

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Частотно-регулируемый электропривод насоса прямой подачи подкачивающей насосной станции

УДК 62-83-523:621.65:628.12

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Лещенко Максим Викторович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения по ООП

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Ивашутенко

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Лещенко Максиму Викторовичу

Тема работы:

Частотно-регулируемый электропривод насоса прямой подачи подкачивающей насосной станции	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; выбор элементов и расчет параметров силового канала регулируемого электропривода; расчет статических и динамических характеристик; безопасность и экологичность проекта; экономическая часть; заключение.

Перечень графического материала	Функциональная схема и имитационная модель электропривода Динамические характеристики электропривода Статические характеристики электродвигателя и электропривода Технико-экономические показатели.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Сотникова Анна Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2019г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С.	к.т.н.		05.04.2019г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Лещенко Максим Викторович		05.04.2019г.

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

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

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

СОСТАВИЛ:

Руководитель

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

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Разработать регулируемый электропривод насоса прямой подачи подкачивающей насосной станции типа 300Д90, удовлетворяющий следующим техническим требованиям и характеристикам.

1. Режим работы – продолжительный, нагрузка реактивная.
2. Электропривод неререверсивный, диапазон регулирования $D = 3:1$.
3. Погрешность поддержания заданной частоты не более 10 % на нижней рабочей скорости.
4. Управление электроприводом - ручное, с пульта управления обслуживающим персоналом, в автоматизированном режиме поддержания давления с перспективой 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°C 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, $6000 \pm 10\% \text{ В}$, $50 \pm 1 \text{ Гц}$.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 116 страниц, 37 рисунков, 20 таблицы, 32 используемых источников, приложение.

Объектом модернизации является электропривод насоса марки 300Д90.

Цель работы - разработка частотно регулируемого электропривода в соответствии с требованиями технического задания и исследование его работы методом моделирования на ЭВМ.

В ходе работы был разработан электропривод, обеспечивающий следующие показатели качества:

- диапазон регулирования скорости 3:1;
- погрешность поддержания скорости $d \leq 3\%$ при изменении нагрузки $0,2M_{двн}$;
- время переходного процесса $t \leq 2с$.

ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010, графическом редакторе Visio 2010, статическом редакторе Microsoft Excel 2010. Расчёты производились с помощью пакета прикладных программ MathCAD 2014 Professional Rus. Имитационное моделирование электропривода выполнено с помощью пакета программ MatLab 7.1.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	10
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОДКАЧИВАЮЩЕЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ	12
1.1 Технический процесс подачи тепловой энергии	12
1.2 Основное и вспомогательное оборудование.....	13
1.3 Описание насоса и его характеристики	15
2 ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ПЧ-АД.....	18
2.1 Расчет параметров и характеристик асинхронного электродвигателя.....	18
2.1.1 Паспортные данные электродвигателя	18
2.1.2 Расчет параметров электродвигателя.....	20
2.1.3 Определение параметров схемы замещения электродвигателя по каталожным данным	21
2.2 Расчёт естественных характеристик электродвигателя	25
2.3 Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода.....	28
2.4 Определение возможных вариантов и обоснование выбора вида преобразователя электрической энергии.....	31
2.5 Выбор преобразователя частоты	32
3 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	38
3.1 Разработка имитационных моделей электропривода со скалярным управлением.....	38
3.1.1 Одномассовая механическая система с реактивной нагрузкой	43
3.1.2 Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной характеристикой	44
3.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса при скалярном управлении	46
3.2.1 Программа исследований электропривода.....	46
3.3 Параметры элементов силового канала электропривода насоса	47
4. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	53
4.1 Разработка имитационной модели регулируемого электропривода с векторным управлением	53
4.1.1 Структурные схемы блоков преобразования координат двигателя	58
4.1.2 Структурные схемы ПИ-регуляторов	59
4.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода вращающихся насоса с векторным управлением	65
4.2.1 Программа исследований электропривода.....	65
4.2.2 Расчет параметров моделей асинхронного электропривода насоса с частотным векторным управлением	66
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	75

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	76
5.1 SWOT-анализ асинхронного электропривода насосной установки подкачивающей насосной станции марки АК4-400ХК-4УЗ	76
5.2 Планирование технического проекта.....	80
5.2.1. Определение структуры работ в рамках технического проектирования..	80
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	81
5.2.3 Разработка графика проведения технического проекта	82
5.3 Составление сметы технического проекта.....	85
5.3.1 Расчет материальных затрат.....	85
5.3.2. Полная заработная плата исполнителей ВКР	86
5.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	87
5.3.4 Накладные расходы.....	87
5.3.5 Формирование сметы технического проекта	88
5.4. Определение ресурсоэффективности проекта.....	88
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	91
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	92
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	92
6.2 Производственная безопасность	94
6.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	95
6.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	97
6.3. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов	98
6.4 Экологическая безопасность	101
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	101
6.5.1 Защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок;.	103
6.5.2 Воспламенения изоляции в следствии повышения температуры	103
6.5.3. Защита от Гидроудара.....	104
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	110

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире энергетика является основой развития базовых отраслей промышленности, определяющих прогресс общественного производства. Во всех промышленно развитых странах темпы развития энергетики опережают темпы развития других отраслей. Рациональное использование водных и топливно-энергетических ресурсов, а также охрана окружающей среды определили направление развития систем водо- и теплоснабжения. При проектировании новых и реконструкции существующих систем водоснабжения все чаще предусматривается создание систем бессточного водопользования на базе замкнутых циклов. Основными энергетическими звеньями систем водоснабжения, обеспечивающими перемещение различных жидких сред по водопроводам, являются насосные станции.

Значительная экономия топливно-энергетических ресурсов достигается при централизации теплоснабжения жилых, промышленных и общественных зданий в городах и других населенных пунктах. Рациональная концентрация и централизация производства горячей воды и пара для отопительных и технологических нужд, постепенная ликвидация нерентабельных мелких котельных, строительство ТЭЦ и крупных районных котельных - основные пути развития централизованного теплоснабжения. С этим развитием связано строительство протяженных и широко разветвленных тепловых сетей с многочисленными тепловыми пунктами разнородных потребителей жилого и промышленного секторов.

Теплоснабжение народного хозяйства и 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 тепло подготовительных установках источников теплоты - ТЭЦ и городских или промышленных котельных. В источниках теплоты используют органическое или ядерное топливо. Основное назначение источников теплоты - обеспечение экономичных режимов отпуска теплоты в тепловую сеть, надежная, бесперебойная и экономичная работа их 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 циркулирующая в тепловой сети вода используется только как теплоноситель, из сети для потребления она не отбирается; в открытых системах теплоноситель (вода) разбирается у потребителей для нужд горячего водоснабжения.

Для теплоснабжения городов от источников теплоты до данной группы потребителей, как правило, используются двухтрубные тепловые сети.

Назначение тепловых сетей - надежная, бесперебойная транспортировка теплоносителя при минимальных потерях 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.

Насосные станции систем водоснабжения и канализации представляют собой сложный комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающий водоподачу или водоотведение в соответствии с нуждами потребителя. Состав сооружений, их конструктивные особенности, тип и число основного и вспомогательного оборудования определяются исходя из принципов комплексного использования водных ресурсов и охраны окружающей среды с

учетом назначения насосной станции и предъявляемых к ней технологических требований.

Задачей выпускной квалификационной работы является проектирование автоматизированного электропривода насосной установки системы горячего водоснабжения, т.е. насосной станции горячего водоснабжения (теплового пункта). В связи с возрастающей стоимостью электроэнергии тема данного проекта является актуальной.

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОДКАЧИВАЮЩЕЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

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

Насос - гидравлическая машина, создающая напорное перемещение жидкости при сообщении ей энергии.

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

Насосная установка (НУ) - комплекс оборудования обеспечивающий требуемый режим работы насосов одного или нескольких насосных агрегатов.

НУ состоит из одного или нескольких насосных агрегатов, трубопроводов, запорной и регулирующей арматуры, контрольно-измерительной аппаратуры, а также аппаратуры управления и защиты.

Насосная станция (НС) - сооружение, включающее в себя одну или несколько насосных установок, а также вспомогательные системы и оборудование.

Насосные установки подразделяются на водопроводные, канализационные, мелиоративные, теплофикационные и др.

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

1.1 Технический процесс подачи тепловой энергии

Поставщиком тепловой энергии для города Барнаул является Барнаульская ТЭЦ – 2, которая входит в состав акционерного общества «Барнаульская генерация». За последние 5 лет на ТЭЦ – 2 проведена модернизация двух турбоагрегатов, реконструирована часть котельного оборудования. Повышена надёжность генерации, при этом имеет место прибавка мощности тепло- и электроэнергии. В 2013 году был запущен уникальный по своим экономическим и экологическим характеристикам новейший котлоагрегат, что позволило

значительно увеличить такой показатель, как паропроизводительность, на 40 тонн пара в час. На сегодняшний день производительность котлов Барнаульской ТЭЦ составляет более 220 тонн пара в час, а производительность теплоэлектростанции составляет более 100 МВт/ч.

От ТЭЦ – 2 проложено четыре магистрали диаметром 300 - 700 мм, по которым горячая вода подается на подкачивающие насосные станции. На насосных станциях установлены насосы, повышающие давление теплоносителя до рабочего (7,5-8 кгс/см²). Давление теплоносителя в магистралях варьируется от 5 - 6 кгс/см² во время пиковых нагрузок и до 9 кгс/см² в ночное время. На рисунке 1.1 показана схема подкачивающей насосной станции ПНС – 2

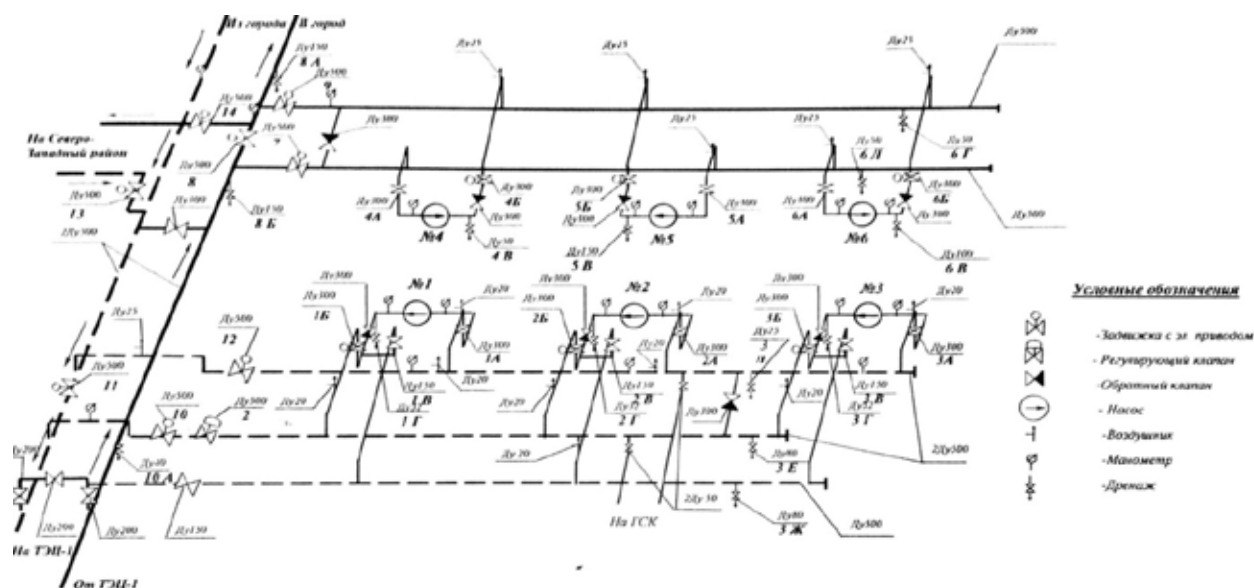


Рисунок 1.1 - Схема подкачивающей насосной станции ПНС – 2

1.2 Основное и вспомогательное оборудование

Подкачивающая насосная станция № 2 (ПНС-2) предназначена для повышения давления в прямом трубопроводе на центр города, Восточный и Северо-Западный районы и понижения давления в обратном трубопроводе перед ПНС, с целью увеличения располагаемого перепада у потребителей и пропускной способности городской тепломагистрали. Для этого на ПНС -2 установлено две группы насосов (Таблица 1.1 и Таблица 1.2).

Таблица 1.1 – Насосы на обратном трубопроводе ПНС-2

№ с/н	Марка насоса	Произ в м³	Напор М.в.ст	Мощн эл.двиг.,кВт	Число об.в мин	Марка Эл.двиг.	Диам раб.колеса
1	300Д-90А	1260	70	400	1480	ДАЗО-4-400	460
2	300Д-90А	1260	70	400	1480	ДАЗО-4-400	460
3	300Д-90А	1260	70	400	1480	А114-4	460

Таблица 1.2 - Насосы на прямом трубопроводе ПНС-2

№ с/н	Марка насоса	Произ в м³	Напор М.в.ст	Мощн эл.двиг.,кВт	Число об.в мин	Марка Эл.двиг.	Диам раб.колеса
4	СЭ-1250	1250	70	315	1480	ДАЗО-4-400	490
5	СЭ-1250	1250	70	320	1480	А114-4	490
6	СЭ-1250	1250	70	250	1480	А113-4	480

Для производства оперативных переключений по включению или отключению насосов и коллекторов ПНС на подающем трубопроводе установлена следующая арматура:

- 1) № 7 – отключающая стальная задвижка Ду – 500 с электроприводом, установленная на всасывающем коллекторе;
- 2) № 8 – секционная стальная задвижка Ду – 500 с электроприводом на перемычке между всасывающим и напорным коллекторами подающей магистрали;
- 3) № 9 – отключающая стальная задвижка Ду – 500 с электроприводом на напорном коллекторе;
- 4) № 1Г – обратный клапан стальной Ду – 500 для обеспечения циркуляции воды при остановке насосов ПНС прямого трубопровода;
- 5) №14 – отключающая стальная задвижка Ду – 500 с электроприводом на Северо-Западный район на напорном коллекторе.

Насосы прямого трубопровода оборудованы стальными задвижками Ду-300 - (4Б,5Б,6Б) с электроприводом на нагнетании и задвижками с ручным управлением на всасе (№4а, 5а, 6а).

На обратном трубопроводе:

- 1) № 10 – отключающая стальная задвижка Ду – 500 с электроприводом на напорном коллекторе трубопровода;
- 2) №11 – секционная стальная задвижка Ду – 500 с электроприводом на перемычке между всасывающим и напорным коллекторами обратной магистрали;
- 3) № 12 – отключающая стальная задвижка Ду – 500 с электроприводом на всасывающем коллекторе обратного трубопровода;
- 4) № 2 Г – обратный клапан стальной Ду – 500 для обеспечения циркуляции воды при остановке насосов ПНС обратного трубопровода;
- 5) № 13 - отключающая стальная задвижка Ду-500 с электроприводом на Северо-Западный район на обратном коллекторе;

6) РК –2 – стальной регулирующийся клапан Ду – 500 для автоматического поддержания заданного давления в обратном трубопроводе центральной части города Восточного и Северо-Западного районов.

Насосы обратного трубопровода оборудованы стальными задвижками Ду – 300 (№1Б, №2 Б, № 3Б) с электроприводами на нагнетание и задвижками с ручным управлением на всасе (№1А, 2А ,3А). Насосы прямого трубопровода оборудованы стальными задвижками Ду – 300 (№4Б,5Б, 6Б) с электроприводами на нагнетании и задвижками с ручным управлением на всасе (№ 4А, 5А, 6А).

Контроль за параметрами давления во всасывающих и нагнетательных коллекторах прямого и обратного трубопроводов, осуществляется электроконтактными манометрами (ЭКМ), контакты которых задействованы в схему технологической сигнализации ПНС. Пределы измерения ЭКМов:

- 1) Прямого трубопровода 0-25 кгс/см²;
- 2) Обратного трубопровода 0-16 кгс/см².

Для контроля давления со стороны всасывающей и нагнетательной линий насосов установлены технические манометры (типа ОБМ – 160; МТП – 160; МПЧ – У и их модификации). Пределы измерения манометров:

- 1) Всас прямого трубопровода 0-16 кгс/см²;
- 2) Нагнетание прямого трубопровода 0-25 кгс/см²;
- 3) Обратного трубопровода 0-16 кгс/см²;
- 4) Нагнетание обратного трубопровода 0-16 кгс/см².

Для автоматического поддерживания параметров давления на обратном трубопроводе установлен регулирующийся клапан типа РК.

Управление приводами насосов и задвижек осуществляется из машинного зала со шкафов управления с № 1 по № 6. Соответствующих номерам насосов. А также с двух шкафов управления задвижками с №7 по №14.

Шкафы управления и сигнализации приводов насосов и задвижек, на лицевой стороне которых расположены:

- 1) Амперметры двигателей;
- 2) Ключи дистанционного управления (КУ) приводами насосов;

3) Кнопки управления приводами задвижек.

Под ключами и кнопками расположены по две лампы (зеленого и красного цвета), сигнализирующие положение выключателей и исправности цепей управления:

1) Красная лампа – привод включен; задвижка открыта;

2) Зеленая лампа привод отключен; задвижка закрыта.

В целях экономии электрической энергии и модернизации оборудования предлагается установить на насос прямой подачи ПНС – 2 автоматизированный электропривод выполненный по системы ПЧ – АД.

1.3 Описание насоса и его характеристики

Насос типа 300Д90.

Насос разработан с учетом эксплуатации в условиях интенсивных нагрузок. Благодаря особой конструкции ротора, инженерам удалось добиться высокого КПД в сочетании с высокой сопротивляемостью ударным нагрузкам, возникающим при кавитации.

Насосы серии 300Д предназначены для перекачивания сред, близких по физико-химическим свойствам к воде с температурой не более +85°C. Количество механических примесей, содержащихся в среде, не должно превышать 0,05% (для серии «В» — 1%).

Привод ротора насоса 300Д90 осуществляется с помощью гибкой втулочно-пальцевой муфты, соединенной с электродвигателем. Электронасос имеет центробежную одноступенчатую конструкцию. Жидкость подводится с двух сторон. Для герметизации вала используется двойной сальник с гидравлическим уплотнением, надежно защищающий насос от протечек.

Внешний вид насоса представлен на рисунке 1.2., а его параметры в таблице 1.3.



Рисунок 1.2 – Внешний вид насоса типа 300Д90

Таблица 1.3 – Технические параметры насоса типа 300Д90

Тип насоса	Q, м ³ /час	H, м	η, %	P, кВт	$\frac{J_{nc}}{c^2} \frac{кг \times м}{с^2}$
300Д90	1080	70	88	315	9,2

Механические характеристики и габаритный чертеж представлены на рисунках 1.3 и 1.4.

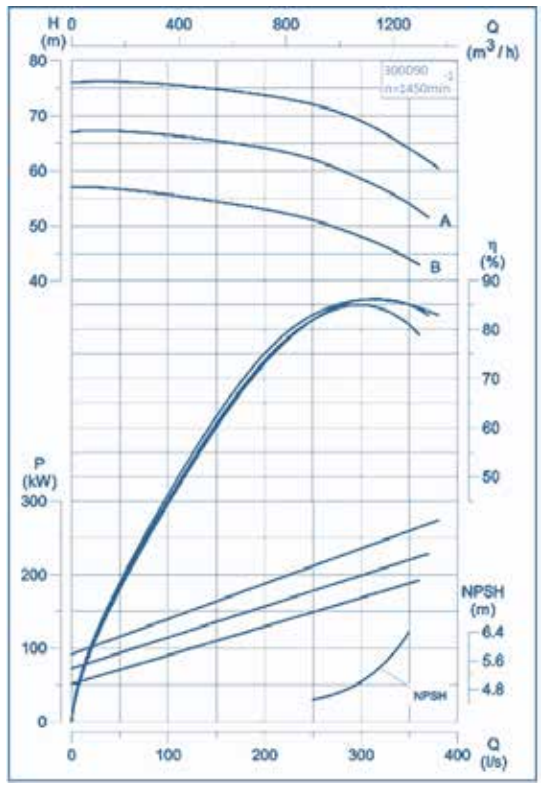


Рисунок 1.3 – Механические характеристики насоса 300Д90

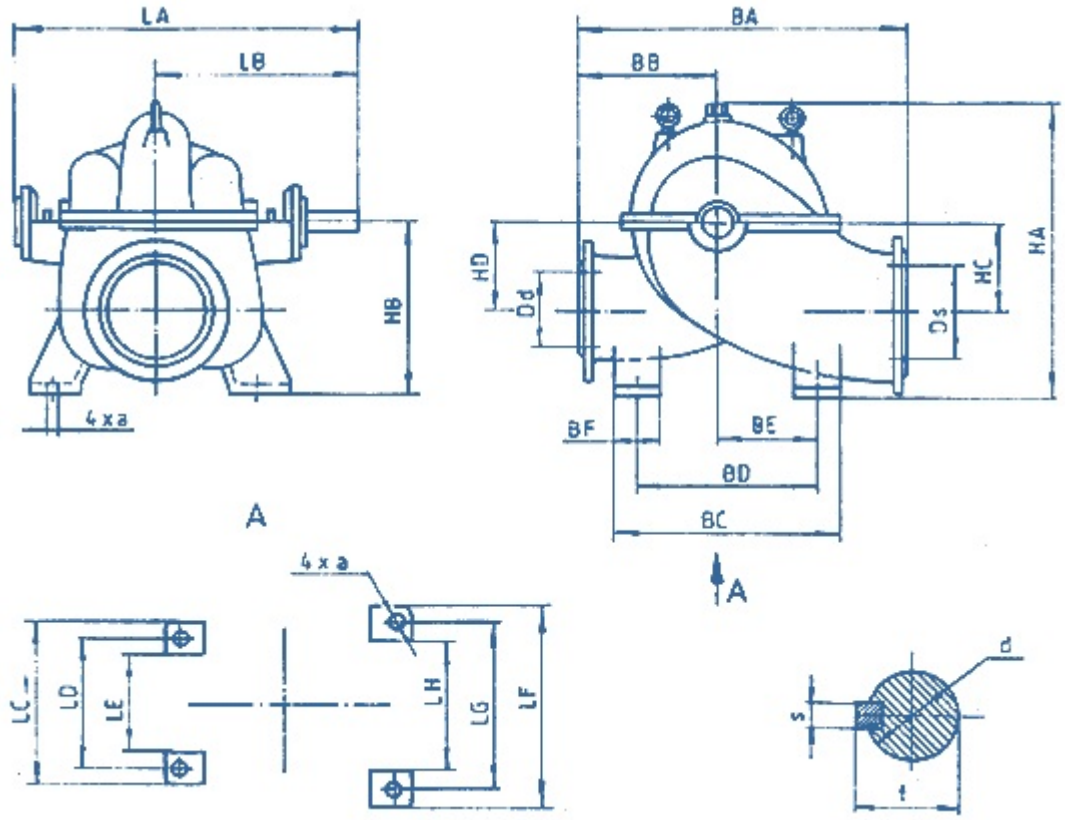


Рисунок 1.4 – Габаритный чертеж насоса 300Д90

2 ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ПЧ-АД

2.1 Расчет параметров и характеристик асинхронного электродвигателя

В соответствии с техническими данными насоса, а также, согласно выбранной системы электропривода, предварительно выбираем трехфазный асинхронный двигатель АК4-400ХК-4УЗ.

2.1.1 Паспортные данные электродвигателя

Электродвигатели асинхронные трехфазные с короткозамкнутым ротором типа АК4 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 6000 В.

Вид климатического исполнения – УЗ.

Номинальный режим работы - продолжительный S1.

Конструктивное исполнение двигателей - IM1001.

Способ охлаждения двигателей - IC01A61.

Степень защиты двигателей – IP54, коробки выводов - IP55.

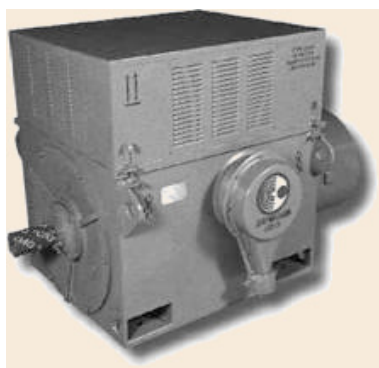


Рисунок 2.1 – Внешний вид электродвигателя АК4-400ХК-4УЗ

Паспортные данные электродвигателя приведены в таблице 2.1

Таблица № 2.1 – Паспортные данные электродвигателя АК4-400ХК-4УЗ

Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Номинальный ток статора, А	КПД, %	$\cos \phi$, о.е	Номинальный ток ротора, А	Напряжение между кольцами фазного ротора, В	Номинальный вращающий момент, кНм	Маховый момент ротора, кгм
АК4-400ХК-4УЗ	400	1500	47	93,8	0,87	491	510	2,5	52

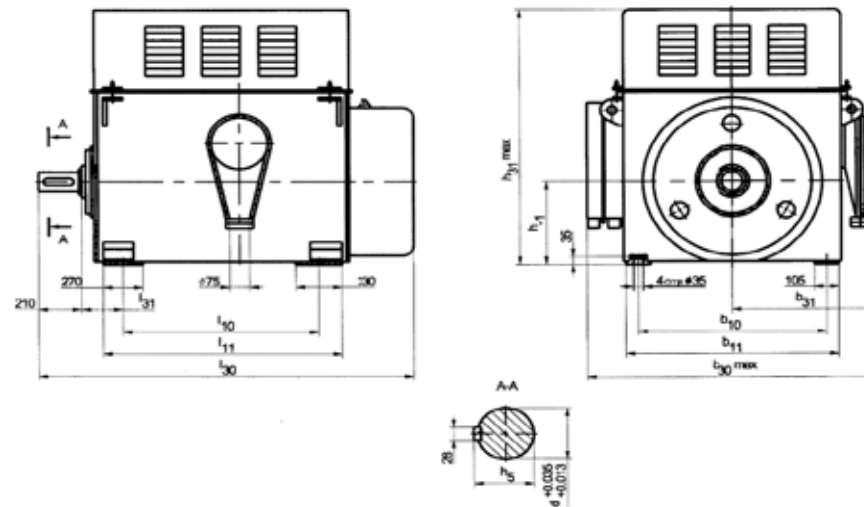


Рисунок 2.2 – габаритный чертеж электродвигателя АК4-400ХК-4УЗ

2.1.2 Расчет параметров электродвигателя

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

Таблица 2.2 – Технические характеристики электродвигателя АК4-400ХК-4УЗ

Типо-размер	n_0 , об/мин	$U_{1н}$, кВ	$P_{дв.н}$, кВт	При номинальной нагрузке			s_K , %	$J_{дв}$, кг·м ²
				s_H , %	$\cos j_H$	η_H , %		
АК4-400ХК-4УЗ	1500	6	400	1,6	0,87	0,938	0,094	9,2

Продолжение таблицы 2.2

$m_{II} = \frac{M_{пуск}}{M_H}$	$m_K = \frac{M_{макс}}{M_H}$	$m_M = \frac{M_{мин}}{M_H}$	$k_{i_{дв}} = \frac{I_{пуск}}{I_H}$	Степень защиты
2,2	2,5	2,8	7	IP54

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega = \frac{\rho \times n_0}{30} = \frac{\rho \times 1500}{30} = 157,08 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальное скольжение двигателя

$$s_H = \frac{\omega_0 - \omega_{ном}}{\omega_0} = \frac{157,08 - 154,566}{157,08} = 1,6\%$$

Номинальная частота вращения двигателя

$$\omega_{дв.н} = \omega_0 - \frac{s_n}{100} \times \omega_0 = \omega_0 - \frac{1,6}{100} \times 157,08 = 154,566 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{дв.н} = \frac{P_H \times 1000}{\omega_{дв.н}} = \frac{400000}{154,566} = 2588 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определим кратность максимального и пускового момента двигателя

$$m_{\text{макс}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{двн}}} = \frac{7246,4}{2588} = 2,8;$$

$$m_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{двн}}} = \frac{5693,6}{2588} = 2,2$$

и кратность пускового тока

$$k_{\text{пуск}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{1н}} = \frac{330,169}{47,167} = 7$$

2.1.3 Определение параметров схемы замещения электродвигателя по каталожным данным

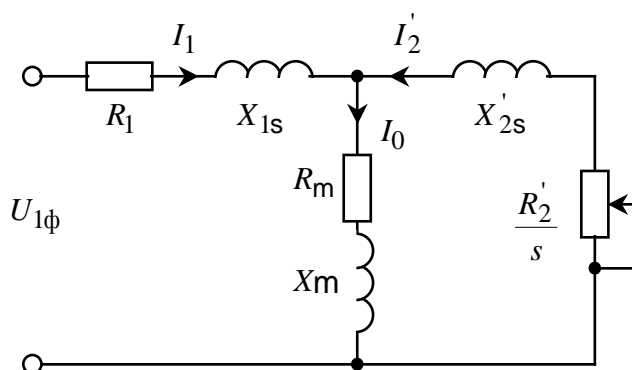


Рисунок 2.3 - Схема замещения асинхронного двигателя

Параметры схемы замещения определим по методике, изложенной в [12]

Ток холостого хода асинхронного двигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \frac{\alpha}{\epsilon} p^* \times I_{1н} \times \frac{1 - s_n}{1 - p^* \times s_n} \frac{\ddot{o}}{\phi}}{1 - \frac{\alpha}{\epsilon} p^* \times \frac{1 - s_n}{1 - p^* \times s_n} \frac{\ddot{o}}{\phi}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{36,639^2 - \frac{\alpha}{\epsilon} 0,75 \times 47,167 \times \frac{1 - 0,016}{1 - 0,75 \times 0,016} \frac{\ddot{o}}{\phi}}{1 - \frac{\alpha}{\epsilon} 0,75 \times \frac{1 - 0,016}{1 - 0,75 \times 0,016} \frac{\ddot{o}}{\phi}}} = 15,123 \text{ A}$$

Где

$$I_{1н} = \frac{P_n \times 1000}{3 \times U_{1н} \times \cos \varphi_n \times \eta_n} = \frac{400000}{3 \cdot 3464 \cdot 0,87 \cdot 0,938} = 47,167 \text{ А - номинальный ток статора;}$$

$$I_{11} = \frac{p^* \times P_n}{3 \times U_{1н} \times \cos \varphi_z \times \eta_z} = \frac{400000 \times 0,75}{3 \times 3464 \times 0,84 \times 0,938} = 36,639 \text{ А. - ток фазы статора при}$$

частичной нагрузке;

где

p^* – коэффициент загрузки двигателя, принимаем $p^* = 0,75$;

η_{p^*} – КПД при частичной нагрузке, принимаем $\eta_{p^*} = \eta_n$.

Коэффициент мощности при частичной нагрузке, принимаем согласно:

$$\cos j_z = 0,84 + D \cos j_z = 0,84.$$

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{3 \times U_{1фн}^2 \times (1 - s_n)}{2 \times m_k \times P_{двн} \times c_1^2 \times \beta + \frac{1}{s_k} \times \frac{1}{\sigma}} = \frac{3 \times 3464^2 \times (1 - 0,016)}{2 \times 2,8 \times 400000 \times 1,023^2 \times 1,55 + \frac{1}{0,096}} = 1,265 \text{ Ом.}$$

Где

$$c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \times k_i \times I_{1н}} = 1 + \frac{15,123}{2 \times 7 \times 47,167} = 1,023 \text{ - Коэффициент характеризующий}$$

Критическое скольжение

$$s_k = s_n \times \frac{k_M + \sqrt{k_M^2 - (1 - 2 \times s_n \times \beta \times (k_M - 1))}}{1 - 2 \times s_n \times \beta \times (k_M - 1)} =$$

$$= 0,016 \times \frac{2,8 + \sqrt{2,8^2 - (1 - 2 \times 0,016 \times 1,55 \times (2,8 - 1))}}{1 - 2 \times 0,016 \times 1,55 \times (2,8 - 1)} = 0,096.$$

где β – коэффициент, значение которого находится в диапазоне 0,6–2,5, принимаем $\beta = 1,55$.

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению

$$R_1 = c_1 \times R_2' \times \beta = 1,023 \times 1,265 \times 1,55 = 2,005 \text{ Ом.}$$

Определим параметр γ который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_k

$$\gamma = \sqrt{\frac{\frac{1}{c} \frac{\sigma}{\delta} - \beta^2}{\frac{1}{c} \frac{\sigma}{\delta}}} = \sqrt{\frac{1}{0,096^2} - 1,55^2} = 10,286,$$

тогда

$$X_k = \gamma \times c_1 \times R_2' = 10,286 \times 1,023 \times 1,265 = 13,304 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению

$$X_{1\sigma} = 0,42 \times X_k = 0,42 \times 13,304 = 5,588 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2\pi \times f_{1H}} = \frac{5,588}{2\pi \times 50} = 0,018 \text{ Гн}.$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной, может быть рассчитано

$$X_{2\sigma}' = \frac{0,58 \times X_k}{c_1} = \frac{0,58 \times 13,304}{1,023} = 7,544 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме

$$L_{2\sigma}' = \frac{X_{2\sigma}'}{2\pi \times f_{1H}} = \frac{7,544}{2\pi \times 50} = 0,024 \text{ Гн}.$$

Согласно векторной диаграмме ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1H} \times \cos \varphi_H - I_{1H} \times R_1)^2 + (U_{1H} \times \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - I_{1H} \times X_{1\sigma})^2} = \\ &= \sqrt{(3464 \times 0,87 - 47,167 \times 2,005)^2 + (3464 \times \sqrt{1 - 0,87^2} - 47,167 \times 5,588)^2} = 3257 \text{ В}. \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{3257}{15,123} = 215,364 \text{ Ом.}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания)

$$L_m = \frac{X_m}{2p \times f_{1H}} = \frac{215,364}{2p \times 50} = 0,686 \text{ Гн.}$$

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

$$M_{\text{эм}} = \frac{3 \times U_{1H}^2 \times R_2'}{\omega_0 \times s_H \left(X_k^2 + \frac{R_2'^2}{s_H} + \frac{R_1'^2}{s_H} + \frac{R_2'^2}{s_H} \times X_{\mu}^2 \right)} =$$

$$= \frac{3 \times 3464^2 \times 1,265}{157,08 \times 0,016 \left(13,304^2 + \frac{2,005^2}{0,016} + \frac{2,005^2}{0,016} + \frac{1,265^2}{0,016 \times 215,364^2} \right)} = 2685 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \times \zeta_p \times \frac{L_m}{(L_m + L_{2S})} \times Y_{2H} \times \sqrt{2} \times \sqrt{I_{1H}^2 - I_0^2}, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$= \frac{3}{2} \times 2 \times \frac{0,686}{(0,686 + 0,024)} \times 14,67 \times \sqrt{2} \times \sqrt{47,167^2 - 15,123^2} = 2685 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

где

$$Y_{2H} = \sqrt{2} \times I_0 \times L_m = \sqrt{2} \times 15,123 \times 0,686 = 14,67 \text{ Вб}$$

Должны выполняться условия:

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}}^* \leq 1,1 \times M_{\text{дв.н}} = 2588 < 2685 \leq 2846,8;$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} \gg M_{\text{эм.н}}^*; 2685 \gg 2685.$$

По результатам расчета эти условия выполняются [17].

Рассчитанные параметры схемы замещения сведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Параметры схемы замещения асинхронного двигателя

R_1 ,	$X_{1\sigma}$,	$L_{1\sigma}$,	R_2' ,	$X_{2\sigma}'$,	$L_{2\sigma}'$,	X_μ ,	X_k ,	L_μ ,
Ом	Ом	Гн	Ом	Ом	Гн	Ом	Ом	Гн
2,005	5,588	0,018	1.265	7,544	0,024	215,364	13,304	0,68553

2.2 Расчёт естественных характеристик электродвигателя

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя рассчитывается по выражениям:

$$M(S, f_1) = \frac{3 \times U_{1\phi H}^2 \times \frac{f_1}{f_{1H}} \times R_2'}{w_0 \times \frac{f_1}{f_{1H}} \times S \times X_{кн} \times \frac{f_1}{f_{1H}} + R_1 + \frac{R_2'}{S} + \frac{R_1 \times R_2'}{S \times X_m \times \frac{f_1}{f_{1H}}}}$$

$$w(s, f) = w_0 \times \frac{f_1}{f_{1H}} \times (1 - s).$$

где M – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

$$M_{эм}(s_H) = M_{эм} = \frac{3 \times U_{1\phi H}^2 \times R_2'}{w_0 \times s_H \times X_{кн}^2 + R_1 + \frac{R_2'}{s_H} + \frac{R_1 \times R_2'}{s_H \times X_m}} =$$

$$= \frac{3 \times 3464^2 \times 1,256}{157,08 \times 1,6 \times 13,304^2 + 2,005 + \frac{1,256}{1,6} + \frac{2,005 \times 1,256}{1,6 \times 215,364}} = 3583 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_K = R_2' \times \sqrt{\frac{1 + \frac{\alpha R_1}{c} \frac{\ddot{\theta}}{X m \ddot{\theta}}}{R_1^2 + (X_{KH})^2}} = 2,005 \times \sqrt{\frac{1 + \frac{\alpha 2,005}{c} \frac{\ddot{\theta}}{215,364 \ddot{\theta}}}{2,005^2 + (13,304)^2}} = 0,094$$

$$M_{\text{эм.к}}(s_H) = M_{\text{эм.к}} = \frac{3 \mathcal{U}_{1\phi H}^2}{2 \times w_0 \times \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{KH}^2)} \right] + \frac{\alpha R_1}{c} \frac{\ddot{\theta}}{X m \ddot{\theta}}} =$$

$$= \frac{3 \times 3464^2}{2 \times 157,08 \times \left[2,005 + \sqrt{(2,005^2 + 13,304^2)} \right] + \frac{2,005}{215,364}} = 7412 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

При помощи программы Mathcad строим естественную механическую характеристику:

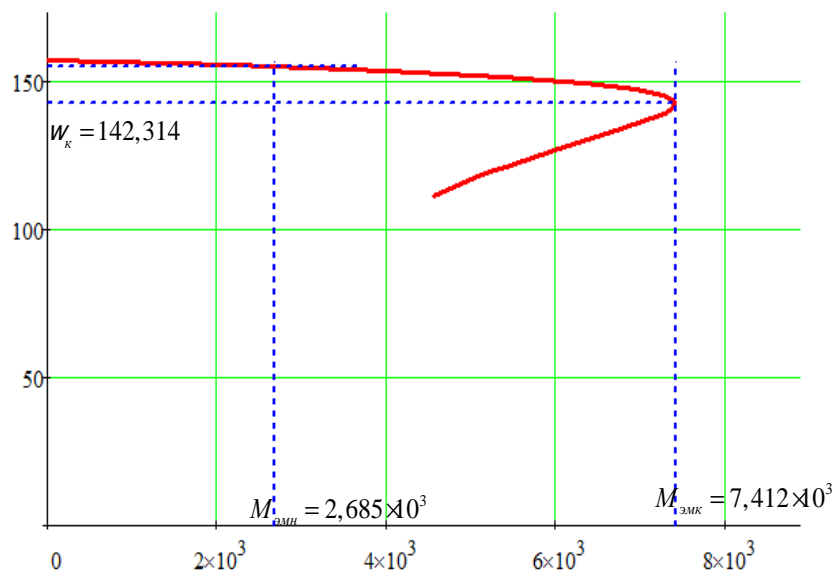


Рисунок 2.4 - Естественная механическая характеристика электродвигателя

АК4-400ХК-4УЗ

По полученным результатам определяем:

– кратность пускового момента

$$m_n = \frac{M_{\text{эмн}}}{M_{\text{эмк}}} = \frac{7,246}{2,685} = 2,3;$$

– кратность максимального (критического) момента

$$m_{\kappa} = \frac{M_{\text{эмк}}}{M_{\text{эмн}}} = \frac{7,412}{2,685} = 2,8;$$

– критическое скольжение

$$s_{\kappa} = \frac{w_0 - w_{\kappa}}{w_0} = \frac{157,08 - 142,314}{157,08} = 0,094$$

Естественные электромеханические характеристики двигателя $I_1(s, f_1)$ и $I_2'(s, f_1)$ рассчитываются по выражениям:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2'^2(s, f_1) + 2 \times I_0(f_1) \times I_2'(s, f_1) \times \sin \varphi_2(s, f_1)};$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R_2}{s} + X_{\kappa} \times \frac{f_1}{f_{1H}}}};$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_{\mu})^2 \times \frac{f_1}{f_{1H}}}};$$

$$\sin \varphi_2(s, f_1) = \frac{\frac{f_1}{f_{1H}} \times X_{\kappa}}{\sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R_2}{s} + X_{\kappa} \times \frac{f_1}{f_{1H}}}};$$

$$\omega(s, f) = \omega_0 \times \frac{f_1}{f_{1H}} \times (1 - s).$$

По результатам расчета на рисунке 9 построены естественные электромеханические характеристики $\omega(I_1)$, $\omega(I_2')$ при $f_1 = f_{1H} = 50$ Гц.

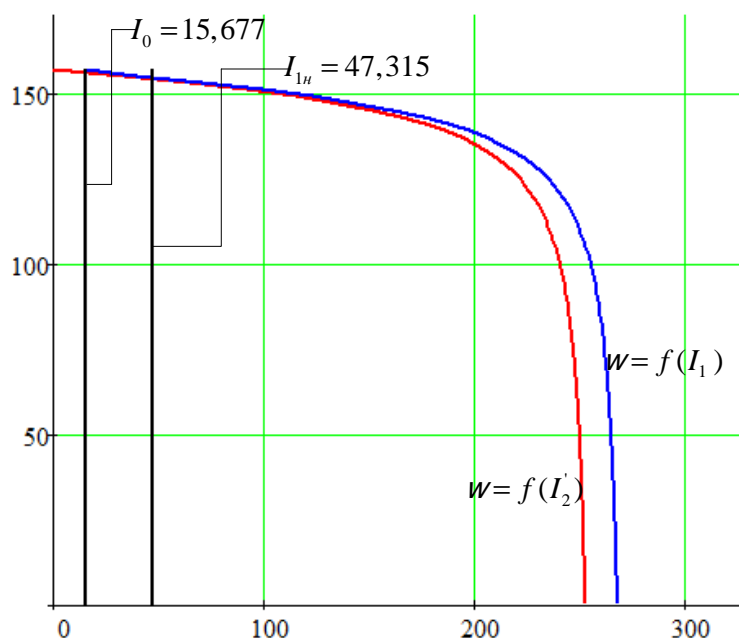


Рисунок 2.5 - Естественная электромеханическая характеристика электродвигателя типа АК4-400ХК-4УЗ

По результатам расчета электромеханической характеристики $\omega(I_1)$ найдены значения тока холостого хода (намагничивания) $I_0 = 15,677$ А, номинального тока $I_n = 47,315$ А и пускового тока двигателя $I_{п} = 268,06$ А.

По полученным результатам определяем кратность пускового тока

$$k_i = \frac{I_{п}}{I_n} = \frac{268,06}{47,315} = 5,66.$$

Параметры расчетных механической и электромеханической характеристик двигателя оказались близки к справочным параметрам двигателя.

2.3 Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода

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

$$M(s) = \frac{3 \times U_{1j}^2 \times R_2'}{w_{0j} \times s \times \hat{e} X_{\text{KH}}^2 \times f_{1*}^2 + \frac{\hat{e}}{c} R_1 + \frac{R_2'}{s} \frac{\ddot{o}}{\varnothing} + \frac{\hat{e}}{c} \frac{R_1 \times R_2'}{s \times X_{\text{m}} \times f_{1*}} \frac{\ddot{o}^2 \dot{u}}{\varnothing}} =$$

$$= \frac{3 \times 3464^2 \times f_{1*}^2 \times 1,265}{w_{0j} \times 1,6 \times \hat{e} 13,304^2 \times f_{1*}^2 + \frac{\hat{e}}{c} 2,005 + \frac{1,265}{1,6} \frac{\ddot{o}}{\varnothing} + \frac{\hat{e}}{c} \frac{2,005 \times 1,265}{1,6 \times 214,364 \times f_{1*}} \frac{\ddot{o}^2 \dot{u}}{\varnothing}},$$

где U_{1j} – фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;

w_{0j} – синхронная частота вращения двигателя;

$f_{1*} = f_{1j} / f_{1H}$ – относительное значение частоты питающего напряжения.

Механические характеристики двигателя при частотном управлении приведены на рисунке 2.6

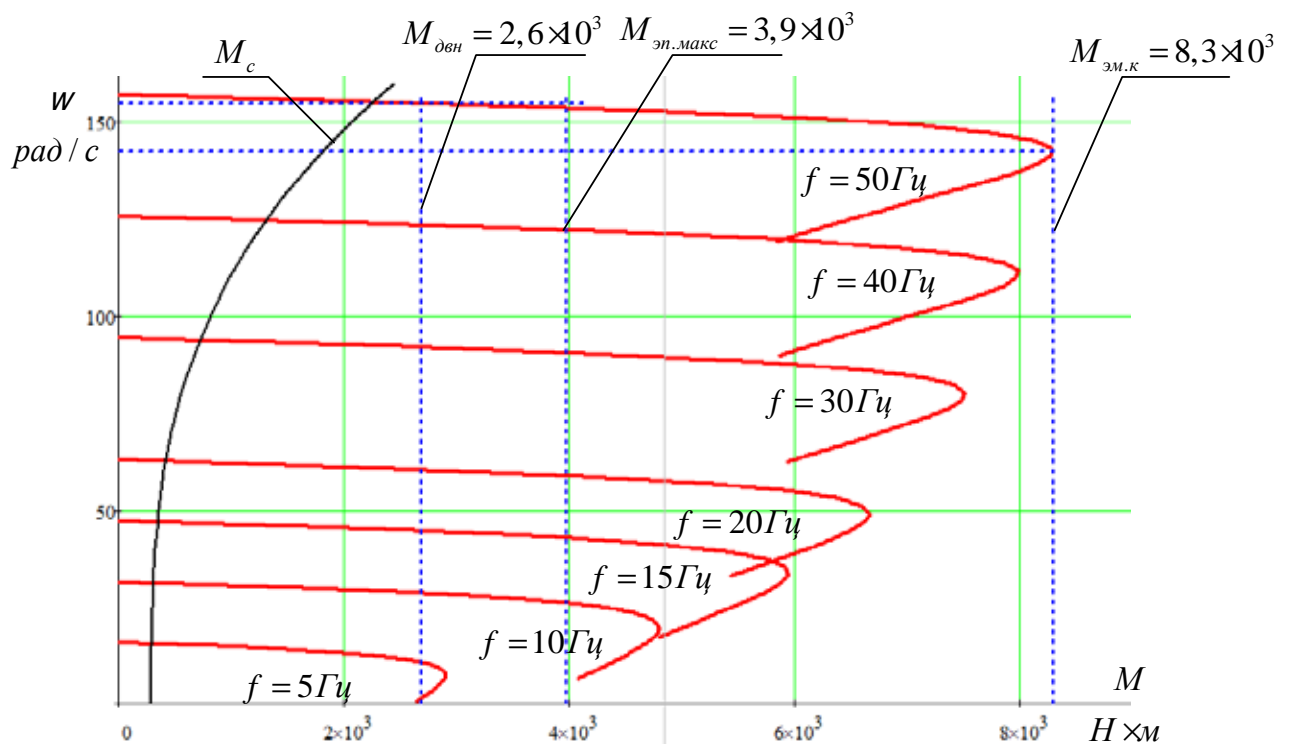


Рисунок 2.6 - Механические характеристики разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель.

Выражение для расчета электромеханических характеристик, определяющих зависимость приведенного тока ротора от скольжения s при законе управления $U/f = \text{const}$,

$$I_2'(s) = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R_2'}{s} + X_{\text{кн}}^2 \times f_{1*}^2 + \frac{R_1 \times R_2'}{s \times X_m^2 \times f_{1*}^2}}} =$$

$$= \frac{220 \times f_{1*}}{\pm \sqrt{(2,005 + 1,265/1,6)^2 + 13,304^2 \times f_{1*}^2 + \frac{2,005 \times 1,265}{1,6 \times 215,364 \times f_{1*}^2}}}$$

Расчетное выражение для электромеханических характеристик $I_1 = f(s)$, отражающих зависимость тока статора I_1 от скольжения

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \times I_0 \times I_2'(s) \times \sin f_2(s)} =$$

$$= \sqrt{15,123^2 + I_2'^2(s) + 2 \times 15,123 \times I_2' \times \sin f_2(s)}$$

где

$$\sin f_2 = \frac{x_{\text{кн}} \times f_{1*}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + x_{\text{кн}}^2 \times f_{1*}^2}} = \frac{215,364 \times f_{1*}}{\sqrt{(2,005 + 1,265/1,6)^2 + 13,304^2 \times f_{1*}^2}};$$

$$I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + (x_{\text{1н}} + x_m)^2 \times f_{1*}^2}}$$

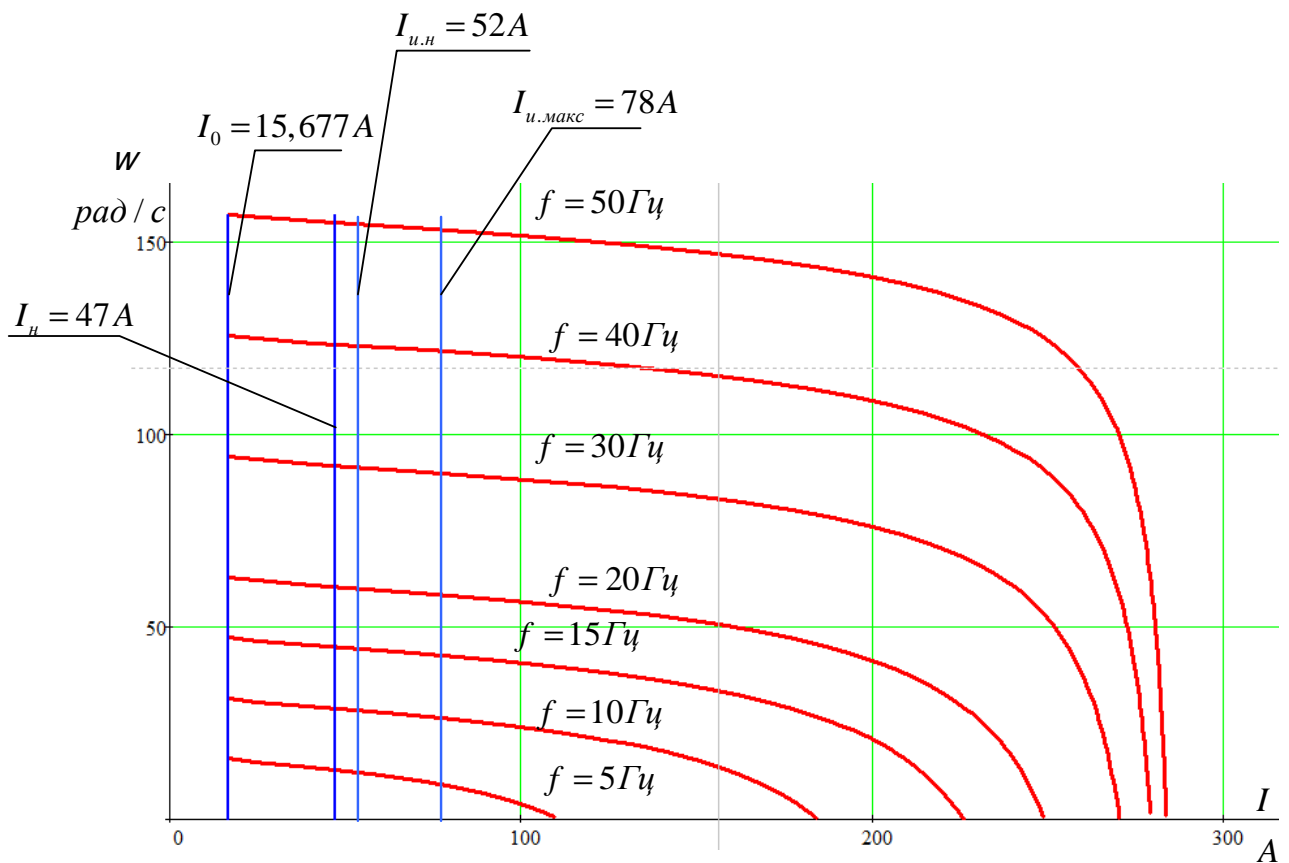


Рисунок 2.7 - Электромеханические характеристики $I_2'(s)$

разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель

2.4 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 [10].

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).

2.5 Выбор преобразователя частоты

Преобразователь частоты выбирается из условий:

$$P_{\text{дв}} \leq P_{\text{ПЧ}}; I_{\text{дв}} \leq I_{\text{ПЧ}}$$

Для двигателя мощностью $P_{\text{дв}} = 400 \text{ кВт}$ и номинальным током $I_{\text{ном}} = 47,167 \text{ А}$ выбираем преобразователь частоты серии : ATV1200-A570-6060 фирмы Altivar, имеющий следующие параметры представленные в таблице 2.4:

Таблица 2.4 – Паспортные данные преобразователя частоты

Условное обозначение преобразователя частоты	Полная мощность, кВА	Расчетная мощность двигателя, кВт	Максимальный ток в установившемся режиме, А		номинальный ток инверторной ячейки, А	Количество инверторных ячеек	Максимальный ток в переходном режиме 60 с., А
			Перегрузка 120%	Перегрузка 150%			
ATV1200-A570-6060	570	477	55	44	65	15	66



Рисунок 2.8 - Внешний вид преобразователя частоты Altivar 1200

Преобразователь частоты среднего напряжения Altivar 1200 обладает высокой надежностью, но в то же время прост в эксплуатации и обслуживании. Преобразователь частоты Altivar 1200 предназначен для управления трехфазными асинхронными и синхронными двигателями с номинальным напряжением от 2.4 до 11 кВ. Для асинхронных двигателей применимы скалярный (U/f) и векторный законы управления (векторное управление потоком в разомкнутой или замкнутой системе), для асинхронных двигателей - только скалярный (U/f) закон управления. Благодаря использованию последнего поколения IGBT-транзисторов, преобразователь частоты Altivar 1200 удовлетворяет самым жестким требованиям по поддержанию заданной частоты вращения привода.

Конструктивные особенности

Компактность

Благодаря размещению преобразователя частоты в одном шкафу, его габаритные размеры на 30% меньше по сравнению со стандартной компоновкой преобразователей частоты среднего напряжения.

Преобразователь частоты одностороннего обслуживания, что позволяет устанавливать его вплотную к конструкциям и значительно облегчает доступ к секции управления, трансформатору и инверторным ячейкам.

Сертифицированный шкаф со степенями защиты IP31, IP41 и IP42. Степень защиты обеспечивается с учетом расположенных на крыше шкафа вентиляторов охлаждения.

Базовая комплектация

Преобразователь частоты ATV1200 в любом варианте исполнения комплектуется:

- Элементы защиты: система механической блокировки дверей (исполнение может корректироваться в зависимости от требований заказчика), двери шкафа открываются специальными ключами, все двери оснащены концевыми выключателями

- Интерфейс: 10-дюймовая жидкокристаллическая панель оператора, программное обеспечение для конфигурирования преобразователя частоты, свободно программируемые входы/выходы
- Надежность: все преобразователи оснащаются источниками бесперебойного питания
- Преобразователи частоты имеют маркировку CE соответствия европейским директивам ЭМС (2004/108/EC) и LVD (2006/95/EC)

Базовая комплектация

Преобразователь частоты ATV1200 в любом варианте исполнения комплектуется:

Элементы защиты: система механической блокировки дверей (исполнение может корректироваться в зависимости от требований заказчика), двери шкафа открываются специальными ключами, все двери оснащены концевыми выключателями.

Интерфейс: 10-дюймовая жидкокристаллическая панель оператора, программное обеспечение для конфигурирования преобразователя частоты, свободно программируемые входы/выходы.

Надежность: все преобразователи оснащаются источниками бесперебойного питания.

Преобразователи частоты имеют маркировку CE соответствия европейским директивами (2004/108/EC) и LVD (2006/95/EC).

Проверенное конструктивное решение

Многоуровневая технология

Топология преобразователя частоты позволяет использовать его для управления уже установленными двигателями стандартного исполнения без применения дополнительного согласующего оборудования, что обеспечивает быстрый возврат инвестиций.

Снижение затрат на внедрение преобразователя частоты и эксплуатацию

Многоуровневая технология позволяет получить практически синусоидальную кривую тока и обеспечить $\text{THDI} < 2\%$, что удовлетворяет требованиям международных и российских стандартов.

Качество напряжения на выходе преобразователя частоты позволяет управлять двигателями, не имеющими специального исполнения и усиленной изоляции.

Предельно допустимая длина кабеля между преобразователем и двигателем - 2000 м.

Отсутствуют специальные требования к кабелю между преобразователем и двигателем.

Благодаря низкому du/dt и малому шагу формирования кривой напряжения увеличивается срок службы двигателей.

Эффективная система охлаждения

Профессионально спроектированная система распределения потоков охлаждающего воздуха позволила отказаться от дополнительных вентиляторов охлаждения трансформаторов, устанавливаемых обычно в нижней части секции трансформатора, и от дополнительных вентиляторов секции управления.

Отсутствие вентиляторов охлаждения трансформатора позволяет увеличить КПД преобразователя частоты (до 0.3%) и облегчает расчет фактической экономии электроэнергии.

Топология инвертора

Формирование кривой выходного напряжения осуществляется последовательным соединением двухуровневых инверторных ячеек, созданных на низковольтных IGBT-транзисторах, обладающих высокой надежностью и широко используемых в промышленности. Благодаря модульной конструкции замена ячейки инвертора занимает несколько минут.

Охлаждение секции управления

Конструкция секции управления не требует установки дополнительных вентиляторов. Охлаждение элементов секции осуществляется потоком воздуха общей системы охлаждения. Примененное конструкторское решение

увеличивает надежность работы преобразователя частоты. Подробные характеристики преобразователя частоты изложены в приложение А.

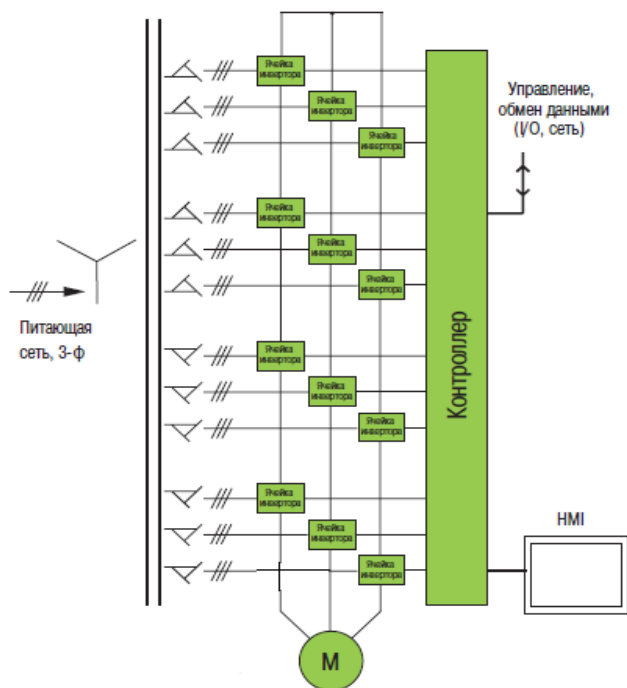


Рисунок 2.9 - Топология преобразователя частоты ATV1200

3 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

3.1 Разработка имитационных моделей электропривода со скалярным управлением

На рисунок 3.1 приведена функциональная схема реализации асинхронного частотно-регулируемого электропривода со скалярным управлением без датчика скорости. Основными функциональными элементами регулируемого асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением являются:

- преобразователь частоты;
- блок управления преобразователем, включающий в себя формирователь 3-фазной системы управляющих напряжений u_{1a} , u_{1b} и u_{1c} , формирователь 6-канального ШИМ-сигнала и блок драйверов;
- формирователь $\frac{U}{f}$ - характеристики;
- датчики в общем случае линейного тока двигателя;
- блок расчета фактического значения действующего фазного тока двигателя;
- элемент сравнения допустимого максимального и фактического значения действующего фазного тока двигателя и регулятор ограничения тока;
- блок компенсации скольжения;
- блок коррекции управления напряжением инвертора в функции фактического значения напряжения звена постоянного тока U_d преобразователя [11].

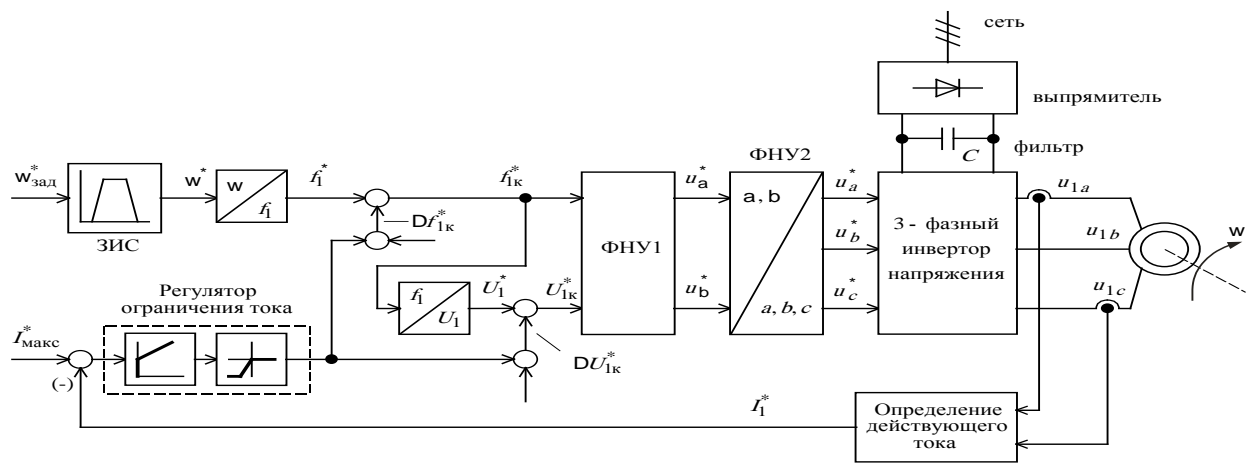


Рисунок 3.1 – Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным частотным управлением без датчика скорости

В функциональной схеме асинхронного электропривода со скалярным управлением используются следующие варианты реализации моделей:

- Имитационная модель электрической части силового канала насоса системы преобразователь частоты синхронного электродвигателя рисунок 3.2
- Имитационная модель механической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с насосной нагрузкой рисунок 3.3;
- Имитационная модель электрической части двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат рисунок 3.4
- имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера рисунок 3.5;
- имитационная модели датчика интенсивности с S-образной выходной характеристикой представлена на рисунке 3.6
- модель задание на силовой канал системы преобразователь частоты асинхронного электродвигателя рисунок 3.7.

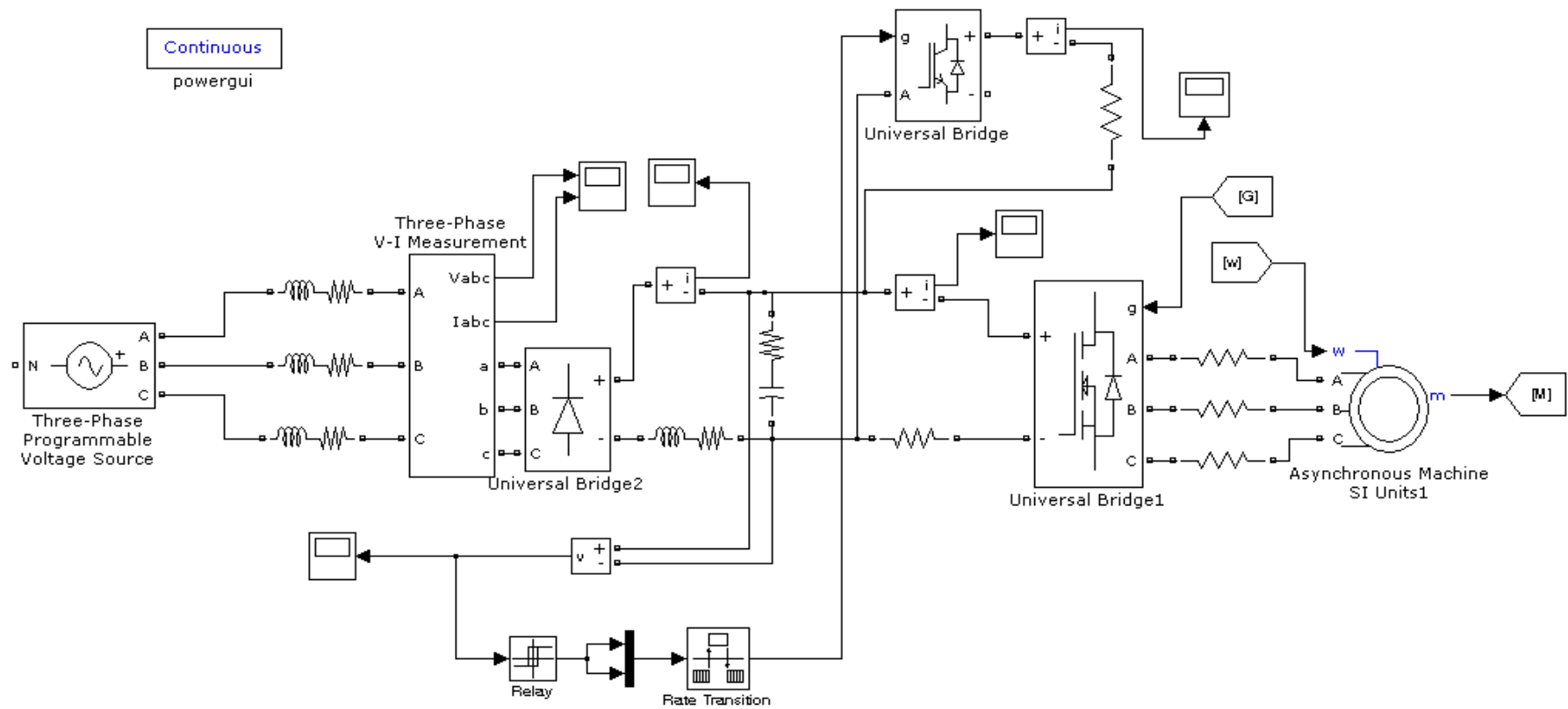


Рисунок 3.2 – Имитационная модель электрической части силового канала насоса системы преобразователь частоты синхронного электродвигателя

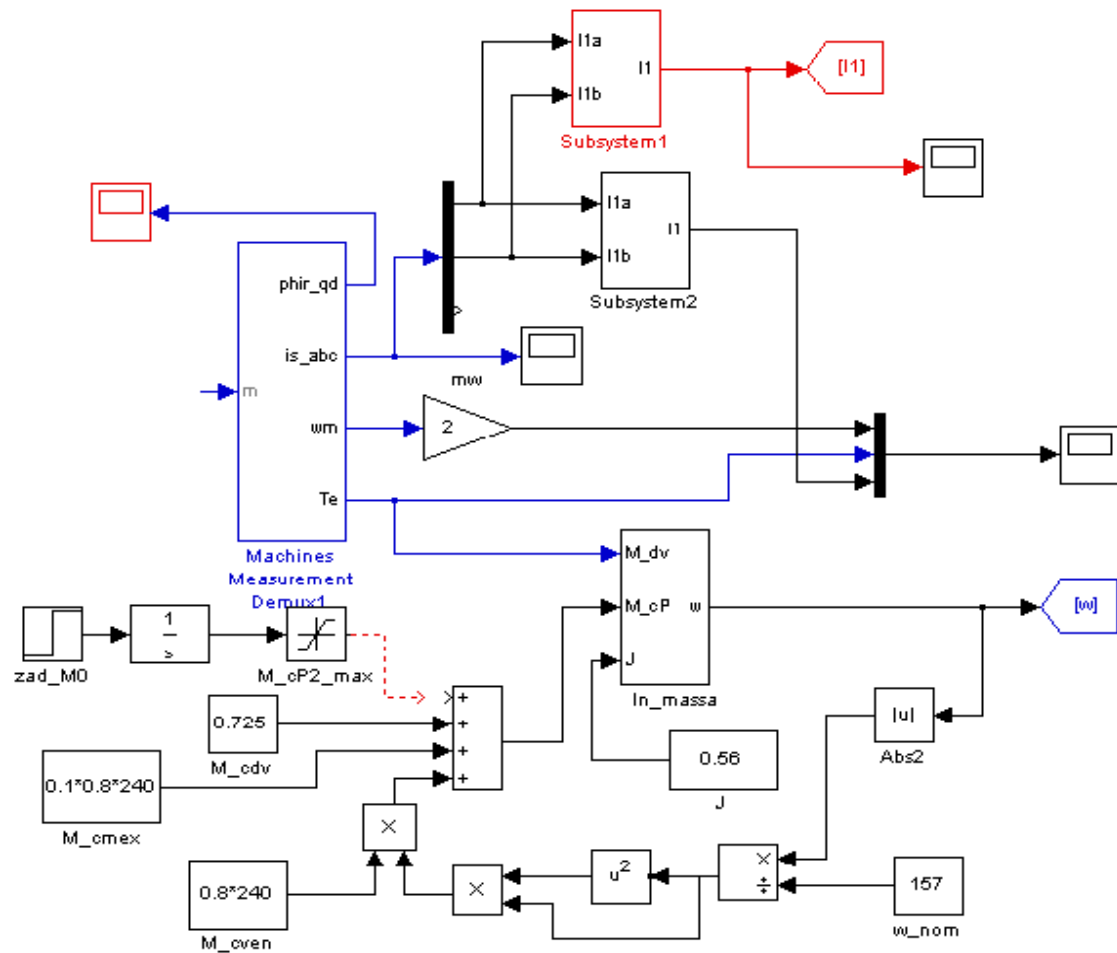


Рисунок 3.3 – Имитационная модель механической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с насосной нагрузкой.

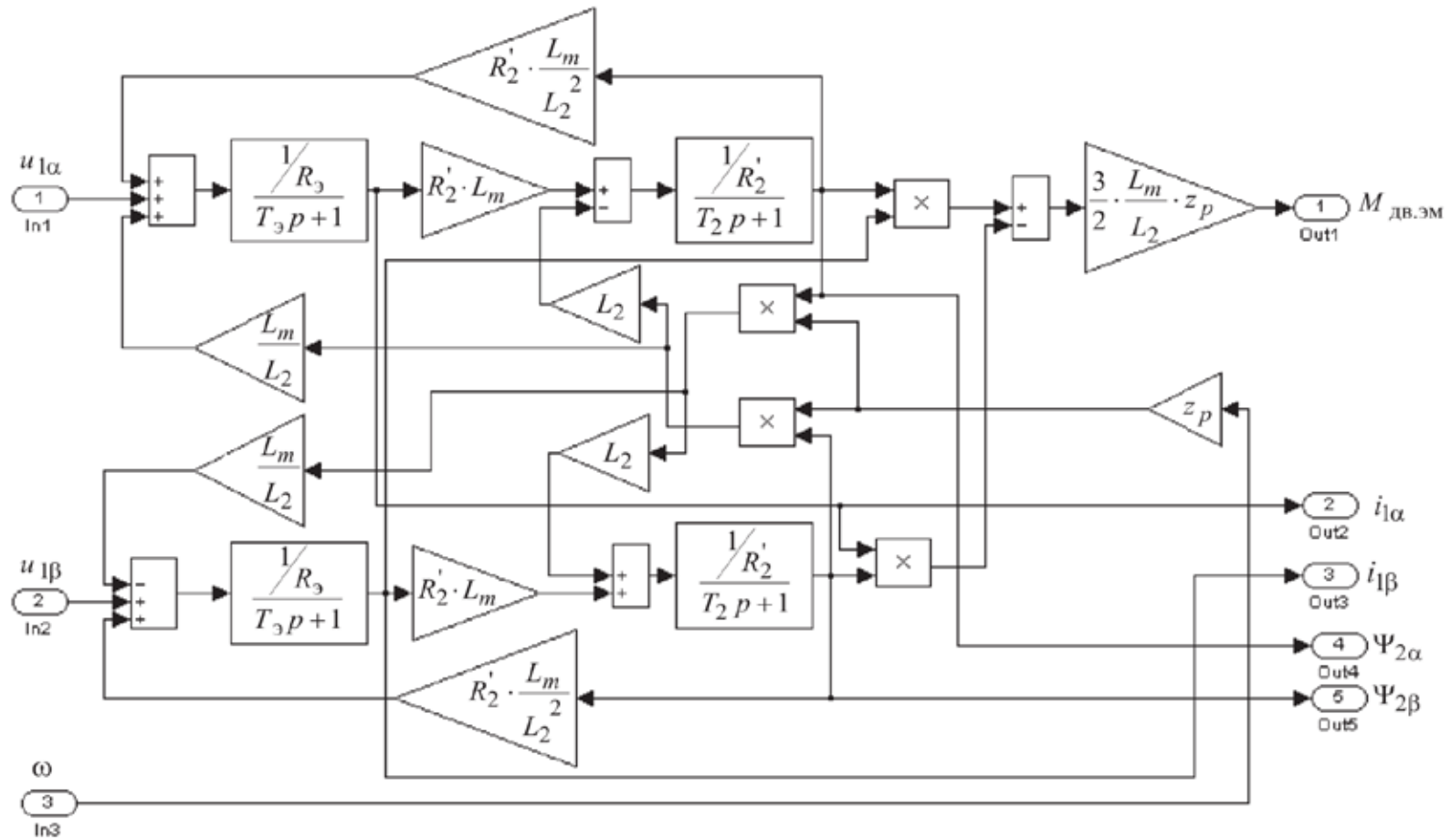


Рисунок 3.4 - Имитационная модель электрической части двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат

3.1.1 Одномассовая механическая система с реактивной нагрузкой

Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера, используемая при моделировании систем электропривода, представлена на рисунке 3.5

На схеме рисунка 3.5 приняты следующие дополнительные обозначения:

$M_{эм}$ – электромагнитный момент двигателя, Н⋅м;

$M_{ср}$ – приведенный к валу двигателя статический момент реактивного характера, Н⋅м;

$J_э$ – приведенный к валу двигателя эквивалентный момент инерции движущихся масс, кг⋅м²;

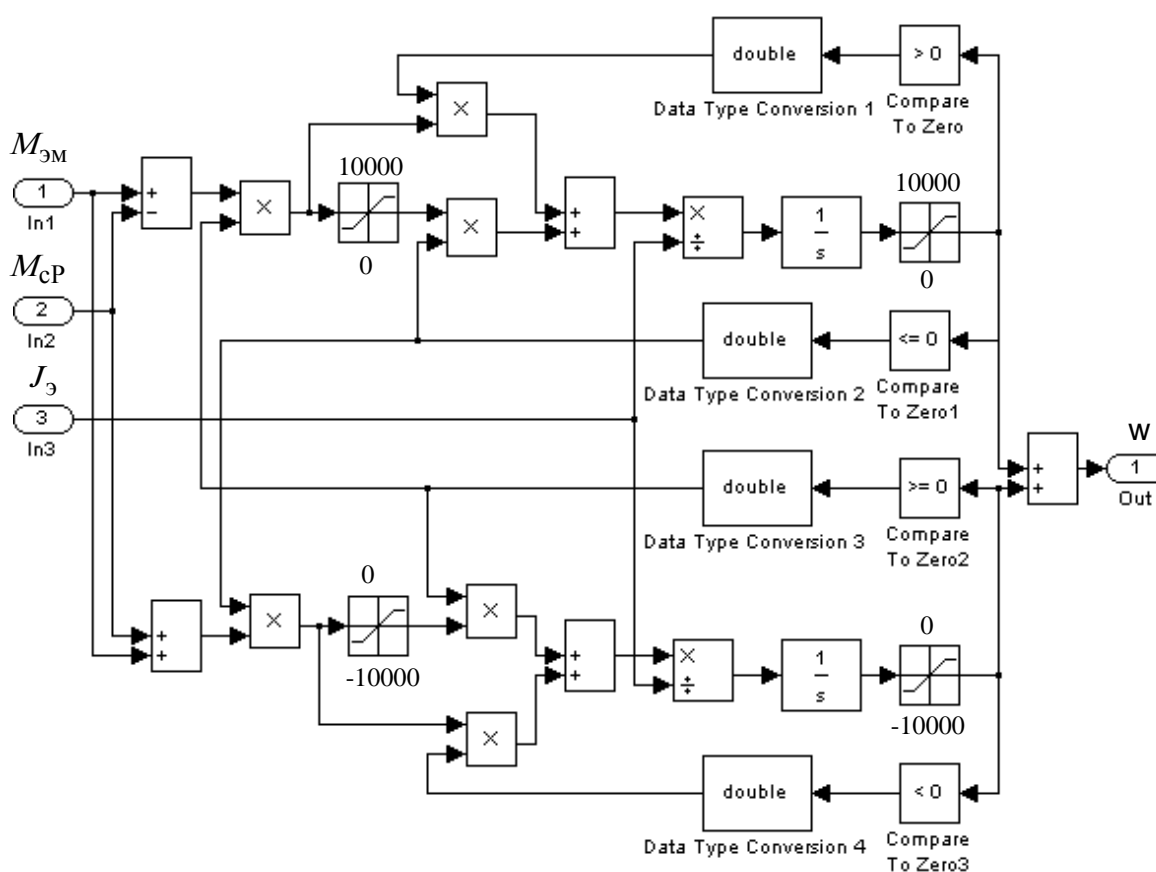


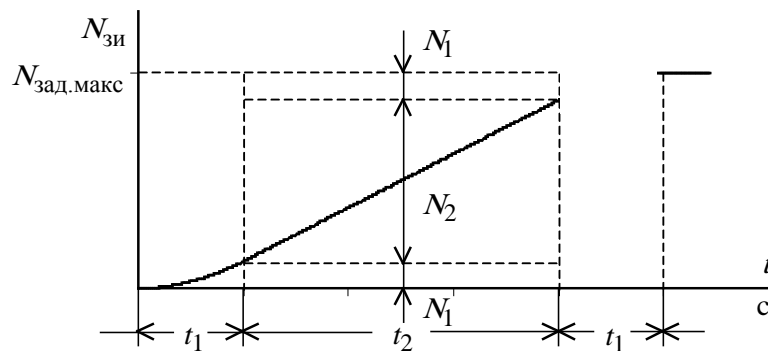
Рисунок 3.5 – Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера

3.1.2 Имитационная модель задатчика интенсивности с S-образной характеристикой

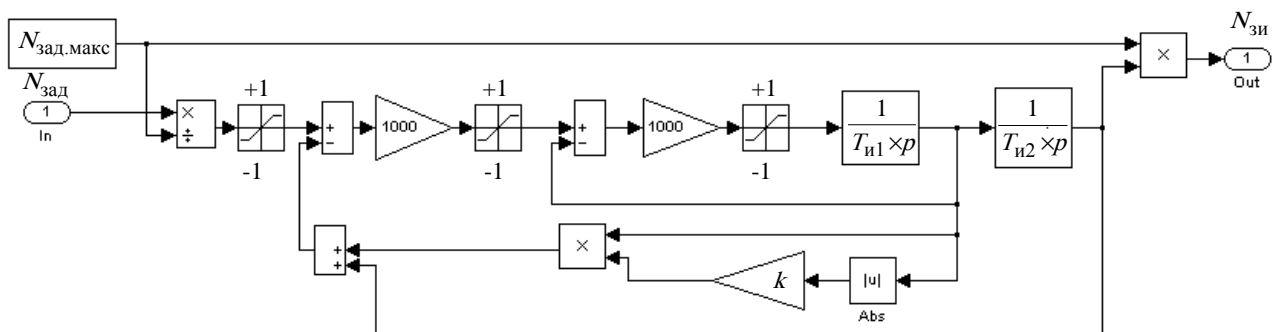
Схема набора имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной выходной характеристикой представлена на рисунке 3.5. Параметры настройки имитационной модели задатчика интенсивности с S-образной характеристикой определяются по выражениям:

$$T_{u1} = t_1, c \quad T_{u2} = t_1 + t_2, c$$

$$k = 0,5 \times \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$



a



б

Рисунок. 3.6. Задатчик скорости с S – образной характеристикой:
а – временная характеристика; б – имитационная модель

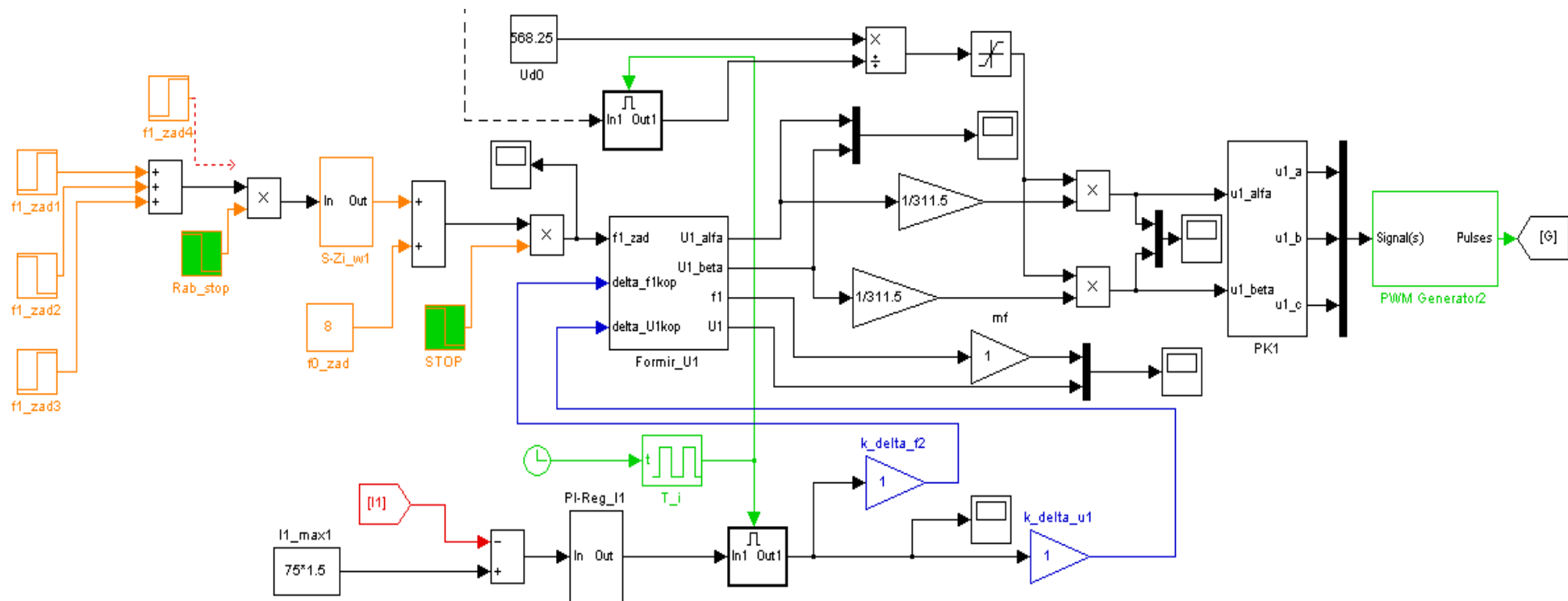


Рисунок 3.7 – Имитационная модель задание на силовой канал системы преобразователь частоты – асинхронного электродвигателя

3.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса при скалярном управлении

Насосная установка предназначена для непрерывного для поддержания давления в системе отопления, поэтому электропривод должен работать в продолжительном режиме и быть неререверсивным. Требования регулирования производительности насоса, согласования скоростей и равномерного распределения нагрузок в многодвигательном электроприводе, обуславливают необходимость регулирования скорости электропривода, диапазон которого, как правило, не превышает значения 2:1.

Наиболее жесткие и противоречивые требования к электроприводу предъявляются в режиме пуска и останова насосной установки. С одной стороны, необходим плавный пуск и ограничение колебаний скорости. С другой стороны, требуется минимальное время разгона электропривода.

В связи с этим требуется ограничение рывка (второй производной скорости), обеспечивающее мягкое сцепление вала приводного двигателя с валом насоса через соединительную муфту.

Кроме того, необходимо ограничение максимального ускорения (второй производной скорости) электропривода в легких переходных процессах при пуске с небольшой нагрузкой и ограничение максимального момента электропривода в тяжелых переходных процессах при полной загрузке.

3.2.1 Программа исследований электропривода

Работа электропривода насоса исследуется в двух режимах:

- плавный пуск насоса до максимальной скорости – снижение скорости на 50%
- выход на максимальную скорость – торможение и останов насоса.
- плавный пуск – разгон до максимальной скорости – авария- останов.

Модели частотно - регулируемого асинхронного электропривода насоса при скалярном управлении.

В данной работе рассматривается модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса со скалярным управлением с коррекцией вольт-частотной характеристики;

Библиотека моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса при скалярном управлении. REP_AD_TRM_Scal.mdl – модель асинхронного электропривода насоса с частотным скалярным управлением на базе модели электрической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель из пакета Simulink системы MATLAB, с датчиками токов i_{1a} , i_{1b} , и коррекцией вольт-частотной характеристики

$$\frac{U_1}{f_1} = const.$$

Схемы набора имитационных моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса при скалярном управлении приведены в приложении В.

3.3 Параметры элементов силового канала электропривода насоса

Справочные технические параметры электродвигателя насоса приведены в разделе 2.1.2 в таблице 2.2.

Параметры двигателя, принятые при расчете

$$h_{0.85} = 0,938; \cos \varphi_{0.87} = 0,84; b = 1,55$$

Расчетные параметры асинхронного электродвигателя

$$R_1 = 2,005 \text{ Ом}; L_{1s} = 0,018 \text{ Гн};$$

$$R_2' = 1,26 \text{ Ом}; L_{2s}' = 0,024 \text{ Гн};$$

$$L_m = 0,68553 \text{ Гн}; z = 3$$

$$\omega_n = 154,566 \text{ рад / с}; I_n = 47,167 \text{ А}; M_n = 2588 \text{ Н} \times \text{м}$$

Параметры преобразователя частоты серии Altivar 1200

$$I_{u.n} = 60 \text{ A}; I_{u.длит.дон} = 96 \text{ A при } f_{шум} \approx 5000 \text{ Гц}$$

$$I_{u.макс} = 66 (60с), \dots (2с) \text{ A}; f_{шум} = 5000 \text{ Гц}$$

3.3.1 Параметры элементов силового канала электропривода

Выбираем параметры сетевого трансформатора или реактора в соответствии с таблицей 3.1 для расчетного значения номинального тока обмотки фазы

$$I_{рфн} = I_{1фн} \times \frac{\sqrt{3} \times U_{1фн}}{U_c} = 47,167 \times \frac{\sqrt{3} \times 3464}{6616} = 42,77 \text{ A}$$

Таблица 3.1 – параметры сетевого трансформатора

$I_{рфн}, \text{ A}$	12.3	20.5	41	82	165	265	410	660	820
$L_p, \text{ мГн}$	3	2	1	0.5	0.25	0.156	0.1	0.064	0.05
$R_p, \text{ мОм}$	450	265	100	37	13	7.2	3.8	2.1	1.4
$I_{дн}, \text{ A}$	15	25	50	100	200	320	500	800	1000

Принимаем: $R_p = 0,37 \text{ Ом}; L_p = 0,05 \times 10^{-3} \text{ Гн}$

Принимаем: $C = 100 \times 400 \times 10^{-6} \text{ Ф}$, из условия $C \gg (100, 300) \times P_n$; мкФ , где

P_n - номинальная мощность двигателя, кВт

Параметры механической системы электропривода насоса

$$DM_{c.дв} = 2,704 \text{ Н} \times \text{м}$$

$$J_{мех} = 2 \times J_3, \text{ кг} \times \text{м}^2$$

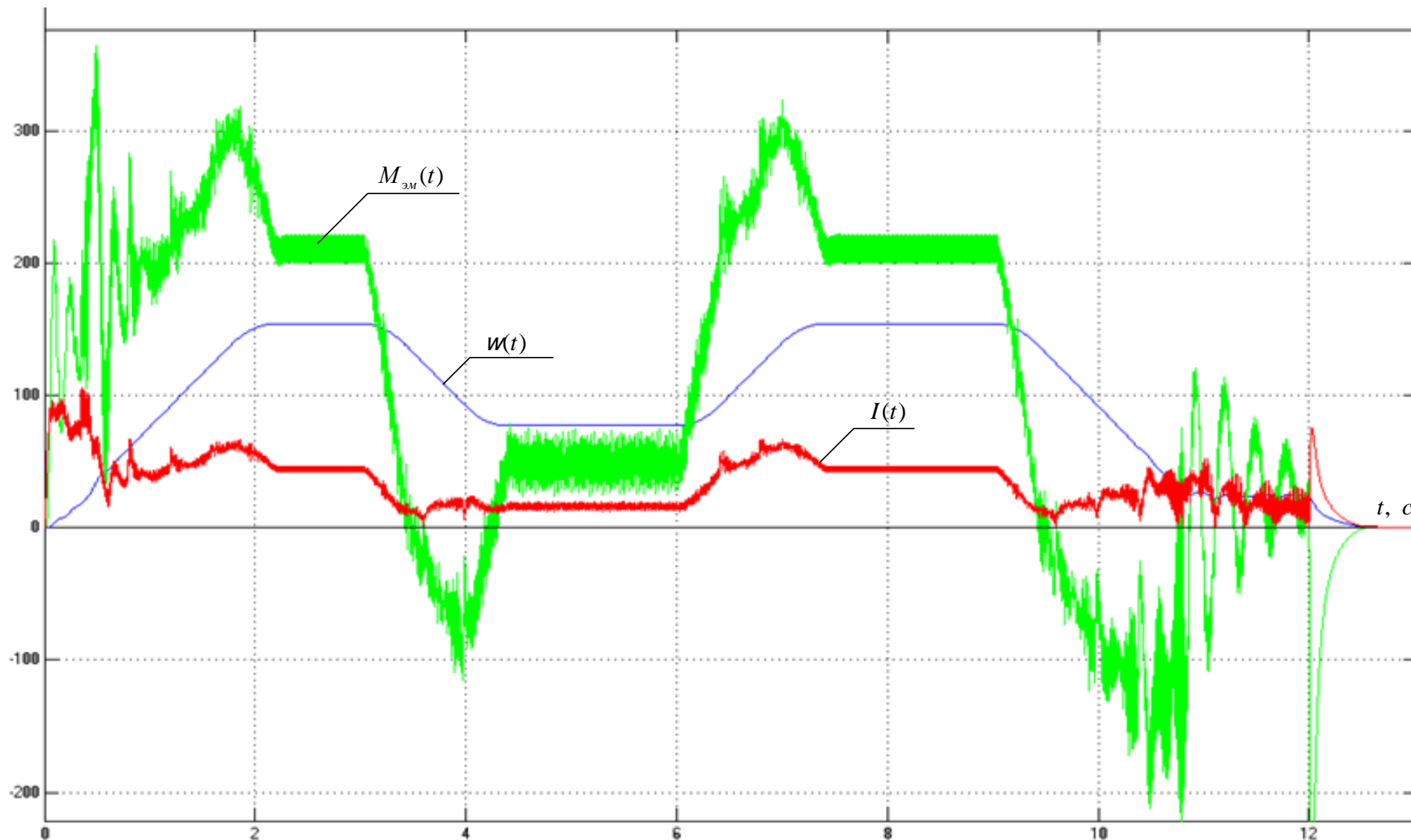


Рисунок 3.8 Диаграммы отработки электроприводом насоса цикла: разгон на максимальную скорость – снижение скорости на 50% - разгон на максимальную скорость – торможение и останов

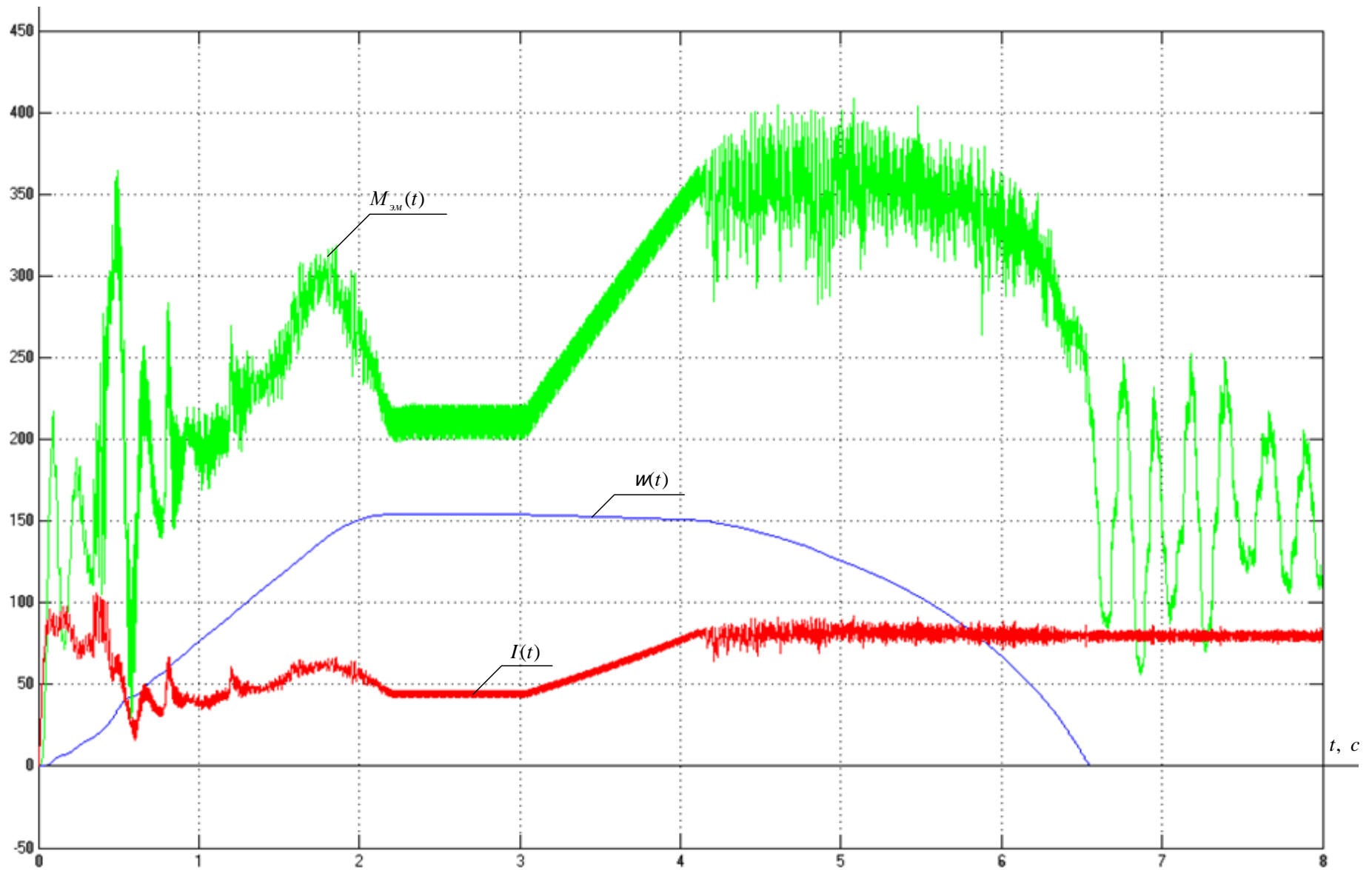


Рисунок 3.9 - Диапазон работы электропривода насоса при внезапной перегрузке по моменту

По результатам исследования были получены характеристики:

Если электроприводу подать задание на отработку определенного цикла технологического процесса, то это значит, что в пуско - тормозных режимах электропривода будет ограничивать значения динамического момента и тока двигателя, а при *S*-образной выходной характеристики задатчика – дополнительно и скорость их наименьшая. Однако, фактическое значение момента на валу двигателя и тока двигателя будут зависеть еще и от величины статического момента и характера нагрузки, а также от конкретного вида пуска - тормозного режима.

В рассмотренном электроприводе механизмов, для которых кратковременные большие перегрузки и стопорения двигателя являются рабочими режимами необходимо не только ограничивать величину тока и момента, но и поддерживать допустимое значения момента на валу двигателя в течении всего времени перегрузки. Большие кратковременные перегрузки вызывают провал скорости двигателя и затем восстановление её после исчезновения перегрузки. Процессы торможения и разгона двигателя в этом случае уже не управляются от задатчика скорости и могут сопровождаться большими бросками тока и момента двигателя, если их величину не ограничивать.

Из рисунка 3.8 и 3.9 видны значительные пульсации тока, момента и скорости, что не позволяет говорить о плавных характеристиках процесса.

На установившейся скорости в диапазоне 2:1 работу электропривода можно считать удовлетворительной, с незначительными пульсациями тока и момента.

Вывод к разделу 3

Скалярное управление одно из простейших вариантов реализации частотного – регулируемого асинхронного электропривода, имеющие не высокие качественные показатели: небольшой диапазон регулирования скорости, большая погрешности скорости и малое быстродействие, что обусловлено необходимостью применения задатчика интенсивности скорости.

Приведенные простейшие электроприводы со скалярным управлением во многих случаях полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к электроприводу производственного механизма. Они широко применяются для решения задач регулирования скорости механизмов во вновь проектируемом технологическом оборудовании скоростью механизмов, а так же в качестве замены нерегулируемого электропривода переменного тока и регулируемого электропривода постоянного тока с обратными связями по напряжению и ЭДС двигателя. Сильные пульсации в момент пуска и момент торможения предотвратить практически не возможно даже благодаря скалярному управлению.

4. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

4.1 Разработка имитационной модели регулируемого электропривода с векторным управлением

Система векторного частотного управления асинхронным двигателем базируется на представлении физических переменных двигателя пространственными векторами, у которых могут изменяться как модули так и положения в пространстве. Основой для реализации систем управления частотного – регулируемых асинхронных электроприводов с векторным управлением является структурная схема двухфазного асинхронного двигателя во вращающейся системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора Ψ_2^*

Модели регулируемого асинхронного электропривода с частотным векторным управлением реализуются на основе базовой функциональной схемы:

- с моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ (рисунок 4.1)
- схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с точной моделью двухфазного асинхронного двигателя без датчика потока и скорости (рисунок 4.2).

Общим для модели является 4-х контурная система автоматического управления (САУ) регулируемого асинхронного электропривода (РЭП). Управляющими сигналами на входе РЭП постоянное значение потокосцепления ротора Ψ_2^* и заданное значение скорости вращения двигателя ω^* . В частном случае возможно отсутствие контура и регулятора потокосцепления ротора. В этом случае задается значение тока I_d , которое затем удерживается постоянным, в процессе работы привода. Развитие моделей осуществляется путем исключения датчиков потока и скорости вращения двигателя и реализации позиционных и следящих систем электропривода.

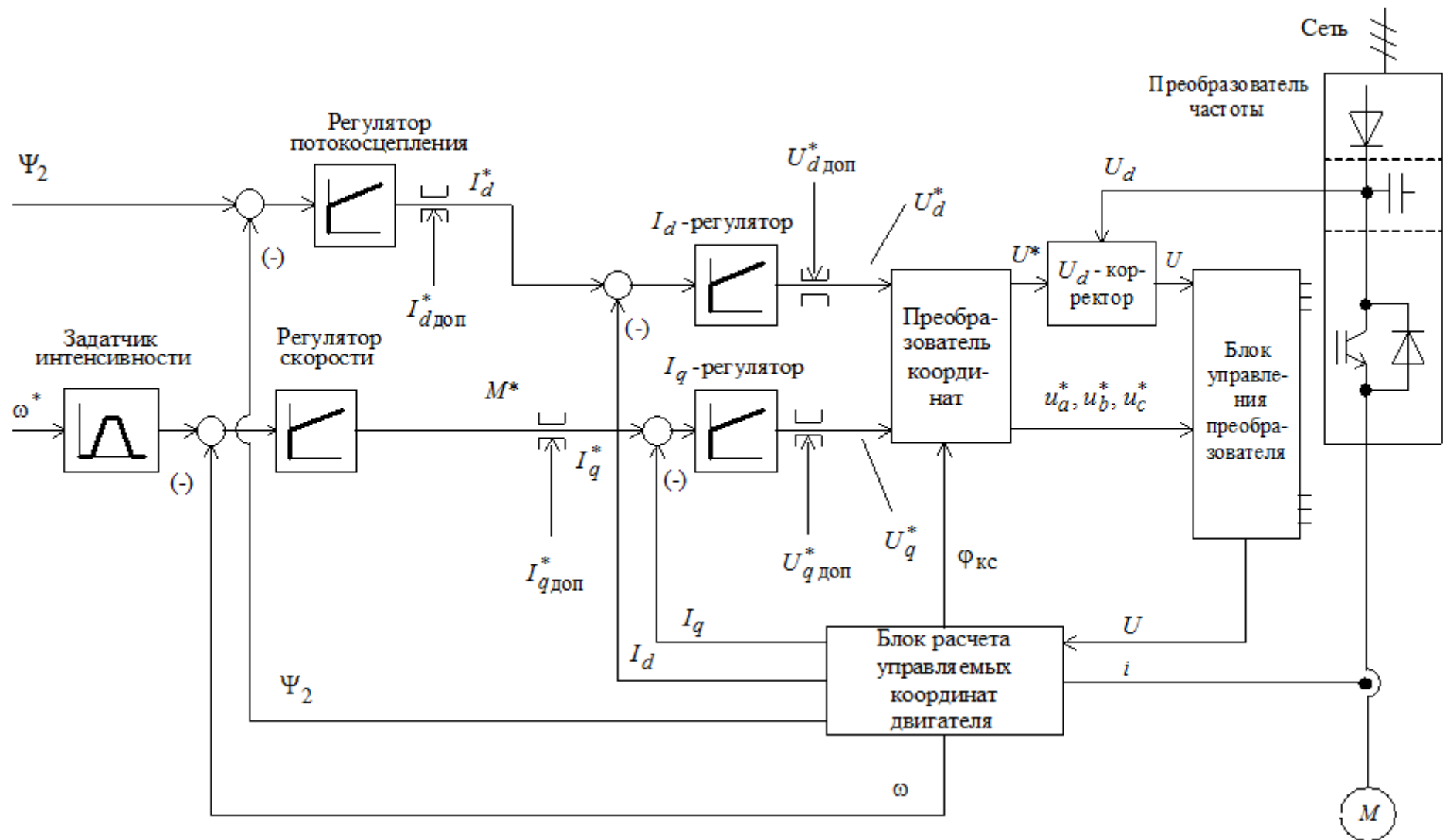


Рисунок 4.1 - Функциональная схема асинхронного электропривода с частотным векторным управлением и моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ без датчиков потока и скорости

- В моделях асинхронного электропривода с частотным векторным управлением используются следующие модели асинхронного электродвигателя:
- двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, структурная схема которого представлена на рисунке 4.2 (полная схема) и рисунке 4.3 (упрощенная схема);
 - двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора a, b (рисунок 4.4)
 - трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат статора a, b, c (рисунок 4.5);

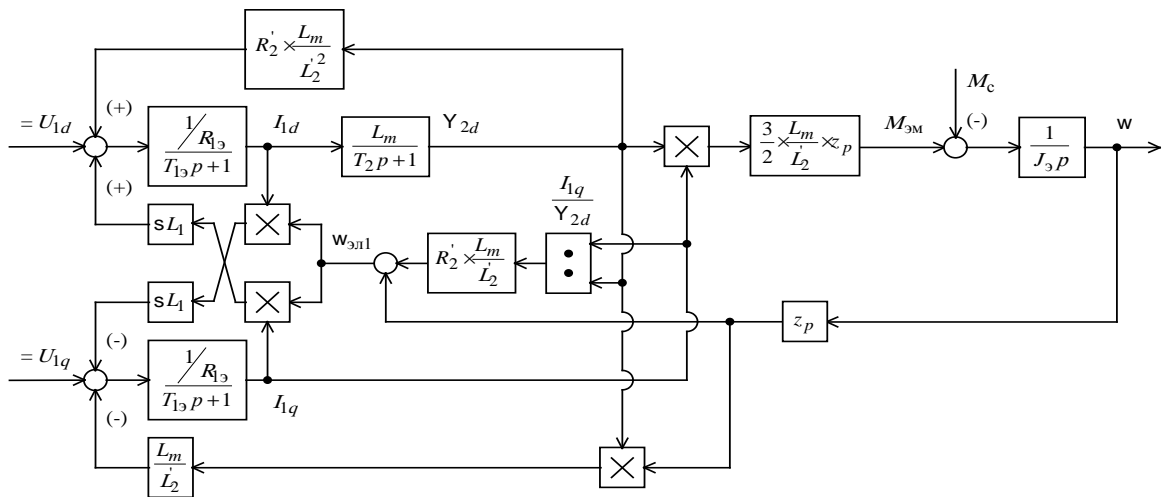


Рисунок 4.2 - Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

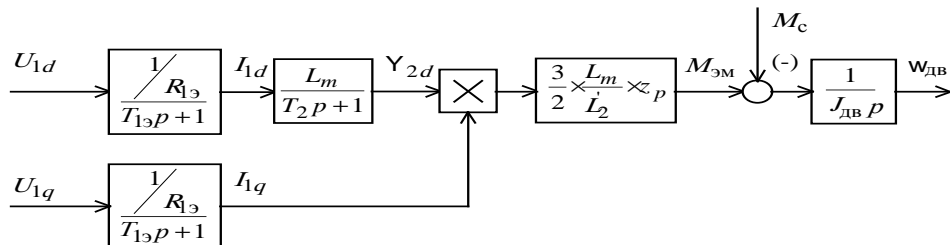


Рисунок 4.3 – Структурная схема двухфазного асинхронного электродвигателя во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, с компенсированными внутренними обратными связям

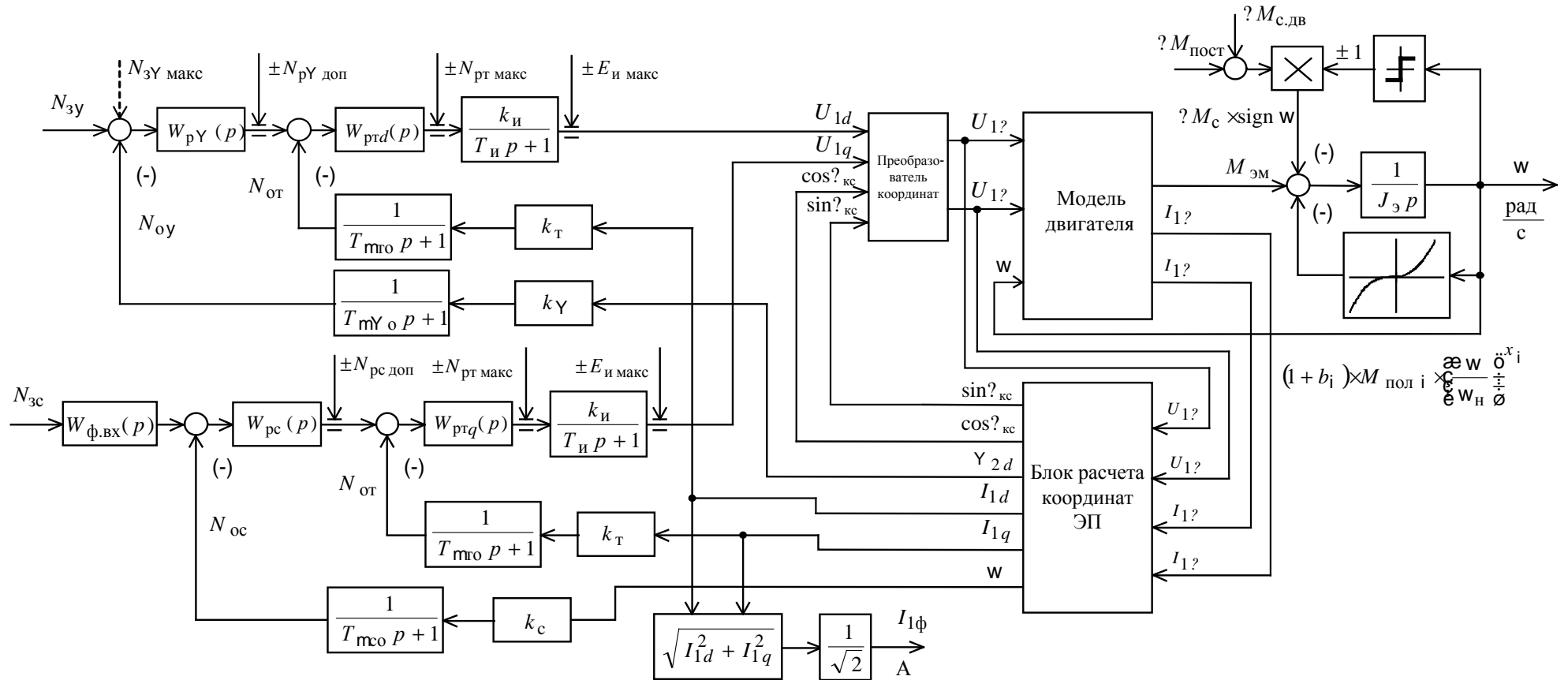


Рисунок 4.4 - Структурная схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с точной моделью двухфазного асинхронного двигателя без датчика потока и скорости

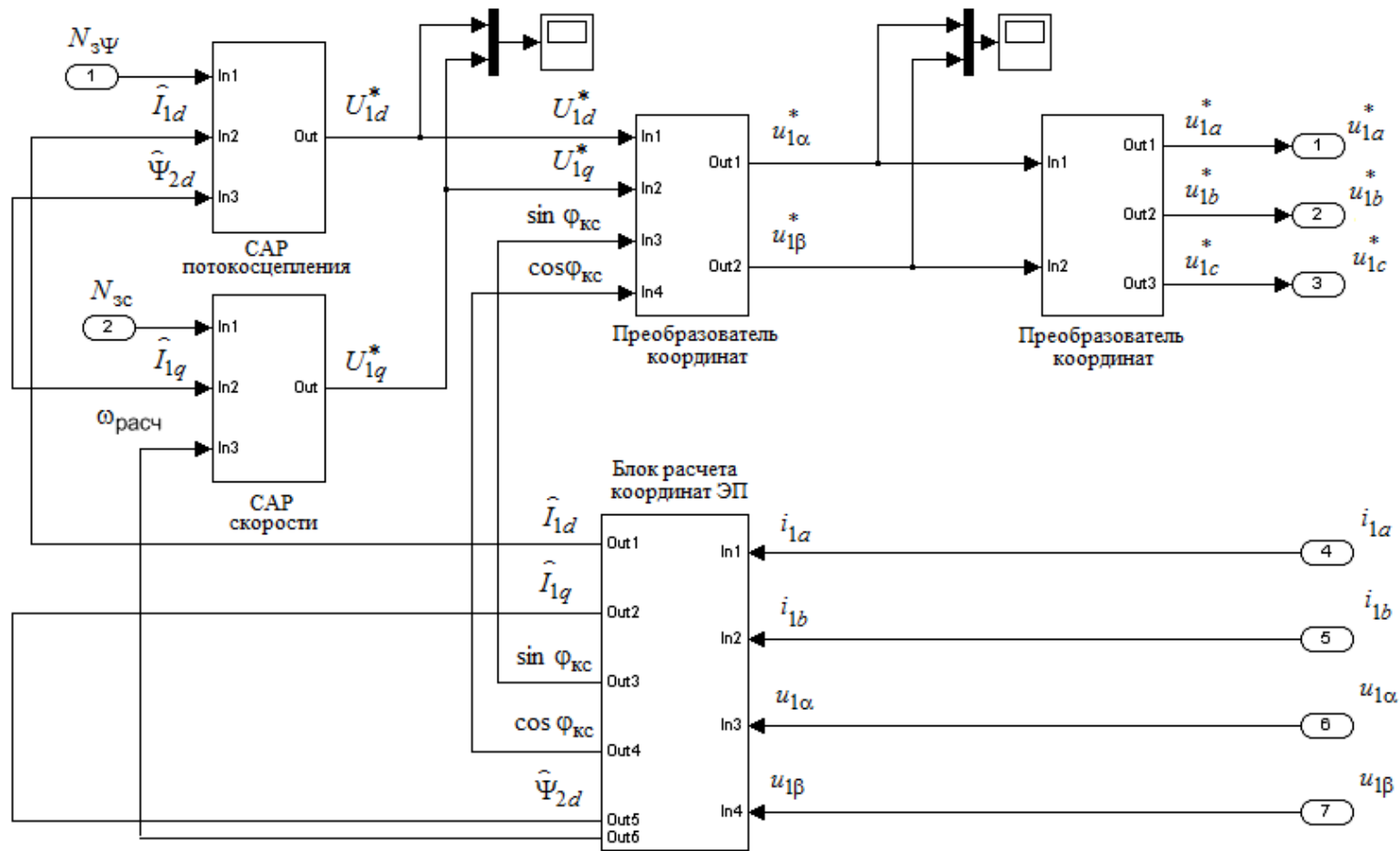


Рисунок 4.5 - Имитационная модель блока расчета управлений и преобразования координат системы векторного управления регулируемого асинхронного электропривода

4.1.1 Структурные схемы блоков преобразования координат

двигателя

Поскольку управления трехфазным асинхронным двигателем формируется в двухфазной системе координат, в моделях электропривода используются блоки прямого и обратного преобразования координат двигателя. Схемы моделей блоков преобразователей координат приведены на рисунок 4.6 и 4.7. Для преобразования не указанных на приведенных схемах координат двигателя блоки идентичные.

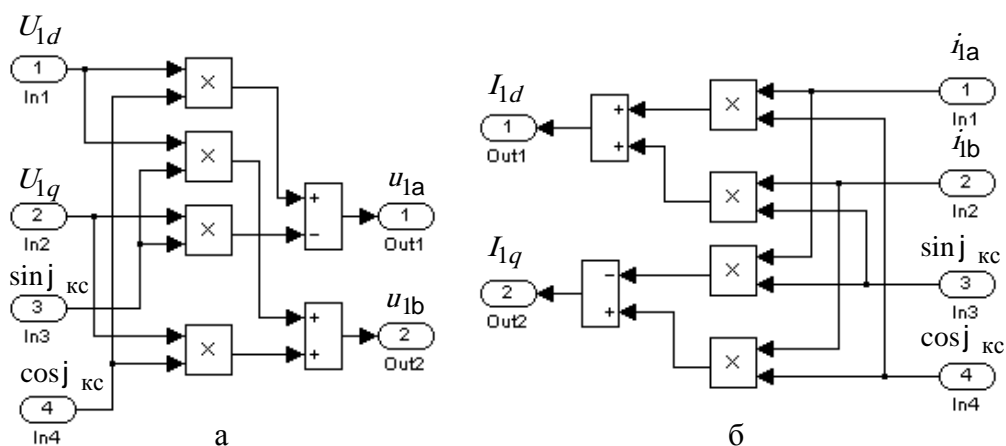


Рисунок 4.6 – Имитационные модели преобразователей координат:

- а – из вращающейся системы координат d, q в неподвижную систему a, b ;
- б – из неподвижной системы координат a, b во вращающуюся систему d, q

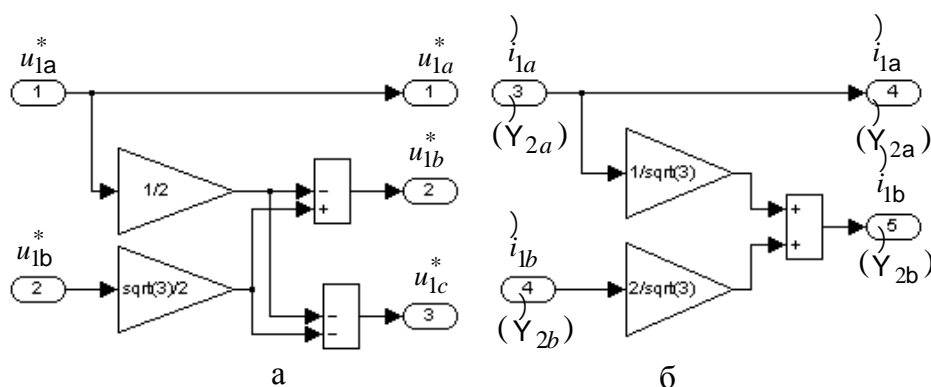


Рисунок 4.7 – Имитационные модели преобразователей координат:

- а – из неподвижной двухфазной координатной системы a, b в неподвижную трехфазную систему координат a, b, c ;
- б – из неподвижной трехфазной системы координат a, b, c в неподвижную двухфазную координатную систему a, b

4.1.2 Структурные схемы ПИ-регуляторов

Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с неуправляемым значением уровня ограничения интегральной составляющей выходного сигнала в режиме насыщения приведена на рисунке 4.8.

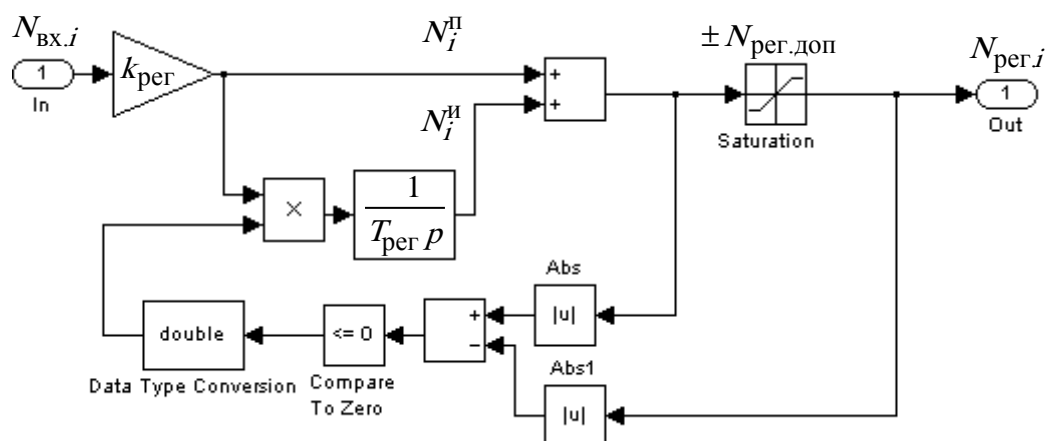


Рисунок 4.8. Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с отключением интегральной составляющей сигнала при насыщении.

Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с управляемым значением уровня ограничения интегральной составляющей выходного сигнала в режиме насыщения приведена на рисунке. 4.9.

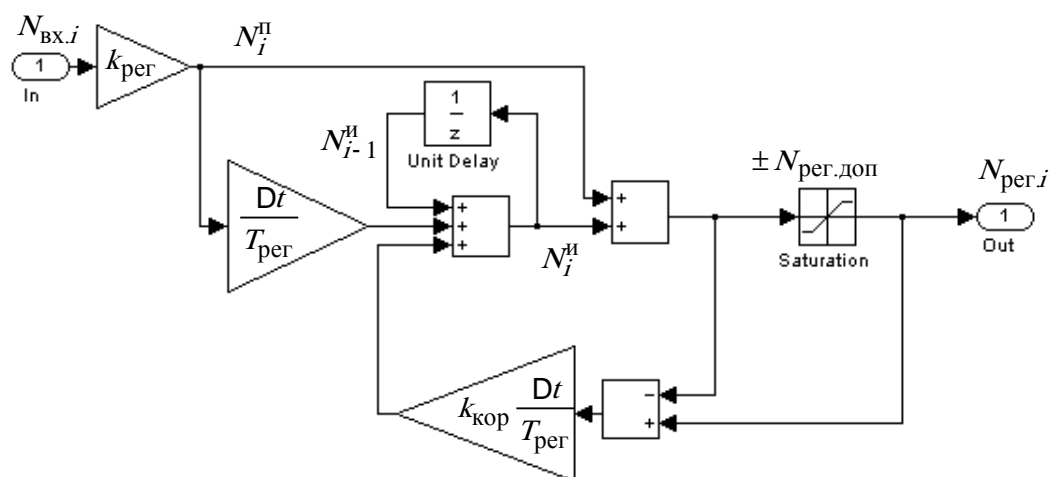


Рисунок. 4.9. Схема набора имитационной модели ПИ-регулятора с регулируемым значением интегральной составляющей сигнала в режиме насыщения.

Для ограничения выходного сигнала регулятора скорости в зависимости от фактического значения сигнала регулятора потокосцепления используется модель ПИ-регулятора скорости, приведенная на рисунке 4.10.

Для ограничения выходного сигнала регулятора тока I_q в зависимости от фактического значения сигнала регулятора тока I_d используется модель ПИ-регулятора тока, приведенная на рисунке. 4.11. Для компенсации влияние ЭДС вращения, наводимой в статоре потокосцеплением ротора, в регуляторе тока I_q предусмотрена положительная обратная связь по скорости двигателя с коэффициентом $k_{\text{пос}}$.

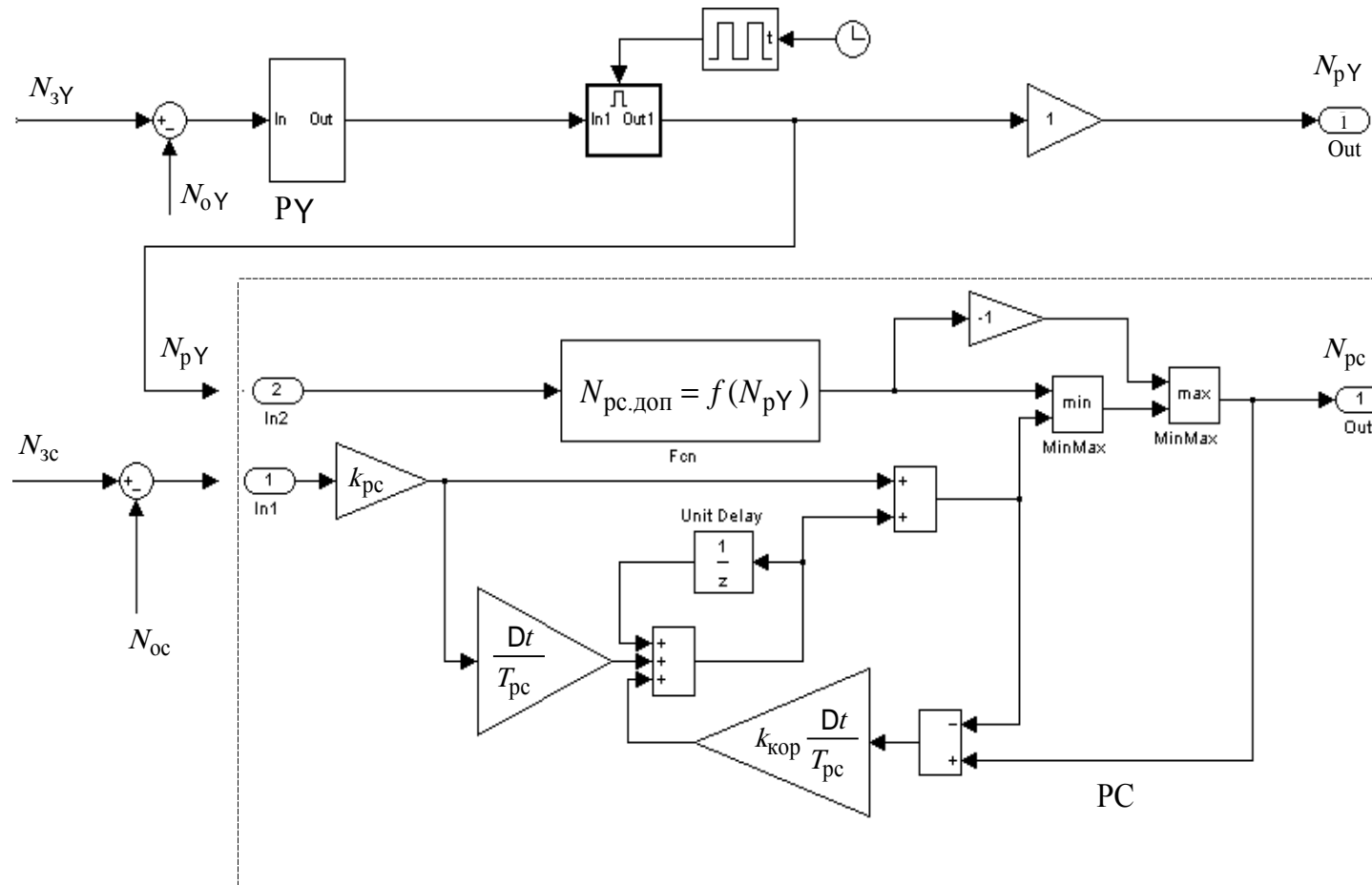


Рисунок 4.10 - Имитационная модель ПИ-регулятора скорости с управляемым значением ограничения выходного сигнала

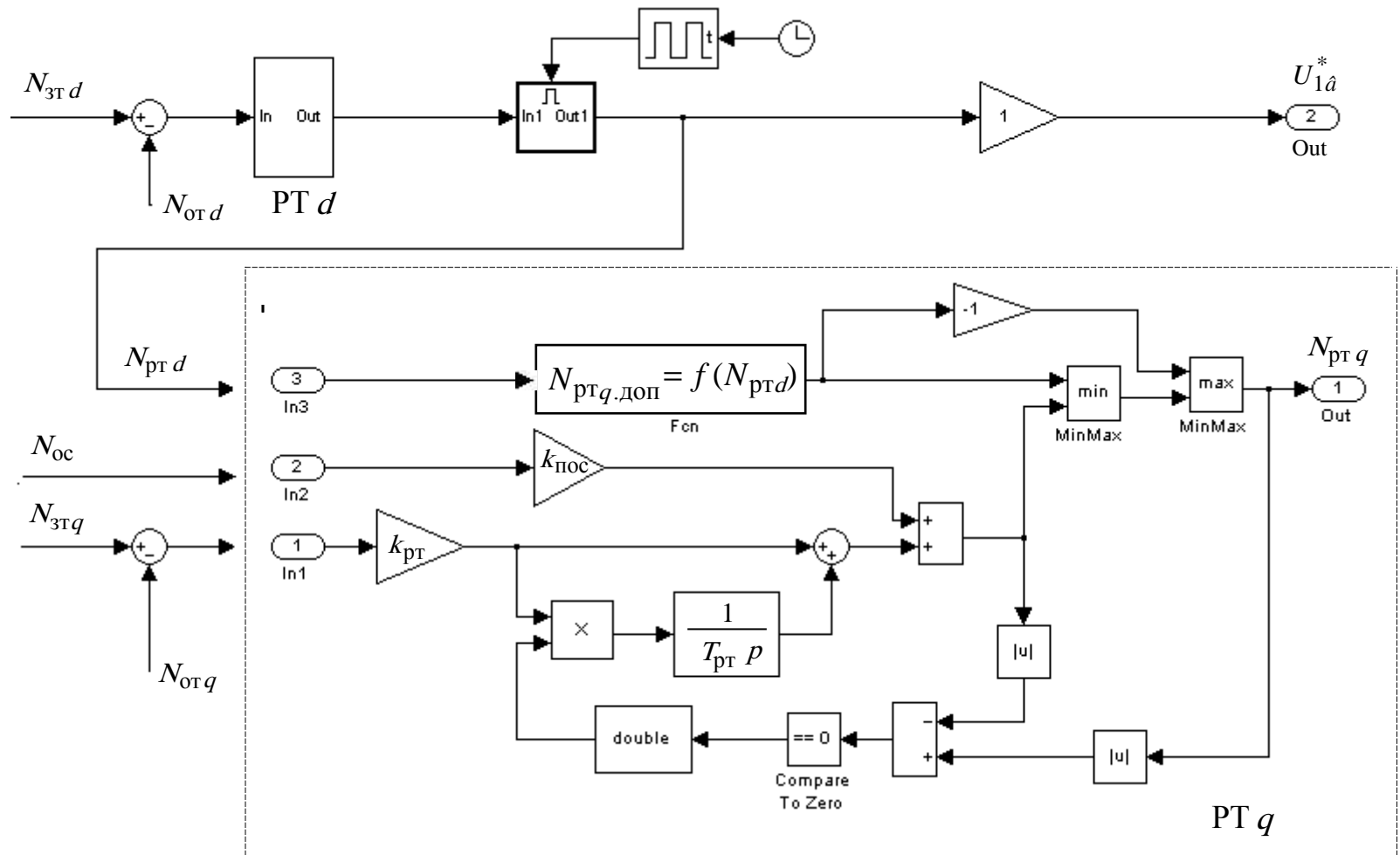


Рисунок 4.11 - Имитационная модель ПИ-регулятора тока I_q с положительной обратной связью по скорости двигателя и управляемым значением ограничения выходного сигнала

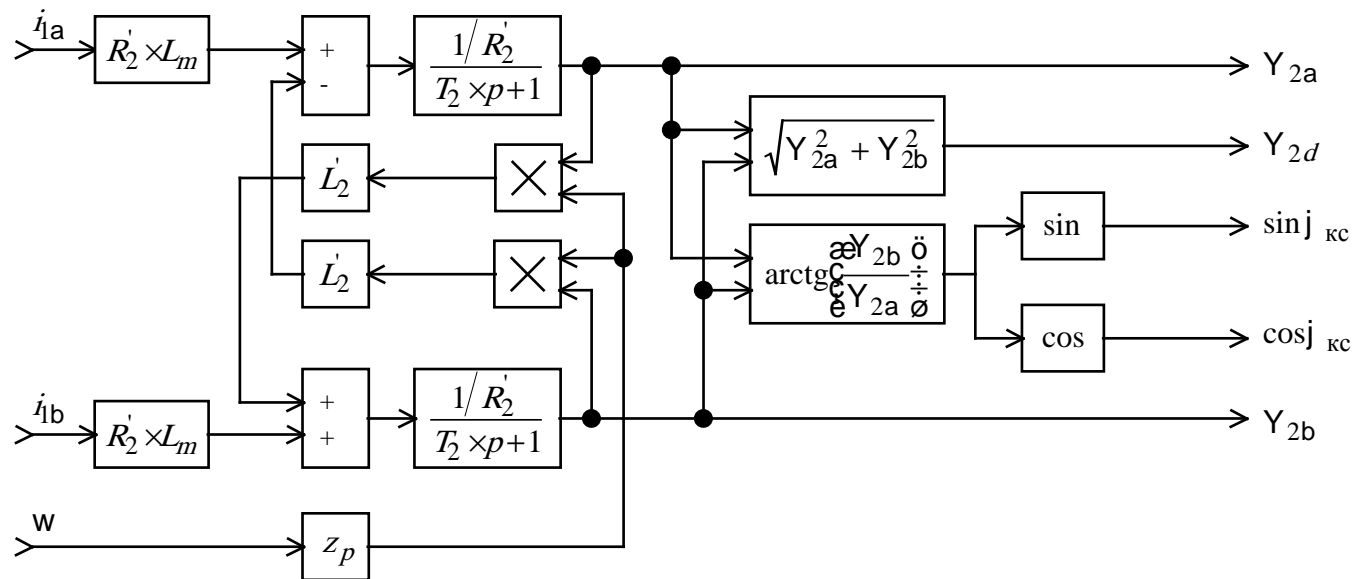


Рисунок 4.12 - Схема расчета угла поворота вращающейся координатной системы с использованием значений измеренных токов i_a , i_b и скорости w двигателя

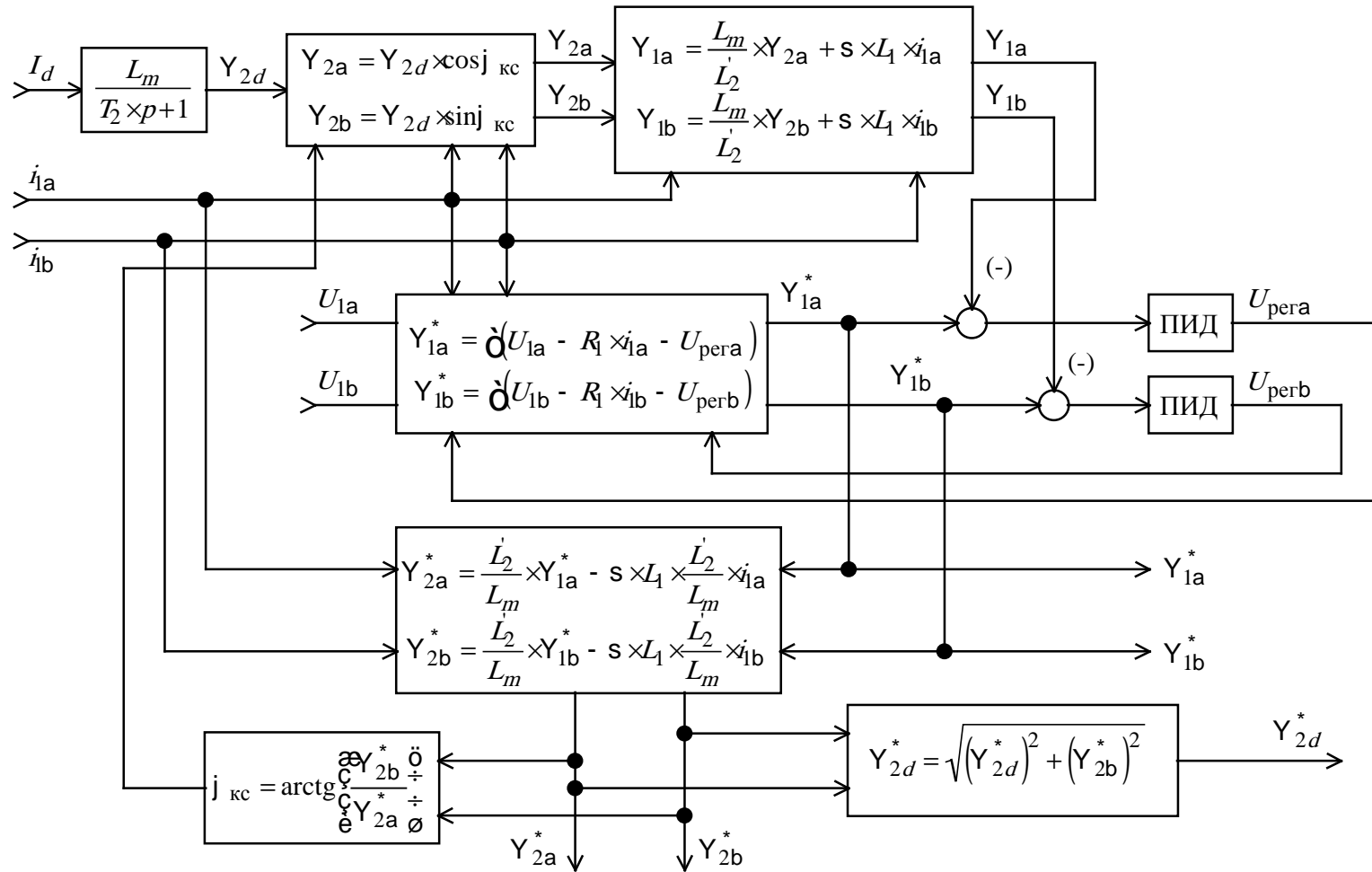


Рисунок 4.13 - Схема расчета угла поворота вращающейся координатной системы с использованием значений токов i_{1a} , i_{1b} , I_d и напряжений U_{1a} , U_{1b}

В электроприводе без датчиков скорости и потока, скорость вращения двигателя может быть рассчитана в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 4.14

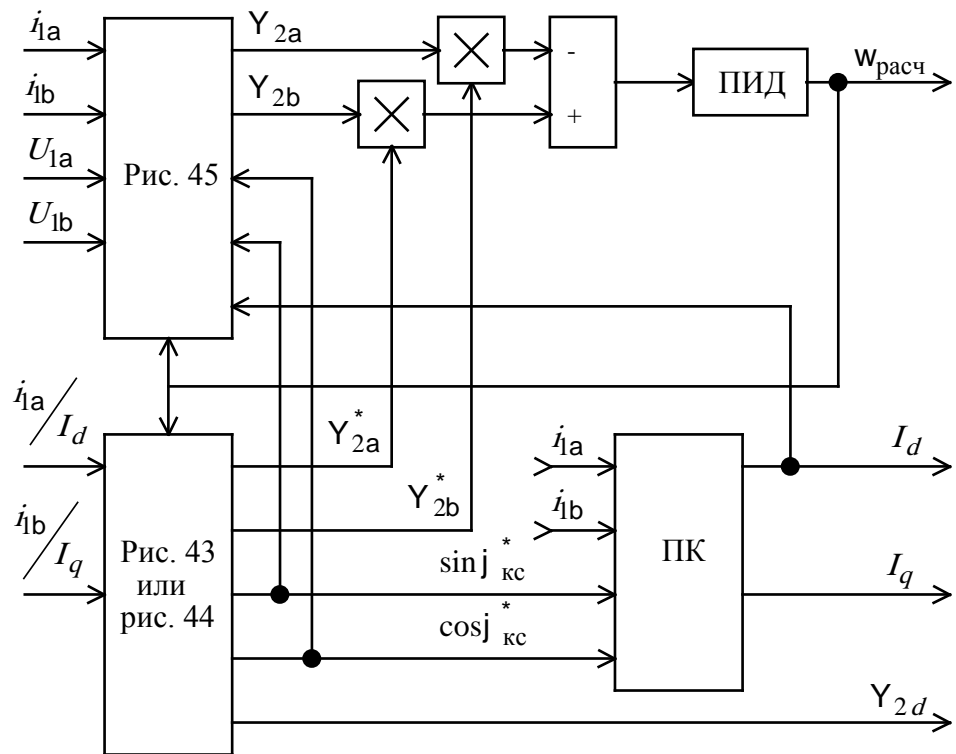


Рисунок 4.14 - Схема расчета скорости двигателя в бездатчиковом электроприводе.

4.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода вращающихся насоса с векторным управлением

4.2.1 Программа исследований электропривода

Работа электропривода насоса исследуется в режиме:

Плавный пуск – разгон до максимальной скорости – снижение скорости до 50% – разгон до максимальной скорости – торможение и останов.

Модели частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса с векторным управлением

Рассматривается модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода сетки при векторном управлении:

– без датчика скорости.

Библиотека моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса с векторным управлением: REP_AD_TRM_vect.mdl – модели асинхронного электропривода насоса с частотным векторным управлением на базе модели электрической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель из пакета Simulink системы MATLAB, с датчиками токов i_{1a} , i_{1b} , без датчиков потока и скорости вращения двигателя.

Схемы набора имитационных моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса при векторном управлении приведены в приложении С.

4.2.2 Расчет параметров моделей асинхронного электропривода насоса с частотным векторным управлением

Расчет параметров элементов силового канала

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = L_{1s} + L_m = 0,018 + 0,68553 = 0,70353 \text{ Гн};$$

– ротора

$$L\phi = L'_{2\sigma} + L_m = 0,024 + 0,68553 = 0,70953 \text{ Гн}$$

Коэффициент рассеяния магнитного потока:

$$s = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \times L\phi} = 1 - \frac{0,68553^2}{0,70353 \times 0,70953} = 0,059$$

Эквивалентное сопротивление цепи статора:

$$R_{1\sigma} = R_1 + R_2 \times \frac{L_m^2}{L\phi^2} = 2,005 + 1,265 \times \frac{0,68553^2}{0,70953^2} = 3,186 \text{ Ом}$$

Электромагнитные постоянные времени статора и ротора:

$$T_{1\sigma} = \frac{\sigma \times L_1}{R_{1\sigma}} = \frac{0,059 \times 0,70353}{3,186} = 0,01293 \text{ с}$$

$$T_2 = \frac{L\phi}{R\phi} = \frac{0,70953}{1,265} = 0,56089 \text{ с}$$

Период ШИМ:

$$T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = \frac{1}{5 \times 10^3} = 2 \times 10^{-4} \text{ с}$$

Напряжение звена постоянного тока преобразователя:

$$U_{d0} = \frac{\sqrt{2} \times \sqrt{3} \times U_{1\text{фн}}}{\gamma_{\text{макс}}} = \frac{\sqrt{2} \times \sqrt{3} \times 3464}{0,95} = 8932 \text{ В}$$

где $\gamma_{\text{макс}} = 0,95$ – максимальное значение коэффициента относительной продолжительности включения ключей инвертора.

Линейное напряжение источника питания преобразователя:

$$U_c = \frac{U_{d0}}{1,35} = \frac{8932}{1,35} = 6616 \text{ В}$$

Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя:

$$k_{\text{и}} = \frac{U_{d0}}{\sqrt{3}} = \frac{8932}{\sqrt{3}} = 5157$$

Значение номинального потокосцепления двигателя

$$Y_{2\text{н}} = \sqrt{2} \times I_0 \times L_m = \sqrt{2} \times 15,677 \times 0,68553 = 15,199 \text{ Вб}$$

Значение номинального тока I_{1d} :

$$I_{1d\text{н}} = \sqrt{2} \times I_0 = \sqrt{2} \times 15,677 = 22,171 \text{ А}$$

Эквивалентный момент нагрузки, приведенный к валу двигателя:

$$M_{\text{эп.макс}} = 1,5M_{\text{дв.н}} + DM_{\text{с.дв}} = 1,5 \times 2588 + 96,457 = 3978 \text{ Н} \times \text{м}$$

Значение максимального тока I_{1q} :

$$I_{1q.\text{макс}} = \frac{M_{\text{эп.макс}}}{\frac{3}{2} \times \frac{L_m}{L\phi} \times z_p \times Y_{2\text{н}}} = \frac{3978}{\frac{3}{2} \times \frac{0,68553}{0,70953} \times 2 \times 15,199} = 90,31 \text{ А}$$

Модуль вектора тока статора:

$$\text{mod } I_{1\text{макс}} = \sqrt{I_{1q\text{макс}}^2 + I_{1d\text{н}}^2} = \sqrt{90,31^2 + 22,171^2} = 92,991 \text{ А}$$

Максимальный ток электропривода:

$$I_{\text{эп.макс}} = \frac{\text{mod } I_{\text{I.макс}}}{\sqrt{2}} = \frac{92,991}{\sqrt{2}} = 65,755 \text{ A}$$

Условие $I_{\text{эп.макс}} \leq I_{\text{и.макс}}$ выполняется: $65,755 < 78 \text{ A}$

Параметры настройки контура тока с ПИ-регулятором и аналоговым датчиком

Принимаем разрядность АЦП датчика тока преобразователя:

$$n_{\text{апп.дт}} = 12$$

Принимаем максимальное значение измеряемого тока (амплитудное значение переменного тока):

$$I_{\text{изм.макс}} = \sigma_{\text{T}} \times \sqrt{2} \times I_{\text{эп.макс}} = 1,29 \times \sqrt{2} \times 65,755 = 119,959 \text{ A}$$

где $\sigma_{\text{T}} \approx 1,29$ – коэффициент, учитывающий возможное увеличение тока за счет перерегулирования.

Коэффициент передачи датчика тока:

$$k_{\text{дт}} = \frac{0,5 \times 2^{n_{\text{апп.дт}}}}{I_{\text{изм.макс}}} = \frac{0,5 \times 2^{12}}{119,959} = 17,067 \text{ 1/A}$$

Принимаем $N_{\text{от.макс}} = 1$.

Коэффициент обратной связи по току:

$$k_{\text{T}} = \frac{1}{I_{\text{изм.макс}}} = \frac{1}{119,959} = 0,008333 \text{ 1/A}$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на входе контура тока:

$$k_{\text{ос.т}} = \frac{1}{0,5 \times 2^{n_{\text{апп.дт}}}} = \frac{1}{0,5 \times 2^{12}} = \frac{1}{2048} = 4,883 \times 10^{-4}$$

Максимальное значение задания на входе контура тока, соответствующее максимальному действующему значению тока электропривода $I_{\text{эп.макс}}$:

$$N_{\text{зт.макс}} = \frac{\sqrt{2} \times I_{\text{эп.макс}}}{I_{\text{изм.макс}}} = k_{\text{T}} \times \sqrt{2} \times I_{\text{эп.макс}} = \frac{\sqrt{2} \times 65,755}{119,959} = 0,775$$

Принимаем:

$$T_{\text{ос.т}} = T_{\text{пк.т}} = T_{\text{зу.и}} = T_{\text{шим}} = 2 \times 10^{-4} \text{ с}$$

где $T_{\text{ос.т}}$ – интервал квантования сигналов в цепи обратной связи контура тока;

$T_{\text{пк.т}}$ – интервал квантования управления в прямом канале контура тока;

$T_{\text{зу.и}}$ – интервал времени задержки подачи управления от регулятора тока к ключам инвертора.

Принимаем постоянную времени аналогового фильтра в цепи измерения тока

$$T_{\text{ф.от}} = 0$$

Принимаем коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном:

$$n_{\text{т}} = 2$$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура тока

$$T_{\text{мэ}} = \frac{T_{\text{ос.т}}}{n_{\text{т}}} + T_{\text{зу.и}} + T_{\text{ф.от}} = \frac{2 \times 10^{-4}}{2} + 2 \times 10^{-4} + 0 = 3 \times 10^{-4} \text{ с}$$

Принимаем коэффициент типовой настройки контура тока на модульный оптимум (МО): $a_{\text{т}} = 2$.

Постоянная времени регулятора тока:

$$T_{\text{рт}} = T_{\text{лэ}} = 0,01293 \text{ с}$$

Коэффициент усиления регулятора тока:

$$k_{\text{рт}} = \frac{T_{\text{лэ}} \times R_{\text{лэ}}}{k_{\text{и}} \times k_{\text{т}} \times a_{\text{т}} \times T_{\text{мэ}}} = \frac{0,01293 \times 3,186}{5157 \times 0,008333 \times 2 \times 3 \times 10^{-4}} = 1,59747$$

$$T_{\text{т}} = a_{\text{т}} \times T_{\text{мэ}} = 2 \times 3 \times 10^{-4} = 6 \times 10^{-4} \text{ с}$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора тока I_{ld} :

$$N_{\text{ртд доп}} = 1$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора тока $I_{\text{лq}}$:

$$N_{\text{ртq доп}} = \sqrt{1^2 - N_{\text{ртд}}^2} = \sqrt{1^2 - 1^2} = 0$$

Параметры контура потокосцепления с ПИ-регулятором без датчика

Принимаем:

$$Y_{2\text{изм.макс}} = \sigma_Y \times Y_{2н} = 1,3 \times 4,661 \text{ где } \sigma_Y \approx 1,3$$

Принимаем:

$$N_{oY.\text{макс}} = 1.$$

Коэффициент обратной связи по потоку:

$$k_Y = k_{oc.Y} = \frac{1}{Y_{2\text{изм.макс}}} = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ 1/Вб}$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на входе контура потокосцепления:

$$N_{зY.\text{макс}} = \frac{Y_{2н}}{Y_{2\text{изм.макс}}} = k_Y \times Y_{2н} = 0,05 \times 4,661 = 0,73305$$

Принимаем

$$T_{\text{расч.}Y} = T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = 0,0002 \text{ с.}$$

Интервалы квантования сигналов в цепи обратной связи контура потока

принимаем: $T_{oc.Y} = T_{ПК.Y} = 10 \times T_{\text{ШИМ}} = \frac{10}{f_{\text{ШИМ}}} = 0,002 \text{ с.}$

Принимаем постоянную времени аналогового фильтра в цепи измерения потока:

$$T_{\phi.oY} = 0 \text{ с.}$$

Принимаем коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания

аперiodическим звеном: $n_Y = 1 \text{ с.}$

$$T_{\text{н}Y} = T_T + \frac{T_{oc.Y}}{n_Y} + T_{\phi.oY} = 0,0006 + \frac{0,002}{1} = 0,0026 \text{ с.}$$

Принимаем:

$$a_Y = 2 \text{ с.}$$

Постоянная времени регулятора:

$$T_{pY} = T_2 = 0,56089 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора:

$$k_{pY} = \frac{T_2 \times k_m}{L_m \times k_Y \times a_Y \times T_{mY}} = \frac{0,56089 \times 0,008}{0,068553 \times 0,05 \times 2 \times 0,0026} = 26,22412.$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора потока:

$$N_{pY \text{ доп}} = N_{\text{эт. макс}} = 0,77493.$$

Параметры контура скорости с ПИ-регулятором без датчика скорости

Максимальное значение измеряемой скорости:

$$W_{\text{изм. макс}} = \sigma_c \times W_{\text{эп. макс}} = 1,5 \times 231,849 = 347,77 \text{ рад / с},$$

где $\sigma_c \approx 1,5$ – коэффициент, учитывающий возможное увеличение скорости за счет перерегулирования.

Принимаем $N_{\text{ос. макс}} = 1$.

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$k_c = k_{\text{ос}} = \frac{1}{W_{\text{изм. макс}}} = \frac{1}{347,77} = 0,0043132 \text{ с / рад}$$

Значение максимального задания на входе контура скорости:

$$N_{\text{зс. макс}} = \frac{W_{\text{эп. макс}}}{W_{\text{изм. макс}}} = k_c \times W_{\text{эп. макс}} = 0,0043132 \times 231,849 = 0,66667.$$

Принимаем

$$T_{\text{расч.с}} = T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = 0,0002 \text{ с}.$$

Интервалы квантования сигналов в цепи обратной связи контура скорости:

$$T_{\text{ос.с}} = T_{\text{нк.с}} = 10 \times T_{\text{шим}} = 10 \times 2 \times 10^{-4} = 2 \times 10^{-3} \text{ с}$$

Принимаем постоянную времени аналогового фильтра в цепи измерения скорости:

$$T_{\text{ф.оУ}} = 0 \text{ с}.$$

Принимаем коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания аperiодическим звеном: $n_c = 2 \text{ с}$.

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура скорости:

$$T_{\text{мэз}} = T_{\text{ПК.С}} + \frac{T_{\text{ос.с}}}{n_c} + T_{\text{ф.ос}} = 6 \times 10^{-4} + \frac{2 \times 10^{-3}}{2} + 0 = 0,0016 \text{ с.}$$

Принимаем коэффициенты типовой настройки контура скорости на симметричный оптимум (СО) : $b_c = a_c = 2$.

Постоянная времени регулятора:

$$T_{pc} = b_c \times a_c \times T_{\text{мэз}} = 2 \times 2 \times 0,0016 = 0,0064 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора:

$$k_{pc} = \frac{J_{\text{э}} \times k_m}{Y_{2H} \times \frac{3}{2} \times \frac{L_m}{L\phi} \times z_p \times k_c \times a_c \times T_{\text{мэз}}} = \frac{0,044 \times 0,02808}{14,661 \times \frac{3}{2} \times \frac{0,68553}{0,024} \times 2 \times 0,0043132 \times 2 \times 0,0016} = 163,155$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора потока:

$$N_{pc.дон} = \sqrt{N_{\text{зм. макс}}^2 - N_{p.y}^2} = 0.$$

$$T_{\text{ф.вх}} = T_{pc} \times \left(T_{pc} + \frac{T_{\text{ксо}}}{n_c} + T_{\text{ф.ос}} \right)$$

Принимаем: $T_{\text{ф.вх}} = 0,0064 \text{ с}$

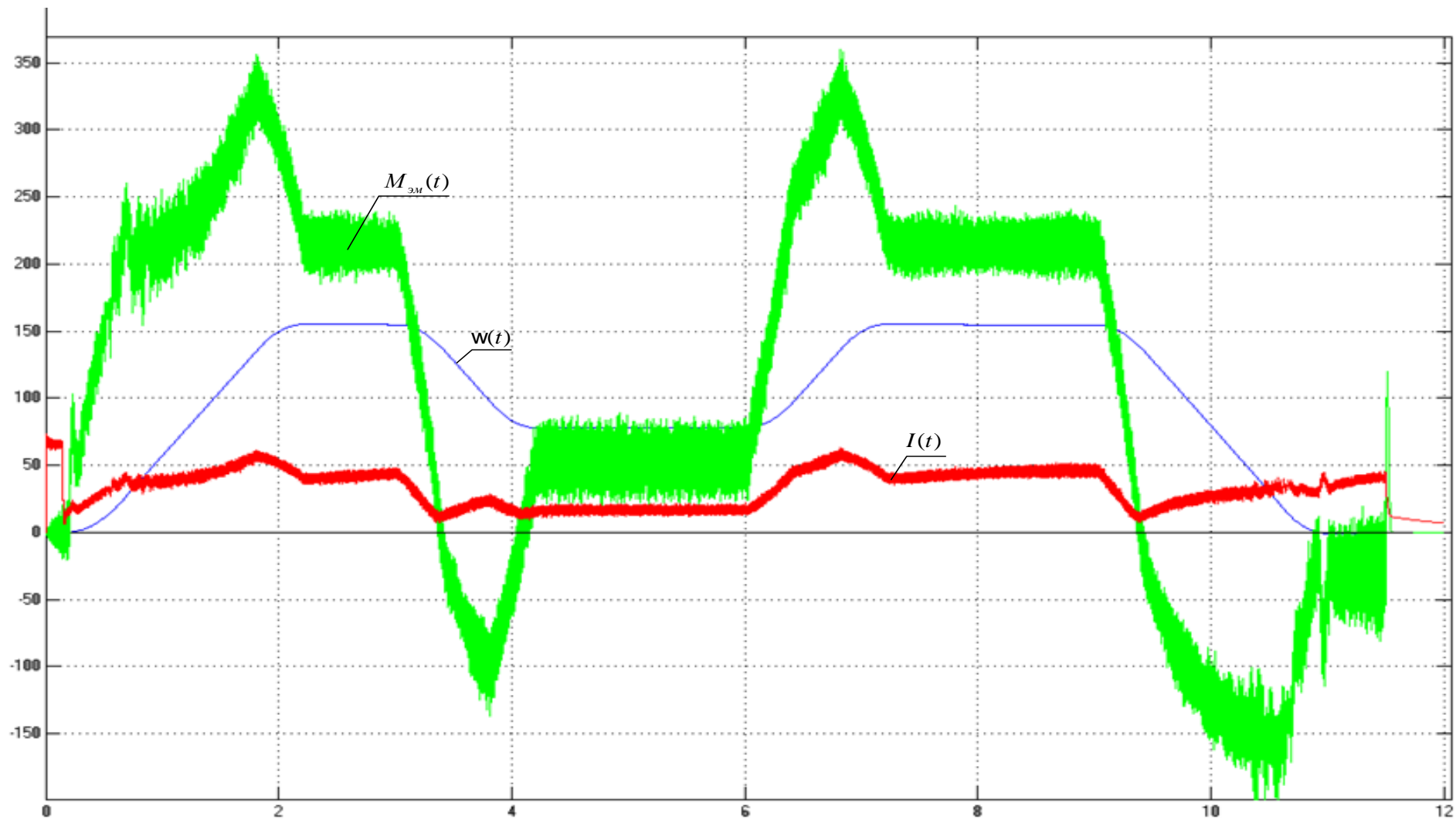


Рисунок 4.15 Диаграммы отработки электроприводом насоса цикла: плавный пуск – снижение скорости до 50 %– разгон до максимальной скорости – торможение и останов при векторном управлении

ВЫВОД

Из рисунка 4.15 видно, что при векторном управлении в момент пуска и торможения, ток и момент имеют значительно меньшие пульсаций, чем при скалярном управлении. Так же стоит отметить ряд преимуществ векторного управления над скалярным, а именно:

- Высокий уровень точности при регулировании скорости вращения вала, несмотря даже на возможное отсутствие датчика скорости
- Осуществление вращения двигателя на малых частотах происходит без рывков и плавно
- Быстрое реагирование на возможное изменение нагрузки – резкие скачки нагрузки практически не отражаются на скорости электропривода,

Высокий уровень КПД двигателя, за счет сниженных потерь из-за намагничивания и нагрева.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Лещенко Максим Викторович

Школа	ИШЭ	Отделение школы	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

<i>1. Стоимость затрат технического проекта</i>	В техническом проекте были задействованы 2 человека, (руководитель, дипломник). Затраты на материальные ценности определяются согласно прейскуранту. Зарботная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников ТПУ.
<i>2. Продолжительность выполнения</i>	Приблизительная оценка продолжительности выполнения технического проекта определяется исходя из ожидаемой трудоёмкости работ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта 2. Планирование и формирование графика работ по реализации технического проекта</i>	Для составления графика по проектированию асинхронного электропривода насосной установки подкачивающей насосной станции марки АК4-400ХК-4УЗ • Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа • оценить технический проект выявляя при этом сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы • определить трудоёмкость работ для каждого исполнителя. По полученным данным построить диаграмму Ганта, которая, позволяет спланировать процесс реализации технического проекта
<i>2. Формирование сметы технического проекта</i>	В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям: · материальные затраты; · полная заработная плата исполнителей; · отчисления во внебюджетные фонды; · накладные расходы
<i>3. Ресурсоэффективность технического проекта</i>	Оценка эффективности проекта производится с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности

Перечень графического материала:

График Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

11,03,2019г.

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Лещенко Максим Викторович		

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- Составление SWOT-анализа работы подкачивающей насосной станции.
- Планирование технико-конструкторских работ
- Расчет затрат на проектные работы электропривода насосной установки подкачивающей насосной станции
- Определение ресурсной эффективности проекта

5.1 SWOT-анализ асинхронного электропривода насосной установки подкачивающей насосной станции марки АК4-400ХК-4УЗ

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [16]. Применительно к проекту по разработке электропривода для насосной установки марки АК4-400ХК-4УЗ. SWOT-анализ позволит оценить положительные и отрицательные стороны проекта.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, которая помогает выявить соответствия слабых и сильных сторон проекта, а также их возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT-анализа стоит использовать следующие обозначения: **С** – сильные стороны проекта; **Сл** – слабые стороны проекта; **В** – возможности; **У** – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 5.1.

Таблица 1- Матрица SWOT-анализа технического проекта

	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	<p>С1. Высокое качество питающего напряжения</p> <p>С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации</p> <p>С3. Квалифицированный персонал</p> <p>С4. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание Оборудования</p>	<p>Сл1. Повышенный уровень шума</p> <p>Сл3. Значительная стоимость оборудования</p>
Возможности:		
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	B1 C1C2C3C4	B1 Сл2Сл3;
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	B2 C2C4	B2 Сл1Сл2
В3. Резервное питание электропривода насосной установки подкачивающей насосной станции	B3 C1C2C4	B3 Сл2Сл3.
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	B4 C1C3	
Угрозы:		
У1. Развитая конкуренция технологии производства	У1	У1 Сл3
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	У2	
У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	У3 С4	У3 Сл2

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, приведен в таблицах 5.2 и 5.3.

Таблица 5.2 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта			
	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3. Квалифицированный персонал	С4. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	+	+	+	-
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	-	+	+	+
В3. Резервное питание электропривода насосной установки подкачивающей насосной станции	+	+	+	+
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок	+	-	-	+
Возможности	Слабые стороны проекта			
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования	
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	-	+	+	
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	+	+	-	
В3. Резервное питание электропривода насосной установки подкачивающей насосной станции	-	+	+	
В4. Повышения стоимости конкурентных разработок	-	-	-	

Таблица 5.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта			
	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации	С3. Квалифицированный персонал	С4. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
У1 Развитая конкуренция технологии производства	-	-	-	+
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-	-	+
У3 Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	-	-	-	-
Угрозы	Слабые стороны проекта			
	Сл1 Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования	
У1 Развитая конкуренция технологии производства	-	-		+
У2 Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-		-
У3 Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	+	-		-

По результатам интерактивных матриц, приведенных в ниже, видно, что самой сильной стороной проекта является надежность защит и аварийной сигнализации, так как несвоевременная ликвидация ошибок и аварий может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение технологического процесса. Кроме того, высокое качество питающего напряжения показывают перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

5.2 Планирование технического проекта

Организация работ технического проекта осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- разработка графика проведения технического проектирования.

5.2.1. Определение структуры работ в рамках технического проектирования

В данном разделе, представлен весь перечень этапов и работ, а также дано краткое описание работ, выполненных в ходе технического проектирования:

№1 – разработка технического задания (ТЗ) – представляет собой изучение первичной информации об объекте, требования к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№2 – сбор и изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, в том числе области применения оборудования, касающихся различных сторон технического проекта;

№3 – сбор исходных данных – это выбор из изученных источников электрических схем соединения; параметров двигателя; параметров частотного преобразователя.

№4 – подготовка данных для ввода в базу комплекса – составление схем замещения, расчет естественных характеристик электродвигателя, расчет параметров схемы замещения;

№5 – отладка базы данных и проведение тестовых расчетов – перепроверка всех введенных значений, формул и схем;

№6 – выбор оборудования – необходимо произвести выбор оборудования из изученных ранее источников. Данная работа формируется из приводного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, частотного преобразователя и определения типа вентилятора местного проветривания;

№7 – расчёт и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MATLAB при холостом пуске и пуске с нагрузкой;

№8 – расчёт и проверка модели АД-ПЧ – расчет статических характеристик системы преобразователь-двигатель, расчет и построение механических $w(M_{эм})$ и электромеханических $w(I_1)$ характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты в среде MATLAB;

№9 – оформление пояснительной записки – окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовку к защите, подготовка презентации;

№10 – сдача проекта – это заключительный этап выполнения ВКР, в котором дипломник осуществляет защиту своей работы.

5.2.2 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 рабочих-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения, ожидаемого значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется следующая формула [9]:

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

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы раб.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.

5.2.3 Разработка графика проведения технического проекта

В рамках планирования технического проекта необходимо построить ленточный график проекта.

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

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 5.4 строим план-график проведения работ (таблица 5.5.)

Продолжительность выполнения технического проекта заняла 8.4 декады, начиная со второй декады марта и заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического в календарных днях заняла 84 дня. Из них:

- 70 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;
- 12 выходных дней и 2 дня праздничных.
- 7 дней – продолжительность выполнения работ научный руководителя;

Подэтапы	Исполнители	Раб.дни	Продолжительность выполнения работ										
			Март		Апрель			Май			Июнь		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1		
1. Составление ТЗ	Руководитель	1	■										
2. Сбор и изучение литературы	Дипломник	6	■	■									
3. Сбор исходных данных	Дипломник	6		■	■								
4. Подготовка для ввода в базу	Дипломник	6			■	■							
5. Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	12			■	■	■						
	Руководитель	1						■					
6. Выбор оборудования	Дипломник	2						■	■				
7. Расчет и проверка модели АД	Дипломник	11						■	■	■			
	Руководитель	1									■		
8. Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	12							■	■	■		
	Руководитель	1										■	
9. Оформление пояснительной записки	Дипломник	5										■	■
	Руководитель	1											■
10. Сдача технического проекта	Дипломник	1											■
	Руководитель	1											■

Результаты расчетов продолжительности выполнения работ приведены в
Таблице 5.4

Таблица 5.4 – Расчет продолжительности выполнения работ, раб.дн.

№ этапа работы	Вид работ	Исполнитель	Минимально возможная трудоемкость	Максимально возможная трудоемкость	Ожидаемая трудоемкость
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1
2	Сбор и изучение литературы	Дипломник	6	10	7
3	Сбор исходных данных	Дипломник	6	10	7
4	Подготовка для ввода в базу	Дипломник	6	10	7
5	Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
6	Выбор оборудования	Дипломник	2	4	3
7	Расчёт и проверка модели АД	Дипломник	11	14	12
		Руководитель	1	1	1
8	Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
9	Оформление пояснительной записки	Дипломник	5	9	7
		Руководитель	1	3	2
10	Сдача проекта	Дипломник	1	1	1
		Руководитель	1	1	1

5.3 Составление сметы технического проекта

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

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

5.3.1 Расчет материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_{\text{м}} = \sum_{i=1}^m C_i \times N_{\text{расх}i},$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, прейскуранта канцелярского магазина ТД „Канцелярский мир”.

Привлечение сторонней организации „Pечат 24” для типографических работ. приведена в таблице 5.6.

Таблица 5.6. Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	1	320	320
Ручка	1	12	12
Файлы для бумаги	1	50	50
USB накопитель	1	500	500
Калькулятор	1	300	300
Распечатка текста	200	1.7	340
Итого			1522

5.3.2. Полная заработная плата исполнителей ВКР

В этом разделе рассчитывается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Полная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.;

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

Основная заработная плата исполнителей рассчитывается по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} * Т_r,$$

где $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$Т_r$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{тс} + З_{р.к.}}{F_d}$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$З_{р.к.}$ – доплата с учетом районного коэффициента (30 %), руб.;

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 5.7.

Таблица 5.7– Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Оклад, руб.	Районная доплата, руб.	Месячная зарплата, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Кол-во дней	Основная заработная плата руб.
Руководитель	33664	10099	43763	1683	7	11782
Дипломник	12300	3690	15990	615	70	43050

Дополнительная заработная плата, составляет 12-15% от основной. Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 5.8.

Таблица 5.8. – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, тыс. руб	Дополнительная заработная плата, тыс.руб.	Полная заработная плата, тыс.руб.
Руководитель	0,15	11,782	1,767	13,500
Дипломник	0,12	43,050	5,166	48,200
Итого		54,832	6,933	61,700

5.3.3. 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), страхование от несчастных случаев; от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

$k_{внеб} = 30,2\%$ в условиях ТПУ.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 61,7 = 18,6 \text{ тыс. руб.}$$

5.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: оплата услуг телефонной связи, интернет, транспортные расходы и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

5.3.5 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции. Определение сметы затрат на технический проект приведен в таблице 5.9

Таблица 5.9 – Смета технического проекта.

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
Материальные затраты ТП	1,5	1,5
Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	61,7	63,3
Отчисления во внебюджетные фонды	18,6	19,2
Накладные расходы	15,2	16,0
Итого	97,0	100,0

Исходя из представленной выше таблицы 1.9, можно сделать вывод, что смета затрат на выполнение технического проекта составляет 97,0 тыс.руб. Большая часть (63,3%) составляют затраты на заработную плату исполнителей.

5.4. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности [16]:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i,$$

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 электропривода насосной установки подкачивающей насосной станции марки АК4-400ХК-4УЗ рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

Надежность электропривода насосной установки подкачивающей насосной станции – это длительный эксплуатационный ресурс (в частности, в условиях атмосферы с содержанием агрессивных реагентов, не стабильным напряжением и высокой влажностью). Надежность повышает исполнение всех деталей оборудования во взрывозащищенном и влагостойком корпусе, электроснабжения обеспечивается дополнительным резервным питанием, что в свою очередь позволяет обеспечить безаварийность и бесперебойность в работе.

Энергосбережение электропривода насосной установки подкачивающей насосной станции марки АК4-400ХК-4УЗ – это экономия электрической энергии. Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.

Материалоемкость электропривода насосной установки подкачивающей насосной станции марки АК4-400ХК-4УЗ – это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме.

Удобство – это возможность лёгкой настройки, монтажа и демонтажа электропривода. Удобство монтажа и демонтажа осуществляется в отсутствие большого количества резьбовых соединений.

Производительности труда – это показатель, характеризующий результативность труда, обеспечивается в проекте благодаря автоматизации, но при этом капиталовложения возрастают. Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
Надежность	0,25	5
Энергосбережение	0,20	5
Материалоемкость	0,15	4
Производительность	0,15	4
Удобство	0,15	5
производительность труда пользователя	0,10	4
Итого:	1,00	4,6

Расчет интегрального показателя ресурсо-эффективности:

$$I_{pi} = 5 \times 0,25 + 5 \times 0,2 + 4 \times 0,15 + 4 \times 0,15 + 5 \times 0,15 + 4 \times 0,1 = 4,6$$

С точки зрения коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта отметим следующее:

Показатель ресурсо-эффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5 балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и энергосбережения позволяют судить о надежности системы. В данном разделе были рассмотрены и раскрыты следующие вопросы: - произведен SWOT-анализ, который выявил, приоритетные стороны этого проекта, указывающие на перспективность проекта в целом. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта. - составлена диаграмма продолжительности работ, позволяющая скоординировать работу исполнителей.

Расчитана смета затрат на выполнение технического проекта, которая составила 97,0 тыс.руб. - определен показатель ресурсоэффективности проекта, который имеет достаточно высокое значение – 4,6 (по 5- балльной шкале).

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Лещенко Максим Викторович

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	Асинхронный электропривод насоса прямой подачи подкачивающей насосной станции.
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Объектом исследования является Асинхронный электропривод насоса прямой подачи на насосной станции. Объект исследования применяется в различных отраслях промышленности для повышения давления теплоносителя до рабочих значений.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	- Основные требования по обеспечению безопасной эксплуатации насоса прямой подачи - Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны, где установлены насосы прямой подачи - Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены. - Организация и охрана труда.
2. Производственная безопасность	<i>Основными вредными факторами являются:</i> - Механические колебаниями твердых тел и их поверхностей, (вибрация); - Акустические колебаниями в производственной среде(шум); - Факторы связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны). - Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата); <i>Опасными факторами станции являются:</i> Возможность получения травм в следствии: а) движения машин и механизмов; б) наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.
3. Экологическая безопасность:	-Анализ воздействия объекта на литосферу(отходы);
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	-Возможные ЧС - Пожар и взрыв -Аварии

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Лещенко Максим Викторович		

6. Социальная ответственность

Введение.

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов при работе насосы прямой подачи насосной станции, анализ пожарной безопасности и выработка мероприятий, направленных на предотвращение пожаров.

В данном проекте рассматривается асинхронный электропривод насоса прямой подачи. Преимуществом такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока является обеспечение требуемой степени защиты. Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Степень защиты корпусов электродвигателей от попадания механических частиц и проникновения пыли. Это важно для рассматриваемого производства и требует степень защиты электрических машин не ниже IP54.[14].

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовые отношения на насосной станции ОАО «Бийскэнерго» регулируются «Трудовым кодексом Российской Федерации»[23], коллективным договором данного предприятия, приказами, инструкциями и иными локальными нормативными актами.

В соответствии с коллективным договором и правилами внутреннего распорядка рабочим считается время, в течение которого работник обязан находиться на рабочем месте и выполнять свои трудовые обязанности.

Для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать: при 36-часовой рабочей неделе – 8 часов.

На предприятии организован непрерывный трудовой процесс в три смены[23]:

I смена — с 7 часов утра до 15 часов;

II смена — с 15 часов до 23 часов;

III смена — с 23 часов до 7 часов утра.

Учетным периодом при суммированном учете рабочего времени является календарный месяц. Ночной сменой при указанном режиме признается III смена, а вечерней — II смена.

Когда условия производства (работы) не позволяют предоставить обеденный перерыв, работодатель обязан обеспечить возможность отдохнуть и перекусить в течение рабочего времени (ч. 3 ст. 108 Трудового кодекса РФ). В данном случае работодатель организует прием пищи работниками на рабочих местах, продолжительность отдыха и питания длится не более 30 минут. Перечень таких работ, время начала и окончания, и место приема пищи определяются коллективным договором предприятия.

Ежегодный основной оплачиваемый отпуск продолжительность 28 календарных дней предоставляется работникам в соответствии со ст. 115 ТК РФ[23]. Людям, работающим по совместительству, ежегодные оплачиваемые отпуска предоставляются одновременно с отпуском по основной работе (ст. 286 Трудового кодекса РФ)[23]. Если на работе по совместительству работник не отработал 6 месяцев, отпуск предоставляется авансом. По соглашению между работником и работодателем ежегодный оплачиваемый отпуск может быть разделен на части. При этом хотя бы одна из частей этого отпуска должна быть не менее 14 календарных дней (ст. 125 Трудового кодекса РФ)[23].

На работах с вредными условиями труда, а также на работах, связанных с загрязнением, работникам выдается бесплатно по установленным нормам специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты. В соответствии со статьей 222 Трудового кодекса Российской Федерации на работах с вредными условиями труда предоставляется бесплатно по установленным нормам лечебно-профилактическое питание.

Помещение цеха где расположена площадка для ремонта и устранения неисправностей электродвигателей насосных установок, насосных агрегатов, насосов, выполнено из негорючих материалов первой степени огнестойкости. Здание цеха состоит из сборных железобетонных конструкций, которые относятся к негорючим материалам первой степени огнестойкости и имеют предел огнестойкости R120 [18].

Напряжение питания 220 и 380В. Электроустановки до и выше 1000 В. Обслуживание поручается лицам, имеющим квалификацию, соответствующую действующим требованиям.

6.2 Производственная безопасность

Табл.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовлен ие	Эксплуатац ия	
1.Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).			+	Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ [24] цеху обогащения –90дБ.
2.Акустические колебаниями в производственной среде(шум)			+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки; СП 51.13330.2011. Защита от шума. [20]
3. Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)			+	Требуемая норма освещения Енор=200 ЛК. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНИП 23-05-95[28].
4. Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)			+	Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]: СанПиН 2.2.4.548-96
5.Получение травм в следствии Движение машин и механизмов			+	Требуемая норма(расстояние) от двигающихся механизмов и машин 1м, согласно СНИП 10-01-93[33]. СТ СЭВ 790-77
6.Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.			+	[ГОСТ Р 52726-2007, пункт 3.16] Наличие высокого напряжения на рабочем месте, ГОСТ Р МЭК 536-94-Средства защиты от поражения эл.током.

6.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

Неблагоприятные условия окружающей среды вредно воздействуют на организм работающего, снижают реакцию, повышают утомляемость. К производственным вредным факторам на рассматриваемом производстве относятся:

Ø Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).

Вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твердых тел, передаваемые организму человека. Источником вибрации является работа насосов. Колебания могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а также опорно-двигательной системы человека. Параметры вибрации регламентируются санитарными нормами и ГОСТом. Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ [24] насосной станции ОАО “Бийскэнерго” –90дБ.

Ø Акустические колебаниями в производственной среде(шум)

Опасности психологической группы связаны с шумом в обслуживании насоса, что приводит к снижению внимания, повышению травматизма. Источниками шума являются грохоты, давление в рабочем состоянии. В данном производстве шум достигает 75—80 дБ.

Ø Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)

Безопасность на производстве в значительной мере зависит от освещения. Свет влияет на физиологическое состояние человека, правильно организованное освещение стимулирует протекание процессов высшей нервной деятельности и повышает работоспособность. При недостаточном освещении человек работает менее продуктивно, быстро устает, растет вероятность ошибочных действий, что может привести к травматизму.

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. В данном случае работы относятся к разряду IV Г [17].

Требуемая норма освещения $E_{нор}=200$ ЛК. Для создания $E_{нор}$ применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное освещение.

Для создания рациональных условий освещения большое значение имеет тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения.

Ø Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)

В основу нормирования микроклимата положены условия, при которых организм человека сохраняет нормальный тепловой баланс за счет определенных физиологических процессов (прилив крови к кожному покрову, потоотделение и др.), благодаря которым осуществляется терморегуляция, обеспечивающая сохранение постоянной температуры тела путем теплового обмена с внешней средой. При несоблюдении норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том числе профессиональных.

Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]:

- температурой воздуха:
 - в холодный период года $t=19-21^{\circ}\text{C}$;
 - в тёплый период года $t=20-22^{\circ}\text{C}$;
- влажностью воздуха:
 - в холодный период года 60-40 %;
 - в тёплый период года 60-40%;
- скорость движения воздуха:
 - в холодный период года 0,2 м/с;
 - в тёплый период года 0,2 м/с.

6.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

Возможность получения травм в следствии:

А) Движения машин и механизмов

Основными причинами травмирования рабочих при эксплуатации насоса прямой подачи является: отсутствие ограждений у движущихся и вращающихся частей; ремонт и смазка насоса прямой подачи во время его работы; включение насоса без предупреждения; некачественное крепление приводных и натяжных головок; нарушение производственной и технологической дисциплины (эксплуатация цепи с повышенным износом и т.п.).

Для исключения возможности получения травм в работе с насосом допускаются лица, хорошо изучившие правила обслуживания и управления насосом и прошедшие инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

Б) Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.

Основными причинами поражения человека электрическим током являются: удар электрическим током при использовании неисправных электроприборов; присоединение к незаземленным частям электроустановки (контакты, провода, зажимы и т.д.); Последствия при поражении электр.током- термические ожоги, потеря сознания, разрыв внутренних органов, костных тканей и смерть.

Виды электротравм: местные, когда возникает местное повреждение организма; общие, так называемый электрический удар, когда непосредственно нарушается весь организм, из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем.

Местные электротравмы – это ярко выраженное местное нарушение целостности тканей тела, в том числе костных тканей, вызванное воздействием электрического тока или электрической дуги. Чаще всего это поверхностные повреждения, т. е. поражение кожи, а иногда и других мягких тканей, а также связок и костей. Опасность местных травм и сложность их лечения зависит от

места, характера и степени повреждения тканей, реакции организма на это повреждение. Как правило, местные электротравмы излечиваются, и работоспособность пострадавшего восстанавливается полностью или частично. Смерть от местных электротравм - редкий случай (обычно при тяжелом ожоге человек погибает). Причиной смерти при этом является не ток, а местное повреждение организма, вызванное током. Характерные местные электротравмы.

электроожоги – 40 %

электрические знаки – 7 %

металлизация кожи – 3 %

механические повреждения – 0,5 %

Электроофтальмия – 1,5 %

Смешанные (ожоги + др. местные электротравмы) – 23 %

Элетроожог – самая распространенная электротравма. Возникает у 63 % пострадавших от электротока. 23 % (т.е. треть из них) сопровождается другими травмами. 85 % ожогов приходится на электромонтеров, обслуживающих действующие ЭУ.

6.3. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация)

Снижение неблагоприятного воздействия вибрации ручных механизированных устройств на операторов достигается как путем уменьшения интенсивности вибрации непосредственно в ее источнике (за счет конструктивных усовершенствований), так и средствами внешней виброзащиты, которые представляют собой упругодемпфирующие материалы и устройства, размещенные между источником вибрации и руками оператора.

В качестве средств индивидуальной защиты работающих, используют специальную обувь на массивной резиновой подошве. Для защиты рук служат

рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки, которые изготавливают из упругодемпфирующих материалов.

Акустические колебаниями в производственной среде(шум)

При превышении уровня шума в рабочей зоне от 80 дБА, наниматель должен провести оценку риска здоровью персонала и подтвердить приемлемый риск здоровью[20].

Если эквивалентный уровень шума – от 85 дБА, то работать нельзя [20]. Все оборудование, применяемое на участке обработки, для снижения шума установлено на виброопорах. Для защиты органов слуха применяют: наушники, антифоны, беруши.

Работы оператора по обслуживанию насоса прямой подачи относятся к категории средней тяжести 2а (физическая средней тяжести, энергозатраты до 200 ккал/ч) [15].

Факторы связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. В данном случае работы относятся к разряду IV Г [17]. Требуемая норма освещения $E_{нор}=200$ ЛК. Для создания $E_{нор}$ применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное освещение.

Для создания рациональных условий освещения большое значение имеет тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения.

Основными мероприятиями для защиты от поражения электрическим током являются: Организационные и Технические.

Организационные мероприятия включают в себя:

Правильный подбор персонала, обслуживающего электроустановки (запрещение использования труда лиц моложе 18 лет, а также не обученных и не прошедших медицинское освидетельствование для работы данного вида); обучение правилам безопасности при обслуживании электроустановок, т. е. проведение специального обучения для выполнения работ с повышенной

опасностью, аттестации, инструктажей по безопасности труда, разработка и издание инструкций по охране труда, применение средств пропаганды правил электробезопасности (плакатов, видеофильмов и пр.);

назначение ответственных за электрохозяйство лиц;

контроль за правильностью устройства электропроводок и установкой электрооборудования в соответствии с ПУЭ;

проведение периодических осмотров, измерений и испытаний электрооборудования (в сухих помещениях — 1 раз в два года, в сырых — ежегодно, при этом сопротивление рабочей изоляции проводов, кабелей и электрооборудования в процессе эксплуатации не должно быть менее 0,5 и 2 М Ом для двойной или усиленной изоляции), а в случае несоответствия предъявляемым требованиям — его ремонта;

контроль за надежностью СИЗ от поражения электрическим током.

Технические мероприятия. К ним относят:

Применение устройств (предохранителей, отключающих реле и т. п.) защиты электроустановок и сетей от перегрузок, а также токов коротких замыканий; защиту людей и животных от прикосновения к токоведущим частям оборудования посредством применения глухого ограждения высоковольтного оборудования и размещения его в отдельных зданиях, изоляции токоведущих частей электрооборудования, установки защитных ограждений, расположения электроприборов на недоступной для людей и животных (более 2 м) высоте;

защита от поражения электрическим током при переходе напряжения на металлические корпуса электроустановок; устройство защитного заземления; зануление электроустановок в сетях с глухо-заземленной нейтралью; применение защитного отключения; использование электрооборудования с малым (менее 42 В) напряжением; выравнивание потенциалов электрооборудования и земли в местах нахождения людей и животных; изоляция электроустановок и электродвигателей от корпусов рабочих машин; применение диэлектрических настилов и изолирующих площадок.

6.4 Экологическая безопасность

В процессе эксплуатации насосной станции образуются отходы производства: отходы чёрного металла, отработанные ртутные лампы, отработанные индустриальные масла, бытовой мусор. Собственных мест хранения, захоронения отходов у НС «Бийскэнерго» нет. Все отходы предприятие передает различным организациям для дальнейшей утилизации. На предприятии разработан проект нормативов образования и лимитов размещения отходов на основании нормативных актов, действующих в сфере обращения с отходами. В соответствии с Законом РФ «Об охране окружающей среды» и другими законодательными документами, а также с целью поддержания экологического равновесия в районе на НС «Бийскэнерго» проводится экологический мониторинг.

Основные виды мониторинга:

- мониторинг загрязнения атмосферы - проводится на границе санитарно - защитной зоны предприятия;
- мониторинг сточных вод - проводится по безымянному ручью на входе его на промплощадку и при выходе с промплощадки.

Функции и обязанности по соблюдению норм в области охраны окружающей среды выполняет инженер по охране окружающей среды, действующий на основании «Положения о производственном контроле...» и Должностной инструкции инженера по охране окружающей среды.

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Техногенные пожары и взрывы — это происшествия, которые вызваны хозяйственной деятельностью человека. В связи с насыщенностью сферы производства сложной техникой, такие чрезвычайные ситуации происходят все чаще, что вызывает большое беспокойство специалистов.

Техногенное происшествие содержащее угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и т.п. Травмы

персонала полученные при аварии оборудования под высоким давлением гидроудара (разрушение механических частей насосов высокого давления).

Гидроудар – Это ударная волна, которая распространяется по поверхности водопровода, а так же по элементам арматуры. Разрушительное действие такого явления связано, прежде всего, с невозможностью жидкости сжиматься.

В данном технологическом процессе может возникнуть пожар из-за короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагревания проводников, и разрушение механических частей оборудования под высоким давлением гидроудара что приводит к воспламенению изоляционного материала, разрушению механических частей, получению травм обслуживающего персонала.

На рабочем месте каждый электропривод оборудования должен быть оснащен защищенной аппаратурой. Должна быть предусмотрена блокировка и защита на случай короткого замыкания и перегрузок. Установлены системы предотвращения пожара и противопожарной защиты.

Предупреждение ЧС, готовность к ним и реагирование должны быть составной частью системы управления охраной труда в организации.

В соответствии с этим в каждой организации должны быть определены мероприятия по предупреждению аварийных ситуаций, обеспечению готовности к ним и реагированию.

Мероприятия должны:

- Гарантировать, что имеющаяся необходимая информация, оповещение и координация действий работников обеспечат защиту всех людей в случае аварийной ситуации в рабочей зоне;
- Предоставлять информацию соответствующим службам аварийного реагирования и обеспечивать их быстрое оповещение при аварии;
- Предусматривать оказание первой медицинской помощи, проведение противопожарных мероприятий и эвакуацию всех людей, находящихся в рабочей зоне;

- Предоставлять соответствующую информацию и возможность подготовки всех работников, включая проведение регулярных тренировок по предупреждению аварийных ситуаций, обеспечению готовности к ним и реагированию.

6.5.1 Защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок;

Защита электрооборудования и электрических сетей от токов короткого замыкания и значительных по величине и продолжительных перегрузок осуществляется предохранителями с плавкими вставками и автоматическими выключателями. При выборе аппаратов защиты должны быть соблюдены следующие условия:

- номинальное напряжение предохранителя должно быть равно или больше номинального напряжения сети
- плавкая вставка предохранителя не должна плавиться при расчетном токе
- плавкая вставка не должна расплавляться при пиковых токах

6.5.2 Воспламенения изоляции в следствии повышения температуры

С физической точки зрения, источниками загорания, проявляющимися при описанных аварийных электрических режимах, являются:

- а) сильное тепловыделение при прохождении тока. Это может происходить по причине несоответствия величины протекающего тока и сечения проводника – либо за счет того, что ток слишком велик для данного штатного проводника (перегрузка) или микроканала, по которому проходит ток утечки (нагрев при не полном коротком замыкании)
- б) искры, возникающие при больших переходных сопротивлениях, а так же работе коммутационных устройств другого искрящего «электрооборудования»;
- в) макродуги, возникающие при коротком замыкании;
- г) раскаленные частицы и капли расплавленного металла, образующиеся при коротком замыкании

При анализе версий обычно учитывают, что источники зажигания как правило проявляют себя не поодиночке, а в комплексе. И при коротком замыкании, и при перегрузке, и больших переходных сопротивлениях часто имеет место сочетание последовательно или параллельно протекающих физических процессов и в каждом из них в ходе развития может проявиться несколько указанных факторов:

- при металлическом коротком замыкании – электрическая дуга с присущими «опасными факторами», но, плюс к этому, может проявиться и перегрузка за счет прохождения по электрической цепи тока короткого замыкания
- при неметаллическом коротком замыкании – утечка тока, нагрев изоляции, и ее карбонизация, разложение (если она представляет собой органический материал), но, в конечном счете, дело может закончиться пробоем и электрической дугой, опять же, с присущими ей «опасными факторами» и характерными следами (дуговыми оплавлениями)
- при перегрузке – нагрев проводников на протяженном участке и более сильный – в локальных зонах БПС. Если последние присутствуют в электрической цепи, то горение при перегрузке, скорее всего, возникнет в зоне их нахождения, если там имеются соответствующие горючие материалы. Если нет, то изоляция перегруженного провода может загореться в любом другом месте. Закончиться же все может, как и в предыдущих случаях, электрической дугой и дуговыми оплавлениями.

6.5.3. Защита от Гидроудара

Для защиты от гидроудара соблюдение правила монтажа водопроводных и отопительных коммуникаций позволяет свести к минимуму вероятность возникновения такого опасного явления, как гидравлический удар, но полностью исключить его только правильно спроектированными системами не получится. Для избегания такой неприятной ситуации необходим комплексный подход и соблюдение правил безопасности и технических инструкций.

Значительно снизить вероятность возникновения гидравлического удара, можно если следовать следующим правилам при проведении монтажа водопроводов и их эксплуатации.

- При запуске водопровода или отопления в эксплуатацию, запорные элементы арматуры должны открываться **очень медленно**. Перекрытие подачи жидкости, также должно осуществляться очень плавно. Плавное закрытие и открытие запорной арматуры должно осуществляться не только на промышленных объектах, но и при запуске водоснабжения и отопления в частном доме. Чрезмерное давление при возникновении гидравлического удара способно легко повредить домашние коммуникации, поэтому не стоит пренебрегать правилами технической безопасности, в случае когда вода в частном доме подаётся со значительным давлением.
- Если в системе водопровода или отопления установить автоматические устройства плавного открытия и закрытия запорной арматуры, то можно полностью исключить человеческий фактор при возникновении гидравлического удара. Конечно, при использовании электроники, водопроводные системы становятся зависимыми от электрического тока, но, чтобы полностью исключить вероятность выхода из строя по причине установленных автоматов, необходимо оборудовать такие механизмы резервным источником электроэнергии. Такая подстраховка абсолютно необходима, как на крупном предприятии, так и для нормального функционирования коммуникаций расположенных в частном доме. Автоматической регулировкой рекомендуется оснастить и насосные станции. В этом случае, также можно избежать гидроудара от резкого перепада давления в результате включения или отключения мощного насосного оборудования.

Заключение

В данном разделе был проведен анализ опасных и вредных факторов, возникающих в процессе эксплуатации асинхронного электропривода насоса

прямой подачи подкачивающей насосной станции. Освещены вопросы техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности. Также рассмотрены вопросы экологической безопасности, составлены меры и действия, проводимые работниками, во время возникновения аварийной ситуации.

Список использованных источников

1. Алиев И. И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: учебное пособие для вузов / И. И. Алиев. — М.: Высшая школа, 2000. — 255 с.
2. Алиев И. И. Электротехнический справочник. — М.: ИП РадиоСофт, 2000. — 384 с.
3. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. — М.: "Академия", 2004.
4. Дьяконов В. П. *MATLAB 7/7.1+ Simulink 4/5* : Основы применения : Полное руководство пользователя. — М. : СОЛОН-Пресс, 2002. — 768 с.
5. Ключев В.И. Теория электропривода: учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 560 с.
6. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электропроводах. — Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1998. — 172 с.
7. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г. Соколовский. — М.: Издательский центр "Академия", 2006. — 272 с.
8. Электродвигатели асинхронные. Справочник / В.Л. Лихачев. — М.: СОЛОН-Р, 2002. — 304 с.
9. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. — М.: Издательский центр "Академия", 2005. — 304 с.
10. 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.

11. 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.

12. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 448 с.

13. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие.– Томск: Изд. ТПУ, 2011. – 476с.

14. Черных И.В. Моделирование электрических устройств в *MATLAB*, *SimPowerSystems* и *Simulink* – СПб. ; М. : Питер : ДМК Пресс, 2008. — 288 с

15. Л.А.Одинцова. Планирование на предприятии: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Л.А.Одинцова. 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр "Академия", 2006. – 272 с.

16. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Технико-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.

17. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-возкон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.

18. ГОСТ 12.1.019-79 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

19. Правила устройства электроустановок. Издание 7, Москва 1999 г.

20. ГОСТ 12.4.051-87 Средства индивидуальной защиты органа слуха

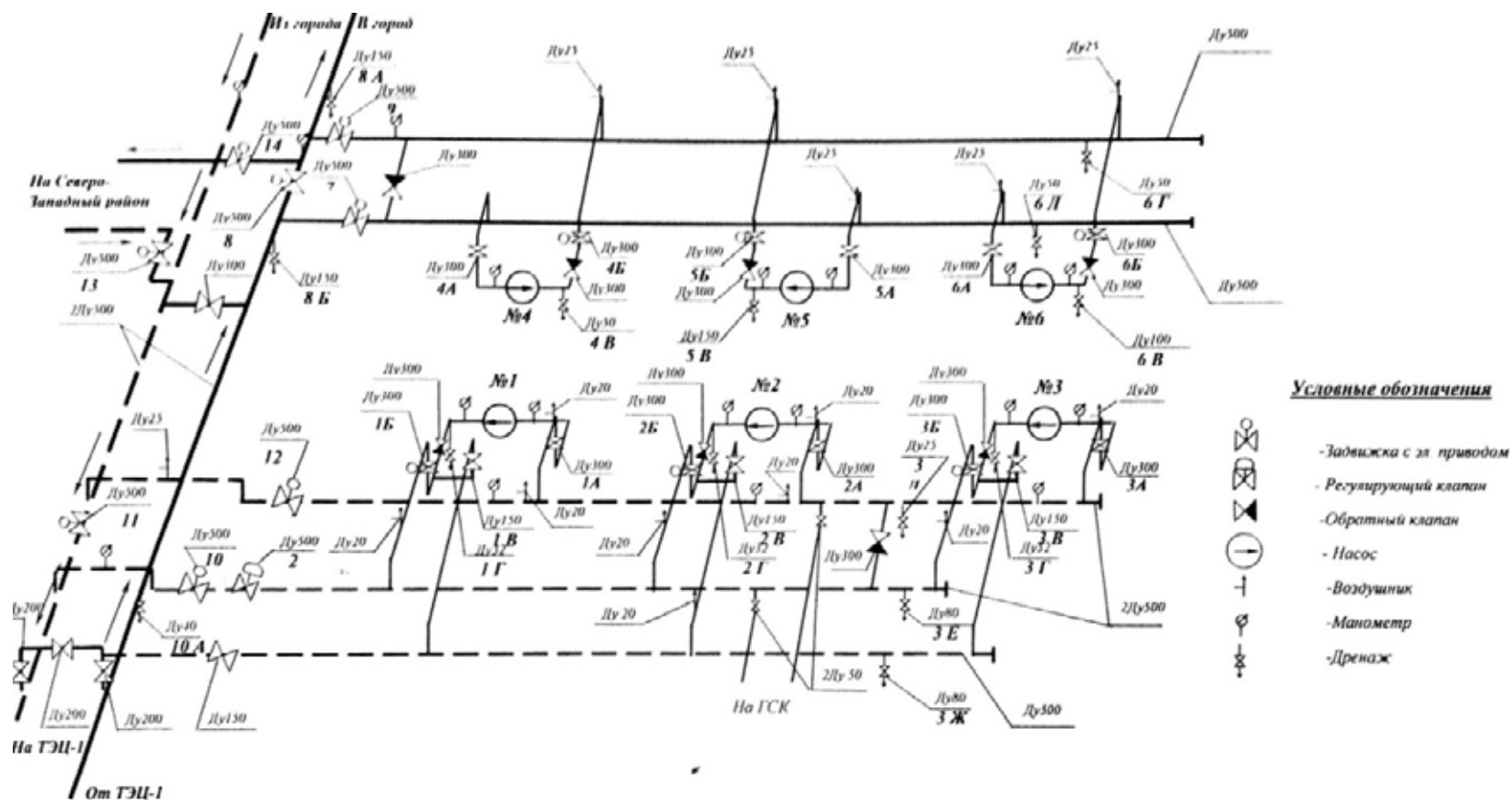
21. ГОСТ 12.1.003-83 Шум. Общие требования безопасности

22. ГОСТ 12.1.029-80 Средства и методы защиты от шума

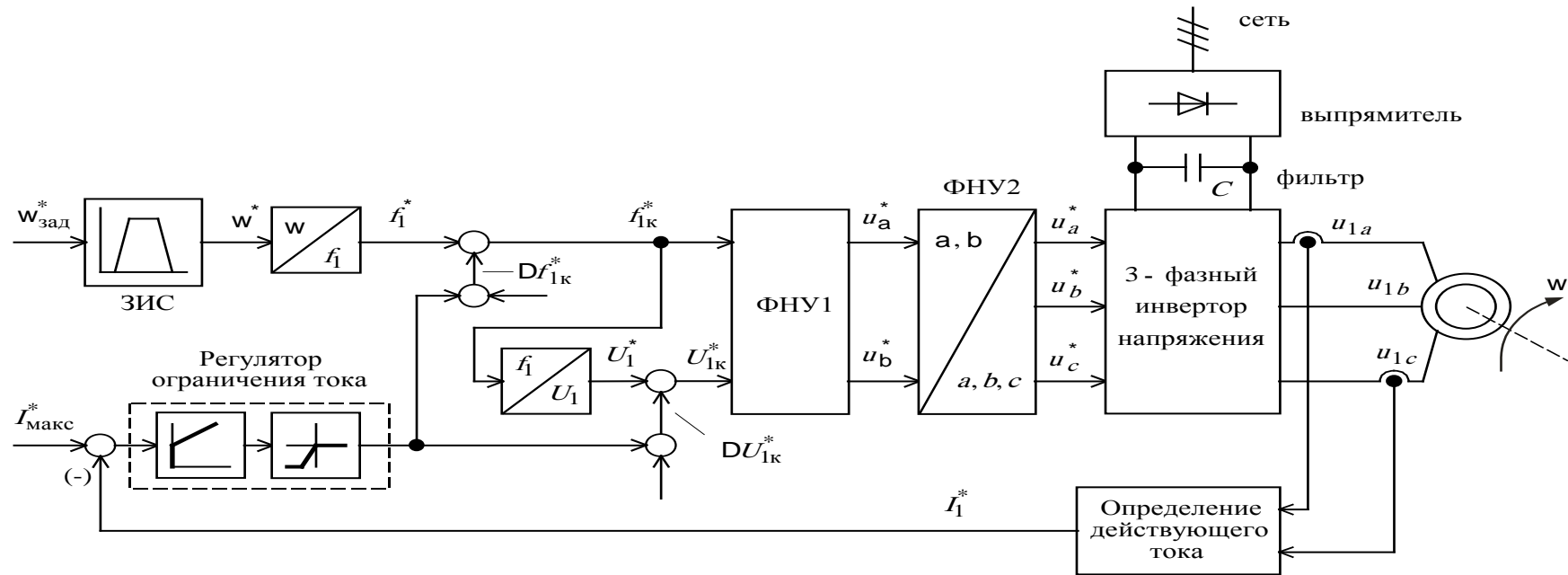
23. НПБ 105-03 Определение категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
24. ГОСТ 12.4.125-83 Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация
25. ГОСТ 12.1.033-81 Пожарная безопасность. Термины и определения
26. ГОСТ 12.1.012-90 Вибрационная безопасность. Общие требования
27. СНиП2.01.51-90 Инженерно–технические мероприятия гражданской обороны
28. ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
29. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
30. Б.А. Тихонов, А.Г. Дашковский, Расчет устройства защитного заземления. Методические указания к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей. Томск, изд. ТПУ, 2005. - 12 с.
31. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение
32. ГОСТ 12.4.221-2002 Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвективной теплоты.

Приложение А

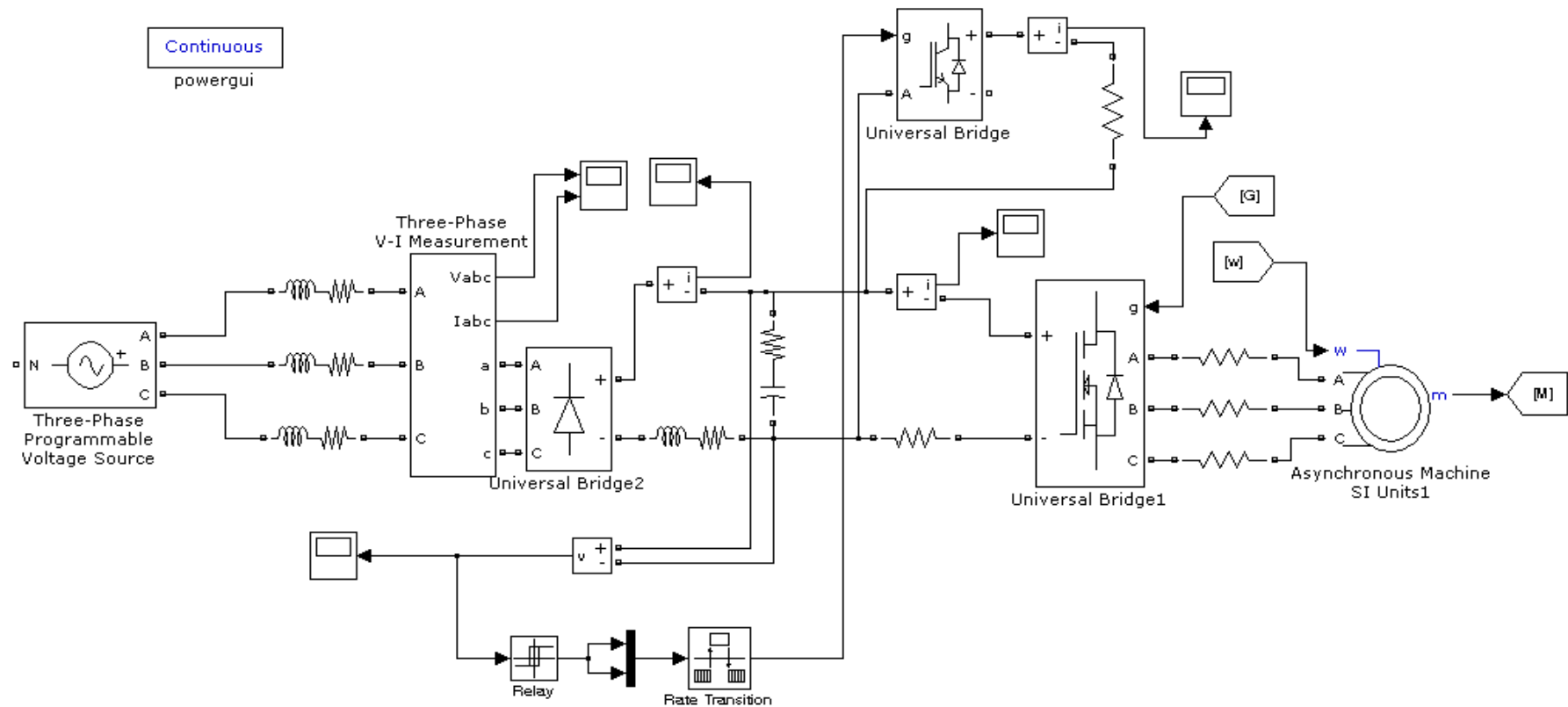
Схема подкачивающей насосной станции ПНС



Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным частотным управлением без датчика скорости



Имитационная модель электрической части силового канала ПЧ-АД



Диаграммы отработки электроприводом насоса цикла

