

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Частотно-регулируемый электропривод вентилятора котла

УДК 62-83-523:621.63

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Борисов Никита Фёдорович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Борисову Никите Фёдоровичу

Тема работы:

Частотно-регулируемый электропривод вентилятора котла

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г
---	------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
--	--------------

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 Схема электрическая структурная. 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	Попова Светлана Николаевна	
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Заключение		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2018г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Борисов Никита Фёдорович		05.04.2018г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Разработать регулируемый асинхронный частотно-регулируемый электропривод вентилятора котла БЭМ-25/4,0-380Г, удовлетворяющий следующим техническим требованиям и характеристикам.

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

РЕФЕРАТ

ДУТЬЕВОЙ ВЕНТИЛЯТОР, АСИНХРОННЫЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ.

Объектом выпускной квалификационной работы является электропривод дутьевого вентилятора.

Цель работы – разработка и исследование асинхронного частотно-регулируемого электропривода дутьевого вентилятора.

В выпускной квалификационной работе был произведён расчет и выбор приводного двигателя; преобразователя частоты, а также определены параметры силовой цепи. Обоснован выбор способа управления, рассчитаны механические и электромеханические характеристики. Методом имитационного моделирования на ЭВМ исследованы переходные процессы в основных режимах работы.

В разделе экономики произведен расчет сметы на пуско-наладочные работы электропривода дутьевого вентилятора.

В разделе безопасность и жизнедеятельность труда рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проанализированы опасные и вредные факторы производства.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010; для расчетов и построений рисунков использовались программы: MathCAD 14, Microsoft Visio, Microsoft Power Point 2010; имитационное моделирование выполнено с помощью пакета программ Simulink (MatLab 7.11).

Содержание

Содержание

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ	4
ВВЕДЕНИЕ	8
1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОТЕЛЬНОЙ	9
1.1. Управление исполнительными механизмами котла	15
1.2. Управление котлом в различных теплотехнических состояниях	18
1.3. Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода для вентилятора	26
2. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ	29
2.1. Аэродинамические характеристики и параметры вентилятора ВДН-12,5У	29
2.2. Механические характеристики вентилятора	32
2.3. Выбор приводного двигателя	34
2.4. Расчёт естественных характеристик электродвигателя	40
2.5. Выбор типа преобразователя и способа регулирования	45
2.6. Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель	46
2.7. Расчёт характеристик разомкнутой системы ПЧ-АД и оценка выполнения заданной области работы электропривода	48
2.8. Расчет статических характеристик разомкнутой системы преобразователь частоты - асинхронный двигатель при частотном управлении	55
3. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА САУ ЭП И НАСТРОЙКА КОНТУРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ	60
3.1. Структурная схема линеаризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением	60
3.2 Структурная схема нелинейной САУ регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением	62
3.3 Оптимизация контуров регулирования САУ электропривода с учетом квантования сигналов	64
3.3.1. Оптимизация контура тока с ПИ-регулятором, аналоговым датчиком тока и учетом квантования сигналов в контуре	65
3.3.2. Оптимизация контура скорости с ПИ-регулятором и без датчика скорости	71
3.3.3. Оптимизация контура потокосцепления ротора с ПИ-регулятором без датчика потока	77
4. РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА И ЕЁ ИССЛЕДОВАНИЕ	80
4.1. Имитационные исследования нелинейной САУ регулируемого электропривода	80
4.2. Имитационные исследования работы САУ электропривода в составе технологической установки	105
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	114
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ	

И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	115
5.1 Анализ технических решений	115
5.2 Планирование научно–исследовательских работ	117
5.3 Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	118
5.4 Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	121
5.4.1 Определение трудоемкости выполнения работ	121
5.5 Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР	126
5.6 Составление бюджета инженерного проекта	127
5.6.1 Расчет сметы затрат на проектирование.	127
5.6.2 Расчет расходов при эксплуатации электропривода	128
5.6.3 Затраты на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электропривода	129
5.7 Экономическая эффективность	131
5.7.1 Срок окупаемости проекта	133
5.7.2 Чистый текущий дисконтированный доход	133
5.7.3 Ставка доходности (коэффициент рентабельности) проекта	134
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	135
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	137
6.1 Производственная безопасность	137
6.2. Превышение уровня шума	138
6.3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	138
6.4 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	140
6.5 Экологическая безопасность	143
6.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	147
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	150
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	152
ПРИЛОЖЕНИЕ А	154
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	155
ПРИЛОЖЕНИЕ В	156

ВВЕДЕНИЕ

Трудно найти в настоящее время промышленный или какой-либо другой технологический процесс, в котором не используются электрические двигатели. Для решения задач автоматизации управления электрическими двигателями частотные преобразователи представляют собой идеальные устройства.

Широкий диапазон регулирования скорости вращения электродвигателя, высокая точность поддержания ее на установившихся режимах, плавный пуск и торможение электропривода, режимы энергосбережения – это лишь малый перечень преимуществ частотно регулируемого привода по отношению к другим типам приводов.

Естественно, что в любом производстве и на любом предприятии есть как традиционные задачи, так и специфические или уникальные задачи, решение которых не всегда тривиально.

Из всех механизмов котельной, приводимых в движение асинхронными двигателями, определяющее значение с точки зрения энергетической эффективности имеют тягодутьевые механизмы. Они потребляют почти 60% электроэнергии от собственных нужд котельной.

Использование частотного регулирования электроприводов тягодутьевых механизмов обеспечивает:

автоматическое поддержание на заданном уровне разрежения на выходе котла и давления подаваемого в котел воздуха во всех режимах работы (розжиг/останов котла, работа при различном количестве включенных горелок); устойчивый автоматический розжиг котла без отрыва пламени. Время розжига меньше по сравнению с ручным управлением.

При автоматическом поддержании параметров наряду с экономией электроэнергии обеспечивается оптимальный режим работы котельной, минимизация вредных выбросов в атмосферу, увеличение срока службы оборудования.

1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОТЕЛЬНОЙ

Система автоматического управления котла БЭМ-25/4,0-380Г, строится на базе программируемого контроллера DL-205 фирмы Automation Direct, США.

Система управления включает следующие средства:

- станция управления с операторской панелью (рисунок 1.1);
- операторская станция;
- шкаф электрический для управления регулирующей арматурой;
- шкаф электрический для управления запорной арматурой;
- аппаратура частотного регулирования скоростью двигателей тягодутьевых машин;
- комплект приборов КИП и А.

Электропитание станции управления осуществляется напряжением 220 В, потребляемая мощность до 3,0 кВт.

Заземление станции управления и шкафов электрических осуществляется в соответствии с общими требованиями ПУЭ для потребителей до 1000 В. Отдельного контура заземления для средств автоматики котла не требуется.

Станция управления (контроллер с модулями УСО) имеет климатическое исполнение УХЛ 3.1 при температуре окружающего воздуха от 0 до +40°С. Конструктив станции имеет габаритные размеры 1800х600х600 двухстороннего обслуживания, исполнение IP54 по защите от внешних воздействий, что обеспечивает устойчивую работу аппаратуры в производственных помещениях. Поэтому станция управления и шкафы электрические могут размещаться в непосредственной близости от котла.

В состав операторской станции входят два компьютера офисного исполнения, поэтому она должна размещаться в отдельном помещении с комфортными условиями окружающей среды: температура от 15 до 25°С, относительная влажность 40... 70%.

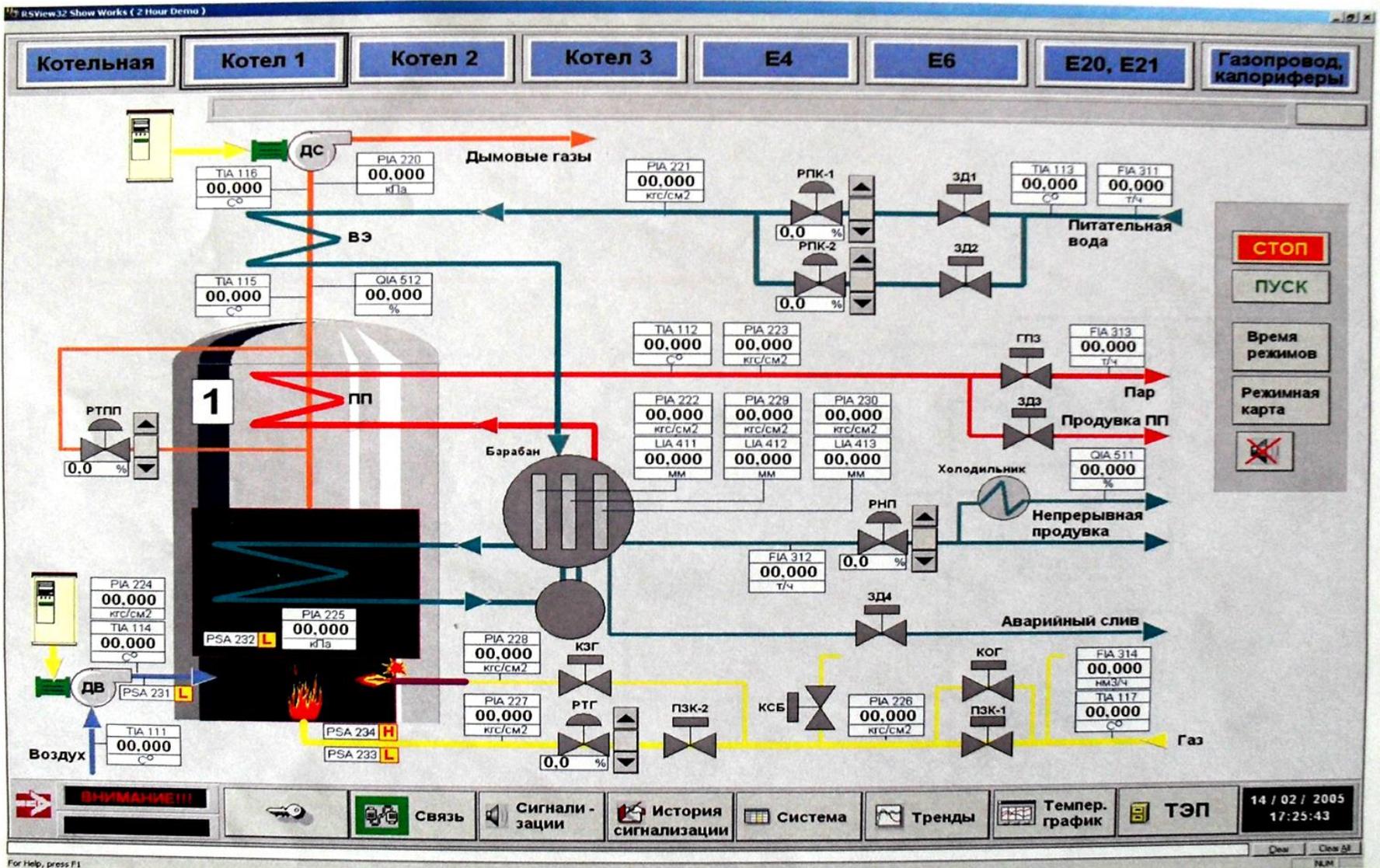


Рисунок 1.1 – Мнемосхема системы автоматического управления технологическим процессом

Контроль состояния технологического оборудования и отдельных исполнительных механизмов осуществляется с помощью показывающих приборов, датчиков технологических параметров и состояния исполнительных механизмов котла. Сигналы от датчиков вводятся в устройство управления для анализа и выработки управляющих воздействий в соответствии с алгоритмом управления. Одновременно эти сигналы используются для отображения информации об объекте, регистрации и сигнализации средствами системы управления (местный пульт станции управления, дисплей операторской станции). Комплект приборной продукции обеспечивает контроль параметров, характеризующих работу котла, обеспечивающих автоматическое управление котлом и полное представление информации оперативному персоналу о режимах работы и состоянии оборудования котла.

Устройство управления формирует сигналы управления, в том числе признаки состояния оборудования, пороговые сигналы текущих значений аналоговых датчиков, аварийной и предупредительной сигнализации, управляющие воздействия схем управления, регулирования и защит на исполнительном механизме котла.

Управление исполнительными механизмами осуществляется через низковольтные коммутирующие устройства (НКУ), которые обеспечивают коммутацию рабочего напряжения электропривода исполнительного механизма по сигналам от устройства управления или по команде оператора с пультов системы управления. Управление исполнительными механизмами в автоматическом режиме обеспечивает установку арматуры в открытое и закрытое положение, останов запорного устройства арматуры в любом промежуточном положении, автоматическое отключение привода при достижении запорным устройством арматуры крайних положений, плотное закрытие запорной арматуры с созданием гарантированного усилия на уплотнительных поверхностях рабочего органа, блокировку взаимоисключающих команд управления (открыть и закрыть), выдачу сигналов крайних положений и аварийных отключений привода (заклинивание, перегрузка и т.д.).

Электроприводы задвижек и запорных вентилей оснащены концевыми выключателями, определяющими крайние положения "открыто" и "закрыто".

Управление регулирующими устройствами предполагает формирование сигналов управления «больше/меньше» различной длительности (широтно-импульсная модуляция). Исполнительные механизмы регулирующих клапанов (МЭО) и встроенные электроприводы регулирующих клапанов оборудованы аналоговыми датчиками для индикации положения рабочего органа. Перечень исполнительных механизмов котла представлен в приложении (таблица 2).

Средства автоматизации (исполнительные механизмы, приборы контроля и измерения теплотехнических параметров и состояния исполнительных механизмов) с технологическим оборудованием можно условно разделить на следующие функциональные группы:

- пароводяной тракт котла;
- горелка и топливопроводы котла;
- воздухогазоходы котла.

Оборудование пароводяного тракта обеспечивает питание котла водой, поддержание требуемых значений уровня воды в барабане и солесодержания котловой воды, выработку пара, его перегрев и отвод перегретого пара потребителю.

Пароводяной тракт котла включает узел питания, экономайзер, два барабана котла с системой опускных и испарительных труб, линию непрерывной продувки барабана котла, линию аварийного слива воды из барабана, пароперегреватель и паропроводы, обеспечивающие отвод вырабатываемого пара.

Котел оборудован газомазутной горелкой ГМ-20Х и топливопроводом, которые обеспечивают работу котла на газообразном топливе.

Горелка ГМ-20Х комплектуется электрогазовым запальником. Запальник имеет встроенные электрод зажигания и контрольный электрод ионизационного датчика. Автоматика котла включает высоковольтный трансформатор розжига для получения искры зажигания и прибор контроля

пламени ФЭСР-2 для преобразования сигнала ионизационного датчика о наличии пламени запальника в стандартный сигнал типа «сухой» контакт.

Контроль наличия факела горелки осуществляется тем же прибором ФЭСР-2, который включает низкочастотный фотодатчик. Для крепления ФЭСР-2 горелка "оборудована визирной трубой с фланцем.

На горелке установлены отборные устройства для подключения показывающих напорометров (207 и 208) для визуального контроля давления периферийного и внутреннего воздуха горелки, устанавливаемых по месту в непосредственной близости от горелки.

Топливопровод котла служит для подачи газообразного топлива на запальник и горелку котла и оснащен блоком газовым БГ-8.01. Ду 150.

Газовоздуховоды (газовоздушный тракт) и тягодутьевое оборудование котла обеспечивают подачу воздуха на горелку в количестве, необходимом для оптимального горения, отвод продуктов сгорания (дымовых газов) и поддержание заданного разрежения в топке.

Функциональная схема регулятора давления воздуха приведена на рисунке 1.2.

Исполнительными механизмами газовоздуховодов являются:

- дутьевой вентилятор (ДВ);
- направляющий аппарат вентилятора с МЭО (ИМ3);
- дымосос котла (ДС);
- направляющий аппарат дымососа с МЭО (ИМ4).

Для включения тепловой защиты и контроля состояния вентилятора и дымососа служит аппаратура управления двигателем (АУД) тягодутьевых машин. АУД выбирается проектом привязки и включает оборудование частотного регулирования скорости вращения тягодутьевых машин, а также схему контроля состояния двигателя вентилятора или дымососа. Схема контроля состояния обеспечивает формирование дискретного сигнала типа «сухой» контакт (КС) об отключении двигателя. Сигнал формируется при любом отключении двигателя, в том числе при срабатывании тепловой защиты или

защиты по максимальному току двигателя. В частности, для контроля включенного состояния двигателей могут быть использованы выходные дискретные сигналы частотного регулятора.

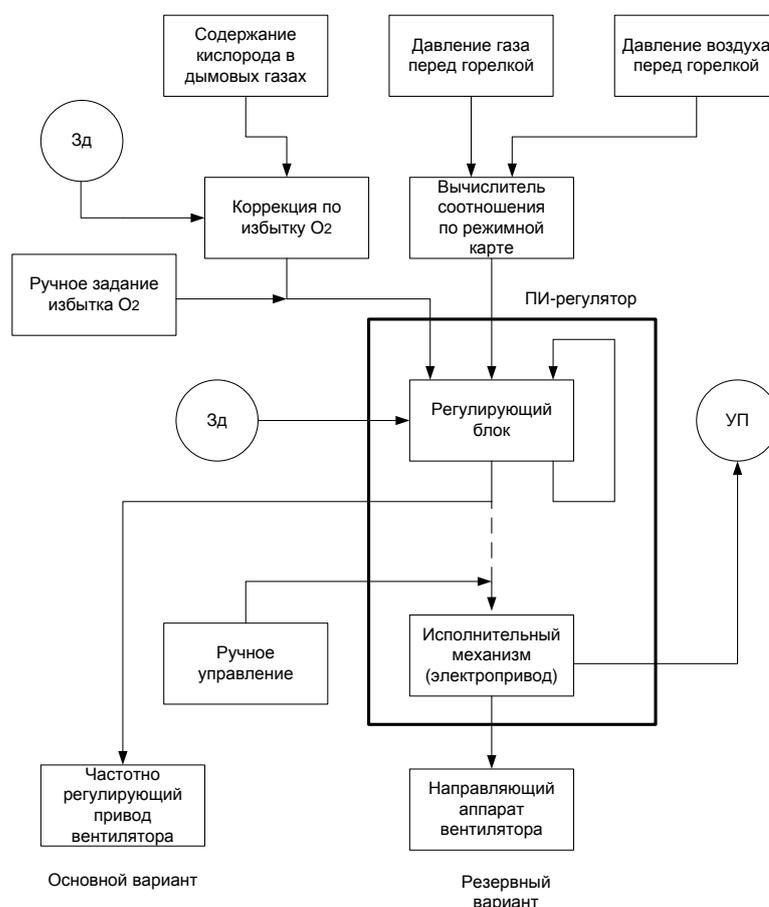


Рисунок 1.2 – Функциональная схема регулятора давления воздуха

Газовоздуховоды оснащаются приборами и датчиками для контроля следующих параметров:

- температура воздуха перед горелкой (114);
- давление воздуха перед горелкой (206,224,231);
- разрежение в топке (210,225,232);
- температура дымовых газов до (115) и после экономайзера (116);
- разрежение перед дымососом (211);
- содержание кислорода в дымовых газах за котлом (512).

Датчик температуры воздуха перед горелкой обеспечивает визуальный контроль текущего значения параметра на щите управления и формирование сигналов предупредительной сигнализации о снижении температуры. При

наладке необходимо учитывать, при какой температуре воздуха составляется режимная карта, и отклонение от этого значения на 20°С должно вызывать предупредительную сигнализацию.

Приборы контроля давления воздуха перед горелкой обеспечивают визуальный контроль текущего значения параметра по месту и на щите управления, формирование сигналов предупредительной и аварийной сигнализации о снижении давления и используются при регулировании пускового давления воздуха перед горелкой и соотношения топливо-воздух. Сигнал датчика содержания кислорода служит корректирующим сигналом при регулировании оптимального соотношения топливо-воздух.

Приборы контроля разрежения в топке обеспечивают визуальный контроль по месту и на щите управления, формирование сигналов предупредительной и аварийной сигнализации о снижении разрежения (отсутствии тяги) и используются для поддержания постоянного разрежения в топке. Датчик температуры дымовых газов за экономайзером обеспечивает визуальный контроль текущих значений параметра и включение предупредительной сигнализации при повышении температуры.

1.1. Управление исполнительными механизмами котла

Управление котлом в автоматическом режиме осуществляется через управление исполнительными механизмами котла, оборудованными электроприводами.

К исполнительным механизмам типа «электропривод с датчиком состояния» относятся тягодутьевые машины, управление которыми осуществляется с помощью специальной аппаратуры управления двигателями (АУД) ИМ. В состав АУД входят коммутирующие устройства, обеспечивающие включение и отключение двигателя по команде устройства управления, защитное отключение при нарушении режима работы двигателя

(например, перегрузка) и средства контроля состояния двигателя (КС), которые обеспечивают формирование достоверного сигнала о состоянии двигателя. Порядок управления определяется схемой АУД и может осуществляться как одной командой «включить/отключить», так и формированием отдельных команд «включить» и «отключить» по двум каналам управления.

При управлении исполнительным механизмом данного типа выдача сигнала от датчика состояния. Сигнал от датчика состояния «двигатель включен» должен измениться через время, необходимое на выполнение выданной команды (уточняется при наладке). Несоответствие сигнала состояния исполнительного механизма текущей команде по истечении контрольного времени вызывает формирование сигнала о неисправности исполнительного механизма и включение предупредительной сигнализации.

В проекте управление скоростью вращения двигателя тягодутьевых машин осуществляется дискретным сигналом в виде двоичного цифрового кода.

Управление исполнительными реверсивными механизмами запорной арматуры осуществляется с помощью низковольтных коммутирующих устройств (НКУ), которые обеспечивают включение в прямом и обратном направлении, отключение двигателя по команде устройства управления, защитное отключение при нарушении режима работы двигателя (например, перегрузка). При этом нештатное отключение двигателя, неисправность НКУ, вызывающая потерю управления исполнительным механизмом, в том числе отключение питания, должно сопровождаться формированием сигнала предупредительной сигнализации.

Для управления исполнительным механизмом устройство управления выдает на НКУ команды «открыть», «стоп» и «закрыть». По команде «открыть» НКУ включает двигатель для перемещения запорного органа арматуры в положение «открыто», по команде «закрыть» - для перемещения запорного органа арматуры в положение «закрыто», и обеспечивает автоматический останов двигателя в крайних положениях. При выполнении команды «закрыть

» аппаратура НКУ реализует «плотное» закрытие арматуры, т.е. обеспечивает при закрытии гарантированное усилие на запорном органе за счет применения муфт предельного момента привода или реле максимального тока в составе НКУ. Командой «стоп» запорный орган может быть установлен в любом промежуточном положении.

Управление исполнительными реверсивными механизмами регулирующих устройств (клапаны, затворы, заслонки, направляющие аппараты) также осуществляется с помощью низковольтных коммутирующих устройств (НКУ), которые обеспечивают включение в прямом и обратном направлении, отключение двигателя по команде устройства управления, защитное отключение при нарушении режима работы двигателя (например, перегрузка).

В состав НКУ регулирующих устройств входят бесконтактные реверсивные пускатели типа ПБР, что позволяет применять широтно-импульсную модуляцию с малой длительностью управляющего сигнала для перемещения рабочего органа при регулировании. При этом нештатное отключение двигателя, неисправность НКУ, вызывающая потерю управления исполнительным механизмом, в том числе отключение питания, сопровождается предупредительной сигнализацией «Авария Исполнительного Механизма».

Для контроля положения рабочего органа регулирующего устройства кроме конечных выключателей крайних положений КВО и КВЗ используется аналоговый датчик положения (ДП) сигнал которого пропорционален степени открытия регулирующего устройства и служит для контроля перемещения рабочего органа при выполнении команд управления «больше» и «меньше».

Приведенный алгоритм управления исполнительными механизмами различного типа дан в общем виде и подлежит уточнению при проектировании автоматики котла с учетом принятых схем управления и подключения конкретных НКУ.

1.2. Управление котлом в различных теплотехнических состояниях

Управление котлом в автоматическом режиме заключается в выполнении требуемой последовательности технологических операций под управлением автоматики для поддержания заданных теплотехнических параметров, выполнения команд оператора и защиты оборудования. Технологический алгоритм определяет последовательность действий при управлении котлом в зависимости от состояния оборудования. Состояние котла определяется состоянием оборудования, характеризуемого сигналами датчиков теплотехнических параметров котла и положения исполнительных механизмов. Предлагаемый алгоритм управления включает следующие теплотехнические состояния котла:

- отключен;
- проверка готовности и установка исполнительного механизма в исходное положение;
- исходное; .
- подготовка к розжигу;
- розжиг;
- прогрев;
- рабочий режим;
- останов.

Смена состояний осуществляется по командам оператора или автоматически по результатам выполнения технологических операций. В автоматическом режиме при нарушении порядка выполнения технологических операций, заданных алгоритмом, и отклонении параметров за допустимые пределы предусматриваются следующие варианты реакции системы на нештатные ситуации:

- включение предупредительной сигнализации;

- блокировка команд управления отдельным исполнительным механизмом;
- приостановка выполнения (блокировка) дальнейших технологических операций до принятия решения оператором о порядке продолжения работы;
- смена состояния (при срабатывании защит - останов котла, переход в состояние останов).

Во всех случаях включается предупредительная звуковая сигнализация, которая сопровождается выдачей сообщения оператору. Причина сигнализации фиксируется и запоминается в хронологическом порядке.

Автоматическое управление котлом начинается по команде оператора. По команде пуска контролируется давление в барабане котла. Если давление выше 0,1 МПа, осуществляется перевод котла в состояние «останов». Если давление в барабане ниже или равно 0,1 МПа, осуществляется переход в состояние «проверка готовности и установка исполнительных механизмов в исходное положение».

В состоянии котла «проверка готовности и установка исполнительных механизмов в исходное положение» осуществляется проверка текущих значений технологических параметров и состояния оборудования котла. При этом текущие значения параметров сравниваются с уставками, а исполнительные механизмы переводятся в исходное положение.

Установка исполнительных механизмов котла в исходное состояние выполняется одновременно. При выявлении неисправности исполнительных механизмов или невозможности выполнения команд, а также при несоответствии текущих значений технологических параметров, указанных выше, включается предупредительная сигнализация, работа с остальными исполнительными механизмами продолжается.

Котел автоматически переводится в состояние «Исходное» при успешном выполнении действий по установке исполнительных механизмов в исходное положение и соответствии основных параметров следующим значениям:

- давление пара в барабане P222 ниже L1 (0,1 МПа);

- уровень воды в барабане в пределах диапазона ± 75 мм от среднего рабочего уровня;
- давление воздуха перед горелкой P224 ниже LA (0,15 кПа);
- пламя запальника отсутствует;
- факел горелки отсутствует;
- давление газа между клапанами ПЗК1 и ПЗК2 P226 ниже LA (0,5 кПа);
- давление газа перед горелкой P227 ниже LA (0,5 кПа).

При нарушении условий завершения операций переход в состояние «исходное» блокируется. В этом случае по команде оператора повторяется выполнение операций по установке оборудования котла в исходное положение после устранения причин неисправности исполнительных механизмов и восстановления рабочих значений параметров или котел переводится в состояние «останов».

Состояние котла «исходное» характеризует готовность котла к пуску в работу в автоматическом режиме. Из состояния «Исходное» при отсутствии блокировок оператор может перевести котел в состояние «Подготовка к розжигу» или командой «Останов котла» в состояние «отключен».

Подготовка начинается с включения тягодутьевого оборудования. Операции пусковой вентиляции и опрессовка газопровода выполняются одновременно.

Включение тягодутьевого оборудования выполняется в следующем порядке. Сначала включается дымосос ДС и регулятор разрежения в топке. Регулятор поддерживает заданное значение разрежения в топке, изменяя скорость вращения двигателя дымососа или воздействуя на направляющий аппарат дымососа. При включении дымососа разрежение в топке, как правило, значительно ниже требуемого значения -20...-40 Па и может выйти за пределы нижнего диапазона прибора (-200 Па), что не является нарушением режима, направляющий аппарат при этом остается закрытым.

После завершения разгона дымососа включается вентилятор котла ДВ и регулятор пускового давления воздуха перед горелкой. Регулятор

поддерживает заданное значение давления воздуха перед горелкой, изменяя скорость вращения двигателя вентилятора или воздействуя на направляющий аппарат вентилятора. Значение пускового давления воздуха выбирается при наладке, чтобы обеспечить количество подаваемого в топку воздуха в объеме 25...30% от номинального. Давление воздуха при этом должно быть выше уставки предупредительной сигнализации 0,15 кПа. После включения регулятора давления воздуха дается время 20...40 секунд (уточняется при наладке) на установление рабочих значений параметров.

По окончании операций стадии включения тягодутьевого оборудования осуществляется переход на стадию пусковой вентиляции.

На стадии «пусковая вентиляция» осуществляется контроль следующих параметров:

- дымосос и вентилятор включены;
- разрежение в топке имеет рабочее значение ($-100 \text{ Па} < P_T < -5 \text{ Па}$);
- давление воздуха перед горелкой выше 0,15 кПа.

При соответствии параметров требуемым значениям начинается отсчет времени пусковой вентиляции топки и газоходов котла. Время пусковой вентиляции-10 минут (уточняется при выполнении пусконаладочных работ). Отключение дымососа или вентилятора вызывает автоматический останов котла действием защит. Отклонение параметров разрежения в топке и давления воздуха за указанные пределы вызывает включение предупредительной сигнализации и приостановку отсчета времени вентиляции.

Одновременно со стадией «пусковая вентиляция» выполняются технологические операции стадий «подготовка пароводяного тракта» и «опрессовка газопровода».

При выполнении технологических операций стадии подготовки оборудования пароводяного тракта осуществляется контроль параметров, ввод локальных защит по уровню (перелив и упуск воды) в барабане котла, установка арматуры в определенное положение и стабилизация уровня воды в барабане.

Несоответствие параметров ожидаемым значениям вызывает включение предупредительной сигнализации, дальнейшее выполнение операций опрессовки газопровода блокируется. Выполнение операций опрессовки может быть продолжено только по команде оператора «повторить опрессовку» после устранения причин блокировки.

После успешного завершения технологических операций по стадиям в состоянии котла «подготовка к розжигу» при наличии признаков «Пусковая вентиляция выполнена», «Опрессовка завершена» и рабочих значениях параметров пароводяного тракта формируется сообщение «Готовность к розжигу».

При наличии признака Готовности к розжигу персонал по команде «Выполнить розжиг» переводит котел в состояние «Розжиг». Технологические операции по подготовке к розжигу могут быть прерваны по команде оператора «Останов котла» или автоматически действием защит при отключении любой из тягодутьевых машин. Котел при этом переводится в состояние «Останов».

При выполнении операций розжига вводятся защиты, действующие на останов котла в следующих случаях:

- повышение (понижение) давления газа перед горелкой P227 выше НА (ниже LA);
- понижение давления воздуха ниже LA;
- повышение давления в топке (отсутствие тяги) выше НА.
- погасание факела горелки.

При успешном завершении операций розжига осуществляется автоматический переход в состояние «прогрев».

В состоянии «прогрев» выполняются: регулирование разрежения в топке котла, поддержание пусковых значений давления газа и воздуха перед горелкой (25...30% тепловой производительности), управление оборудованием пароводяного тракта.

При переходе на стадию подключения паровой нагрузки начинает открываться главная паровая задвижка.

В состоянии "Рабочий режим" котел вырабатывает до 25 тонн в час перегретого пара с номинальными параметрами (3,9 МПа и 410...450°C).

Устойчивая работа котла достигается автоматическим регулированием основных технологических параметров.

В состоянии «рабочий режим» включены все защиты котла, и отклонение параметров за допустимые пределы вызывает останов котла действием защит.

Регулирование соотношения «топливо-воздух» должно обеспечивать подачу воздуха на горелку в соответствии с режимной картой. Регулятор формирует управляющее воздействие на исполнительном механизме направляющего аппарата вентилятора (ИМ2) или цифровой сигнал в виде двоичного кода для управления скоростью вращения двигателя вентилятора через частотный преобразователь. Регулирование соотношения осуществляется по давлению топлива и воздуха перед горелкой. При этом задание регулятору соотношения (давления воздуха) формируется по текущему давлению топлива по режимной карте, определяющей соотношение давления «топливо-воздух» (рисунок 1.3).

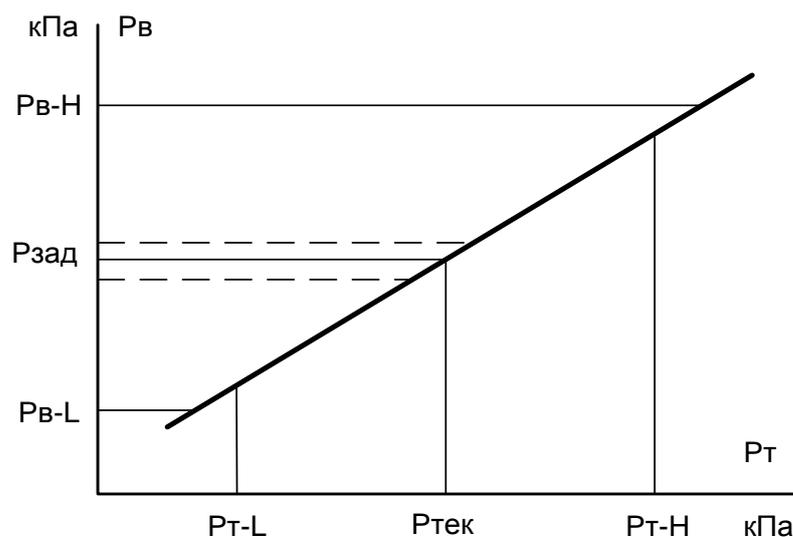


Рисунок 1.3- Характеристика соотношения «топливо-воздух»

В случае если зависимость оптимального соотношения давлений топлива и воздуха нелинейная, график строится по нескольким точкам с линейной аппроксимацией между соседними точками. По заданной зависимости устройство управления определяет требуемое давление воздуха перед горелкой ($P_{зад}$) по текущему значению давления топлива ($P_{тек}$). Одновременно определяются верхняя ($P_{вдв}$) и нижняя ($P_{вдн}$) границы допустимого отклонения давления воздуха при данном давлении топлива.

Если в процессе регулирования текущее значение давления воздуха выходит за границы допустимых отклонений, выполняется блокировка управления исполнительным механизмом подачи топлива регулятора тепловой производительности с учетом направления движения. Так, если $P_v < P_{вдн}$, то блокируется выполнение команд «больше», а если $P_v > P_{вдв}$, то блокируются команды «меньше».

Регулятор соотношения сравнивает $P_{зад}$ с текущим значением давления воздуха и по сигналу рассогласования формирует управляющее воздействие по ПИ-закону. Для оптимизации процесса сжигания топлива при регулировании соотношения вводится корректирующий сигнал содержания свободного кислорода в уходящих дымовых газах. Увеличение содержания кислорода в уходящих газах вызывает снижение подачи воздуха, снижение содержания кислорода - увеличение подачи воздуха к горелке.

Регулятор разрежения обеспечивает поддержание постоянного заданного значения (-20...-30 Па) разрежения в топке за счет изменения скорости вращения двигателя дымососа или изменения положения ИМ4 направляющего аппарата дымососа.

Из состояния «рабочий режим» котел может быть переведен в состояние «останов» по команде оператора или автоматически действием защит.

Котел переводится в состояние "Останов" по пусковой команде оператора из состояния «отключен», если давление в барабане котла больше 0,1 МПа, или по команде «останов котла» из любого состояния после выдачи

команды на пуск автоматического управления. Автоматически котел переводится в состояние «останов» действием защит при введенной защите и отклонении параметра за пределы допустимого диапазона. При останове котла автоматикой выполняются операции, обеспечивающие перевод оборудования котла в отключенное состояние и установку в исходное положение исполнительных механизмов. Последовательность операций останова зависит от состояния котла, в котором он находился перед остановом. В общем случае при останове из состояния «рабочий режим» технологические операции останова котла выполняются по стадиям в следующей последовательности:

- отключение регуляторов тепловой производительности котла и соотношения топливо-воздух;
- отключение горелки;
- вентиляция топки;
- отключение тягодутьевого оборудования (ТДО);
- управление оборудованием пароводяного тракта.

Стадии переключения регуляторов и отключения горелки, если она включена, выполняются одновременно. Вентиляция топки и отключение тягодутьевого оборудования выполняется последовательно после отключения горелки.

Управление оборудованием пароводяного тракта начинает выполняться после погасания факела и осуществляется одновременно с операциями остальных стадий.

Успешное выполнение технологических операций останова котла завершается переходом котла в состояние "отключен"

Из состояния «останов» при выполнении определенных условий по команде оператора на пуск котла, котел может быть переведен в состояние «подготовка к розжигу». Команда на пуск может быть подана только после успешного завершения операций по отключению горелки, и порядок перехода зависит от состояния тягодутьевого оборудования.

1.3. Обоснование применения частотно-регулируемого электропривода для вентилятора

Дутьевые вентиляторы являются механизмами длительного режима работы, нагрузка на валу приводного двигателя спокойная, перегрузок в установленном режиме не возникает. Вентиляторы являются механизмами, обладающими большим моментом инерции, что необходимо учитывать при расчете пусковых характеристик электроприводов.

Пуск вентилятора может производиться как при разгруженной машине (закрыт направляющий аппарат), так и при нормальной работе на сеть. В первом случае максимальный момент при пуске равен примерно 0,5 номинального, во втором – номинальному. При пуске мощных вентиляторов с большим диаметром рабочего колеса обычно требуется ограничение ускорений при пуске во избежание появления чрезмерных динамических напряжений в лопатках рабочего колеса и резкого возрастания пускового тока.

Анализ аэродинамических характеристик вентилятора показывает, что при уменьшении расхода воздуха по условиям технологического процесса изменением положения заслонок даже до 60° - 50° не приводит к снижению потребляемой мощности из сети, а только уменьшает расход (т.е. отдаваемую мощность). Эффективное снижение потребляемой мощности при уменьшении расхода по требованиям технологического процесса возможно только при снижении скорости электродвигателя. В связи с этим особое значение для дутьевых вентиляторов имеет применение регулируемого электропривода, т. к. по некоторым источникам КПД вентиляторов при регулируемом электроприводе должно быть больше, чем при нерегулируемом в среднем на 15–20% [3].

Наиболее эффективным средством модернизации при работе агрегата с приводом от имеющегося асинхронного электродвигателя является применение частотно-регулируемого привода.

Кроме повышения КПД, применение регулируемого привода для вентиляторов позволяет в ряде случаев упростить конструкцию турбомашин,

исключив направляющий аппарат. Кроме улучшения энергетических характеристик, значительно изменяются эксплуатационные показатели: увеличивается межремонтный цикл из-за снижения механических нагрузок и смягчения пусковых режимов, легко выбирается необходимый технологический режим и обеспечивается параллельная работа вентиляторов.

Система управления тягодутьевым механизмом включает несколько частотных преобразователей (управление приводом дымососов и вентиляторов), датчики разрежения и датчики давления, пульт управления оператора.

Использование частотного регулирования электроприводов тягодутьевых механизмов обеспечивает:

- автоматическое поддержание на заданном уровне разрежения на выходе котла и давления подаваемого в котел воздуха во всех режимах работы (розжиг/останов котла, работа при различном количестве включенных горелок);

- устойчивый автоматический розжиг котла без отрыва пламени. Время розжига меньше по сравнению с ручным управлением.

При автоматическом поддержании параметров наряду с экономией электроэнергии обеспечивается оптимальный режим работы котельной, минимизация вредных выбросов в атмосферу, увеличение срока службы оборудования.

Модернизация действующих котельных производится с минимальными изменениями существующей структуры: частотные преобразователи включаются в разрыв силовой сети 380 В между пусковой аппаратурой и электродвигателями. Дроссельные заслонки в каналах дымососа и вентилятора полностью открыты.

В контрольных точках устанавливаются датчики разрежения и давления воздуха, сигналы с которых подаются на входы соответствующих частотных преобразователей, образуя замкнутые системы автоматического регулирования.

Система преобразователь частоты–асинхронный двигатель создает дополнительные возможности:

- обеспечивает программируемую защиту электродвигателя от перегрузок в рабочих и аварийных режимах;

- обеспечивает перепрограммирование режимов плавного пуска и торможения электродвигателя;

- предусматривает возможность автоматического (программируемого) перевода системы в режим экономии электроэнергии при работе с моментом нагрузки меньше номинального;

- повышает надежность оборудования, увеличивает срок службы основного технологического оборудования.

2.ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ

2.1. Аэродинамические характеристики и параметры вентилятора ВДН-12,5У

Вентилятор ВДН-12,5У имеет диаметр рабочего колеса $D = 1250$ мм² и скорость вращения колеса 980 об/мин, что определяет непосредственное соединение с электродвигателем. Момент инерции вентилятора $J_{\text{вент}} = 2,4$ Н·м.

Область аэродинамических характеристик вентилятора ВДН-12,5У приведена на рисунке 2.1. Характеристики вентилятора приведены для параметров воздуха при нормальных атмосферных условиях.

По аэродинамическим характеристикам для выбранной точки работы i определяются производительность, создаваемое давление и КПД вентилятора.

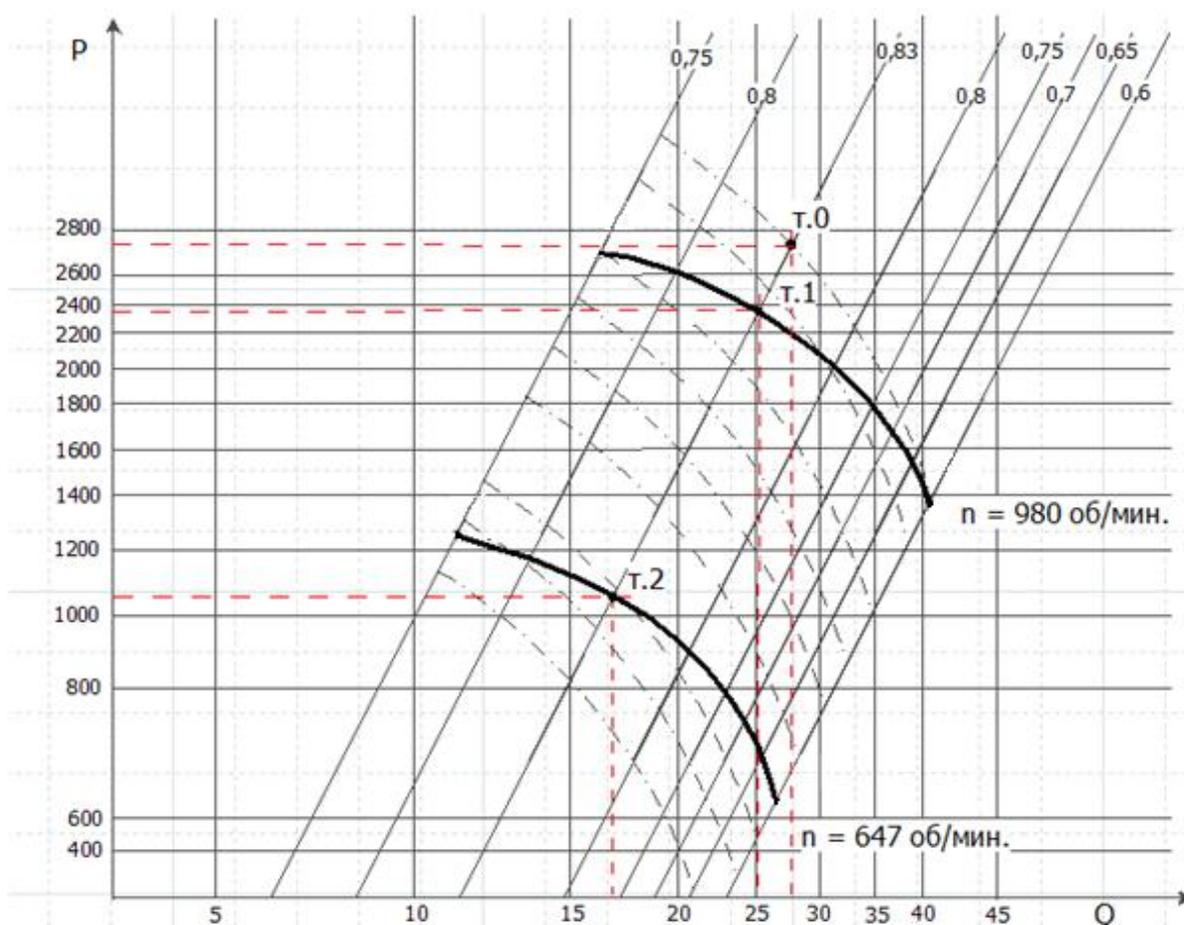


Рисунок 2.1 – Область аэродинамических характеристик вентилятора ВДН-12,5У

Полная и полезная мощность и полный и полезный момент на валу вентилятора, а также скорость вращения приводного двигателя определяются расчетным путем по приведенным ниже расчетным выражениям.

Полная мощность на валу

$$N_{\text{вал}i} = N_{\text{баз}} \cdot \frac{Q_i}{Q_{\text{баз}}} \cdot \frac{P_i}{P_{\text{баз}}} \cdot \frac{\eta_{\text{баз}}}{\eta_i}, \text{ Вт.}$$

Полезная мощность на валу вентилятора

$$N_{\text{пол}i} = N_{\text{вал}i} \cdot \eta_i, \text{ Вт.}$$

Скорость вращения приводного двигателя в выбранной точке работы

$$\omega_i = \omega_{\text{баз}} \cdot \frac{Q_i}{Q_{\text{баз}}} \quad \text{или} \quad \omega_i = \omega_{\text{баз}} \cdot \sqrt{\frac{P_i}{P_{\text{баз}}}}, \text{ рад/с.}$$

Полный момент нагрузки на валу вентилятора

$$M_{\text{вал}i} = \frac{N_{\text{вал}i}}{\omega_i}, \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Полезный момент нагрузки на валу вентилятора

$$M_{\text{пол}i} = \frac{N_{\text{пол}i}}{\omega_i}, \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Расчет параметров вентилятора в рабочих точках т.1 и т.2 при максимальном $\eta = 0,83$

Параметры базовой точки т.0 (общей для расчета мощности во всех точках работы вентилятора):

$$Q_{\text{баз}} = 27800 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad P_{\text{баз}} = 2738 \text{ Па}, \quad \eta_{\text{Н}} = 83\%, \quad N_{\text{баз}} = 30000 \text{ Вт.}$$

Точка 1- точка номинального режима работы вентилятора. Параметры т.1 в соответствии с аэродинамическими характеристиками вентилятора:

$$Q_{\text{Н}} = 25200 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad P_{\text{Н}} = 2350 \text{ Па}, \quad \eta_{\text{Н}} = 83\%,$$

$$n_{\text{Н}} = 980 \text{ об/мин} \quad \text{или} \quad \omega_{\text{Н}} = 102,625 \text{ рад/с.}$$

Расчетные параметры в т.1:

– полная мощность на валу

$$N_{\text{вал1}} = 30000 \cdot \frac{25200}{27800} \cdot \frac{2350}{2738} \cdot \frac{0,83}{0,83} = 23340,57 \text{ Вт};$$

– полезная мощность на валу вентилятора

$$N_{\text{пол1}} = 23340 \cdot 0,83 = 19373 \text{ Вт};$$

– полный момент нагрузки на валу вентилятора

$$M_{\text{вал1}} = \frac{23340}{102,625} = 227,435 \text{ Н·м};$$

– полезный момент нагрузки на валу вентилятора.

$$M_{\text{пол1}} = \frac{19373}{102,625} = 188,771 \text{ Н·м}.$$

Точка 2. Параметры т.2 в соответствии с аэродинамическими характеристиками вентилятора.

$$Q_{\text{т.2}} = 16700 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad p_{\text{т.2}} = 1066 \text{ Па}, \quad \eta_{\text{н}} = 83\%,$$

$$n_{\text{т.2}} = 647 \text{ об/мин} \quad \text{или} \quad \omega_{\text{т.2}} = 67,754 \text{ рад/с}.$$

Расчетные параметры в т.2:

– полная мощность на валу

$$N_{\text{вал2}} = 30000 \cdot \frac{16700}{27800} \cdot \frac{1066}{2738} \cdot \frac{0,83}{0,83} = 7016,44 \text{ Вт};$$

– полезная мощность на валу вентилятора

$$N_{\text{пол2}} = 7016 \cdot 0,83 = 5823,64 \text{ Вт};$$

– полный момент нагрузки на валу вентилятора

$$M_{\text{вал2}} = \frac{7016}{67,754} = 103,558 \text{ Н·м};$$

– полезный момент нагрузки на валу вентилятора.

$$M_{\text{пол2}} = \frac{5824}{67,754} = 85,953 \text{ Н·м}.$$

2.2. Механические характеристики вентилятора

Механическая характеристика вентилятора при работе в номинальном режиме и $\eta = 0,83$ (точки т.1 и т.2)

Номинальный режим работы вентилятора соответствует максимальному значению полного КПД и характеризуется следующими параметрами:

- номинальный КПД $\eta_H = 83 \%$;
- номинальная скорость вращения $n_H = 980$ об/мин;
- номинальная производительность $Q_H = 25200$ м³/ч;
- номинальное давление $p_H = 2350$ Па.

Выражение для механической характеристики вентилятора при работе с постоянным значением КПД η_i имеет следующий вид:

$$M_{\text{с.венти}}(\omega) = a_i \cdot M_{\text{полн}i} + (1 + b_i) \cdot M_{\text{полн}i} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^x,$$

где a_i и b_i – коэффициенты постоянных и переменных потерь вентилятора в режиме работы с постоянным значением η_i ;

$$a_i \cdot M_{\text{полн}i} = \Delta M_{\text{пост}} = \text{const}$$

– момент постоянных потерь на валу вентилятора.

Из условия равенства постоянных и переменных потерь вентилятора в номинальном режиме работы (т. 1) определим значения коэффициентов потерь при работе вентилятора с $\eta_H = 0,83$ (точки работы т. 1 – т. 2) [15]:

$$a_H = b_H = \frac{1 - \eta_H}{2 \cdot \eta_H} = \frac{1 - 0,83}{2 \cdot 0,83} = 0,102$$

Тогда момент постоянных потерь на валу вентилятора

$$\Delta M_{\text{пост}} = a_H \cdot M_{\text{полн}H} = 0,102 \cdot 188,771 = 19,332 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Из условия

$$M_{\text{вал.2}} = \Delta M_{\text{пост}} + (1 + b_H) \cdot M_{\text{полн}} \cdot \left(\frac{\omega_{\text{т.2}}}{\omega_H} \right)^x$$

после подстановки численных значений

$$103,558 = 19,332 + (1 + 0,102) \cdot 188,771 \cdot \left(\frac{67,754}{102,625} \right)^x$$

и решения уравнения относительно x определим значение показателя степени механической характеристики вентилятора при регулировании производительности с номинальным значением КПД $\eta_H = 0,83$, $x = 2,18$.

В результате получаем общее выражение для механической характеристики вентилятора в режиме регулирования производительности с номинальным значением КПД $\eta_H = 0,83$.

$$M_{\text{с.вент}}(\omega) = 19,332 + (1 + 0,102) \cdot 188,771 \cdot \left(\frac{\omega}{102,625} \right)^{2,18}$$

Механическая характеристика вентилятора приведена на рисунке 2.2. В интервале рабочих скоростей вентилятора выделена область изменения момента сопротивления на валу вентилятора, соответствующая границам заданной области его аэродинамических характеристик (точки т.1- т.2). Из анализа механической характеристики вентилятора делаем вывод, что изменение режима работы вентилятора в пределах заданной области его аэродинамических характеристик не приводит к существенному изменению нагрузки двигателя.

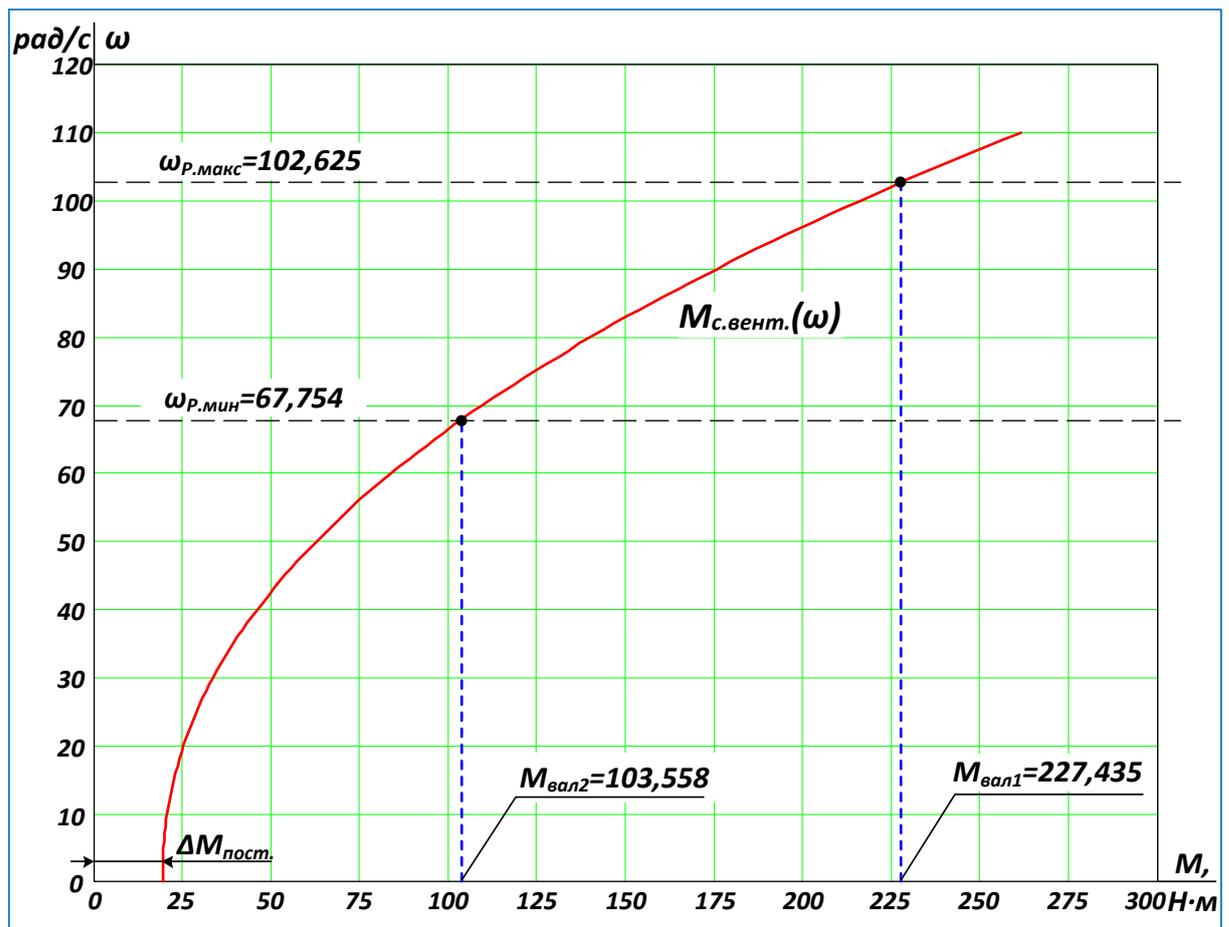


Рисунок 2.2 – Механическая характеристика вентилятора $M_{с\text{ вент}} = f(\omega)$

2.3. Выбор приводного двигателя

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

вентилятор потребляет наибольшую мощность при работе в т.1, где $N_{\text{вал1}} = 23340$ Вт.

Согласно [10] при синхронной скорости 1000 об/мин ближайшим большим по мощности является электродвигатель 5A200L6, номинальная мощность которого равна 30000 Вт. Заметим, что электродвигатель выбранной мощности удовлетворяет работе вентилятора во всей области аэродинамических характеристик при нормальных атмосферных условиях. Технические характеристики электродвигателя 5A200L6 приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики электродвигателя 5A200L6.

Типо-размер	n_0 , об/мин	$U_{1н}$, В	$P_{\text{дв.н}}$, кВт	При номинальной нагрузке			s_k , %	$J_{\text{дв}}$, кг·м ²
				s_H , %	$\cos \varphi_H$	η_H , %		
5A 200 L6	1000	380	30	0,02	0,84	0,912	0,098	0,46

Продолжение таблицы 2.1

$m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_H}$	$m_{\text{к}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_H}$	$m_{\text{м}} = \frac{M_{\text{мин}}}{M_H}$	$k_{i_{\text{дв}}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_H}$	Степень защиты
2,4	2,4	1	6,5	IP54

Расчетные параметры электродвигателя

Номинальное скольжение

$$s_H = \frac{n_0 - n_{\text{дв.н}}}{n_0} = \frac{1000 - 980}{1000} = 0,02$$

Синхронная угловая частота вращения электродвигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,72 \text{ рад/с.}$$

Номинальная угловая частота вращения электродвигателя

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв.н}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 980}{30} = 102,625 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент электродвигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{30000}{102,625} = 292,325 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Номинальное фазное напряжение статора

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

Номинальный линейный ток статора

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \phi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{30000}{3 \cdot 220 \cdot 0,84 \cdot 0,912} = 59,33 \text{ А.}$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске

$$I_{1\text{макс}} = k_{i.\text{дв}} \cdot I_{1\text{фн}} = 5,8 \cdot 59,33 = 344,137 \text{ А.}$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике

$$M_{\text{к}} = m_{\text{к}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 2,4 \cdot 292,325 = 701,581 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Пусковой момент электродвигателя при прямом пуске.

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 2,4 \cdot 292,325 = 701,581 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Определение параметров схемы замещения

Параметры схемы замещения определим по методике, изложенной в [16]

Ток холостого хода асинхронного электродвигателя

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

$$59,33 \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{46,435}{59,33}\right)^2 - \left[\frac{0,75 \cdot (1-0,02)}{(1-0,75 \cdot 0,02)}\right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot (1-0,02)}{(1-0,75 \cdot 0,02)}\right]^2}} = 21,029 \text{ А,}$$

где

$p_* = \frac{P}{P_H}$ – коэффициент загрузки двигателя, о.е; принимаем $p_* = 0.75$;

$\cos \phi_{p_*}$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке, о.е;

принимаем $\cos \phi_{p_*} = 0.805$ [16];

η_{p_*} – КПД при частичной нагрузке, о.е; принимаем $\eta_{p_*} = \eta_H = 0,912$

[16];

$$I_{1p_*} = \frac{p_* \cdot P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\phi H} \cdot \cos \phi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 30000}{3 \cdot 220 \cdot 0,805 \cdot 0,912} = 46,435 \text{ А – ток статора}$$

двигателя при частичной нагрузке.

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора в номинальном режиме

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot (1-s_H)}{2 \cdot m_K \cdot P_{\text{дв.н}} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_K}\right)} = \frac{0,959}{\left(1,1 + \frac{1}{0,098}\right) \cdot 1,031} = 0,082 \text{ Ом,}$$

где

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1\phi H}} = 1 + \frac{21,029}{2 \cdot 5,8 \cdot 59,334} = 1,031$$

– коэффициент, характеризующий соотношение $\frac{X_{\mu} + X_{1\sigma}}{X_{\mu}}$;

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

$$= 0,02 \cdot \frac{2,4 + \sqrt{(2,4)^2 - [1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1,1 \cdot (2,4 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1,1 \cdot (2,4 - 1)} = 0,098$$

– критическое скольжение;

β – коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора, примем $\beta = 1,1$.

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = C_1 \cdot R_2 \cdot \beta = 1,031 \cdot 0,082 \cdot 1,1 = 0,093 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$X_{\text{кн}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2 = 10,15 \cdot 1,031 \cdot 0,082 = 0,861 \text{ Ом,}$$

где

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_K^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,098^2} - 1,1^2} = 10,15.$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы роторной обмотки, приведенное к обмотке статора

$$X_{2\sigma} = \frac{0,58 \cdot X_{\text{кн}}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 0,861}{1,031} = 0,484 \text{ Ом.}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{2\sigma} = \frac{X_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,484}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,00154 \text{ Гн.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы статорной обмотки

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 0,861 = 0,361 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,361}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,00115 \text{ Гн.}$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания.

$$X_{\mu} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{204,268}{21,029} = 9,713 \text{ Ом,}$$

где

$$E_m = \sqrt{(U_{1\phi H} \cdot \cos \phi_H - R_1 \cdot I_{1\phi H})^2 + (U_{1\phi H} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \phi_H} + X_{1\sigma} \cdot I_{1\phi H})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0,84 - 0,093 \cdot 59,334)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,84^2} + 0,361 \cdot 59,334)^2} = 204,268 \text{ В}$$

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

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

$$L_m = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{9,713}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,031 \text{ Гн}$$

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

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

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

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,082}{104,72 \cdot 0,02 \cdot \left[0,861^2 + \left(0,093 + \frac{0,082}{0,02} \right)^2 + \left(\frac{0,093 \cdot 0,082}{0,02 \cdot 9,713} \right)^2 \right]} = 309,315 \text{ Н} \cdot \text{м;}$$

$$M^*_{\text{ЭМ.Н}} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L'_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2\text{Н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{Н}}^2 - I_0^2} =$$

$$= \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot \frac{0,031}{(0,031 + 1,542 \cdot 10^{-3})} \cdot 0,92 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{59,33^2 - 21,03^2} = 309,254 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где z_p – число пар полюсов, $z_p = \frac{60 \cdot f_{1\text{Н}}}{n_{\text{ДВ.Н}}} = \frac{60 \cdot 50}{1000} = 3$

$$\Psi_{2\text{Н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 21,03 \cdot 0,031 = 0,92 \text{ Вб}.$$

Должны выполняться условия:

$$M^*_{\text{ЭМ.Н}} \approx M_{\text{ЭМ.Н}};$$

$$M^*_{\text{ЭМ.Н}} = (1,05 \div 1,1) \cdot M_{\text{ДВ.Н}} = (1,05 \div 1,1) \cdot 292,325 = (306,94 \div 321,56) \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По результатам расчета эти условия выполняются [17].

Рассчитанные параметры схемы замещения сведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, Ом	$L_{1\sigma}$, Гн	X_μ , Ом	L_m , Гн	R'_2 , Ом	$X'_{2\sigma}$, Ом	$L'_{2\sigma}$, Гн	$X_{\text{кн}}$, Ом
0,093	0,361	0,00115	9,713	0,031	0,082	0,484	0,00154	0,861

2.4. Расчёт естественных характеристик электродвигателя

Естественная механическая характеристика двигателя

Естественная механическая характеристика $M(s)$ асинхронного двигателя для частоты $f_{1H} = 50 \text{Гц}$ рассчитывается по выражению:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]}; \quad (2.1)$$

где M – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

По результатам расчёта построена механическая характеристика $\omega(M)$ (рисунок 2.3), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s). \quad (2.2)$$

Рассчитаны значения электромагнитного номинального момента

$$\begin{aligned} M_{\text{эм}}(s_H) = M_{\text{эм}} &= \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,082}{104,72 \cdot 0,02 \cdot \left[0,861^2 + \left(0,093 + \frac{0,082}{0,02} \right)^2 + \left(\frac{0,093 \cdot 0,082}{0,02 \cdot 9,713} \right)^2 \right]} = 309,315 \text{ Н} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

критического скольжения

$$s_K = R'_2 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2}{R_1^2 + (X_{\text{кн}})^2}} = 0,082 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0,093}{9,713} \right)^2}{0,093^2 + (0,861)^2}} = 0,095$$

и электромагнитного критического момента

$$M_{\text{ЭМ.К}}(s_H) = M_{\text{ЭМ.К}} = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left\{ R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{\text{КН}}^2)} \cdot \left[1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2 \right] \right\}} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 104,72 \cdot \left(0,093 + \sqrt{(0,093^2 + 0,861^2)} \cdot \left(1 + \frac{0,093^2}{9,713} \right) \right)} = 723 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

соответствующие расчетной естественной механической характеристике двигателя.

По выражению (2.1) для скольжения $s = 1$ рассчитано значение электромагнитного пускового момента $M_{\text{ЭМ.П}}$.

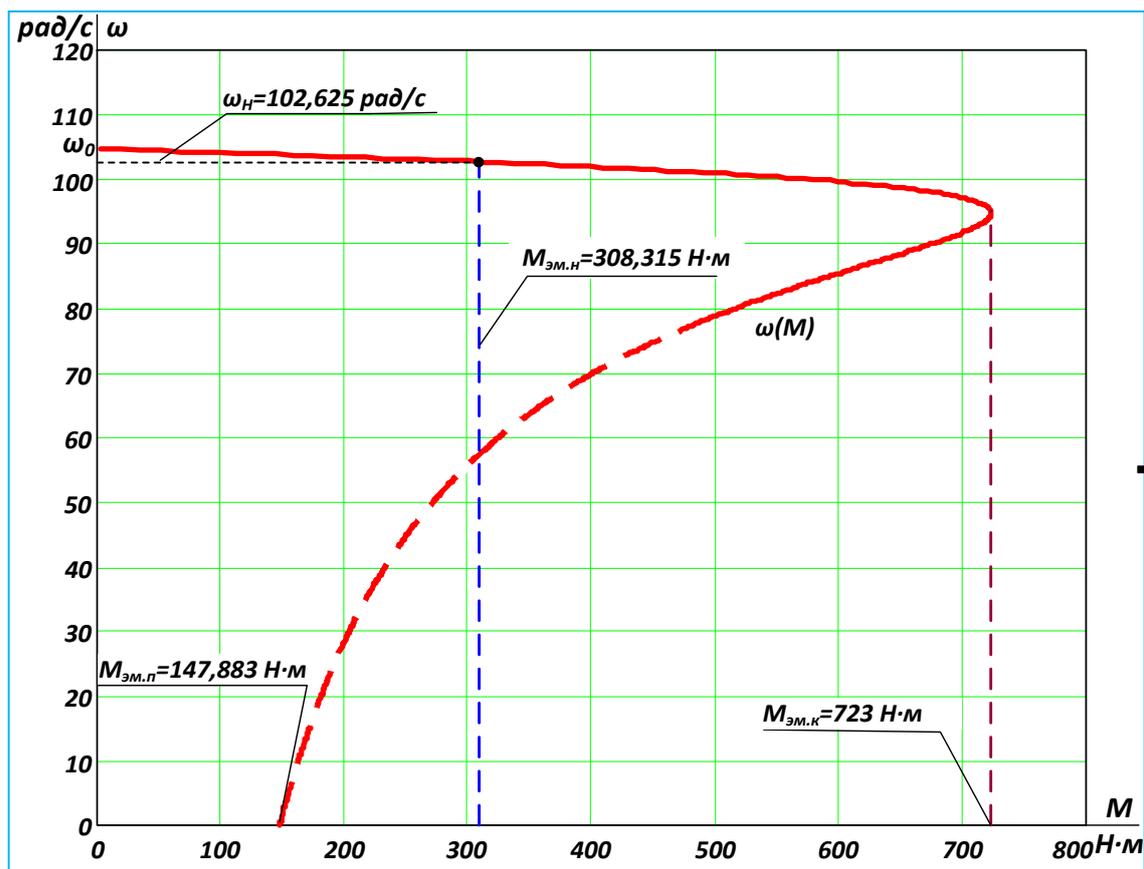


Рисунок 2.3 – Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя $\omega(M)$

Поскольку механическая характеристика двигателя рассчитана для электромагнитного момента, то полная нагрузка на валу электродвигателя должна учитывать собственный момент двигателя. Момент от сил трения на валу электродвигателя можно принять постоянным и равным:

$$\Delta M_{с.дв} = M_{эм.н} - M_{дв.н} = 309,315 - 292,325 = 16,99 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

Естественная электромеханическая характеристика двигателя

Естественная электромеханическая характеристика $I_1(s)$ электродвигателя для частоты $f_{1н} = 50 \text{ Гц}$ рассчитывается по выражению:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(s)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)} \quad (2.3)$$

где $I_1 = I_{1\phi}$ – действующее значение фазного тока двигателя, А;

$$\begin{aligned} I_2'(s) &= \frac{U_{1\phi н}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_{\mu}}\right)^2}} = \\ &= \frac{220}{\pm \sqrt{\left(0,093 + \frac{0,082}{s}\right)^2 + 0,861^2 + \left(\frac{0,093 \cdot 0,082}{s \cdot 9,713}\right)^2}}, \end{aligned} \quad (2.4)$$

– приведённый к обмотке статора ток ротора, А;

$$I_0 = \frac{U_{1\phi н}}{\sqrt{R_1^2 + \left(X_{1\sigma} + X_{\mu}\right)^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,093^2 + (0,361 + 9,713)^2}} = 21,835 \text{ А}, \quad (2.5)$$

– действующее значение тока холостого хода;

$$\sin \phi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{KH}^2}} = \frac{0,861}{\sqrt{\left(0,093 + \frac{0,082}{s}\right)^2 + 0,861^2}}. (2.6)$$

По результатам расчёта построены электромеханические характеристики двигателя $\omega(I_1)$ и $\omega(I_2')$ (рисунок 2.4), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению (2.2).

По выражениям (2.3) – (2.6) для скольжений $s = s_H$ и $s = 1$ рассчитаны значения номинального тока статора $I_H(s_H)$ и максимального тока двигателя при прямом пуске $I_{1\max}(s=1)$.

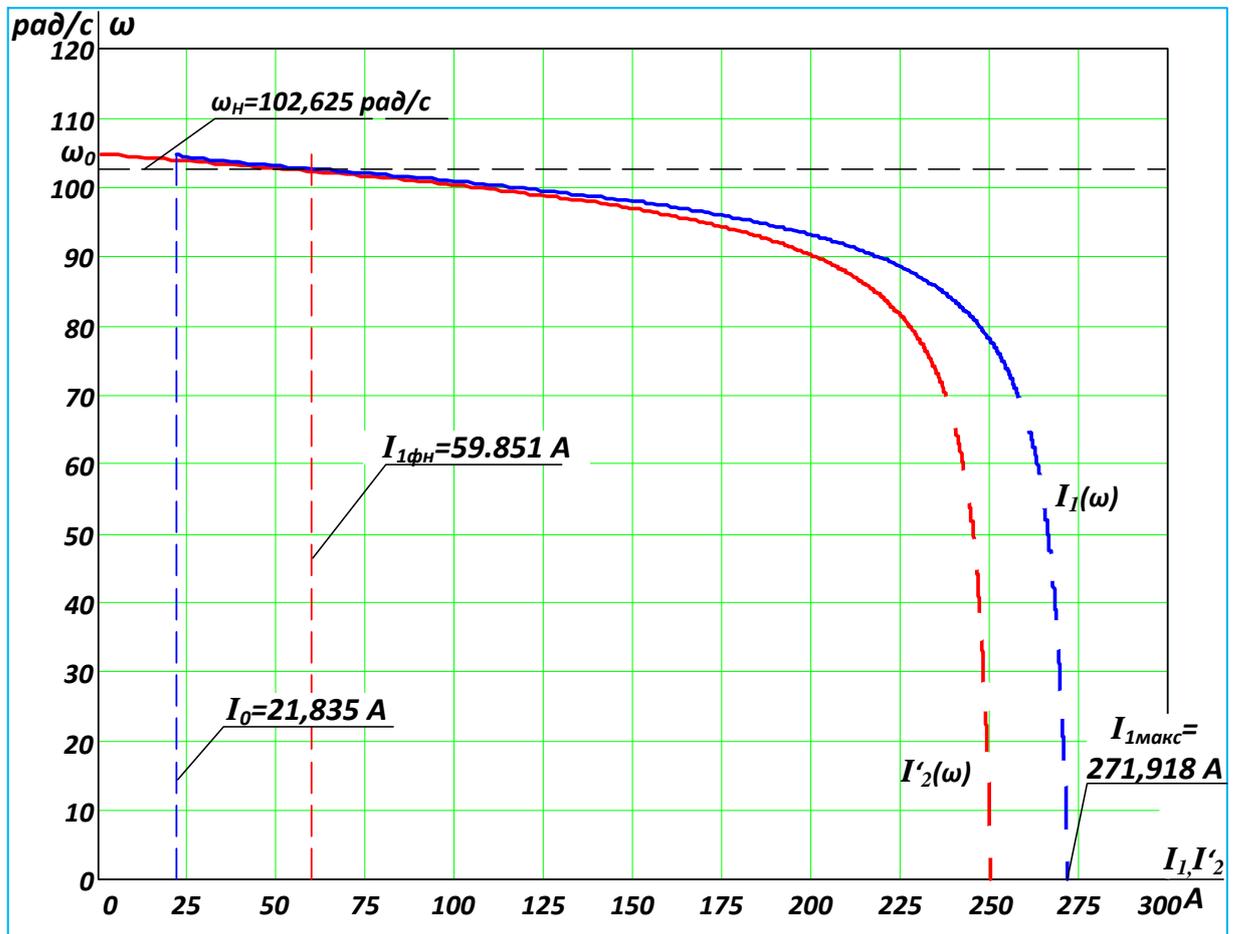


Рисунок 2.4 – Естественные электромеханические характеристики двигателя

$\omega(I_1)$ и $\omega(I_2')$

Оценка достоверности расчётных характеристик двигателя

В результате расчёта естественных характеристик двигателя получены следующие параметры для их характерных точек:

$$\begin{aligned} s_H &= 2\%; & s_K &= 9,5\%; & I_{1H} &= 59,581 \text{ A}; & I_{1\text{макс}} &= 271,918 \text{ A}; \\ I_{1\text{макс}}/I_{1H} &= 4,56; & M_{\text{эм.н}} &= 309,315 \text{ Н}\cdot\text{м}; & M_{\text{эм.к}} &= 723 \text{ Н}\cdot\text{м}; \\ M_{\text{эм.к}}/M_{\text{эм.н}} &= 2,34; & M_{\text{эм.пуск}} &= 147,883 \text{ Н}\cdot\text{м}; & M_{\text{эм.пуск}}/M_{\text{эм.н}} &= 0,478; \end{aligned}$$

Справочные и расчётные параметры двигателя:

$$\begin{aligned} s_H &= 2\%; & s_K &= 9,8\%; & I_{\text{дв.н}} &= 59,334 \text{ A}; & I_{\text{дв.макс}} &= 344,137 \text{ A}; \\ I_{\text{дв.макс}}/I_{\text{дв.н}} &= 5,8; & M_{\text{дв.н}} &= 292,325 \text{ Н}\cdot\text{м}; & M_K &= 701,814 \text{ Н}\cdot\text{м}; \\ M_K/M_{\text{дв.н}} &= 2,4; & M_{\text{дв.пуск}} &= 701,814 \text{ Н}\cdot\text{м}; & M_{\text{дв.пуск}}/M_{\text{дв.н}} &= 2,4 \end{aligned}$$

Сравнения параметров расчётных характеристик со справочными параметрами двигателя показывают соответствие условиям для их характерных точек $M_{\text{эм.н}} > M_{\text{дв.н}}$, $M_{\text{эм.к}} > M_K$. Условие $M_{\text{эм.пуск}} > M_{\text{дв.пуск}}$ не выполняется, поэтому часть характеристики $\omega(M)$ показана пунктиром. Так как $I_{1\text{макс}} < I_{\text{дв.макс}}$, то на электромеханических характеристиках часть тоже показана пунктиром.

2.5. Выбор типа преобразователя и способа регулирования

Для регулируемого асинхронного электропривода используем преобразователь серии ИРБИ 8Х3, фирмы ИРБИС, параметры которого приведены в таблице 2.3 [22].

Таблица 2.3 – Параметры преобразователя частоты ИРБИ 8

Модель	Число фаз на входе	$U_{н}$, В	$I_{и.н}$, А	$I_{и.макс}$, А	Рекомендуемая мощность двигателя, кВт
ИРБИ 823-30	3	380	63	$1,1 \cdot I_{и.н} = 69,3$	30

Общие технические данные преобразователя частоты ИРБИ 823-30:

- коэффициент мощности 0,8;
- КПД не менее 0,95;
- выходная частота 1÷100 Гц;
- частота ШИМ 0,7÷20 кГц.

Способ управления – векторный.

2.6. Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель

Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель реализована во вращающейся двухфазной системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, и приведена на рисунке 2.5. Управляющими сигналами на входе преобразователя структурной схемы силового канала (рисунок 2.5) являются цифровые сигналы в виде двоичного кода. Выходные напряжения преобразователя представляют собой составляющие напряжения статора U_{1d} и U_{1q} в ортогональной системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора Ψ_{2d} [17].

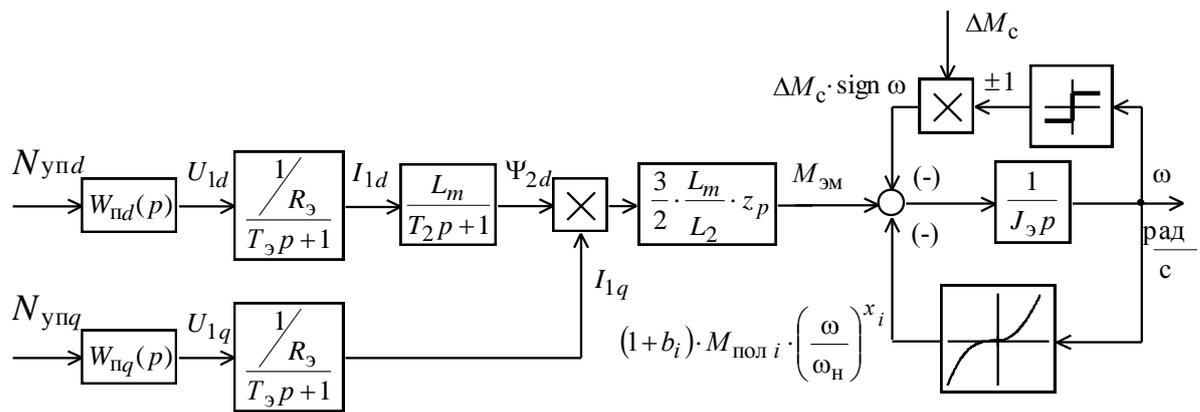


Рисунок 2.5 – Структурная схема силового канала системы преобразователь – асинхронный электродвигатель во вращающейся двухфазной системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, с компенсацией внутренних обратных связей

Расчет параметров структурной схемы двигателя

Эквивалентные индуктивности обмоток

- статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0,00115 + 0,031 = 0,032 \text{ Гн.}$$

- ротора, приведённой к цепи статора

$$L'_2 = L'_{2\sigma} + L_m = 0,00154 + 0,031 = 0,0325 \text{ Гн.}$$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L'_2} = 1 - \frac{0,031^2}{0,032 \cdot 0,0325} = 0,082.$$

Эквивалентное сопротивление цепи статора

$$R_{1\sigma} = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_m^2}{L'_2{}^2} = 0,093 + 0,082 \cdot \frac{0,031}{0,0325^2} = 0,168 \text{ Ом.}$$

Электромагнитные постоянные времени цепи статора и ротора:

$$T_{1\sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{1\sigma}} = \frac{0,082 \cdot 0,032}{0,168} = 0,016 \text{ с.}$$

$$T_2 = \frac{L'_2}{R'_2} = \frac{0,0325}{0,082} = 0,395 \text{ с.}$$

Расчет параметров механической *системы*

Эквивалентный момент инерции привода

$$J_{\text{Э}} = J_{\text{ДВ}} + J_{\text{М}} = 0,46 + 2,4 = 2,86 \text{ кг}\cdot\text{м}^2,$$

где $J_{\text{М}} = 2,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ момент инерции вентилятора.

2.7. Расчёт характеристик разомкнутой системы ПЧ-АД и оценка выполнения заданной области работы электропривода

Расчет механических характеристик

1. Механическая характеристика $\omega(M)$ электродвигателя для значения частоты $f_1 = f_{1\text{н}}$ рассчитана по выражениям (2.1) и (2.2) и приведена на рисунке 2.6.

2. При векторном управлении потокосцепление ротора поддерживается постоянным, поэтому зависимость максимального момента электродвигателя при $f_1 \leq f_{1\text{н}}$ рассчитана из условия его равенства электромагнитному критическому моменту $M_{\text{ДВ.макс}}(\omega) = M_{\text{ЭМ.К}}(\omega_{\text{К}})$ [17]:

$$M_{\text{ДВ.макс}}(\omega) = M_{\text{ЭМ.К}}(f_{1\text{н}}) = \text{const},$$

где

$$M_{\text{эм.к}}(f_{1\text{H}}) = \frac{3 \cdot U_{1\text{фH}}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left\{ R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{\text{кH}}^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2 \right]} \right\}} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 104,72 \cdot \left(0,093 + \sqrt{(0,093^2 + 0,861^2)} \right)} = 723 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$\omega \leq \omega_{\text{к}}(f_{1\text{H}}),$$

$$\omega_{\text{к}}(f_{1\text{H}}) = \omega_0 \cdot (1 - s_{\text{к}}(f_{1\text{H}})) = 104,72 \cdot (1 - 0,95) = 94,766 \text{ рад/с},$$

$$s_{\text{к}}(f_{1\text{H}}) = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2}{R_1^2 + (X_{\text{кH}})^2}} = 0,082 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0,093}{9,713} \right)^2}{0,093^2 + (0,861)^2}} = 0,95.$$

Характеристика $M_{\text{дв.макс}}(\omega)$ приведена на рисунке 2.6.

Расчет электромеханических характеристик

Электромеханическая характеристика электродвигателя $\omega(I_1)$ рассчитана по выражениям (2.2) и (2.3)–(2.6) для значения частоты $f_1 = f_{1\text{H}}$ и приведена на рисунке 2.7

Определение заданной области работы

В плоскости механической характеристики $\omega(M)$ рисунка 2.6 рассчитаны и построены:

1. Характеристика статического момента полной нагрузки $M_{\text{с}}(\omega)$:

$$M_{\text{с}}(\omega) = M_{\text{с.вент}}(\omega) + \Delta M_{\text{с.дв}} = 19,332 + 208,103 \cdot \left(\frac{\omega}{102,625} \right)^{2,18} + 16,99;$$

2. Зависимость длительно допустимого момента электродвигателя $M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega)$ (при $f_{\text{и}} \leq f_{1\text{н}}$, $\omega \leq \omega_{\text{дв.н}}$) по выражению:

$$\begin{cases} M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) = M_{\text{дв.н}} \cdot \left(0,5 + \frac{\omega}{\omega_{\text{дв.н}}} \right) + \Delta M_{\text{с.дв}} & \text{при } \omega_{\text{эп.мин}} \leq \omega \leq 0,5 \cdot \omega_{\text{дв.н}}; \\ M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) = M_{\text{дв.н}} + \Delta M_{\text{с.дв}} & \text{при } 0,5 \cdot \omega_{\text{дв.н}} < \omega \leq \omega_{\text{дв.н}}, \end{cases}$$

где $M_{\text{дв.н}} = 292,325 \text{ Н} \cdot \text{м}$

3. Значение максимального электромагнитного момента нагрузки в точке номинального режима работы вентилятора при скорости $\omega_{\text{н}} = 102,625$ рад/с.

$$\begin{aligned} M_{\text{с.макс}} &= M_{\text{с.вент}}(\omega_{\text{н}}) + \Delta M_{\text{с.дв}} = 19,332 + 208,103 \cdot \left(\frac{102,625}{102,625} \right)^{2,18} + 16,99 = \\ &= 244,425 \text{ Н} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

4. Значение $M_{\text{эп.макс}}$ соответствующее максимальному току электропривода $I_{\text{эп.макс}}$. Для этого на естественной электромеханической характеристике определено соответствующее $I_{\text{эп.макс}} = I_{\text{и.макс}}$ значение скольжения $s_{T.1} = \frac{\omega_0 - \omega_{T.1}}{\omega_0} = \frac{104,7 - 102,166}{104,7} = 0,0244$ и при этом скольжении

найден значение максимального электромагнитного момента

$$\begin{aligned} M_{\text{эм.макс}} &= \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{T.2} \cdot \left[(X_{\text{кн}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{T.2}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{T.2} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,082}{104,72 \cdot 0,0244 \cdot \left[(0,861)^2 + \left(0,093 + \frac{0,082}{0,0244} \right)^2 + \left(\frac{0,093 \cdot 0,082}{0,0244 \cdot 9,713} \right)^2 \right]} = 366,561 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

В плоскости электромеханической характеристики $\omega(I_1)$ рисунка 2.7 рассчитаны и построены:

1. Зависимость длительно допустимого тока электродвигателя $I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega)$ по выражениям:

$$\begin{cases} I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) = I_{\text{дв.н}} \cdot \left(0.5 + \frac{\omega}{\omega_{\text{дв.н}}} \right) & \text{при } \omega_{\text{ЭП.мин}} \leq \omega \leq 0.5 \cdot \omega_{\text{дв.н}}; \\ I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) = I_{\text{дв.н}} & \text{при } 0.5 \cdot \omega_{\text{дв.н}} < \omega \leq \omega_{\text{дв.н}}, \end{cases}$$

где $I_{\text{дв.н}} = 59.334 \text{ А}$,

$\omega_{\text{ЭП.мин}} = 67,754 \text{ рад/с}$,

$\omega_{\text{дв.н}} = 102,625 \text{ рад/с}$.

2. Значение $I_{\text{с.макс}}$, соответствующее длительной максимальной нагрузке $M_{\text{с.макс}}$. Решив относительно s уравнение (2.1)

$$\frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[(X_{\text{кн}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = M_{\text{с.макс}},$$

$$\frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,082}{104,72 \cdot s \cdot \left[(0,861)^2 + \left(0,093 + \frac{0,082}{s} \right)^2 + \left(\frac{0,093 \cdot 0,082}{s \cdot 9,713} \right)^2 \right]} = 244.425 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

для найденного значения скольжения $s_{T.2} = 0,0154$ по формулам (2.3)–(2.6)

определяем значения тока $I_{\text{с.макс}}$, и по выражению (2.2) значение скорости

$$I'_{2(s_{T.2})} = \frac{U_{1\text{фн}}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{T.2}} \right)^2 + X_{\text{кн}}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{T.2} \cdot X_{\mu}} \right)^2}} =$$

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{\left(0,093 + \frac{0,082}{0,0154}\right)^2 + 0,861^2 + \left(\frac{0,093 \cdot 0,082}{0,0154 \cdot 9,713}\right)^2}} = 39,6 \text{ A,}$$

$$\sin \phi_2(s_{T.2}) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s_{T.2}}\right)^2 + X_{KH}^2}} = \frac{0,861}{\sqrt{\left(0,093 + \frac{0,082}{0,0154}\right)^2 + 0,861^2}} = 0,156,$$

$$I_{c.\text{макс}} = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s_{T.2}) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s_{T.2}) \cdot \sin \phi_2(s_{T.2})} =$$

$$\sqrt{21,835^2 + 39,6^2 + 2 \cdot 21,835 \cdot 39,6 \cdot 0,156} = 48,12 \text{ A,}$$

$$\omega_{T.2} = \omega_0 \cdot (1 - s_{T.2}) = 104,7 \cdot (1 - 0,0154) = 103,1 \text{ рад/с.}$$

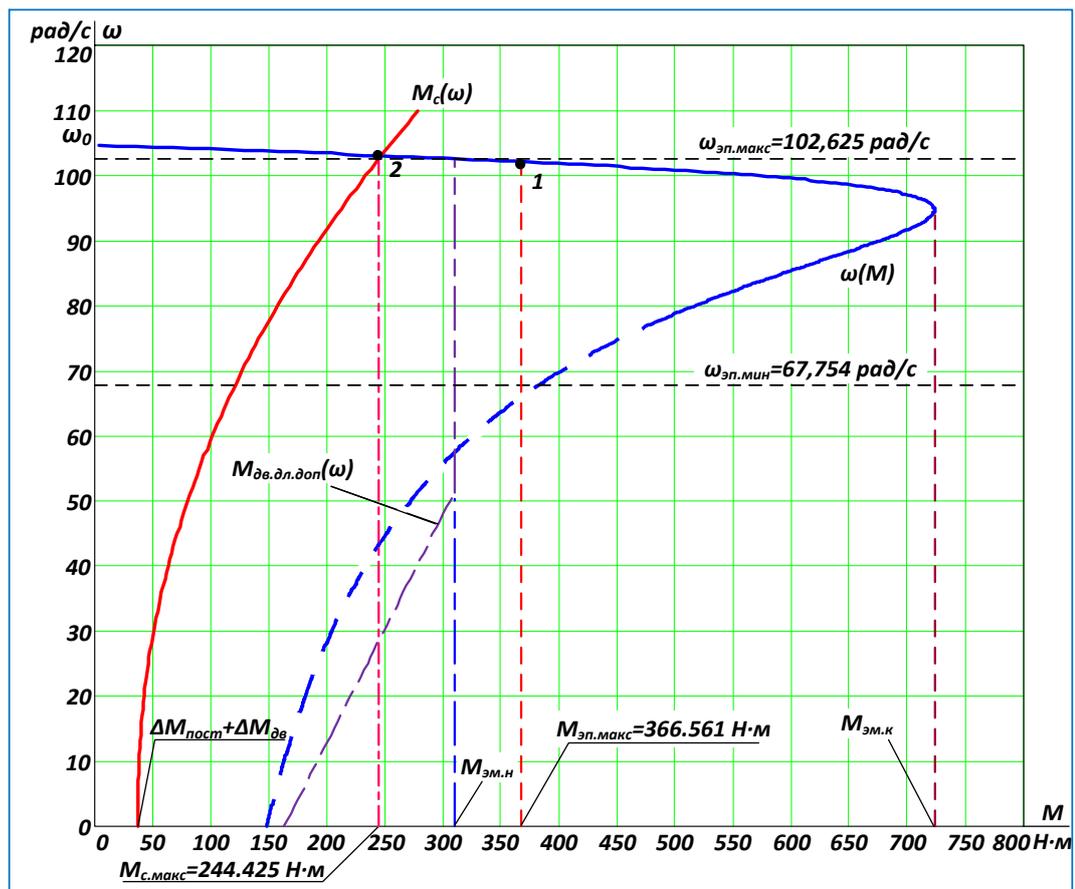


Рисунок – 2.6 Механические характеристики электропривода и нагрузки $\omega(M)$ при векторном управлении

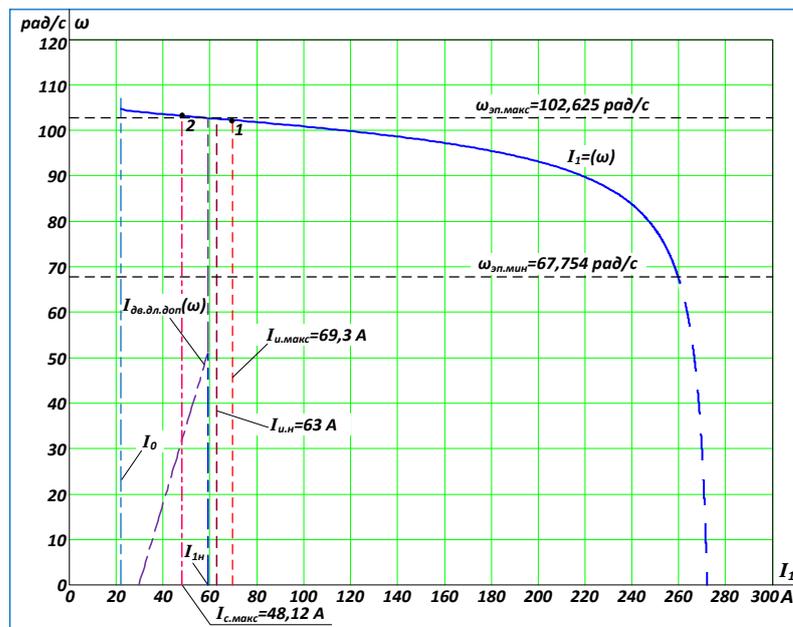


Рисунок 2.7 – Электромеханические характеристики электропривода $\omega(I_1)$ и нагрузки при векторном управлении

Проверка правильности выбора двигателя

Анализ приведенных на рисунке 2.6 механических характеристик электропривода $\omega(M)$ и нагрузки $M(\omega)$ (рисунок 2.6) показывает, что во всем диапазоне регулирования скорости выполняются условия:

$$\left. \begin{aligned} M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) &\geq M_{\text{с.макс}} \\ M_{\text{дв.макс}}(\omega) &\geq M_{\text{эп.макс}} \end{aligned} \right\},$$

следовательно, двигатель по моменту выбран правильно.

По результатам построения электромеханических характеристик электропривода $\omega(I_1)$ (рисунок 2.7) во всем диапазоне регулирования скорости имеем:

$$I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) \geq I_{\text{с.макс}}$$

Во всем диапазоне регулирования скорости, что подтверждает правильность выбора двигателя по току.

Проверка правильности выбора преобразователя

На рисунке 2.7 в плоскости электромеханических характеристик построены характеристики, соответствующие номинальному и максимально допустимому току преобразователя:

$$I_{\text{и.н}} = 63 \text{ А},$$

$$I_{\text{и.макс}} = 69,3 \text{ А}.$$

Анализ приведенных на рисунке 2.7, показывает, что $I_{\text{и.н}} \geq I_{\text{с.макс}}$, следовательно преобразователь по току выбран правильно.

Обеспечение адекватности модели электродвигателя [17]

Оценим адекватность параметров модели и справочных и полученных расчетных параметров электродвигателя. Параметры двигателя, соответствующие справочным данным: $I_{\text{дв.н}} = I_{1\text{ф.н}}$; $M_{\text{дв.н}}$. Параметры двигателя расчетные: I_0 ; $I_1(s_{\text{н}})$; $M_{\text{эм.н}}$ и $\psi_{2\text{н}}$. За основные параметры электродвигателя примем значения номинального тока $I_{1\text{фн}}$ и номинального электромагнитного момента $M_{\text{эм.н}}$. Решив совместно систему уравнений

$$\psi_{2\text{н}} = \frac{M_{\text{эм.н}}}{\frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{фн}}^2 - I_0^2}},$$
$$\psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m$$

относительно тока I_0 , определим значение тока намагничивания I_0^* , соответствующее параметрам структурной схемы.

Найденное значение $I_0^* = 21,034 \text{ А}$ несущественно отличается от значения расчетного тока намагничивания $I_0 = 21,835 \text{ А}$.

Рассчитаем параметры структурной схемы, необходимые для оптимизации контуров регулирования:

Значение номинального потокосцепления

$$\psi_{2dн}^* = \psi_{2н}^* = \sqrt{2} \cdot I_0^* \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 21,034 \cdot 0,031 = 0,92 \text{ Вб};$$

Значение номинального тока I_{1d}^*

$$I_{1dн}^* = \sqrt{2} \cdot I_0^* = \sqrt{2} \cdot 21,034 = 29,747 \text{ А};$$

Значение номинального тока I_{1q}^*

$$I_{1qн}^* = \sqrt{2} \cdot \sqrt{(I_{1фн})^2 - (I_0^*)^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{59,334^2 - 21,034^2} = 78,461 \text{ А};$$

Максимально допустимое значение тока I_{1d}^*

$$I_{1d\text{ макс}}^* = \sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}}^* = \sqrt{2} \cdot 69,3 = 98 \text{ А}$$

Максимально допустимое значение тока I_{1q}^*

$$I_{1q\text{ макс}}^* = \sqrt{2} \cdot \sqrt{(I_{\text{эп.макс}}^*)^2 - (I_0^*)^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{69,3^2 - 21,034^2} = 95,718 \text{ А},$$

где $I_{\text{эп.макс}}^* = I_{\text{и.макс}} = 69,3 \text{ А}$

2.8. Расчет статических характеристик разомкнутой системы преобразователь частоты - асинхронный двигатель при частотном управлении

Механическая характеристика разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель в статическом режиме рассчитана при номинальной частоте $f_{1н}$, постоянном потокосцеплении ротора $\Psi_{2d} = \Psi_{2н}$ и разомкнутой системе регулирования составляющей напряжения двигателя U_{1q} по выражению

$$\omega(M) = \omega_0(f_{1H}) - \Delta\omega(M) = \frac{2\pi \cdot f_{1H}}{z_p} - \frac{M}{\frac{3}{2} \cdot \frac{L_m^2}{L_2'^2} \cdot z_p^2 \cdot \frac{1}{R_{1\phi}} \cdot \Psi_{2H}^2},$$

$$= \frac{2\pi \cdot 50}{3} - \frac{M}{\frac{3}{2} \cdot \frac{0,031^2}{0,032^2} \cdot 3^2 \cdot \frac{1}{0,168} \cdot 0,92^2}, \text{ рад/с}$$

и построена в плоскости механической характеристики $\omega(M_{\text{эм}})$ двигателя.

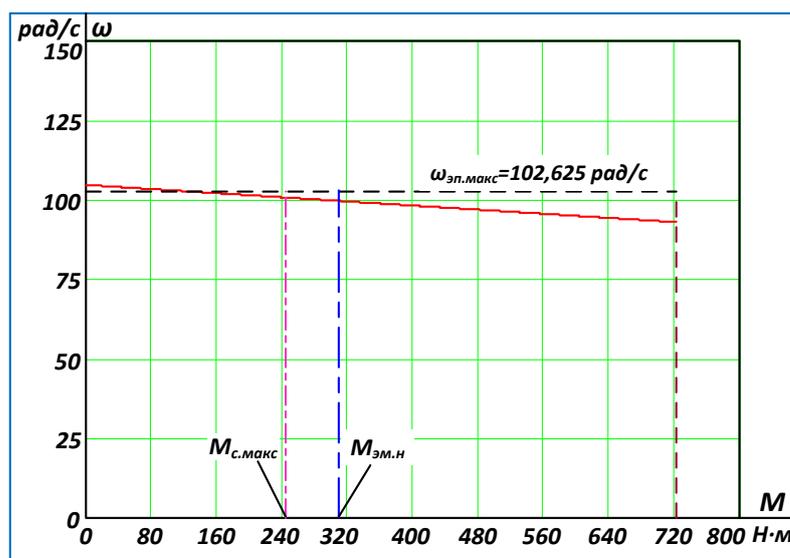


Рисунок 2.8 – Статическая механическая характеристика разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель

Электромеханическая характеристика разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель в статическом режиме рассчитана при номинальной частоте f_{1H} , постоянном потокоцеплении ротора $\Psi_{2d} = \Psi_{2H}$ и разомкнутой системе регулирования составляющей напряжения двигателя U_{1q} по выражению

$$\omega(I_{1\phi}) = \frac{2\pi \cdot f_{1H}}{z_p} - \frac{\sqrt{2 \cdot I_{1\phi}^2 - \left(\frac{\Psi_{2H}}{L_m}\right)^2}}{\frac{L_m}{L_2'} \cdot z_p \cdot \frac{1}{R_{1\phi}} \cdot \Psi_{2H}}$$

$$= \frac{2\pi \cdot 50}{3} - \frac{\sqrt{2 \cdot I_{1\phi}^2 - \left(\frac{0,92}{0,031}\right)^2}}{\frac{0,031}{0,0325} \cdot 3 \cdot \frac{1}{0,168} \cdot 0,92}, \text{ рад/с}$$

$$\text{где } I_{1\phi} \geq \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\Psi_{2H}}{L_m},$$

и построена в плоскости электромеханической характеристики $\omega(I_1)$ двигателя.

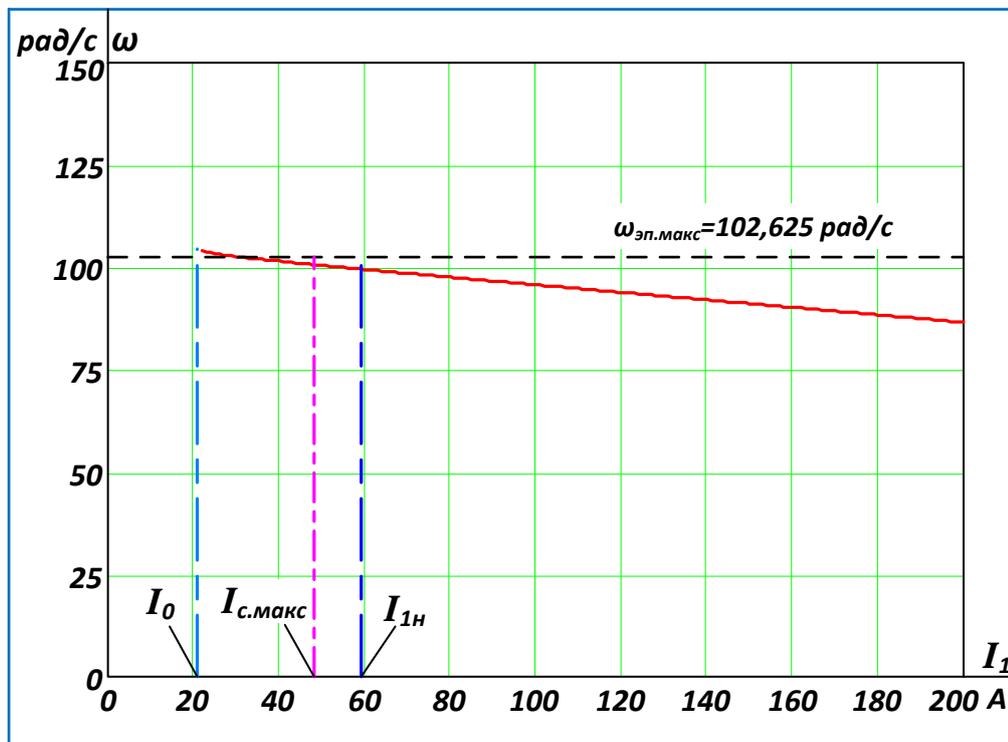


Рисунок 2.9 – Статическая электромеханическая характеристика разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель

Выбор напряжения питающей сети асинхронного электропривода с частотным векторным управлением

Поскольку жесткость статических характеристик разомкнутой системы преобразователь – двигатель оказывается меньше жесткости естественных характеристик двигателя, то, очевидно, что необходимо иметь некоторый запас по напряжению питающей сети для обеспечения требуемой максимальной рабочей скорости электропривода и его быстродействия.

Напряжение питающей сети выбираем из следующего условия:

– при скорости двигателя $\omega^* = \omega_{\text{ЭП.макс}}$ преобразователь должен обеспечивать ток $I_{1\phi}^* \geq I_{\text{с макс}}$ (максимальное быстродействие электропривода достигается при выполнении условия $I_{1\phi}^* \geq I_{1\phi\text{макс}}$).

При выбранных значениях максимальной скорости ω^* и тока $I_{1\phi}^*$ рассчитаны требуемые значения:

– составляющей тока I_{1q} двухфазной модели двигателя во вращающейся системе координат d, q

$$I_{1q}^* = \sqrt{2} \cdot \sqrt{(I_{1\phi}^*)^2 - I_0^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{48,118^2 - 21,034^2} = 61,202 \text{ А};$$

– частоты питающего напряжения

$$\begin{aligned} f_1^* &= \frac{1}{2\pi} \cdot \left(\omega^* \cdot z_p + R_2' \cdot \frac{L_m}{L_2'} \cdot \frac{I_{1q}^*}{\Psi_{2H}} \right) = \\ &= \frac{1}{2\pi} \cdot \left(102,625 \cdot 3 + 0,082 \cdot \frac{0,031}{0,0325} \cdot \frac{61,202}{0,92} \right) = 49,652 \text{ Гц}; \end{aligned}$$

– составляющей напряжения U_{1d} двухфазной модели двигателя во вращающейся системе координат d, q

$$\begin{aligned} U_{1d}^* &= \left(\frac{R_{1\phi}}{L_m} - R_2' \cdot \frac{L_m}{L_2'^2} \right) \cdot \Psi_{2H} - 2\pi \cdot f_1^* \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}^* = \\ &= \left(\frac{0,168}{0,031} - 0,082 \cdot \frac{0,031}{0,0325^2} \right) \cdot 0,92 - 2\pi \cdot 49,652 \cdot 0,082 \cdot 0,032 \cdot 61,202 = -47,231 \text{ В}; \end{aligned}$$

– составляющей напряжения U_{1q} двухфазной модели двигателя во вращающейся системе координат d, q

$$\begin{aligned} U_{1q}^* &= 2\pi \cdot f_1^* \cdot \frac{\sigma \cdot L_1}{L_m} \cdot \Psi_{2H} + \frac{L_m}{L_2'} \cdot \Psi_{2H} \cdot z_p \cdot \omega^* + R_{1\phi} \cdot I_{1q}^* = \\ &= 2\pi \cdot 49,652 \cdot \frac{0,082 \cdot 0,032}{0,031} \cdot 0,092 + \frac{0,031}{0,0325} \cdot 0,092 \cdot 3 \cdot 102,625 + 0,168 \cdot 61,202 = \\ &= 304,299 \text{ В}; \end{aligned}$$

– фазного напряжения трехфазного двигателя

$$U_{1\phi}^* = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(U_{1d}^*)^2 + (U_{1q}^*)^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(-47,231)^2 + (304,299)^2} = 217,748 \text{ В};$$

– напряжения звена постоянного тока преобразователя

$$U_d^* = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{1\phi}^* = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot 217,748 = 533,372 \text{ В};$$

– напряжения питающей сети

$$U_c^* = \frac{U_d^*}{1.35} = \frac{533,372}{1.35} = 395 \text{ В}.$$

Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода

Расчет параметров преобразователя

В простейшем случае без учета ШИМ инвертор представляет собой линейный усилитель с чистым запаздыванием на величину периода широтно-импульсной модуляции $T_{\text{ШИМ}}$

$$T_{\text{и}} = T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = \frac{1}{10000} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ с},$$

где $f_{\text{ШИМ}} = 10000$ Гц – несущая частота инвертора (частота ШИМ).

Максимальные значения действующего и амплитудного фазного напряжения двигателя принимаем, соответственно, равными:

$$U_{1\phi\text{н}} = 220 \text{ В}; \quad U_{1\phi\text{м}} = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi\text{н}} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311,1 \text{ В}.$$

С учетом ШИМ напряжения инвертора и при соединении обмоток статора двигателя в звезду условие согласования напряжения преобразователя и двигателя

$$U_{d0} \geq \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1\text{н}}}{\gamma_{\text{макс}}} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 220}{0,95} = 567,25 \text{ В},$$

где $\gamma_{\text{макс}} < 1$ – максимальное значение коэффициента относительной продолжительности включения ключей инвертора, примем $\gamma_{\text{макс}} = 0,95$ о.е., тогда требуемое значение линейного напряжения источника питания преобразователя

$$U_c = \frac{U_{d0}}{1,35} = \frac{567,25}{1,35 \div 1,41} = 401 \div 420 \text{ В};$$

Принимаем коэффициент усиления инвертора

$$k_{\text{и}} = \frac{U_{\text{д}}^*}{\sqrt{3}} = \frac{533,372}{\sqrt{3}} = 307,943.$$

3. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА САУ ЭП И НАСТРОЙКА КОНТУРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

3.1. Структурная схема линейризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением

Структурная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода приемника с векторным управлением приведена на рисунке 3.1. Электропривод реализован по схеме с независимым управлением потокосцеплением.

На схеме рисунок 3.1 приняты следующие обозначения:

$W(p)_{\text{рТ}}, W(p)_{\text{р}\Psi}, W(p)_{\text{рС}}$ – передаточные функции регуляторов тока, потокосцепления и скорости;

$k_{\text{Т}}$ – коэффициент обратной связи по току, 1/А ;

k_{Ψ} – коэффициент обратной связи по потокосцеплению ротора, 1/Вб ;

$k_{\text{С}}$ – коэффициент обратной связи по скорости, 1/рад/с .

$T_{\text{мто}}, T_{\text{м}\Psi\text{о}}$ и $T_{\text{мсо}}$ – малые постоянные времени цепи обратной связи по току, потокосцеплению и скорости, с

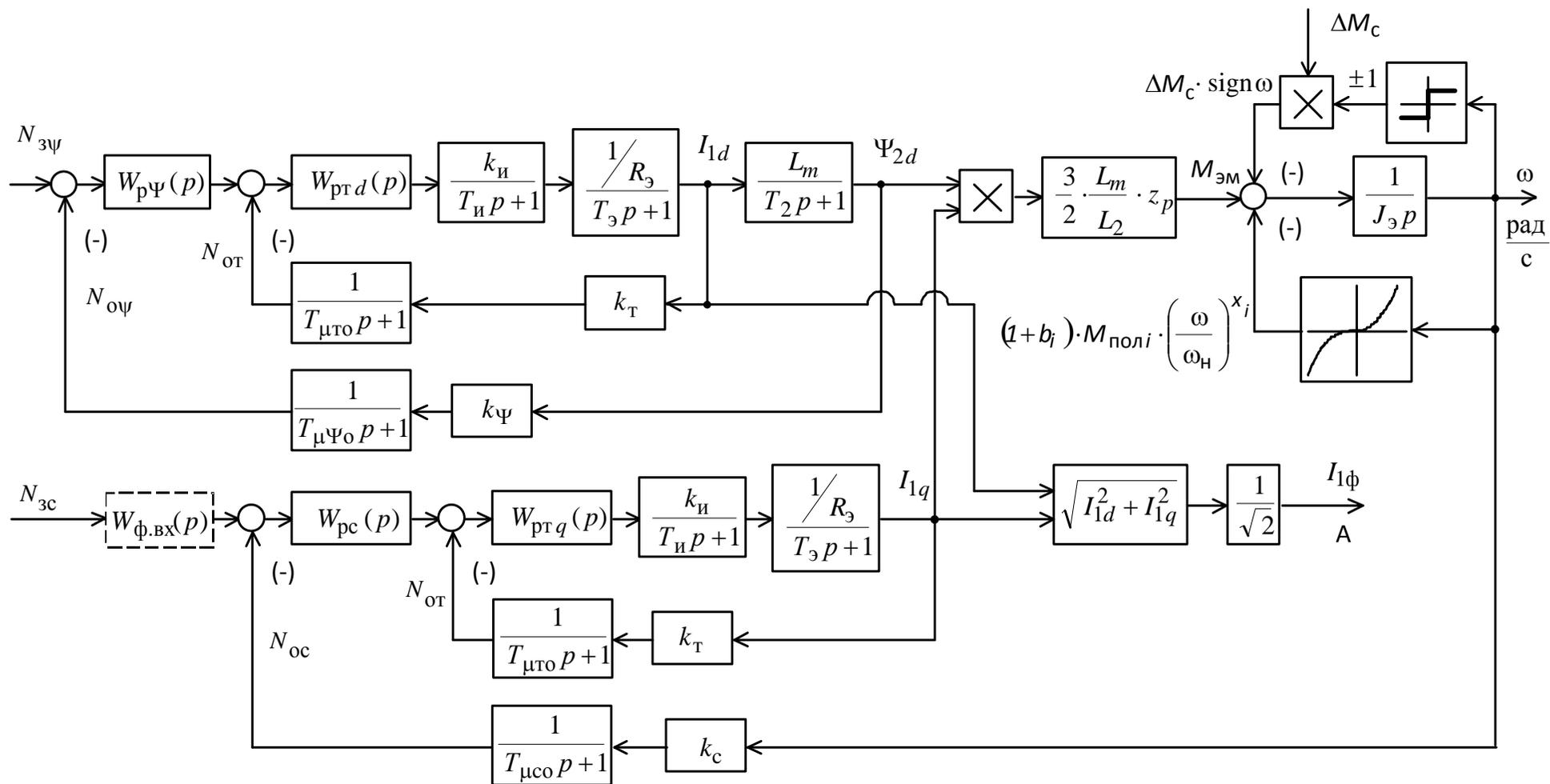


Рисунок 3.1 – Структурная схема линейризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

3.2 Структурная схема нелинейной САУ регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением

Структурная схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении приведена на рисунке 3.2. Учтены следующие основные нелинейности элементов системы управления электропривода, двигателя и нагрузки:

– постоянное ограничение выходного сигнала регуляторов тока, в общем случае равно

$$N_{рт.макс} = N_{уп.макс};$$

– постоянное ограничение выходного сигнала регулятора потокосцепления, в общем случае равно

$$N_{р\Psi макс} = k_T \cdot I_{1d макс}^*;$$

– постоянное ограничение выходного сигнала регулятора скорости, в общем случае равно

$$N_{рс.макс} = k_T \cdot I_{1q макс}^*$$

при постоянном значении допустимого максимального тока электропривода.

– ограничение выходного напряжения инвертора на уровне

$$E_{и.макс} = \sqrt{2} \cdot U_{1фн}, \text{ В};$$

– внутренние перекрестные обратные связи асинхронного двигателя;

– реактивный вентиляторный характер нагрузки

$$M_c(\omega) = M_c \cdot \text{sign } \omega, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

где величина момента M_c изменяется от $(M_{с.вент.мин} + \Delta M_{с.дв})$ до $(M_{с.вент.макс} + \Delta M_{с.дв})$;

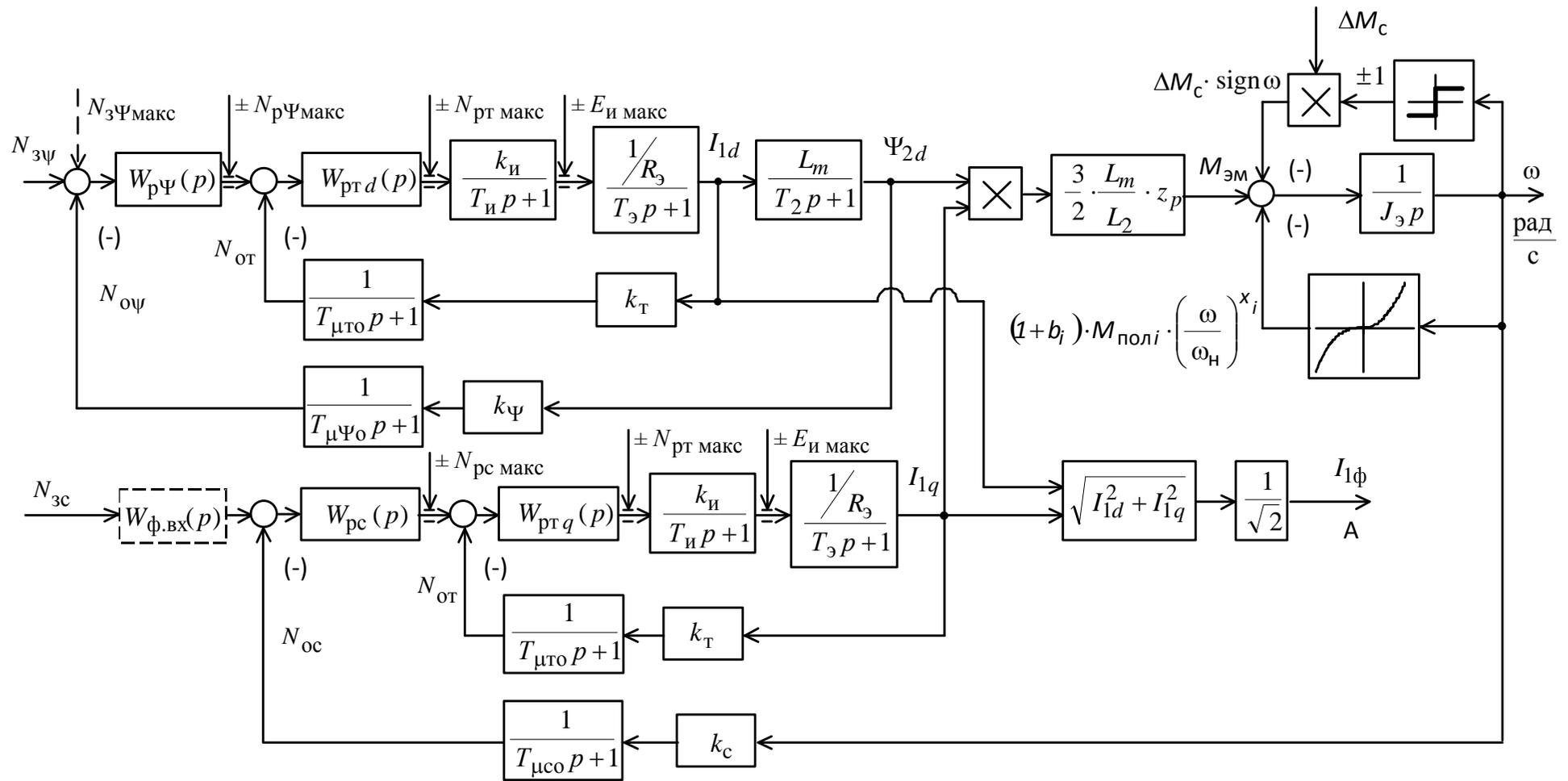


Рисунок 3.2– Структурная схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

3.3 Оптимизация контуров регулирования САУ электропривода с учетом квантования сигналов

Учет квантования по уровню сигналов в контуре тока

АЦП в цепи обратной связи по току устанавливается для преобразования аналогового сигнала с датчика тока в цифровой сигнал обратной связи по току на вход программно реализуемого цифрового регулятора тока.

Разрядность АЦП в составе датчика тока $n_{\text{ацп.дт}}$ с учетом допустимого перегулирования тока $\sigma \leq 10\%$ должна удовлетворять условию

$$2^{n_{\text{ацп.дт}}} > \frac{1.1 \cdot \sqrt{I_{1q\text{ макс}}^{*2} + I_{1d\text{ н}}^{*2}}}{0,5 \cdot I_{1d\text{ мин}} \cdot \Delta_T} = \frac{1.1 \cdot \sqrt{95,718^2 + 29,747^2}}{0,5 \cdot 29,747 \cdot 0,03} = 241,6,$$

где

$$I_{1d\text{ мин}} = I_{1d\text{ н}}^* = \frac{\psi^* 2d_{\text{н}}}{L_{\text{м}}} = 29,747 \text{ А}$$

$\Delta_T < 0,05$ – погрешность измерения тока, определяемая квантованием сигнала по уровню, о.е. Выбираем $\Delta_T = 0,03$

Разрядность АЦП принято $n_{\text{ацп.дт}} = 12$.

Имитационные модели контуров регулирования, учитывающие квантование сигналов обратной связи по уровню и времени и сигналов управления по времени, приведены на рис.3.3 и 3.4.

3.3.1. Оптимизация контура тока с ПИ-регулятором, аналоговым датчиком тока и учетом квантования сигналов в контуре

Контуров токов I_{1d} и I_{1q} реализованы по одной схеме и имеют одинаковые параметры (рис.3.3 и 3.4). Аналоговые сигналы с первичных преобразователей тока двух фаз обмотки статора преобразуются с помощью АЦП в цифровые сигналы. В цепи измерения токов могут быть установлены аналоговые сглаживающие фильтры.

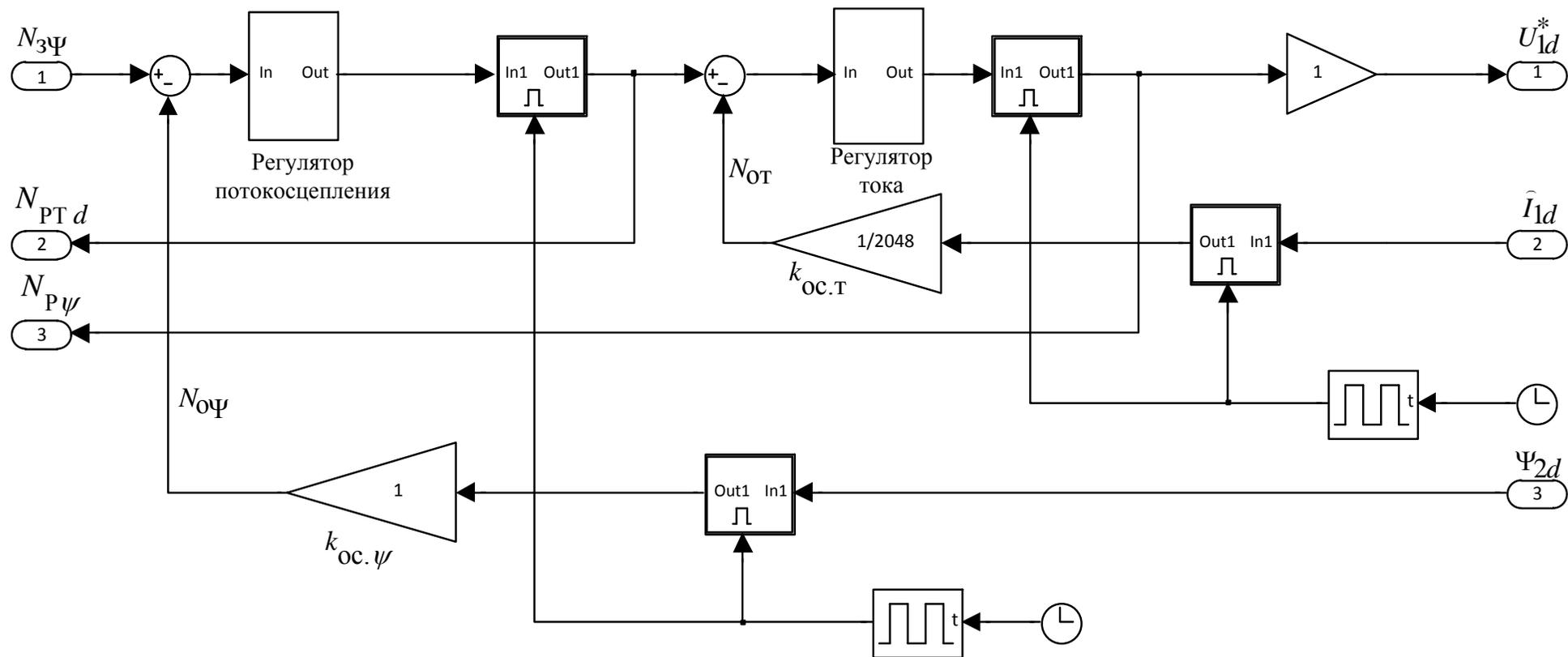


Рисунок 3.3 – Имитационная модель контура регулирования потокосцепления ротора Ψ_{2d} с внутренним контуром тока

I_{1d}

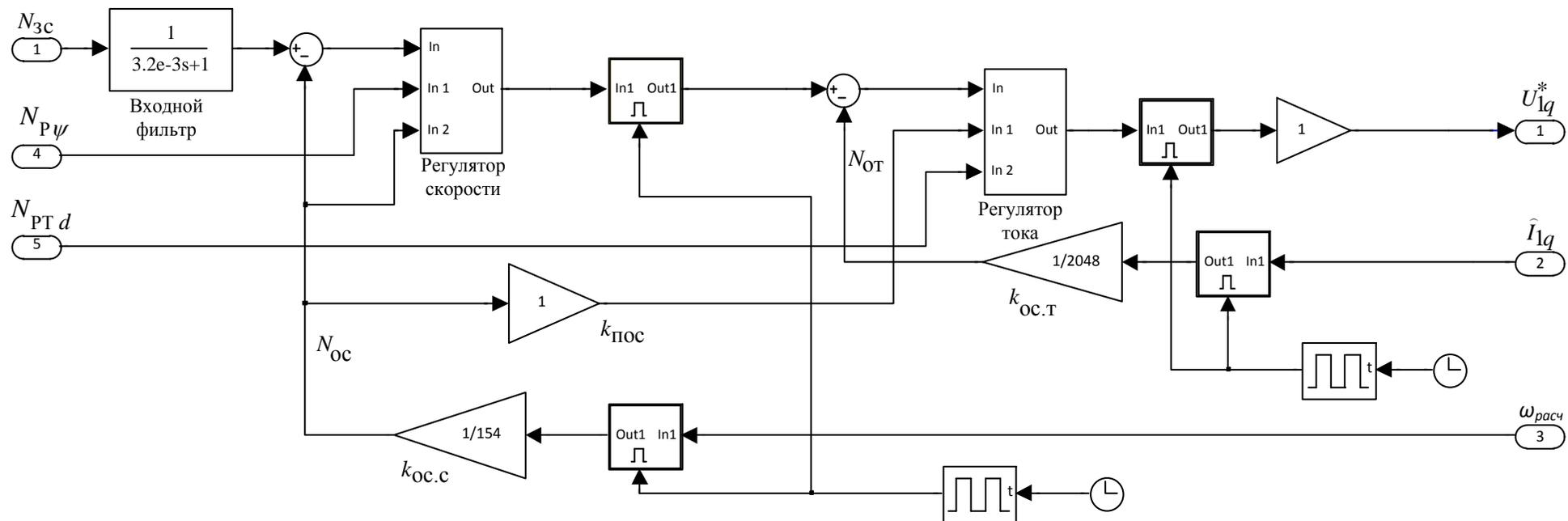


Рисунок 3.4 – Имитационная модель контура регулирования скорости с внутренним контуром тока I_{1q} и без датчика скорости

Параметры элементов контура тока

Коэффициент передачи датчика тока

$$k_{\text{дт}} = \frac{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.дт}}}}{\sigma_{\text{т}} \cdot (\sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}})} = \frac{0,5 \cdot 4096}{1,2 \cdot (\sqrt{2} \cdot 69,3)} = 17,414 \text{ 1/А},$$

где $\sigma_{\text{т}}$ – коэффициент, учитывающий возможное перерегулирование тока, принято $\sigma_{\text{т}} = 1,2$;

$n_{\text{ацп. дт}}$ – разрядность АЦП датчика тока преобразователя;

Интервал квантования сигналов в цепи обратной связи контура тока

$$T_{\text{ос.т}} = n_{\text{ос.т}} \cdot T_{\text{шим}} = 1 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ с},$$

где $n_{\text{ос.т}} \geq 1$ – количество периодов модуляции для измерения тока, при частоте, принято $n_{\text{ос.т}} = 1$;

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

$T_{\text{зу.и}} = T_{\text{шим}} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ с}$ – интервал времени задержки подачи управления от регулятора тока к ключам инвертора;

$T_{\text{ф.от}}$ – постоянная времени аналогового фильтра в цепи измерения тока, $T_{\text{ф.от}} = 0$ т.к. фильтр отсутствует;

$N_{\text{зт.макс}}$ – максимальное значение задания на входе контура тока, соответствующее максимальному значению тока электропривода $I_{\text{эп.макс}}$, в от-

носительных единицах $N_{\text{зт.макс}} = \frac{1}{\sigma_{\text{т}}}$

Расчетные параметры настройки и показатели качества работы контура тока

Передаточная функция ПИ-регулятора тока

$$W(p)_{\text{PT}} = k_{\text{PT}} \cdot \frac{T_{\text{PT}} \cdot p + 1}{T_{\text{PT}} \cdot p}.$$

Параметры настройки регулятора:

– постоянная времени регулятора тока

$$T_{\text{PT}} = T_{1Э} = 0,016 \text{ с};$$

– коэффициент усиления регулятора тока

$$k_{\text{PT}} = \frac{T_{1Э} \cdot R_{1Э}}{k_{\text{И}} \cdot k_{\text{T}} \cdot a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}}} = \frac{0,016 \cdot 0,168}{307,943 \cdot 0,0085 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}} = 3,334,$$

где

$$k_{\text{T}} = \frac{N_{\text{ЗТ.макс}}}{\sqrt{2} \cdot I_{\text{ЭП.макс}}} = \frac{1}{\sigma_{\text{T}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{ЭП.макс}}} = \frac{1}{1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 69,3} = 0,0085 \text{ 1/А},$$

– коэффициент обратной связи по току;

$$T_{\mu\text{ТЭ}} = \frac{T_{\text{ос.т}}}{n_{\text{T}}} + T_{\text{зу.и}} + T_{\text{ф.от}} = \frac{1 \cdot 10^{-4}}{2} + 1 \cdot 10^{-4} + 0 = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура тока;

$n_{\text{T}} = 1 \div 3$ – коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном, принят $n_{\text{T}} = 2$ – настройка контура тока близка к типовой настройке на МО ($\sigma < 5\%$);

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

Достигнуто максимальное быстродействие контура тока, т.к. $T_{\text{ос.т}} = T_{\text{пк.т}} = T_{\text{шим}}$.

Показатели качества работы по управлению контура тока с инерционной обратной связью (без дополнительного фильтра на входе контура) при выборе $a_{\text{T}} = 2$ и $n_{\text{T}} = 2$:

– статическая ошибка по управлению

$$\Delta I_{y.ст} = 0;$$

– полоса пропускания

$$\omega_{п.кт} = \frac{0,71}{T_{\mu\Gamma\Xi}} = \frac{0,71}{1,5 \cdot 10^{-4}} = 4733,3 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

– перерегулирование и время первого вхождения в 5%-ю зону при обработке ступенчатого управляющего воздействия:

$$\sigma = 4,3\%, \quad t_{\text{пу}1}^{(5)} = t_{\text{пу}2}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu\Gamma\Xi} = 4,1 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} = 6,15 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Для ограничения управления инвертором на заданном уровне $\gamma_{\text{макс}}$ значения выходных сигналов регуляторов токов I_{1d} и I_{1q} должны удовлетворять условию

$$\gamma_{\text{макс}}^2 = N_{\text{рtd}}^2 + N_{\text{ртq}}^2.$$

В качестве приоритетного выбрано текущее значение выходного сигнала регулятора I_{1d} , тогда допустимое значение его выходного сигнала ограничивается на постоянном уровне

$$N_{\text{рtd доп}} = \gamma_{\text{макс}} = 0,95,$$

а допустимое значение выходного сигнала регулятора тока I_{1q} в процессе работы ограничено в соответствии с условием

$$N_{\text{ртq доп}} = \sqrt{\gamma_{\text{макс}}^2 - N_{\text{рtd}}^2}.$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на входе контура тока

$$k_{\text{ос.т}} = \frac{k_{\Gamma}}{k_{\text{дт}}} = \frac{8,503 \cdot 10^{-3}}{17,414} = 4,883 \cdot 10^{-4}.$$

3.3.2. Оптимизация контура скорости с ПИ-регулятором и без датчика скорости

Структурная схема линейризованного контура скорости с ПИ-регулятором приведена на рисунке 3.5.

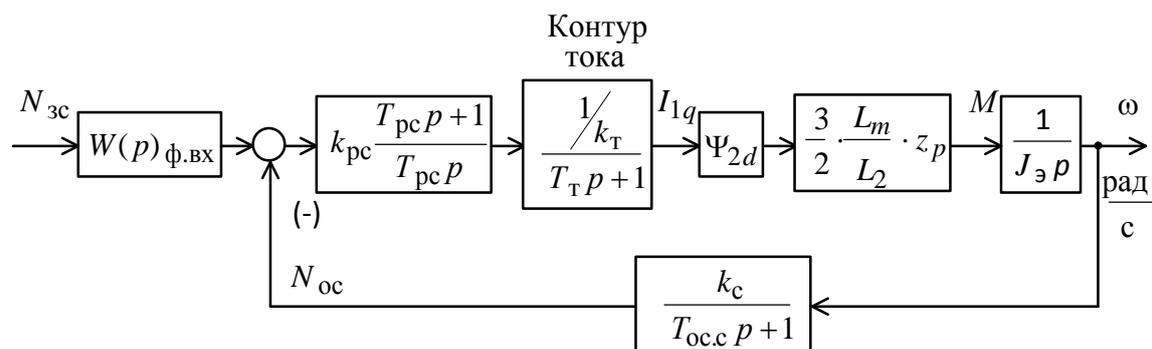


Рисунок 3.5 – Структурная схема линейризованного контура скорости с ПИ-регулятором

Внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{т.зам}} \approx \frac{1}{k_T \cdot T_T \cdot p + 1},$$

где

$$T_T = a_T \cdot T_{\mu\Gamma\Xi} = 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ с} - \text{эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.}$$

Параметры элементов контура скорости в электроприводе без датчика скорости

$$k_{\text{дс}} = 1 - \text{коэффициент передачи датчика скорости, с/рад,}$$

σ_c – коэффициент, учитывающий возможное перерегулирование скорости, принято $\sigma_c = 1,5$;

$T_{oc.c} = n_{oc.c} \cdot T_{шим} = 10 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-3}$ с – интервал квантования по времени сигналов в цепи обратной связи контура скорости, где $n_{oc.c} \geq 1$ целое число, принято $n_{oc.c} = 10$;

$T_{пк.с} \leq T_{oc.c}$ – интервал квантования управления в прямом канале контура скорости, с;

$T_{ф.ос}$ – постоянная времени аналогового фильтра в цепи измерения скорости, $T_{ф.от} = 0$ с, т.к. фильтр отсутствует;

$N_{зс.макс}$ – максимальное значение задания на входе контура скорости, соответствующее значению максимальной скорости привода $n_{эп.макс}$, в относительных единицах $N_{зс.макс} = \frac{1}{\sigma_c}$.

Расчетные параметры настройки контура скорости в электроприводе без датчика скорости

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости:

$$W(p)_{pc} = k_{pc} \cdot \frac{T_{pc}p + 1}{T_{pc} \cdot p}$$

Параметры настройки регулятора скорости:

– постоянная времени регулятора

$$T_{pc} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c \varepsilon} = 2 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^{-4} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

– коэффициент усиления регулятора

$$k_{pc} = \frac{J_{\varepsilon} \cdot k_T}{c_M \cdot k_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c \varepsilon}} = \frac{2,86 \cdot 0,0085}{3,942 \cdot 0,0065 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^{-4}} = 593,49,$$

где

$$c_M = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \Psi_{2H} \cdot z_p = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,031}{0,032} \cdot 0,92 \cdot 3 = 3,942 \text{ Н·м/А} - \text{коэффициент}$$

электромагнитного момента двигателя при номинальном значении потокоцепления ротора;

$$k_c = \frac{N_{зс.макс}}{\omega_{эп.макс}} = \frac{1}{\sigma_c \cdot \omega_{эп.макс}} = \frac{1}{1,5 \cdot 102,625} = 0,0065 \text{ с/рад}$$

– коэффициент обратной связи по скорости;

$$T_{\mu c \varepsilon} = T_T + \frac{T_{oc.c}}{n_c} + T_{ф.oc} = 3 \cdot 10^{-4} + \frac{1 \cdot 10^{-3}}{2} + 0 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура скорости;

$n_c = 1 \div 3$ – коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном, принят $n_c = 2$ – настройка контура близка к настройке на СО;

$b_c = a_c = 2$ – коэффициенты типовой настройки контура скорости на симметричный оптимум (СО) с ПИ-регулятором.

Ограничение перерегулирования в контуре скорости с ПИ-регулятором достигается установкой на входе контура инерционного фильтра (рисунок 3.5) с постоянной времени

$$T_{ф.вх} = T_{pc} \div (T_{pc} + \frac{T_{oc.c}}{n_c} + T_{ф.oc}) = 3,2 \cdot 10^{-3} \div 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Установка на входе контура скорости инерционного фильтра одновременно с уменьшением перерегулирования уменьшает и быстродействие контура.

Для ограничения тока двигателя на заданном уровне $I_{1макс}$ значения выходных сигналов регуляторов потокоцепления и скорости в общем случае должны удовлетворять условию

$$N_{зт.макс}^2 = N_{p\Psi}^2 + N_{pc}^2.$$

В качестве приоритетного выбрано текущее значение выходного сигнала регулятора потокосцепления, тогда допустимое значение выходного сигнала регулятора скорости в процессе работы должно поддерживаться в соответствии с условием

$$N_{\text{рс. доп}} = \sqrt{N_{\text{зт. макс}}^2 - N_{\text{р}\Psi}^2}.$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на входе контура скорости

$$k_{\text{ос.с}} = k_{\text{с}}.$$

Допустимое значение сигнала управления на входе контура скорости

$$N_{\text{зс. доп}} = k_{\text{с}} \cdot \omega_{\text{эп. макс}} = 0,0065 \cdot 102,625 = 0,667.$$

В электроприводе без датчиков потока и скорости, оказалось невозможным обеспечить предельное быстродействие электропривода и его пришлось ограничить, задавшись значением минимальной допустимой полосы пропускания $f_{\text{рЭП}} = 30$ Гц.

Определение полосы пропускания электропривода

Для настройки контура на выбранную полосу пропускания $f_{\text{рЭП}} = 30$ Гц параметры настройки ПИ-регулятора выбираем из следующих условий:

$$T_{\text{рс2}} = \frac{2,82}{\omega_{\text{рЭП}}} = \frac{2,82}{157,08} = 0,015 \text{ с,}$$

где $\omega_{\text{рЭП}} = 2\pi f_{\text{рЭП}} = 2\pi \cdot 30 = 157,08$ рад/с;

$$k_{\text{рс2}} = \frac{2 \cdot J_{\text{э}} \cdot k_{\text{т}}}{\Psi_{2d} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L'_2} \cdot z_p \cdot k_{\text{с}} \cdot T_{\text{рс2}}} = \frac{2 \cdot 2,86 \cdot 0,0085}{0,92 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,031}{0,0325} \cdot 3 \cdot 0,0065 \cdot 0,015} = 126,91,$$

При полосе пропускания $f_{\text{рЭП}} = 30$ Гц коэффициент усиления регулятора уменьшится в

$$\frac{k_{\text{рс}}}{k_{\text{рс2}}} = \frac{593,49}{157,08} \approx 4,6 \text{ раз,}$$

а постоянная времени регулятора увеличится в $\frac{T_{pc2}}{T_{pc}} = \frac{0,015}{3,2 \cdot 10^{-3}} \approx 4,6$ раз.

Полоса пропускания определяется при достижении системой следующих параметров:

– амплитуда выходного сигнала в 0.707 раз меньше амплитуды входного сигнала

– отставание по фазе выходного сигнала от входного составляет 90° .

График переходного процесса обработки гармонического задания $N_{3c}(t) = (0,667 \cdot 0,005) \sin 2\pi 25$ представлен на рисунке 3.6.

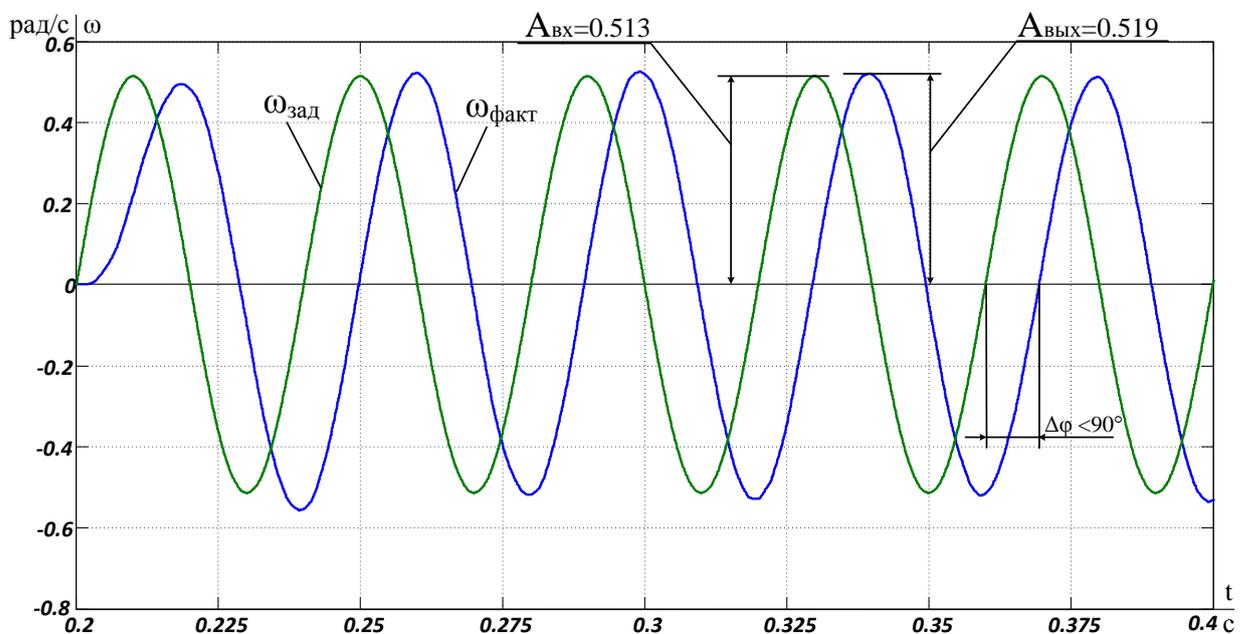


Рисунок 3.6 – Диаграмма заданной и фактической скорости $\omega = f(t)$ при частоте входного сигнала 25 Гц.

Электропривод обрабатывает частоту входного сигнала $f_{рЭП} = 25$ Гц

Графики переходного процесса при обработке ступенчатых заданий $N_{3c}(t) = (0,667 \cdot 0,005)$ и $N_{3c}(t) = (0,667 \cdot 0,05)$ представлены на рисунке 3.7а и 3.7б соответственно.

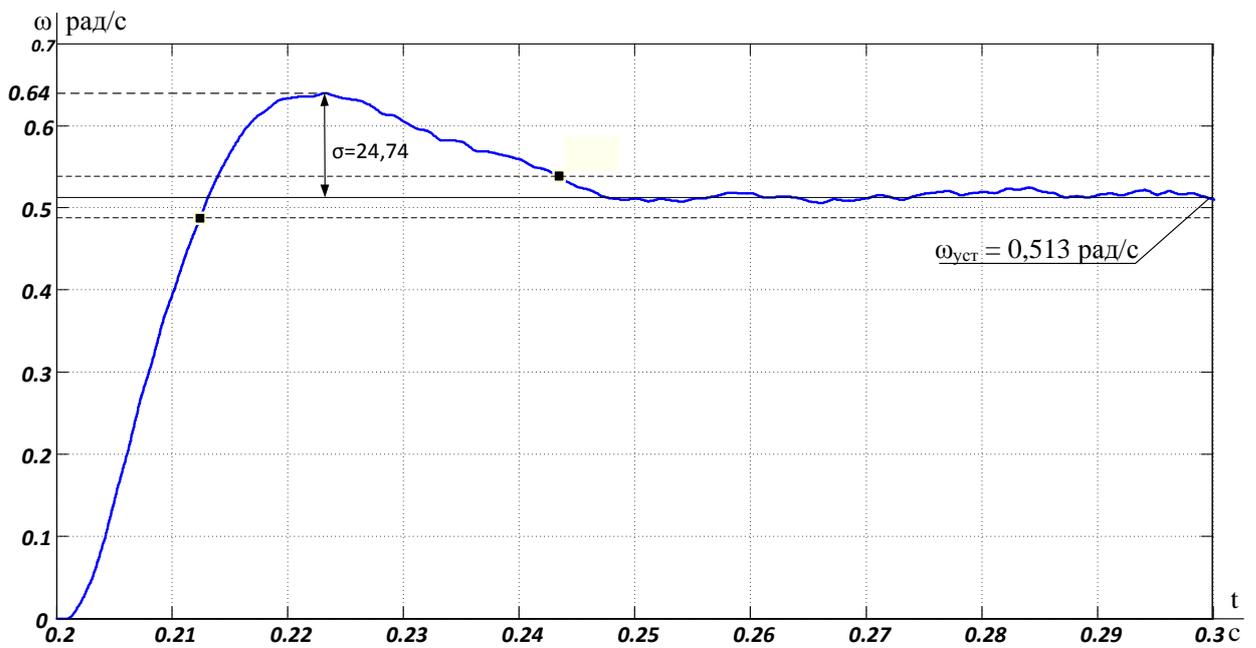


Рисунок 3.7а – Переходный процесс в контуре скорости при обработке ступенчатого задания при диапазоне регулирования $D = 1:200$.

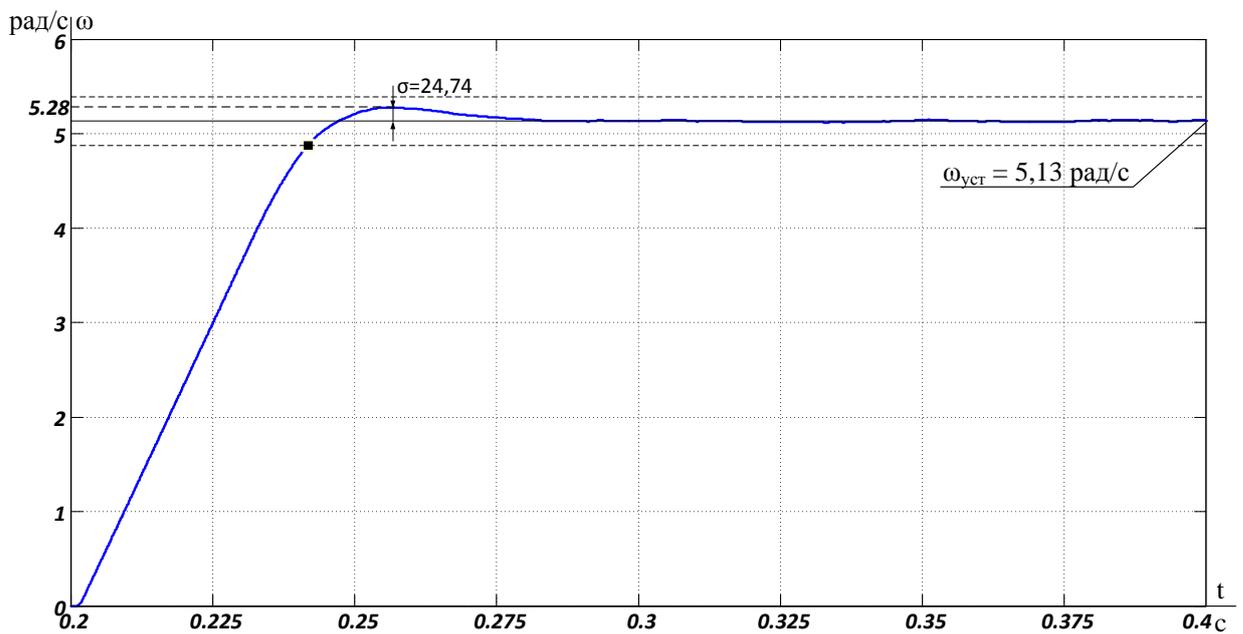


Рисунок 3.7б – Переходный процесс в контуре скорости при обработке ступенчатого задания при диапазоне регулирования $D = 1:20$.

Контур скорости при обработке ступенчатых управляющих воздействий при ступенчатом задании скорости $N_{3c}(t) = (0,667 \cdot 0,005)$ имеет перерегулирование 24,74 %, при большем задании $N_{3c}(t) = (0,667 \cdot 0,05)$ перерегулирование уменьшается и составляет меньше 5%.

3.3.3. Оптимизация контура потокосцепления ротора с ПИ-регулятором без датчика потока

Имитационная модель контура потокосцепления без датчика потока приведена на рис. 3.3.

Внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{T.зам} \approx \frac{1}{T_T \cdot p + 1},$$

где

$$T_T = a_T \cdot T_{\mu TЭ} = 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ с} - \text{эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.}$$

Параметры элементов контура потокосцепления без датчика потока

$$k_{д\Psi} = 1 \frac{1}{B\delta} - \text{коэффициент передачи датчика потока;}$$

σ_{Ψ} – коэффициент, учитывающий возможное перерегулирование потока, выбрано $\sigma_{\Psi} = 1,2$;

$T_{ос.\Psi} = n_{ос.\Psi} \cdot T_{шим} = 10 \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ с} - \text{интервал квантования по времени сигналов в цепи обратной связи контура потокосцепления,}$

где $n_{ос.\Psi} \geq 1$ целое число, выбрано $n_{ос.\Psi} = n_{ос.c} = 10$;

$T_{пк.Ψ} \leq T_{ос.Ψ}$ – интервал квантования управления в прямом канале контура потокосцепления, с;

$T_{ф.оΨ}$ – постоянная времени аналогового фильтра в цепи измерения потока, $T_{ф.оΨ} = 0$ с, т.к. фильтр отсутствует;

$N_{3Ψ.макс}$ – максимальное значение задания на входе контура потокосцепления, соответствующее значению номинального потокосцепления ротора двигателя $Ψ_{2н}$, в относительных единицах $N_{3Ψ макс} = \frac{1}{\sigma_{Ψ}}$.

Расчетные параметры настройки контура потокосцепления с аналоговым датчиком

Передаточная функция ПИ-регулятора потокосцепления

$$W(p)_{рΨ} = k_{рΨ} \cdot \frac{T_{рΨ} \cdot p + 1}{T_{рΨ} \cdot p}$$

Параметры настройки регулятора потокосцепления ротора:

– постоянная времени регулятора

$$T_{рΨ} = T_2 = 0,395 \text{ с};$$

– коэффициент усиления регулятора

$$k_{рΨ} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_{Ψ} \cdot a_{Ψ} \cdot T_{μΨэ}} = \frac{0,395 \cdot 0,0085}{0,031 \cdot 0,906 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^{-4}} = 74,847,$$

где

$$k_{Ψ} = \frac{N_{3Ψ.макс}}{\Psi_{2н}} = \frac{1}{\sigma_{Ψ} \cdot \Psi_{2н}} = \frac{1}{1,2 \cdot 0,92} = 0,906 \text{ 1/ Вб}$$

– коэффициент обратной связи по потоку;

$$T_{μΨэ} = T_T + \frac{T_{ос.Ψ}}{n_{Ψ}} + T_{ф.оΨ} = 3 \cdot 10^{-4} + \frac{1 \cdot 10^{-3}}{2} + 0 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура потокосцепления;

$n_{\Psi} = 1 \div 3$ – коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном, принят $n_{\Psi} = 2$ – настройка контура близка к типовой настройке на МО ($\sigma \approx 5\%$);

$a_{\Psi} = 2$ – коэффициент типовой настройки контура потокосцепления на модульный оптимум (МО).

Коэффициент согласования выходного сигнала обратной связи и задания на входе контура потокосцепления

$$k_{\text{ос.}\Psi} = k_{\Psi}.$$

Допустимое значение сигнала управления на входе контура потокосцепления

$$N_{3\Psi} = k_{\Psi} \cdot \Psi_{2\text{н}} = 0,906 \cdot 0,92 = 0,833.$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора потокосцепления ротора ограничено на постоянном уровне

$$N_{\text{р}\Psi \text{ доп}} = N_{\text{зт. макс}} = k_{\text{т}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{эп. макс}} = 0,0085 \cdot \sqrt{2} \cdot 69,3 = 0,833.$$

4. РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА И ЕЁ ИССЛЕДОВАНИЕ

4.1. Имитационные исследования нелинейной САУ регулируемого электропривода

Модели регулируемого асинхронного электропривода с частотным векторным управлением реализуются на основе схем:

- функциональной с моделью двухфазного двигателя (рисунок 4.1);
- функциональной с моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ (рисунок 4.2).
- структурной схемы нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с точной моделью двухфазного асинхронного двигателя при векторном управлении (рисунок 4.3).

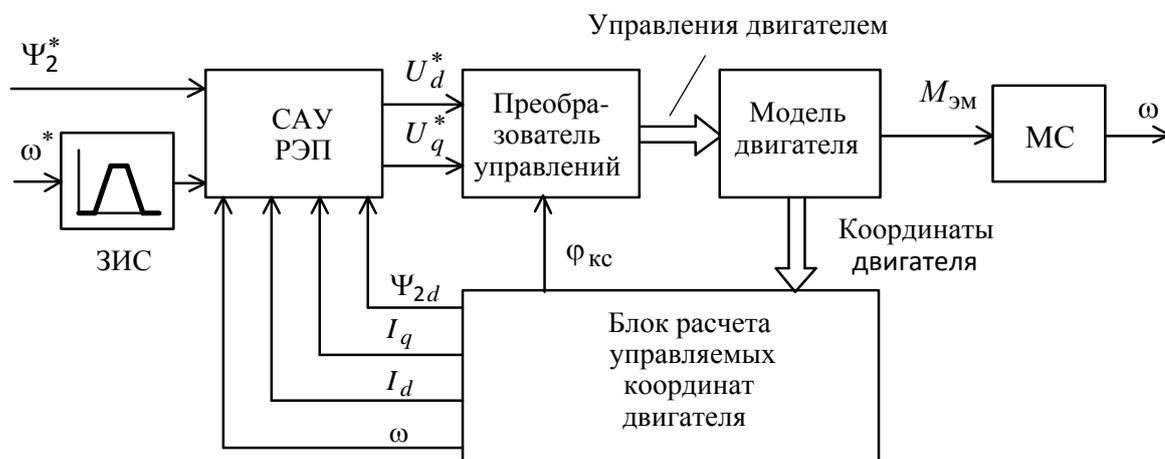


Рисунок 4.1 – Функциональная схема имитационной модели асинхронного электропривода с частотным векторным управлением и моделью двухфазного двигателя без датчиков потока и скорости

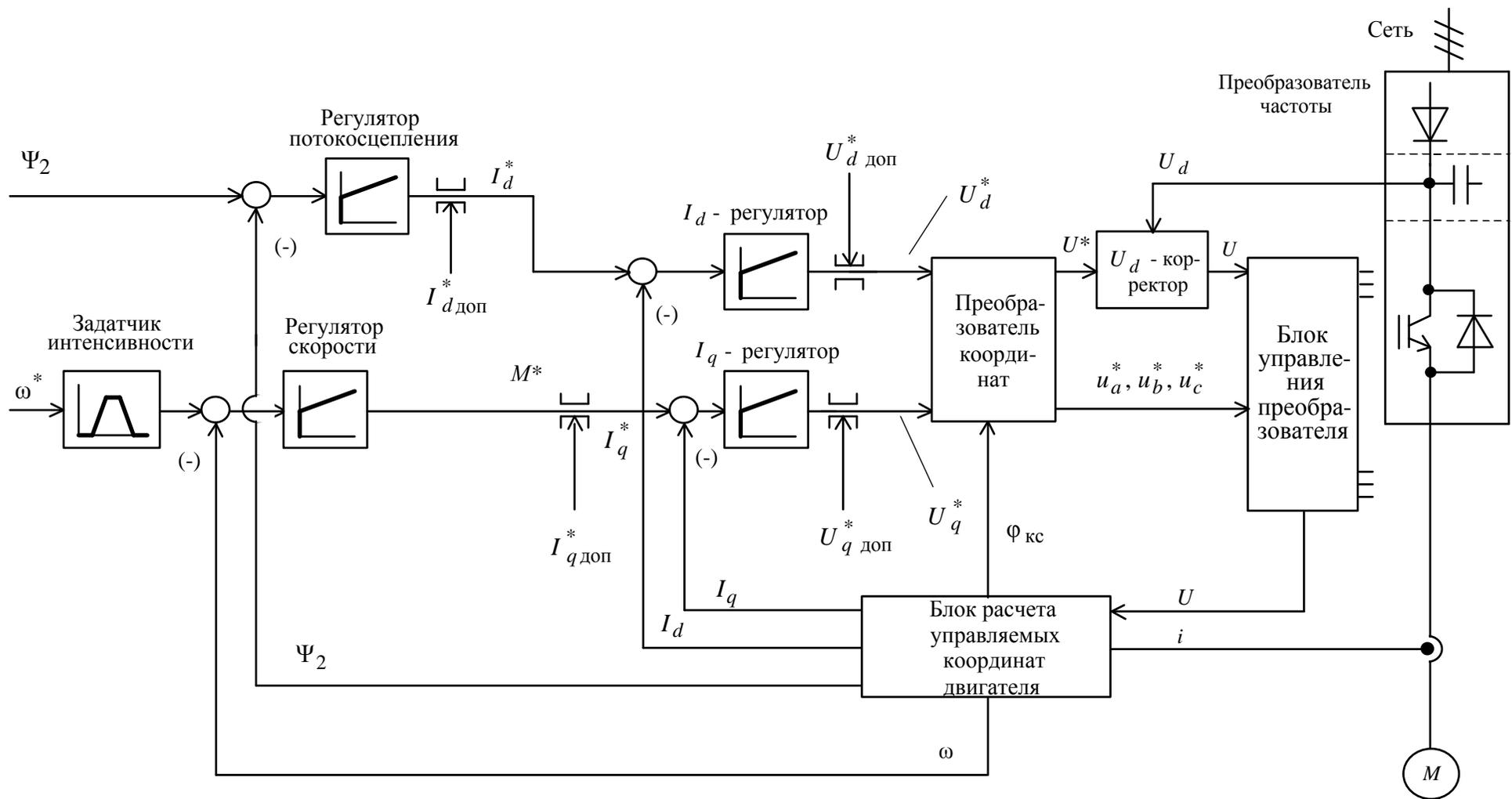


Рисунок 4.2 – Функциональная схема асинхронного электропривода с частотным векторным управлением и моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ без датчиков потока и скорости

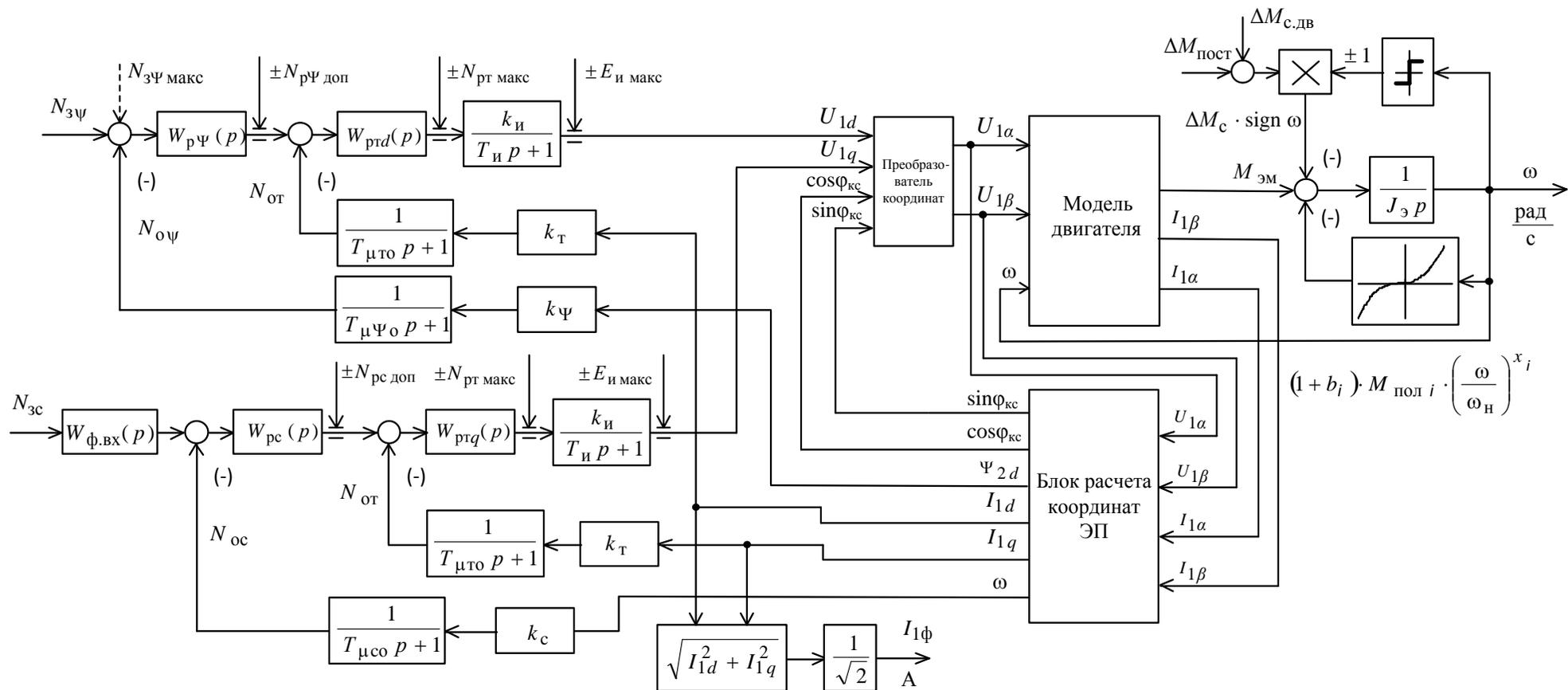


Рисунок 4.3– Структурная схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с точной моделью двухфазного асинхронного двигателя без датчика потока и скорости

Имитационная модель нелинейной САУ регулируемого электропривода

Схема набора имитационной модели нелинейной САУ регулируемого электропривода, составленная на основании структурной схемы рисунок 4.3, приведена на рисунке 4.4.

В состав имитационной модели нелинейной САУ регулируемого электропривода рисунок 4.4 входят суперблоки:

– имитационная модель двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат (рисунок 4.5);

– имитационная модель ПИ-регулятора скорости с управляемым значением ограничения выходного сигнала (рисунок 4.6);

– имитационная модель ПИ-регулятора тока I_q с положительной обратной связью по скорости двигателя и управляемым значением ограничения выходного сигнала (рисунок 4.7);

– имитационная модель ПИ-регулятора потокосцепления и тока I_d с ограничением интегральной составляющей в режиме насыщения (рисунок 4.8);

– имитационная модель одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера (рисунок 4.9);

– имитационная модель блока расчета координат электропривода (рисунок 4.10);

– Имитационная модель блока расчета потокосцеплений ротора в неподвижной системе координат α, β по измеренным значениям токов $i_{1\alpha}, i_{1\beta}$ и расчетным значениям напряжений управления $u_{1\alpha}, u_{1\beta}$ (рисунок 4.11);

– имитационная модель блока расчета потокосцепления ротора ψ_{2d} и угла положения координатной системы $\varphi_{\kappa c}$ по расчетным значениям токов $i_{1\alpha}, i_{1\beta}$ и скорости вращения двигателя (рисунок 4.12);

- имитационная модель преобразователя напряжений статора двухфазного двигателя из вращающейся координатной системы d, q в неподвижную систему координат α, β (рисунок 4.13 *a*) и из неподвижной системы координат α, β во вращающуюся координатную систему d, q (рисунок 4.13 *б*);
- имитационная модель преобразователя координат из неподвижной двухфазной координатной системы α, β в неподвижную трехфазную систему координат a, b, c (рисунок 4.14 *a*) и из неподвижной трехфазной системы координат a, b, c в неподвижную двухфазную координатную систему α, β (рисунок 4.14 *б*);
- формирователя фазного тока двигателя $I_{1\phi}$ (рисунок 4.15);
- блок формирования нагрузки (рисунок 4.16)

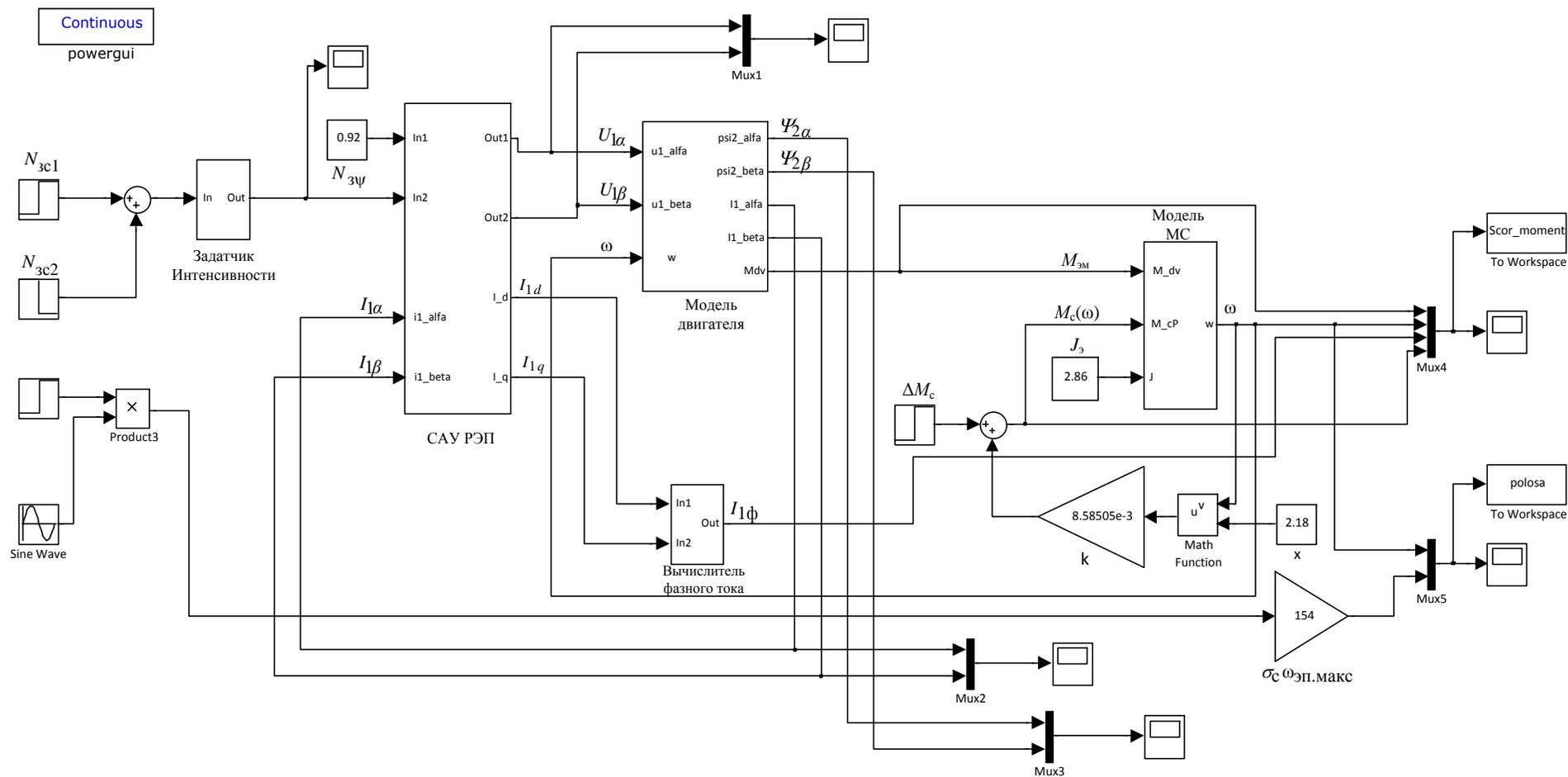


Рисунок 4.4 – Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода без датчиков потока и скорости

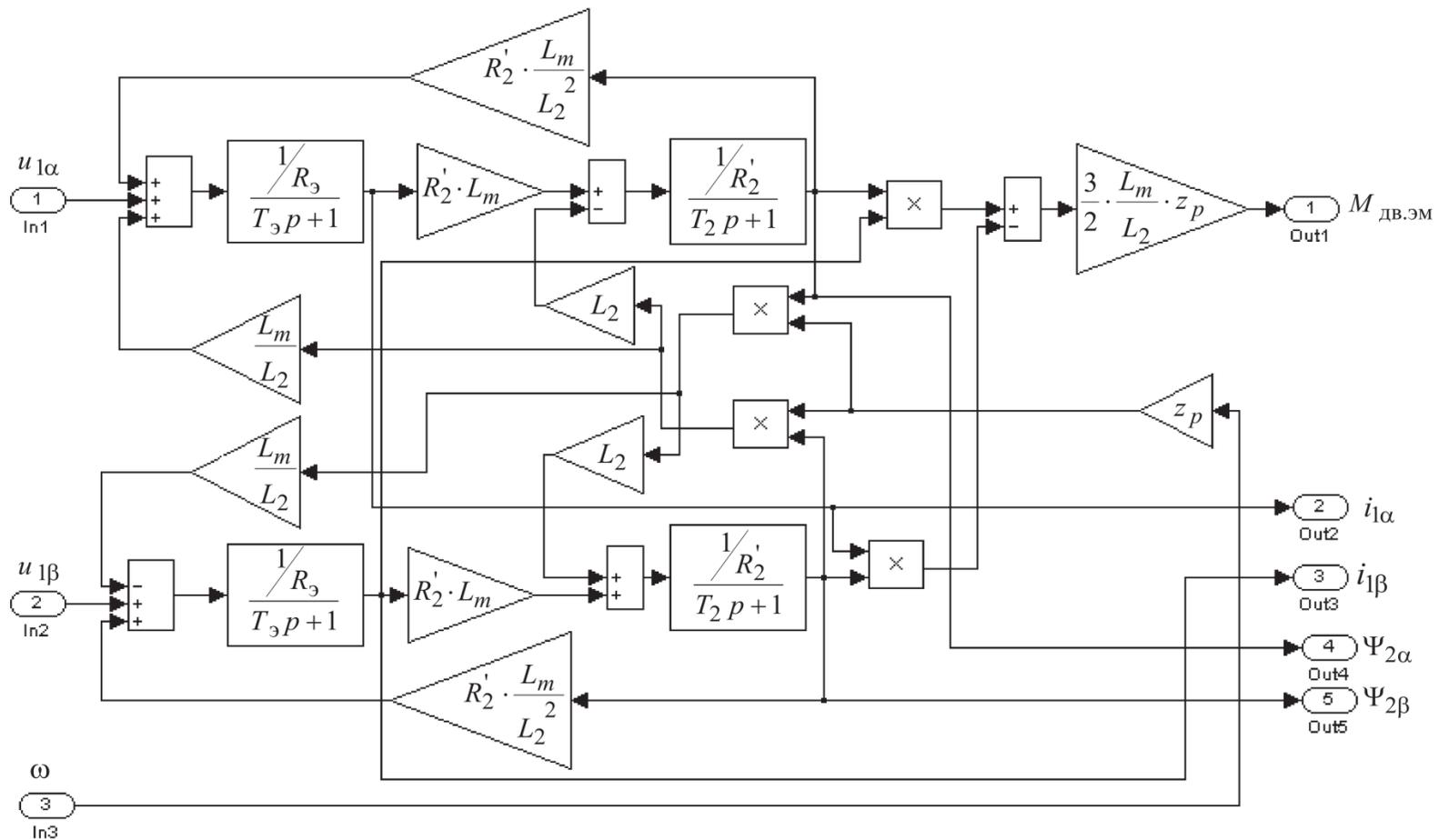


Рисунок 4.5 – Имитационная модель электрической части двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат α, β

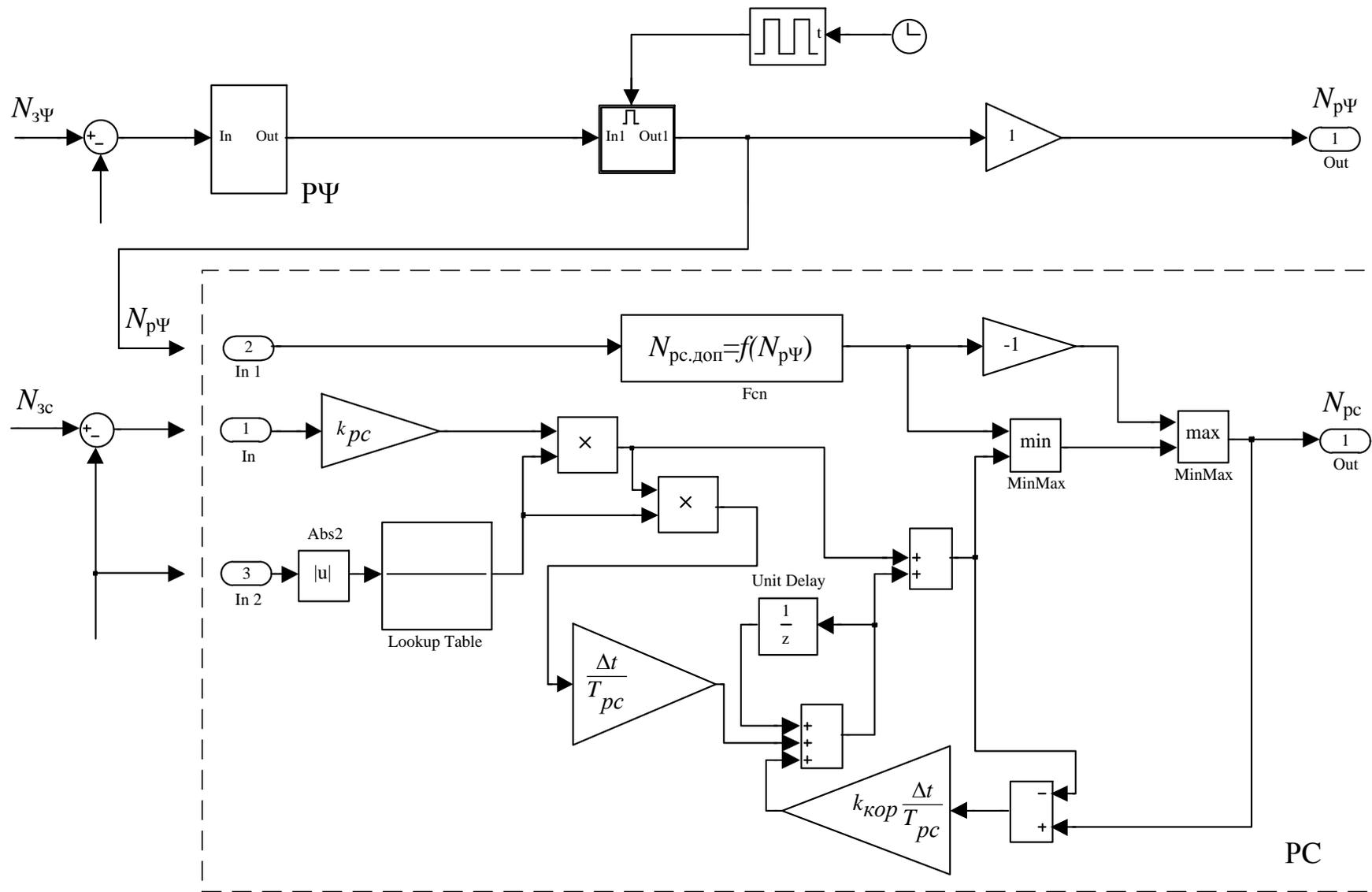


Рисунок 4.6 – Имитационная модель адаптивного ПИ-регулятора скорости с управляемым значением ограничения выходного сигнала

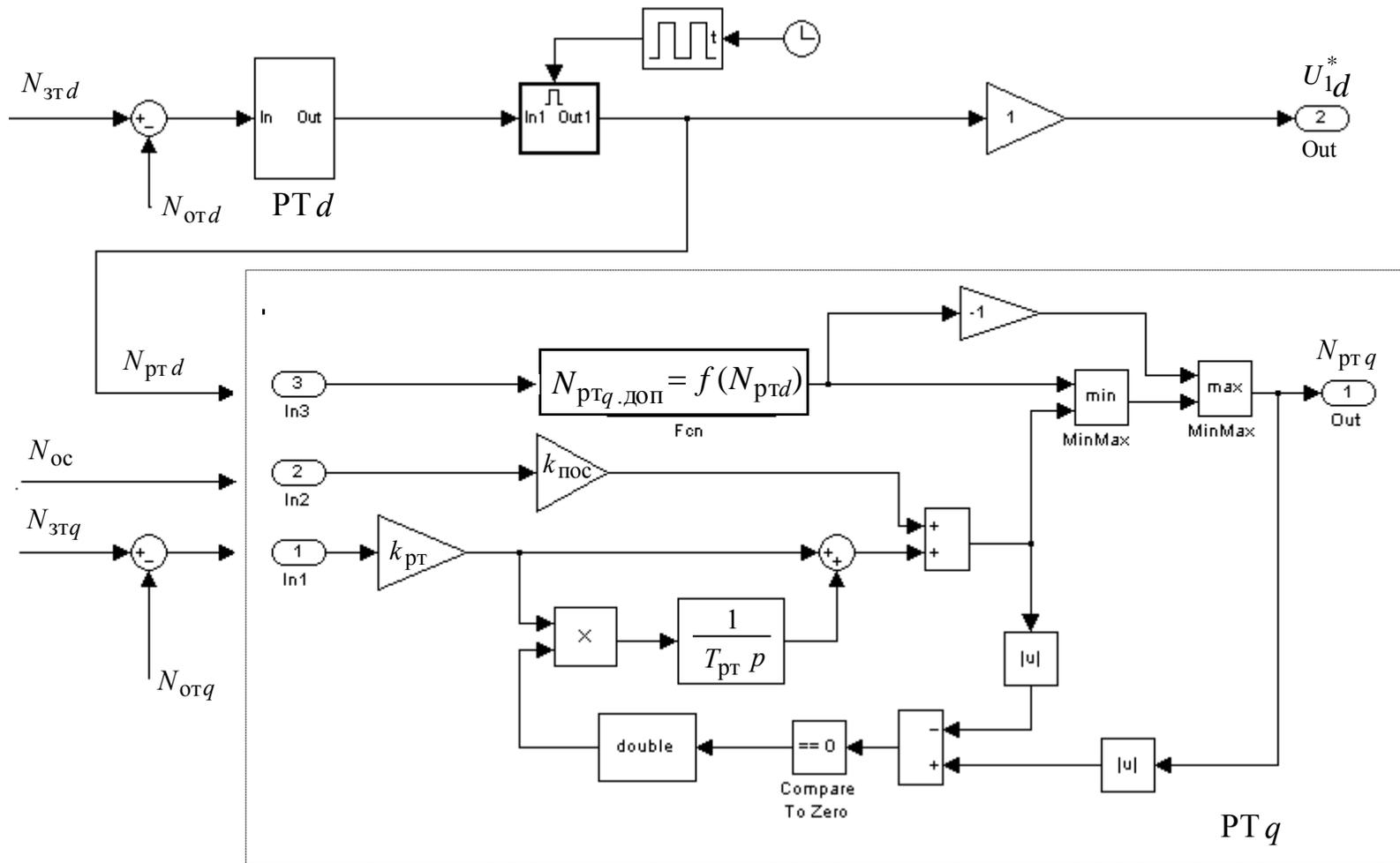


Рисунок 4.7 – Имитационная модель ПИ-регулятора тока I_q с положительной обратной связью по скорости двигателя и управляемым значением ограничения выходного сигнала

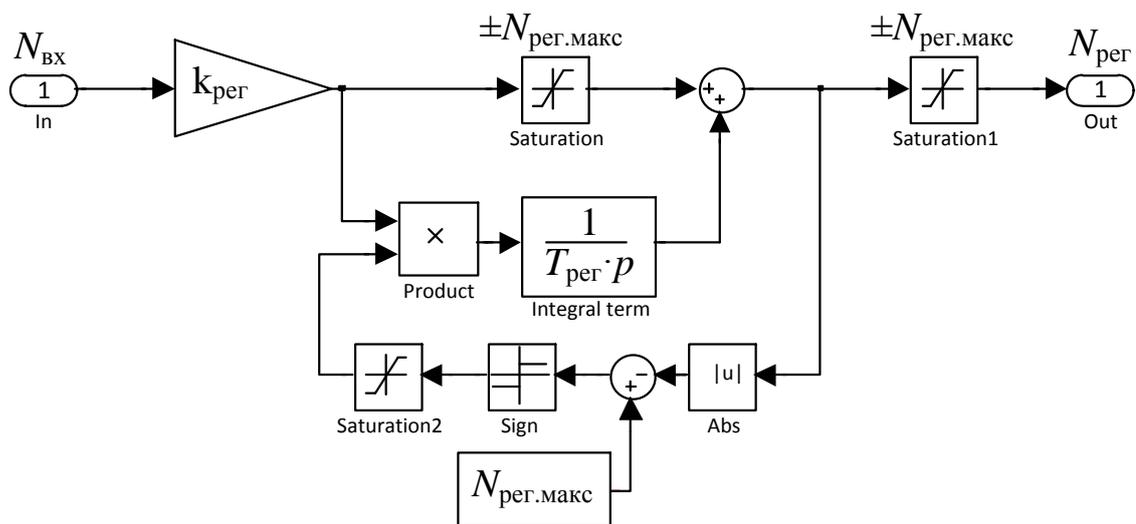


Рисунок 4.8 – Имитационная модель ПИ-регулятора потокосцепления и тока I_d с ограничением интегральной составляющей в режиме насыщения

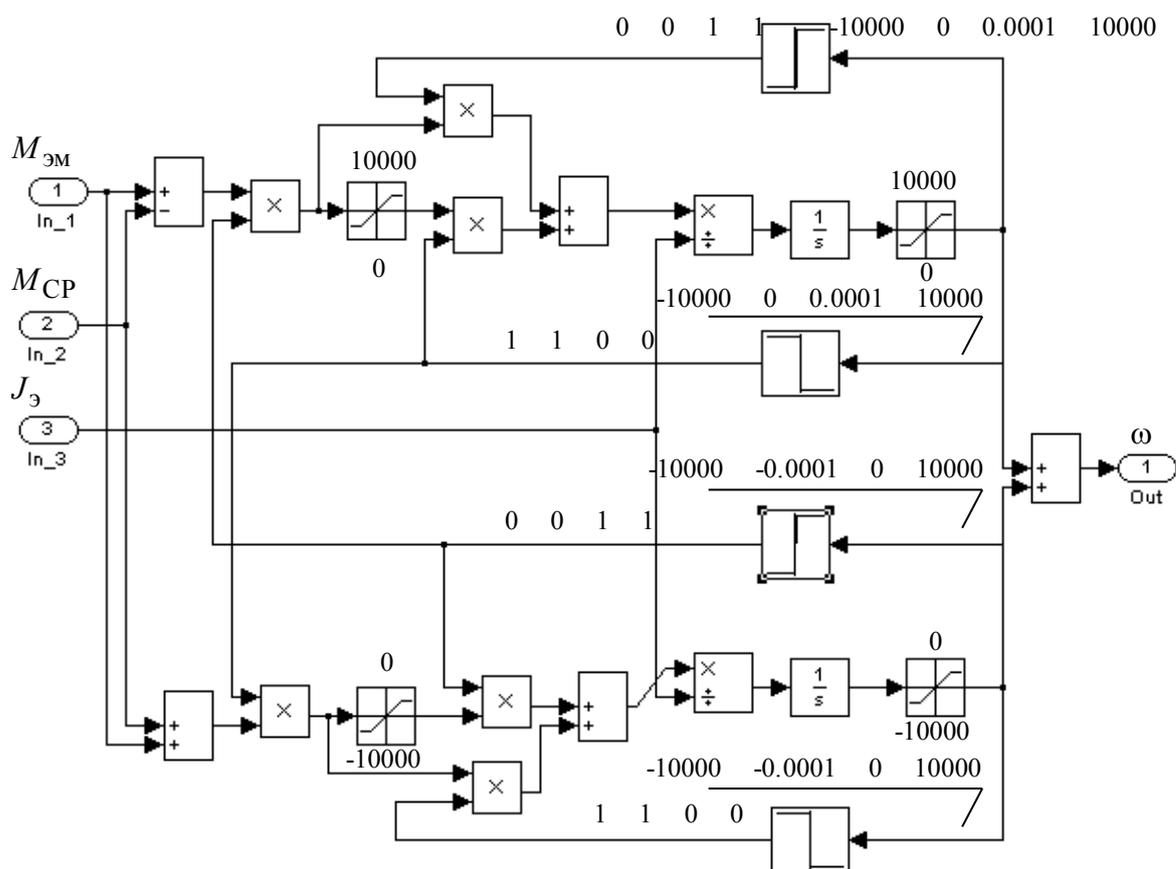


Рисунок 4.9 – Имитационная модель одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера

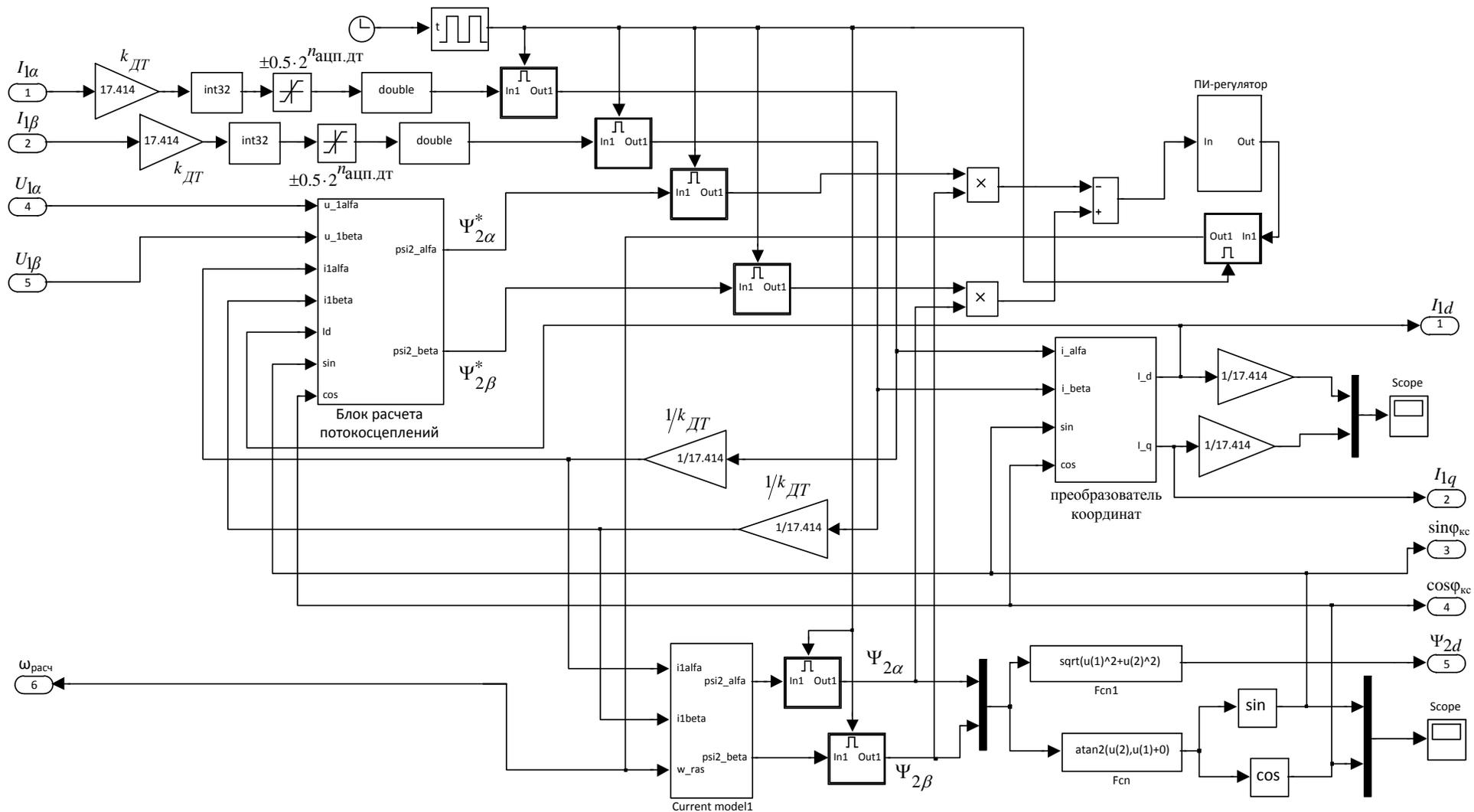


Рисунок 4.10 – Имитационная модель блока расчета координат электропривода

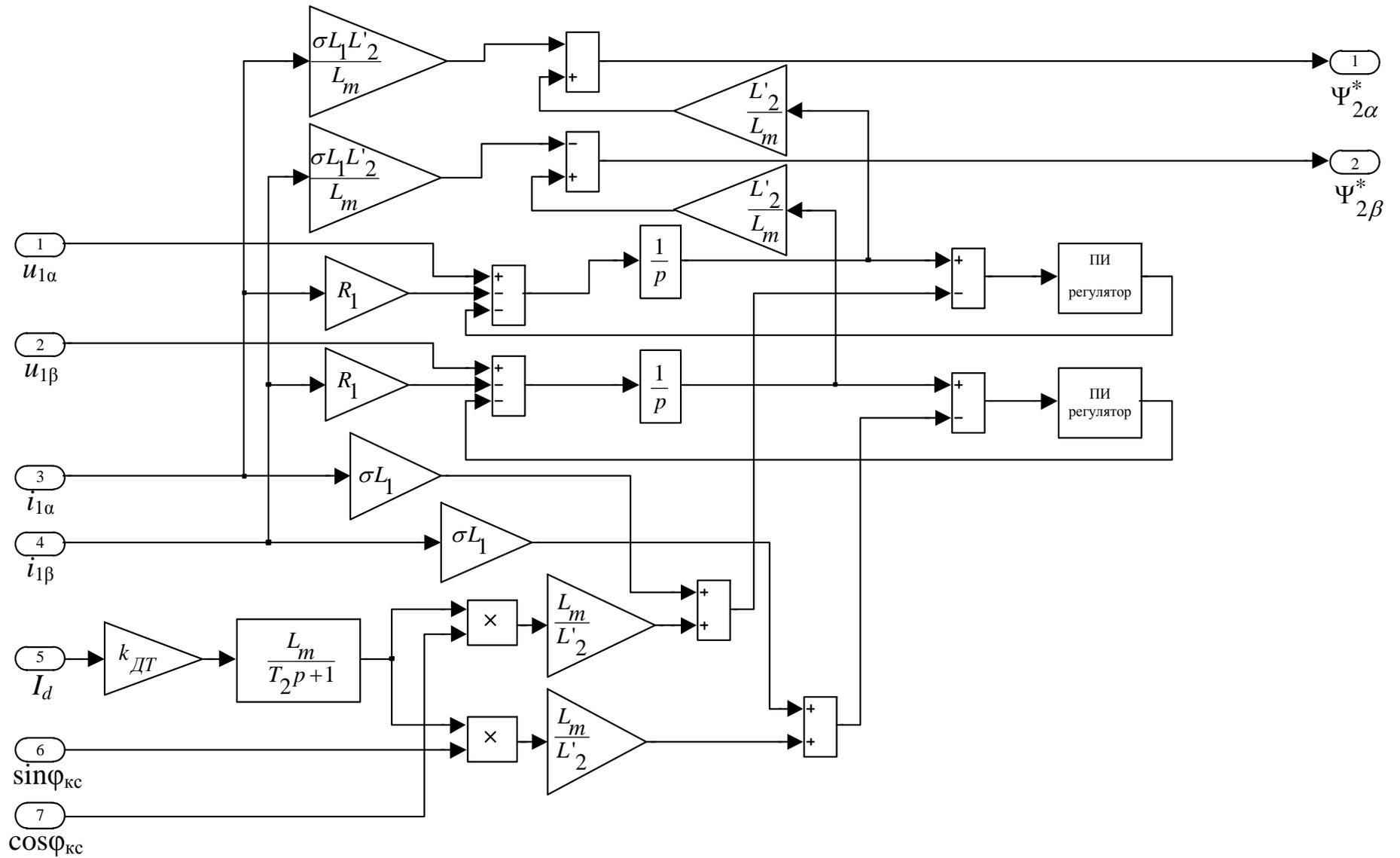


Рисунок 4.11 – Имитационная модель блока расчета потокосцеплений ротора в неподвижной системе координат α, β по измеренным значениям токов $i_{1\alpha}, i_{1\beta}$ и расчетным значениям напряжений управления $u_{1\alpha}, u_{1\beta}$

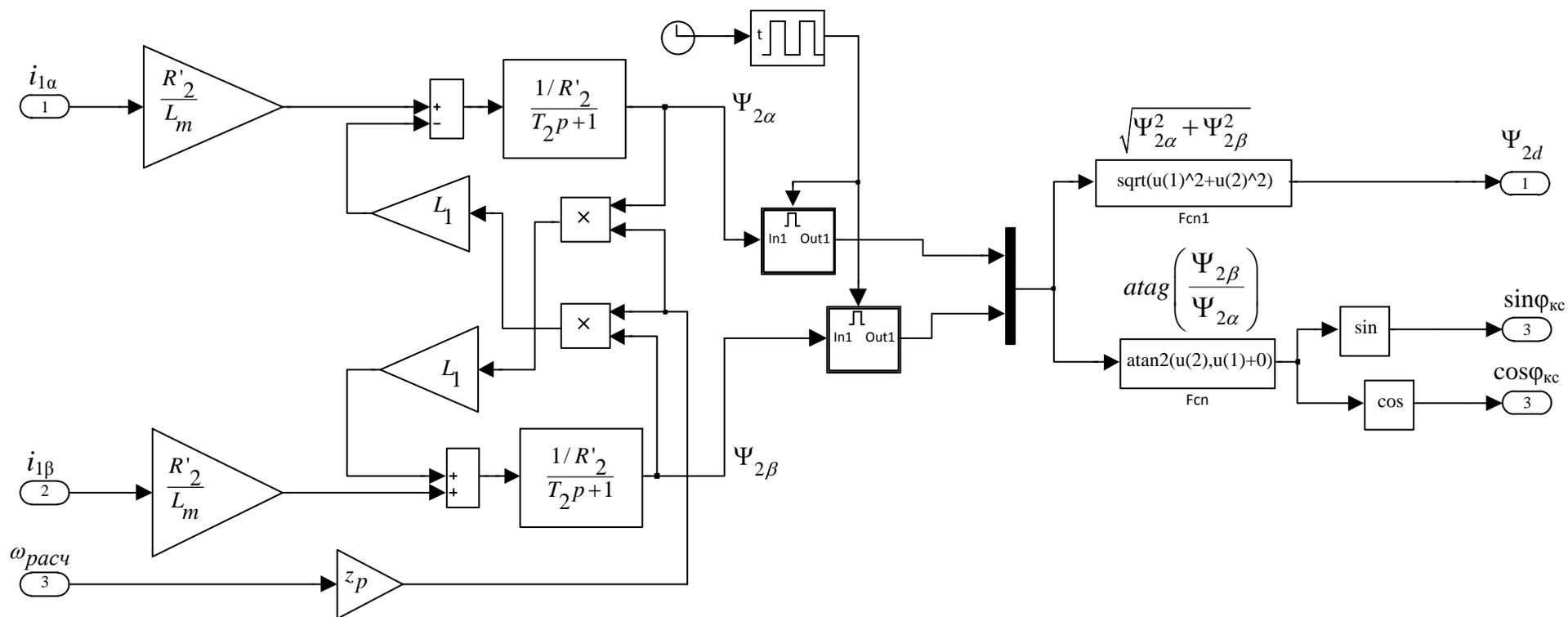


Рисунок 4.12 – Имитационная модель блока расчета потокосцепления ротора Ψ_{2d} и угла положения координатной системы $\varphi_{кc}$ по измеренным значениям токов $i_{1\alpha}, i_{1\beta}$ и расчетной скорости вращения двигателя

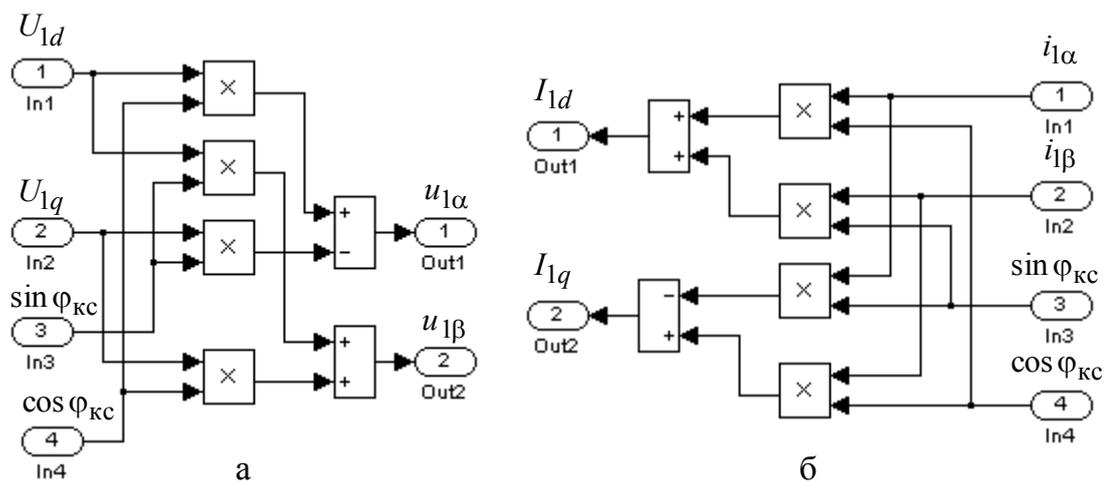


Рисунок 4.13 – Имитационная модель преобразователя координат: *а* – из вращающейся координатной системы d, q в неподвижную систему координат α, β ; *б* – из неподвижной системы координат α, β во вращающуюся координатную систему d, q

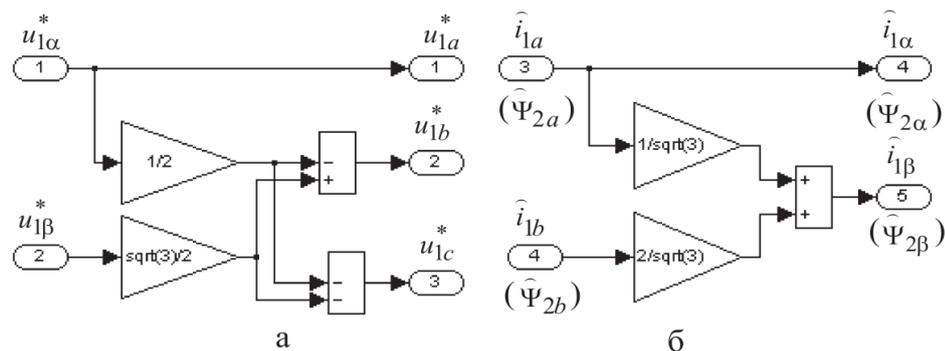


Рисунок 4.14 – Имитационная модель преобразователя координат: *а* – из неподвижной двухфазной координатной системы α, β в неподвижную трехфазную систему координат a, b, c ; *б* – из неподвижной трехфазной системы координат a, b, c в неподвижную двухфазную координатную систему α, β

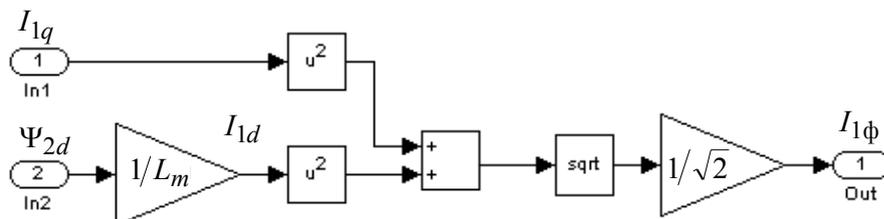


Рисунок 4.15 – Имитационная модель вычислителя действующего значения тока статора трехфазного двигателя

Блок формирования нагрузки (рисунок 4.16) реализован в соответствии с выражением механической характеристики полного момента сопротивления на валу электродвигателя (2.2), соответствующей режиму регулирования производительности с номинальным КПД $\eta_H = 0,83$

$$M_{ci}(\omega) = \Delta M_c + (1 + b_i) \cdot M_{поли} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^{x_i} =$$

$$= 36,322 + (1 + 0,102) \cdot 188,771 \cdot \left(\frac{\omega}{102,625} \right)^{2,18},$$

где $\Delta M_c = \Delta M_{c.дв} + \Delta M_{пост} = 16,99 + 19,332 = 36,322$ Н·м – момент сопротивления от сил трения, приведенный к валу двигателя.

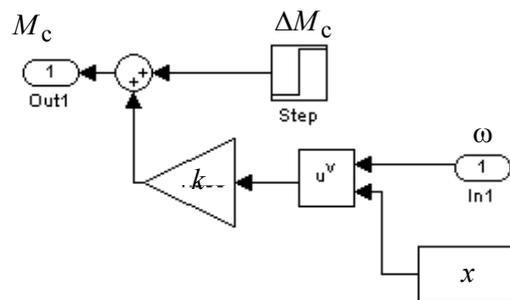


Рисунок 4.16 – Имитационная модель формирователя нагрузки

С целью обеспечения плавных переходных процессов при пуске частотно-регулируемых асинхронных электроприводов производится первоначальный прямой пуск двигателя на минимальную частоту $f_{и\ мин}$, а затем по окончании переходного процесса, когда потокосцепление достигнет установившегося значения, осуществляется дальнейший разгон привода от задатчика интенсивности до значения заданной скорости. Установка линейного задатчика скорости обеспечивает постоянное значение темпа нарастания (спадания при торможении) скорости, т. е. постоянное ускорение (замедление) привода, что достигается поддержанием постоянного значения динамического момента электропривода.

Был выбран задатчик интенсивности с линейной характеристикой (рисунок 4.17) и параметрами: максимальное значение задания управления на входе задатчика интенсивности $N_{зс.макс} = 0,667$; максимальное значение управления на выходе задатчика $N_{зс.макс} = 0,667$; постоянная времени задатчика $T_{зи} = 4$ с.

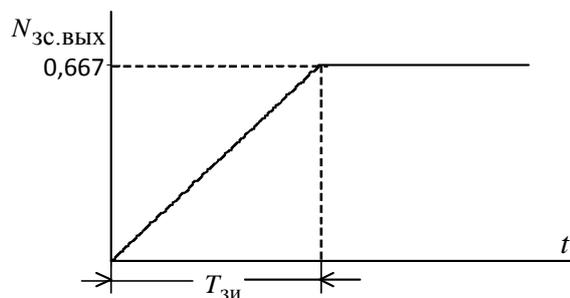


Рисунок 4.17 – Временная характеристика линейного задатчика интенсивности

Схема набора имитационной модели линейного задатчика интенсивности приведена на рис. 4.18 [13].

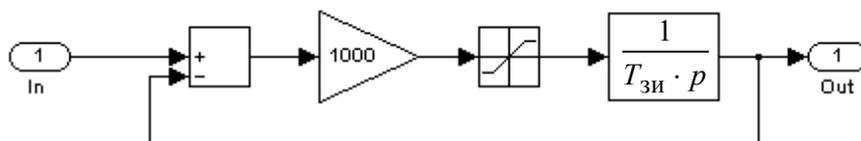


Рисунок 4.18 – Схема набора имитационной модели управляемого линейного задатчика интенсивности.

Результаты имитационных исследований САУ регулируемого электропривода

Программа имитационных исследований регулируемого электропривода включает:

- анализ работы электропривода при перегрузке статическим моментом.

– пуск электропривода на заданную скорость в диапазоне регулирования от $\omega_{\text{эп.мин}}$ $D=1:10$ до $\omega_{\text{эп.макс}}$;

– регулирование скорости: переход с меньшей скорости на большую скорость и, наоборот, в заданном диапазоне регулирования;

– останов электропривода с любой начальной скорости в заданном диапазоне регулирования;

Результаты имитационных экспериментов приведены на рисунках 4.19 – 4.25.

Анализ работы электропривода при перегрузке статическим моментом (рисунок 4.19) показал, что статическая ошибка на нижней рабочей скорости электропривода меньше 1 %.

На рисунке 4.21 показан переходный процесс пуска на минимальную скорость диапазона 1:10 и торможения частотно-регулируемого электропривода без задатчика интенсивности, а на рисунке 4.22 показан переходный процесс пуска на максимальную скорость и торможения. Анализ приведенных графиков показывает, что значение тока не превышает максимально допустимого, момент электропривода ограничен на уровне $M_{\text{эп макс}}$.

Процесс торможения характеризуется выделением мощности торможения, что требует специальных мер для ее рассеивания (тормозной резистор) или возврата в сеть (блок рекуперации), поэтому принято решение реализовать управляемые пуско-тормозные режимы с помощью применения задатчика интенсивности скорости.

Принят линейный задатчик интенсивности с постоянной времени $T_{\text{зи}} = 4$ с. В ходе экспериментальных исследований на модели установлено, что пуско-тормозные переходные процессы в электроприводе с линейным задатчиком протекают достаточно плавно, обеспечивая требуемое значение динамического момента (рисунки 4.23 – 4.25). Время разгона и торможения электропривода до заданной скорости определяется постоянной времени задатчика интенсивности и при выбранной настройке задатчика интенсивности не превышает 4 секунды.

Полученные результаты имитационных исследований подтверждают способность частотно-регулируемого асинхронного электропривода вентилятора обеспечить выполнение технических требований по диапазону регулирования скорости, перегрузочной способности и плавности переходных процессов.

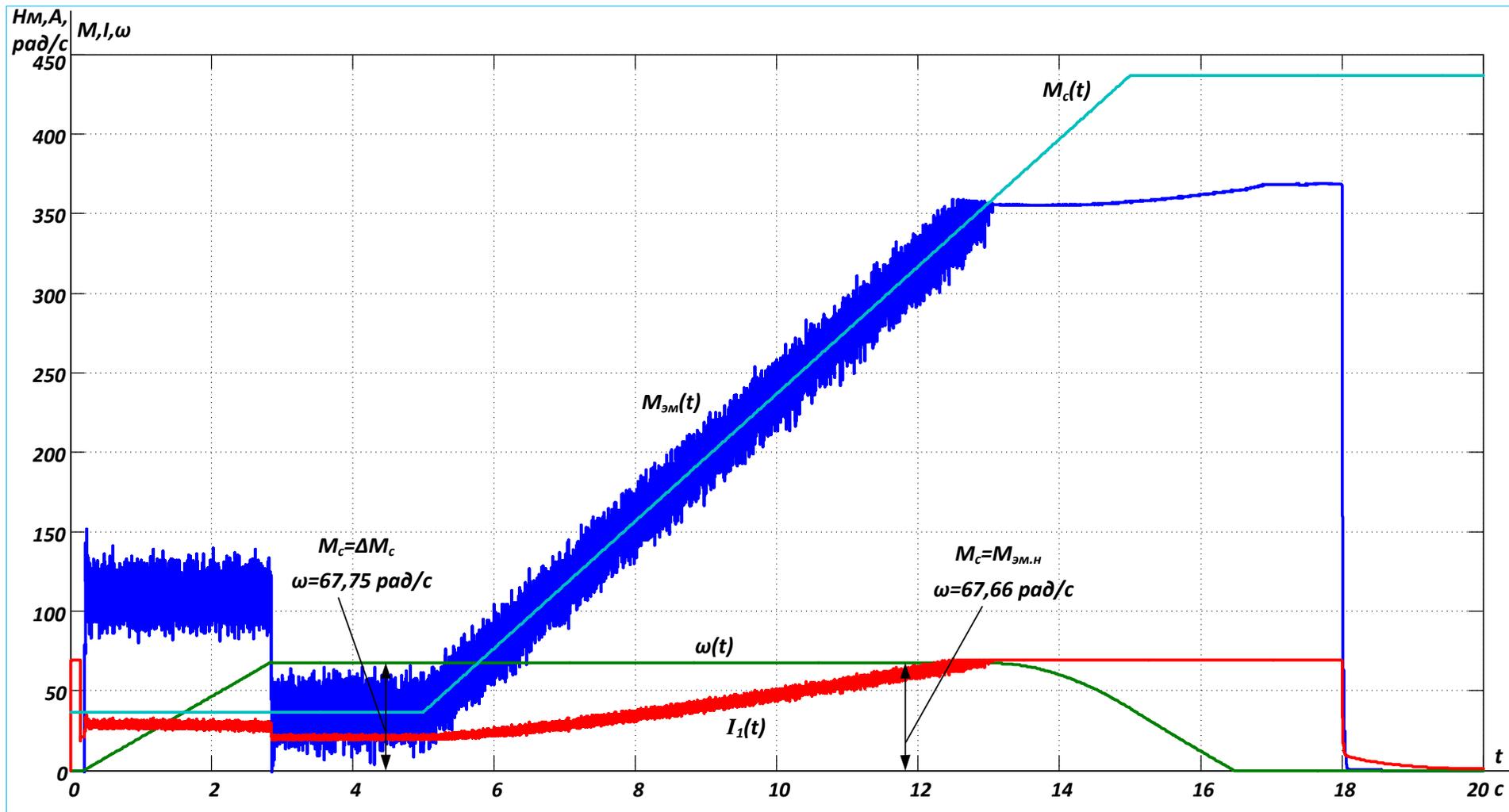


Рисунок 4.19 – Диаграммы работы электропривода при перегрузке статическим моментом на минимальной рабочей скорости

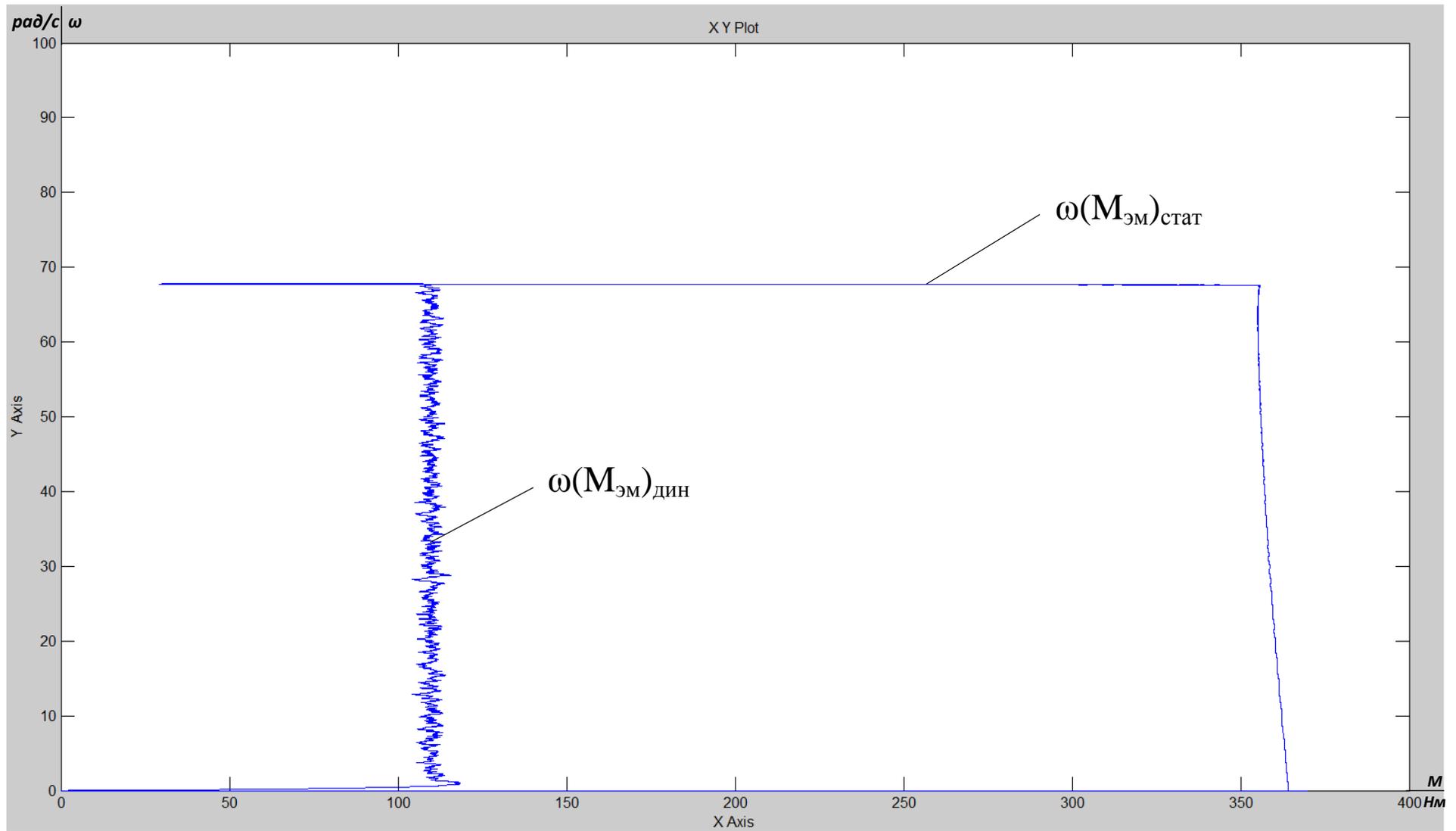


Рисунок 4.20 – Динамическая и статическая характеристики электропривода при $\omega_{зад}=67,75$ рад/с

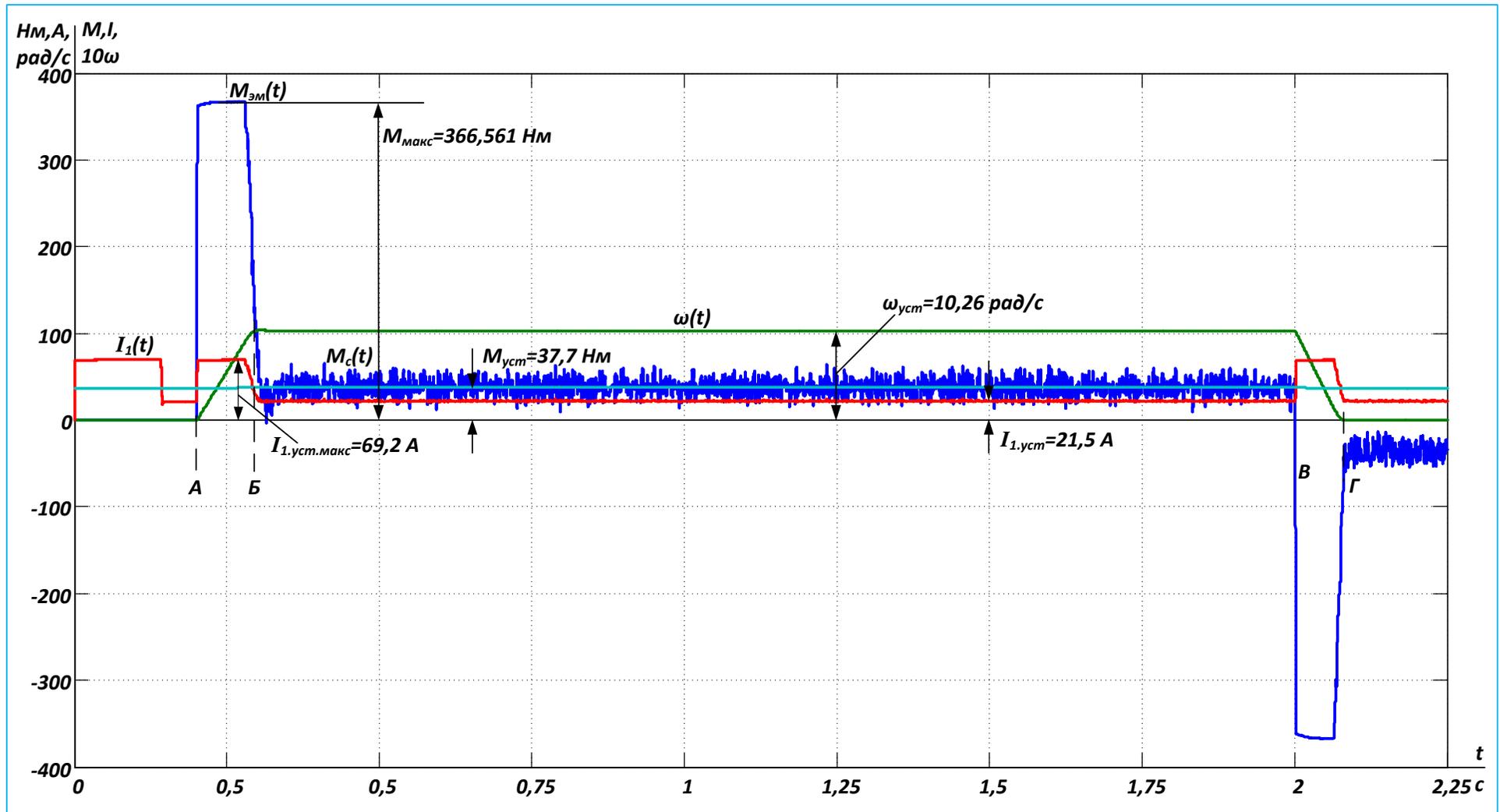


Рисунок 4.21 – Цикл работы электропривода без датчика интенсивности: А – Б пуск на минимальную скорость диапазона 1:10, Б – В работа на минимальной скорости, В – Г останов

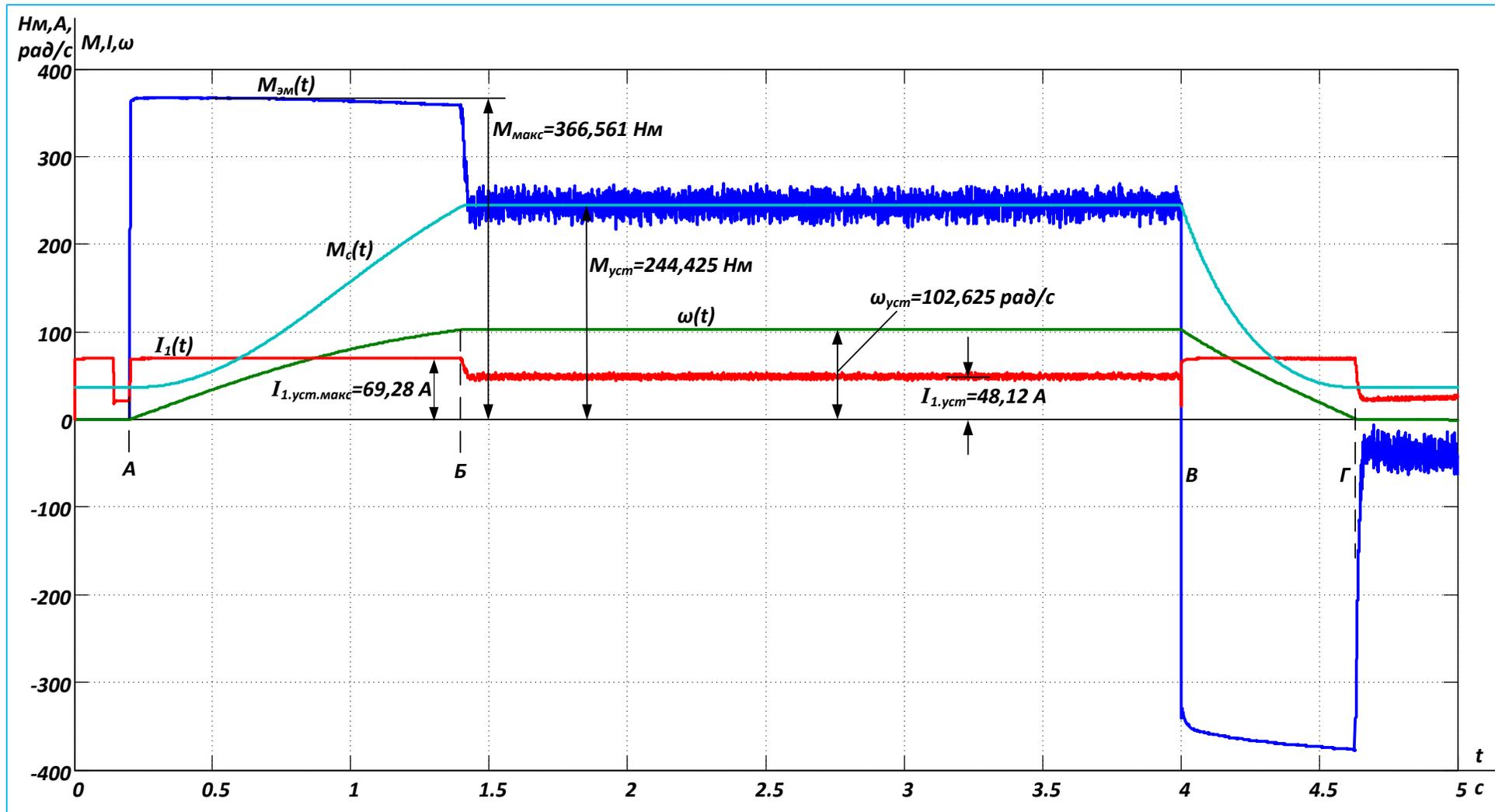


Рисунок 4.22 – Цикл работы электропривода без задатчика интенсивности: А – Б пуск на максимальную рабочую скорость, Б – В работа на максимальной рабочей скорости, В – Г останов

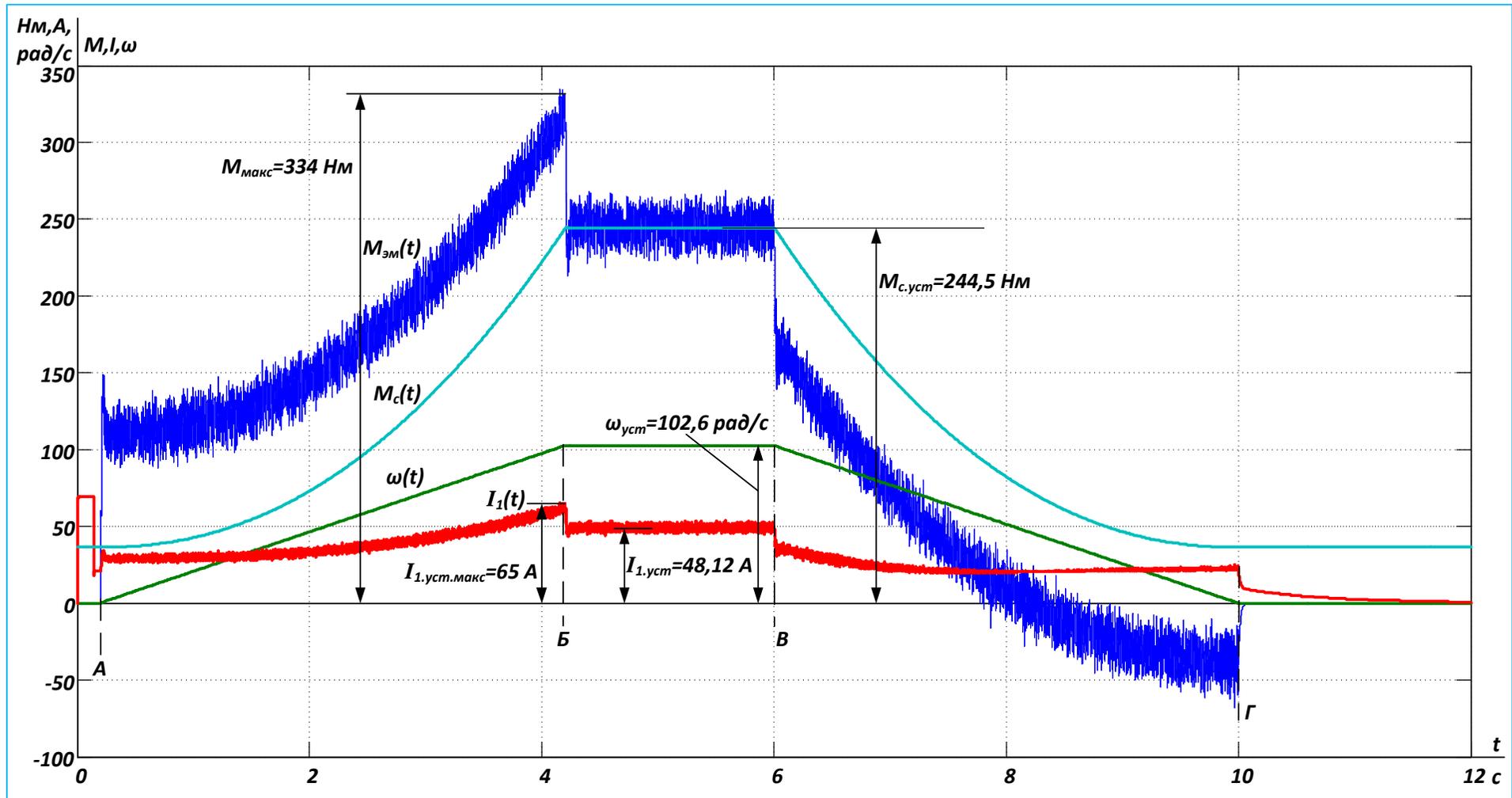


Рисунок 4.23 – Цикл работы электропривода с линейным задатчиком интенсивности: А – Б пуск на максимальную рабочую скорость, Б – В работа на максимальной рабочей скорости, В – Γ останов

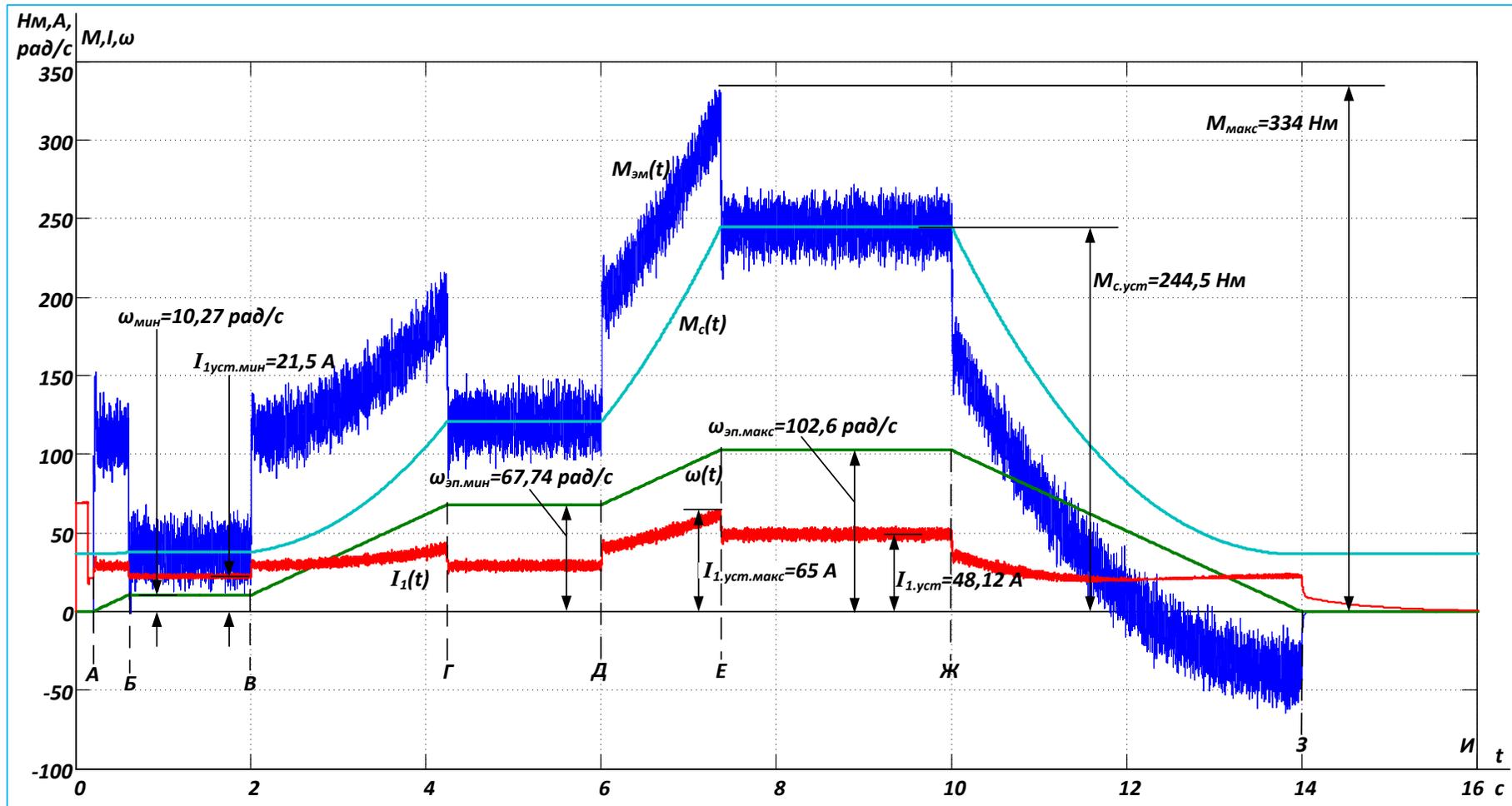


Рисунок 4.24 – Цикл работы электропривода с линейным задатчиком интенсивности: А – Б пуск на минимальную скорость диапазона 1:10, Б – В работа на минимальной скорости диапазона 1:10, В – Г пуск на минимально рабочую скорость, Г – Д работа на минимальной рабочей скорости, Д – Е пуск на максимально рабочую скорость, Е – Ж работа на максимальной рабочей скорости, Ж – З торможение, З – И останов

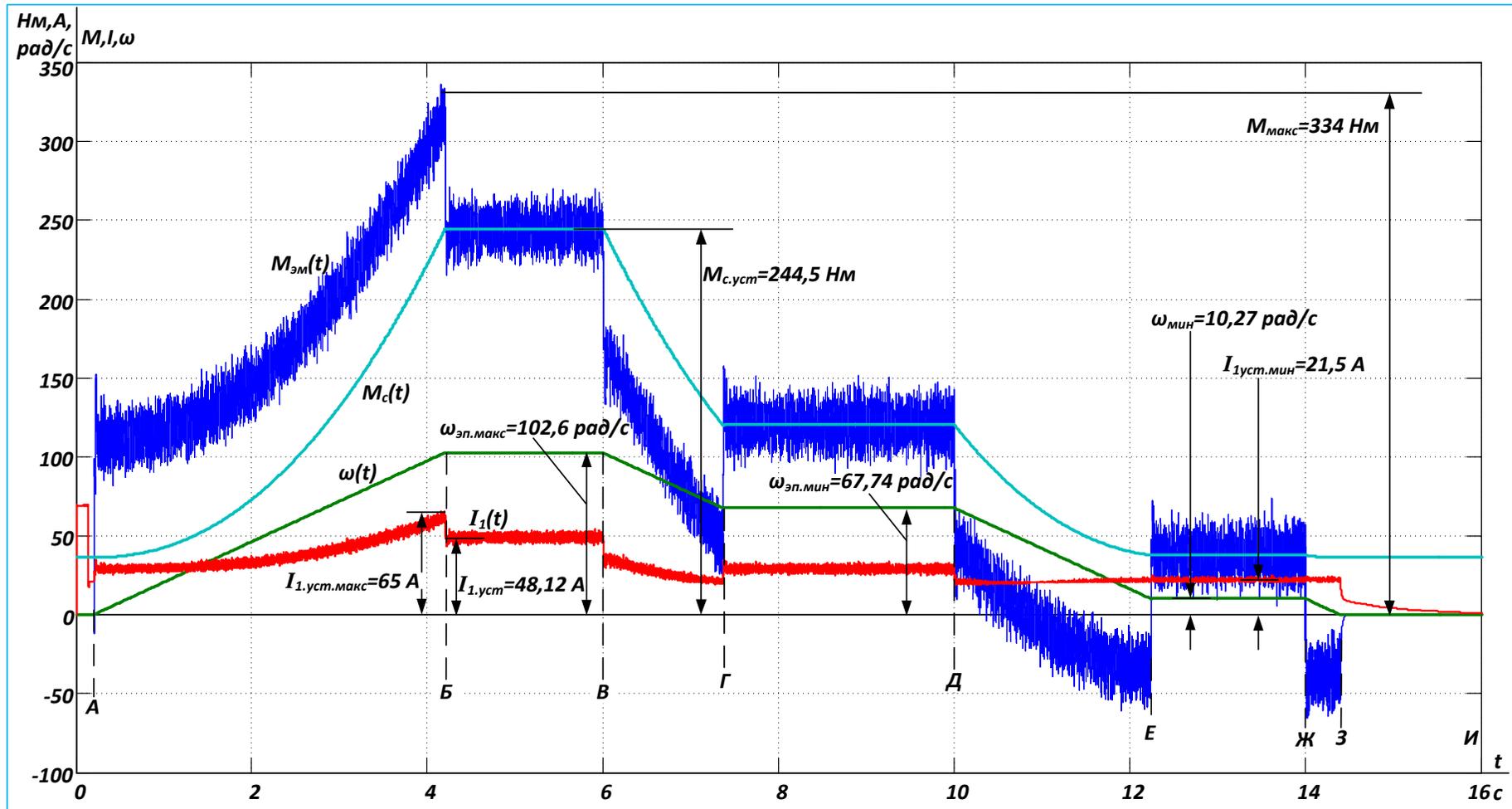


Рисунок 4.25 – Цикл работы электропривода с линейным задатчиком интенсивности: А – Б пуск на максимально рабочую скорость, Б – В работа на максимальной рабочей скорости, В – Г торможение до минимальной рабочей скорости, Г – Д работа на минимальной рабочей скорости, Д – Е торможение до минимальной скорости, Е – Ж работа на минимальной скорости, Ж – З торможение, З – И

останов

4.2. Имитационные исследования работы САУ электропривода в составе технологической установки

Структурная схема системы автоматического регулирования давления воздуха перед горелкой приведена на рисунке 4.26.

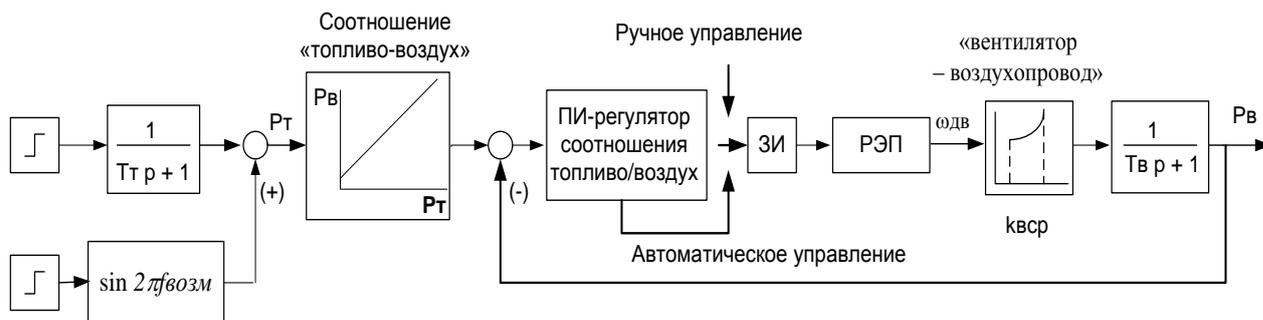


Рисунок 4.26 – Структурная схема системы автоматического регулирования давления воздуха перед горелкой

В состав структурной схемы входит частотно-регулируемый электропривод (РЭП), задатчик интенсивности скорости (ЗИС), регулятор соотношения топливо/воздух (ПИ-регулятор). Структурная схема РЭП приведена на рисунке 4.3.

Характеристика соотношения «топливо – воздух» приведена на рисунке 1.3, а характеристика системы «вентилятор-воздухопровод» показана на рисунке 4.27.

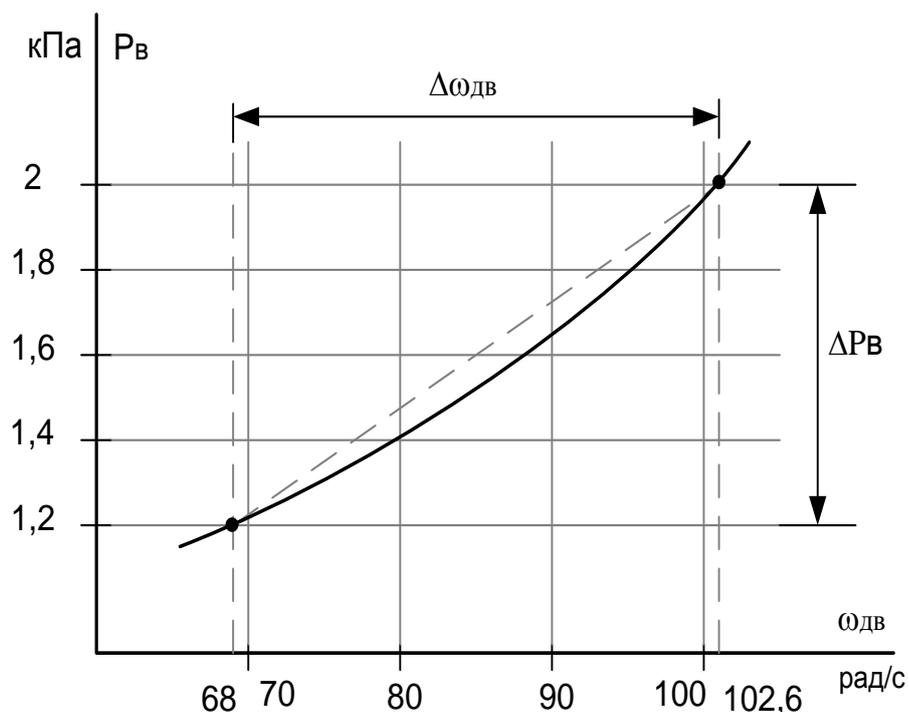


Рисунок 4.27 – Характеристика системы «вентилятор – воздухопровод»

$$P_B(\omega)$$

$$k_{\text{всп}} = \frac{\Delta P_B}{\Delta \omega_{\text{дв}}} = \frac{2 - 1,2}{102,6 - 68} = 0,023 \frac{\text{кПа}}{\text{рад/с}}$$

По структурной схеме рисунка 4.26 в программной среде Simulink в системе MathLab составлена имитационная модель показанная на рисунке 4.29. В состав имитационной модели на рисунке 4.29 входят кроме приведенных выше моделей блоков РЭП дополнительные суперблоки:

- регулятор соотношения топливо/воздух (рисунок 4.30);
- блок формирования задающих воздействий (рисунок 4.31).

Расчетные параметры настройки контура регулирования давления воздуха

Структурная схема контура регулирования давления воздуха приведена на рисунке 4.28.

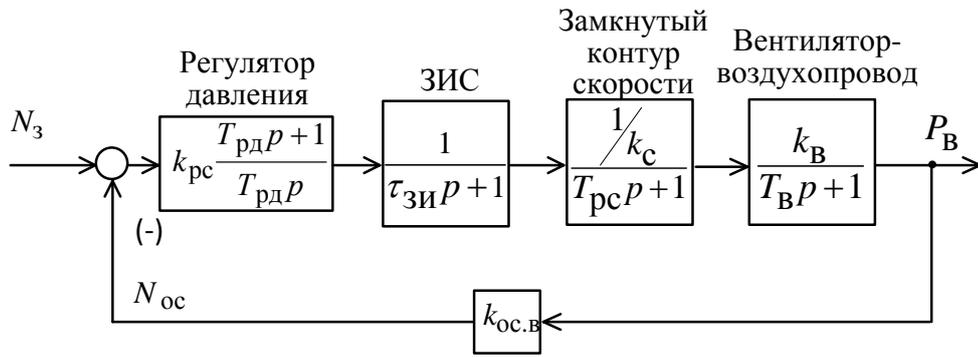


Рисунок 4.28.— Структурная схема контура регулирования давления воздуха

Внутренний оптимизированный замкнутый контур скорости с ПИ-регулятором представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{с.зам}} \approx \frac{1/k_c}{T_{\text{рс}} \cdot p + 1},$$

Передаточная функция ПИ-регулятора соотношения топливо/воздух:

$$W(p)_{\text{рд}} = k_{\text{рд}} \cdot \frac{T_{\text{рд}}p + 1}{T_{\text{рд}} \cdot p},$$

где $T_{\text{рд}} = T_{\text{в}} = 2$ с – постоянная времени регулятора.

Передаточная функция системы «вентилятор – воздухопровод» представлена в виде апериодического звена первого порядка

$$W(p)_{\text{в}} = \frac{k_{\text{в}}}{T_{\text{в}}p + 1},$$

где $k_{\text{в}} = k_{\text{вср}}$ – коэффициент передачи звена.

Передаточная функция разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{в.раз}} = \frac{k_{\text{ос.в}} \cdot (T_{\text{рд}}p + 1) \cdot k_{\text{в}}}{T_{\text{рд}}p (\tau_{\text{зи}}p + 1) \cdot k_{\text{с}} \cdot T_{\text{в}}p + 1},$$

где $k_{\text{ос.в}} = 1$ – коэффициент обратной связи, $\tau_{\text{зи}} = \frac{T_{\text{зи}}}{3 \div 4}$.

Передаточная функция замкнутого контура

$$W(p)_{\text{в.зам}} = \frac{W(p)_{\text{в.раз}}}{1 + W(p)_{\text{в.раз}} \cdot k_{\text{ос.в}} + 1} = \frac{1}{\frac{k_{\text{с}}}{k_{\text{рд}} \cdot k_{\text{в}}} \cdot T_{\text{в}} p (\tau_{\text{зи}} p + 1) \cdot (T_{\text{рс}} p + 1) + 1} =$$

$$= \frac{1}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1},$$

где $a_3 = \frac{k_{\text{с}}}{k_{\text{рд}} \cdot k_{\text{в}}} \cdot T_{\text{в}} \tau_{\text{зи}} T_{\text{рс}};$

$$a_2 = \frac{k_{\text{с}}}{k_{\text{рд}} \cdot k_{\text{в}}} (T_{\text{в}} T_{\text{рс}} + T_{\text{в}} \tau_{\text{зи}}) = \frac{k_{\text{с}}}{k_{\text{рд}} \cdot k_{\text{в}}} T_{\text{в}} (T_{\text{рс}} + \tau_{\text{зи}});$$

$$a_1 = \frac{k_{\text{с}}}{k_{\text{рд}} \cdot k_{\text{в}}} \cdot T_{\text{в}}.$$

Ограничиваемся 2-м порядком, тогда условие настройки контура на модульный оптимум: $a_1^2 = 2 \cdot a_2;$

$$\left(\frac{k_{\text{с}}}{k_{\text{рд}} \cdot k_{\text{в}}} \cdot T_{\text{в}} \right)^2 = 2 \frac{k_{\text{с}}}{k_{\text{рд}} \cdot k_{\text{в}}} T_{\text{в}} (T_{\text{рс}} + \tau_{\text{зи}});$$

$$\frac{k_{\text{с}}}{k_{\text{рд}} \cdot k_{\text{в}}} \cdot T_{\text{в}} = 2 (T_{\text{рс}} + \tau_{\text{зи}}),$$

откуда коэффициент передачи регулятора

$$k_{\text{рд}} = \frac{T_{\text{в}} \cdot k_{\text{с}}}{k_{\text{в}} \cdot 2 \cdot T_{\mu\text{э}}} = \frac{2 \cdot 0,0065}{0,023 \cdot 2 \cdot 1} = 0,28,$$

где $T_{\mu\text{э}} = T_{\text{рс}} + \tau_{\text{зи}} = 1 + 3,2 \cdot 10^{-3} \approx 1 \text{ с},$

Результаты имитационных исследований САР давления воздуха перед горелкой

Полный имитационный цикл работы показан на рисунке 4.32.

Зона А – Б соответствует пуску двигателя на минимальную рабочую скорость и создание пускового давления перед горелкой не ниже уставки предупредительной сигнализации 0,15кПа. Значение пускового давления воздуха выбирается при наладке.

Зона Б – В соответствует включению регулятора давления воздуха и установлению рабочих значений параметров системы.

Зона В – Г соответствует рабочему режиму регулирования давления воздуха перед горелкой.

Анализ приведенных графиков доказывает работоспособность разработанного частотно-регулируемого электропривода в составе технологического контура регулирования давления воздуха перед горелкой.

На рисунке 4.33 приведены графики переходных процессов давления топлива и давления воздуха.

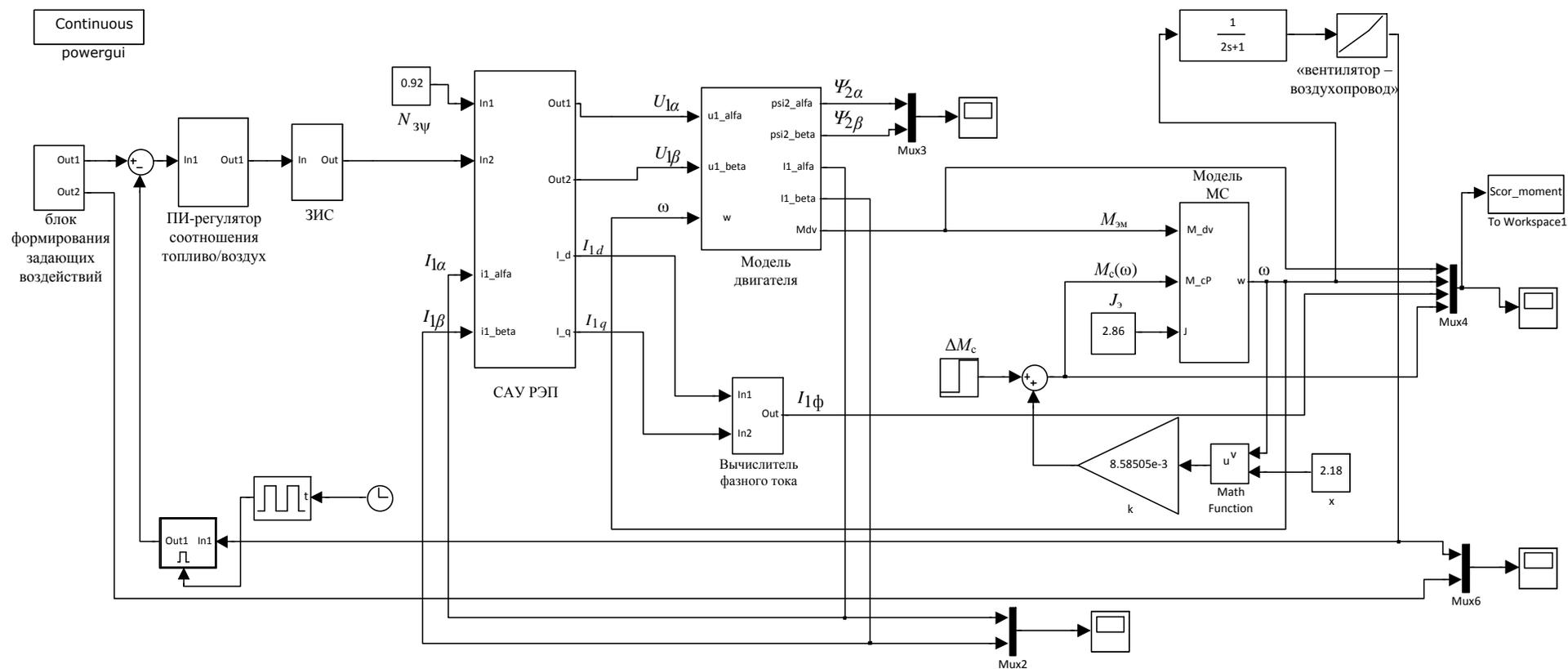


Рисунок 4.29 – Имитационная модель частотно-регулируемого асинхронного электропривода без датчиков потока и скорости в системе автоматического регулирования давления воздуха перед горелкой

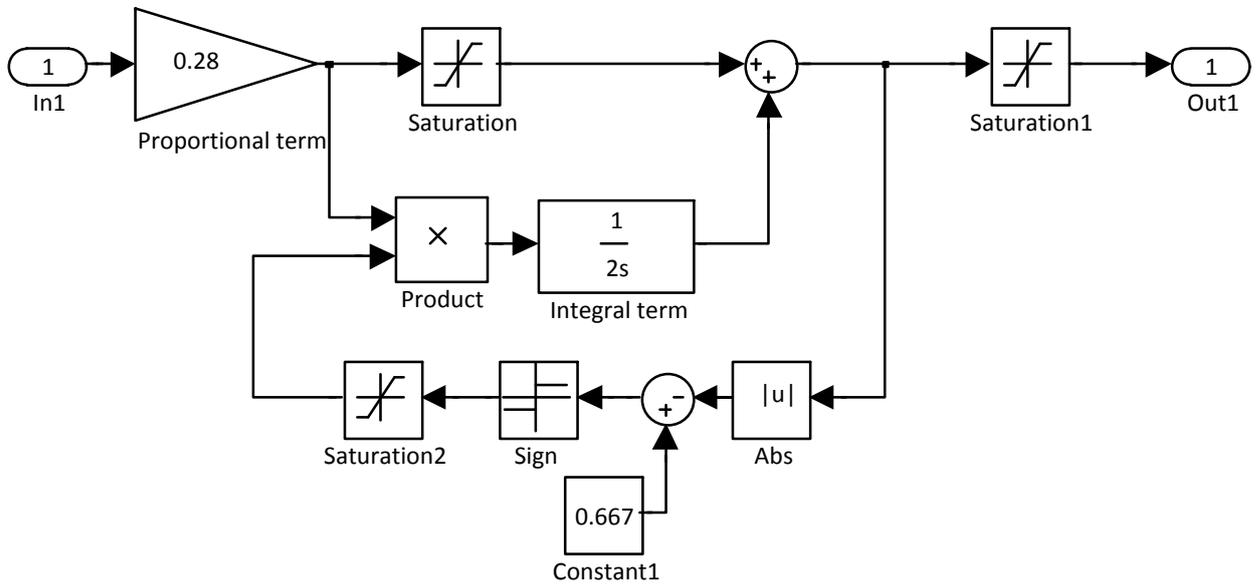


Рисунок 4.30 – Имитационная модель ПИ-регулятора соотношения топливо/воздух

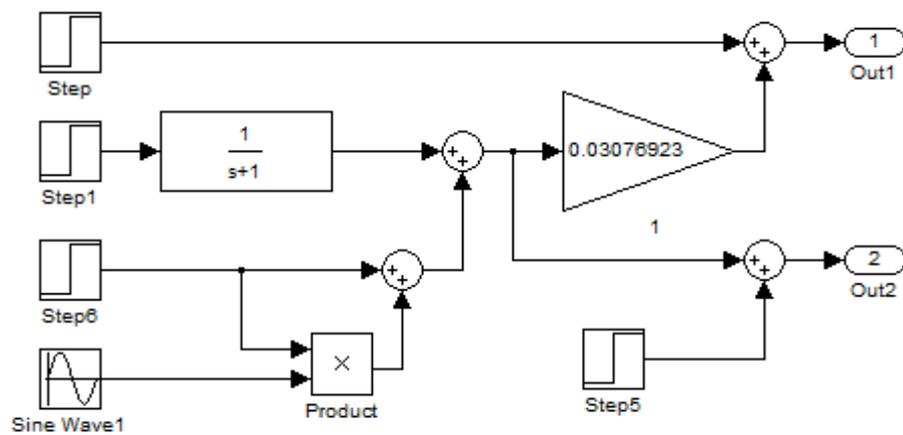


Рисунок 4.31 – Имитационная модель блока формирования задающих воздействий

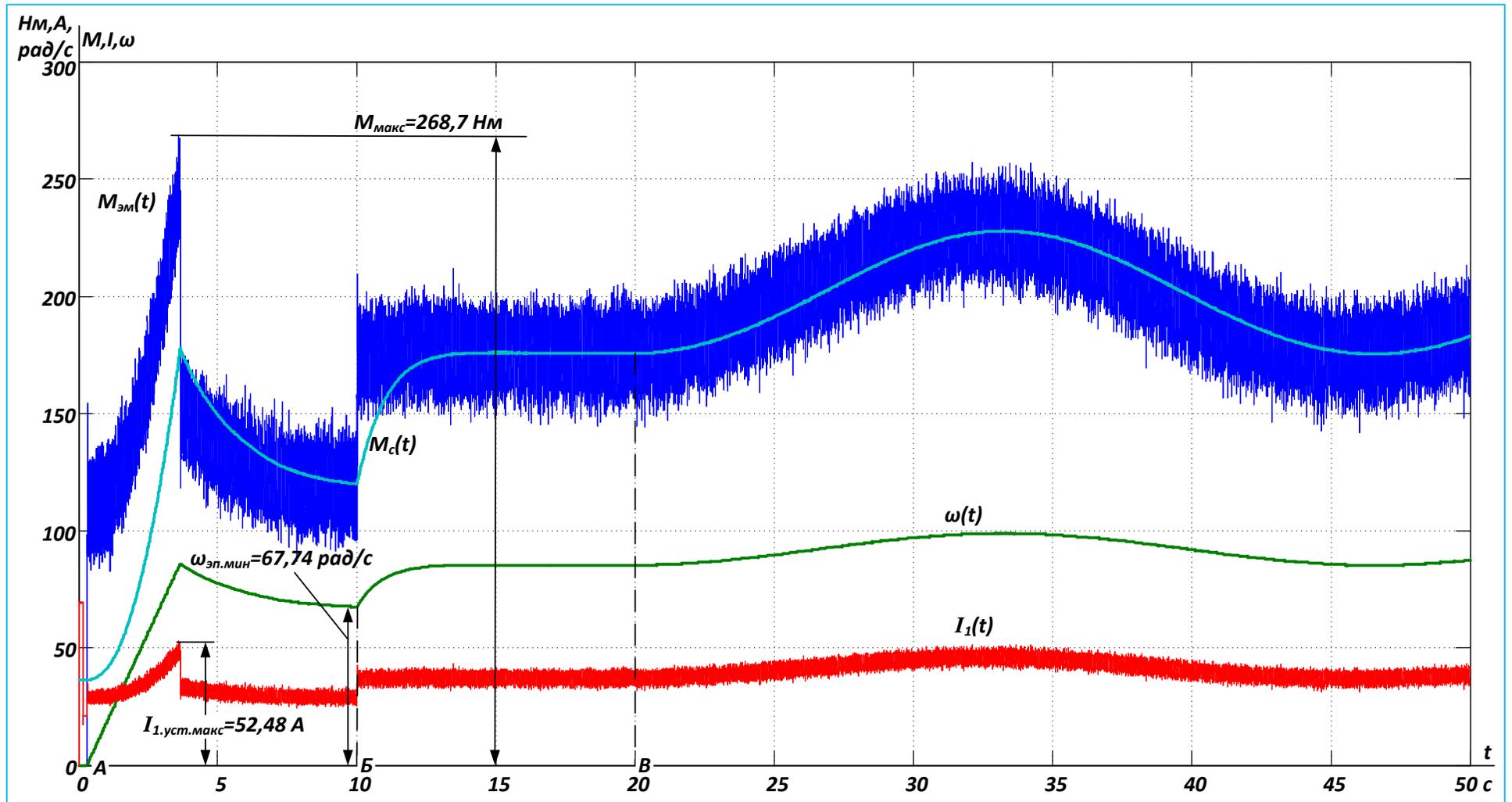


Рисунок 4.32 – Полный цикл работы: А-Б Разгон до минимальной рабочей скорости, Б-В включение регулятора давления воздуха, В-Г процесс регулирование частоты вращения вентилятора

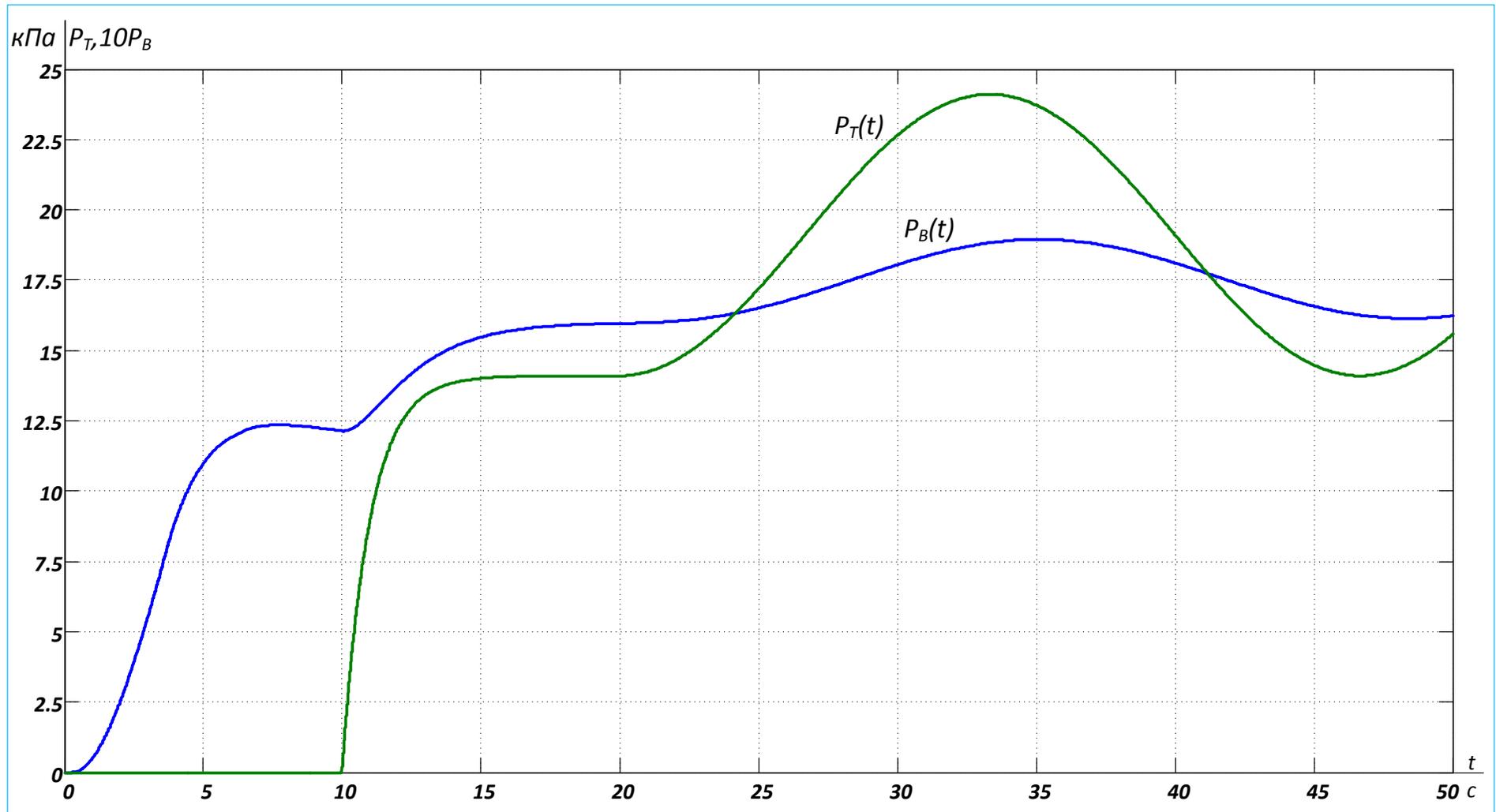


Рисунок 4.33 – Переходные процессы давления топлива и давления воздуха

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Борисов Никита Фёдорович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетика и электро- техника
Уровень обра- зования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электро- техника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Проект выполняется по заказу ООО «Нефтегазофизика» В реализации проекта задействовано 4 человека: руководитель проекта, инженер-разработчик, электромонтер, инженер наладчик
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- Отчисления по страховым взносам - 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование, - Потенциальные потребители результатов НТП, - Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения - Оценка научно-технического уровня проекта
<i>2. Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>	- Планирование выполнения проекта, - Расчет бюджета затрат на проектирование, в том числе расчет капитальных вложений в основные средства
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):
1. График Ганта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Борисов Никита Фёдорович		

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Важнейшим фактором успешного функционирования любого промышленного предприятия, в рамках жесткой конкуренции с отечественными и иностранными производителями, является постоянное совершенствование технологии и продукции. Новые технологии и модернизация — это необходимый фактор для успешного продвижения продукции. Современный рынок требует от отечественного производителя коренной реконструкции и модернизации устаревшего технологического оборудования. Совершенствование технологий производства с целью повышения качества продукции, экономии затраченных средств, внедрение новых идей и соответственно появление новых видов продукции с новыми качествами - все это в условиях свободной конкуренции на рынке требует от товаропроизводителя совершенствоваться и внедрять новое технологическое оборудование.

Данный раздел выпускной квалификационной работы посвящен выбору наиболее выгодного варианта электропривода для рассматриваемого объекта автоматизации. В данном проекте рассматривается частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Преимуществами такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока являются:

- более низкая стоимость;
- минимальные затраты на обслуживание;
- обеспечение требуемой степени защиты.

Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Это важно для рассматриваемого применения, так как оно связано с применением в помещении с высокой влажностью в окружающей среде и требует степени защиты электрических машин не ниже IP44.

5.1 Анализ технических решений

Анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- бюджет разработки;

- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в табл 5.2. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четыре конкурентных товаров и разработок. В качестве конкурентных товаров были рассмотрены электроприводы (Б_ф - 5A200L6, Б_{к1} - 5AM132M6Y3, Б_{к2} - 5AM112M2Y3) Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 5.2, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Таблица 5.2. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособности		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	4	3	2	0,28	0,21	0,14
3. Энергоэкономичность	0,12	5	4	4	0,6	0,48	0,48
4. Надежность	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
5. Уровень шума	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
6. Безопасность	0,08	4	2	2	0,32	0,16	0,16
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	3	3	0,16	0,12	0,12
2. Цена	0,16	4	5	3	0,64	0,8	0,48
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,13	5	5	3	0,65	0,65	0,39
4. Послепродажное обслуживание	0,05	3	4	1	0,15	0,2	0,05
Итого	1				4,25	3,92	3,22

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Итогом данного анализа является определение конкурентных преимуществ, которые отличающихся высоким уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров. Из данного анализа видно, что наиболее перспективен электропривод *5A200L6*.

5.2 Планирование научно–исследовательских работ

Трудоемкость характеризуется количеством живого труда, затраченного на изготовление какой-либо продукции. Все этапы работы и значения трудоемкости занесены в план-график, таблица 5.3.

Таблица 5.3. Этапы и содержание НИР

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1. Разработка технического задания	1.1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
2. Подбор литературы	2.1.	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
3. Расчет параметров, выбор двигателя и ПЧ	3.1.	Расчет мощности двигателя	Инженер
	3.2.	Выбор преобразователя частоты	Инженер
	3.3.	Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала. Оптимизация контуров	Инженер
	3.4.	Разработка электрической схемы привода.	Инженер
	3.5.	Анализ результатов	Руководитель, инженер
4. Моделирование работы привода	4.1.	Разработка программы исследований модели	Руководитель, инженер
	4.2.	Создание имитационной модели в среде Simulink программы Matlab	Инженер
	4.3.	Исследование нелинейной САУ СЭП асинхронного привода с векторным	Инженер

		управлением	
	4.4.	Исследование нелинейной САУ СЭП в заданных режимах работы	Инженер
	4.5.	Исследование двухмассовой системы САУ СЭП	Инженер
5. Обобщение и оценка результатов	5.1	Оценка результатов.	Руководитель, инженер

5.3 Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)

Выбор структурной схемы сводится к сравнению нескольких возможных вариантов и выбору наиболее оптимальной.

I вариант: электропривод с двигателем постоянного тока;

II вариант: частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором

Таблица 5.4 Оценка и выбор двигателей

	Варианты		Примечания (преимущества недостатки)
	I	II	
1. Общее количество составных частей	4	4	
2. Количество типов элементов	4	4	
3. Количество оригинальных элементов	2	2	
4. Стоимость покупных комплектующих		Стоимость в 2 раза меньше	Простота конструкции
5. Показатели надежности		Надежность, простота обслуживания	Отсутствие щеточного аппарата
6. Питание:			
а) вид	U=380 В	U=380 В	
б) мощность	P=60 кВт	P=30 кВт	
7. Габариты		Меньше в 2 раза	
8. Масса		Легче в 2 раза	

Для оценки коммерческого потенциала ИР были рассмотрены следующие

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

Таблица 5.5 Коэффициент весомости критериев

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

По каждому частотному критерию устанавливаем оценку степени обеспечения цели:

<i>Уровень цели</i>	<i>низкий</i>	<i>средний</i>	<i>высокий</i>
<i>Оценка обеспечения цели</i>	<i>1.0</i>	<i>0.5</i>	<i>0</i>

Оценка обеспечения различных вариантами электроприводов выбранных качественных характеристик представлена в таблице 5.6.

Таблица 5.6 Оценка качества по групповым критериям

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

Из таблицы 5.6 видно, что выбранные качественные характеристики обеспечиваются в варианте II.

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности проекта необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$HTY = \sum_{i=1}^n k_i \cdot \Pi_i,$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

Π_i – количественная оценка i – го признака.

Таблица 5.7 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.6
Теоретический уровень	0.4
Возможность реализации	0.2

Таблица 5.8 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 5.9 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, вещество, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 5.10 – Возможность реализации по времени и масштабам

<u>Время реализации</u>	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
<u>Масштабы реализации</u>	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0.6, P_1 = 6, k_2 = 0.4, P_2 = 7,$$

$$k_3 = 0.2, P_3 = 10, k_4 = 0.2, P_4 = 4.$$

$$НТУ = 0.6 \cdot 6 + 0.4 \cdot 7 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 9.2$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет хорошие показатели новизны, значимость теоретического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей за сравнительно небольшое время реализации.

5.4 Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР

5.4.1 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4, \quad (3)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{1,4}{1} = 1,4, \quad (4)$$

где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

5.4.2 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

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

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 1,4 \cdot 1,49 = 2,086 \approx 2, \quad (5)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{121}{121 - 40} = 1,4938 \approx 1,49, \quad (6)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней за период дипломирования;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней за период дипломирования;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней за период дипломирования.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (табл. 5.8).

Таблица 5.11 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Исполнители	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
		t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
1. Разработка ТЗ на проектирование	Р	1	–	2	–	1,4	–	1,4	–	2	–
2. Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта	Р, И	3	3	4	4	3,4	3,4	1,7	1,7	3	3
3. Описание объекта автоматизации (модернизации)	Р, И	5	5	9	9	6,6	6,6	3,3	3,3	5	5
4. Кинематическая схема механизма	И	–	2	–	5	–	3,2	–	3,2	–	5
5. Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	И	–	7	–	9	–	7,8	–	7,8	–	12
6. Расчет мощности и выбор электродвигателя	И	–	1	–	3	–	1,8	–	1,8	–	3
7. Выбор способа регулирования скорости	И	–	1	–	2	–	1,4	–	1,4	–	2
8. Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	И	–	3	–	8	–	5	–	5	–	7

9. Разработка математической модели системы АУ ЭП	И	–	10	–	17	–	12,8	–	12,8	–	19
10. Оптимизация САР электропривода	И	–	10	–	15	–	12	–	12	–	18
11. Разработка программы имитационного моделирования	Р, И	3	3	5	5	3,8	3,8	1,9	1,9	3	3

Продолжение таблицы 5.11

12. Вопросы безопасности и экологичности проекта	И	–	2	–	4	–	2,8	–	2,8	–	4
13. Техничко-экономические расчеты	И	–	5	–	7	–	5,8	–	5,8	–	9
14. Составление пояснительной записки	И	–	14	–	21	–	16,8	–	16,8	–	25
15. Разработка графического сопровождения проекта	И	–	2	–	4	–	2,8	–	2,8	–	4
16. Сдача проекта	И	–	1	–	1	–	1	–	1	–	1

На основе табл. 5.11 строится календарный план-график (Рисунок 5.1). График строится в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

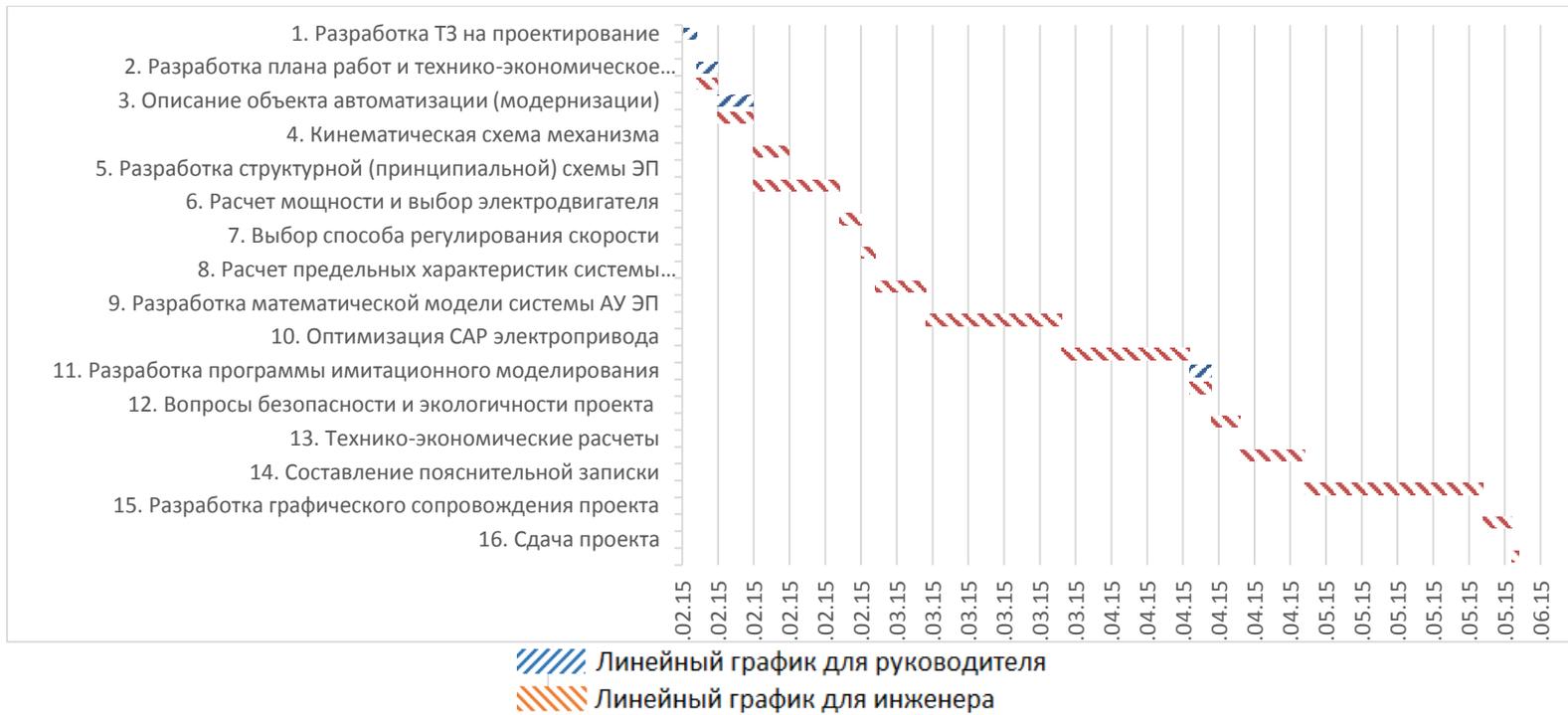


Рисунок 5.1 - Календарный план-график

5.5 Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР

Капитальные вложения (инвестиции в реальные активы предприятия) включают:

- Затраты на предпроектные работы;
- Затраты на приобретение, доставку, установку и наладку оборудования;
- Сопряженные затраты
- Затраты на пополнение оборотных средств.

Таблица 5.12– Смета затрат капитальных вложений на реализацию проекта

	Кол-во	Цена, руб	Общая стоимость, руб
I. Оборудование:			
Электродвигатель 5A200L6 ¹	1	41080	41080
Преобразователь серии ИРБИ 8ХЗ, фирмы ИРБИС ²	1	16800	16800
Пуско-регулирующая аппаратура (20% стоимости некомплектного оборудования)		6366	6366
II. Стоимость монтажных и пусконаладочных работ, в % от I.		9260	9260
Комплектный привод (6%)			
Некомплектный (15%)		1343	1343
III. Транспортно-заготовительные расходы 2%(I+II)		926	926
IV. Плановые накопления монтажной организации (6-15%) от II		938978	938978
V. Сметная стоимость проектно-конструкторских работ			
Всего затрат			1020160

1 <http://www.geway.ru/index.php/elektrodivigalel/dvigateli-trekhfaznye-asinkhronnye/elektrodivigatel-trekhfaznyj-asinkhronnyj-5a20016-30-1000-detail>

2 <http://xn--c1adscgddbcky1b.xn--p1ai/p9705246-preobrazovatel-chastoty-serii.html>

Были рассчитаны капитальные вложения необходимые для реализации проекта с учетом цен действительных на 2015 год.

5.6 Составление бюджета инженерного проекта

5.6.1 Расчет сметы затрат на проектирование.

Расчет сметы затрат на выполнение проекта, рекомендуется осуществлять методом сметных калькуляций по отдельным статьям расходов, всех видов необходимых ресурсов.

Таблица 5.10 - Смета затрат на проектирование

Статьи расхода	Сумма	Примечания
	руб	
1. Материалы, покупные п/ф и комплектующие изделия	41000	ПК для проектирования
2. Специальное оборудование	38000	Стенды, приборы, установки.
3. Основная заработная плата научно-производственного персонала	350000	Трудоемкость нормо-д, Стоимость 1-го нормо-д.
4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	35000	10% от ст.3
5. ЕСН	115500	30%(ст.3+ст.4)
6. Расходы на научные и производственные командировки	30800	8% от(ст.3+ст.4)
7. Накладные расходы	280000	80% от ст.3
8. Плановая прибыль	48678	6% от (ст.3+4+5+7)
9. Годовая сметная стоимость проекта	938978	

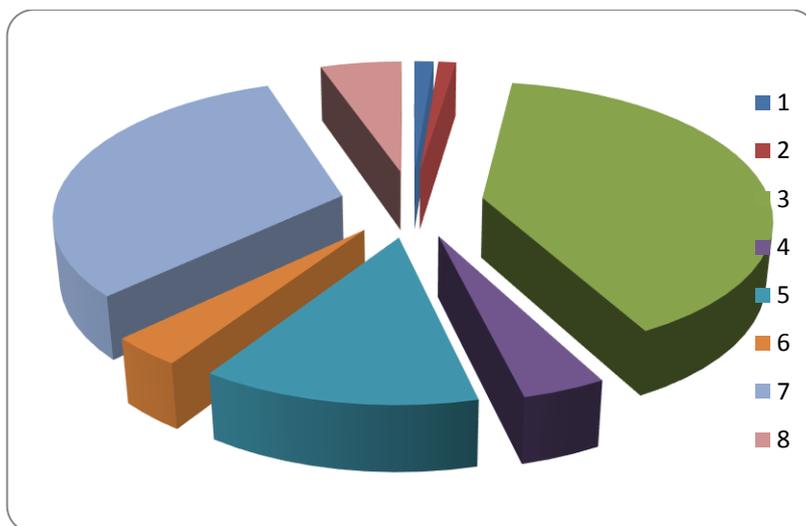


Рисунок 5.1 – Круговая гистограмма затрат на проектирование
5.6.2 Расчет расходов при эксплуатации электропривода

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Расходы на электроэнергию
- Заработная плата обслуживающего персонала
- Амортизационные отчисления
- Затраты на ремонт
- Расходы на материалы, связанные с эксплуатацией

Расчеты отдельных статей эксплуатационных расходов ведутся по формулам:

Расчет стоимости силовой электроэнергии

Силовая электроэнергия используется для питания приводов рабочих механизмов и рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}},$$

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{30 \cdot 6400 \cdot 0,65 \cdot 0,7 \cdot 0,8}{0,94 \cdot 0,93} = 79945 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где

$P_{\text{уст}}$ – мощность установленного оборудования, кВт;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;

$k_{\text{м}}$ – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0,6–0,7);

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования оборудования по машинному времени (0,6–0,8);

$k_{\text{з}}$ – средний коэффициент загрузки оборудования (0,7–0,8);

k_c – коэффициент, учитывающий потери в сети (0,92–0,95);

$k_{дв}$ – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0,9–0,93).

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{эл} = W_{сил\ эн} \cdot C_э,$$

где $C_э$ – стоимость одного кВт·часа электроэнергии для промышленных предприятий. $C_э$ – одноставочный тариф на потребляемую электроэнергию составляет 2,08 руб/кВт·ч для Томской области, на 2015 год.

$$C_{эн} = 79945 \cdot 2,08 = 166285,6 \text{ руб}$$

Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100},$$

где

K – капитальные вложения в электрооборудование;

H_A – проценты отчислений на амортизацию.

– Электродвигатели – 9.6%

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 41080 \cdot 0,096 = 3943,68.$$

– Преобразователи – 3.5%

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 16800 \cdot 0,035 = 588.$$

– Электропривод – 9.6%

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 57880 \cdot 0,096 = 5556,48.$$

Оборудование электроприводов (электродвигатели, генераторы, трансформаторы и т.д.) является ремонтируемым. Оно подвергается планово-предупредительным ремонтам, периодичность и объем которых регламентируется системой ППР и сетей промышленной энергетики.

5.6.3 Затраты на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электропривода

$$C_{общ} = C_{зар} + C_M + C_{опр} + C_{охр},$$

где

$C_{зар}$ = 96 руб·час – заработная плата ремонтных рабочих;

$C_m = 84 \text{ руб} \cdot \text{час}$ – стоимость материалов для ремонта (= основная зарплата без доплат);

$C_{\text{опр}} = 168 \text{ руб} \cdot \text{час}$ – общепроизводственные расходы (= 200% от основной зарплат); $C_{\text{охр}} = 67,2 \text{ руб} \cdot \text{час}$ – общехозяйственные расходы (= 80% от основной зарплат).

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_m + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}} = 96 + 84 + 168 + 67,2 = 415,2 \text{ руб} \cdot \text{час}$$

Для определения составляющих затрат на ППР необходимо установить периодичность ремонтного цикла, межремонтного периода, и трудоемкость работ по ППР. По трудоемкости работ определяется зарплата электроперсонала.

Таблица 5.14– Нормы трудоемкости ремонта электропривода

Мощность, кВт	Норма трудоемкости, чел-ч		
	Капитального ремонта без перемотки обмоток	Текущего ремонта	Технического обслуживания
10-30	20	4	2

Таблица 5.15 – Затраты на ППР электропривода

	Норма трудоемкости, чел-ч	Периодичность	Затраты на ППР электропривода в час	Затраты на ППР электропривода
Кап.ремонта без перемотки обмоток	20	Раз в 2 года	415,2	8304
Текущего ремонта	4	Раз в 6 месяцев	415,2	1660,8
Технического обслуживания	2	Раз в месяц	415,2	830,4

В данной таблице рассчитаны затраты необходимые на планово–предупредительные работы, которые способствуют продлению эксплуатации данного электропривода.

Таблица 5.16 – Затраты на ППР электропривода в год

	Затраты на ППР электропривода в год
Капитального ремонта без перемотки обмоток	4152
Текущего ремонта	3321,6
Технического обслуживания	9964,8
Итого	17438,4

В данной таблице рассчитаны затраты на планово-предупредительные работы, которые были произведены, исходя из расчетов ППР электропривода в год.

Таблица 5.17 – Эксплуатационные расходы

Вид расходов	Величина расходов, руб
Расходы на эл. энергию	79945
Амортизационные отчисления	10088,16
Затраты на ППР	17438,4
Всего расходов	107471,56

5.7 Экономическая эффективность.

Годовой расход электроэнергии до реализации проекта:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}},$$

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{60 \cdot 6400 \cdot 0,65 \cdot 0,7 \cdot 0,8}{0,94 \cdot 0,93} = 159890 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где

$P_{\text{уст}}$ – мощность установленного оборудования, кВт;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;

$k_{\text{м}}$ – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0,6–0,7);

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования оборудования по машинному времени (0,6–0,8);

$k_{\text{з}}$ – средний коэффициент загрузки оборудования (0,7–0,8);

$k_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий потери в сети (0,92–0,95);

$k_{\text{дв}}$ – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0,9–0,93).

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил.эн}} \cdot C_{\text{э}},$$

где $C_{\text{э}}$ – стоимость одного кВт·часа электроэнергии для промышленных предприятий. $C_{\text{э}}$ - одноставочный тариф на потребляемую электроэнергию составляет 2,08 руб/кВт·ч для Томской области, на 2015 год.

$$З_{\text{эл}} = W_{\text{сил.эн}} \cdot T = 159890 \cdot 2,08 = 332571,2$$

Затраты на электроэнергию после реализации проекта из таблицы 5.13, руб/год:

$$З_{\text{эл}} = 79945.$$

Экономия затрат на электроэнергию, руб/год:

$$Э_{\text{э}} = З_{\text{эл}} - З_{\text{эл}} = 332571,2 - 79945 = 252626,2.$$

Для каждого последующего года экономия рассчитана с учетом ежегодного удорожания электроэнергии на 10%.

Жизненный цикл проекта: $t = 4$ года.

Инвестиционные затраты на разработку и реализацию проекта из таблицы 5.09, руб.:

$$ИЗ = 1020160.$$

Годовая амортизация, руб/год:

$$A = \frac{ИЗ}{t} = \frac{1020160}{4} = 255040,25.$$

Темп инфляции с начала 2015 года: $i = 7,91\%$;

Ставка рефинансирования ЦБР: $r = 8,25\%$;

Норма дисконта:

$$E = \frac{1+r/100}{1+i/100} - 1 = \frac{1+8,25/100}{1+7,91/100} - 1 = 0,003151,$$

Коэффициент дисконтирования:

$$d = \frac{1}{(1+E)^t},$$

где d – коэффициент дисконтирования; t – текущий год.

$$ЧДД = P_{t-1} + (ЧДП_t - ИЗ) \cdot d;$$

где P_{t-1} - результат ЧДД предыдущего года;; ЧДП – чистый денежный поток; ИЗ – инвестиционные затраты; ЧДД – чистый дисконтированный доход.

$$ЧДП = Э_3 + A,$$

где $Э_3$ - экономия электроэнергии; A – амортизация.

Рассчитаем ЧДД для всего срока службы установки:

$$ЧДД_0 = 0 + (0 - 1020160) \cdot 1 = -1020160 \text{ руб};$$

$$ЧДД_1 = -1020160 + (507666,2 - 0) \cdot 0,997 = -514016,8 \text{ руб};$$

$$ЧДД_2 = -514016,8 + (532928,82 - 0) \cdot 0,994 = 15714,45 \text{ руб};$$

$$ЧДД_3 = 15714,45 + (560717,7 - 0) \cdot 0,991 = 571385,69 \text{ руб};$$

$$ЧДД_4 = 571385,69 + (591285,47 - 0) \cdot 0,987 = 1154984,5 \text{ руб};$$

Результаты расчётов сведём в таблицу 5.18.

Таблица 5.18 – Расчёт экономической эффективности проекта

Год		0	1	2	3	4
$Z_{э1}$	$W_{\text{сил.эн}} \cdot T$ (1 год)	0	332571,2	365828,32	402411,15	442652,27
	$W_{\text{сил.эн}} \cdot T \cdot 10\%$ (2-4 года)					
$Z_{э2}$	$W_{\text{сил.эн}} \cdot T$ (1 год)	0	79945	87939,5	96733,45	106406,8
	$W_{\text{сил.эн}} \cdot T \cdot 10\%$ (2-4 года)					
$\mathcal{E}_э$	$Z_{э1} - Z_{э2}$	0	252626,2	277888,82	305677,7	336245,47
ИЗ, руб.		1020160	-	-	-	-
А, руб.	$\frac{ИЗ}{t}$	0	255040	255040	255040	255040
ЧДП, руб.	$\mathcal{E}_э + А$	0	507666,2	532928,82	560717,7	591285,47
d	$\frac{1}{(1+E)^t}$	1	0,997	0,994	0,991	0,987
ЧДД, руб.	$P_{t-1} + (ЧДП_t - ИЗ) \cdot d$	- 1020160	- 514016,8	15714,448 48	571385,6 9	1154984,5

Из полученных результатов приведенных в таблице 5.15 следует, что затраты на внедрение разработки целесообразны.

5.7.1 Срок окупаемости проекта

Срок окупаемости определяется как ожидаемое число лет, необходимое для полного возмещения инвестиционных затрат, год:

$$T_{\text{ОК}} = T_{\text{ЛЕТ}} + \frac{S_{\text{НЕВОЗ}}}{P_{\text{НАЛИЧН}}} = 2 + \frac{514016,8}{(532928,82 - 514016,8) \cdot 0,994} = 2,49,$$

где, $T_{\text{лет}}$ – число лет, предшествующих году окупаемости;

$S_{\text{невозм}}$ – невозмещенная стоимость на начало года окупаемости;

$P_{\text{наличн}}$ – приток наличности в течении года окупаемости.

5.7.2 Чистый текущий дисконтированный доход

ЧТДД рассчитывается по формуле, руб.:

$$\text{ЧТДД} = \text{ПД} - \text{ПР} = 2192598 - 1020160 = 1172438,$$

где ПД – суммарные приведенные доходы;

ПР – приведенные затраты на проект.

5.7.3 Ставка доходности (коэффициент рентабельности) проекта

Показатель является индексом, отражающим соотношение положительных и отрицательных денежных потоков по проекту, и рассчитывается по формуле:

$$СДП = \frac{ПД}{ПР} = \frac{2192598}{1020160} = 2,15,$$

В данной части ВКР был экономически обоснован выбор электропривода с асинхронным двигателем и преобразователем частоты, был проведен расчет коэффициента научно - технического уровня, который оказался довольно высоким, что указывает на высокий потенциал данного проекта. Так же было выполнено планирование проектных работ, расчет сметы затрат на проектирование, расчет капитальных вложений на реализацию и расчет расходов при эксплуатации данного электропривода. Были рассчитаны издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов, т.е. затраты на планово-предупредительные работы.

Выбранный электропривод является более экономически выгодным так как имеет более высокие эксплуатационные показатели в сравнении с заменяемым приводом. Это выражается в отсутствии быстроизнашивающихся частей (щёточный аппарат) и более современной элементной базе, позволяющей производить ремонт и обслуживание электропривода в разы быстрее. Так же, немаловажным является мощность привода, которая при тех же нагрузочных характеристиках составляет 30 кВт, что на 50% ниже заменяемого привода. Что напрямую влияет на возможность снижения эксплуатационных расходов.

Так же стоит отметить экономию электроэнергии, которая достигается путем регулирования электропривода, плавным пуском и возможностью регулировать частоту двигателя.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5г3а1	Борисов Никита Фёдорович

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Частотно регулируемый электропривод вентилятора котла БЭМ-25/4,0-380Г, применяемый для поддержания оптимального давления воздуха в камере сжигание топлива.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.</p>	<p><i>Вредными факторами являются:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Неблагоприятные климатические условия 2. Повышенный уровень шума 3. Недостаток необходимого освещения 4. Возможная загазованность <p><i>Опасными факторами являются:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 2. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования 3. Падение с высоты
<p>2. Экологическая безопасность:</p>	<p>- Загрязнение окружающей среды отходящими газами.</p>

	- По истечению срока службы проведение мероприятий по утилизации.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	-Возможные ЧС -Пожар -Взрыв
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	-Возрастное ограничение, требования к образованию -Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены. -Организация и охрана труда.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5г3а1	Борисов Никита Фёдорович		

6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

В данной квалификационной работе разработан электропривод вентилятора котла БЭМ-25/4,0-380Г. В экономическом разделе определена экономическая целесообразность от внедрения разработанного электропривода. Целью данного раздела является анализ вредных и опасных факторов труда работников котельной, где будет внедрен электропривод, разработка мер защиты от этих факторов, оценка условий труда и микроклимата рабочей среды. Кроме того, в разделе рассматриваются вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, даются рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

6.1 Производственная безопасность

Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.

Вредные производственные факторы - факторы, воздействие которых на работающих в определенных условиях людей может привести к заболеванию, снижению работоспособности и отрицательному влиянию на потомстве.

1. Отклонение показателей микроклимата в помещениях

Метеорологические условия – оптимальная и допустимая температура, относительная влажность и скорость движения воздуха – устанавливаются для рабочей зоны производственных помещений в соответствии с требованиями, исходя из категорий тяжести выполняемой работы, величины избытков явного тепла и периода года.

По степени физической тяжести работа персонала относится к категории тяжелых работ. Основные нагрузки на организм – физические, нервно-психологические, а также зрительные. В основном все метеорологические параметры цеха удовлетворяют требуемым нормам.

На производительность труда и состояние здоровья человека оказывает влияние состояние воздуха и метеоусловий рабочей зоны, которые характеризуются рядом параметров.

Содержание пыли в воздухе рабочего помещения ниже установленной нормы, по которой предельно-допустимая концентрация составляет более 10мг/м^3 .

Одновременно в рабочем помещении находится в среднем 3 человека, вентиляция в помещении искусственная: приточка и вытяжка.

Таблица 1 – Допустимые и оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах котельной

Период года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
Холодный	Тяжелая - III	16-18	13-19	40-60	<75	< 0,3	< 0,5
Теплый		18-20	15-26		<75 (при 24°С)		

6.2. Превышение уровня шума

Шум – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности. Он может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, преобразователями напряжения, работающими осветительными приборами дневного света, а так же проникает извне. В котельной присутствует постоянный шум от работающих котлоагрегатов.

В результате исследований установлено, что шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека. Действие шума различно: затрудняет разборчивость речи, вызывает снижение работоспособности, повышает утомляемость, вызывает изменения в органах слуха человека, ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция.

Предельно допустимые значения, характеризующие шум и вибрацию регламентируются. Норма эквивалентного уровня звука в помещении цеха равна 60 дБ по шкале А.

6.3. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточное освещение рабочего места и помещения является вредным фактором для здоровья человека, вызывающим ухудшение зрения. Неудовлетворительное освещение может, кроме того, являться причиной травматизма. Неправильная эксплуатация, так же как и ошибки, допущенные при проектировании и устройстве осветительных установок, могут привести к пожару, несчастным случаям. При таком освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых ошибок.

Необходимые нормы освещенности рабочей зоны нормируются СНиП 23-05-95 в зависимости от разряда зрительной работы, контраста объекта с фоном и характеристикой фона. Рабочее освещение должно создавать равно-

мерную освещенность и яркость рабочей поверхности, исключать возможность образования резких теней, обеспечивать правильную цветопередачу, быть экономным, надежным и удобным в эксплуатации.

В помещении котельной используется комбинированное освещение (общее и местное), искусственное и естественное. Для обеспечения требуемого освещения произведем расчет искусственной освещенности.

Искусственное освещение устраивается во всех основных и вспомогательных помещениях производственных зданий.

Согласно санитарно-гигиеническим требованиям рабочее место должно освещаться естественным и искусственным освещением. Персонал котельной следит за контролируемыми параметрами с местного пульта управления, напрягая при этом зрение. По нормам освещения и отраслевым нормам освещения рекомендуется 300 - 500 лк при общем освещении.

Произведем расчет освещенности.

Длина помещения (А) – 9м.

Ширина помещения (В) – 5м.

Высота помещения (Н) – 4 м.

Высота рабочей поверхности (h) – 1,1 м.

Коэффициент отражения стен (ρ_c) – 10%

Коэффициент отражения потолка (ρ_n) – 30%

Коэффициент запаса (К) – 1,6

Коэффициент неравномерности (Z) – 1,1

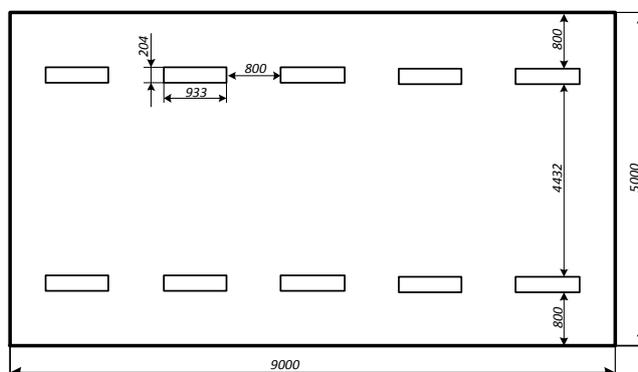


Рисунок 1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Выбираем светильники ОДР-2-30 и располагаем их согласно рисунку 1, учитывая, что длина светильников: 933 мм., ширина: 204 мм. Высота подвеса над полом: 3,5 м.

Расстояние от светильников до стен выбираем 0.7 – 0.8 м. ($\approx 1/3 L$)

Найдём индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{45}{2,4(9+5)} = 1,34$$

где S – площадь помещения, м²;

h – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м;

A, B – стороны помещения, м.

По таблицам находим:

- коэффициент использования: 44%
- минимальная освещённость: 300 лк

Величина светового потока лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 45 \cdot 1,6 \cdot 1,1}{20 \cdot 0,44} = 2700 \text{ лк}$$

где Φ – световой поток каждой из ламп, лм;

E_n – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, лк;

K_3 – коэффициент запаса;

S – площадь помещения, м²

n – число ламп в помещении;

η – коэффициент использования светового потока;

Z – коэффициент неравномерности освещения, для люминесцентных ламп берётся равным 1,1

Выбираем 20 люминесцентных ламп типа ЛБ3200-160 со световым потоком 3200 лм по 2 шт. в каждый светильник.

3. Загазованность маш зала котельной.

Помещение, где размещены котлы, зольное помещение, а также все вспомогательные и бытовые помещения оборудуют естественной и искусственной вентиляцией, а также, при необходимости, отоплением. Вентиляция котельной должна обеспечивать удаление вредных газов, пыли, подачу приточного воздуха и поддержание следующих температурных условий:

не ниже 12°C - зимой в зоне постоянного пребывания обслуживающего персонала;

18°C - в зоне размещения щитов; 15°C - на насосных станциях; 5°C - на закрытых разгрузочных устройствах и в помещениях без постоянного обслуживания; 10°C - в дробильных отделениях.

При проектировании отопления и вентиляции котельных следует руководствоваться [СП 60.13330](#) и настоящим сводом правил.

6.4 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

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

Опасность поражения током при проведении полевых работ заключается в возможности поражения от токоведущих элементов каротажной станции (подъёмника, лаборатории, скважинных приборов) из-за несоблюдения правил эксплуатации приборов, нарушения правил и инструкций, по техническим причинам таким, как ухудшение электроизоляции, дефектов монтажа; поэтому требования безопасности сводятся, в основном, к мерам электробезопасности.

Воздействие тока на человека:

- термическое

- электромагнитное
- биологическое

Исход поражения электрическим током:

- электрическая травма (ожог, металлизация кожи, разрыв кожных тканей);
- электрический удар (протекание тока по жизненно важным органам, наступление паралича, внешних повреждений практически нет).

Факторы, от которых зависит исход поражения электрическим током:

- электрическое сопротивление на человека;
- ток, протекающий через человека;
- путь протекания тока;
- условия внешней среды;
- подготовленность персонала.

При работе с электрическим током нужно соблюдать электробезопасность (ГОСТ 12.1.030-81 , ГОСТ 12.1.019-79 , ГОСТ 12.1.038-82).

При проведении работ электрическими методами геофизическая станция должна быть надежно заземлена во избежание поражения персонала электрическим током. Соединительные провода, применяющиеся для сборки электрических схем, не должны иметь обнаженных жил, неисправную изоляцию, концы их должны быть снабжены изолирующими вилками, муфтами или колodками. Сборку и разборку электрических схем, ремонт проводов, а также проверку исправности цепей следует выполнять при выключенном источнике тока. Подобные работы должны производить не менее двух исполнителей, имеющих соответственный допуск по электробезопасности. Предупреждение электротравматизма на объектах достигается выполнением следующих мероприятий:

- устройством электроустановок таким образом, чтобы обеспечивалась недоступность прикосновения человека к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- устройством защитного заземления;
- защитой от перехода высокого напряжения в сеть низкого напряжения;
- применением защитных средств при обслуживании электроустановок;
- проведением планово-предупредительных ремонтов и профилактических испытаний устройством зануления;
- применением специальных схем защитного отключения;
- электрооборудования, аппаратов, сетей, находящихся в эксплуатации;
- организационными и техническими мероприятиями по обеспечению безопасности при проведении переключений и ремонтных работ;
- специальным обучением лиц, обслуживающих электроустановки.

Во время работы установки и пробного ее пуска запрещается прикасаться к кабелю. Не допускается проведение каких-либо работ на кабеле при спуско-подъемных операциях. Защитой от прикосновения к токоведущим частям является изоляция проводов, ограждения, блокировки и защитные средства. Электрoзащитные средства предназначены для защиты людей от поражения

электрическим током. Средства защиты подразделяются на основные и дополнительные. К основным до 1000 В относятся: изолирующие клещи, указатели напряжения, диэлектрические перчатки и монтерский инструмент с изолированными рукоятками. Дополнительные до 1000 В диэлектрические калоши, коврики и подставки.

2. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования

Возможность получить различного вида травму, возникает на всех этапах полевых работ, но возрастание риска подвергнуться механическому воздействию, а в следствии, получить травму можно при погрузочно-разгрузочных, монтажно-демонтажных работах на скважине и др.

Управление оборудованием должно производиться лицами, имеющими на это право, подтвержденное соответствующими документами. Лица, ответственные за исправное состояние и безопасную эксплуатацию оборудования назначаются приказом начальника партии. Оборудование, аппаратура и инструмент должны содержаться в исправности и чистоте, соответствовать техническим условиям завода - изготовителя и эксплуатироваться в соответствии с требованиями эксплуатационной и ремонтной документации. Запрещается применять не по назначению, а также использовать неисправное оборудование, аппаратуру, приспособления и средства индивидуальной защиты (рукавицы, спецобувь, спецодежда). Ремонт оборудования должен производиться в соответствии с положением. Ручной инструмент (кувалды, молотки, ключи, лопаты и т.п.) содержится в исправности. Инструменты с режущими кромками и лезвиями следует переносить и перевозить в защитных чехлах и сумках. Рабочие и инженерно - технические работники, находящиеся на рабочих местах, обязаны предупреждать всех проходящих об опасности и запрещать им подходить к аппаратуре, проводам и заземлениям.

3. Падение с высоты.

Работами на высоте в строительстве и системе ЖКХ считаются трудовые операции, выполняемые на высоте более 1,3 м от поверхности земли, пола, площадок, междуэтажных перекрытий, покрытий, а также работы, выполняемые в опасных зонах, т.е. ближе чем 2 м от границы перепада по высоте 1,3 м при отсутствии страховочных ограждений или ЗУС.

К работам на высоте должны, как правило, допускаться лица, прошедшие специальное теоретическое и практическое обучение в специальных учебных организациях в установленном порядке и имеющие специальное удостоверение.

Работы на высоте следует производить в соответствии с проектом производства работ (ППР), который должен содержать средства и способы безопасного и удобного подъема и спуска работников на высоту, безопасного перехода с одного рабочего места на другое, средства индивидуальной и коллективной защиты, места и способы их закрепления

Для обеспечения безопасности работы на высоте следует применять средства ограждения опасных зон (СООЗ), средства индивидуальной защиты

(СИЗ) и средства коллективной защиты (СКЗ), разработанные в установленном порядке.

6.5 Экологическая безопасность

Загрязнение окружающей среды отходящими газами

Проблема защиты окружающей среды – одна из важнейших задач современности.

Защита окружающей среды – это комплексная проблема, требующая усилий всего человечества.

Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это потребует решения целого комплекса сложных технологических, конструкторских и организационных задач, основанных на использовании новейших научно-технических достижений.

Одна из самых серьезных проблем – потребление электроэнергии. С увеличением количества различных видов электрооборудования, увеличится и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей электростанций и их количества. И то и другое не обходится без нарушения экологической обстановки.

Рост энергопотребления приводит к таким экологическим нарушениям, как: изменение климата – накопление углекислого газа в атмосфере Земли (парниковый эффект); загрязнение водного бассейна Земли; опасность аварий в ядерных реакторах, проблема обезвреживания и утилизации ядерных отходов; изменение ландшафта Земли.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять электрооборудование с малым энергопотреблением.

Стоит также отметить, что для снижения вреда, наносимого окружающей среде при производстве электроэнергии, необходимо искать принципиально новые виды производства электроэнергии.

В процессе горения топлива наряду с выделением тепловой энергии с отходящими газами выбрасывается ряд веществ, оказывающих отрицательное воздействие на биосферу. Поэтому важнейшей характеристикой эффективности процесса сжигания топлива является коэффициент избытка воздуха.

Для эффективного и качественного сжигания топлива в котельных агрегатах должно быть точно сбалансировано соотношение "топливо - воздух" по режимной карте. Недостаток воздуха при горении вызывает неполное сгорание и, как следствие, перерасход топлива. Избыток воздуха также приводит к перерасходу топлива на нагрев лишнего воздуха в составе отходящих газов.

В обоих случаях сжигание топлива сопровождается повышенным выбросом в атмосферу высокотоксичных газов (таблица 6.2).

Таблица 6.2 Воздействие вредных выбросов котельной на биосферу

Вещество	Характеристики
Оксид азота (NO _x)	Оказывает вредное воздействие на здоровье человека и способствует образованию парникового эффекта и разрушению озонового слоя, что также отрицательно влияет на здоровье человека. Оксид азота вызывает вымирание лесов, кислотные дожди
Моноксид углерода (CO)	Выделяется в результате неполного сгорания топлива. Взаимодействует с другими веществами и оказывает разнообразное вредное воздействие (угарный газ)
Углекислый газ (CO ₂)	Образование CO ₂ – необходимое условие процесса горения (производства энергии). Экологические законы ограничивают уровень выбросов CO ₂ . Способствует созданию парникового эффекта

Вещество Характеристики Оксид азота (NO_x) Оказывает вредное воздействие на здоровье человека и способствует образованию парникового эффекта и разрушению озонового слоя, что также отрицательно влияет на здоровье человека. Оксид

азота вызывает вымирание лесов, кислотные дожди Моноксид углерода (CO) Выделяется в результате неполного сгорания топлива. Взаимодействует с другими веществами и оказывает разнообразное вредное воздействие (угарный газ) Углекислый газ (CO₂) Образование CO₂ – необходимое условие процесса горения (производства энергии). Экологические законы ограничивают уровень выбросов CO₂. Способствует созданию парникового эффекта

На рисунке 2 приведена зависимость содержания основных компонентов продуктов сгорания (O₂, CO₂, CO, NO_x) и КПД (η) котла от коэффициента избытка воздуха (α).

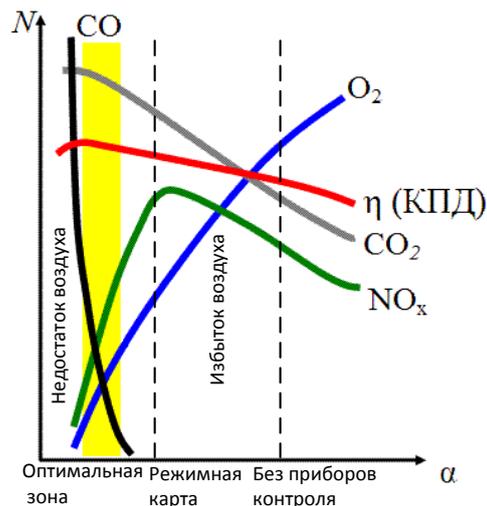


Рисунок 2 – Зависимость основных компонентов продуктов сгорания от коэффициента избытка воздуха $N(\alpha)$.

Уменьшение коэффициента избытка воздуха, помимо снижения потерь теплоты с уходящими газами, является эффективным методом подавления образования оксидов азота. Это достигается только регулированием без удорожания технологического оборудования и усложнения конструкции горелочных устройств. Появление химнедожога определяет границу допустимого воздействия на уменьшение воздуха. Эта граница является гибкой и зависит, помимо характеристик горелочных устройств, от нагрузки котла, состава топлива (теплоты его сгорания, климатических условий, температуры топлива и воздуха, технического состояния оборудования и др. [23]). Область оптимального режима сжигания топлива, обеспечиваемого автоматическим регулированием, выделена на рисунке 2.

Получить комплексное решение по автоматизации и оптимизации процесса горения позволяет применение регулируемого электропривода с преобразователем частоты. Разряжение в топке котла держится одинаковым при всех режимах работы (диапазон изменения мощности горелки от 15% до 100%, в зависимости от температуры наружного воздуха), а настройка соотношения «газ-воздух» при изменении мощности горелки не сбивается, поэтому содержание вредных газов в дымовой трубе минимальное.

Утилизация

Что касается электроприводов, то они рассчитаны на длительный срок службы, по истечении которого должны быть утилизированы.

Утилизируемые электроприводы демонтируются, разбираются и сортируются по различным материалам: отходы электронных деталей, черные и цветные металлы, смазочные материалы.

При утилизации должны соблюдаться следующие правила:

- отсортированные материалы устраняются через упорядоченную систему утилизации, с соблюдением местных правил;
- при утилизации должны быть выдержаны нормы охраны окружающей среды;

-смазочные материалы представляют опасность загрязнения водных ресурсов, поэтому не должны попасть в окружающую среду.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Основы противопожарной защиты предприятий.

Пожар представляет особую опасность, так как он грозит уничтожением аппаратуры, инструментов, документов, которые представляют большую материальную ценность, и возникновением пожара в соседних помещениях. А также может представлять серьезную угрозу жизни и здоровью персонала.

Согласно, в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как производственное помещение по степени пожароопасности относится к категории Г, т.е. к помещениям с газообразными сгораемыми веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий технического, эксплуатационного, организационного плана.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

Причиной загорания может быть:

- короткое замыкание в блоке питания или высоковольтном блоке;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: двери, столы, изоляция кабелей и т.п.;
- наличие кислорода, как окислителя процессов горения;
- наличие утечек с подводящих трубопроводов.

Необходимо предусмотреть ряд мер, направленных на обеспечение тушения пожара:

- обеспечить подъезды к зданию;
- обесточивание электрических кабелей;
- наличие пожарных щитов и ящиков с песком в коридорах, асбестовое полотно;
- наличие гидрантов с пожарными рукавами;
- тепловая сигнализация;
- телефонная связь с пожарной охраной;
- огнетушители: химический пенный ОХП-10 и углекислотный ОУ-5.

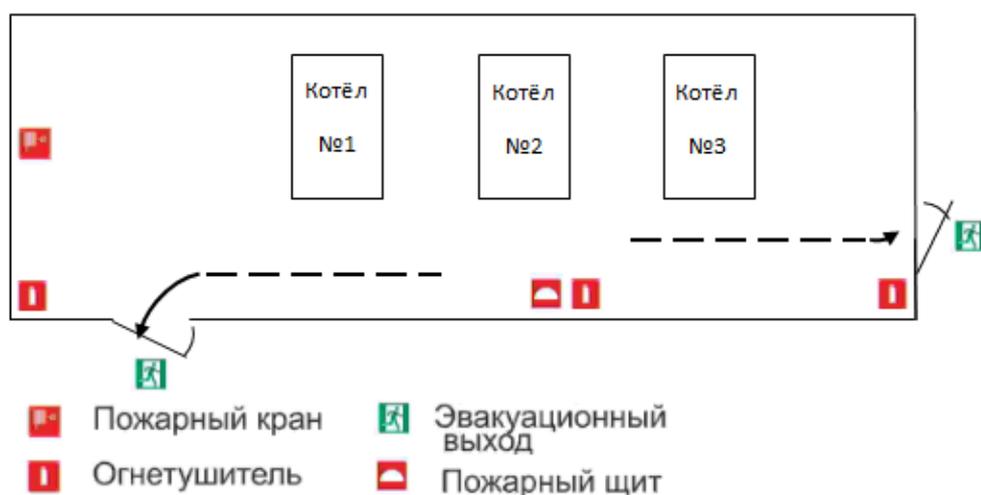


Рисунок 3 – План эвакуации персонала при пожаре

6.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Электроустановки должны находиться в технически исправном состоянии, обеспечивающем безопасные условия труда. Электроустановки должны быть укомплектованы испытанными, готовыми к использованию защитными средствами, а также средствами оказания первой медицинской помощи в соответствии с действующими правилами и нормами. В организациях должен осуществляться контроль за соблюдением настоящих Правил, требований инструкций по охране труда, контроль за проведением инструктажей. Ответственность за состояние охраны труда в организации несет работодатель который имеет право передать свои права и функции по этому вопросу руководящему работнику организации распорядительным документом. Не допускается выполнение распоряжений и заданий, противоречащих требованиям настоящих Правил. Работники, виновные в нарушении требований настоящих Правил, привлекаются к ответственности в установленном порядке.

Требования к персоналу

Работники, принимаемые для выполнения работ, должны иметь профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы. Профессиональная подготовка персонала, повышение его квалификации, проверка знаний и инструктажи проводятся в соответствии с требованиями государственных и отраслевых нормативных правовых актов по организации охраны труда и безопасной работе персонала.

Проверка состояния здоровья работника проводится до приема его на работу, а также периодически, в порядке, предусмотренном Минздравом России.

Электротехнический персонал до допуска к самостоятельной работе должен быть обучен приемам освобождения пострадавшего от действия электрического тока, оказания первой помощи при несчастных случаях.

Электротехнический персонал должен пройти проверку знаний настоящих Правил и других нормативно-технических документов (правил и инструкций по технической эксплуатации, пожарной безопасности, пользованию защитными средствами, устройства электроустановок) в пределах требований, предъявляемых к соответствующей должности или профессии, и иметь соответствующую группу по электробезопасности в соответствии с приложением № 1 к настоящим Правилам. Персонал обязан соблюдать требования настоящих Правил, инструкций по охране труда, указания, полученные при инструктаже.

Работники, обладающие правом проведения специальных работ, должны иметь об этом запись в удостоверении. Под специальными работами, право на проведение которых отражается в удостоверении после проверки знаний работника, следует понимать: верхолазные работы; работы под напряжением на токоведущих частях: чистка, обмыв и замена изоляторов, ремонт проводов, контроль измерительной штангой изоляторов и соединительных зажимов, смазка тросов; испытания оборудования повышенным напряжением (за исключением работ с мегаомметром). Перечень специальных работ может быть дополнен указанием работодателя с учетом местных условий.

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работ в

электроустановках, являются:

- оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- выдача разрешения на подготовку рабочего места и на допуск к работе с учетом требований пункта 5.14 Правил;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончания работы.

Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения

При подготовке рабочего места со снятием напряжения должны быть в указанном порядке выполнены следующие технические мероприятия:

произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;

на приводах ручного и на ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты;

проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;

установлено заземление (включены заземляющие ножи, а там, где они отсутствуют, установлены переносные заземления);

вывешены указательные плакаты "Заземлено", ограждены при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной выпускной квалификационной работы является модернизация электропривода дутьевого вентилятора котельной

Предложено заменить существующий морально устаревший и выработавший ресурс нерегулируемый электропривод на частотно–регулируемый асинхронный электропривод. По результатам расчета требуемой мощности двигателя выбран электродвигатель серии *5A200L6*, а также преобразователь частоты *ИРБИ 823-30*, НПФ «ИРБИС», г.Новосибирск.

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

Система преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель обеспечивает требуемые статические и динамические нагрузки привода дутьевого вентилятора, а система автоматического регулирования с векторным управлением обеспечивает поддержание технологических параметров в режимах пуска и воздействия возмущений с принятыми параметрами. Окончательное решение по выбору типа и настройки технологического регулятора может быть принято по результатам производственных испытаний.

В экономической части выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы планирования, финансирования и проведения пуско-наладочных работ электропривода дутьевого вентилятора. Составлена смета на проведение ПНР и построен график выполнения пуско-наладочных работ и занятости исполнителей, а так же доказана экономическая целесообразность от внедрения спроектированного электропривода. В разделе безопасности и экологичности проекта освещены вопросы: промышленной безопасности; техники безопасности; анализ опасных и вредных производственных факторов; пожарная безопасность; рассмотрены мероприятия по охране окружающей среды.

CONCLUSION

The purpose of this final qualification work is modernization of the electric drive of the dutyevy fan of a boiler room

It is offered to replace the obsolete and developed a resource unregulated electric drive existing with the frequency and adjustable asynchronous electric drive. By results of calculation of the required engine capacity the series 5A200L6 electric motor and also the converter of frequency of IRBI 823-30, NPF IRBIS, Novosibirsk is chosen.

Results of analytical calculations and imitating modeling validate the choice of power elements – the electric motor and the converter – and realization of system of the automatic frequency and adjustable electric drive of the dutyevy fan of a copper.

The system the frequency converter – the asynchronous electric motor provides the required static and dynamic loadings of the drive of the dutyevy fan, and the system of automatic control with vector management provides maintenance of technological parameters in the modes of start-up and impact of indignations with the accepted parameters. The final decision at the choice of type and setup of the technological regulator can be accepted by results of production tests.

In an economic part to final qualification work questions of planning, financing and carrying out balancing and commissioning of the electric drive of the dutyevy fan are considered. The estimate on carrying out the Party of Russian Taxpayers is made and the schedule of performance of balancing and commissioning and employment of performers is constructed, and the economic feasibility from introduction of the designed electric drive is also proved. In the section of safety and environmental friendliness of the project questions are taken up: industrial safety; safety measures; analysis of dangerous and harmful production factors; fire safety; actions for environmental protection are considered.

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. ГОСТ ИСО 14644-1-2002. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха.
5. ГОСТ Р 12.3.047 – 98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
6. ГОСТ Р 22.8.01 – 96. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
7. ГОСТ 12.0.005-84 ССБТ. Метрологическое обеспечение в области безопасности труда.
8. ГОСТ ССБТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
9. Дьяконов В. П. *MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5*: Основы применения : Полное руководство пользователя. — М. : СОЛОН-Пресс, 2002. — 768 с.
10. Дьяконов В. *Simulink 4*. Специальный справочник. — СПб: Питер, 2002. — 528 с.
11. Ключев В.И. Теория электропривода: учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 560 с.
12. Лихачев В.Л. Электродвигатели асинхронные. Справочник— М.: СОЛОН-Р, 2002. — 304 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. НПФ "ИРБИС" – Частотно-регулируемые электроприводы – ИРБИС [Электронный ресурс] / URL: <http://www.irbis-privod.ru>
15. Одинцова Л.А. Планирование на предприятии: учеб. для студ. высш. учеб. заведений /Л.А.Одинцова. 2-е изд., стер. — М.: Издательский центр "Академия", 2006. — 272 с.
16. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электропроводах. — Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1998. — 172 с.
17. Пособие по расчету и проектированию естественного, искусственного и совместного освещения (к СНиП II-4-79)
18. Правила устройства электроустановок. Издание 7. 2002.
19. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
20. СНиП II-35-76. Котельные установки. Нормы. Часть 1-3

21. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация , вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
22. 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.
23. СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения.
24. СП 51.13330.2011. Защита от шума.
25. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение
26. СуворовМ.В. Энергосберегающий комплекс управления тягодутьевыми механизмами котельной. «Экологические системы», №6,2005.
27. СуворовМ.В. Техничко-экономическое обоснование применения преобразователей частоты для привода вентилятора. «Экологические системы», №6,2005.
28. Теплоснабжение Univolts. Поставщик решений энергосбережения и технологий [Электронный ресурс]/ URL: <http://www.univolts.ru/services/saveenergy/teplo>
29. 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.
30. 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.
31. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 5. Применение программы DORA – FUZZY для имитационного моделирования автоматизированных электроприводов. учебное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и дополн.– Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 148 с.
32. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 6. Механическая система электропривода постоянного тока: учебное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и дополн.– Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 180 с.
33. 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.
34. 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.
35. Черных И.В. Моделирование электрических устройств в *MATLAB*, *SimPowerSystems* и *Simulink* – СПб. ; М. : Питер : ДМК Пресс, 2008. — 288 с

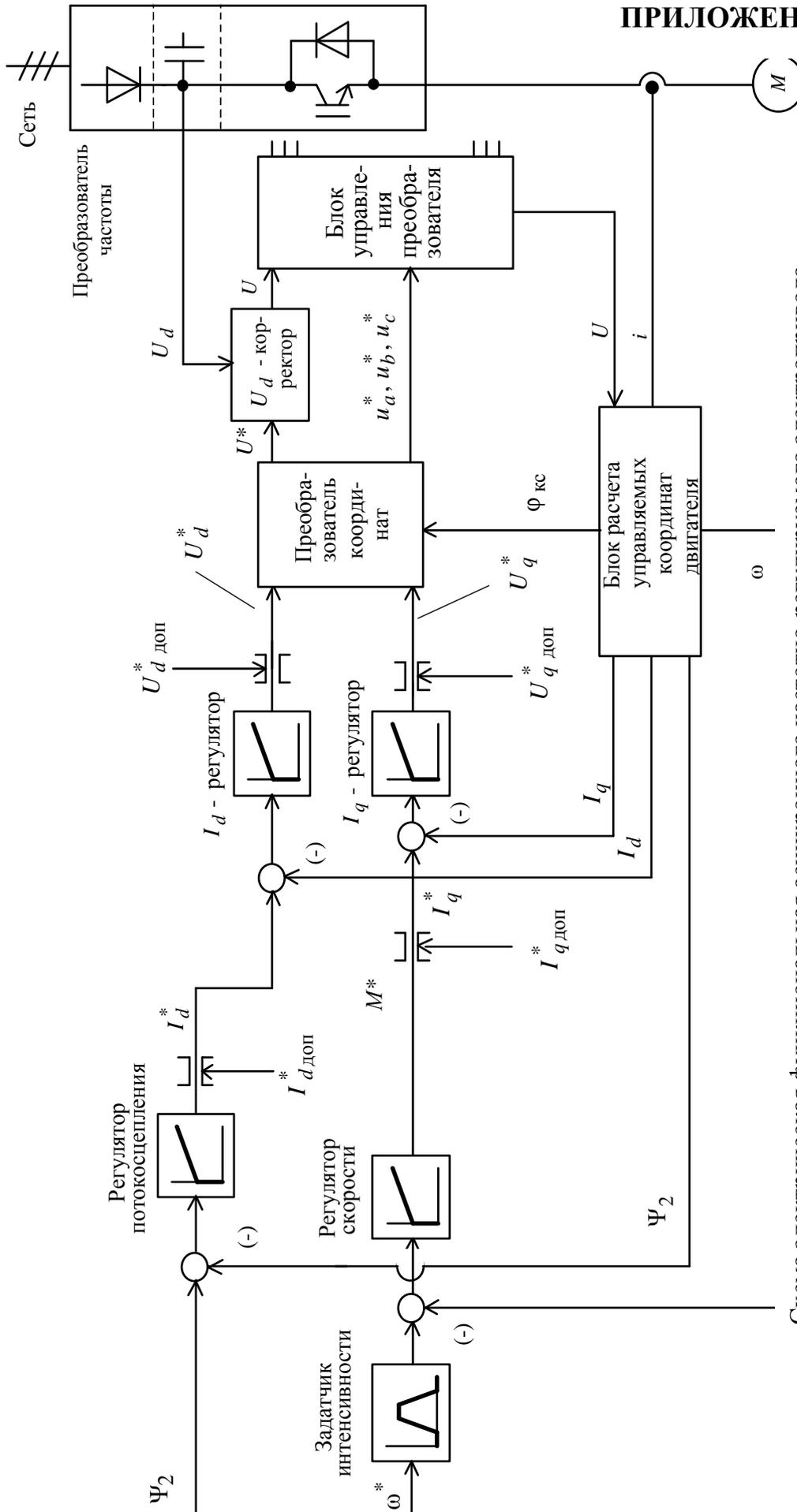


Схема электрическая функциональная асинхронного частотно-регулируемого электропривода

