

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



Институт электронного обучения
Направление подготовки (специальность) Электроэнергетика и электротехника
Кафедра электропривода и электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод переменного тока насоса ЭЦВ 12-160-100

УДК 62-83-523;621.671.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Парпиев Рустам Абдумажидович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Игорь Александрович	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дементьев Юрий Николаевич	к.т.н., доцент		

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

Институт электронного обучения

Специальность_140604-“Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов”

Кафедра электропривод и электрооборудование

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) _____ (Дата) Ю.Н.Дементьев
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
З-5Г12	Парпиев Рустам Абдумажидович

Тема работы:

Электропривод переменного тока насоса ЭЦВ 12	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№2533/С от 01.04.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломный практики, техническая литература
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технического процесса; Выбор мощности двигателя, расчет и построение электромеханических характеристик оптимизация контура регулирование, тока, скорости, разработка не линейной САУ, РЭП постоянного тока в среде Matlab, социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	• схема кинематического механизма • схема электрического функциональная • схема структурная • схема имитационной модели-демонстрационный лист • технико-экономические показатели

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсаэффективность и ресурсосбережение	Мелик –Гайказян Мария Вигеновна

Социальная ответственность	Романцов Игорь Иванович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
реферат	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Игорь Александрович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Парпиев Рустам Абдумажидович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»
Электропривод насоса ЭЦВ-12-160-100

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г12	Парпиев Рустам Абдумажидович

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Описание рабочего места (технологического процесса, механического оборудования, метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации) на предмет возникновения:

- вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)
- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)
- негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды;

2. Основными вредными факторами насоса ЭЦВ-12-160-100

Повышенная влажность;

Шум и вибрация;

Отклонение показателей микроклимата;

Недостаточная освещенность рабочей зоны.

3. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды;

Возможность получения травм в следствии:

а) Поражение электрическим током;

б) Пожар;

4. Охрана окружающей среды:

– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);

– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);

разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.

5. Защита в чрезвычайных ситуациях:

– перечень возможных ЧС на объекте;

– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;

– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;

разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий

Перечень графического материала:

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Романцов Игорь Иванович	кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Парпиев Рустам Абдумажидович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г12	Парпиев Рустам Абдумажидович

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

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

1. Стоимость ресурсов проектных работ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов
3. Используемая система налога обложение

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности выполнения технического проекта;
2. Планирование проектно-конструкторских работ;
3. Планирование ПНР и сметы технического проекта;
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей) исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. График выполнения работ исполнителями ТП (диаграмма Ганта)
2. Матрица SWOT

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г12	Парпиев Рустам Абдумажидович		

Техническое задание

Разработать регулируемый электропривод насоса ЭЦВ 12-160-100, удовлетворяющий следующим техническим требованиям и характеристикам.

1. Режим работы – продолжительный, нагрузка реактивная.
2. Электропривод нереверсивный, диапазон регулирования в рабочей зоне $D = 1:2,5$, при плавном регулировании скорости в указанном диапазоне.
3. Погрешность поддержания заданной скорости вращения на нижней рабочей скорости не более 5 % .
4. Управление электроприводом – ручное, с пульта управления обслуживающим персоналом, в автоматизированном режиме поддержания давления с возможностью интеграции в систему управления более высокого уровня.
5. Электродвигатель должен быть предназначен для работы в условиях повышенной температуры, иметь закрытое исполнение со степенью защиты не ниже IP54.
6. Преобразователь должен быть предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающего воздуха от 5° до 45°С и относительной влажности не более 80% .
7. Система управления электроприводом должна обеспечивать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания.
8. Сеть трёхфазная, $380 \pm 10\%$ В, 50 ± 1 Гц.

Реферат

Выпускная квалификационная работа – 76 с, 36 рисунков, 19 таблиц, 17 источников литературы.

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование асинхронного электропривода глубинного насоса.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью программ MATLAB, Mathcad 14, MS Excel в текстовом редакторе MS Word и представлена на компакт - диске (в конверте на обороте обложки).

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	12
1.1 Анализ технологического процесса.....	12
1.2 Описание и основные технические характеристики насоса ЭЦВ 12-160-100.....	13
2. ВЫБОР ПРИВОДНОГО УСТРОЙСТВА	16
2.1 Выбор приводного электродвигателя.....	16
2.2 Расчет параметров электродвигателя	18
2.3 Определение параметров схемы замещения электродвигателя.....	18
2.4 Расчет естественных механической и электромеханической характеристик.....	22
2.5 Определение возможных вариантов и обоснование выбора вида преобразователя электрической энергии	24
2.6 Выбор преобразователя частоты.....	25
2.7 Прямой пуск двигателя	28
3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	31
3.1 Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя.....	31
3.2 Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением.....	41
3.3 Имитационная модель асинхронного электропривода вентилятора со скалярным управлением	42
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	48
4.1 SWOT-анализ технического проекта.....	48
4.2 Разработка графика проведения работ технического проекта.....	51
4.3 Составление сметы технического проекта.....	54
4.4 Определение ресурсоэффективности проекта.....	60
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	63
Введение.....	63
5.1 Анализ опасных и вредных факторов.....	63
5.2 Техника безопасности	64
5.3 Производственная санитария	66
5.4 Пожарная безопасность	70
5.5 Охрана окружающей среды	71
5.6 Защита при ЧС	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	74
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	75

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время наблюдается устойчивая тенденция к переходу от нерегулируемого асинхронного электропривода (АЭП) к регулируемому электроприводу. Преимущества, обеспечиваемые регулируемым электроприводом: улучшение качественных характеристик технологических процессов и выпускаемой продукции, возможность автоматизации производства, обеспечение энергосбережения и ресурсосбережения.

Водоснабжения жилых кварталов муниципальных и промышленных объектов в Узбекских городах производится, как правило, централизованными магистральными закрытыми системами. Циркуляция и перекачка воды в системах тепло и водоснабжения осуществляется с помощью сетевых насосных станций, основными элементами которых являются центробежные насосы.

Значительная экономия топливно-энергетических ресурсов достигается при централизации теплоснабжения жилых, промышленных и общественных зданий в городах и других населенных пунктах.

Основными путями развития централизованного теплоснабжения является отказ от мелких котельных, в пользу строительства крупных ТЭЦ для производства горячей воды и пара, необходимой для отопительных и технологических нужд крупных жилых районов города

Теплоснабжение промышленных объектов и народного хозяйства населения является одной из основных подсистем энергетики страны. Назначение системы теплоснабжения состоит в обеспечении потребителей необходимым количеством теплоты в виде пара и горячей воды требуемых параметров.

В системах централизованного теплоснабжения (СЦТ) осуществляются следующие технологические процессы: производство и отпуск теплоты, транспортирование и использование теплоносителя.

Производство и отпуск теплоты осуществляются в теплоподготовительных установках источников теплоты - ТЭЦ и городских или промышленных котельных.

В источниках теплоты используют органическое или ядерное топливо. Источник теплоты должен обеспечивать экономически выгодные режимы отпуска теплоты в тепловую сеть, иметь высокую надежность, а также обеспечивать бесперебойную работу агрегатов.

Транспортирование теплоносителя производится по тепловым сетям, соединяющим источник теплоты с потребителями. К тепловым сетям относят теплопроводы и сооружения на них - сетевые станции (подкачивающие, смесительные, дроссельные). СЦТ городов являются, как правило, водяными системами, где в качестве теплоносителя применяется вода.

Водяные системы теплоснабжения могут быть закрытыми и открытыми. В закрытых системах, вода, циркулирующая в тепловой сети используется только как основной теплоноситель, из сети для потребления она не отбирается; в открытых системах теплоноситель (вода) разбирается у потребителей для нужд горячего водоснабжения.

Для теплоснабжения промышленных объектов и города от источников теплоты до данной группы потребителей, как правило, используются двухтрубные тепловые сети.

Назначение тепловых сетей - надежная, бесперебойная транспортировка теплоносителя с минимальными потерями теплоты и воды.

Использование теплоносителя (отпуск теплоты) осуществляется в теплоприемниках потребителей: в системах отопления, вентиляции, горячего водоснабжения. При отпуске теплоты потребителям осуществляется поддержание по заданному закону параметров нагреваемой среды.

В связи с возрастающей стоимостью электроэнергии тема данного проекта является актуальной.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Анализ технологического процесса

При описании технологической установки используются некоторые термины, являющиеся специфическими для данного типа установок:

Насос - гидравлическая машина, преобразующая механическую энергию приводного двигателя в энергию потока жидкости, служащая для перемещения и создания напора жидкостей всех видов, механической смеси жидкости с твёрдыми и коллоидными веществами или сжиженных газов..

Насосный агрегат (НА) – это совокупность насоса, электропривода и передаточного механизма (муфта, редуктор, шкив).

Насосная установка (НУ) - это система оборудования обеспечивающий необходимый режим работы насосов одного или нескольких насосных агрегатов.

Насосная станция (НС) – это сооружение, состоящая из одной или нескольких насосных установок, а также содержащая в себе вспомогательные системы и оборудование.

Насосные установки делятся на:

- Водопроводные
- Канализационные
- Мелиоративные
- Теплофикационные

Теплофикационные насосные станции (тепловые пункты) предназначены для подачи потребителям горячей воды требуемых параметров.

Насосные установки ежегодно потребляют около 20% электроэнергии, вырабатываемой энергосистемами. В настоящее время большая часть насосных установок работают неэкономично. Потери электроэнергии составляют 10-25%, потребляемой электроэнергии.

Для снижения потерь электроэнергии в насосных установках целесообразно применение экономических способов регулирования, основанных на изменении частоты вращения рабочих колес насоса

В современных насосных установках изменение частоты вращения насосов осуществляется с помощью автоматизированного электропривода (АЭП).

Поступление горячей воды в систему хозяйственно-бытового потребления и характер распределения ее суточных расходов, неравномерны и зависят от степени благоустройства зданий и от числа жителей населенного пункта.

Основным источником тепловой энергии в городе Алмалык является АО «АГМК ТЭЦ-1». От ТЭЦ-1 проложено четыре магистрали диаметром 300-700 мм, по которым горячая вода подается на подкачивающие насосные станции. На ТЭЦ-1 подается артезианская вода из глубинных насосов ЭЦВ-12 для обеспечения бесперебойной работы.

Таблица 1.1- наименование насоса ЭЦВ 12-160-100

№ с/н	Марка насоса	Произ в м	Напор М.в.ст	Мощн эл.двиг .,кВт	Число об.в мин	Марка Эл.двиг.
1	ЭЦВ 12-160-100	160	100	65	3000	ПЭДВ 65-219

1.2 Описание и основные технические характеристики насоса ЭЦВ 12-160-100

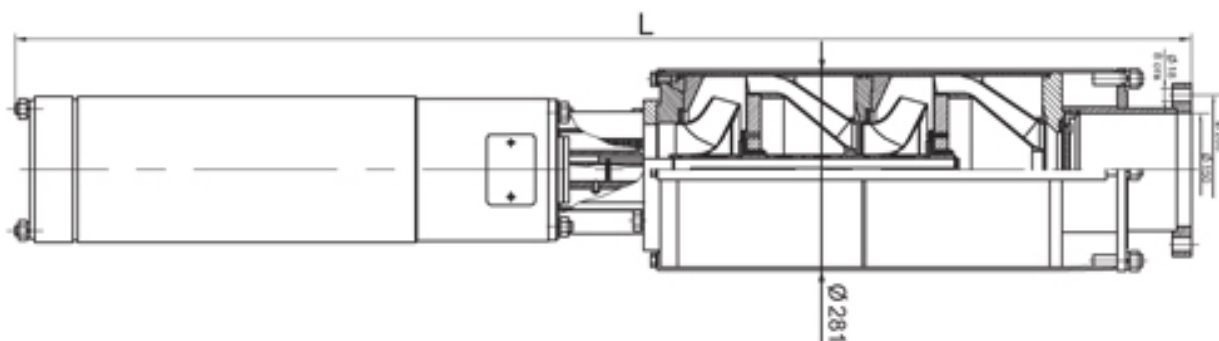


Рисунок 1 – Насос ЭЦВ 12-160-100

Насосы типа «ЭЦВ» - артезианский погружной глубинный скважинные центробежные насос, многоступенчатый, секционный, вертикальный, с закрытым лопастным колесом одностороннего входа. Глубинный насос ЭЦВ предназначены для подъема воды общей минерализацией не более 1500 мг/л, водородным показателем pH 6,5...9,5, с температурой до 25 °С, с массовой долей твердых механических примесей не более 0,01%, содержанием хлоридов не более 350 мг/л, сульфатов не более 500 мг/л, сероводорода не более 1,5 мг/л. Материал проточной части погружного насоса ЭЦВ – чугун, полифосфонитрилхлорид (норил), нержавеющая сталь, бронза.

Насос погружной ЭЦВ – одно - или многоступенчатый с вертикальным расположением вала, работает с подпором (расстояние от поверхности воды до напорного патрубка насоса – обеспечивает смачивание верхнего подшипника при запуске и бескавитационную работу насоса). Величина подпора – 1 метр. Ступени глубинного насоса ЭЦВ – радиального и полуосевого типов.

Погружной скважинный насос ЭЦВ опускается в скважину на колонне водоподъемных труб и подвешивается на устье скважины. Перекачиваемая жидкость поступает в погружной насос ЭЦВ через фильтрующую сетку корпуса на рабочее колесо. Подшипники насоса и электродвигателя смазываются и охлаждаются водой. Рабочее положение агрегата – вертикальное. Погружной насос никогда не должен работать "всухую" - даже кратковременное включение артезианского насоса в работе без воды приводит к повреждению подшипников и обмотки двигателя.

Погружные артезианские насос марки ЭЦВ оснащаются обратным клапаном (тарельчатого или шарикового типа), который, удерживая в трубопроводе столб воды во время отключения насоса, что значительно облегчает повторный запуск насосного агрегата и защищает глубинный насос от

обратного вращения колес насоса, а следовательно и двигателя, в случае обратного движения накаченной в трубопровод воды.

Условное обозначение артезианского насоса: ЭЦВ 12-160-100 нро,

где

- Э – с приводом от погружного электродвигателя
- Ц - центробежный
- В - для подачи воды
- 12-минимально допустимый внутренний диаметр обсадной колонны, мм, уменьшенный в 25 раз и округленный;
- 160-подача, м.куб./ч;
- 100- напор,м.

2. ВЫБОР ПРИВОДНОГО УСТРОЙСТВА

2.1 Выбор приводного электродвигателя

Автоматизация производственных установок позволяет более быстро и точно воспроизводить технологический процесс. При полной автоматизации процесса не требуется постоянного участия человека, ему остается роль наблюдателя и корректировщика. На данный момент целесообразно автоматизировать производственные установки при помощи микропроцессорных систем (программируемых контроллеров), которые позволяют заменить жесткую логику на программное управление, повысить надежность и гибкость системы управления.

Определим основные требования к автоматизированной системе управления:

- плавный пуск насосного агрегата и разгон до заданной скорости;
- определение необходимого напора в зависимости от текущего расхода;
- стабилизация необходимого напора жидкости в системе за счет регулирования скорости вращения электродвигателя;
- автоматический разгон насосного агрегата после исчезновения напряжения питания (автоматическое повторное включение);
- защита от тепловых перегрузок приводных двигателей насосных агрегатов;
- периодическая смена основного насосного агрегата, стабилизирующего подачу жидкости в систему;
- система управления должна обеспечивать контроль минимального, максимального и аварийного расхода.

В качестве электропривода для проектируемой установки принимаем трехфазный асинхронный электропривод,

Автоматизировать установку предлагается внедрением программируемого контроллера. В функции контроллера в таком случае будут входить: выработка задания для электропривода в зависимости от напора в сети; диагностика состояния элементов установки; выдача аварийных сигналов в диспетчерскую службу.

На основе технических данных насоса, а также, согласно выбранной системы электропривода, предварительно выбираем трехфазный асинхронный ПЭДВ 65–219.

Электродвигатели асинхронные трехфазные с короткозамкнутым ротором типа ПЭДВ 65–219 предназначены для привода механизмов, требующих регулирования частоты вращения, а также для привода механизмов с тяжелыми условиями пуска. Двигатели предназначены для работы от сети переменного тока частотой 50 Гц напряжением 380 В.

Вид климатического исполнения – УЗ.

Номинальный режим работы - продолжительный S1.

Способ охлаждения двигателей - Водой.

Степень защиты двигателей – IP44,.

Номинальная мощность приводного двигателя должна быть равна или несколько больше мощности на валу насоса во всех его возможных технологических режимах работы.

Таблица 2.1 – Технические характеристики электродвигателя ПЭДВ 65–219.

Типо-размер	n_0 , об/мин	$U_{1н}$, В	$P_{дв.н}$, кВт	При номинальной нагрузке		
				s_n , %	$\cos\varphi_n$	η_n , %
ПЭДВ 65–219	3000	380	65	0,04	0,85	0,86
$m_{п} = \frac{M_{пуск}}{M_{н}}$		$m_{к} = \frac{M_{макс}}{M_{н}}$		$m_{м} = \frac{M_{мин}}{M_{н}}$		$k_{i_{дв}} = \frac{I_{пуск}}{I_{н}}$
1,2		2,2		1		5

2.2 Расчет параметров электродвигателя

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 3000}{30} = 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_{\text{дв.ном}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв.ном}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 2880}{30} = 301,44 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальное скольжение двигателя

$$s_n = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{ном}}}{\omega_0} = \frac{314 - 301,44}{314} = 0,04\%.$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.ном}} = \frac{P_{\text{дв.ном}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.ном}}} = \frac{65 \cdot 10^3}{301,44} = 215,632 \text{ Нм}$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный и линейный ток статора (действующее значение) при схеме соединения обмоток звездой:

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

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = \frac{P_{\text{дв.ном}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{65 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,86} = 134,726 \text{ А}.$$

2.3 Определение параметров схемы замещения электродвигателя

Параметры схемы замещения определим по методике, изложенной в [1].

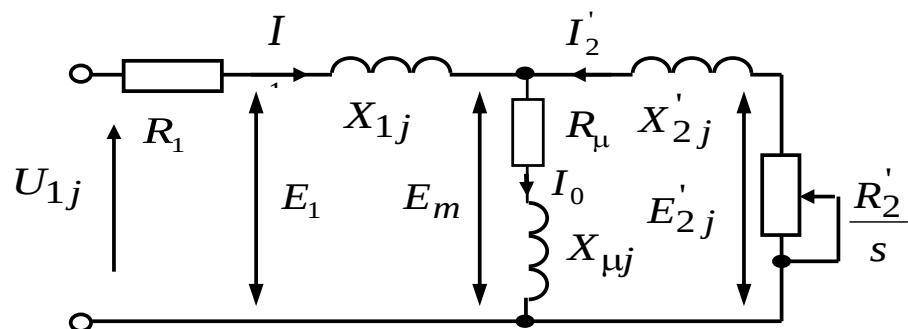


Рисунок 2 – Схема замещения

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - (p_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H))^2}{1 - (p_* \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H))^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{104,17^2 - (0,75 \cdot 134,726 \cdot (1 - 0,04) / (1 - 0,75 \cdot 0,04))^2}{1 - (0,75 \cdot (1 - 0,04) / (1 - 0,75 \cdot 0,04))^2}} = 43,527 \text{ A},$$

Где

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{p*} \cdot \eta_{p*}} = \frac{0,75 \cdot 65000}{3 \cdot 220 \cdot 0,825 \cdot 0,86} = 104,17 \text{ A} - \text{ток фазы статора при}$$

частичной нагрузке;

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

$$\eta_{p*} = \eta_H = 0,86 - \text{КПД при частичной нагрузке, принимаем.}$$

Коэффициент мощности при частичной нагрузке, принимаем согласно:

$$\cos \varphi_{p*} = 0,97 \cdot \cos \varphi_H = 0,97 \cdot 0,85 = 0,825.$$

Далее определяем ряд промежуточных коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{43,527}{2 \cdot 5 \cdot 134,726} = 1,032;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,04)}{2 \cdot 1,032 \cdot 2,2 \cdot 65000} = 0,472.$$

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_K}\right) \cdot C_1} = \frac{0,472}{\left(1 + \frac{1}{0,185}\right) \cdot 1,032} = 0,071 \text{ Ом.}$$

Критическое скольжение:

$$s_K = s_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,04 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - (1 - 2 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,185 \text{ о.е.}$$

где β – коэффициент, значение которого находится в диапазоне 0,6–2,5, принимаем $\beta = 1$.

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,032 \cdot 0,071 \cdot 1 = 0,074 \text{ Ом.}$$

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

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_{\text{к}}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,185^2} - 1^2} = 5,308.,$$

тогда

$$X_{\text{кн}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 5,308 \cdot 1,032 \cdot 0,071 = 0,391 \text{ Ом.}$$

Для того, чтобы выделить из индуктивного сопротивления короткого замыкания сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X'_{2\text{н}} = \frac{0,58 \cdot X_{\text{кн}}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 0,391}{1,032} = 0,22 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_{1\text{н}} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 0,391 = 0,164 \text{ Ом.}$$

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

$$\begin{aligned} E_{\text{м}} &= \sqrt{\left(U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} - R_1 \cdot I_{1\text{н}} \right)^2 + \left(U_{1\phi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{н}}} - X_{1\text{н}} \cdot I_{1\text{н}} \right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(220 \cdot 0,85 - 0,074 \cdot 134,726 \right)^2 + \left(220 \cdot \sqrt{1 - 0,85^2} - 0,164 \cdot 134,726 \right)^2} = 200,346 \text{ В.} \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_{\mu\text{н}} = \frac{E_{\text{м}}}{I_0} = \frac{200,346}{43,527} = 4,603 \text{ Ом.}$$

По найденным значениям C_1 , R'_2 и $X_{\text{кн}}$ определим критическое скольжение:

$$s_{\text{к1}} = \frac{C_1 \cdot R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = \frac{1,032 \cdot 0,071}{\sqrt{0,074^2 + 0,391^2}} = 0,185.$$

Индуктивность рассеяния статорной обмотки:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\text{н}}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0,164}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 5,234 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Индуктивность рассеяния роторной обмотки, приведенной к статорной:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\text{н}}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0,22}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 7,002 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Индуктивность ветви намагничивания:

$$L_{\mu\text{н}} = \frac{X_{\mu\text{н}}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{4,603}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,015 \text{ Гн.}$$

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

Значение номинального потокосцепления двигателя

$$\Psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 43,527 \cdot 0,015 = 0,902 \text{ Вб.}$$

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{L_m + L'_{2\sigma}} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{н}}^2 - I_0^2} =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot \frac{0,015}{0,015 + 0,0007} \cdot 0,902 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{134,726^2 - 43,527^2} = 232,806 \text{ Нм.}$$

$$\frac{M_{\text{эм.н}}^*}{M_{\text{дв.ном}}} = \frac{232,806}{215,632} = 1,08 - \text{условие } M_{\text{эм.н}}^* = (1,05 \div 1,1) \cdot M_{\text{дв.ном}} \text{ выполняется.}$$

Значение номинального электромагнитного момента двигателя:

$$M_{\text{эм.н}}(s_H) = M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\phi\text{н}}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[(X_{\text{кн}})^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,071}{314 \cdot 0,04 \cdot \left[0,391^2 + \left(0,074 + \frac{0,071}{0,04} \right)^2 + \left(\frac{0,074 \cdot 0,071}{0,04 \cdot 4,603} \right)^2 \right]} = 228,476 \text{ Нм;}$$

Момент сопротивления от сил трения на валу:

$$M_C = M_{эм.н} - M_{дв.н} = 228,476 - 215,632 = 12,844 \text{ Нм}.$$

Должны выполняться условия:

$$M_{дв.н} < M_{эм.н} \leq 1.1 \cdot M_{дв.н} = 215,632 < 228,476 \leq 237,195;$$

По результатам расчета эти условия выполняются [2].

Рассчитанные параметры схемы замещения сведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры схемы замещения электродвигателя

$R_1, Ом$	$X_{1\sigma}, Ом$	$L_{1\sigma}, Гн$	$X_\mu, Ом$	$L_\mu, Гн$	$R_2', Ом$	$X_{2\sigma}', Ом$	$L_{2\sigma}', Гн$	$X_{кн}, Ом$
0,074	0,164	$5,234 \cdot 10^{-4}$	4,603	0,015	0,071	0,22	$7,002 \cdot 10^{-4}$	0,391

2.4 . Расчет естественных механической и электромеханической характеристик

Расчет естественной механической характеристики

Естественная механическая характеристика $M(s)$ системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель рассчитывается для частоты $f_H = f_{1H} = 50 Гц$ по выражению:

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

По результатам расчета строится естественная механическая характеристика $\omega(M)$ (рисунок 3), где $\omega = \omega_0 \cdot (1-s)$.

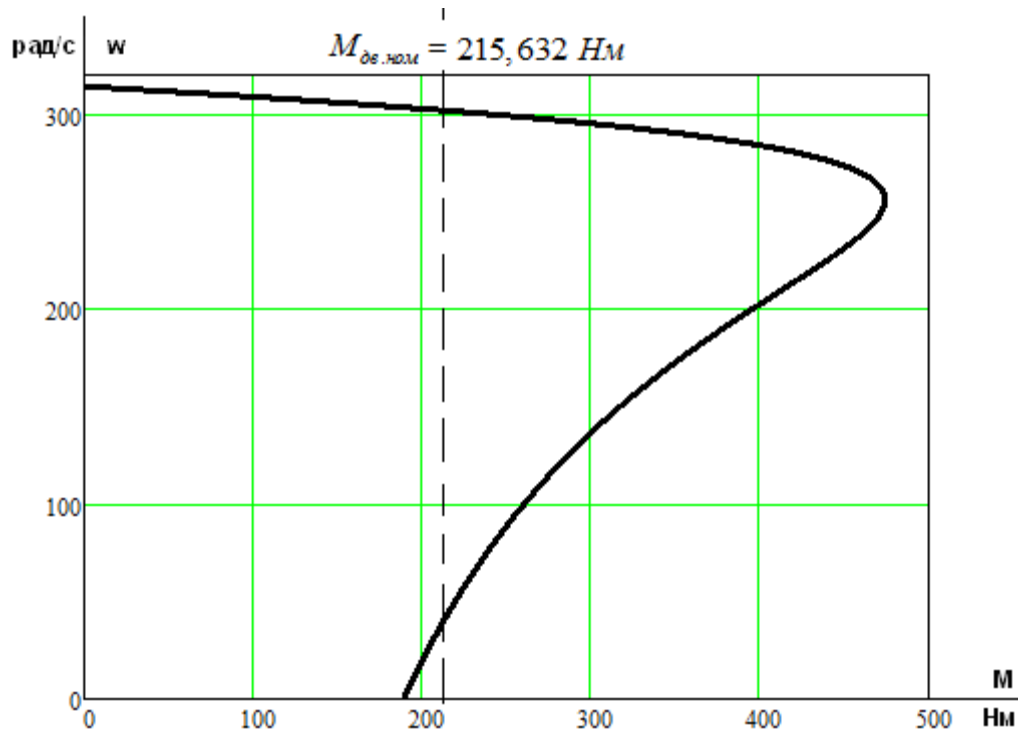


Рисунок 3 – Естественная механическая характеристика электродвигателя $\omega(M)$

Расчет естественной электромеханической характеристики

Естественная электромеханическая характеристика $I_1(s)$ разомкнутой системы преобразователя частоты – асинхронный двигатель рассчитывается для значений частоты $f_H = f_{1H} = 50 \text{ Гц}$ по выражению:

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

где

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

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

По результатам расчета строим естественную электромеханическую характеристику $\omega(I_1)$ (рисунок 4).

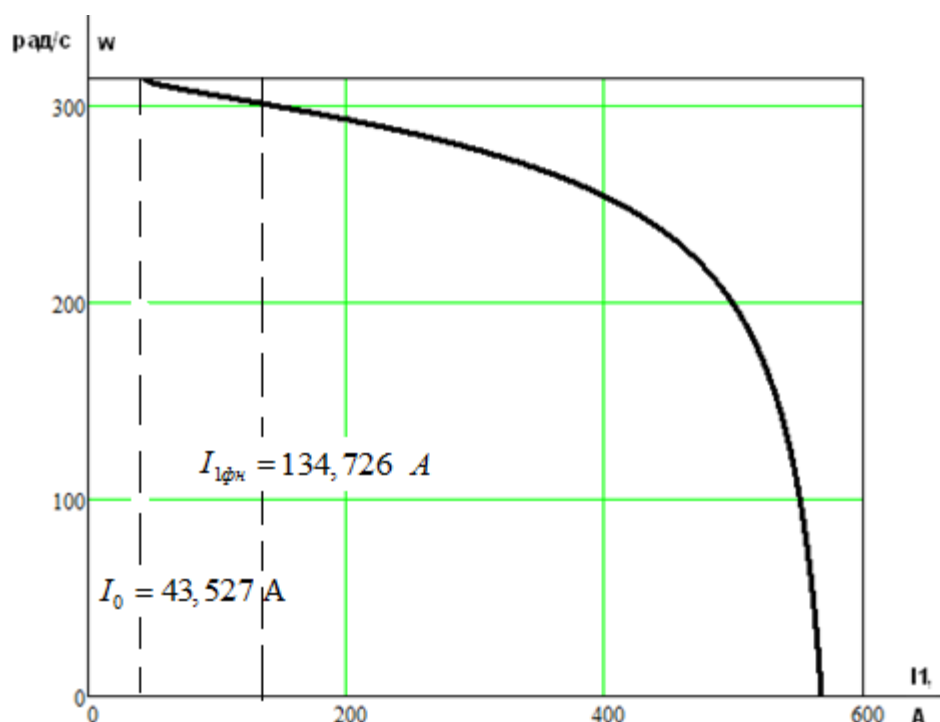


Рисунок 4 – Естественная электромеханическая характеристика $\omega(I_1)$

2.5 Определение возможных вариантов и обоснование выбора вида преобразователя электрической энергии

Преимущества использования частотных преобразователей. Плавная регулировка скорости вращения электродвигателя позволяет в большинстве случаев отказаться от использования редукторов, дросселей и другой регулирующей аппаратуры. Это значительно упрощает механическую систему, повышает ее надежность и снижает эксплуатационные расходы.

При использовании частотного преобразователя пуск двигателя происходит плавно, без пусковых токов и ударов, что уменьшает нагрузку на двигатель и механику, увеличивает срок их жизни. Применение частотных преобразователей с обратной связью обеспечивает точное поддержание скорости вращения при переменной нагрузке, что во многих задачах позволяет значительно улучшить качество технологического процесса.

Для питающей сети преобразователь является чисто активной нагрузкой и потребляет ровно столько энергии, сколько требуется для выполнения механической работы (с учетом КПД преобразователя и двигателя).

2.6. Выбор преобразователя частоты

Преобразователь выбирается по номинальному (длительно допустимому) току $I_{ин}$ по следующему условию:

$$I_{ин} \geq I_{1н} \cdot \frac{M_{с.макс}}{M_{дв.ном}} = 134,726 \cdot \frac{209,696}{215,632} = 131,017 \text{ А};$$

Выбираем преобразователь частоты из [2].

Таблица 3 – Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение $U_{н}$, В	Выходная частота $f_{н}$, Гц	Выходной ток		Рекомендуемая мощность двигателя P_2 , кВт
	$U_{1н}$, В	f_c , Гц			$I_{ин}$, А	$I_{н.макс}$, А	
СУЗ 200	3х380	50	380	0÷132	147	200	75

2.6.1. Выбор закона частотного скалярного управления для заданного механизма

Для нелинейно возрастающей нагрузки в случае центробежного насоса выбираем закон регулирования $U/f^3 = \text{const}$.

Частоты регулирования: $f_{1н}=50$ Гц; $f_{11}=40$ Гц; $f_{12}=30$ Гц; $f_{13}=25$ Гц; $f_{14}=20$ Гц.

2.6.2. Расчет семейства механических и электромеханических характеристик при изменении частоты

Коэффициент пропорциональности для заданного закона регулирования:

$$K = \frac{U_{1н}}{f_{1н}^3} = \frac{220}{50^3} = 0,00176.$$

Напряжения, соответствующие заданным частотам регулирования:

$$U_{11} = K \cdot f_{11}^3 = 0,00176 \cdot 40^3 = 112,64 \text{ В}; U_{12} = K \cdot f_{12}^3 = 0,00176 \cdot 30^3 = 47,52 \text{ В};$$

$$U_{13} = K \cdot f_{13}^3 = 0,00176 \cdot 25^3 = 27,5 \text{ В}; U_{14} = K \cdot f_{14}^3 = 0,00176 \cdot 20^3 = 14,08 \text{ В}.$$

Относительные частоты питающего напряжения:

$$f_{11*} = \frac{f_{11}}{f_{1н}} = \frac{40}{50} = 0,8; f_{12*} = \frac{f_{12}}{f_{1н}} = \frac{30}{50} = 0,6.$$

$$f_{13*} = \frac{f_{13}}{f_{1н}} = \frac{25}{50} = 0,5; f_{14*} = \frac{f_{14}}{f_{1н}} = \frac{20}{50} = 0,4.$$

Синхронные скорости вращения двигателя, соответствующие заданным частотам регулирования:

$$\begin{aligned}\omega_{011} &= \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{11}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 40}{1} = 251,327 \frac{\text{рад}}{\text{с}}; \\ \omega_{012} &= \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{12}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 30}{1} = 188,496 \frac{\text{рад}}{\text{с}}; \\ \omega_{013} &= \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{13}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 25}{1} = 157,08 \frac{\text{рад}}{\text{с}}; \\ \omega_{014} &= \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{14}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 20}{1} = 125,664 \frac{\text{рад}}{\text{с}};\end{aligned}$$

Механическая характеристика асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания определяется выражением:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R'_2}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'}{s \cdot X_{\mu\text{н}} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]}.$$

Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя попри переменных значениях величины и частоты напряжения питания определяется по формуле:

$$I_1(s) = \sqrt{I_{0j}^2 + (I'_2(s))^2 + 2 \cdot I_{0j} \cdot I'_2(s) \cdot \sin \varphi_2(s)},$$

где

$$\begin{aligned}I'_2(s) &= \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu\text{н}} \cdot f_{1*}} \right)^2}}; \\ \sin \varphi_2(s) &= \frac{X_{\text{кн}} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2}};\end{aligned}$$

Так как с изменением частоты и напряжения статора тока холостого хода изменяется, то его значение для каждой из частот определяется по выражению:

$$I_{0j} = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\text{н}} + X_{\mu\text{н}})^2 \cdot f_{1*}^2}}.$$

Пересчет скольжения s на угловую скорость производится в соответствии с выражением:

$$\omega(s) = \omega_{0j} \cdot (1 - s).$$

Механическая характеристика центробежного насоса определяется по выражению:

$$\begin{aligned} M_{\text{с прив}}(\omega) &= \Delta M_{\text{с мех}} + \left(\frac{M_{\text{с прив}}}{\omega_{\text{мех.прив}}^3} \right) \cdot \omega^3 = 9 + \left(\frac{209,696}{282,6^3} \right) \cdot \omega^3 = \\ &= 9 + \left(\frac{209,696}{282,6^3} \right) \cdot \omega^3 = 9 + 9,291 \cdot 10^{-6} \cdot \omega^3. \end{aligned}$$

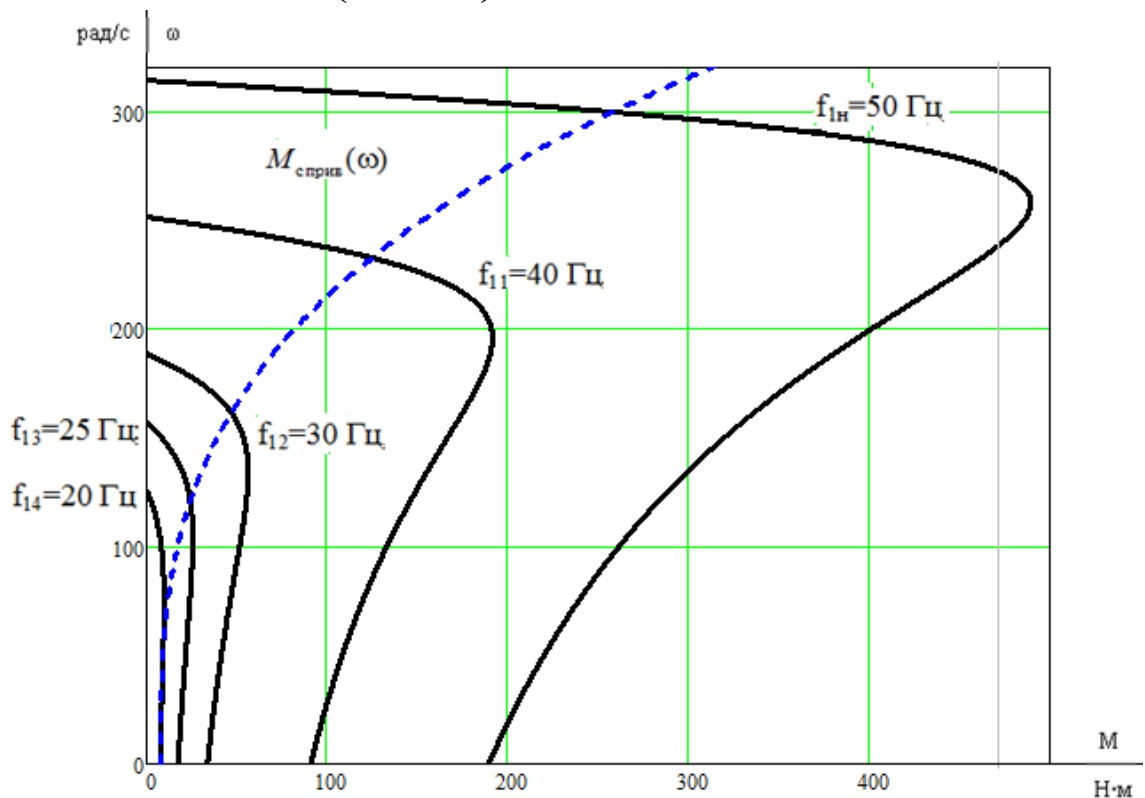


Рисунок 5 – Механические характеристики двигателя ПЭДВ 65–219 при выбранном законе регулирования $U/f^3 = \text{const}$

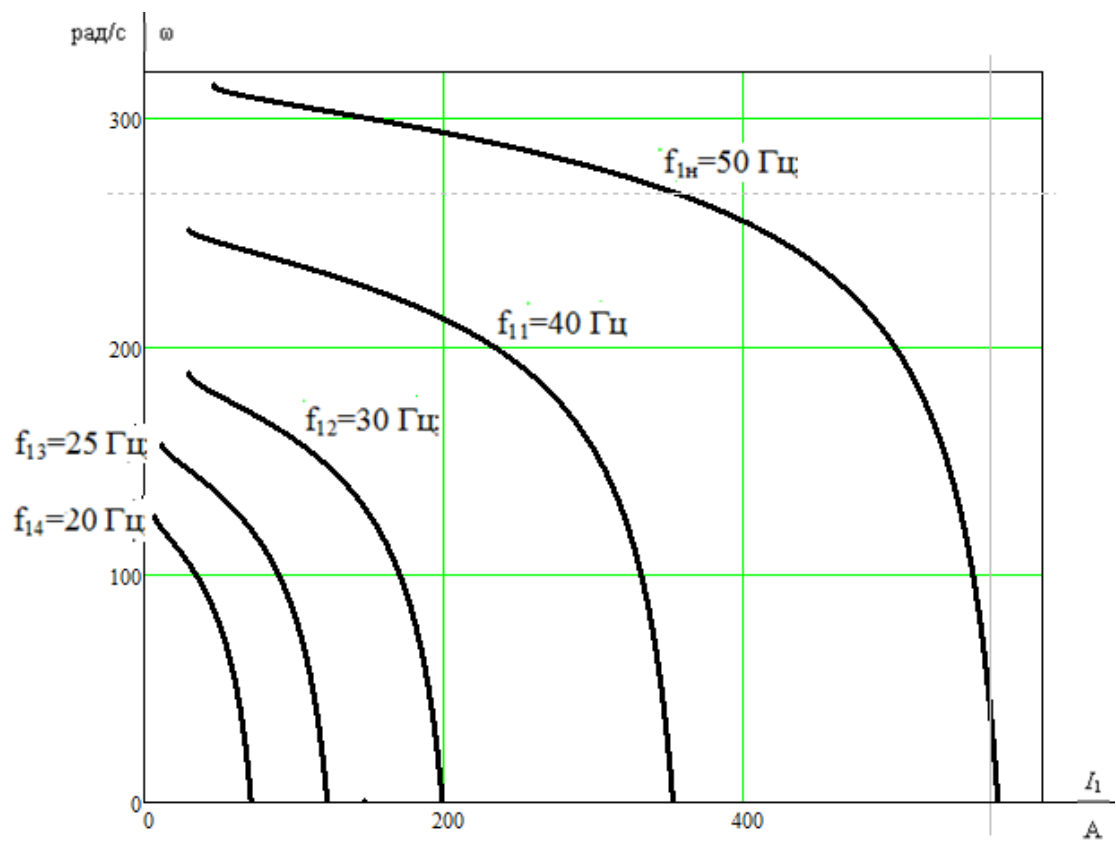


Рисунок 6 – Электромеханические характеристики двигателя ПЭДВ 65–219 при выбранном законе регулирования $U/f^3 = \text{const}$

2.7 Прямой пуск двигателя

Полученные значения подставляем в имитационную модель (рисунок 6) и, исследуя ее в программе Matlab, получаем графики переходных процессов момента и скорости электродвигателя при прямом пуске двигателя и набросе нагрузки.

Модель с ориентацией системы координат по вектору потокосцеплений ротора. Структурная схема модели асинхронного двигателя построена на системе уравнений

$$U_s = L_\sigma p I_s + (R_\sigma + \omega_k B L_\sigma) I_s + (\omega k_r B - k_r a_r + p k_r) \psi_r;$$

$$k_r R_r I_s = p \psi_r + (a_r + \beta_k B) \psi_r;$$

$$\psi_m + L_{r\sigma} I_m = \psi_r + C L_{r\sigma} I_s;$$

$$\psi_m = F_m I_m; \quad \beta_k = p(\theta_k - \theta); \quad I_s^{Fs} = A_s^{-1} I_s.$$

При допущении $l_m = \text{const}$ структурная схема модели значительно упрощается

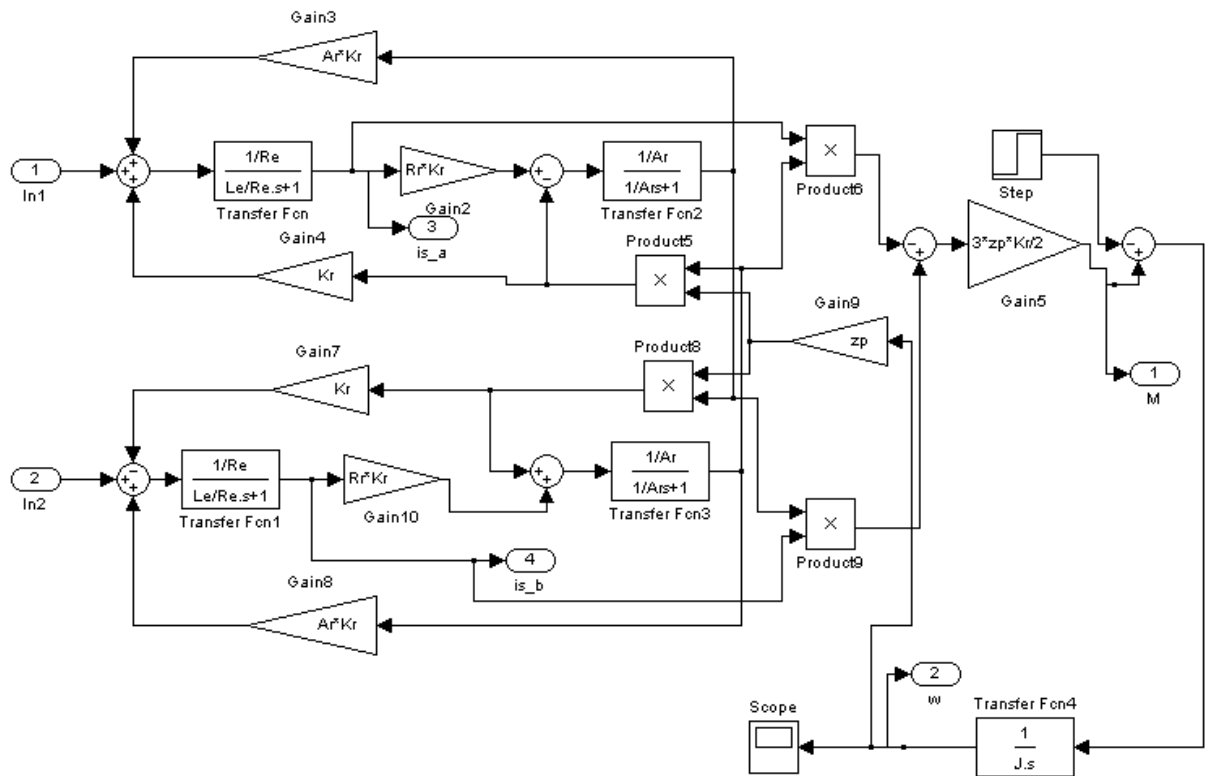


Рисунок 7 – Имитационная модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат в программной среде MATLAB Simulink

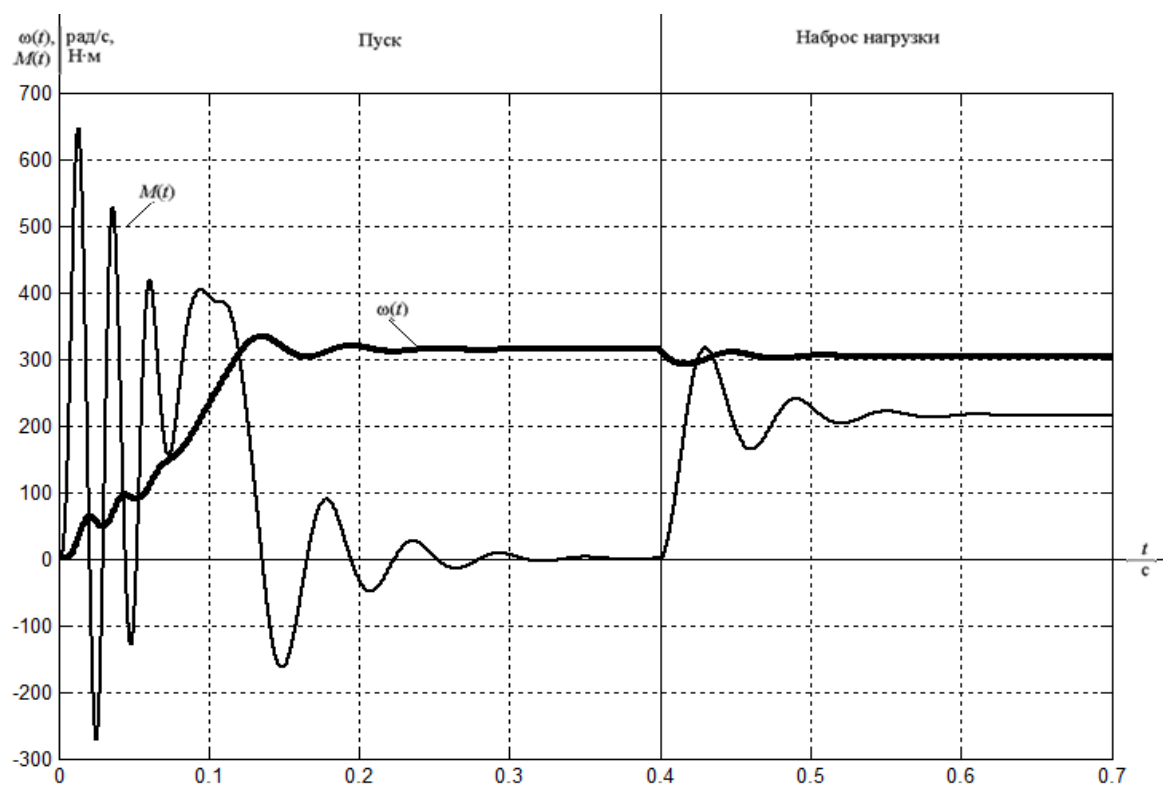


Рисунок 8 – Переходные процессы в АД при прямом пуске и набросе номинальной нагрузки

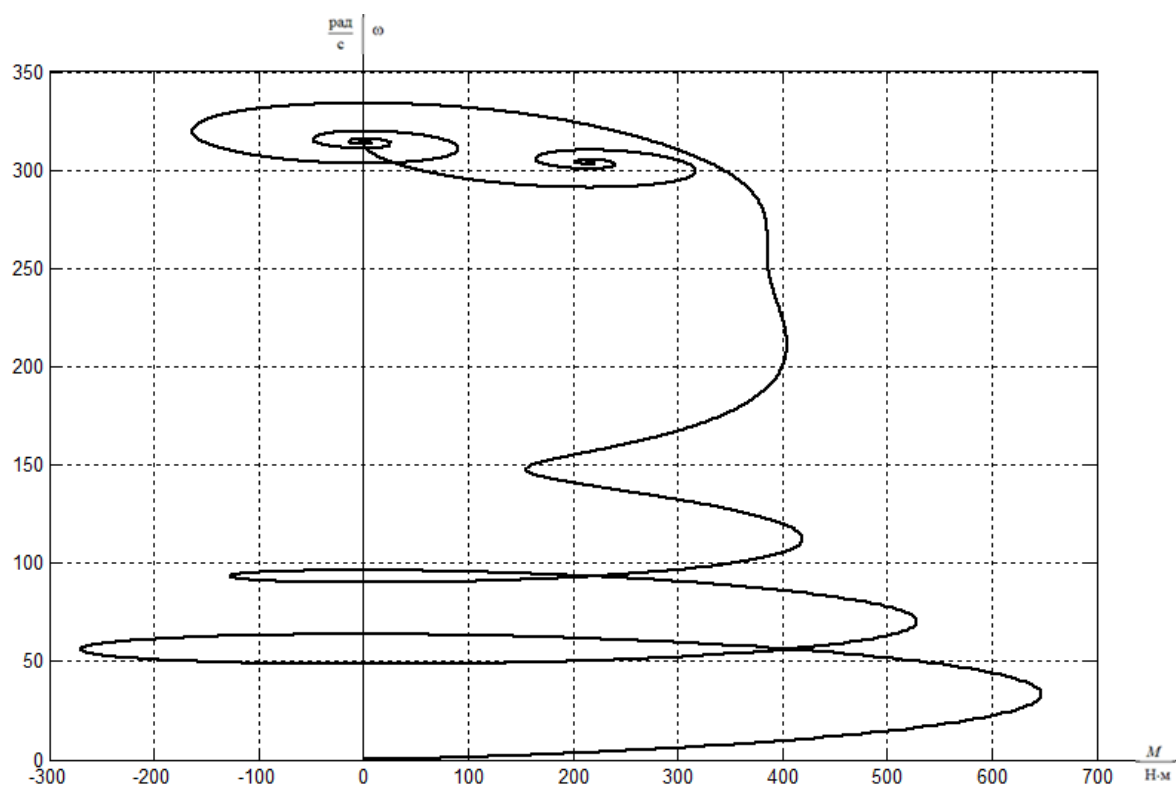


Рисунок 9 – Динамическая механическая характеристика при прямом пуске и набросе номинальной нагрузки

3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

3.1 Моделирование прямого пуска асинхронного двигателя

При исследовании динамики АД принимаем ряд допущений:

- 1) параметры обмоток всех фаз имеют одинаковые значения, т.е. имеет место симметричный режим работы;
- 2) магнитное поле электрической машины имеет синусоидальное распределение вдоль воздушного зазора;
- 3) не учитываются потери в стали, вызываемые протеканием вихревых токов в магнитопроводе двигателя и его перемагничиванием;
- 4) не учитывается насыщение магнитной цепи АД;
- 5) эффект вытеснения токов в проводниках ротора пренебрежимо мал.

Структурная схема модели асинхронного двигателя в неподвижной системе координат представлена на рисунке 11.

Полная индуктивность цепи статора:

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_\mu = 0,0005234 + 0,015 = 0,0155 \text{ Гн};$$

Полная индуктивность цепи ротора:

$$L_2 = L'_{2\sigma} + L_\mu = 0,0007 + 0,015 = 0,0157 \text{ Гн}.$$

Коэффициенты структурной схемы:

$$K_r = \frac{L_\mu}{L'_2} = \frac{0,015}{0,0157} = 0,954;$$

$$L_e = L_1 - \frac{L_\mu^2}{L'_2} = 0,0155 - \frac{0,015^2}{0,0157} = 0,001192 \text{ Гн};$$

$$R_e = R_1 + R'_2 \cdot K_r^2 = 0,074 + 0,071 \cdot 0,954^2 = 0,139 \text{ Ом};$$

$$A_r = \frac{R'_2}{L'_2} = \frac{0,071}{0,0157} = 4,654.$$

Момент инерции двигателя принимаем:

$$J_{дв} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

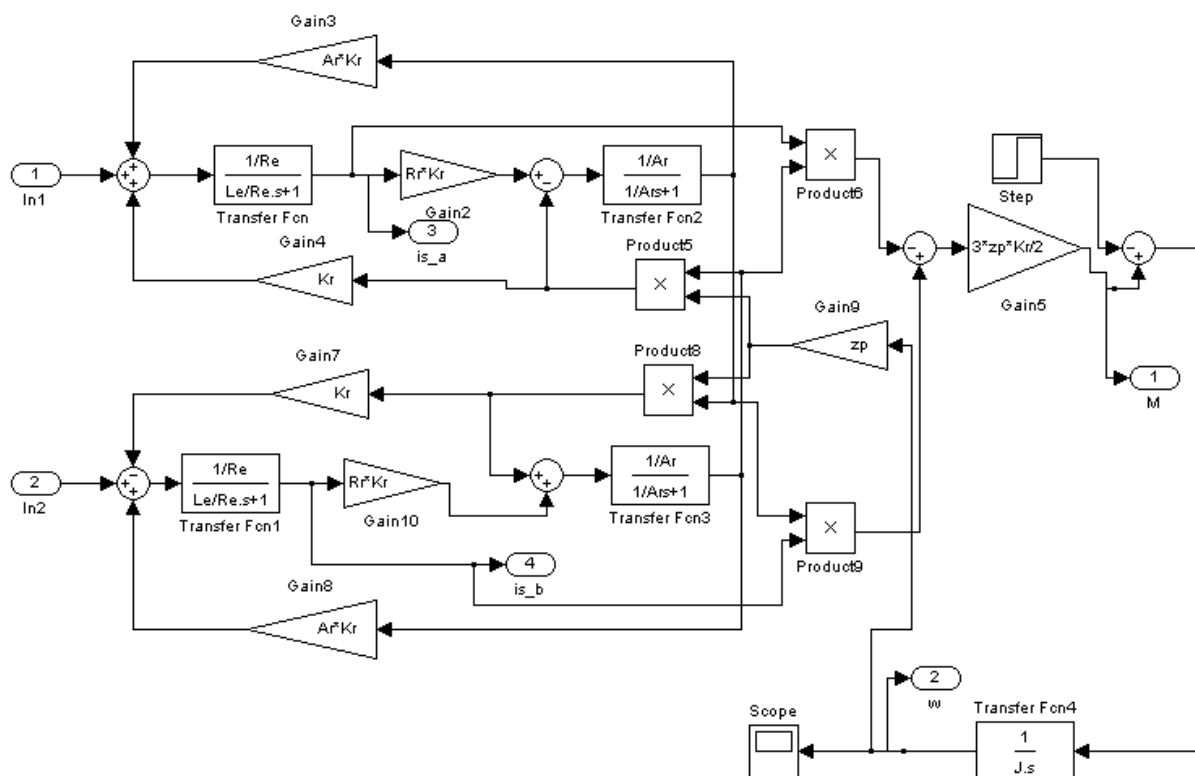


Рисунок 10 – Имитационная модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат в программной среде MATLAB Simulink

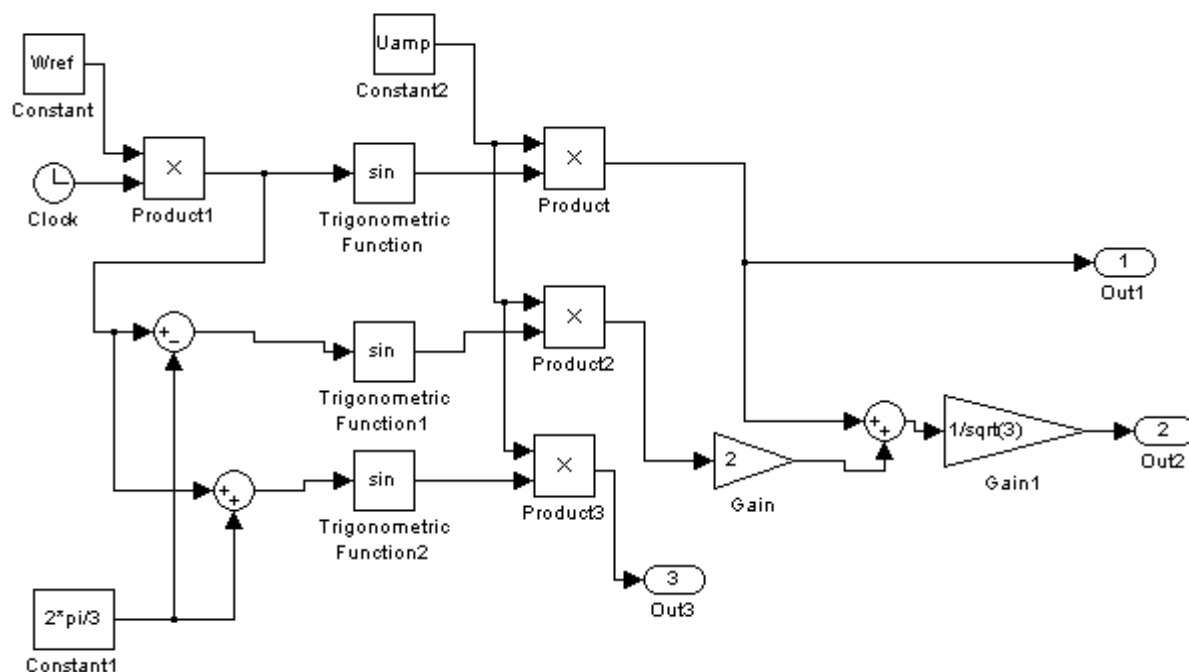


Рисунок 11 – Имитационная модель подсистемы «Source», представляющей собой источник синусоидальных напряжений, сдвинутых на 90^0 относительно друг друга

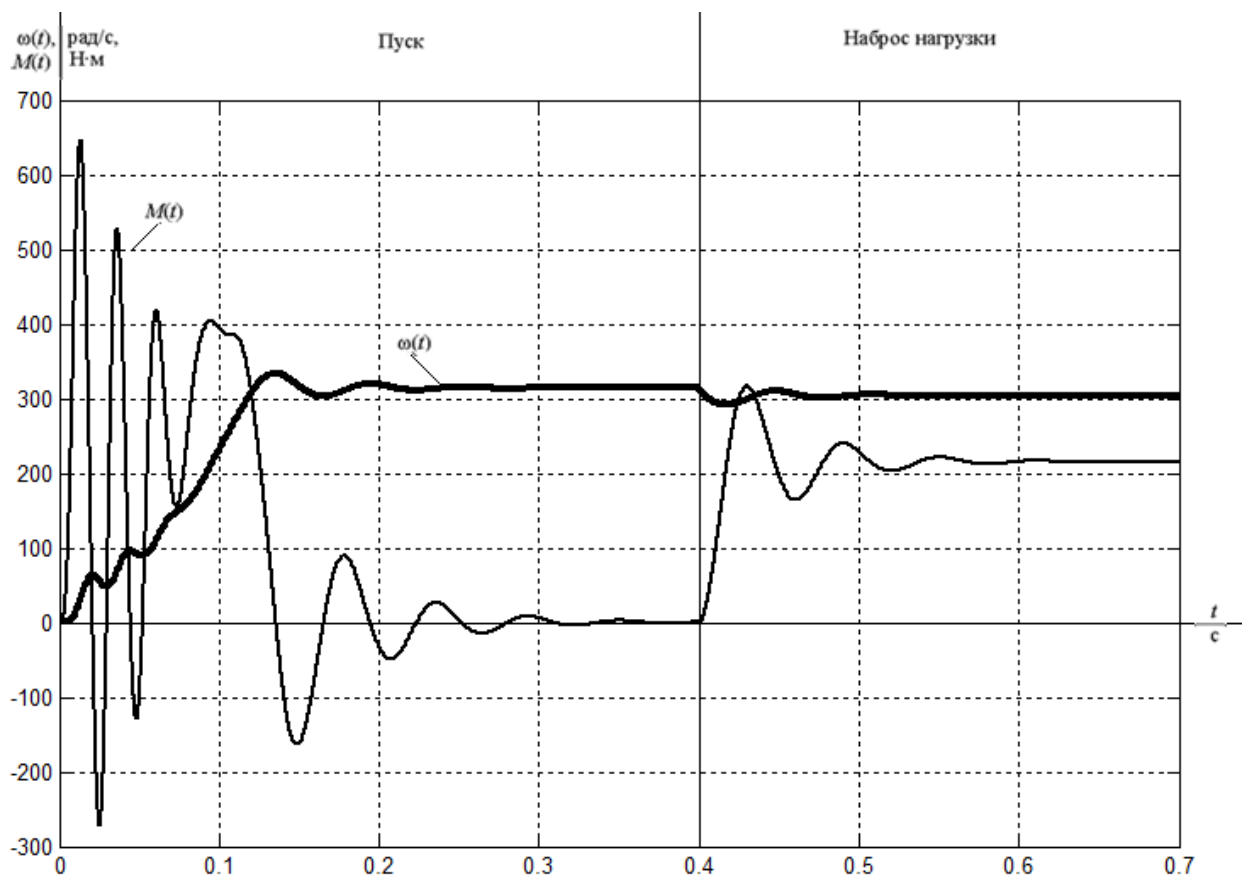


Рисунок 12 – Переходные процессы в АД при прямом пуске и набросе номинальной нагрузки

3.1.1. Моделирование прямого пуска электродвигателя с частотным законом управления $U/f^3 = \text{const}$

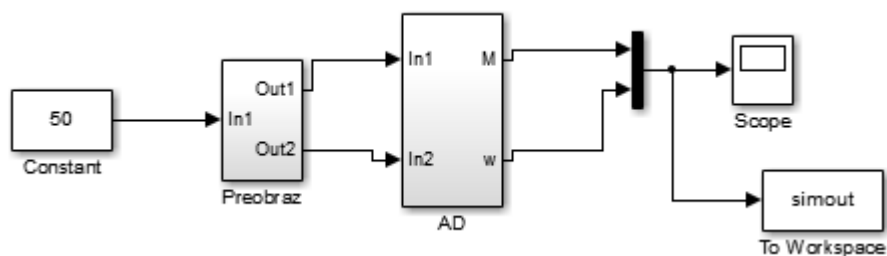


Рисунок 13 – Имитационная модель силового канала электропривода

Схема набора имитационной модели двухфазного преобразователя частоты, представленного подсистемой «Preobraz» представлена на рисунке.

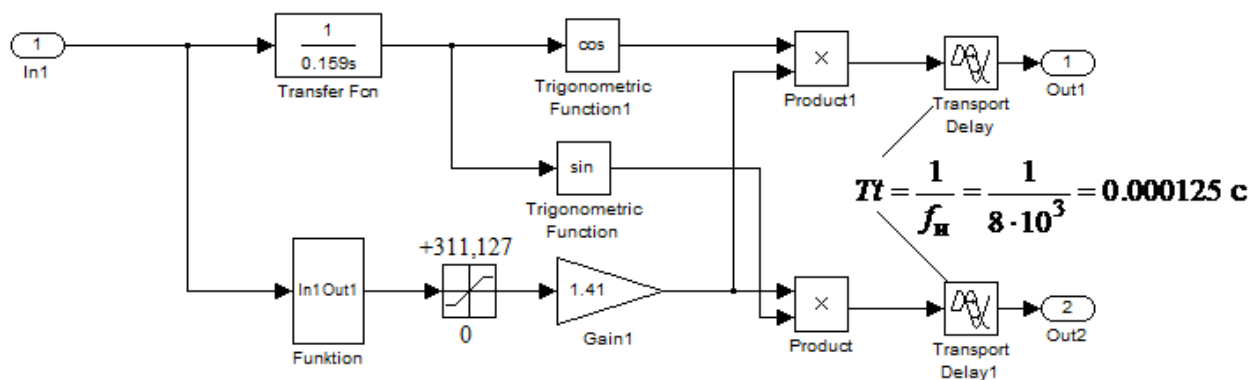


Рисунок 14 – Схема набора имитационной модели двухфазного преобразователя частоты

Подсистема «Funktion» реализует математическую функцию

$$U_{1\phi_n} \cdot \frac{f_1}{f_{1n}^3} = 220 \cdot \frac{x}{50^3}$$

– при законе регулирования $U_1 / f_1^3 = \text{const}$.

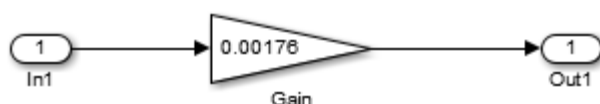


Рисунок 15 – Подсистема «Funktion» при законе регулирования $U_1 / f_1^3 = \text{const}$

Модель двухфазного асинхронного электродвигателя с нагрузкой механизма в неподвижной системе координат представлена в подсистеме «AD».

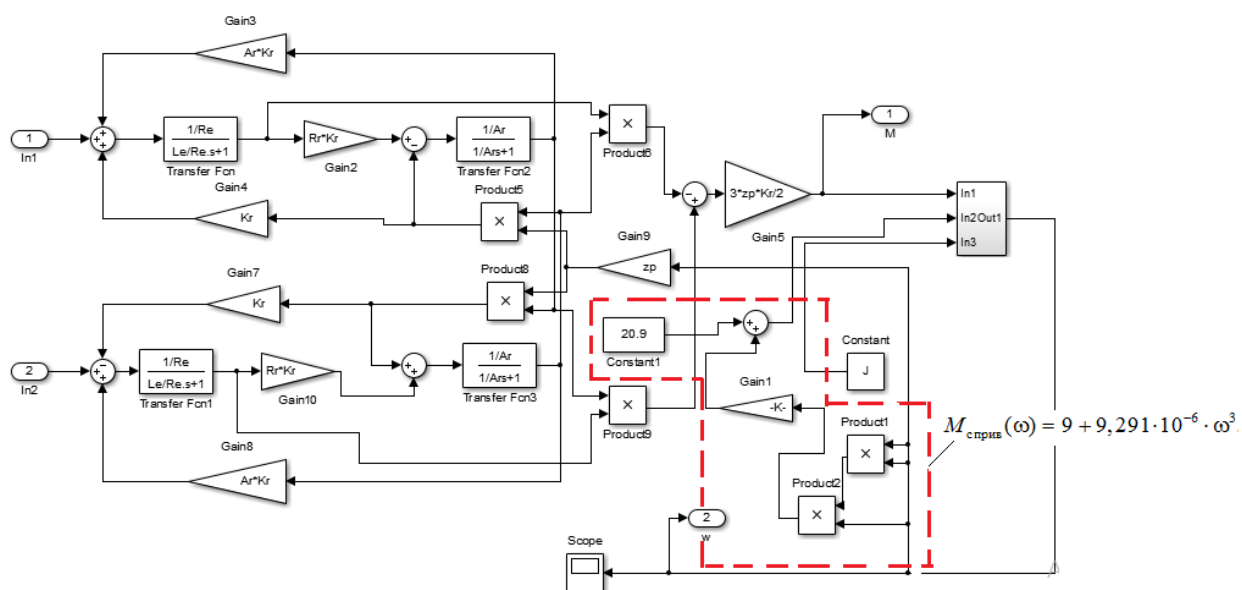


Рисунок 16 – Подсистема «AD»

Приведенный к валу эквивалентный момент инерции электропривода:

$$J_{\text{э}} = 2,5 \cdot J_{\text{дв}} = 2,5 \cdot 0,1 = 0,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

%Параметры двигателя

```
f=50;  
Rs=0.074;  
Rr=0.071;  
Ls_=0.164/(2*pi*f);  
Lr_=0.22/(2*pi*f);  
Lm=4.603/(2*pi*f);  
p=2;  
J=0.25;  
Ls=Ls_+Lm;  
Lr=Lr_+Lm;  
zp=p/2;  
Kr=Lm/Lr;  
Re=Rs+Rr*Kr^2;  
Le=Ls-Lm^2/Lr;  
Uamp=220*sqrt(2);  
Ar=Rr/Lr;  
Wref=2*pi*f;
```

Закон регулирования $U_1/f_1^3 = \text{const}$

Результаты имитационных исследований прямого пуска электродвигателя при законе регулирования $U_1/f_1^3 = \text{const}$ и значений частоты $f_{11} = 40 \text{ Гц}$, $f_{12} = 30 \text{ Гц}$, $f_{13} = 20 \text{ Гц}$ приведены, соответственно, на рисунках 20-23. $\omega(t)$

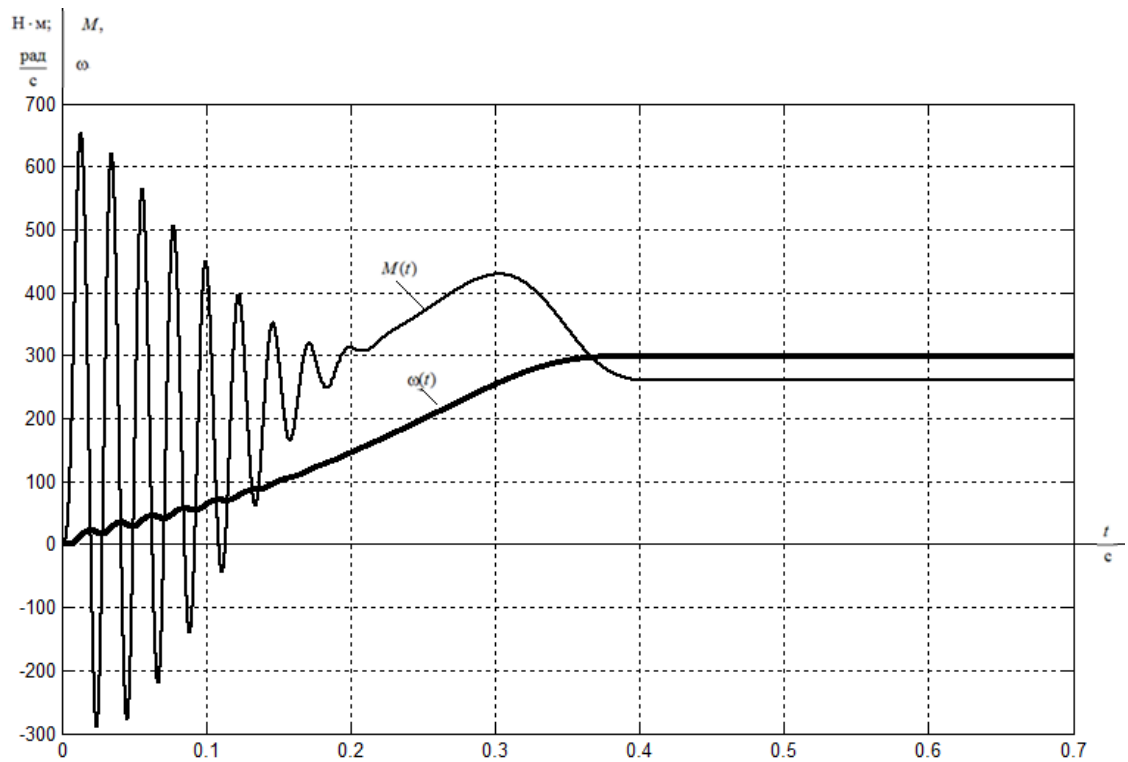


Рисунок 17 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости при значении частоты $f=50$ Гц

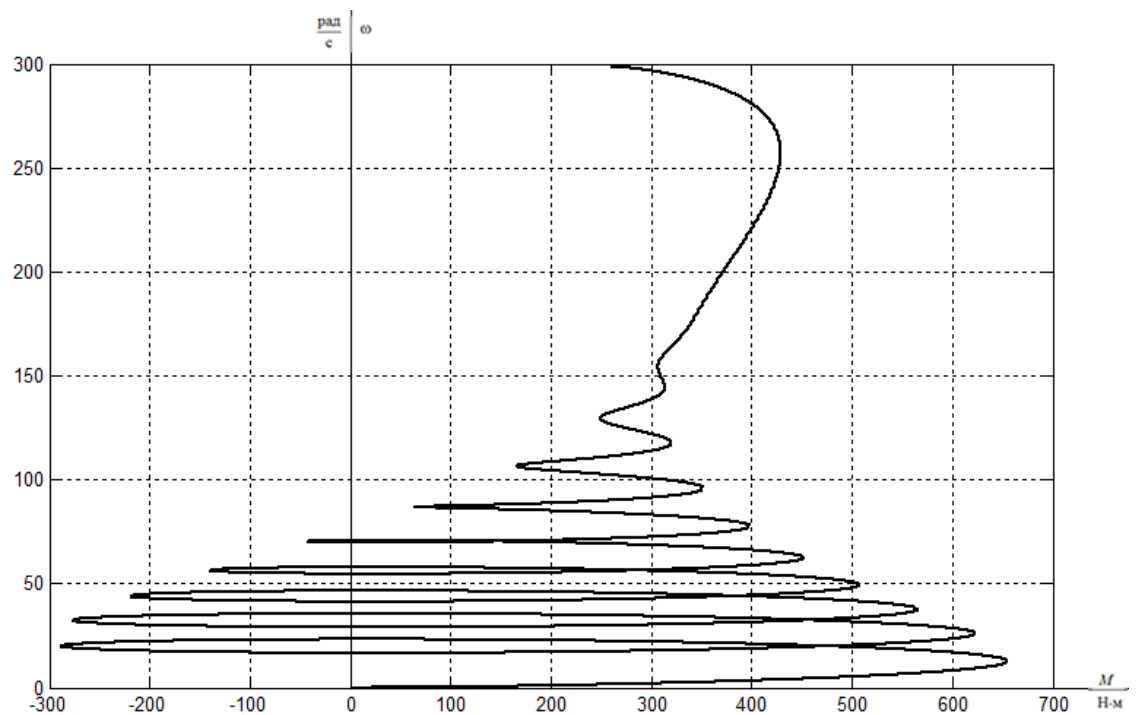


Рисунок 18 – Динамическая механическая характеристика при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости при значении частоты $f=50$ Гц

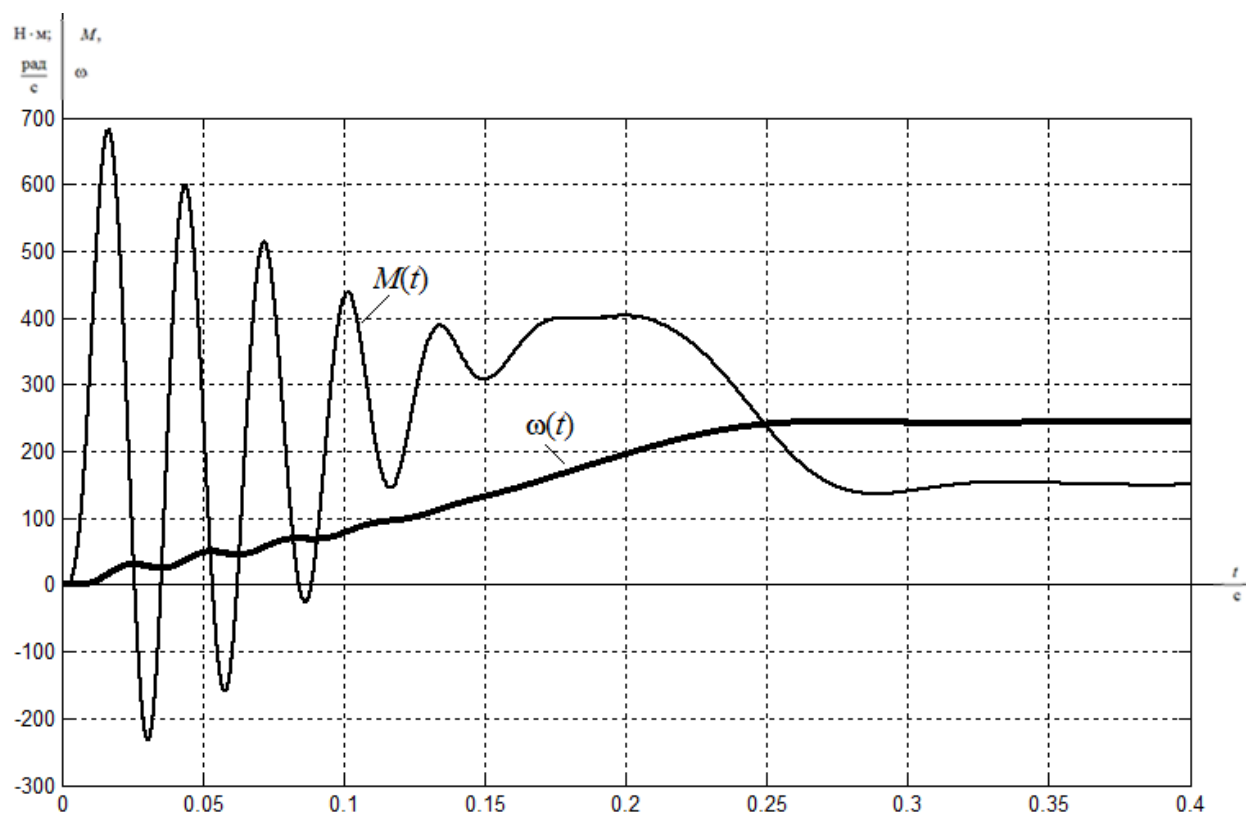


Рисунок 19 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости при значении частоты $f=40$ Гц

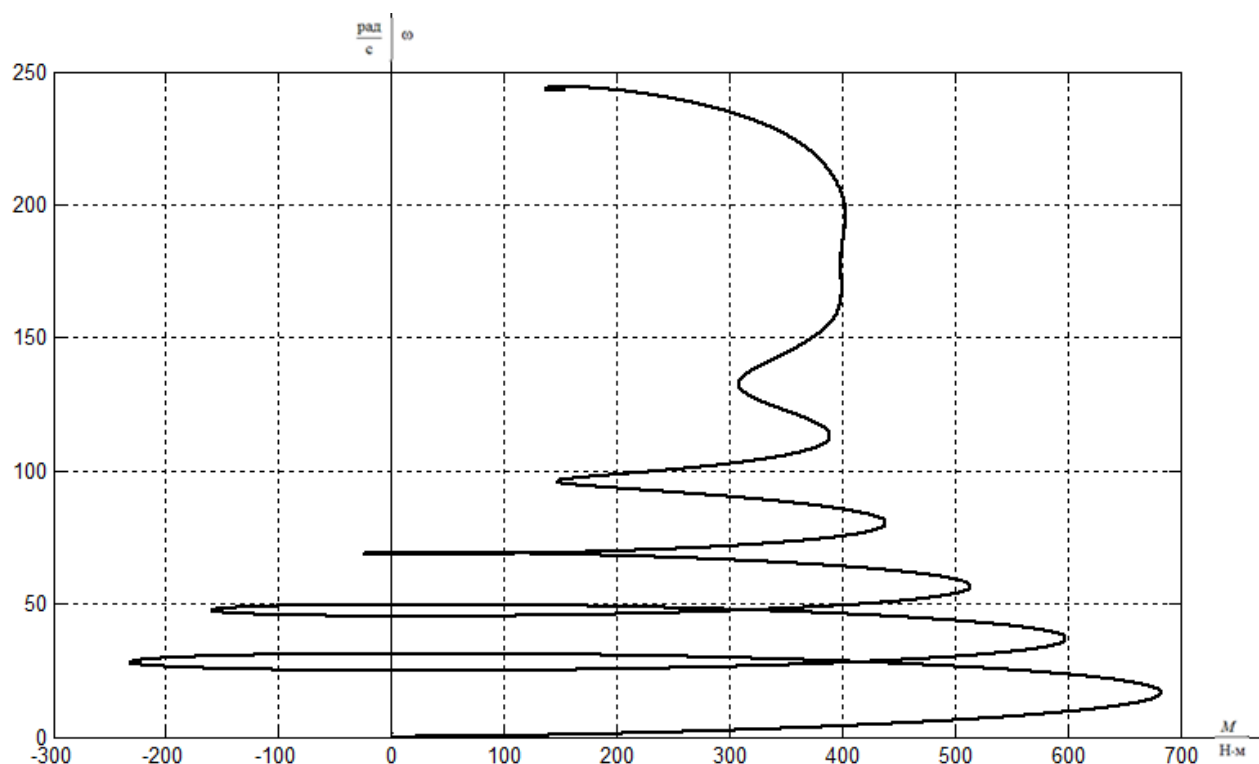


Рисунок 20 – Динамическая механическая характеристика при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости при значении частоты $f=40$ Гц

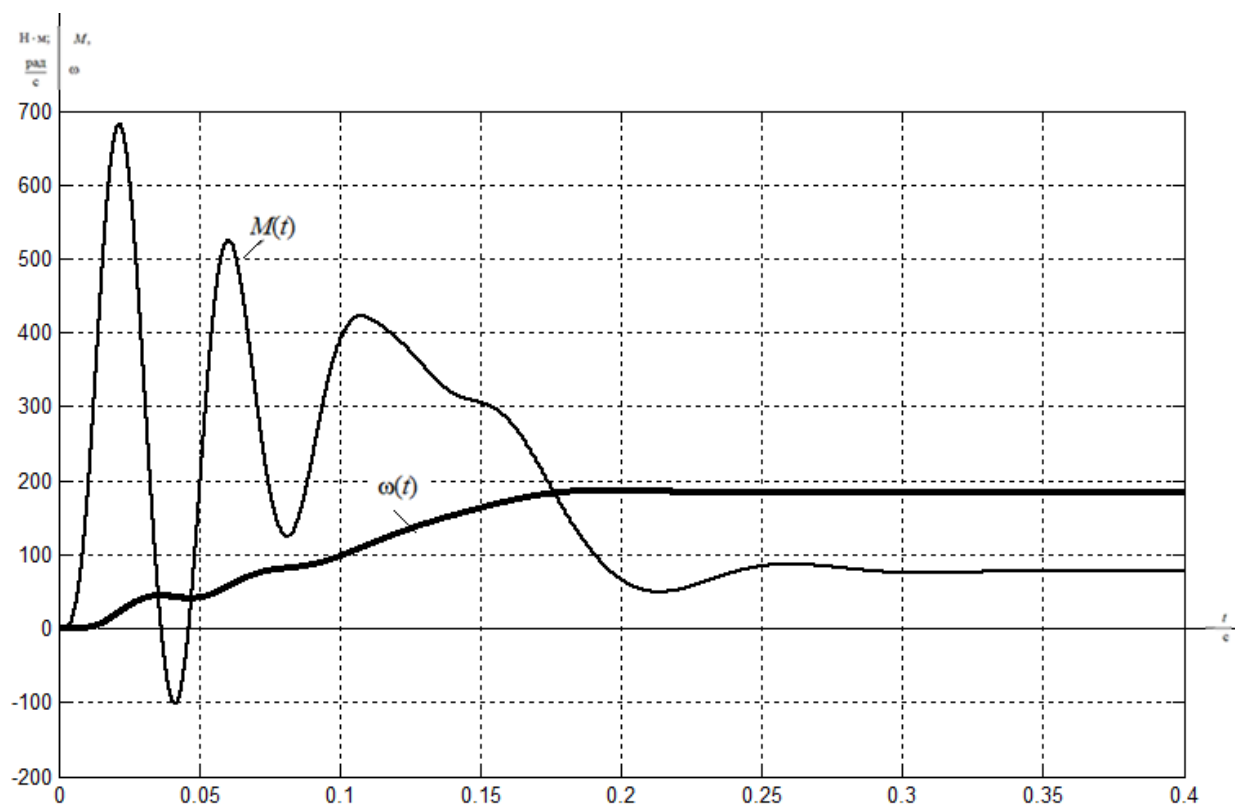


Рисунок 21 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости при значении частоты $f=30$ Гц

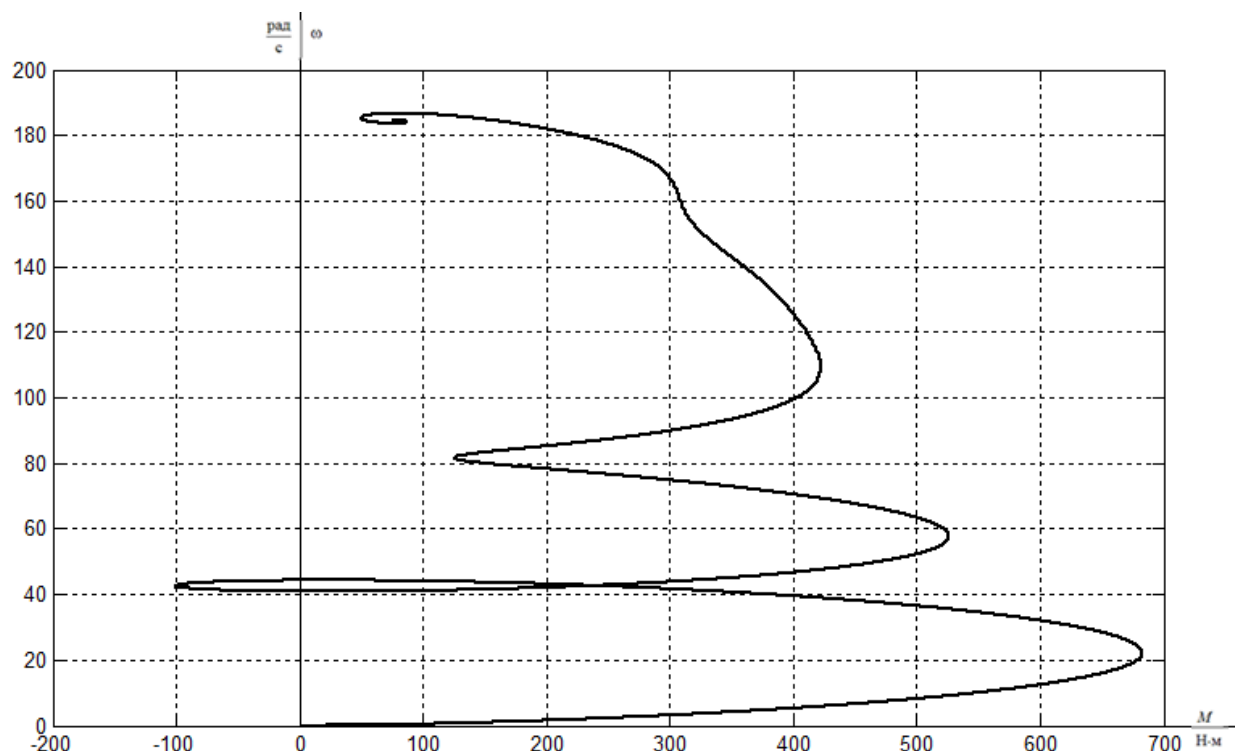


Рисунок 22 – Динамическая механическая характеристика при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости при значении частоты $f=30$ Гц

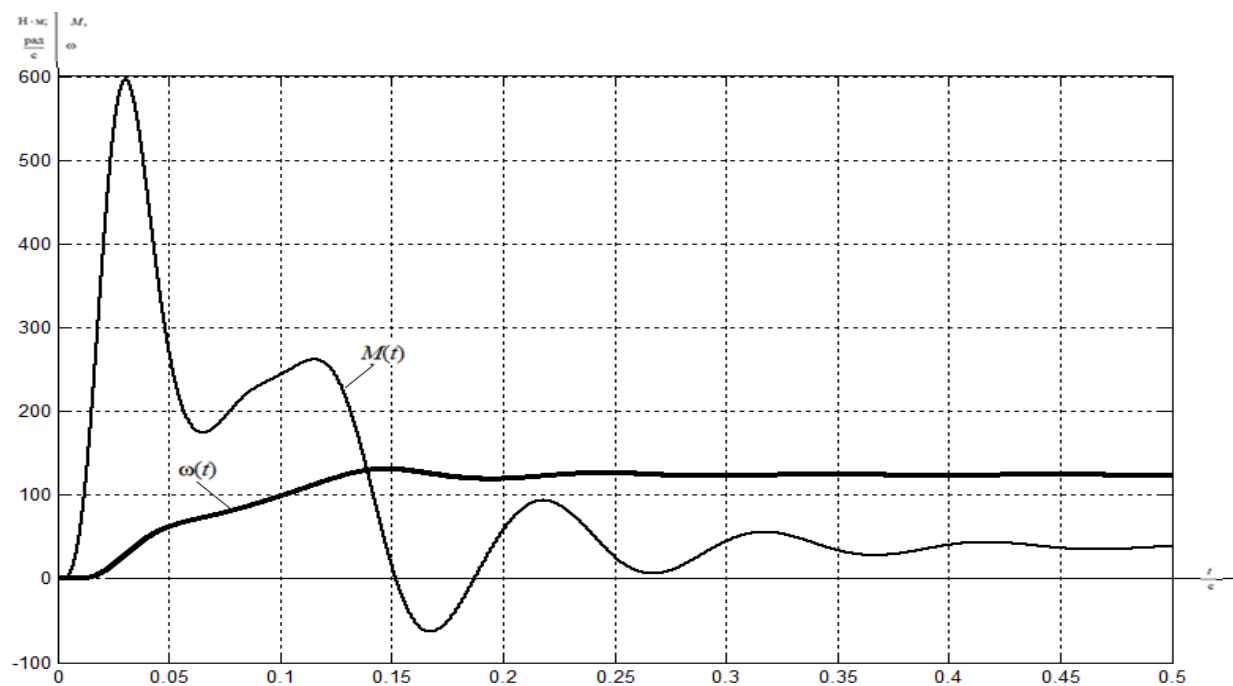


Рисунок 23 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости при значении частоты $f=25$ Гц

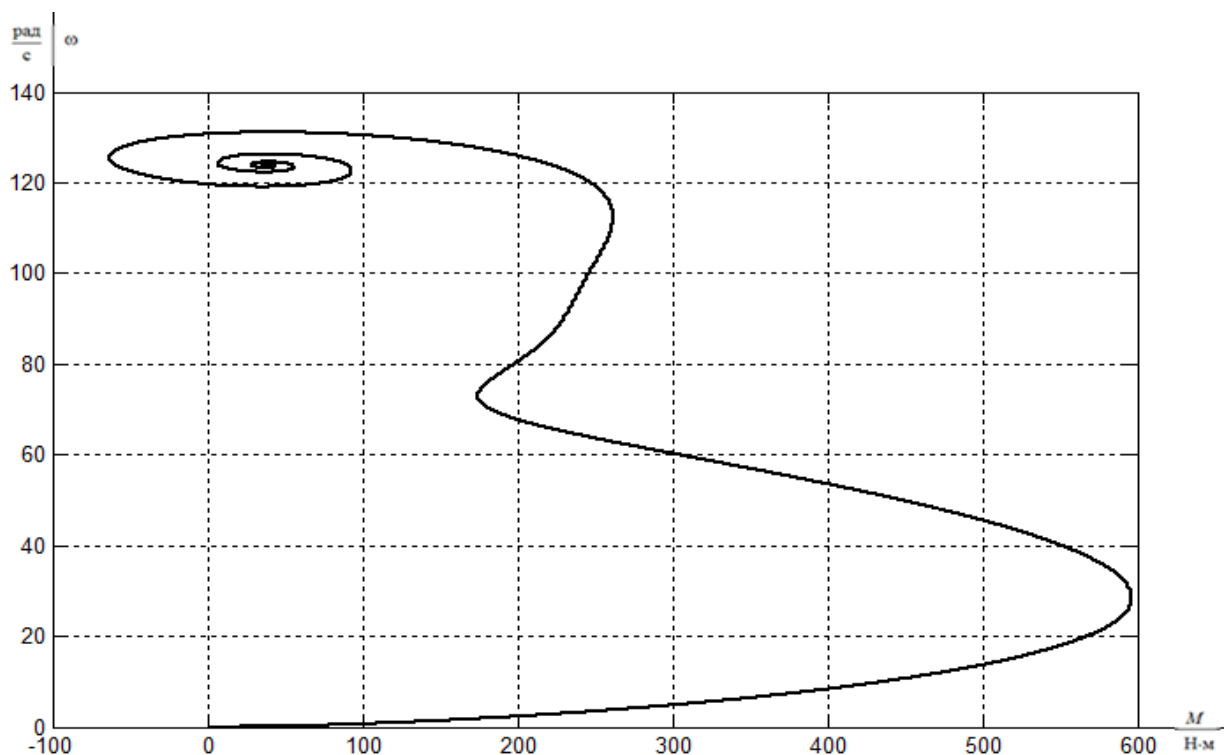


Рисунок 24 – Динамическая механическая характеристика при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости при значении частоты $f=25$ Гц

Выводы. Прямой пуск электродвигателя в системе преобразователь частоты- асинхронный двигатель с любым законом регулирования U_1/f_1 характеризуется значительными колебаниями электромагнитного момента двигателя и большими значениями пускового момента и тока статора. Такие перегрузки по току и моменту с одной стороны могут быть недопустимы для отдельных элементов привода (например, по току для преобразователя), а с другой стороны в любом случае неблагоприятно скажутся на электродвигателе, преобразователе и механизме вентилятора и приведут к сокращению срока их службы. Фактические перегрузки при прямом пуске двигателя могут быть еще больше из-за неточности принятой в расчетах модели асинхронного двигателя и её параметров в области работы с большими значениями скольжения двигателя.

Полученные результаты прямого пуска электродвигателя показывают, что прямой пуск приводного двигателя не позволит получить удовлетворительного качества переходные процессы и определяют необходимость организации плавного пуска с ограничением величины и улучшением характера временной зависимости динамического момента электропривода.

Ограничение момента двигателя в пусковых режимах в разомкнутых системах регулируемого электропривода может быть достигнуто применением задатчика интенсивности скорости во входной цепи управления электропривода.

Простейшим задатчиком скорости является линейный задатчик. Фактически установка линейного задатчика скорости обеспечивает постоянное значение темпа нарастания (спадания при торможении) скорости, т.е. постоянное ускорение (замедление) привода, что достигается поддержанием постоянного значения динамического момента электропривода. При этом электромагнитный момент электродвигателя и его максимальное значение зависят от значения статического момента нагрузки. Задатчик интенсивности с s -образной характеристикой позволит дополнительно ограничить вторую

производную скорости (темп нарастания динамического момента электропривода) и тем самым повысить плавность переходных процессов в электроприводе.

Применение задатчика интенсивности скорости простейшим образом решает проблему ограничения динамических нагрузок в электроприводах, в которых невозможны механические перегрузки в рабочих режимах.

3.2 Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением приведена на рисунке 25. В состав электропривода входят: преобразователь частоты, асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Настраиваемыми параметрами электропривода являются: тип и параметры задатчика интенсивности скорости (ЗИС), значение минимальной частоты преобразователя $f_{\text{мин}}$, закон регулирования U_1/f_1 и коррекция вольт-частотной характеристики.

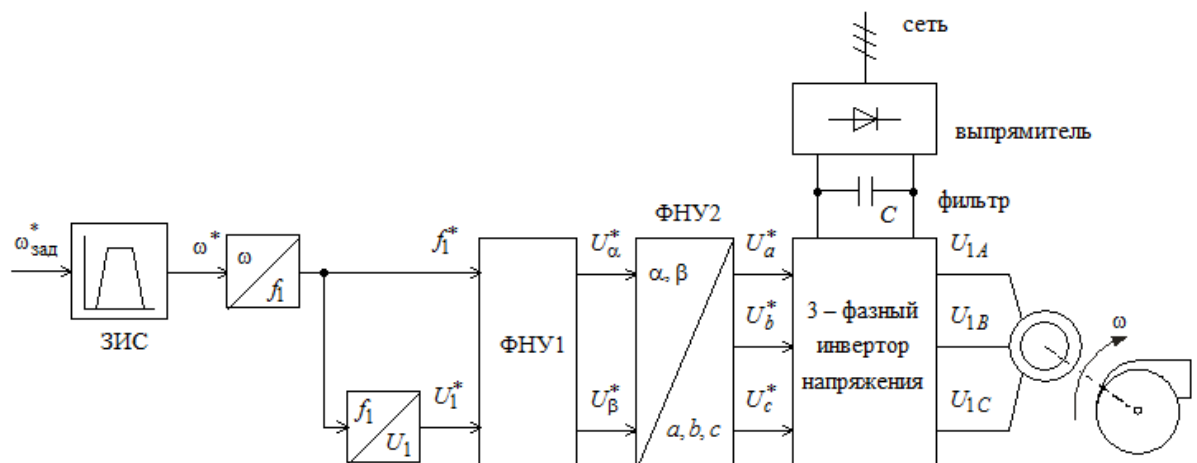


Рисунок 25 - Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

3.3 Имитационная модель асинхронного электропривода вентилятора со скалярным управлением

Схема набора имитационной модели асинхронного частотно-регулируемого электропривода со скалярным управлением приведена на рисунке 23.

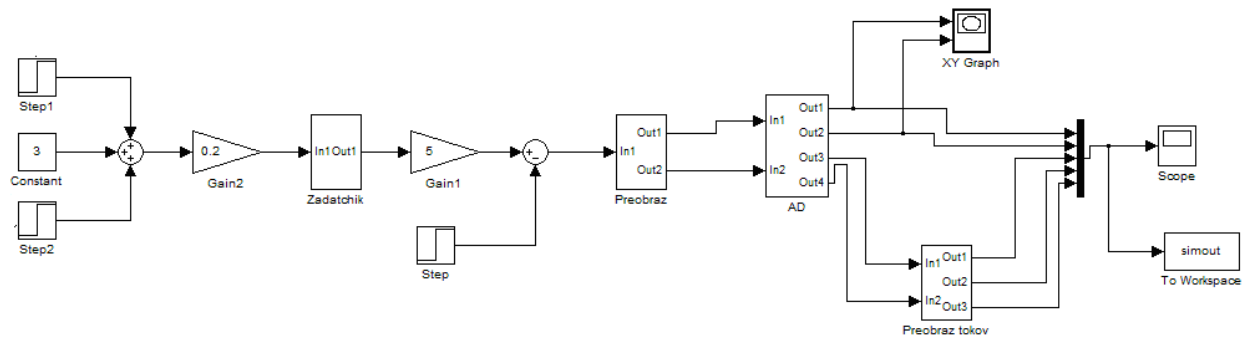


Рисунок 26 - Схема набора имитационной модели асинхронного электропривода со скалярным управлением

Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной характеристикой представлена на рисунке 24. Принята S-образная характеристика задатчика $U_{\text{зад}}(t)$ с параметрами (рисунок 25):

$$t_1 = 0.5 \text{ с}, t_2 = 1 \text{ с}, T_{\text{зи}} = 2 \cdot t_1 + t_2 = 2 \cdot 0.5 + 1 = 2 \text{ с}.$$

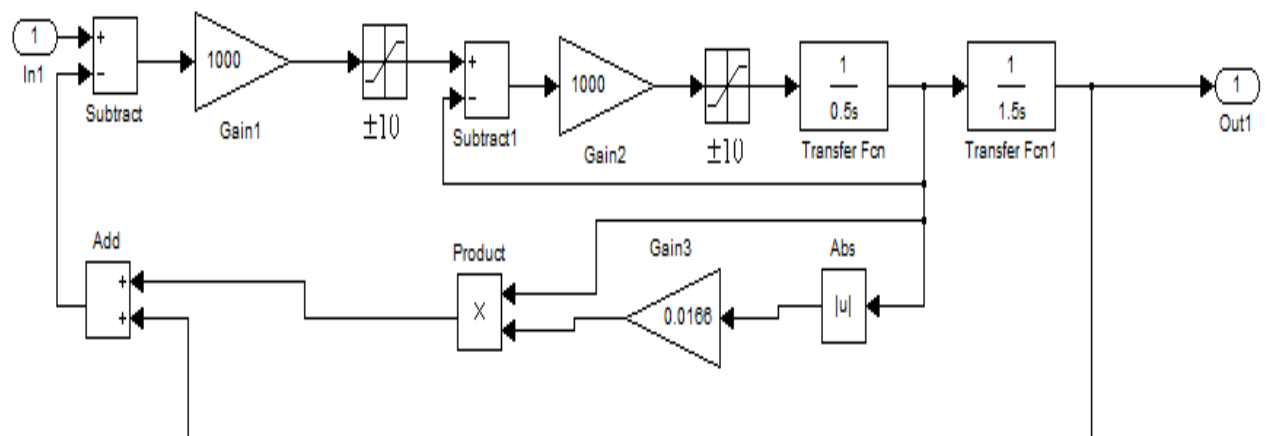


Рисунок 27 - Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности с s-образной характеристикой (подсистема «Zadatchik»)

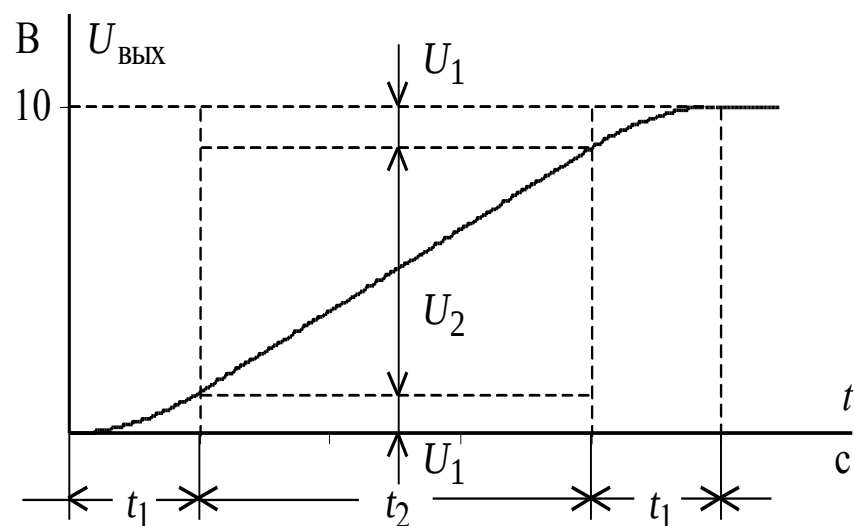


Рисунок 28 - Временная характеристика s-образного задатчика интенсивности

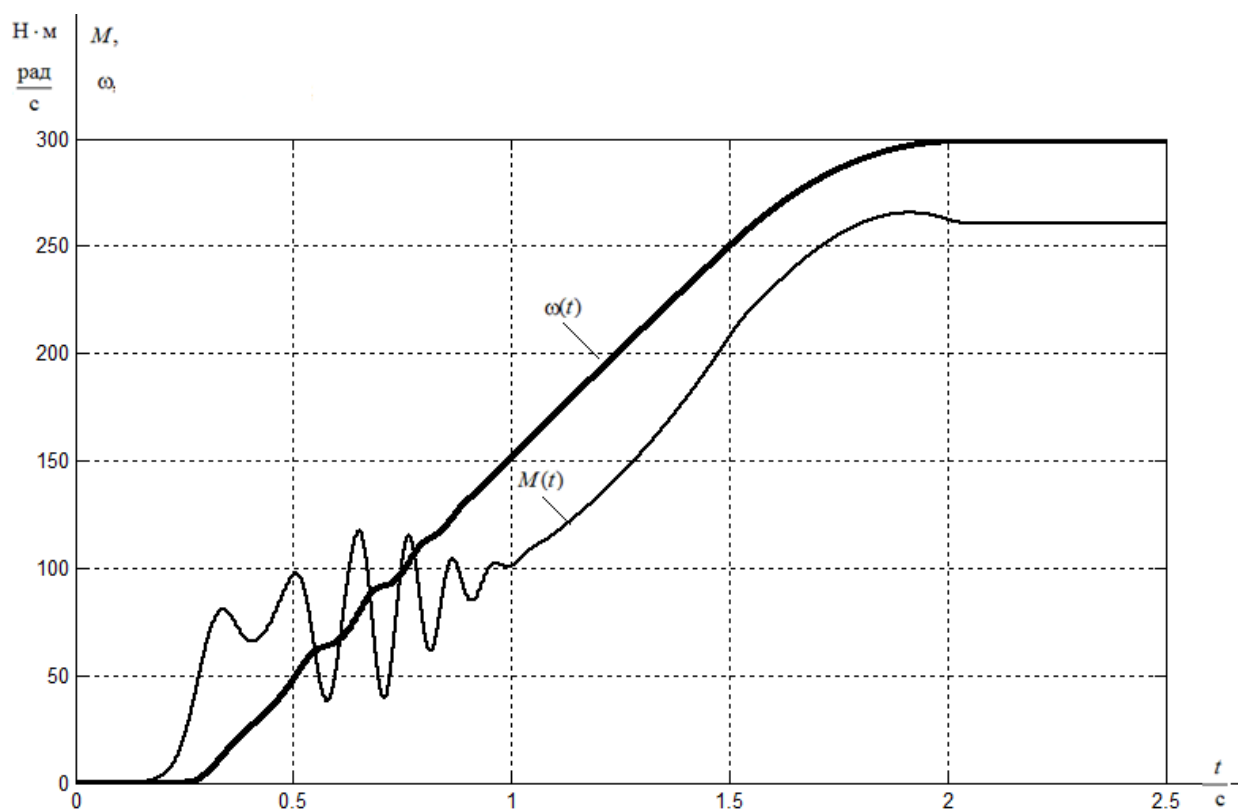


Рисунок 29 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости и задатчиком интенсивности при значении частоты $f=50$ Гц

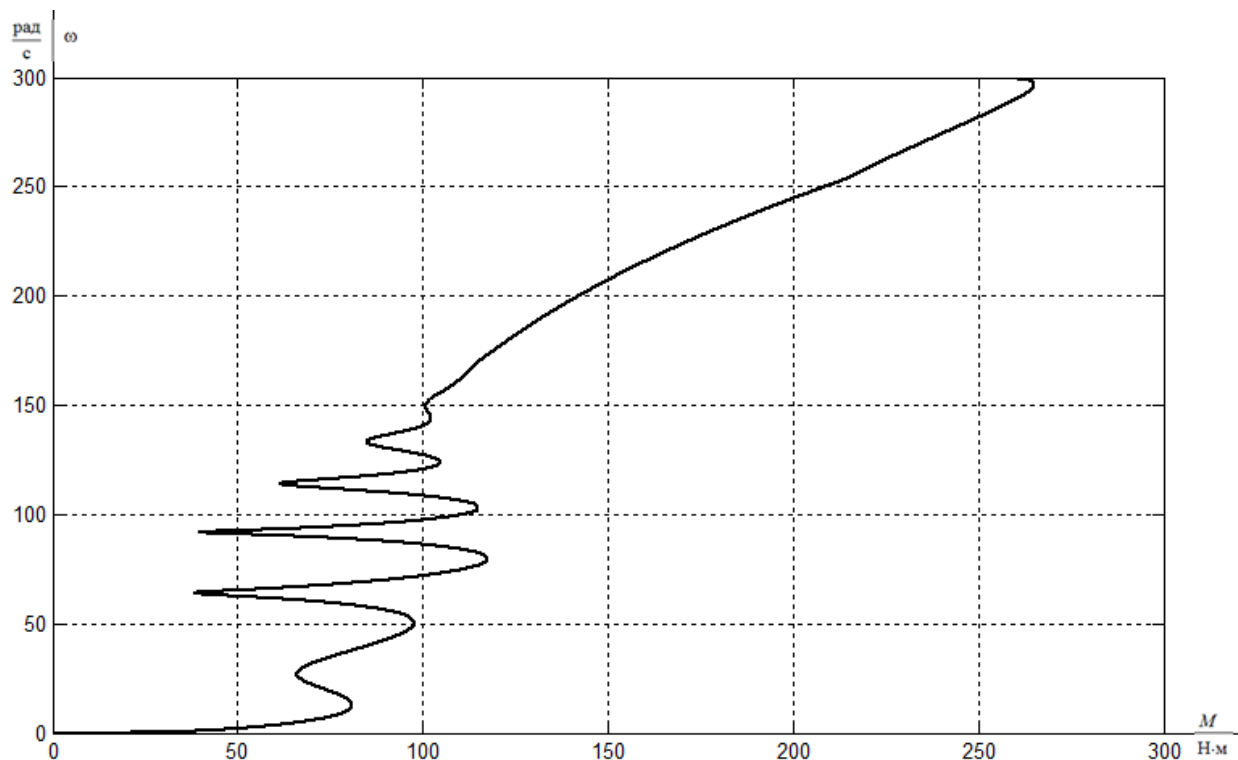


Рисунок 30 – Динамическая механическая характеристика при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости и задатчиком интенсивности при значении частоты $f=50$ Гц

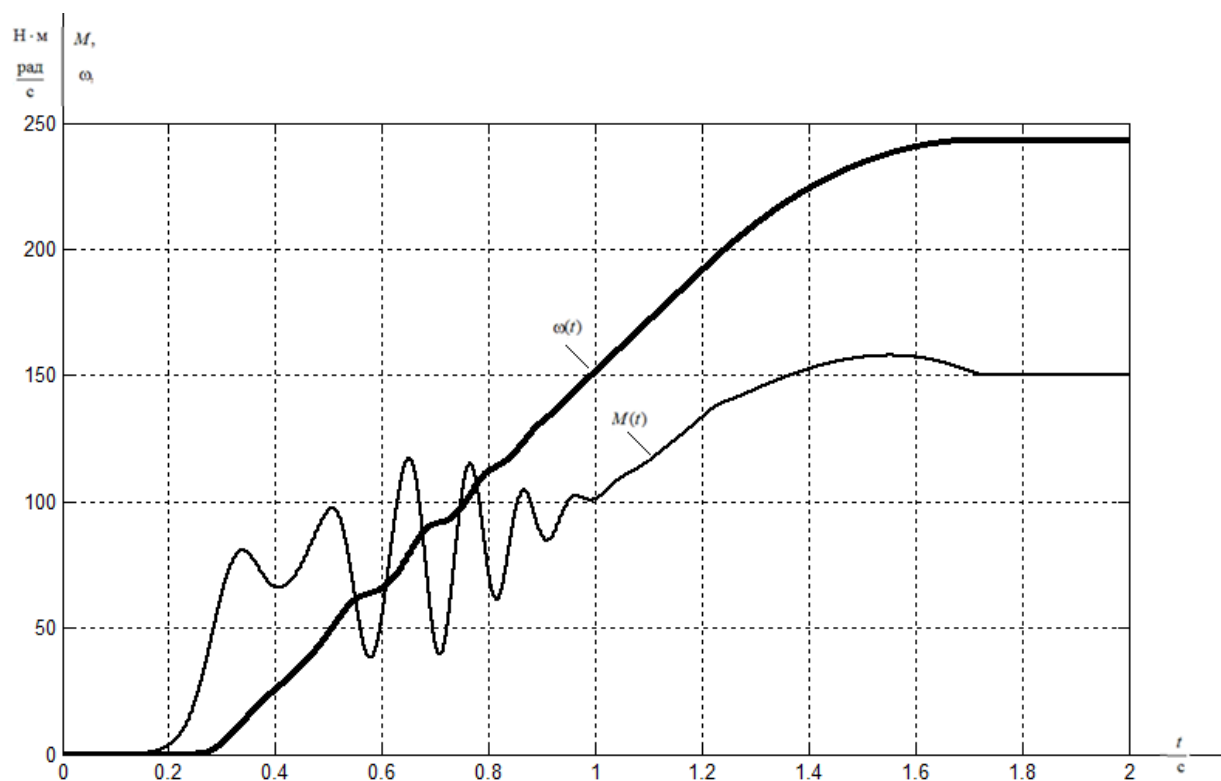


Рисунок 31 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости и задатчиком интенсивности при значении частоты $f=40$ Гц

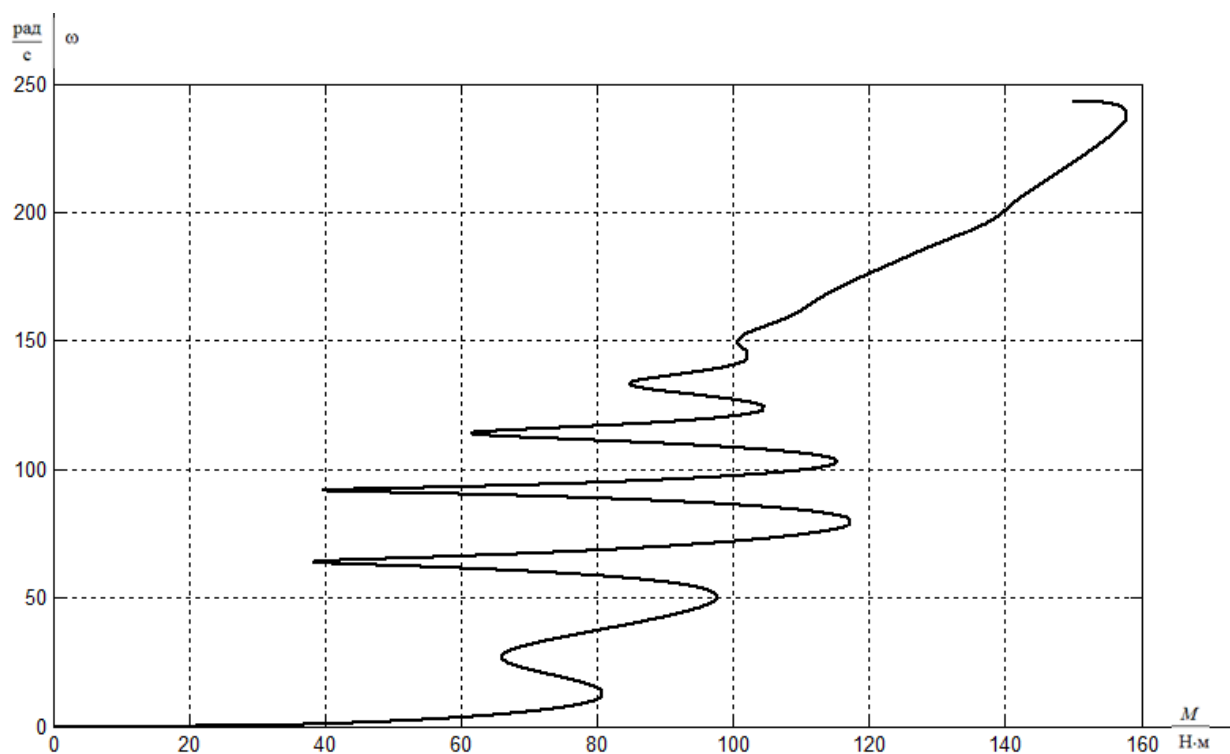


Рисунок 32 – Динамическая механическая характеристика при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости и задатчиком интенсивности при значении частоты $f=40$ Гц

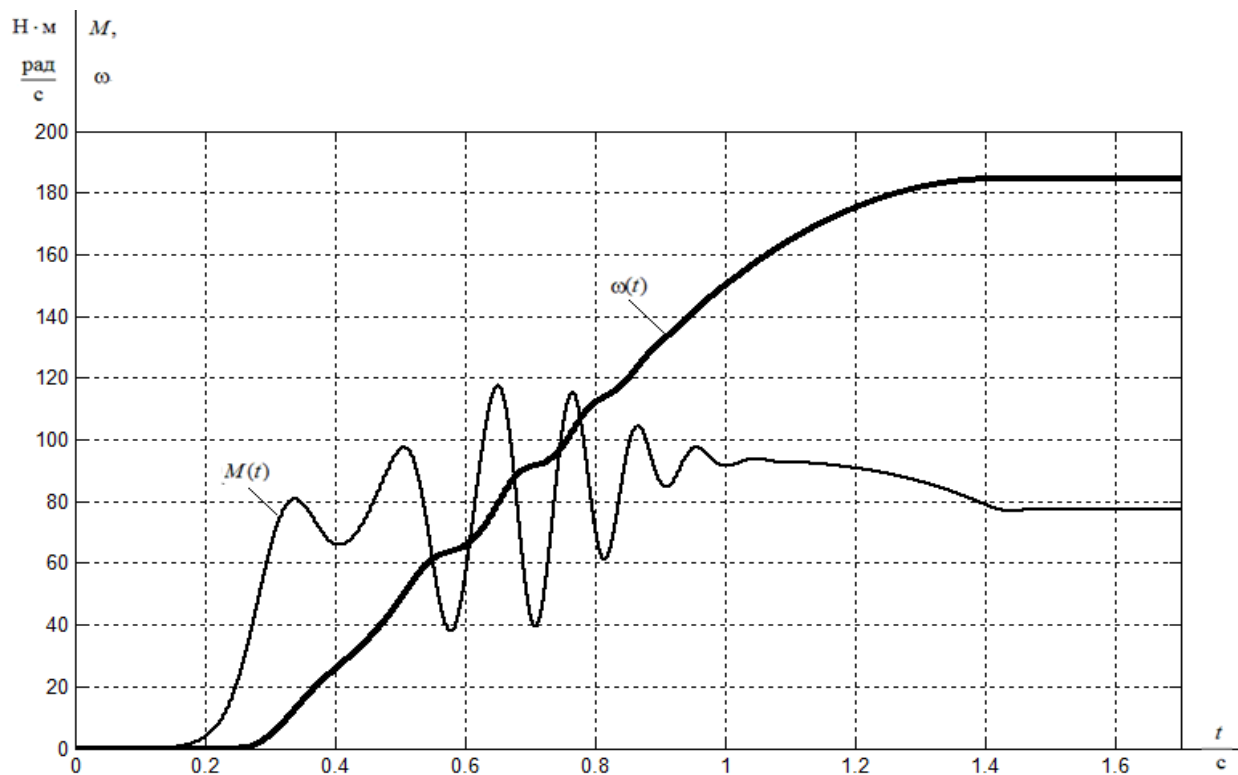


Рисунок 33 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости и задатчиком интенсивности при значении частоты $f=30$ Гц

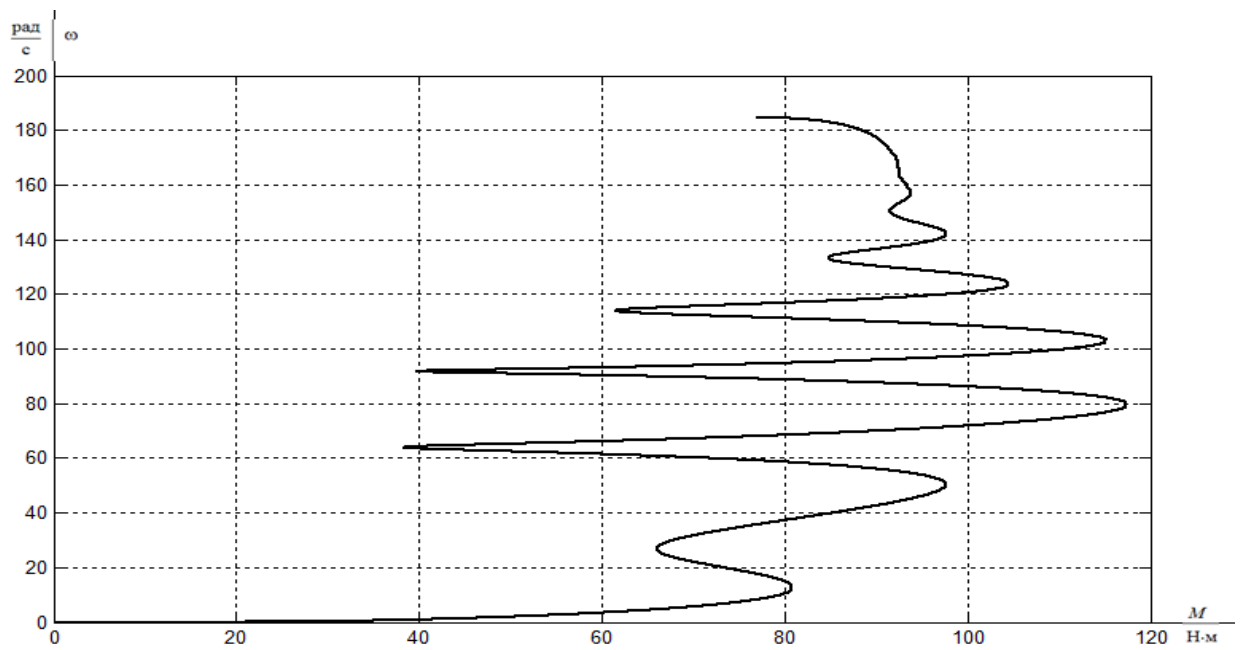


Рисунок 34 – Динамическая механическая характеристика при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости и задатчиком интенсивности при значении частоты $f=30$ Гц

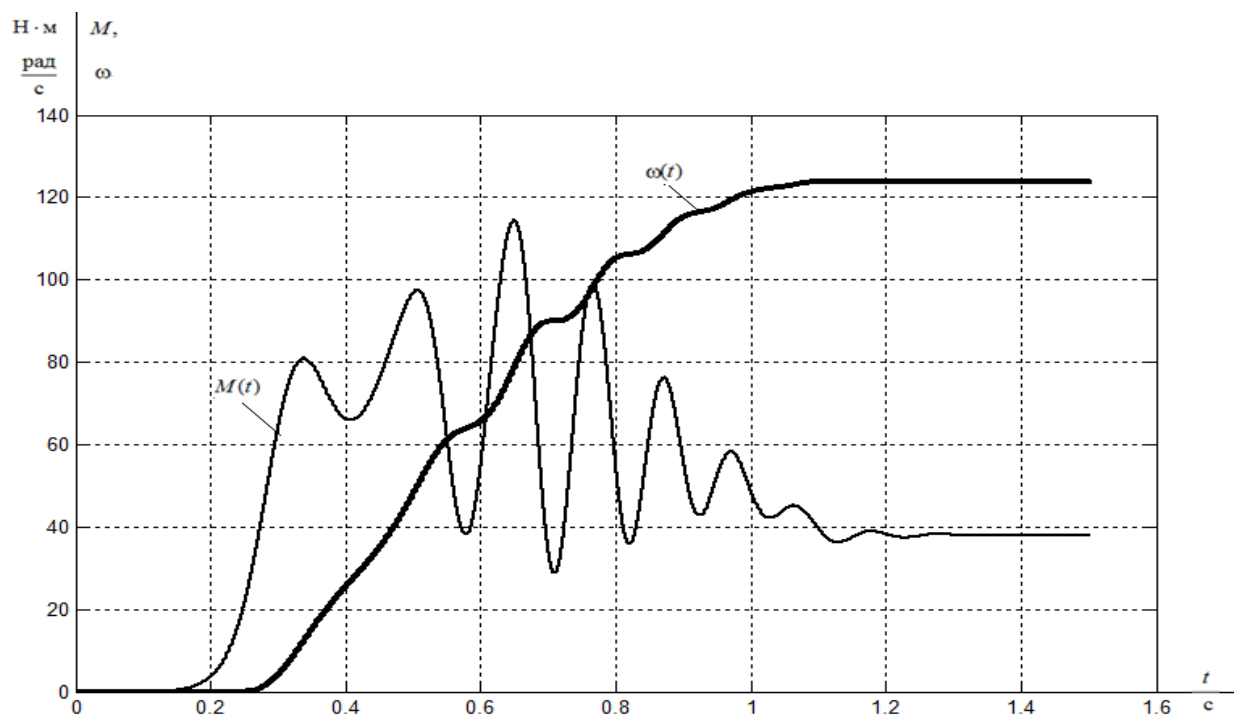


Рисунок 35 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости и задатчиком интенсивности при значении частоты $f=25$ Гц

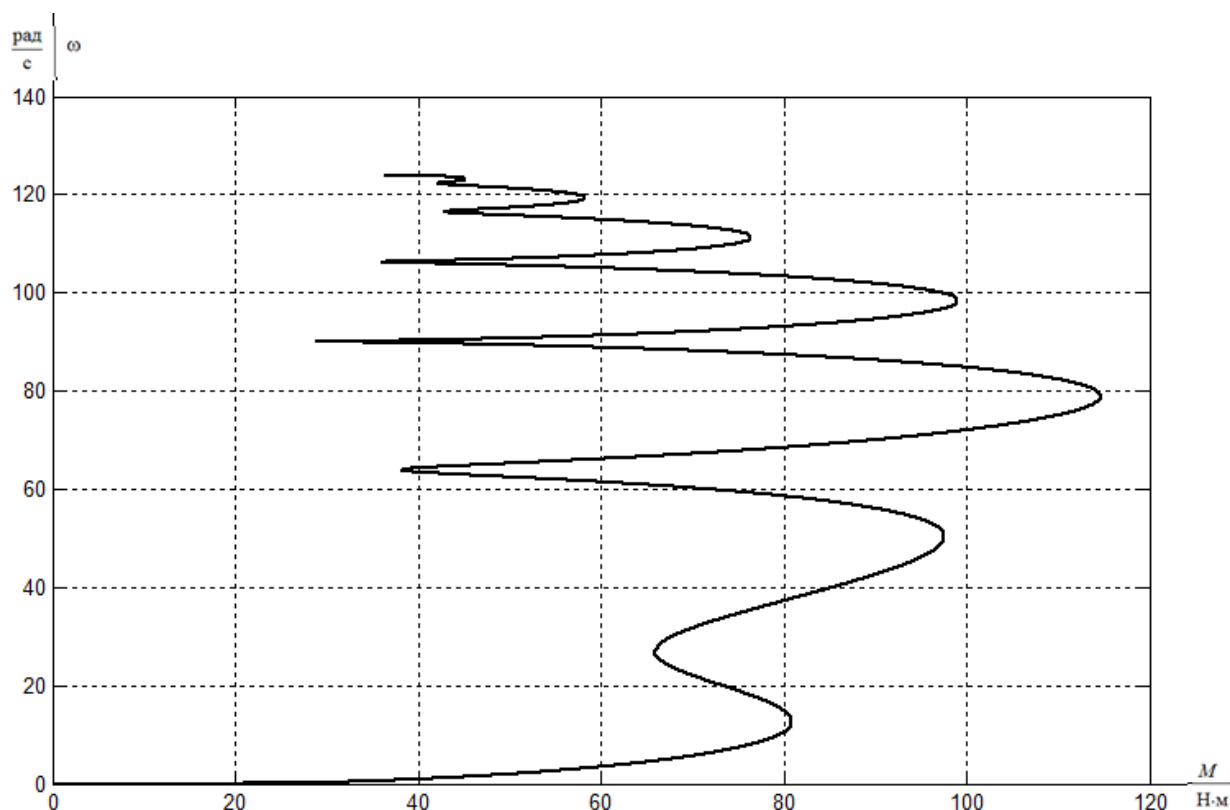


Рисунок 36 – Динамическая механическая характеристика при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости и задатчиком интенсивности при значении частоты $f=25$ Гц

Выводы. Полученные результаты имитационных исследований доказывают, что частотно-регулируемый асинхронный электропривод при скалярном управлении с частотным законом управления и задатчиком интенсивности на входе обеспечивает плавность нарастания скорости, уменьшение пусковых токов и моментов. Переходные процессы протекают за время 0.32 с при входной частоте 50 Гц, 0.22 с при входной частоте 40 Гц, 0.17 с при входной частоте 30 Гц и 0.13 с при входной частоте 25 Гц.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность технического проектирования определяется не столько масштабом проекта, оценить который на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для выполнения технологического проекта и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы будущего проекта.

Таким образом, целью данного раздела является обоснование целесообразности выпускной квалификационной работы, которая отвечает современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности выполнения технического проекта определяем с помощью SWOT-анализа;
- планирование технико-конструкторских работ;
- планирование пуско-наладочных работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

4.1 SWOT-анализ технического проекта

SWOT - анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [4].

Применительно к проекту по разработке глубинного насоса, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта; Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности; У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 4.1. На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие.

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 4.2 и 4.3, показывает, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых. Самой сильной стороной проекта является надежность и обеспечения бесперебойной работы и повышение безопасности производства, так как исчезновение питания насоса может повлечь за собой нарушение сложного технологического процесса. Кроме того, большая экономия потребляемой электроэнергии и дополнительное резервное питание насоса показывает перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 4.1 - Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Надежность обеспечения бесперебойной работы. С2. Большая экономия потребляемой эл.энергии. С3. Квалифицированный персонал. С4. Повышение безопасности производства С5. Небольшие затраты на ремонт оборудования	Слабые стороны проекта: Сл1. Повышенный уровень шума при работе. Сл2. Высокая стоимость оборудования. Сл3. Большой срок поставки оборудования и комплектующих.
Возможности: В1. Экономия производительности энергоблоков В2. Уменьшение себестоимости путем внедрения новых технологий. В3. Дополнительное резервное питание насоса. В4. Повышение стоимости конкурентных систем.	В1С1С2С3С4; В2С1С2С4С5; В3С1С4С5; В4С1С2С5.	В1Сл2; В2Сл1; В4Сл2.
Угрозы: У1. Исчезновение питания насоса. У2. Негативные изменения в отношениях с поставщиками. У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции У4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства	У1С1С3; У2С5; У3С1; У4С3.	У1Сл3; У2Сл2; У4Сл2.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица возможностей

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

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	Y1	+	-	+	-	-
	Y2	-	-	-	-	+
	Y3	+	-	-	-	-
	Y4	-	-	+	-	-
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	Y1	-	-	+		
	Y2	-	+	-		
	Y3	-	-	-		
	Y4	-	+	-		

4.2 Разработка графика проведения работ технического проекта

Важной частью данного проекта является составление графика проведения работ технического проекта (ТП), который предназначен для распределения обязанностей по выполнению работ и определения временных рамок производимой работы.

Весь комплекс работ разобьем на 11 этапов, а осуществит его группа из 4-х человек в следующем составе:

1. Научный руководитель;
2. Бакалавр – проектировщик;
3. Инженер – электроник;
4. Инженер – программист.

В ходе построения графика учитывается один основной фактор-трудоемкость работы.

4.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Методика оценки приведена в [5].

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

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

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

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

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

Результаты расчетов приведены по этапу и исполнителю в таблице 4.4.

4.2.2 Разработка последовательного комплекса работ проекта

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [5].

В приведенной выше таблице номерам этапов работы соответствуют следующие виды выполняемых работ:

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

№ 2 – изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – сбор исходных данных – сбор параметров глубинного насоса, двигателей, нагрузок;

№4 – подготовка данных, ввод нагрузок в спецпрограмму ЭВМ;

№5 – расчет на ЭВМ нагрузок глубинного насоса;

№ 6 – выбор оборудования – выбор элементов электропривода;

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

№ 8 – проверка правильности выбора оборудования;

№ 9 – настройка совместной работы оборудования и программного обеспечения;

№10 - оформление пояснительной записки

№11 – сдача проекта – в рамках дипломной работы включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовку к защите и защиту проекта.

По результатам расчетов строится диаграмма Ганта, приведенная в таблице 4.5.

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 11 декад, начиная с последней декады февраля и заканчивая первой декадой июня. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Продолжительность выполнения технического проекта составит 92 рабочих дня. Из них:

30 дней - продолжительность ПНР

61 день – продолжительность выполнения работ дипломником;

5 дней – продолжительность выполнения работ руководителем;

4.3 Составление сметы технического проекта

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [5]. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- затраты на спец.оборудование ;
- полная заработная плата исполнителей разработки ТП;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Материальные затраты в данном техническом проекте не рассчитываются, так как дополнительные материалы (соединительные провода, шлейфы и т.д.) укомплектованы вместе с оборудованием.

Таблица 4.4 – Календарная продолжительность работ

№ этапа работы	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, $t_{\min}$, чел.-дн.	Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы, $t_{\max}$, чел.-дн.	Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, $t_{\text{ож}}$, чел.-дн.	Продолжительность одной работы, T_p , раб.дн.
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1	1
2	Изучение литературы	Дипломник	8	12	9,6	10
3	Сбор исходных данных	Дипломник	4	6	4,8	5
4	Подготовка и ввод данных в ЭВМ	Дипломник	4	6	4,8	5
5	Расчет на ЭВМ нагрузок насоса	Дипломник	4	6	4,8	5
6	Выбор оборудования	Дипломник	4	6	4,8	5
		Руководитель	1	1	1	1
7	Расчет элементов электропривода, построение характеристик	Дипломник	8	12	9,6	10
		Руководитель	1	1	1	1
8	Проверка правильности выбора оборудования	Дипломник	8	12	9,6	10
		Руководитель	1	1	1	1
9	Настройка совместной работы оборудования и программного обеспечения	Инженер – электроник	24	31	29,8	30
		Инженер – программист	24	31	29,8	30
10	Оформление пояснительной записки	Дипломник	8	12	9,6	10
11	Сдача проекта	Дипломник	1	1	1	1
		Руководитель	1	1	1	1

Таблица 4.5 – Диаграмма Ганта

№ этапа работ	Вид работ	Исполнители	Продолжительность одной работы дн.	Продолжительность выполнения работ по декадам										
				Фев.	Март			Апрель			Май			Июнь
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Составление ТЗ	Р	1	-										
2	Изучение литературы	Д	10		-									
3	Сбор исходных данных	Д	5			-								
4	Подготовка и ввод данных в ЭВМ	Д	5			-								
5	Расчет на ЭВМ нагрузок насоса	Д	5				-							
6	Выбор оборудования	Д	5				-							
		Р	1				-							
7	Расчет элементов эл.привода, построение характеристик	Д	10					-						
		Р	1					-						
8	Проверка правильности выбора оборудования	Р	10						-					
		Д	1						-					
9	Настройка совместной работы оборудования и программного обеспечения	ИП	30							-				
		ИЭ	30							-				
10	Оформление ПЗ	Д	10										-	
11	Сдача проекта	Р	1											-
		Д	1											-
*)Примечание « Д » – дипломник, « Р » – руководитель, « ИЭ » – Инженер - электроник, « ИП » – Инженер - программист.														

Стоимость спец. оборудование для запуска глубинного насоса приведена в таблице 4.6.

Таблица 4.6 Стоимость оборудования

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена, тыс.руб.
Электродвигатель ПЭДВ 65 - 219(65кВт)	1	228
Преобразователь частоты HMS Control L3-160-IP54-Y2	1	60
Комплектующие		25
Пускатель Sigma Elekrik SCM-150	1	5
Итого		318

Первоначальная стоимость оборудования рассчитывается по формуле:

$$C_{OB} = Ц \cdot k_{Tp}$$

где: C_{OB} - первоначальная стоимость оборудование

$Ц$ - цена оборудование

k_{Tp} - коэффициент учитывавшее транспортные расходы,

Принимаем $k = 1,2$

$$C_{OB} = 318 \cdot 1,2 = 380 \text{ тыс.руб.}$$

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

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

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

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

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

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

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. (таблица 4.4).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{допл}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по окладу, руб.;

$Z_{\text{допл}}$ – доплаты и надбавки (коэффициент премии) , руб.(50%);

$Z_{\text{р.к.}}$ – районная доплата, руб.(30%);

$F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 Расчёт основной заработной платы исполнителей

Работники	Оклад руб.	Доплаты и надбавки, руб.	Районная доплата, руб.	Зарплата месячная, руб	Средняя -дневная заработная плата, руб.	Продолжительность работ, раб. дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	23264	2200	7639	33103	1273	5	6360
Инженер – электронщик	20000	10000	9000	39000	1772	30	53160
Инженер-программист	17800	8900	8010	34710	1577	30	47310
Дипломник	7864	–	2359	10223	393	61	23970
Итого $Z_{\text{осн}}$, руб.							130800

Расчет дополнительной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы

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

Расчёт полной заработной платы приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8. – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	коэффициент дополнительная заработная плата	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработной плата, руб.
Руководитель	0,15	6360	940	7300
Инженер – электронщик	0,12	53160	6340	59500
Инженер – программист	0,12	47310	5690	53000
Дипломник	0,12	23970	2830	26800
Итого		130800	15800	146600

4.3.1 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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

$$k_{внеб} = 30,2\%$$

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 146600 = 44,2 \text{ тыс. руб.}$$

4.3.2 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование, амортизация оборудование, административные учетные расходы, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, и т.д.

Величину накладных расходов принимаем в размере 16% от общей суммы затрат.

4.3.3 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная выше величина затрат технического проекта является основой для формирования сметы затрат проекта, который при договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Затраты на технический проект в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Затраты на спец. оборудование	380,0	56,0
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	146,6	21,0
3. Отчисления во внебюджетные фонды	44,2	7,0
4. Накладные расходы	109,2	16,0
Итого	680,0	100,0

Исходя из представленной выше таблицы 4.9, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 680 тыс.руб. Из которых более половины (56 %) составляют затраты на ПНР.

4.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности [5] проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию глубинного насоса рекомендуется мной рассмотреть следующие критерии:

- Надежность насоса - это длительный эксплуатационный ресурс (в частности, в условиях электросетей, не гарантирующих стабильного напряжения). Надежность электроснабжения обеспечивается дополнительным резервным питанием, что позволяет обеспечить бесперебойность в работе.

- энергосбережение насоса - это экономия электрической энергии. Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.

- материалоемкость насоса - это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме. При проектировании глубинного насоса значительную часть общего электропотребления компенсируем за счет энергосберегающей политики.

- помехоустойчивость насоса - это способность сигнала противостоять действию помех (т.е. сохранять содержащуюся в нём информацию, несмотря на действие помех) . Помехоустойчивость достигается за счет классификации всех электроприемников по степени их помехоустойчивости и выбора точки их подключения с учетом электромагнитной обстановки. Эти меры позволяют снизить помехи электроприемников.

- удобство - это возможностей для лёгкого управление и демонтажа глубинного насоса. Удобства управление осуществляется использованием частотного-регулированием привода а удобства демонтажа не очень высок т.к насос находится на глубине.

- производительности труда — это показатель, характеризующий результативность труда, осуществляется в проекте благодаря автоматизации, но при этом капиталовложения возрастают.

Сравнительная оценка характеристик проекта ресурсоэффективности приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Надежность	0,25	5
2. Энергосбережение	0,25	5
3. Материалоемкость	0,15	4
4. Помехоустойчивость	0,10	5
5. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4
6. Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	5
Итого:	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,10 = 4,7$$

Показатель ресурсоэффективности имеет высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности, помехоустойчивости, а также энергосбережения позволяют судить о надежности системы.

- произведен SWOT - анализ, который выявил, что сильных сторон у проекта гораздо больше, чем слабых, а это говорит о перспективности проекта в целом. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

- составлен график занятости для исполнителей позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителей.

- рассчитана смета затрат на выполнение технического проекта составила 680 тыс.руб.

- определен показатель ресурсоэффективности проекта, который имеет достаточно высокое значение – 4,7 (по 5- балльной шкале).

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В данной выпускной квалификационной работе был разработан электропривод подкачивающего насоса ЭЦВ-12-160-100, служащего для обеспечение водой котельной. Целью данного раздела является анализ и оценка вредных, и опасных факторов труда, которые могут оказать воздействие на персонал (Электромонтер по ремонту и обслуживанию электроустановок), занимающийся обслуживанием подкачивающей насосной станции, где будет установлен данный электропривод. Проведена разработка мер защиты от этих факторов, оценка условий труда и микроклимата рабочей среды. Так же в данном разделе, будут рассмотрены вопросы касающиеся непосредственно техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

При эксплуатации насосной установки возможно воздействие на человека следующих опасных и вредных производственных факторов. Все производственные факторы классифицируются в соответствие с [6].

5.1 Анализ опасных и вредных факторов

При эксплуатации насосной установки возможно воздействие на человека опасных производственных факторов:

- Поражение электрическим током
- Пожар

Так же присутствуют вредные факторы, которые в свою очередь могут оказать негативное воздействие на человека. К ним относятся:

- Повышенный уровень вибрации
- Недостаток естественного света
- Повышенная влажность
- Повышенный уровень шума

5.2 Техника безопасности

Техническая эксплуатация действующих электроустановок насосной станции осуществляется электротехническим персоналом в соответствии с ведомственными Правилами технической эксплуатации электроустановок (ПТЭ) и Правилами технической безопасности при эксплуатации электроустановок (ПТБ). Действующими называют электроустановки или их участки, которые находятся под напряжением или на которые напряжение можно подать включением коммутационных аппаратов (выключателей, отделителей, разъединителей и др.).

Обслуживание электроустановок насосной станции осуществляется административно-техническим, дежурным, ремонтным или оперативно-ремонтным электротехническим персоналом. Лица из числа дежурного и оперативно-ремонтного персонала должны пройти необходимую теоретическую подготовку, обучение на рабочем месте и проверку знаний ПТЭ и ПТБ. Оперативное обслуживание предусматривает периодические осмотры электрооборудования распределительных устройств, приборов релейной защиты и автоматики, кабельных и воздушных линий, а также производство необходимых оперативных переключений.

В процессе эксплуатации электроустановок насосной станции производятся работы, предусмотренные графиками планово-предупредительного ремонта действующего электрооборудования, профилактические испытания изоляции электрических машин, кабелей, наладка и проверка аппаратуры управления электроприводами, релейной защиты и автоматики и др., а также возможны внеплановые ремонты, ликвидация последствий аварий и п. т.

До начала работы на электроустановках насосной станции и в процессе ее выполнения необходимо выполнять организационные и технические мероприятия, обеспечивающие безопасность труда.

Работы в действующих электроустановках подразделяются в отношении принятия мер безопасности на три категории:

1. Со снятием напряжения с токоведущих частей.

2. Под напряжением на токоведущих частях с применением электрозащитных средств.

3. Без снятия напряжения на нетоковедущих частях.

Для безопасного выполнения работ с полным или частичным снятием напряжения в электроустановках насосной станции необходимо выполнить следующие технические мероприятия:

1. Произвести отключения и принять меры, препятствующие подаче напряжения к месту работы.

2. Вывесить на рукоятках коммутационных аппаратов запрещающие плакаты: *"Не включать - работают люди!"*.

3. Проверить наличие остаточного напряжения индикатором.

Насосная установка системы водоснабжения включает в себя один насосных агрегата и шкаф электрооборудования, являющиеся источником опасности. Для обеспечения безопасной работы предусмотрена аварийная сигнализация и индикация режимов работы. Панель индикации передает следующую информацию: индикация наличия трехфазного напряжения на входе системы управления по фазам А, В, С; индикация состояния насосных агрегатов; индикация отказа САУ; индикация режима ручного управления.

Помещение насосной станции в соответствии [7] относится к сооружениям особой опасности. Данное сооружение имеет токопроводящие полы, более того существует возможность одновременного прикосновения к металлическим корпусам электрооборудования и заземленным конструкциям

В случае аварийной ситуации при работе электроустановок насосной станции возможно появление напряжения на металлических шкафах электрооборудования и металлических частях пульта управления и других нетоковедущих частях. Поэтому при прикосновении к металлическим установкам может произойти замыкание электрической цепи через тело человека. В настоящее время в РБ действует [8], который распространяется на производственные и бытовые электроустановки постоянного и переменного токов и устанавливает

нормы предельно допустимых для человека значений напряжения прикосновения и токов, протекающих через его тело.

Контроль предельно допустимых уровней напряжения прикосновения и тока должен осуществляться измерениями этих величин в перечисленных местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека.

Для защиты обслуживающего персонала корпуса шкафов управления и прочего электрооборудования заземляются.

Защитное заземление - преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Принцип действия защитного заземления - снижение до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус или другими причинами. Это достигается путем уменьшения потенциала на заземленном оборудовании (за счет уменьшения сопротивления заземления), а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования.

5.3 Производственная санитария

При работе насосной станции возможно воздействие на человека (оператора) следующих вредных [6] факторов:

- Повышенные уровни шума
- Повышенная вибрация
- Недостаток естественного света

При возникновении на насосной станции биологически опасных факторов, к которым относятся патогенные микроорганизмы (бактерии, вирусы, риккетсии, спирохеты) и продукты их жизнедеятельности, возможно заражение большого числа людей, поэтому помещения насосной станции должны находиться под санитарным контролем.

Насосные установки являются источниками шума. Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровней звука на рабочих местах приведены в таблице 5.1. Согласно [9]

Таблица 5.1. – Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот.

Рабочее место	Уровни звукового давления дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами								Уровни звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места	95	87	22	78	75	73	71	69	80

Для обеспечения допустимого уровня шума применяются следующие меры безопасности:

- Разработкой шумобезопасной техники;
- применением средств и методов коллективной защиты в соответствии с [10];
- применением средств индивидуальной защиты согласно [10].

Освещенность помещений насосной станции должна соответствовать виду производимых работ: в помещении с пультом управления - зрительной работе средней точности, а в прочих помещениях - малой точности.

Нормативы освещенности на рабочих местах согласно [11] приведены в таблице 5.2

Таблица 5.2 – Нормативы освещенности на рабочих местах.

Характеристика зрительной работы	Минимальный размер объекта, мм	Разряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение, лк	Естественное освещение КЕО, %	Совместное освещение КЕО, %
Средней точности	0.5.1.0	IVв	средний	средний	400	4	2.4
Малой точности	1.0.5.0	Vв	средний	средний	150	3	1.8

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений указаны в таблице 5.3 [12]

Таблица 5.3 – Допустимые показатели микроклимата на рабочих местах.

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат (ккал/ч)	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Теплый	2а (151-200)	20-22	18-27	60-40	15-75	0,2	0,4
Холодный	2а (151-200)	19-21	17-23	60-40	15-75	0,2	0,3

При наличии теплового облучения работающих температура воздуха на рабочих местах не должна превышать 22°С [16].

Таблица 5.4 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела, работающих от производственных источников.

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

Для снижения влияния теплового излучения на обслуживающий персонал, выдается спецодежда, которая должна обеспечивать защиту от воздействия опасных производственных факторов, вызываемых тепловым излучением и конвективной теплотой, при соответствии условий работы, режима и охраны труда установленным требованиям. Материалы одежды не должны оказывать вредного воздействия на организм человека. Одежда должна иметь санитарно-

эпидемиологическое заключение установленного образца о соответствии государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормам [17].

Содержание пыли в воздухе рабочего помещения ниже установленной нормы, по которой предельно-допустимая концентрация составляет более 10 мг/м³.

Насосная установка относится к 3 категории вибрации - технологическая вибрация, которая воздействует на человека на рабочем месте. Источником вибрации служат: станки металло- и деревообрабатывающие, кузнечнопрессовое оборудование, литейные машины, электрические машины, стационарные электрические установки, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование для бурения скважин, буровые станки, машины для животноводства, очистки и сортировки зерна (в том числе сушилки), оборудование промышленности стройматериалов (кроме бетоноукладчиков), установки химической и нефтехимической промышленности и др.

Длительное воздействие вибрации на организм человека приводит к серьезным последствиям под названием «вибрационная болезнь». Это профессиональная патология, которая возникает в результате длительного влияния на организм человека производственной вибрации, превышающей предельно допустимый уровень (ПДУ). Болеют, как правило, мужчины среднего возраста. Вибрация может действовать как локально (например, на рабочие руки), так и на весь организм. Но в любом случае она способна к распространению, отражаясь на нервной и опорно-двигательной системе. Гасится вибрация благодаря эластическим свойствам мышц, связок, хрящей. Кроме того, от длительной вибрации страдает сердечно-сосудистая система и особенно - микроциркуляторное русло (мелкие сосуды, в которых идет непосредственная отдача кровью кислорода, и утилизация из тканей углекислого газа). Далее согласно[13] в таблице 5.5 приведены допустимые уровни вибрации для производственных помещений.

Таблица 5.5 – Допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий.

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с ²
0,6-0,4	До3	1,12-0,76	22-14
0,4-0,15	3-5	0,76-0,46	14-15
0,15-0,05	5-8	0,46-0,25	15-13
0,05-0,03	8-15	0,25-0,28	13-27
0,03-0,009	15-30	0,28-0,17	27-32
0,009-0,007	30-50	0,17-0,22	32-70
0,007-0,005	50-75	0,22-0,23	70-112
0,005-0,003	75-100	0,23-0,19	112-120
* 1,5-2	45-55	1,5-2,5	25-40

Для снижения воздействия вибрации на человека, изменяют конструкцию, в частности смещают её основные собственные частоты, при которых возможно возникновение резонанса, что достигается увеличением жесткости системы (за счет введения дополнительных ребер жесткости) или ее массы (например, усиление фундамента); Ещё один способ — это присоединение к объекту упругого подвешенного тела — динамический гаситель, который воспринимает вибрацию основного объекта (динамическое гашение вибрации);

5.4 Пожарная безопасность

Данное помещение где установлена насосная установка согласно [14] относится к категории Д.

Опасными факторами пожара для людей являются открытый огонь, искры, повышенная температура воздуха, токсичные продукты горения, дым, пониженная концентрация кислорода, обрушение и повреждение зданий, сооружений, установок, а также взрыв.

Для предотвращения пожара необходимо соблюдать следующие меры:

- предотвращение образования горючей среды;
- предотвращение образования в горючей среде источников зажигания;
- поддержание температуры и давления горючей среды ниже допустимых;

- уменьшение определяющего размера горючей среды.

При коротких замыканиях, перегреве и т.п. возможно загорание электропроводки, электроустановок. Для тушения пожара в таких условиях необходимо применять специальные средства, невозможно использовать воду и другие токопроводящие вещества. Поэтому помещения насосной станции должны быть оборудованы средствами для тушения электропроводок и электроустановок под напряжением. Применяемый тип огнетушителей: ОУ-10 (огнетушитель углекислотный).

5.5 Охрана окружающей среды

При эксплуатации объекта установлены основные виды воздействий проектируемого объекта: физическое наличие объекта (сооружение и эксплуатация объекта) влияет на гидрологию, климат, социально-экономические условия жизни, природопользование местного населения;

Химические вещества, пыль, твердые бытовые отходы загрязняют компоненты окружающей среды (воздух, воду, водные биоресурсы, почвы, растительность), воздействуют на биопродуктивность водоемов и здоровье населения;

шум, вибрация, электромагнитное излучение воздействуют на компоненты окружающей среды;

динамическое воздействие движущихся машин и механизмов на людей, животных, растительность, почву.

Мероприятиями по снижению интенсивности загрязнения атмосферного воздуха, создание препятствий на пути распространения и их очисткой разными методами:

Физико-химическими – для сварочных работ применение устройств для сбора и очистки газов (местных отсосов).

Биологическими – сохранение и создание полос озеленения вокруг объекта.

Воздействие на гидросферу.

Ведется систематическая работа по сокращению загрязнения сточных вод и общих объемов водопотребления и водоотведения, а так же проводится очистки загрязненных и ливневых сточных вод.

Мероприятиями по снижению негативного шумового воздействия являются сохранения природных и создание искусственных препятствий для снижения уровня шума. При складировании (утилизации) отходов промышленного производства выявляются источники образования отходов потребления и производства, мероприятия по их утилизации. К таковым источникам относятся горюче-смазочные материалы, металлолом, бытовые отходы. В качестве мероприятий по утилизации всех видов отходов предусматривается их вывоз на площадки хранения ТБО, повторная переработка ГСМ и металлолома.

5.6 Защита при ЧС

Насосные станции в соответствии с требованиями постановления Правительства Российской Федерации от 19.09.98 N 1115 "О порядке отнесения организаций к категориям по гражданской обороне" отнесены к объектам по гражданской обороне.

В соответствии со [15] насосные станции расположены в следующих зонах возможных опасностей:

- в зоне возможных слабых разрушений;

Доведение сигналов оповещения ГО и в случае ЧС до персонала объектов осуществляется с помощью речевой информации по каналам радиовещания, по радиотрансляционным сетям и сетям связи. Электроснабжение основных электроприемников объектов предусматривается по I категории надежности от двух независимых источников. Проектные решения по предупреждению чрезвычайных ситуаций(ЧС). На территории насосных станций не используют, не производят, не перерабатывают, не хранят радиоактивные, пожаро, а также взрывоопасные, опасные химические и биологические вещества, создающие реальную угрозу возникновения источника чрезвычайной ситуации. В качестве

наиболее вероятных чрезвычайных ситуаций техногенного характера проектом рассматриваются:

- пожар на территории объектов;

- ЧС при постороннем вмешательстве в деятельность объектов. Население, которое может оказаться в зоне действия поражающих факторов в случае аварии на объектах, отсутствует.

Для обеспечения нормальной работоспособности объекта при ЧС приняты следующие меры безопасности:

- Установка дополнительного резервного электропитания
- Наличие дополнительных сменных частей.
- Наличие запасов питьевой воды

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью, данной выпускной квалификационной работы является разработка электропривода глубинного насоса ЭЦВ 12-160-100.

Предложено заменить существующий морально устаревший и выработавший ресурс нерегулируемый электропривод на частотно–регулируемый асинхронный электропривод. По результатам расчета требуемой мощности двигателя выбран электродвигатель серии ПЭДВ 65–219, а также преобразователь частоты СУЗ 200

Результаты аналитических расчетов и имитационного моделирования подтверждают правильность выбора силовых элементов – электродвигателя и преобразователя – и реализации системы автоматического частотно-регулируемого электропривода насосной установки.

Система преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель обеспечивает требуемые характеристики насоса, а система автоматического регулирования с скалярном управлением обеспечивает поддержание технологических параметров в режимах пуска и воздействия возмущений с принятыми параметрами.

В экономической части выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы планирования, финансирования и проведения пуско-наладочных работ электропривода глубинного насоса. Составлена смета на проведение ПНР и построен график выполнения пуско-наладочных работ и занятости исполнителей, а также доказана экономическая целесообразность от внедрения спроектированного электропривода. В разделе социальная безопасность проекта освещены вопросы: производственной и экологической безопасности; техники безопасности; анализ опасных и вредных производственных факторов; пожарная безопасность; рассмотрены мероприятия по охране окружающей среды и защите при ЧС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. Оптимизация контура регулирования: учебное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и дополн. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 156 с.
2. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 7. Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 164 с.
3. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2011. – 476с.
4. Волкова Л. Методика проведения SWOT-анализа // http://market.narod.ru/S_StrAn/SWOT.html.
5. Креницына З.В., И.Г. Видяев Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
6. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
7. ПУЭ, МПОТ, ПТЭ. — 6-е и 7-е изд.. — Новосибирск: Сибирское университетское изд-во, 2009. — 687 с.: ил.. — ISBN 978-5-379-01195-6.
8. ГОСТ 12.1.000-02 ССБТ – Электробезопасность. Допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
9. ГОСТ 12.1.003-83(СТ СЭВ 1930-79) – Шум. Общие требования безопасности.
10. ГОСТ 12.4.051-87 – Средства индивидуальной защиты органа слуха.
11. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
12. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.

13. ГОСТ 12.4.012-83 – Вибрация. Средства измерения и контроля вибрации на рабочих местах. Технические требования..

14. НПБ 105-03 Определение категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

15. СНиП 2.01.51 – 90 Инженерно – технические мероприятия гражданской обороны.

16. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

17. ГОСТ 12.4.221-2002 Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвективной теплоты.