполняются [1].

Параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 3.

Таблица 3 - Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1\delta}$, Ом	$L_{1\delta}$, Гн	X_{μ} , Ом	L_{μ} , Гн	R_2' , Ом	$X_{2\delta}'$, Ом	$L_{2\delta}'$, Гн	$X_{кн}$, Ом
0.374	0.628	$1.999 \cdot 10^{-3}$	30,06	0,096	0.228	0.847	$2.697 \cdot 10^{-3}$	1,495

3.4 Выбор преобразователя частоты

При выборе преобразователя частоты для трехфазного асинхронного двигателя с номинальным напряжением фазных обмоток 220 В и соединением обмоток по схеме Y следует руководствоваться приведёнными ниже рекомендациям [2].

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

2. Выходные параметры преобразователя частоты:

- 3 фазы;
- максимальное выходное (линейное) напряжение 380 В;

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

$$I_{и.н} \geq I_{1лн} \geq 21.45 \text{ А} ;$$

$$I_{и.макс} \geq 1,6 \cdot I_{1лн} \geq 1,6 \cdot 21,45 = 34.32 \text{ А} .$$

Принимаем способ управления – скалярное [1].

Параметры выбранного преобразователя частоты сведены в таблице 3.3.

Выбираем преобразователь частоты фирмы Siemens серии Micromaster Eco (рис.3.2). Данные ПЧ специально разработаны для применения в системах отопления, вентиляции, водоснабжения.

Особенности серии:

- работа в режиме энергосбережения;
- автоматическая подстройка частоты импульсов ШИМ для минимизации шума;
- автоматическое ограничение рабочих характеристик двигателя;
- встроенный ПИД регулятор и т.д.

Основные технические параметры приведены в таблице 4.



Рисунок 12 – Преобразователи частоты серии Micromaster Eco

Таблица 4 - Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение $U_{и}$, В	Выходная частота $f_{н}$, Гц	Выходной ток		Рекомендуемая мощность P_2 , Вт
	$U_{1л}$, В	f_c , Гц			$I_{н}$, А	$I_{макс}$, А	
Micromaster Eco	3×(380÷440)	50	3×380	(0.2-132)	24	38.4	11

Выбор несущей частоты инвертора $f_{шим}$ осуществляется в соответствии с рекомендациями фирмы-производителя для выбранного типа преобразователя с учетом фактического тока загрузки [2].

Принимаем несущую частоту инвертора $f_{шим} = 5$ кГц.

4 Расчет и построение естественной механической и электромеханической характеристик

Найдем синхронную угловую скорость

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

Рассчитаем и построим естественную электромеханическую характеристику

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \phi_2} ,$$

где

$$\sin \phi_2 = \frac{x_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega - \omega_0}\right)^2 + x_{KH}^2}}$$

$I_2'(\omega)$ - значение приведенного тока ротора от скольжения;

$$I_2' = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega - \omega_0}\right)^2 + (x_{1H} + x_{2H}')^2}}$$

По вышеприведенным формулам рассчитывается естественная электромеханическая характеристика, приведенная на рисунке 13

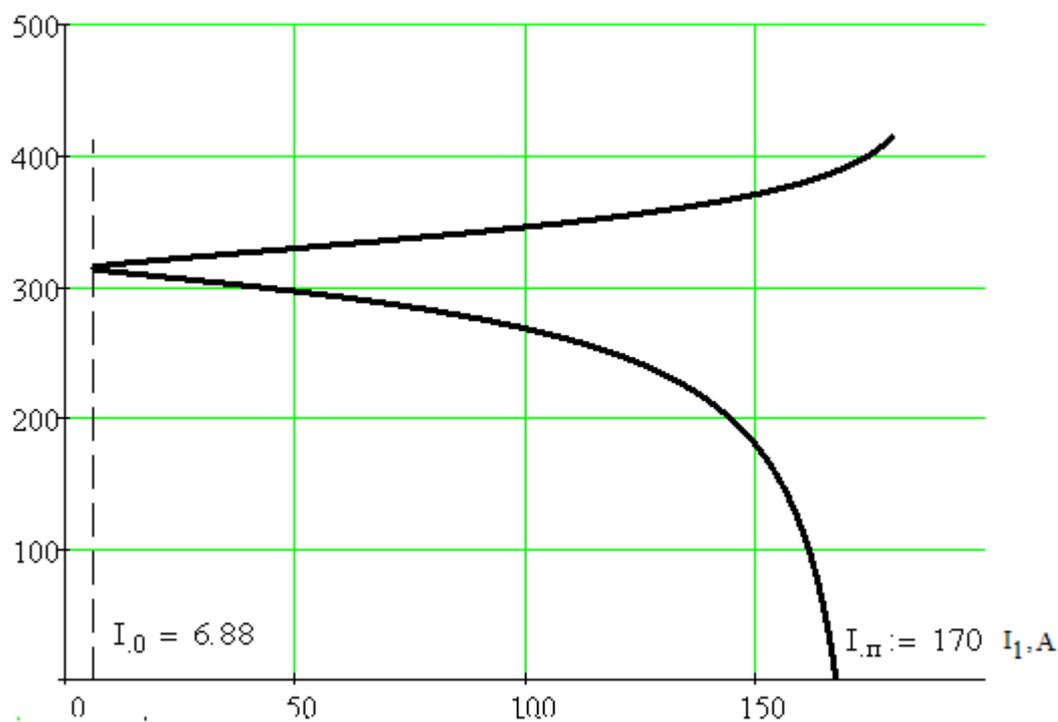


Рисунок 13 – Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя

Рассчитаем и построим естественную механическую характеристику по следующей формуле

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1н}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}} \right)^2 + x_{кн}^2 \right]}$$

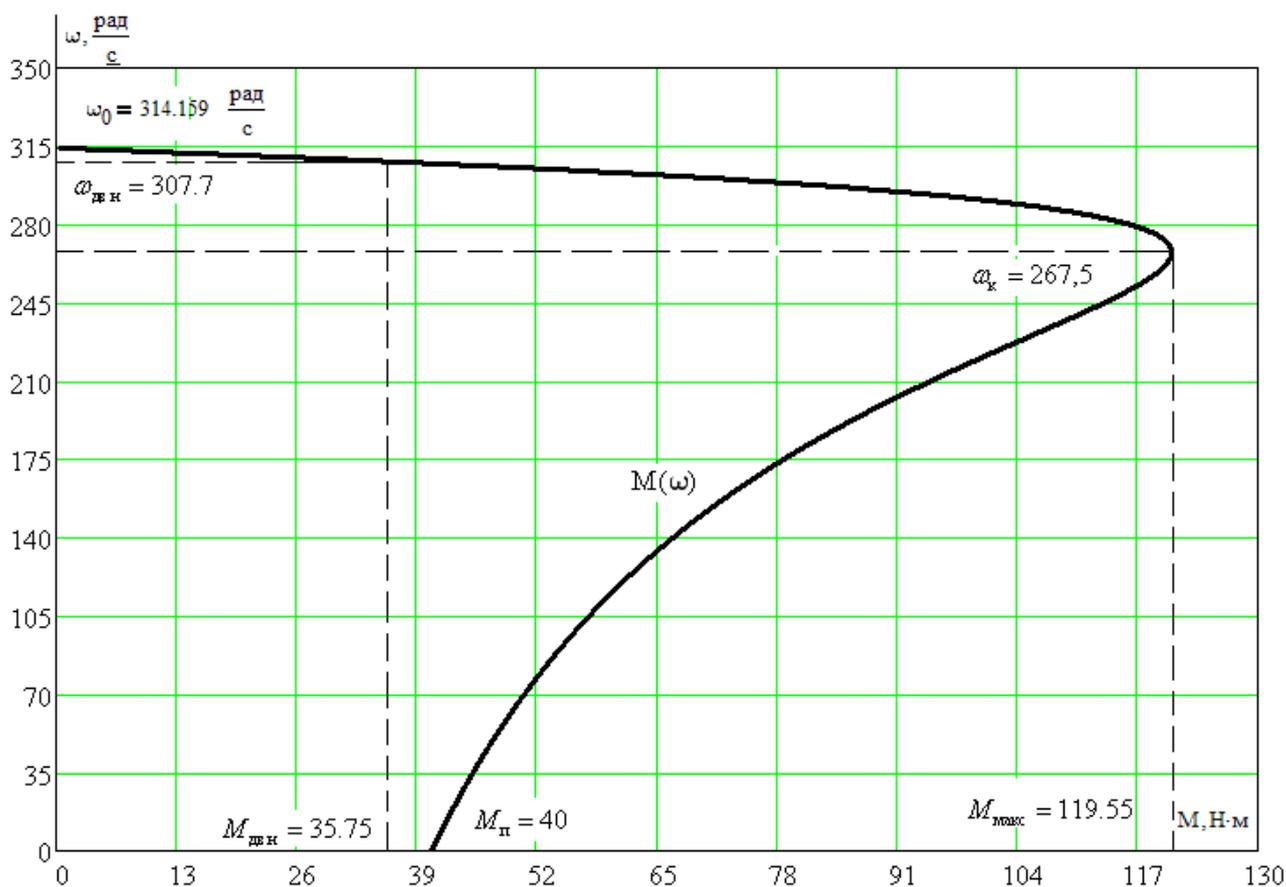


Рисунок 14 – Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя

Из графика механической характеристики определяем:

- | | |
|------------------------------|---|
| 1. синхронная скорость | $\omega_0 = 314,159 \text{ рад/с}$; |
| 2. момент хх | $M(\omega) = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$; |
| 3. номинальная скорость | $\omega_{\text{дв.н}} = 307,72 \text{ рад/с}$; |
| 4. номинальный момент | $M_{\text{дв.н}} = 35,75 \text{ Нм}$; |
| 5. критическое скольжение | $s_k = 0,148, \omega_k = 267,5 \text{ рад/с}$; |
| 6. критический момент | $M_{\text{макс}} = 119,55 \text{ Н} \cdot \text{м}$; |
| 7. скольжение в момент пуска | $s = 1$; |
| 8. пусковой момент | $M_{\text{п}} = 40 \text{ Н} \cdot \text{м}$. |

Эти же точки рассчитаем аналитически:

- | | |
|------------------------|--------------------------------------|
| 1. синхронная скорость | $\omega_0 = 314,159 \text{ рад/с}$; |
|------------------------|--------------------------------------|

2. момент хх	$M(\omega) = 0 \text{ Н} \cdot \text{м};$
3. номинальная скорость	$\omega_{\text{дв.н}} = 307.72 \text{ рад} / \text{с};$
4. номинальный момент	$M_{\text{дв.н}} = 35.75 \text{ Н} \cdot \text{м};$
5. критическое скольжение	$s_k = 0,148, \omega_k = 267,5 \text{ рад} / \text{с};$
6. критический момент	$M_{\text{макс}} = 120 \text{ Н} \cdot \text{м};$
7. скольжение в момент пуска	$s = 1;$
8. пусковой момент	$M_{\text{п}} = 38 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

Как видно из сравнения аналитически и графически определенных значений в контрольных точках существенно различается только значение пускового момента. Это объясняется тем, что при скольжениях близких к единице проявляется поверхностный эффект, который не был учтен в расчетах.

В значениях остальных контрольных точек больших расхождений не наблюдается

4.1 Расчет и построение естественных механических и электромеханических характеристик разомкнутой системы «Преобразователь частоты - Асинхронный двигатель»

Расчет характеристик производим для частот $f_1 = 50; 30; 15; 10 \text{ Гц}.$

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

Найдем относительные значения частот питающего напряжения:

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

$$\text{при } f_{1н2} = 30 \text{ Гц} \quad f_{1*2} = \frac{f_{2i}}{f_{1i}} = \frac{30}{50} = 0,6$$

$$\text{при } f_{1н3} = 15 \text{ Гц} \quad f_{1*3} = \frac{f_{3i}}{f_{1i}} = \frac{15}{50} = 0,3$$

при $f_{1H4}=10$ Гц

$$f_{1*4} = \frac{f_{4H}}{f_{1H}} = \frac{10}{50} = 0,2$$

Найдем фазное напряжение обмотки статора асинхронного двигателя:

$$U_{1H1} = Z_p \cdot f_{1H1}^2 = 0,088 \cdot 50^2 = 220 \text{ В};$$

$$U_{1H2} = Z_p \cdot f_{1H2}^2 = 0,088 \cdot 30^2 = 79,2 \text{ В};$$

$$U_{1H3} = Z_p \cdot f_{1H3}^2 = 0,088 \cdot 15^2 = 19,8 \text{ В};$$

$$U_{1H4} = z_p \cdot f_{1H4}^2 = 0,088 \cdot 10^2 = 8,8 \text{ В}.$$

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

$$\omega_{01} = \frac{2\pi \cdot f_{1H1}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314,159 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{02} = \frac{2\pi \cdot f_{1H2}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 30}{1} = 188,496 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{03} = \frac{2\pi \cdot f_{1H3}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 15}{1} = 94,248 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{04} = \frac{2\pi \cdot f_{1H4}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 10}{1} = 62,832 \text{ рад/с}.$$

Определим токи холостого хода при данных частотах регулирования:

$$I_{01} = \frac{U_{1H1}}{X_{\mu H}} = \frac{220}{30,1} = 7,3 \text{ А};$$

$$I_{02} = \frac{U_{1H2}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*2}} = \frac{79,2}{30,1 \cdot 0,6} = 4,4 \text{ А};$$

$$I_{03} = \frac{U_{1H3}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*3}} = \frac{19,8}{30,1 \cdot 0,3} = 2,19 \text{ А};$$

$$I_{04} = \frac{U_{1H4}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*4}} = \frac{8,8}{30,1 \cdot 0,2} = 1,46 \text{ А}.$$

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

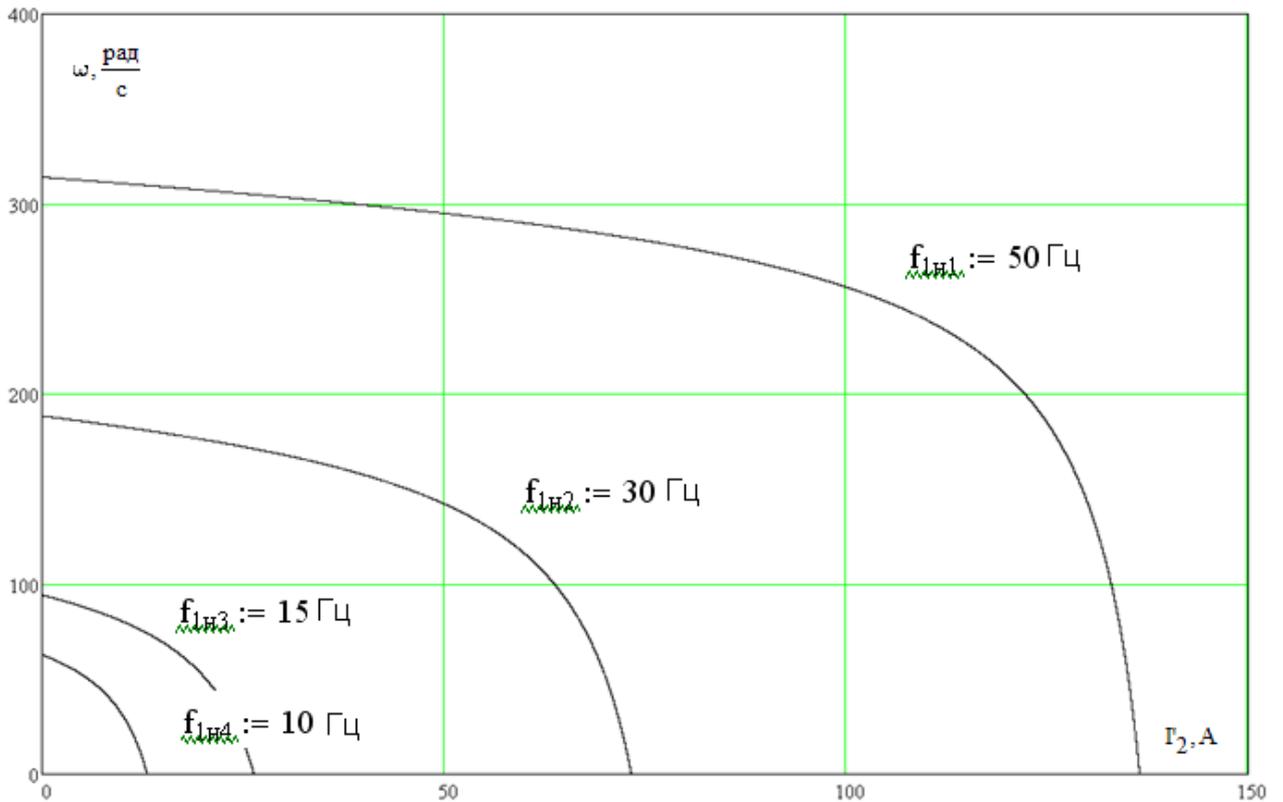


Рисунок 15 – Искусственные электромеханические характеристики $\Gamma_2(\omega)$ при частотном регулировании скорости

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

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

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

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

$I_0(f) = \frac{U_1(f)}{X_{\mu H} \cdot f_1^*(f)}$ – ток холостого хода асинхронного двигателя в зависимости от частоты.

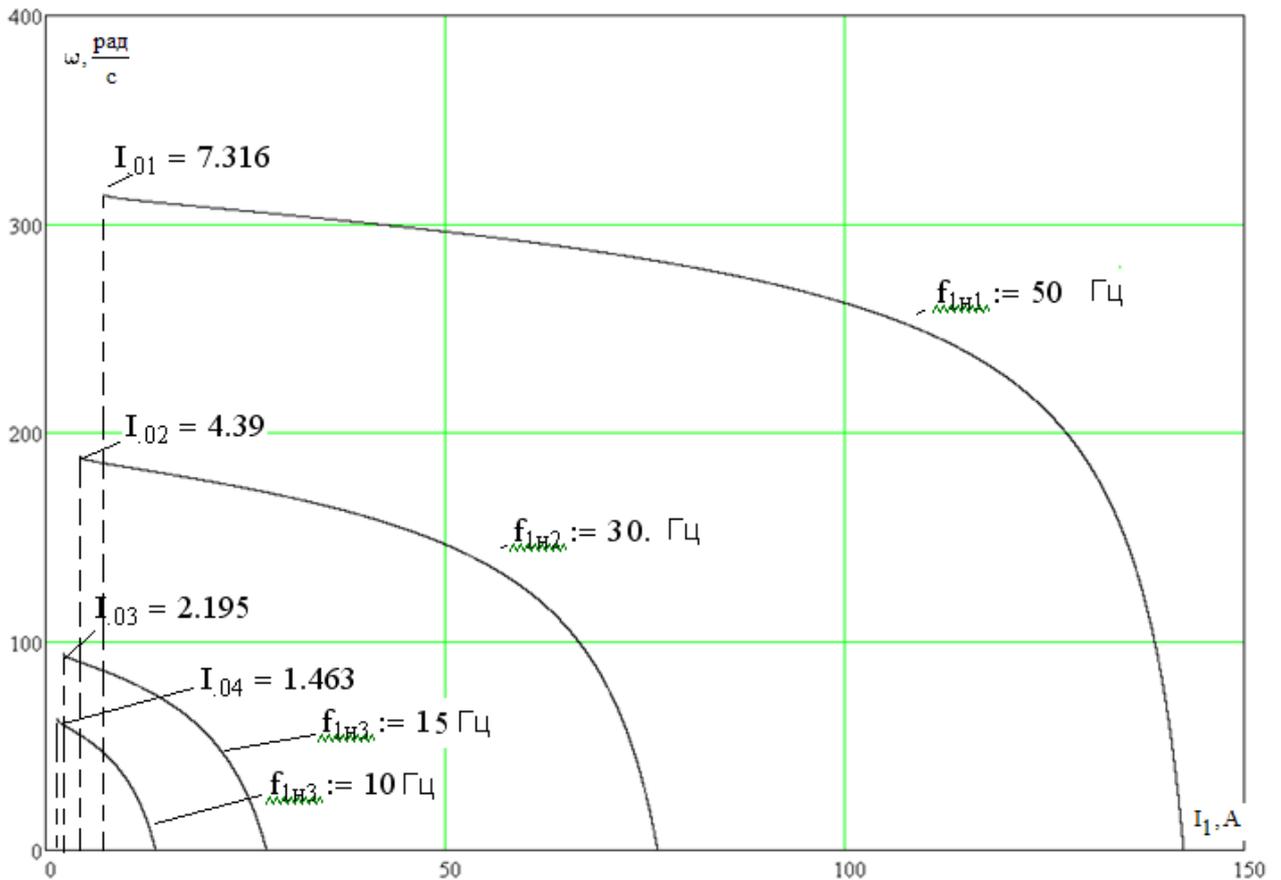


Рисунок 16 – Искусственные электро-механические характеристики $I_1(\omega)$ при частотном регулировании скорости

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

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2 \cdot R'_2}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[X_{\delta \text{т}}^2 \cdot (f_1^*(f))^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu \text{т}} \cdot f_1^*(f)} \right)^2 \right]}$$

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

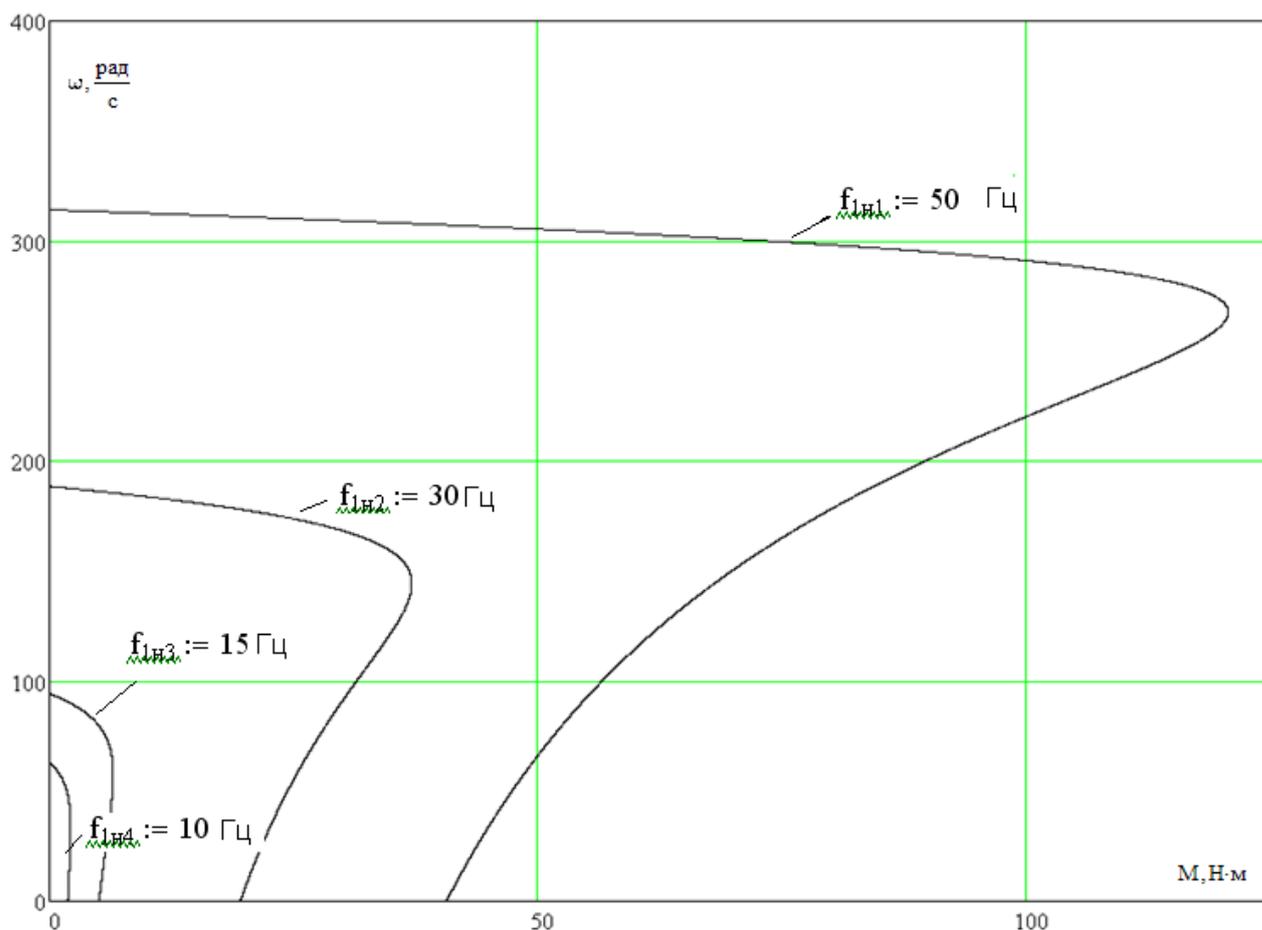


Рисунок 17 – Искусственные механические характеристики $M(\omega)$ при частотном регулировании скорости

5 Моделирование в среде MatLab

5.1 Силовой канал электропривода. Структурная схема силового канала

В силовой канал электропривода входят:

- преобразователь частоты, выполняющий функцию электрического преобразователя;
- электродвигатель, который выполняет функцию электромеханического преобразователя;
- механическая система, которая выполняет функцию механического преобразователя.

При решении задач анализа и синтеза регулируемых асинхронных электроприводов обычно применяются модели электродвигателя,

составленные на базе обобщенной электрической машины и выполненные в неподвижной или вращающейся двухфазной системе координат. На рисунке 34 приведена структурная схема силового канала непрерывной линеаризованной системы преобразователь - асинхронный электродвигатель в неподвижной системе координат. Входными координатами структурной схемы являются составляющие напряжения управления преобразователя $U_{уп\alpha}$ и $U_{уп\beta}$, а выходной величиной – угловая скорость двигателя ω . Структурная схема, рисунок 20, характеризуется следующими промежуточными координатами:

$U_{1\alpha}, U_{1\beta}, I_{1\alpha}, I_{1\beta}, \psi_{2\alpha}, \psi_{2\beta}$ – составляющие напряжения, тока статора и потокосцепления ротора в ортогональной системе координат α и β ;

$M_{двЭМ}$ – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

Математическое описание силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель, в неподвижной системе координат α, β , ориентированной по вектору потокосцепления ротора.

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

На основании данной системы уравнений была составлена структурная схема (рисунок 18). Структурная схема, описывает процессы,

происходящие в машине переменного тока, в которой действуют переменные величины напряжений, токов, потокосцеплений синусоидальной формы.

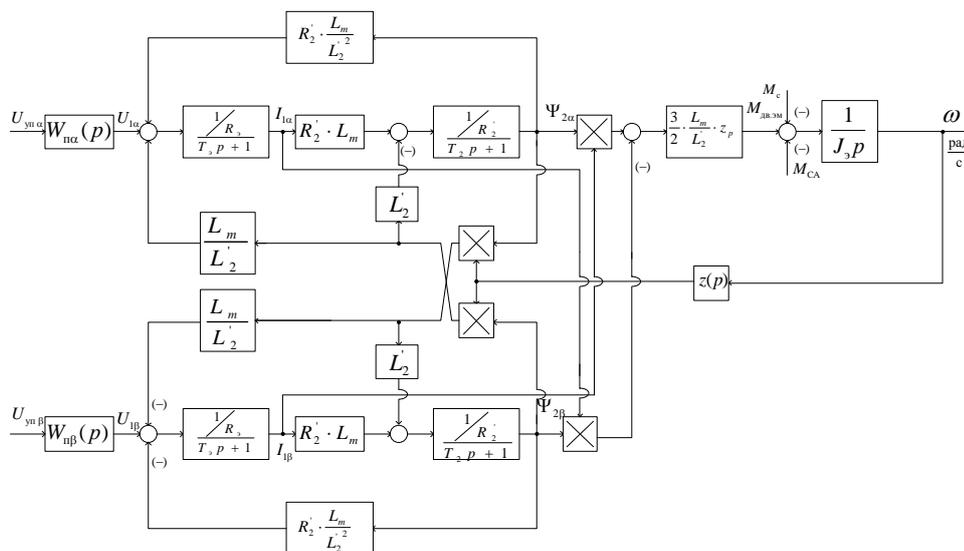


Рисунок 18 - Структурная схема силового канала системы преобразователь-асинхронный электродвигатель в неподвижной двухфазной системе координат

В пакете Simulink системы MATLAB разработана имитационная модель силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель в неподвижной системе координат [4].

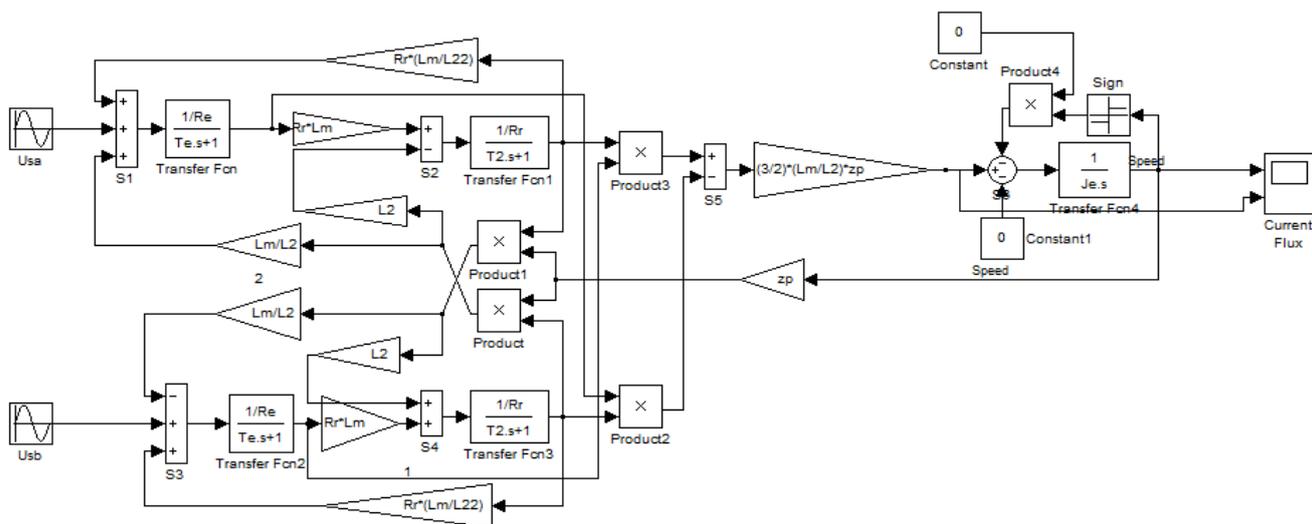


Рисунок 19 – Имитационная модель силового канала системы преобразователь - асинхронный электродвигатель

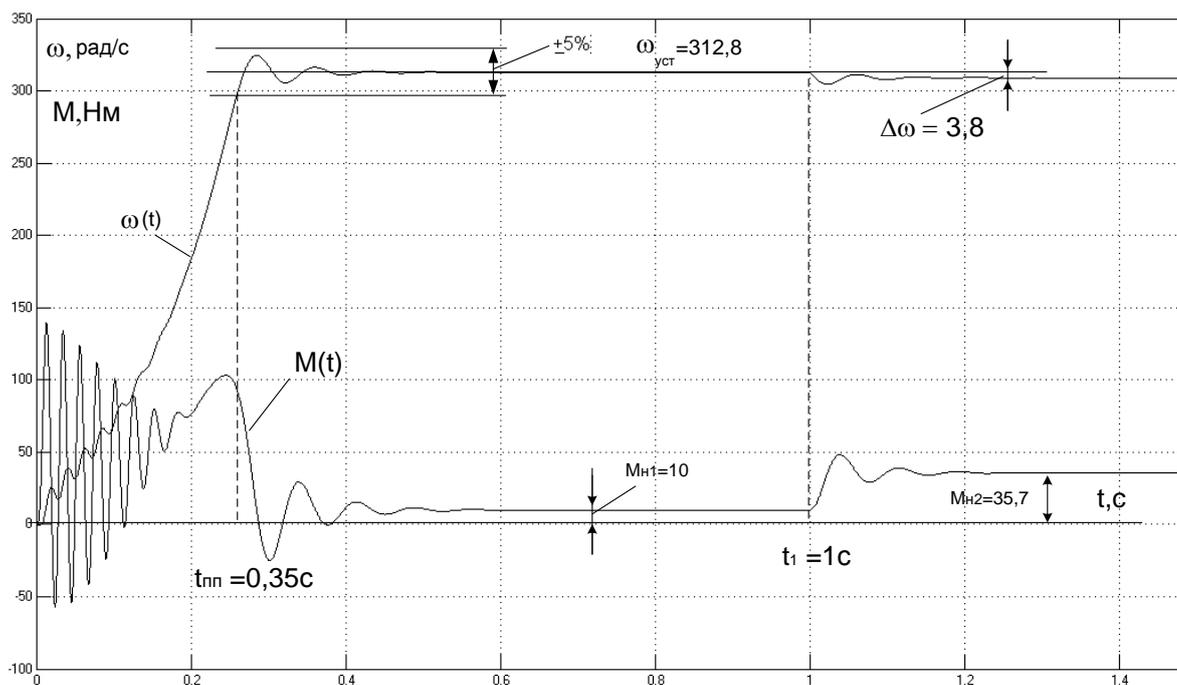


Рисунок 20 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске и набросе нагрузки

5.2 Синтез регулятора давления

Рассчитаем среднюю скорость течения воды в трубе:

$$v_{cp} = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{0,0033}{3,14 \cdot \frac{0,05^2}{4}} = 1,86 \text{ м/с,}$$

где $Q = 0,0033 \text{ м}^3/\text{с}$ - подача;

D - диаметр трубы, принимаем $D = 0,05 \text{ м}$.

Рассчитаем давление при движении воды в трубе:

$$P = \frac{\rho \cdot v_{cp}^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h = \frac{1000 \cdot 1,86^2}{2} + 1000 \cdot 9,81 \cdot 110 = 1080513 \text{ Па} = 10 \text{ атм};$$

где $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ - плотность воды;

$v_{cp} = 1,86 \text{ м/с}$ - средняя скорость движения потока воды;

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

$h = 110 \text{ м}$ - напор.

Модель насоса преобразует круговую частоту вращения двигателя в давление.

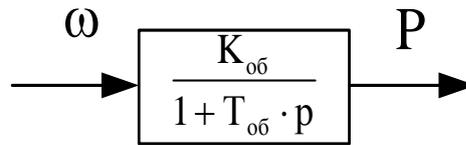


Рисунок 21 – Модель насоса, выраженная аperiodическим звеном

$T_{об} = 0,1$ с – время разгона насоса;

$$K_{об} = \frac{P}{\omega_{нас.н}} = \frac{10}{307,7} = 0,0325 \frac{\text{атм} \cdot \text{с}}{\text{рад}},$$

где $\omega_{нас.н} = 307,7$ рад/с - номинальная скорость насоса,

$P = 10$ атм - давление, при скорости $\omega_{нас.н} = 307,7$ рад/с.

Моделирование контура стабилизации давления.

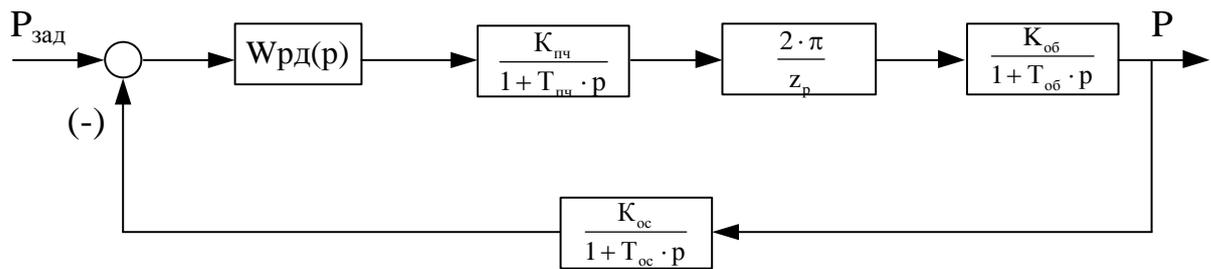


Рисунок 22 – Структурная схема контура давления

На рисунке 22 приняты следующие обозначения:

$W_{рд}(p)$ – передаточная функция регулятора веса;

$K_{пч}$ – коэффициент передачи инвертора;

$K_{об}$ – коэффициент передачи насоса;

$K_{ос}$ – коэффициент передачи обратной связи;

$T_{пч}$ – постоянная времени запаздывания автономного инвертора напряжения;

$T_{об}$ – постоянная времени запаздывания насоса;

$T_{ос}$ – постоянная времени запаздывания обратной связи.

Синтез регулятора давления на модульный оптимум.

Разомкнутый контур давления, настроенный на модульный оптимум, должен иметь следующую передаточную функцию:

$$W_{то}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)}$$

где T_{μ} - малая постоянная времени контура давления.

Передаточная функция разомкнутого контура веса рассматриваемой системы определяется следующим образом:

$$W_{разкл}(p) = W_{рд}(p) \cdot \frac{2\pi}{z_p} \cdot \frac{K_{пч}}{1 + T_{пч}p} \cdot \frac{K_{об}}{1 + T_{об}p} \cdot \frac{K_{ос}}{1 + T_{ос}p}$$

отсюда получаем:

$$W_{рд}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} p \cdot (T_{\mu} p + 1)} \cdot \frac{(T_{пч}p + 1)(T_{об}p + 1)(T_{ос}p + 1)}{k_{пч} \cdot k_{об} \cdot k_{ос}} \cdot \frac{z_p}{2 \cdot \pi}$$

При оптимизации, инерционность в канале обратной связи относится к «малым», и за малую некомпенсируемую постоянную времени всего контура принимают:

$$T_{\mu к} = T_{\mu} + T_{ос} = 0,0002 + 0,125 = 0,1252 \text{ с.}$$

$$T_{об} = T_{пч}$$

$$T_{пч} = T_{\mu}$$

$$W_{рд}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu к} p \cdot (T_{\mu к} p + 1)} \cdot \frac{(T_{об}p + 1)(T_{об}p + 1)}{k_{пч} \cdot k_{об} \cdot k_{ос}} \cdot \frac{z_p}{2 \cdot \pi}$$

$$W_{рд}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu к} p} \cdot \frac{(T_{об}p + 1)}{k_{пч} \cdot k_{об} \cdot k_{ос}} \cdot \frac{z_p}{2 \cdot \pi}$$

После сокращения домножим полученное выражение на $T_{об}$ после чего приведём выражение к каноническому виду.

$$\begin{aligned} W_{рд} &= \frac{T_{об} \cdot z_p}{2 \cdot T_{\mu к} \cdot k_{пч} \cdot k_{об} \cdot k_{ос} \cdot 2 \cdot \pi} \cdot \frac{(T_{об}p + 1)}{T_{об}p} = \\ &= \frac{0,1 \cdot 1}{2 \cdot 0,1252 \cdot 1 \cdot 0,0326 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3,14} \cdot \frac{(0,1p + 1)}{0,1p} = 1,95 \cdot \frac{(0,1p + 1)}{0,1p} \end{aligned}$$

Ожидаемые показатели переходного процесса в контуре давления

$$t_{PV1,\phi}^{(5)} = t_{PV2,\phi}^{(5)} = 4,1 \cdot (T_{\mu} + T_{oc}) = 4,1 \cdot (0,0002 + 0,125) = 0,513c ; \sigma = 4,7\%$$

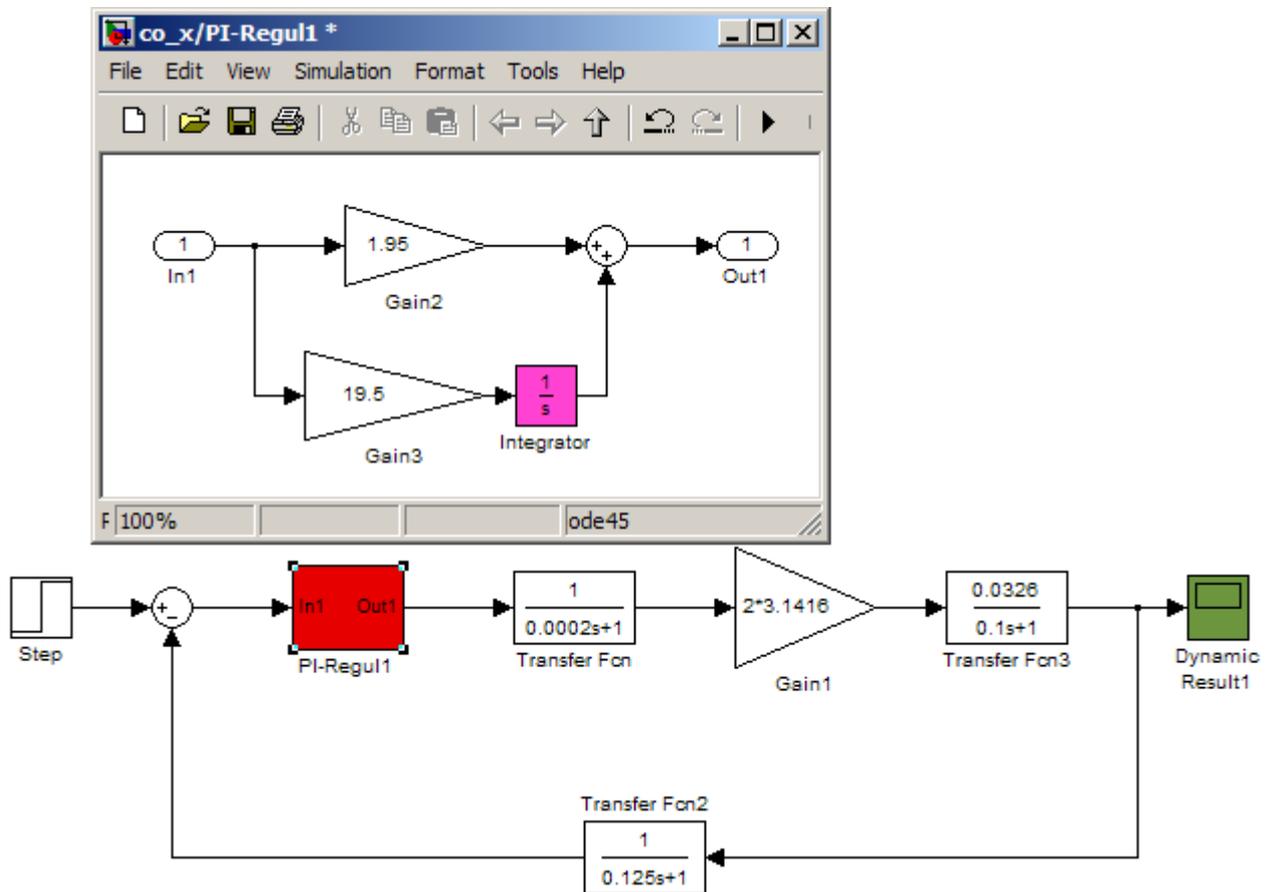


Рисунок 23 – Имитационная модель контура давления, собранная в Matlab Simulink

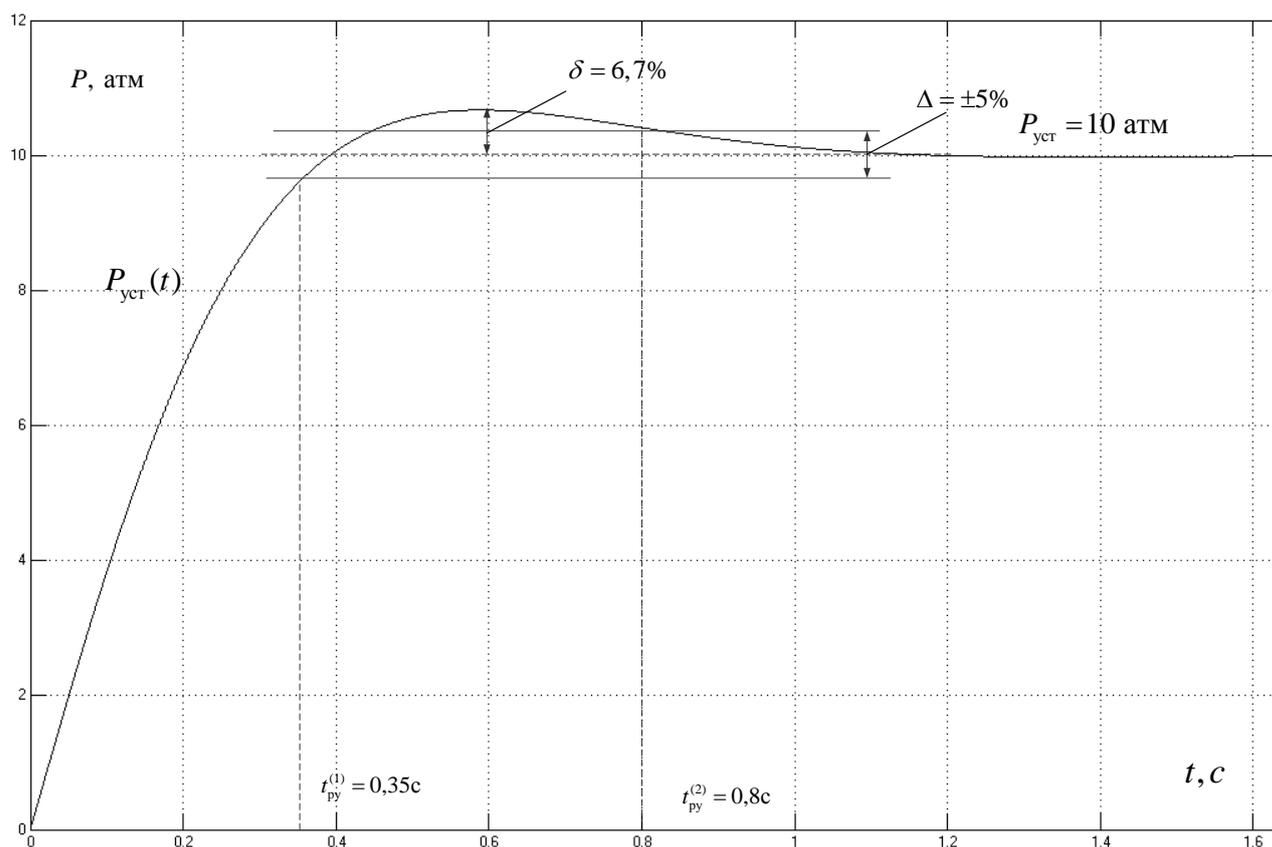


Рисунок 24 – Переходный процесс в контуре давления

Таблица 5 – Показатели качества работы контура давления

$t_{пy1}^{(5)}, c$	$t_{пy2}^{(5)}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta P_{уст}, A$
Ожидаемые показатели			
0,513	0,513	4,3%	0
Результаты моделирования			
0,35	0,8	6,7%	0

5.3 Нелинейная модель системы поддержания давления в среде MatLab

Теоретически и практически доказано, что в классе законов U_{1j}/f_{1j} невозможно одновременно обеспечить удовлетворительные механические и энергетические характеристики в широком диапазоне скоростей и изменения нагрузки. Основная причина этого – возрастания влияния активного сопротивления обмотки статора при снижении частоты питающего напряжения. В асинхронных частотно-регулируемых электроприводах со скалярным управлением, кроме законов U_{1j}/f_{1j} , получили применение такие способы частотного регулирования скорости как $E_{1j}/f_{1j} = const$, $E_{1j}/f_{1j}^2 = const$. При регулировании скорости в классе законов E_{1j}/f_{1j} необходимо повышать фазное напряжение $U_{1j} = E_{1j} + I_1 \cdot R_1$ на величину падения напряжения $I_1 \cdot R_1$ на активном сопротивлении обмотки статора, а способ регулирования скорости асинхронного двигателя получил название – частотное регулирование с IR-компенсацией.

Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией приведена на рисунке 25.

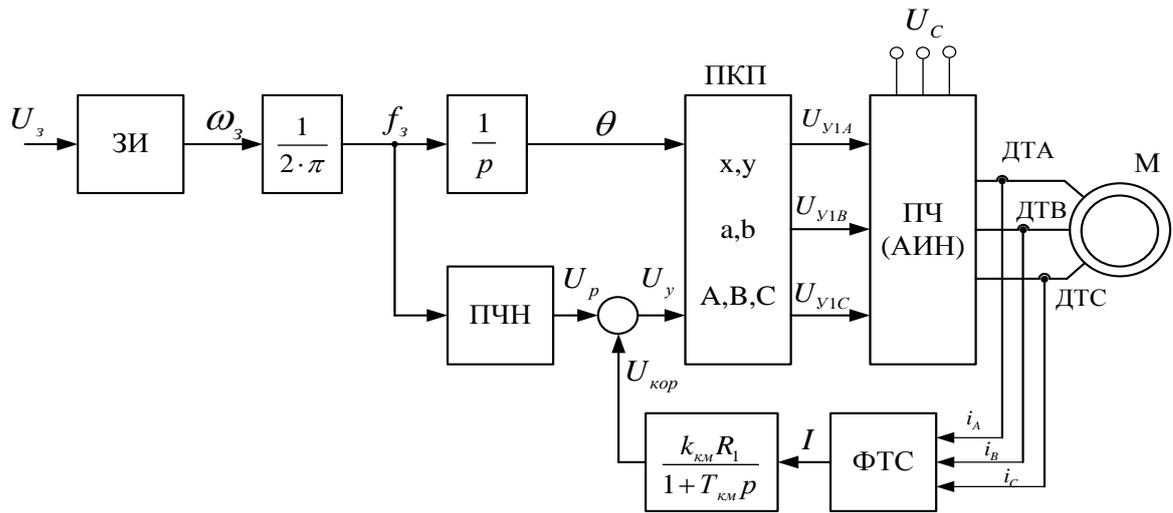


Рисунок 25 - Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией

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 $E_{1j} / f_{1j}^2 = const$.

При скалярной IR-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 IR – компенсации

$$R_{1ЭKB1} = R_1 \cdot (1 - K_{км1}) = 0,374 \cdot (1 - 0,25) = 0,28 \text{ Ом.}$$

$$R_{1ЭKB2} = R_1 \cdot (1 - K_{км2}) = 0,374 \cdot (1 - 0,5) = 0,187 \text{ Ом.}$$

$$R_{1ЭKB3} = R_1 \cdot (1 - K_{км3}) = 0,374 \cdot (1 - 0,75) = 0,0935 \text{ Ом.}$$

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

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

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 $\omega = 0 \div \omega_0$.

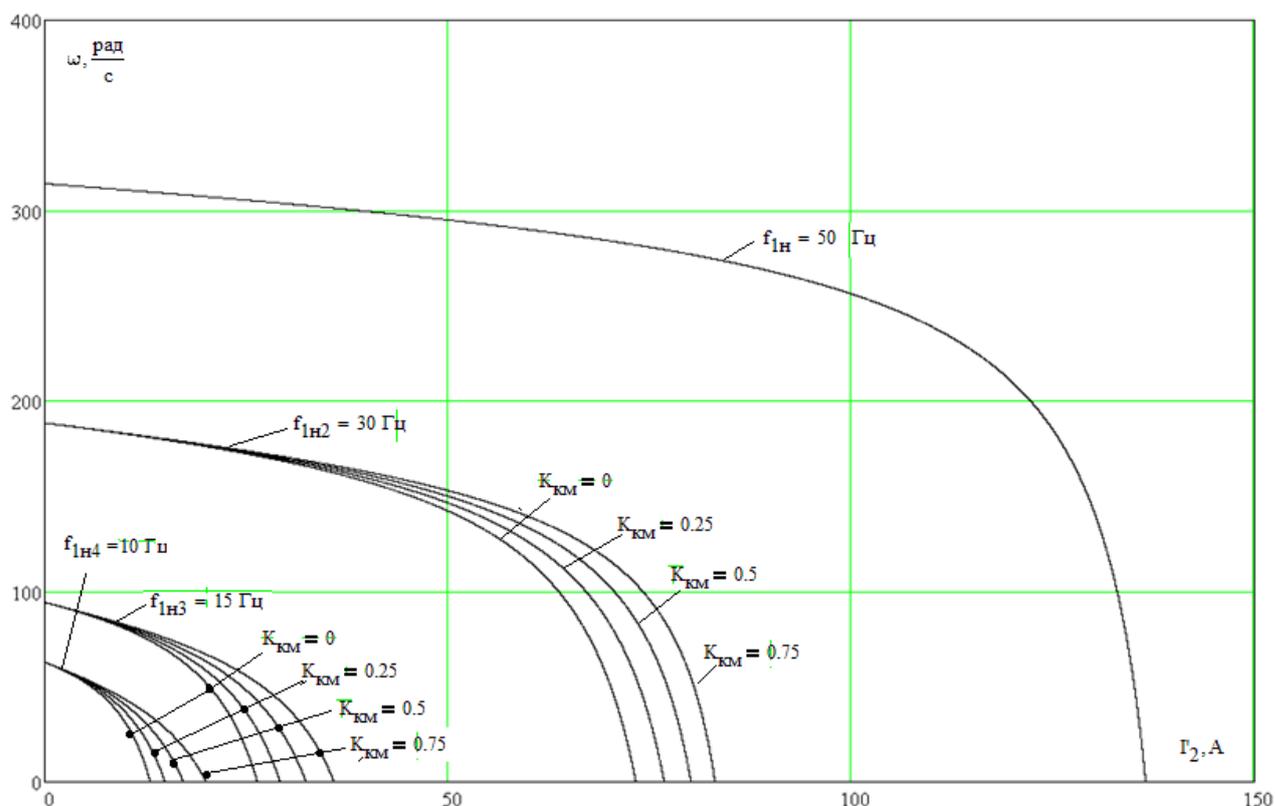


Рисунок 26 – Искусственные электромеханические характеристики $\Gamma_2(\omega)$ при частотном регулировании скорости с ИР-компенсацией

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

$$I_1(s, f, K_{KM}) = \sqrt{(I_0(f))^2 + (I_2'(s, f, K_{KM}))^2 + 2 \cdot I_0(f) \cdot I_2'(s, f, K_{KM}) \cdot \sin \phi_2(s, f, K_{KM})},$$

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

$$\text{где } \sin \phi_2(s, f, K_{KM}) = \frac{X_{KH} \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{\left(R_{1ЭКВ}(K_{KM}) + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f)}};$$

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

ток холостого хода асинхронного двигателя в зависимости от частоты.

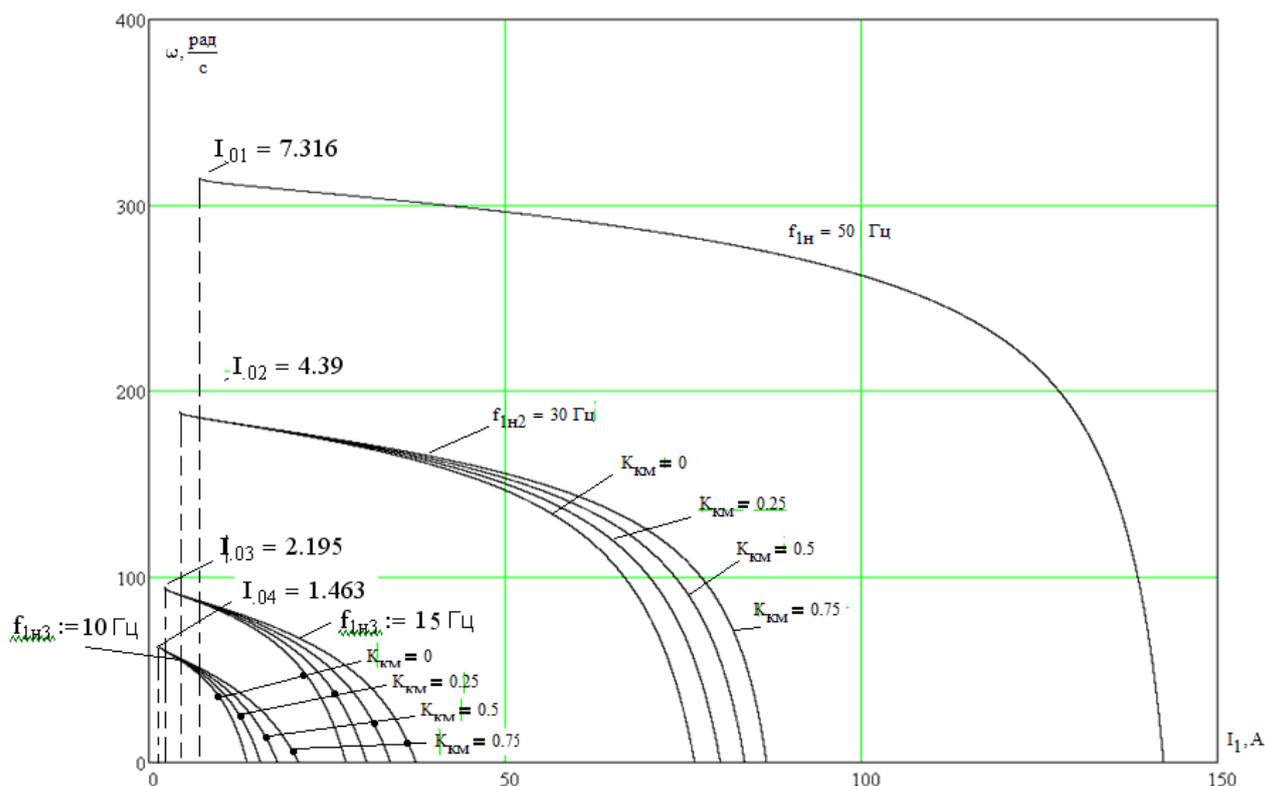


Рисунок 27 – Искусственные электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ при частотном регулировании скорости с IR-компенсацией

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

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

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

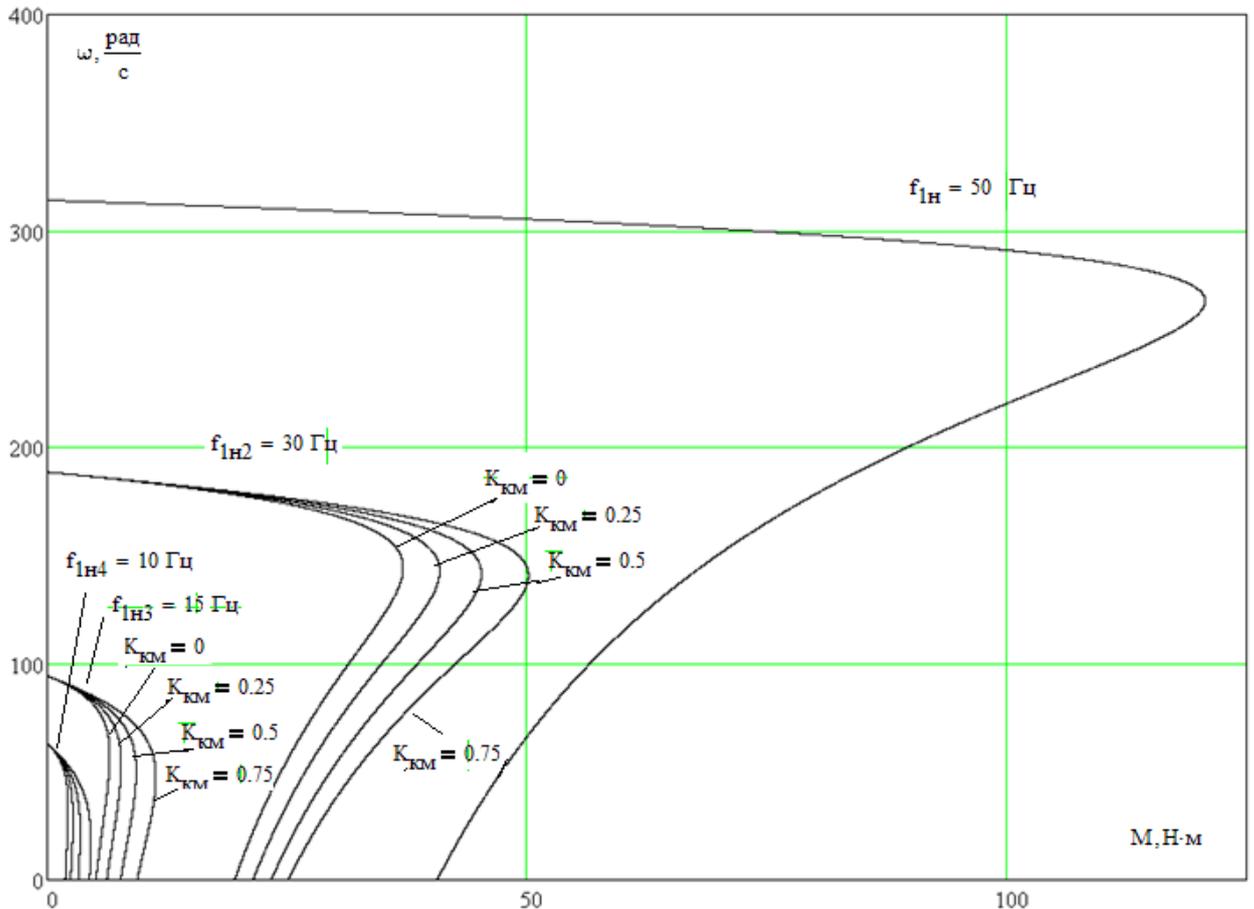


Рисунок 28 – Искусственные механические характеристики $M(\omega)$ при частотном регулировании скорости с ИР-компенсацией

При работе на естественной характеристике ($f=50$ Гц) ИР-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_{K3} 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 велика и сопротивление его статорной обмотки мало, а соответственно и падение напряжения на ней невелико.

5.4 Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска сброса и наброса нагрузки на валу двигателя замкнутой системы «Преобразователь частоты – Асинхронный двигатель»

В соответствии с функциональной схемой, представленной на рисунке 43, составим имитационную модель привода.

Для этого определим передаточные функции входящих в нее блоков. На рисунке 29 представлены математически рассчитанная и аппроксимированная ломаными линиями кривые зависимости $U_{1j} / f_{1j}^2 = const$.

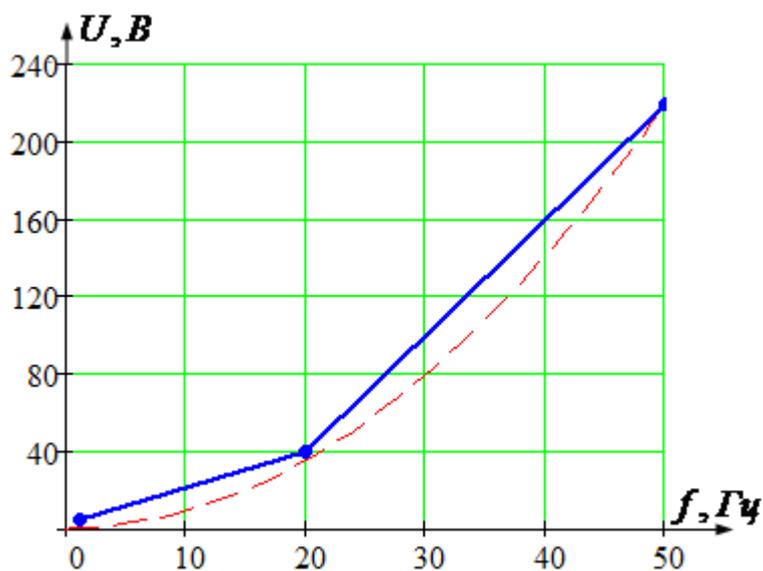


Рисунок 29 - Кривая зависимости $U(f)$

Кривая задается в блоке ПЧН тремя точками:

1. $f = 1,3 \text{ Гц}$, $U = 10 \text{ В}$. 2. $f = 20 \text{ Гц}$, $U = 40 \text{ В}$. 3. $f = 50 \text{ Гц}$, $U = 220 \text{ В}$.

Инвертор напряжения представим апериодическим 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 $f_{нч} = 5000 \text{ Гц}$ - несущая частота инвертора.

Положительная обратная связь по току представляется апериодическим звеном:

$$W_{от}(p) = \frac{k_{км}}{T_{км} \cdot p + 1} = \frac{0,1}{0,001 \cdot p + 1},$$

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

$T_{км}$ - постоянная времени задержки контура тока, время достаточное для определения мгновенного значения тока статора асинхронного двигателя с современными контроллерами составляет $T_{км} = 0,001 \text{ с}$.

Имитационная модель изображена на рисунке 30. Модели входящих в нее блоков представлены на рисунках 31-33.

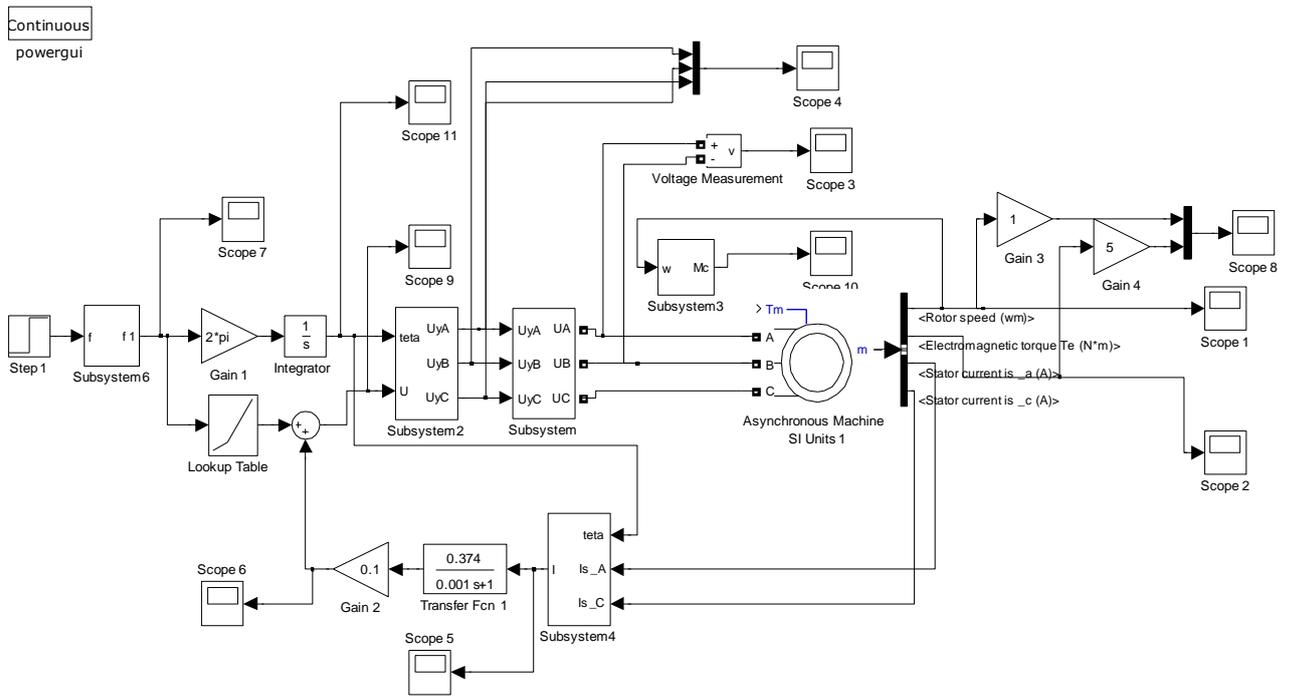


Рисунок 30 - Имитационная модель замкнутой системы ПЧ-АД с IR-компенсацией

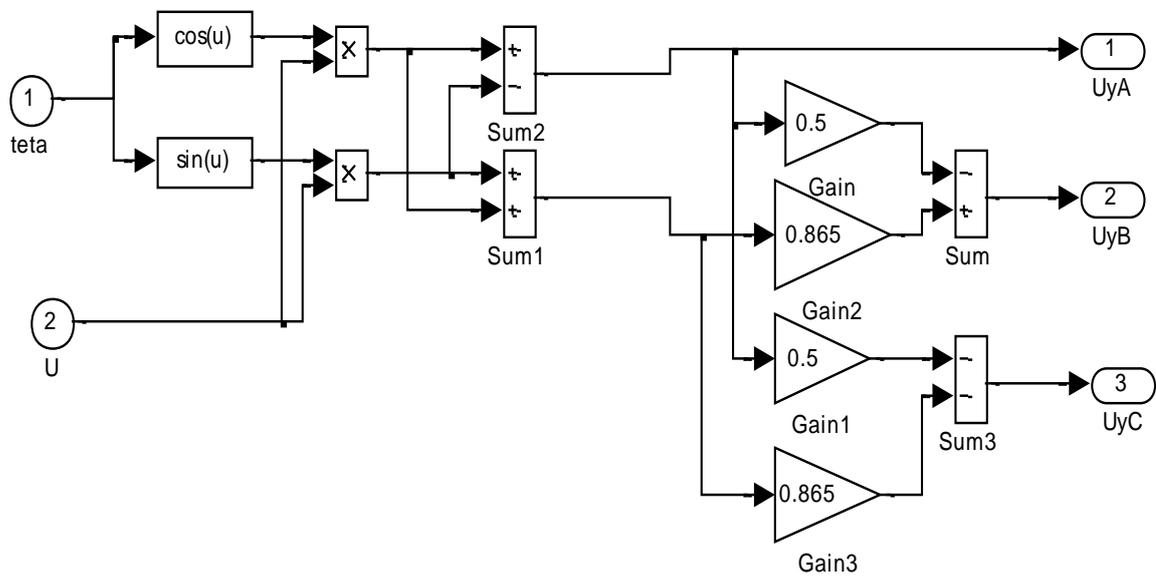


Рисунок 31 - Имитационная модель прямого координатного преобразователя

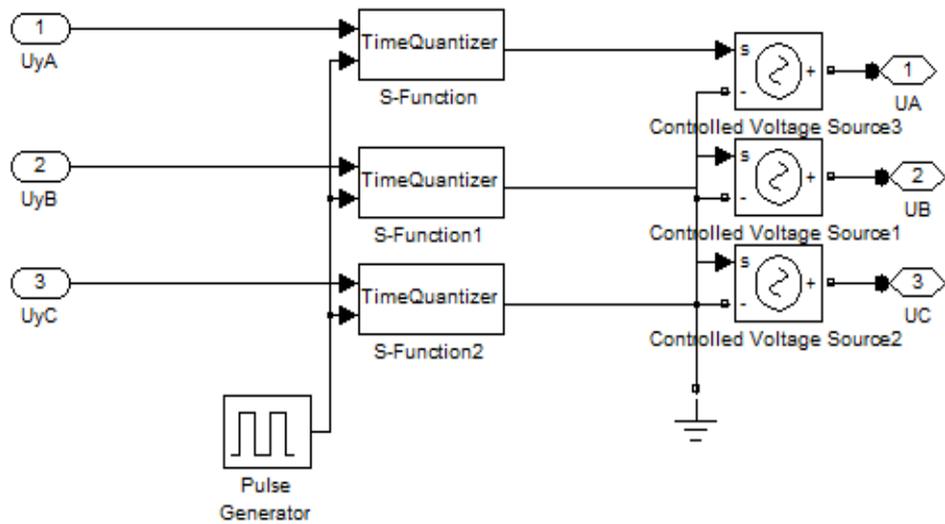


Рисунок 32 - Имитационная модель преобразователя частоты

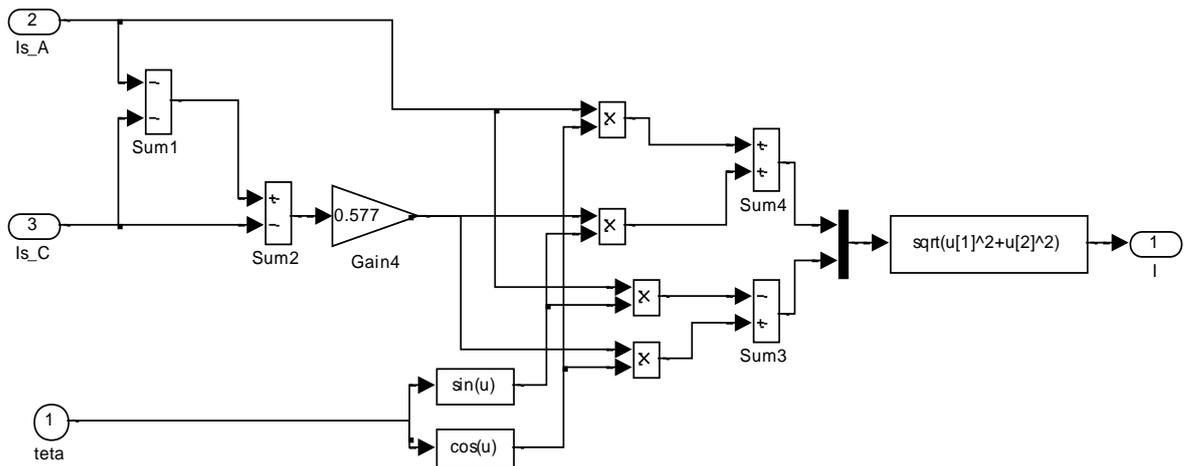


Рисунок 33 - Имитационная модель обратного координатного преобразователя

Снимем переходные характеристики скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске с задатчиком интенсивности с постоянной времени

$T_{зи} = 1\text{с}$ и коэффициентом ИР-компенсацией $k_{км} = 0,1$.

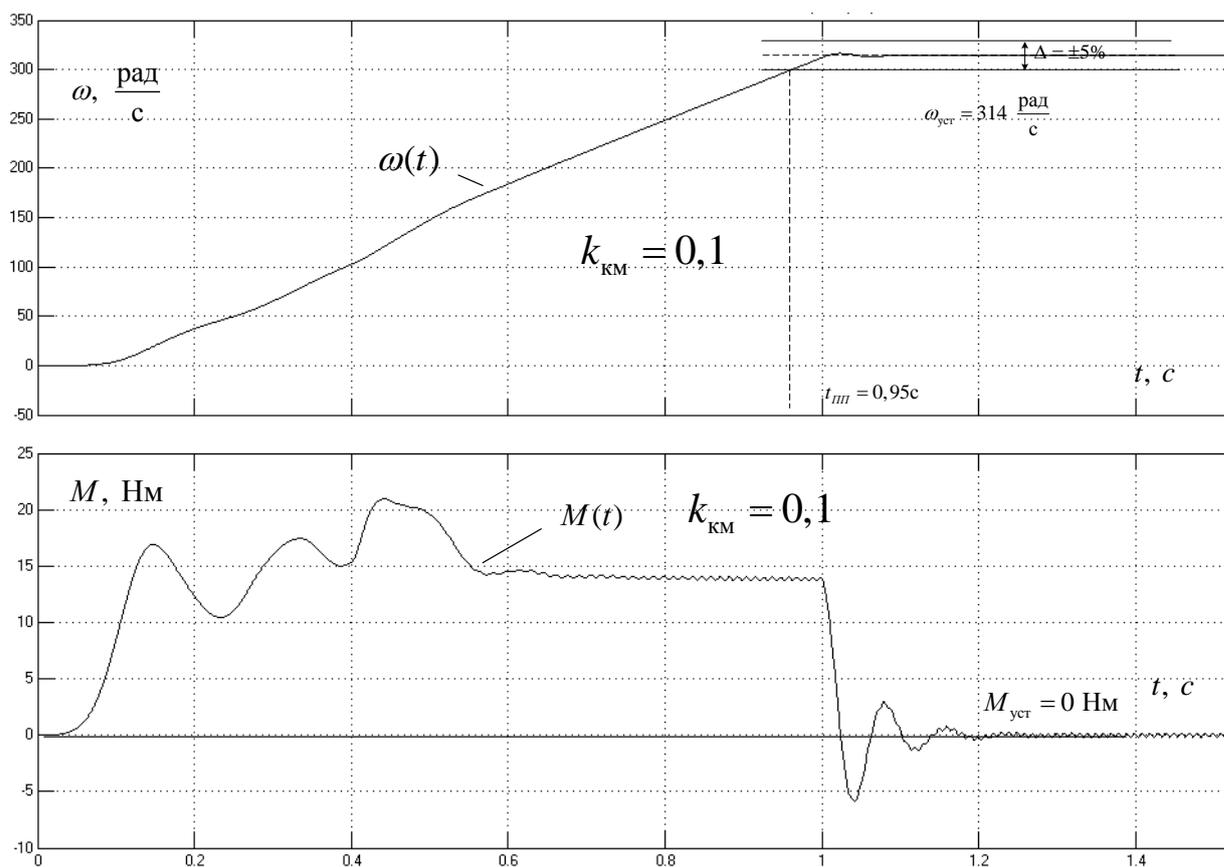


Рисунок 34 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске с $k_{\text{КМ}} = 0,1$

Для сравнения снимем переходные характеристики скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске с коэффициентом ИР-компенсацией $k_{\text{КМ}} = 0,75$.

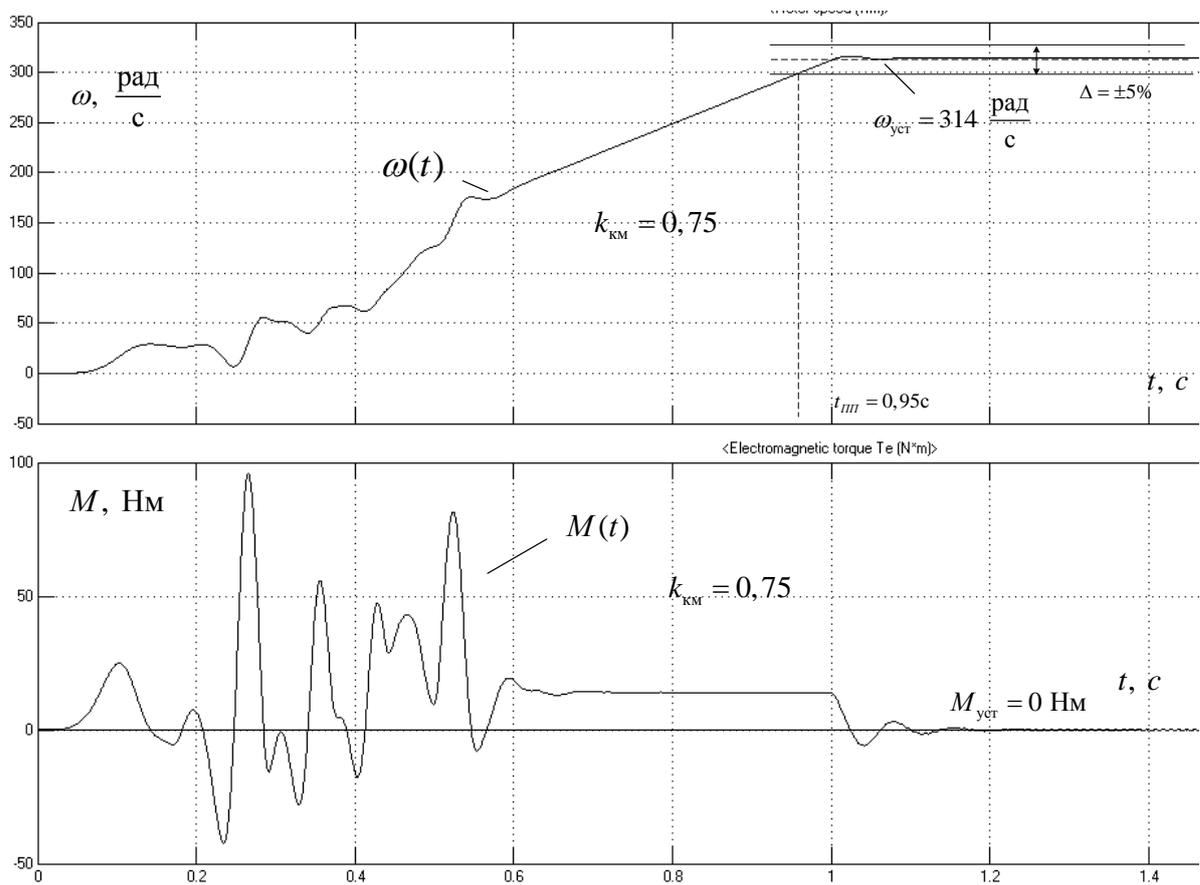


Рисунок 35 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске с $k_{кМ} = 0,75$

Как видно из полученных характеристик при увеличении коэффициента ИР-компенсации колебания электромагнитного момента двигателя увеличиваются.

Создадим имитационную модель, представляющую насосную нагрузку.

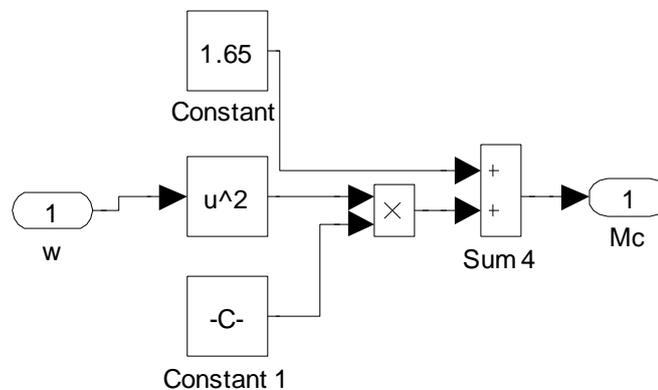


Рисунок 36 – Имитационная модель насосной нагрузки

Снимем переходные характеристики давления, скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске под насосной нагрузкой (коэффициент IR-компенсации $k_{кМ} = 0,1$).

Для этого в имитационную модель, рисунок 37, добавим регулятор давления и имитационную модель насосной нагрузки.

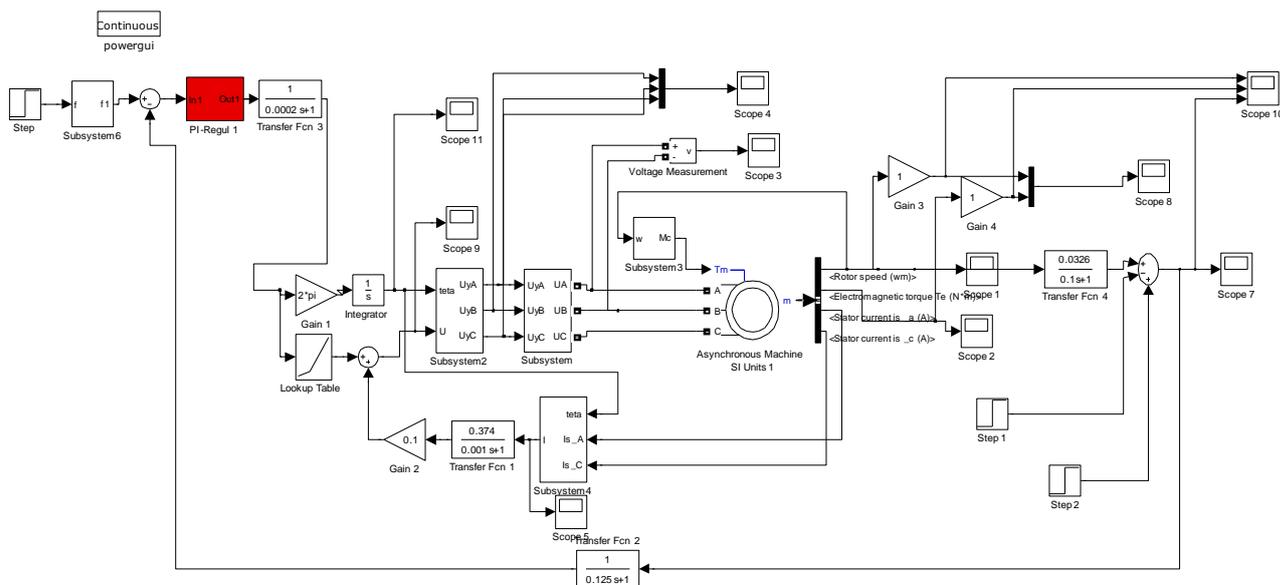


Рисунок 37 – Имитационная модель автоматической системы регулирования давления в циркуляционном узле

Снимем переходные процессы при падении и нарастании давления до максимальных значений, которые может обрабатывать разработанная система.

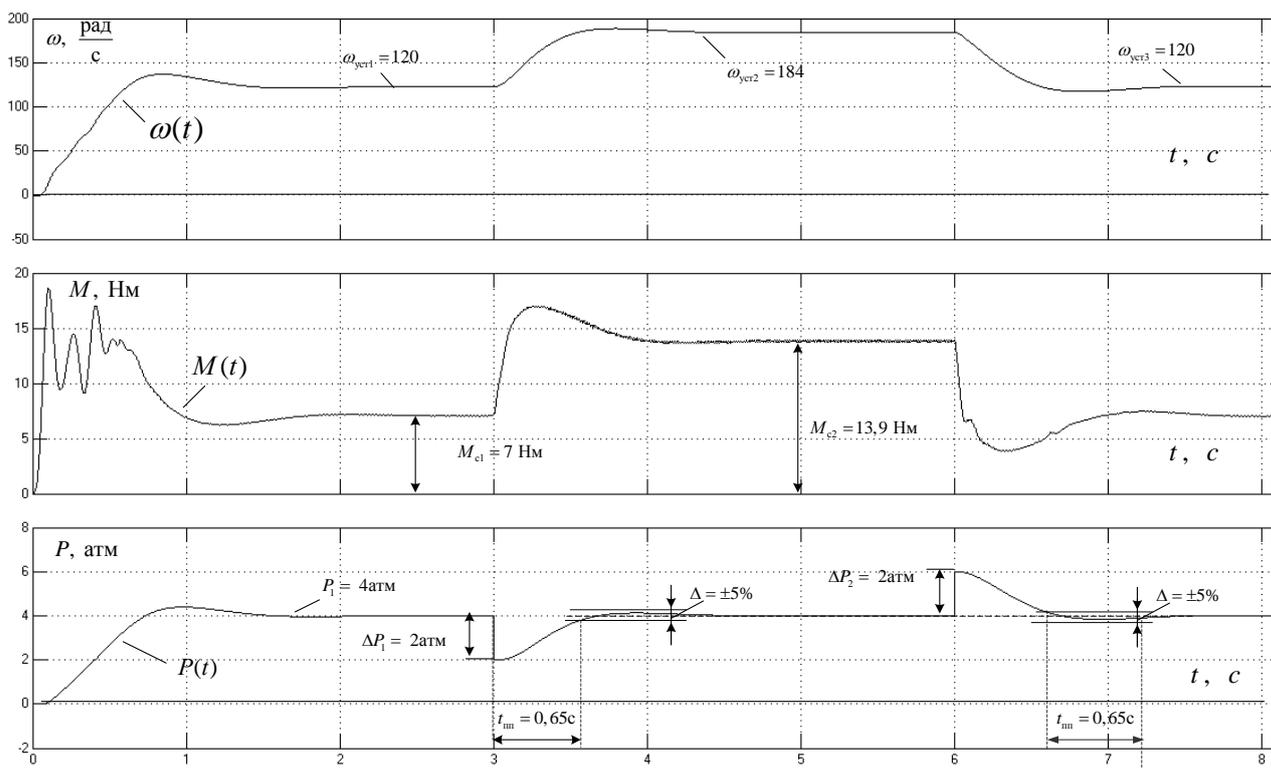


Рисунок 38 – Переходная характеристика давления, скорости ротора, электромагнитного момента АД при пуске, открытии и закрытии клапана

При снятии переходных процессов, рисунок 56, было промоделировано открытие и закрытие клапана. Поскольку, согласно СНиП 2.04.01-85 давление воды не должно превышать 4 атмосферы. Берем 4 атмосферы как заданное давление, которое необходимо поддерживать. При открытии клапана, моделируем падение давления на 2 атмосферы. Как видно из переходных процессов система быстро, за 0,65 сек., отрабатывает перепад давления. При этом возрастает скорость ротора и электромагнитный момент.

При закрытии клапана назад, моделируем повышение давления на 2 атмосферы. Наблюдаем, что система, отрабатывает данный перепад давления за 0,65 сек. Скорость ротора и электромагнитный момент падает.

6 Выбор оборудования для системы поддержания постоянного давления

Система поддержания постоянного давления с использованием частотного преобразователя фирмы Siemens серии Micromaster Eco изображена на рисунке 39.

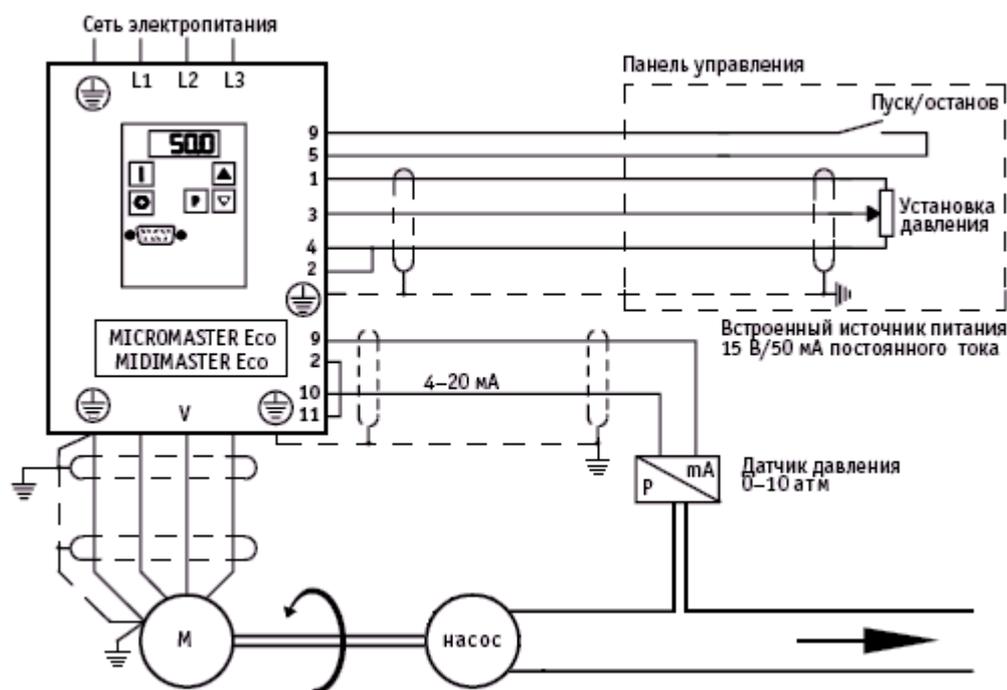


Рисунок 39 – Функциональная схема системы поддержания постоянного давления

Необходимое значение давления задаётся через аналоговый вход №1 с помощью потенциометра. Датчик давления преобразует давление в трубопроводе в электрический сигнал 4-20 мА, поступающий на второй аналоговый вход преобразователя частоты. Для электропитания датчика предназначен второй встроенный источник питания с выходным напряжением 15 В и нагрузочной способностью 15 мА. Задание коэффициентов усиления пропорционального, интегрального и дифференциального звеньев ПИД-регулятора осуществляется через соответствующие параметры преобразователя.

6.1 Выбор измерителя-регулятора

В качестве измерительного прибора выбираем 8-канальный измеритель-регулятор ТРМ 138 (рис. 40). ТРМ 138 предназначен для измерения, регистрации и регулирования давления, температуры либо другого физического параметра, одновременного управления несколькими (до 8-ми) исполнительными механизмами, а также для регистрации измеренных параметров на ЭВМ.



Рисунок 40 – Внешний вид измерителя-регулятора ТРМ 138

К восьми универсальным входам регулятора можно подключить датчики разного типа в любой комбинации, что позволяет одновременно измерять и контролировать несколько различных физических величин (температуру, влажность, давление и др.).

Условия эксплуатации:

- закрытые взрывобезопасные помещения без агрессивных паров и газов;
- температура окружающего воздуха от $+1^{\circ}\text{C}$ до $+50^{\circ}\text{C}$;
- верхний предел относительной влажности воздуха 80% при 25°C и более низких температурах без конденсации влаги;
- атмосферное давление от 86 до 106,7 кПа.

Таблица 6. – Общие характеристики ТРМ 138

Наименование	Значение
Диапазон напряжений питания	90...245 В постоянного или переменного (47...63 Гц) тока
Потребляемая мощность	не более 12 ВА
Количество каналов измерения	1...8
Время опроса одного канала	не более 0,6 с
Количество каналов контроля	1...8
Количество выходных устройств	8
Напряжение источника питания активных датчиков	24 ± 3 В постоянного тока (150 мА макс.)
Интерфейс связи с компьютером	RS-485
Степень защиты корпуса (со стороны лицевой панели)	IP54
Габаритные размеры прибора	96x96x140 мм
Масса прибора	не более 1,5 кг

6.2 Выбор первичного преобразователя давления

Первичные преобразователи преобразовывают физические параметры объекта в электрические сигналы, поступающие в прибор для их дальнейшей обработки.

Активные преобразователи с выходным аналоговым сигналом применяются в соответствии с их назначением для контроля таких физических параметров, как давление, температура, относительная влажность и т.д. Выходными сигналами таких датчиков могут быть изменяющееся по линейному закону напряжение постоянного тока или ток.

В качестве первичного преобразователя выбираем измерительный преобразователь давления 7MF1562 фирмы Siemens, который предназначен для измерения относительного и абсолютного давления газов, жидкостей и

пара в энергетической и машиностроительной индустрии, системах водоснабжения и т.д.

Внешний вид датчика изображен на рис 41.



Рисунок 41 – Датчик давления 7MF1562

Основными компонентами измерительного преобразователя давления являются:

- корпус из латуни с кремниевой измерительной ячейкой и платой электроники;
- подключение к процессу;
- электрическое подключение;

Кремниевая измерительная ячейка оборудована тонкоплёночным тензорезистором, который расположен на керамической мембране.

Технические характеристики датчика приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики датчика

Диапазон измерения	От 0 до 10 атм
Выходной сигнал	4...20 мА
Напряжение питания	от 10 до 36 постоянного тока
Максимальная погрешность измерения	не более 0,25% от полной шкалы
Диапазон рабочих температур	От -25 до 85 °С
Диапазон температур хранения	От -50 до 100 °С
Диапазон температур контролируемой среды	От -30 до 120 °С

ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Нажимов Дилшоджон Ширин угли

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

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

<ul style="list-style-type: none"> • Стоимость затрат технического проекта (ТП): материально-технических, энергетических 	Должности оклады профессорско-преподавательского состава ТПУ
<ul style="list-style-type: none"> • Продолжительность выполнения ТП 	По приблизительной оценке, продолжительность ТП составляет 103 рабочих дня.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<ul style="list-style-type: none"> • Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта (ТП) с позиции ресурсоэффективности 	Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, а ресурсоэффективность ТП с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности.
<ul style="list-style-type: none"> • Планирование графика работ по реализации ТП 	При использовании графика работ по реализации ТП используется оценка трудоёмкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным составляется ленточная диаграмма Ганта.
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <ul style="list-style-type: none"> • Составление сметы ТП </div>	При составлении сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям; <ul style="list-style-type: none"> - материальные затраты - полная заработная плата исполнителей - отчисления во внебюджетные страховые фонды - накладные расходы

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ul style="list-style-type: none"> • Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	11. 02. 2019
--	--------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Нажимов Дилшоджон Ширин угли		

7 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы является подтверждение целесообразности разработки технического проекта, отвечающего всем нынешним требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- составление SWOT-анализа электрооборудования и системы автоматизации системы дозирования сыпучих материалов;
- планирование технико-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

7.1 SWOT-анализ электрооборудования и системы автоматизации системы дозирования сыпучих материалов

SWOT – представляет собой комплексный анализ проекта. SWOT анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, которые помогают оценить возможности, угрозы сильных и слабых сторон.

Для того что бы найти сильные и слабые стороны проведем SWOT–анализ. Он проводится в несколько этапов.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы;

Таблица 8 – Составление предварительной матрицы SWOT

	Сильные стороны проекта С1: Низкая цена элементов системы С2: Высокая надёжность электроснабжения потребителей С3: Высокая эргономичность С4: Низкая материалоемкость С5: Высокая ремонтпригодность	Слабые стороны проекта Сл1. Наличие постоянного источника переменного напряжения Сл2. Доступность токоведущих частей Сл3: Низкая безопасность Сл4: Низкая энергоэффективность
Возможности В1: Высокий уровень автоматизации В2: Снижение расходов на используемое оборудование В3: Повышение стоимости конкурентных разработок В4: Растущая заинтересованность инвесторов	В1С2; С3; В2С1; С4; В3С1; В4С1;	В1Сл1; Сл2; В4Сл3; Сл4;
Угрозы У1: Значительное увеличение стоимости схемы У2: Введение дополнительных гос. требований к стандартизации и сертификации продукции У3: Усовершенствования конкурентных технических решений У4: Снижение спроса	У1С1 У2С1; С4;	У3Сл3; Сл4; У4Сл2; Сл3; Сл4;

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

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие) [15].

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 9 и 10, показывает, что сильных сторон у проекта больше, чем слабых. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 9 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	-	+	+	-	-
B2	+	-	-	+	-
B3	+	-	-	-	-
B4	+	-	-	-	-
Возможности	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	-
B1	+	+	-	-	
B2	-	-	-	-	
B3	-	-	-	-	
B4	-	-	+	+	

Таблица 10 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
У1	+	-	-	-	-
У2	+	-	-	+	-
У3	-	-	-	-	-
У4	-	-	-	-	-
Угрозы	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	-
У1	-	-	-	-	
У2	-	-	-	-	
У3	-	-	+	+	
У4	-	+	+	+	

В результате проведения SWOT – анализа были рассмотрены сильные и слабые стороны технического проекта:

Риск снижения спроса – одна из основных угроз проекта, которая коррелирует со всеми его слабыми сторонами;

Слабые стороны ликвидируемы за счет усовершенствования конструкции схемы и её расположения;

Для минимизации угроз необходимо обратить внимание на недостатки данной конфигурации сети электроснабжения системы, а именно доступность токоведущих частей, низкая энергоэффективность и ремонтпригодность;

Кроме того, необходимо акцентировать внимание на сильные стороны проекта, такие как экономичность, надёжность и эргономика;

Высокий уровень автоматизации – одно из наиболее весомых технических решений, относящихся к возможностям проекта, т.к. оно взаимосвязано с большинством сильных сторон;

За счёт модификации схемы, а именно использования такого способа прокладки кабелей, как прокладка в эстакадах, можно скомпенсировать такие слабости, как доступность токоведущих частей и низкая безопасность;

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что прокладка в эстакадах позволит получить наибольшую отдачу от данного проекта. Благодаря прогрессирующим разработкам в области электроэнергетики и электротехники, совершенствованию конструкций аппаратуры и энергоэффективности материалов негативные факторы могут быть минимизированы.

7.2 Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования системы автоматизации системы дозирования сыпучих материалов.

7.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 11:

№ 1 – Составление и утверждение технического задания – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу, выдача ТЗ дипломнику;

№ 2 – Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – Описание объекта автоматизации – нахождение и предоставление информации о системе, для которой требуется проектирование автоматизации;

№ 4 – Календарное планирование работ – составление плана работ, необходимых для выполнения технического проекта;

№ 5 – Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП – схема подключения всех элементов электропривода;

№ 6 – Расчет параметров двигателя и модели – проведение вычислений, необходимых для определения параметров статора и ротора двигателя и модели;

№ 7 – Выбор способа регулирования скорости – выбор оптимального способа регулирования для электропривода;

№ 8 – Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель» - вычисление предельных значений системы, а также построение предельной характеристики;

№ 9 – Разработка математической модели системы АУ ЭП – построение имитационной модели системы в САПР;

№ 10 – Оптимизация САР электропривода – нахождение оптимальных значений параметров системы для получения оптимальных выходных характеристик;

№ 11 – Оценка эффективности полученных результатов – проверка соответствия выполненного проекта исходным требованиям с учетом ресурсо- и энергоэффективности;

№ 12 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;

№ 13 – Проверка выпускной квалификационной работы руководителем - в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником.

№ 14 – Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации, согласование с преподавателем для защиты перед аттестационной государственной комиссией.

Таблица 11 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
	3	Описание объекта автоматизации	Дипломник
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель
Расчеты и проектирование системы	5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Научный руководитель, Дипломник
	6	Расчет параметров двигателя и модели	Научный руководитель, Дипломник
	7	Выбор способа регулирования скорости	Научный руководитель, Дипломник
	8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	Научный руководитель, Дипломник

	9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Научный руководитель, Дипломник
Расчеты и проектирование системы	10	Оптимизация САР электропривода	Научный руководитель, Дипломник
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник
Оформление отчета по техническому проектированию	12	Составление пояснительной записки	Дипломник
	13	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	14	Подготовка к защите ВКР	Дипломник

В результате определения структуры работ в рамках технического проекта было выявлено шесть основных этапов (разработка технического задания, выбор направления технического проектирования электрооборудования, расчеты и проектирование системы автоматизации системы дозирования сыпучих материалов, обобщение и оценка результатов, оформление отчета по техническому проектированию, сдача выпускной квалификационной работы) и 14 работ.

7.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проектирования.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ используется следующая формула [15]:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5},$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

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

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

7.2.3 Разработка графика проведения технического проекта

В рамках планирования технического проекта необходимо построить ленточный график проекта.

Диаграмма Ганта – представляет собой ленточную диаграмму, которая имеет две шкалы: шкала выполняемых задач и временная шкала. В соответствии со сроком, отведенным по проекту каждой задаче, он откладывается на временной шкале.

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 11 строим план-график проведения работа (таблица 13)

Продолжительность выполнения технического проекта заняла 11 декад, начиная со второй декады февраля и заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического в календарных днях заняла 106 дней. Из них:

103 дня – продолжительность выполнения работ дипломника;

12 дней – продолжительность выполнения работ научного руководителя;

9 дней – продолжительность совместного выполнения работ дипломника и научного руководителя

Таблица 12 – Расчёт продолжительность работ чел.-дн.

№	Название работы	Трудоёмкость работ, чел-дни					
		Минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной <i>i</i> -ой работы		Максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной <i>i</i> -ой работы		Ожидаемая трудоёмкость выполнения <i>i</i> -ой работы	
		Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	7	-	10	-	9
3	Описание объекта автоматизации	-	3	-	5	-	4
4	Календарное планирование работ по теме	1	-	1	-	1	-
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	1	7	1	14	1	10
6	Расчет параметров двигателя и модели	1	10	1	15	1	12
7	Выбор способа регулирования скорости	1	4	1	7	1	6
8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	1	7	1	10	1	9
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	1	21	1	28	1	24
10	Оптимизация САР электропривода	1	7	1	14	1	10
11	Оценка эффективности полученных результатов	1	6	1	8	1	7
12	Составление пояснительной записки	-	7	-	10	-	9
13	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	1	-	1	-	1	-
14	Подготовка к защите ВКР	1	2	3	4	2	3

Таблица 13 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исполнители	T_{pi} , раб. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	■													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	9	■	■												
3	Описание объекта автоматизации	Дипломник	4		■												
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	1		■												
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Руководитель	1		■												
		Дипломник	10		■	■											
6	Расчет параметров двигателя и модели	Руководитель	1			■											
		Дипломник	12			■	■										
7	Выбор способа регулирования скорости	Руководитель	1				■										
		Дипломник	6				■	■									
8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь– электродвигатель»	Руководитель	1				■										
		Дипломник	9				■	■									
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Руководитель	1					■									
		Дипломник	24					■	■	■							
10	Оптимизация САР электропривода	Руководитель	1								■						
		Дипломник	10								■	■					
11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	1									■					
		Дипломник	7									■	■				
12	Составление пояснительной записки	Дипломник	9									■	■				
13	Проверка ВКР руководителем	Руководитель	1										■				
14	Подготовка к защите ВКР	Руководитель	2											■			
		Дипломник	3											■	■		

7.3 Расчет затрат на осуществление технического проекта

Целью планирования себестоимости проведения технического проекта является экономически обоснованное определение величины затрат на его выполнение. Исходными данными для расчета затрат является план работ и перечень требуемой аппаратуры, оборудования, сырья и материалов.

Затраты на осуществление технического проекта рассчитываются по следующим статьям расходов с последующим суммированием:

- материальные затраты;
- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

7.3.1 Расчет материальных затрат на технический проект

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носитель и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле [15]:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi},$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении технического проекта;

$N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении технического проекта (шт., кг, м и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг. и т.д.);

Материальные затраты, необходимые для данной работы, указаны в таблице 14.

Таблица 14 – Материальные затраты

Наименование	Количество, шт	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Бумага	200	3	600
Ручка	2	65	130
Скоросшиватель	1	60	60
Степлер	1	150	110
Флеш-карта	1	300	300
Итого			1200

7.3.2 Расчет основной заработной платы исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) исполнителя рассчитывается исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле [21]:

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

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

$Z_{\text{дн}}$ –среднедневная заработная плата работника, руб;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

F_d – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 15.

Таблица 15 – Материальные затраты

Исполнители	Оклад	Месячный основной оклад работника, руб.	Средняя заработная плата работника, руб.	Продолжительность работ, выполняемых работниками, комраб. дн.	Основная заработная плата одного работника, руб.
Руководитель	33664	43764	1683	12	20200
Инженер	12300	15990	615	103	63300
Итого $Z_{осн}$					83500

7.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.)

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [21]:

$$Z_{доп} = k_{доп} Z_{осн},$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12–0,15) [21].

Расчет полной заработной платы приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб.
Руководитель	0,15	20200	3000	23200
Инженер	0,12	63300	7600	70900
Итого		83500	10600	94100

7.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [15]:

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

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{внеб} = 0,3 \cdot (83500 + 10600) = 28200 \text{ руб.}$$

7.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Их величина составляет 16% от общей суммы затрат на проектирование.

7.3.6 Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат на технический проект является основой для формирования сметы затрат на ТП, который при формировании договора с

заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции [15].

Формирование сметы затрат на технический проект приведено в таблице 17.

Таблица 17 – Смета затрат на ТП

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты ТП(Z_M)	1,2	0,8
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы ($Z_{полн}$)	94,1	64,0
3. Отчисления во внебюджетные фонды ($Z_{внеб}$)	28,2	19,2
4. Накладные расходы($Z_{нр}$)	23,5	16,0
Итого	147,0	100

7.3.7 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [15]:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к электрооборудованию:

1. Экономичность: оптимизация затрат на основные рабочие органы установки на стадии проектирования приводит к их увеличению на доли процентов, но в долгосрочной перспективе речь идет об экономии значительных средств.

2. Гибкость: возможность модернизации установки и использование её в различных сферах деятельности.

3. Безопасность: обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического.

4. Обеспечение надлежащего уровня производительности: производительность, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 13109-97.

5. Надежность: бесперебойная работоспособность рабочего органа в пределах допустимых показателей его производительности и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

6. Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и адаптивного по конструкции техническим характеристикам электрооборудования.

7. Энергоэффективность: использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня производительности в технологических процессах.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Оценка характеристик разработки

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Экономичность	0,15	4
2. Гибкость	0,10	4
3. Безопасность	0,15	5
4. Обеспечение надлежащего уровня производительности	0,20	5
5. Надежность	0,20	5
6. Простота и удобство в эксплуатации	0,05	5
7. Энергоэффективность	0,15	4
Итого	1,00	4,6

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_{p-разр} = 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,15 = 4,6$$

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

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства;

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя;

- составление сметы затрат на ТП позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта;

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Нажимов Дилшоджон Ширин угли

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является циркуляционный насос Циркуляционный насосы предназначены для перекачивания жидкостей в системах отопления и горячего водоснабжения
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность	1. Шум; 2. Вибрация; 3. Электромагнитное излучение; 4. Освещенность рабочей зоны
1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:	
1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	1. Механические травмы; 2. Поражение электрическим током. 3. Пожароопасность
2. Экологическая безопасность:	2) Воздействия на гидросферу (сбросы); 3) Воздействия на литосферу (сбросы).
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	1) Перечень возможных ЧС на объекте; 2) Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; 3) План эвакуации при пожаре
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Возрастное ограничение, требования к образованию. Специальные нормы, предусмотренные спецификой выполняемых работ

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Нажимов Дилшоджон Ширин угли		

8 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Циркуляционные насосы для отопления частных домов представляют собой закрытую конструкцию, состоящую из электрического двигателя и рабочего органа – махового колеса или ротора.

Вода поступает в полость (углубление) насоса, где ей придается центробежное движение движущимися лопастями. Далее вода попадает в спиральный канал и по инерции с уже приобретенной скоростью, спиралевидным потоком, снижающим гидравлическое сопротивление, поступает далее. В этом месте создается разрежение, куда засасывается новая порция воды.

8.1 Производственная безопасность

Таблица 20 – Опасные и вредные факторы

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Техническое обслуживание; 2. Осмотры электрооборудования и электроаппаратуры; 3. Испытания 4. Текущий ремонт и капитальный ремонт электрооборудования и электроаппаратуры	1. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 2. Повышенный уровень электромагнитных излучений; 3. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 4. Повышенный уровень вибрации; 5. Отклонение показателей микроклимата.	1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; 2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; 3. Пожар.	Состав атмосферы должен отвечать установленным нормативам по содержанию основных частей воздуха и вредных примесей с учётом требований указанных в ГОСТ 12.1.005. Допустимые корректированные значения виброускорения не должны превышать значений согласно ГОСТ 12.1.012-90 Уровень шума согласно ГОСТ 12.1.003.83 не должен превышать 80 дБА Нормы освещенности должны удовлетворять требованиям ГОСТ Р 55710-2013

8.1.1 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.

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

Таблица 21 – Оптимальные показатели температуры, скорости и влажности воздуха

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-21	60-40	0,2
Теплый	20-22	60-40	0,2

Допустимые макро климатические условия допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьмичасовой 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 интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного

свечения (материалов, изделий и др.) должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 22.

Таблица 22 – Допустимые величины теплового излучения.

Облучаемая поверхность тела,	Интенсивность теплового облучения,
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

Повышенный уровень шума на рабочем месте

В производственных условиях разнообразные машины, аппараты и механизмы являются агрегатами динамически неуравновешенными. Для рассматриваемого цеха такими аппаратами являются двигатели, вентиляторы, кран-балки.

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 допускается в качестве характеристик и постоянного широкополосного шума на рабочих местах принимать уровень звука значение которого приведено в ГОСТ12.1.003.

Допустимый уровень звукового давления для цеха 75 дБ в октавных полосах со среднегеометрической частотой 1000 Гц

Повышенный уровень вибрации

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.

Предельно-допустимые значения вибрации рабочих мест приведены в таблице 23.

Таблица 23 - Предельно-допустимые значения вибрации рабочих мест

Вид вибрации: Технологическая	Средне-геометрические 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 цехе 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.

Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источниками электромагнитных полей являются 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.

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.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточная освещенность рабочей зоны может вызвать ослепленность или привести к быстрому утомлению и снижению работоспособности и существенному повышению риска травматизма.

Искусственное освещение в производственных помещениях должно удовлетворять нормам СП52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».

Для безопасного продолжения работы или выхода людей из помещений при внезапном отключении, должно быть предусмотрено аварийное освещение.

В цехе предусмотрено четыре системы освещения: общее, аварийное, эвакуационное и ремонтное. Норма освещенности для рассматриваемого цеха приведена в таблице 24.

Таблица 24 – Норма освещенности

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.

Ремонтное освещение предусматривается в технических помещениях, и осуществлено переносными светильниками напряжением питания 36 В.

8.1.2 Анализ выявленных опасных факторов

Поражение электрическим током

В отношении опасности поражения электрическим током рассматриваемый цех относится к помещению с повышенной опасностью. В цехе присутствует возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям здания, имеющего соединение с землей, технологическим аппаратам механизмам с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям) с другой.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять защитные оболочки, защитные ограждения (временные или стационарные), безопасное расположение токоведущих частей, изоляцию рабочих мест.

Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования

В рассматриваемом цехе 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.

Производственное оборудование, в состав которого входят средства защиты, требующие их включения до начала функционирования производственного оборудования и выключения после окончания его функционирования.

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.

8.2 Экологическая безопасность

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

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 тоже качество, что и на входе.

В самом цехе не образуются сточные воды. Сточные воды появляются в результате мойки оборудования и текущей уборки специальными сливами, которые 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 промышленные отходы. Отходы, которые в дальнейшем могут быть использованы в производстве собираются, складываются и по мере их накопления отправляются на переработку. Отходы, не подлежащие переработке и дальнейшему использованию передаются специализированным организациям для дальнейшей утилизации и размещения на объектах размещения отходов.

8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К чрезвычайным ситуациям в рассматриваемом цехе можно отнести нарушения бесперебойности электроснабжения. В случае возникновения выхода из строя одной из двух кабельных линий, электроснабжение цеха будет обеспечивать вторая кабельная линия.

Для повышения устойчивости к ЧС предусмотрены различные меры:

1. Для обеспечения бесперебойной работы в случае ЧС предусмотрено питание от двух источников электроэнергии, удаленных на такое расстояние, чтобы исключить возможность разрушения их в военное время одним ядерным ударом, а в мирное время – стихийным бедствием или аварией, а так же имеются резервные источники питания.

2. В целях снижения опасности взрыва применяют вентиляционные установки, автоматическую сигнализацию, систематически контролируется температура узлов электрооборудования. На каждом этаже предприятия установлена радиоточка для оповещения людей о пожаре или другой ЧС.

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

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

Пожарная безопасность

На предприятии на основе типовых правил пожарной безопасности для промышленных предприятий разрабатываются объектовые и цеховые противопожарные инструкции.

Для локализации небольших возгораний обслуживающий персонал до прибытия передвижных средств пожаротушения должен использовать первичные средства пожаротушения, находящиеся на пожарных щитах.

В помещении цеха устанавливается пожарный инвентарь, согласно РД153-34.0-03.301-00 такие первичные средства пожаротушения, как:

- углекислотные огнетушители ОУ-2 и ОУ-5;
- пенные огнетушители ОВП-4;
- ящик с песком;
- ведра;
- лопаты и багор;
- асбест.

На предприятии используется система автоматической пожарной безопасности, основанная на датчиках различных видов (дымовые, тепловые, датчики пламени). В случае возникновения пожара, срабатывает система оповещения, подается световой и звуковой сигнал об опасности.

8.4 Правовые и организационные вопросы

Работникам предприятия приходится часто выполнять различные операции, сопряженные с прямым риском здоровью (вредные условия труда).

До работ допускаются только обученные и аттестованные люди не моложе 18 лет, имеющие образование не ниже 9 классов, годные по состоянию здоровья, что должно быть подтверждено результатами медицинского освидетельствования.

В соответствии со ст. 104 ТК РФ допускается введение суммированного учета рабочего времени с учетным периодом три месяца. В случае, если по причинам сезонного и (или) технологического характера, установленная продолжительность рабочего времени не может быть соблюдена в течение учетного периода продолжительностью три месяца, отраслевым (межотраслевым) соглашением и коллективным договором может быть предусмотрено увеличение учетного периода для учета рабочего времени таких работников, но не более чем до одного года. При этом продолжительность

рабочего времени за учетный период не может превышать нормального числа рабочих часов.

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

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;

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

Заключение

Выполнен обзор систем управления частотно-регулируемыми электроприводами. Проанализирован и выбран наиболее подходящий, по соотношению цена-качество, для рассмотренного технологического процесса закон регулирования – скалярное управление U/f^2 . Данный вид управления позволяет получить искусственные механические характеристики с требуемой жесткостью, ему свойственна техническая простота измерения и регулирования абсолютных значений переменных АД.

В процессе работы установлено, что полученная модель в среде MATLAB Simulink поддерживает заданное давление и отрабатывает перепады давления при открытии и закрытии клапана на стороне потребителя, с требуемыми показателями качества и полностью удовлетворяет требованиям технического задания.

Составлена функциональная схема системы поддержания постоянного давления на основе преобразователя частоты фирмы Siemens серии Midimaster Eco. Выбрана элементная база системы: измерителя-регулятора ТРМ 138, датчика давления 7MF1562.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства;

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя;

- составление сметы затрат на ТП позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта;

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены опасные и вредные факторы, влияющие на жизнь и здоровье людей, а также факторы, влияющие на экологию.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

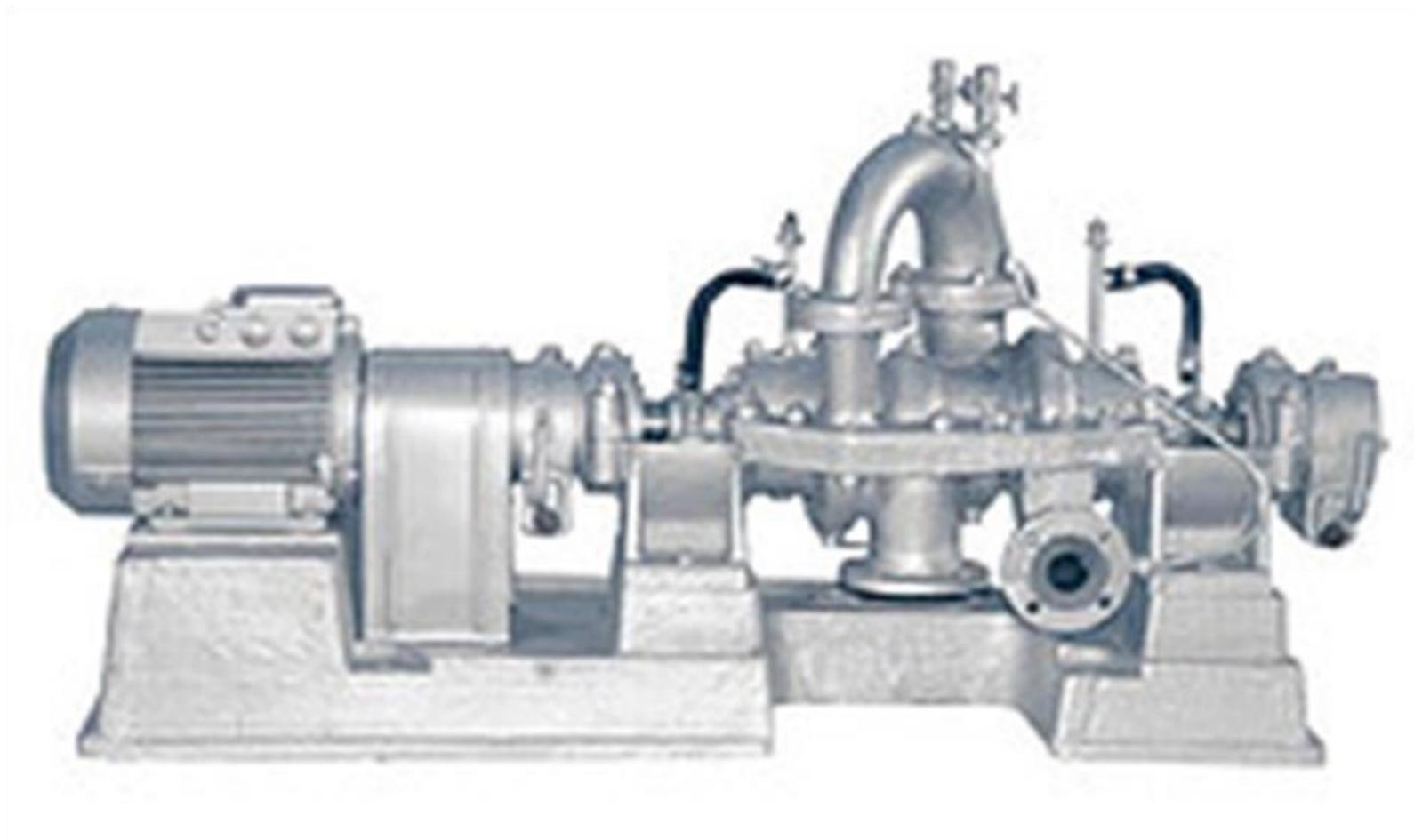
1. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о циркуляционных конденсатных насосах - Режим доступа: <http://www.rimos.ru/catalog/pump/25638>.
2. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о расчете мощности насоса - Режим доступа: http://www.gusta.ru/?doc=raschet_mowel
3. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о частотных преобразователях фирмы Danfoss - Режим доступа: <http://www.danfoss-info.ru/shopping>
4. А.Ю. Чернышев. Электропривод переменного тока: учебное пособие/ А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 218с.
5. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 224с.
Кояин Н.В., Удут Л.С., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.5. Применение программы DORA-FUZZY в расчетах электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2001. – 156с.
6. Мальцева О.П. Системы управления электроприводов: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 152с.
7. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат; 1986. – 416с.: ил.
8. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под редакцией В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. – 3-е изд., перераб. И доп.- М.: Энергоиздат, 1982 – 416с.,ил.-(Электроустановки промышленных предприятий).

9. Электрический привод: Учеб пособие для студ. Учреждений сред. проф. Образования –М.: Мастерство: Высшая школа, 2000.–368с.
10. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьков и др.; Под общ. Ред. С.В. Белова. 2-е изд., испр. И доп. – М.: Высш. шк., 1999. – 448с.
11. Расчет искусственного освещения. Методическое пособие. – Томск, ТПУ, 1995. – 25с.
12. Калинушкин М.П. Насосы и вентиляторы: учебное пособие для вузов, 6-е издание. – М.: Высшая школа, 1987. – 176с.
13. Онищенко Г.Б. Регулируемый Автоматизированный электропривод промышленных установок: Уч. пособие для ВУЗов, М: Энергоатомиздат, 2002 г
14. Ю.С. Прокофьев Экономическая оценка инвестиций: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 114с.
15. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие // И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Креницина; Томский политехнический университет.-Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.-36с

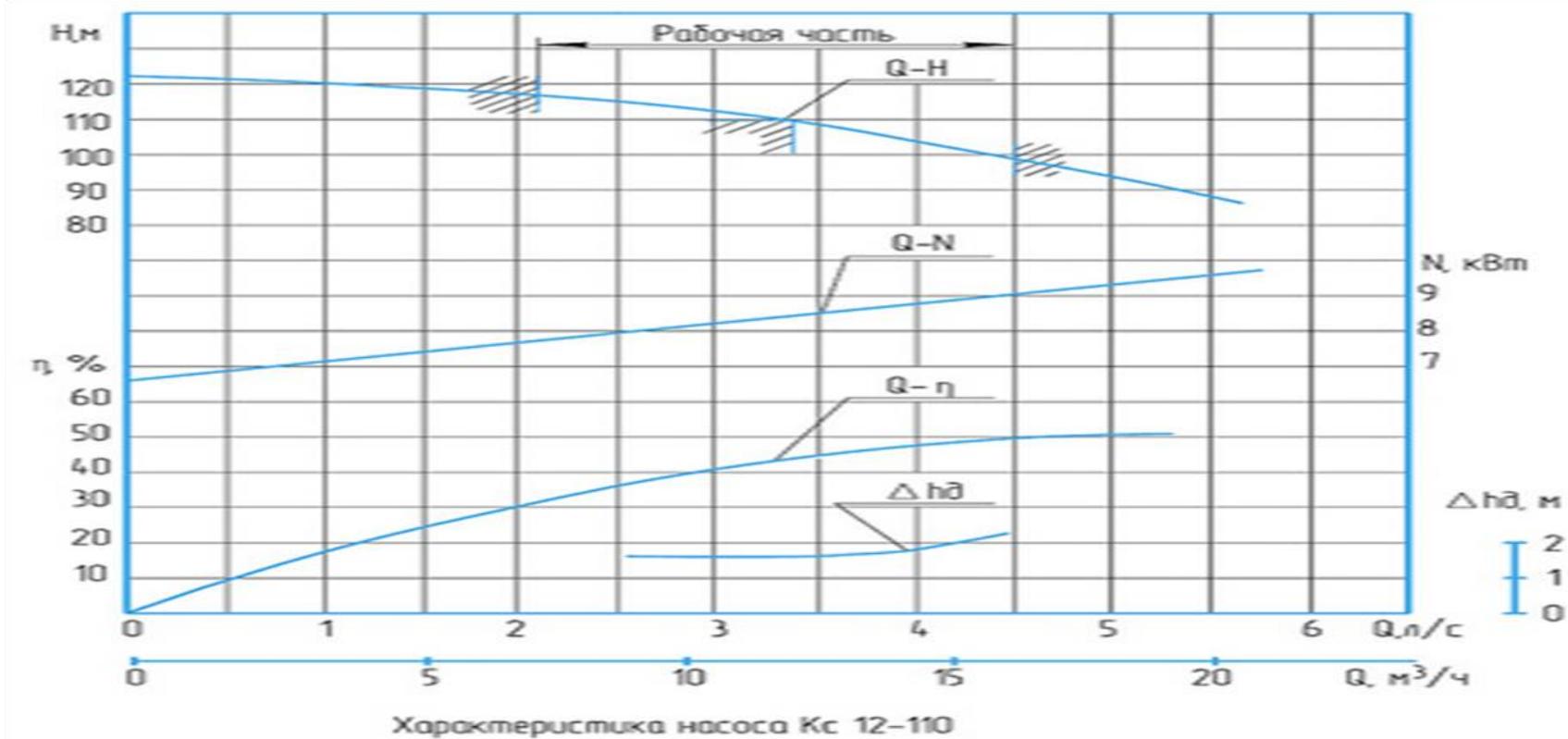
ПРИЛОЖЕНИЕ А.

Графический материал.

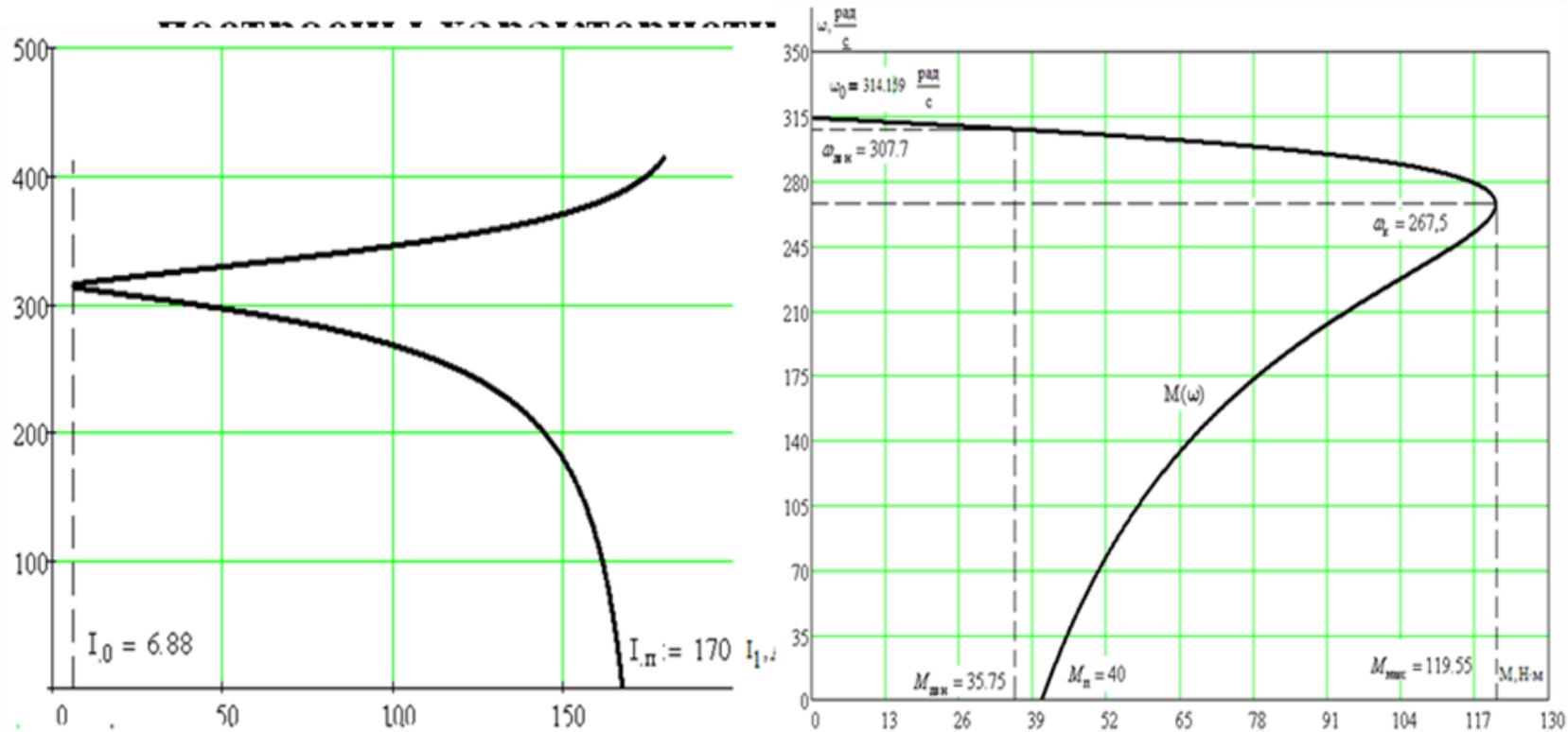
Внешний вид насоса типа КС 12-110



Характеристика насоса КС 12-110



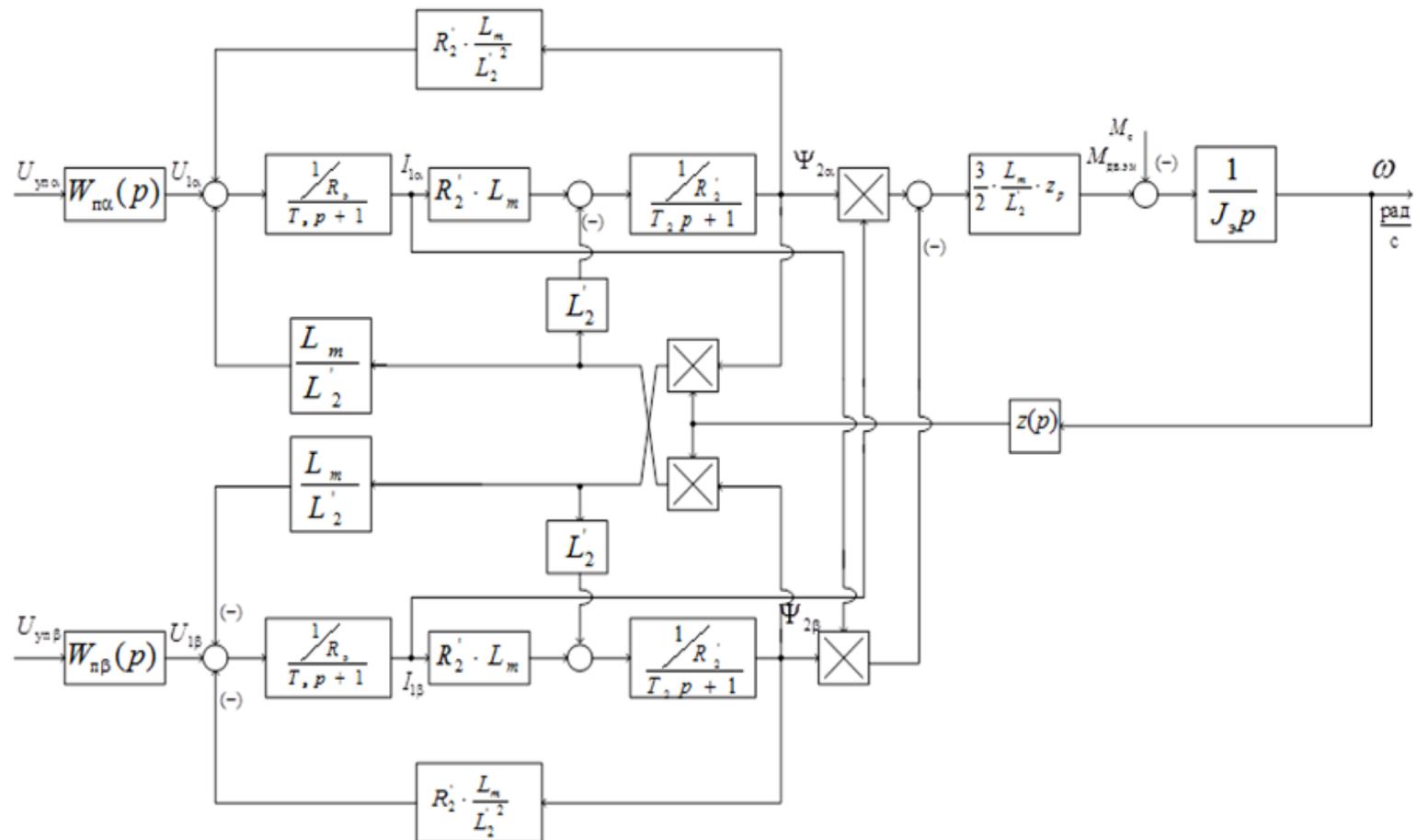
**В разработке проекта были определены параметры
схемы замещения АД по его паспортным данным**



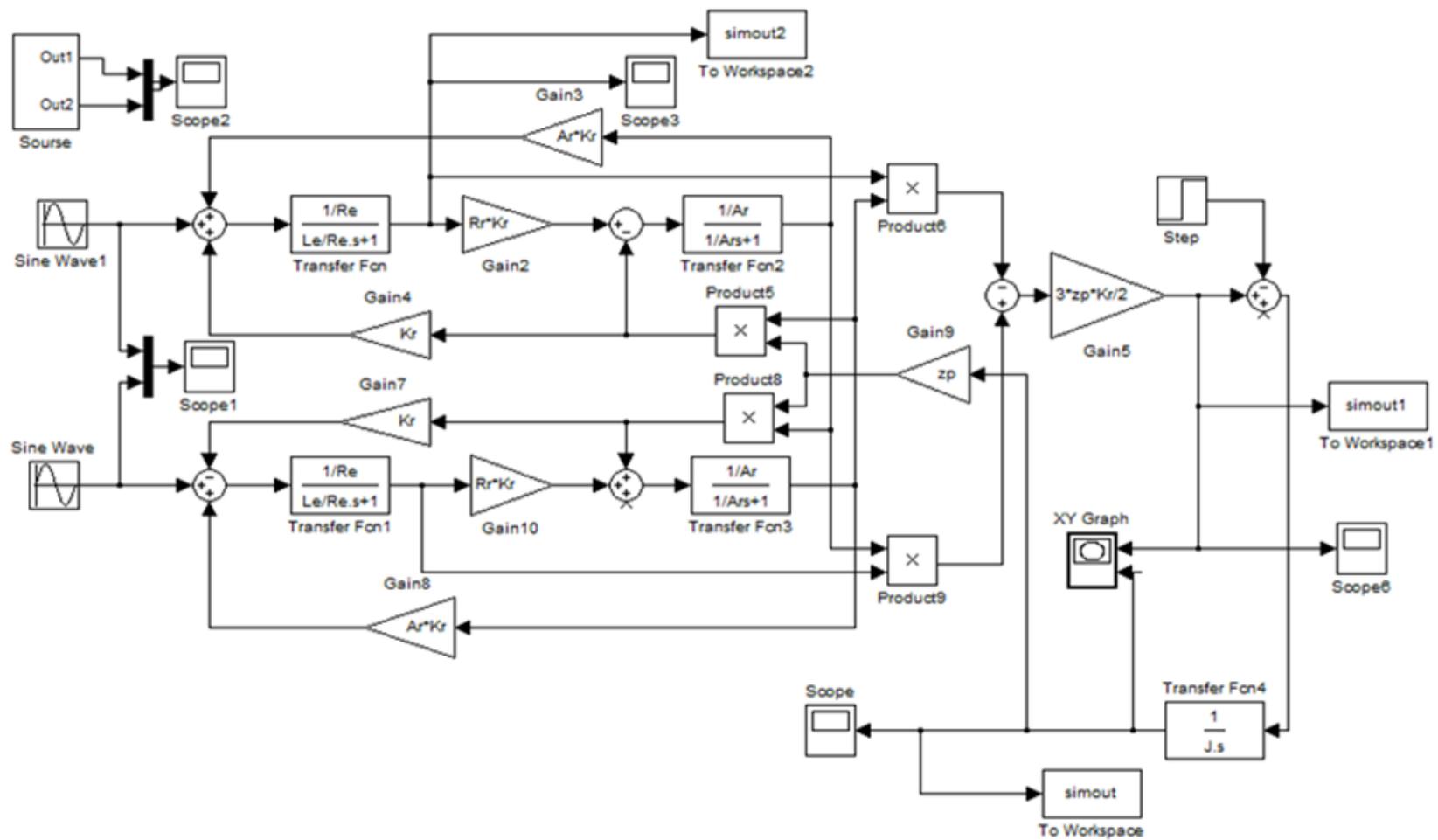
Естественная электромеханическая
характеристика

Естественная механическая
характеристика

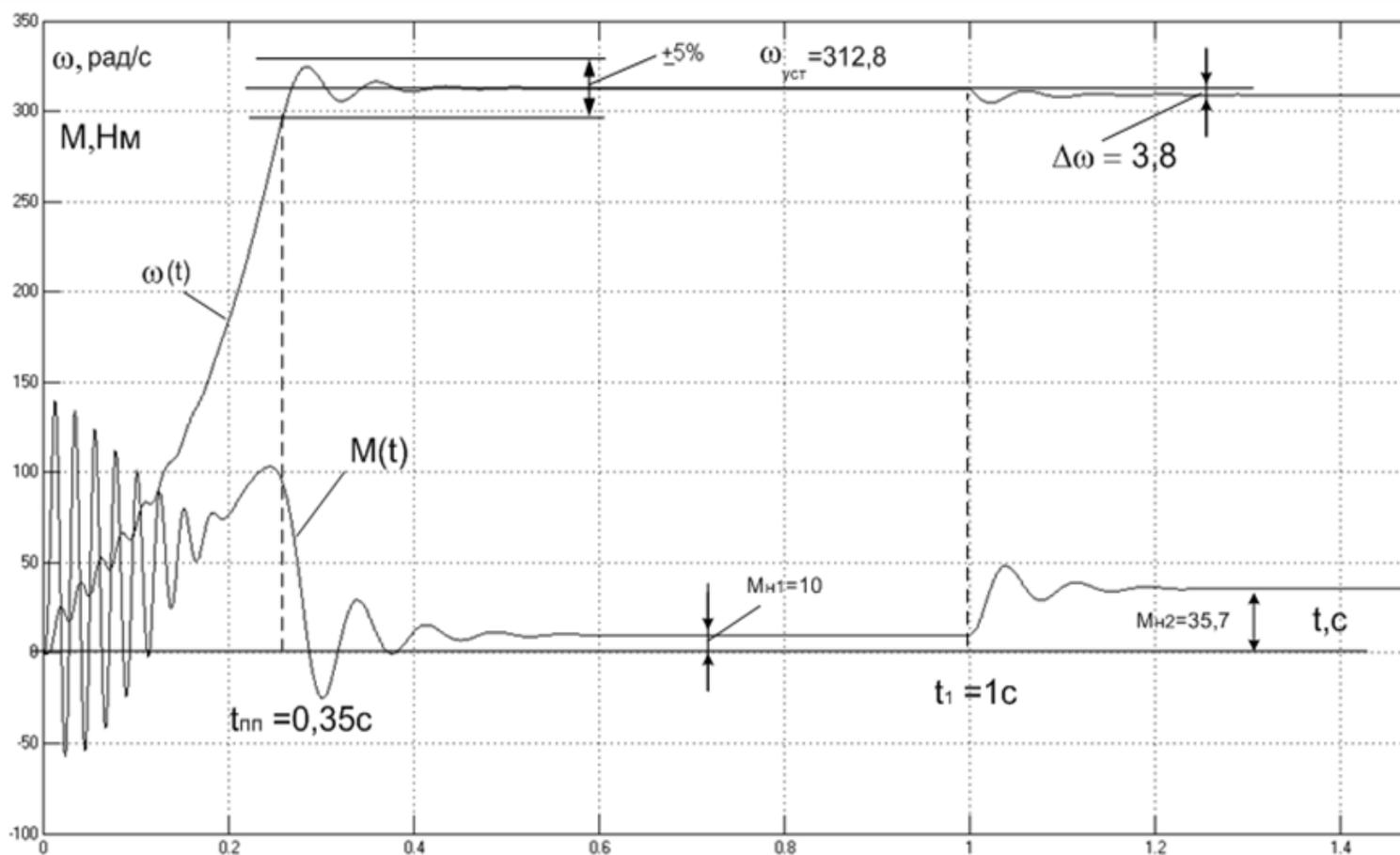
Структурная схема силового канала системы преобразователь-асинхронный электродвигатель в неподвижной двухфазной системе координат



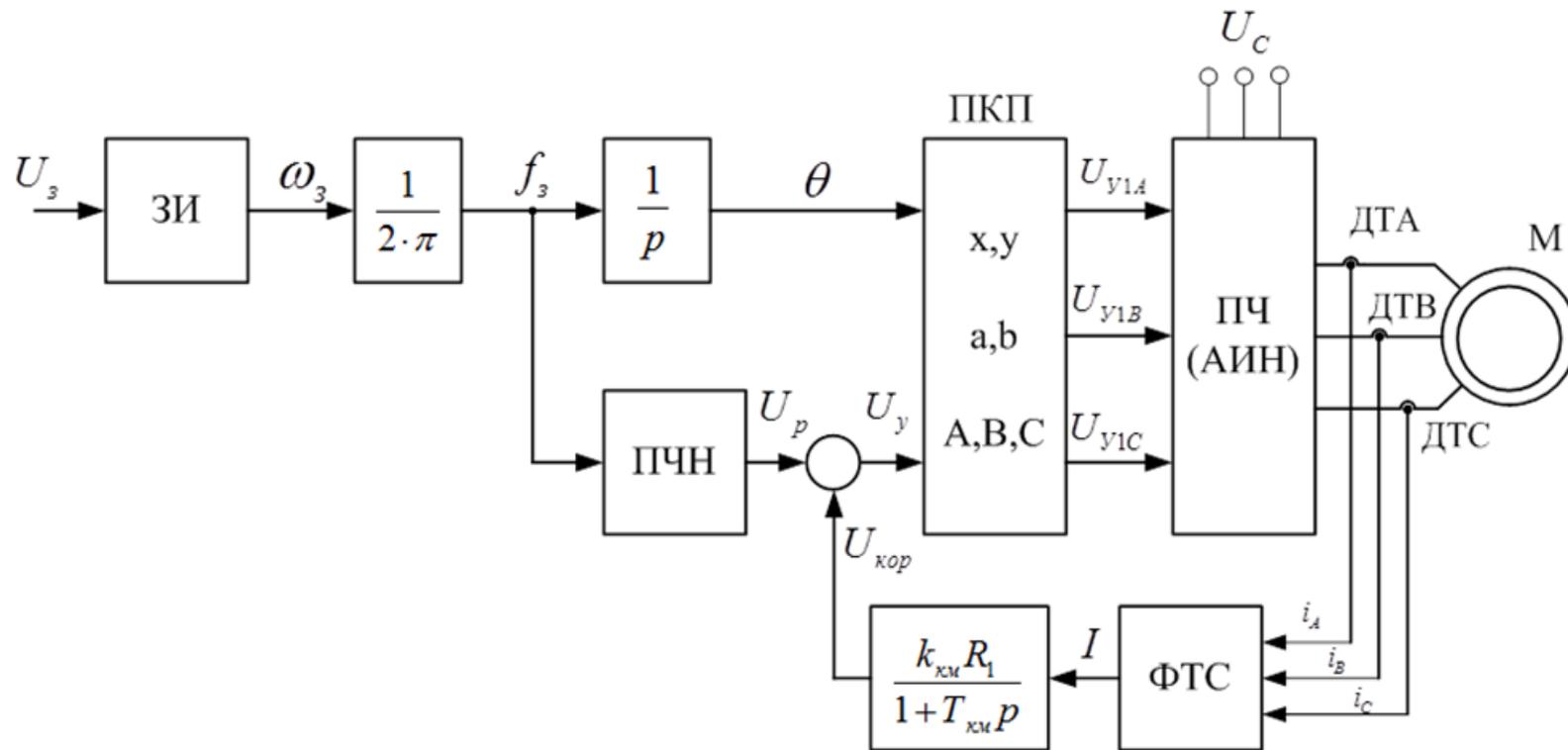
Имитационная модель прямого пуска асинхронного двигателя



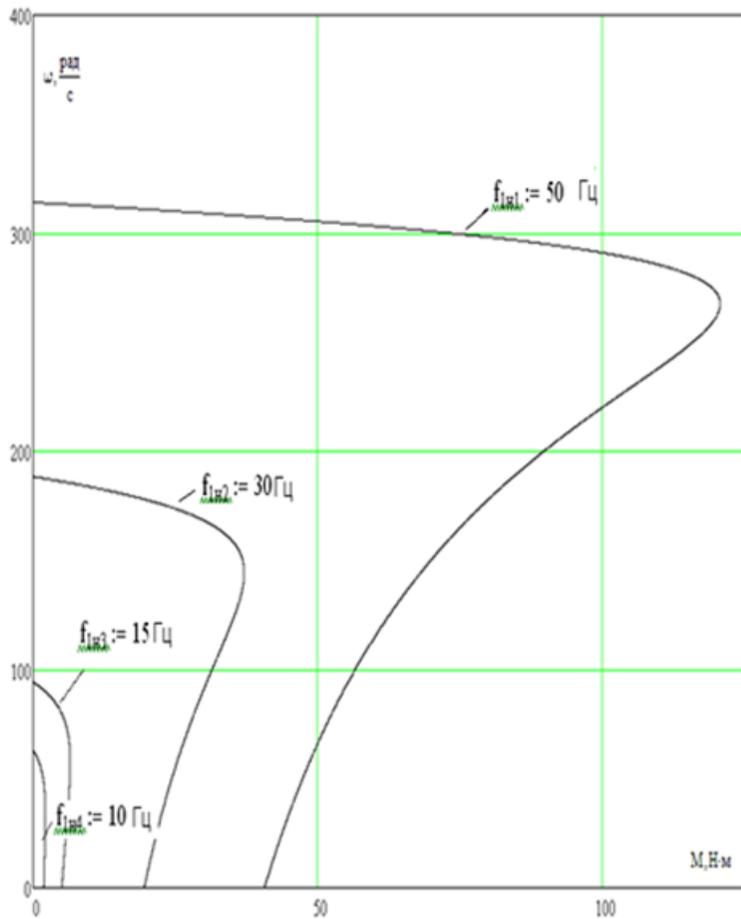
Переходная характеристика скорости ротора и электро-магнитного момента АД при прямом пуске и набросе нагрузки



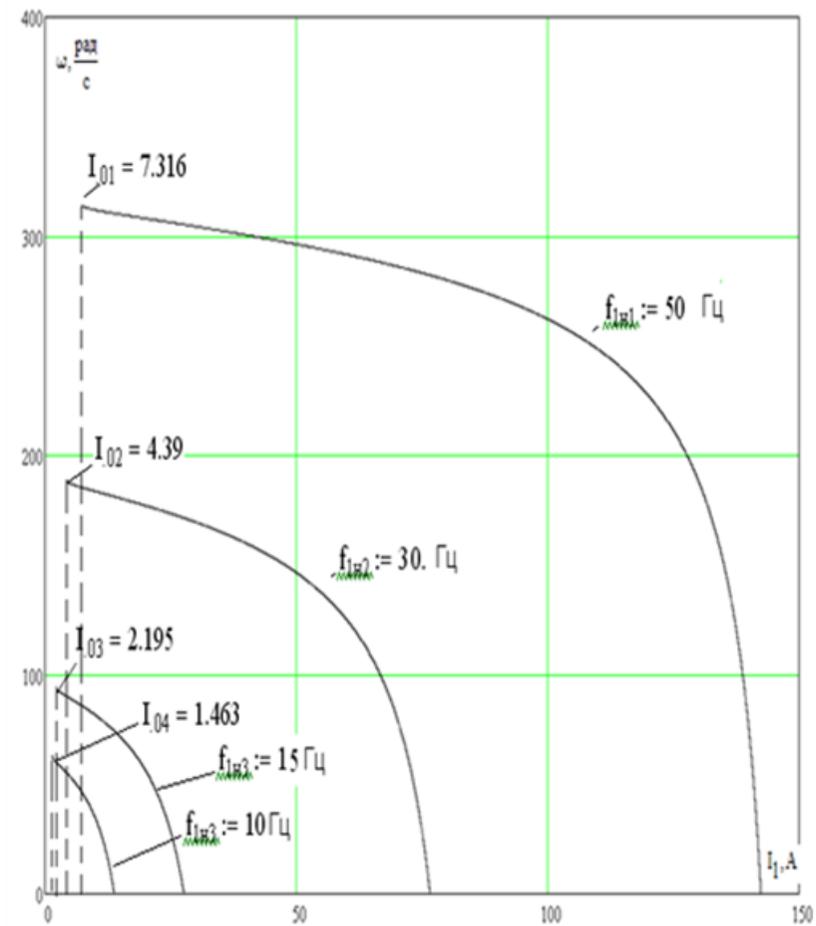
Функциональная схема системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией



ЗИ – задатчик интенсивности ПКП - прямой координатный преобразователь
 ПЧН - преобразователь частота-напряжение АИН - автономный инвертор напряжения.

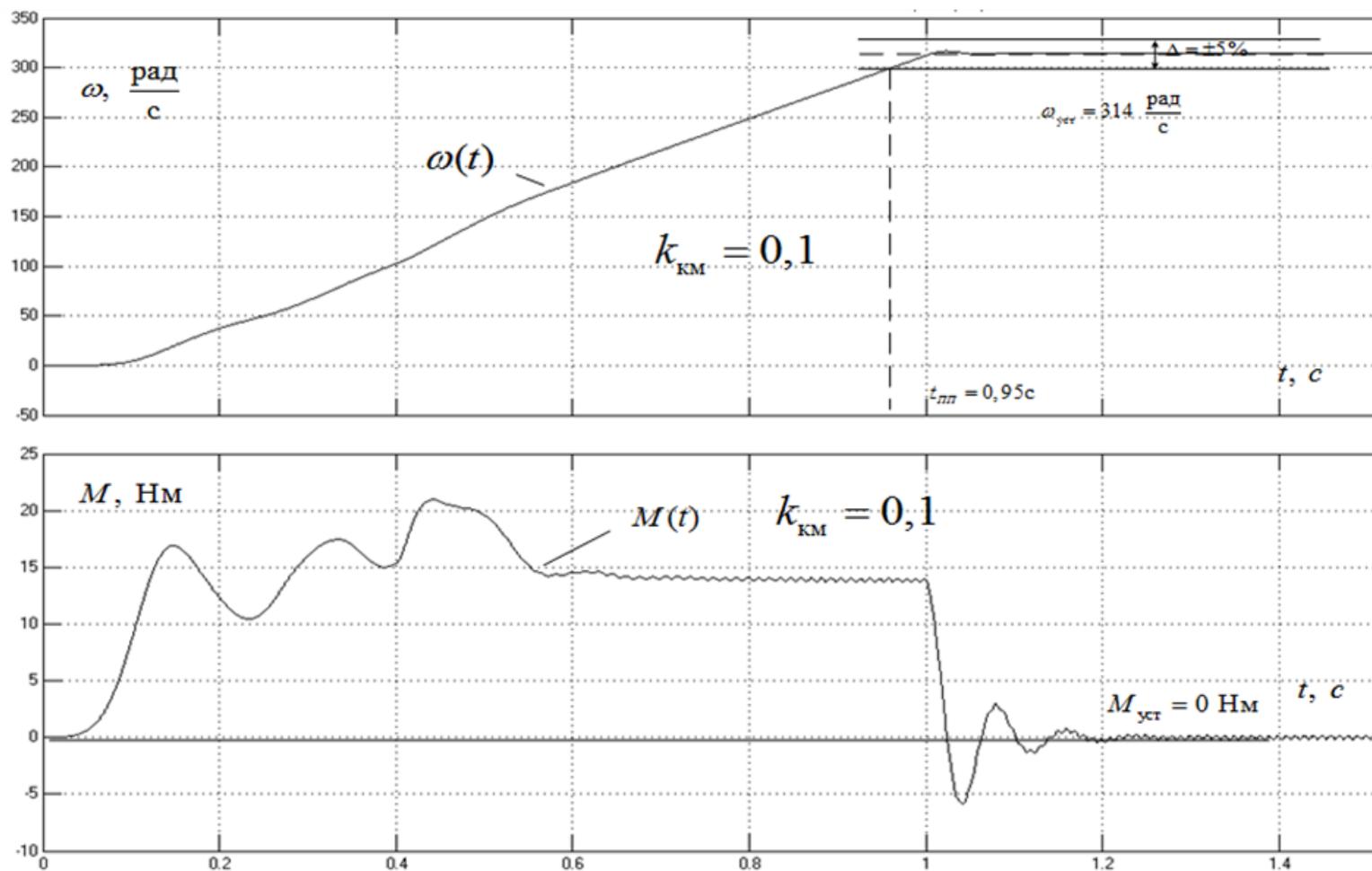


Искусственные механические характеристики $M(\omega)$ при частотном регулировании скорости

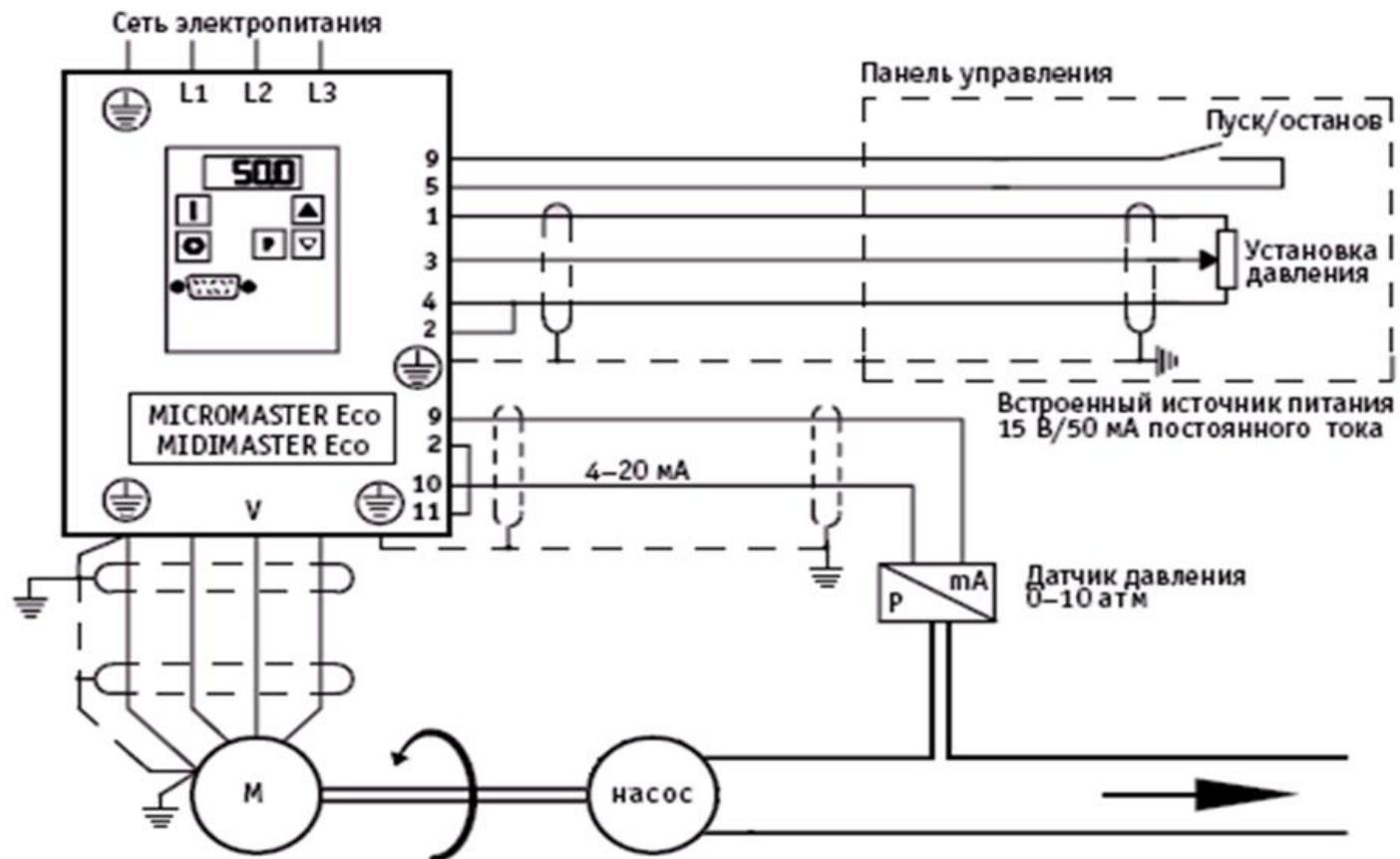


Искусственные электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ при частотном регулировании скорости

Переходные характеристики скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске с коэффициентом ПР-компенсацией с $k=0,1$



Функциональная схема системы поддержания постоянного давления



Переходная характеристика давления, скорости ротора, электромагнитного момента АД при пуске, открытии и закрытии клапана

