

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

---

Институт Электронного обучения

Направление обучения 140604 Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>ЭЛЕКТРОПРИВОД ОТДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ЛИНИИ ЛКОР-125</b>

УДК62-83-523:621.315.211

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7101	Наливайко Дмитрий Валентинович		

Руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Александр Юрьевич	Кандидат технических наук, доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Елена Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности	Сечин Андрей Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
кафедра электропривода и электрооборудования	Дементьев Юрий Николаевич	Кандидат технических наук, доцент		

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

---

Институт Электронного обучения  
Направление обучения 140604 Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

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

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение дипломной работы**

В форме:

Дипломной работы <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>
---

Студенту:

Группа	ФИО
3-7101	Наливайко Дмитрий Валентинович

Тема работы:

<b>ЭЛЕКТРОПРИВОД ОТДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ЛИНИИ ЛКОР-125</b>
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе:</b>	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i>	Электропривод отдающего устройства линии ЛКОР-125, - Режим работы – непрерывный; - Вид сырья – кабельная продукция; - Обеспечение регулирования скорости

<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Изучить технологический процесс;</li> <li>- Выбрать преобразователь частоты и двигатель;</li> <li>- Рассчитать статические характеристики электродвигателя;</li> <li>- Разработать имитационную модель электропривода;</li> <li>- Исследовать изменение скорости вращения.</li> </ul>
<b>Перечень графического материала:</b>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы:</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
	Чернышев Александр Юрьевич
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Елена Александровна
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович
<b>Названия разделов:</b>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Александр Юрьевич	Кандидат технических наук, доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7101	Наливайко Дмитрий Валентинович		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-7101	Наливайко Дмитрий Валентинович

<b>Институт</b>	Институт электронного обучения (ИЭО)	<b>Кафедра</b>	Электропривода и оборудования
<b>Уровень образования</b>	Специалитет	<b>Направление/специальность</b>	Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

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

<i>1. Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Инициатор проекта ЗАО «Сибкабель»</li> <li>- Примерный бюджет проекта 150000.руб.;</li> <li>- В исследовании задействованы 2 человека: руководитель проекта, инженер.</li> </ul>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 - Минимальный размер оплаты труда(по 2016 году) составляет 6675 руб.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	-Отчисления в социальные фонды – 30%

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

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование,</li> <li>- Потенциальные потребители результатов НТП,</li> <li>- Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</li> </ul>
<i>2. Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Планирование выполнения проекта,</li> <li>-Расчет бюджета затрат на проектирование, в том числе расчет капитальных вложений в основные средства</li> </ul>

3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования</li> <li>- Определение научно-технической эффективности</li> </ul>
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Оценка технического уровня новшества</i></li> <li>2. <i>Смета затрат</i></li> </ol>	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедра менеджмента	Грахова Елена Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7101	Наливайко Дмитрий Валентинович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-7101	Наливайко Дмитрий Валентинович

<b>Институт</b>	Институт электронного обучения (ИЭО)	<b>Кафедра</b>	
<b>Уровень образования</b>	Специалитет	<b>Направление/специальность</b>	Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

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

<p>1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</i></li> <li>- <i>опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</i></li> <li>- <i>негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</i></li> <li>- <i>чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</i></li> </ul>	<p>- Описание рабочего места опрессовщика линии ЛКОР-125 Рабочая площадка находится в закрытом помещении. Основное рабочее оборудование – электропривод переменного тока.</p> <p>- Физические вредные факторы: повышения уровня шума, повышения уровня вибрации, превышение электромагнитных излучений;</p> <p>- Физические опасные факторы: электрический ток; движущиеся машины и механизмы производственного оборудования; статическое электричество.</p> <p>- Психофизиологические вредные факторы: тяжесть и напряженность физического труда; степень нервно-эмоционального напряжения</p> <p>- Негативное влияние на окружающую среду: бытовые отходы.</p> <p>- Чрезвычайные ситуации: пожар.</p>
<p>2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме.</i></p>	<p>ГОСТ 12.2.003-91 – 92; ГОСТ 12.1.019; ГОСТ 12.3.009-76 – 77; Р 2.2.2006 – 05; ТК; ПУЭ; ПЭ-ЭП</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p>1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>физико-химическая природа вредности, её связь с решаемой темой;</i></li> <li>- <i>действие фактора на организм человека;</i></li> <li>- <i>приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ).</i></li> </ul>	<p>- Анализ опасных и вредных производственных факторов;</p> <p>- меры безопасности при работе на линии ЛКОР-125</p>

<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- электробезопасность (в том числе, статическое электричество, – источники, средства защиты);</li> <li>- вредные производственные факторы.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Электробезопасность;</li> <li>- механические травмы;</li> <li>- производственная санитария;</li> <li>- шум и вибрации;</li> <li>- микроклимат на рабочем месте;</li> <li>- освещение рабочего места, расчет искусственного освещения;</li> <li>- пожарная безопасность;</li> <li>- охрана окружающей среды</li> </ul>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- охрана окружающей среды;</li> <li>- загрязнение атмосферы;</li> <li>- основные мероприятия по защите окружающей среды.</li> </ul>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Чрезвычайные ситуации;</li> <li>- устойчивость работы предприятия в чрезвычайных ситуациях.</li> </ul>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены.</li> <li>-Использовать необходимое оборудование.</li> </ul>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности	Сечин Андрей Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7101	Наливайко Дмитрий Валентинович		

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

Институт Электронного обучения

Направление обучения 140604 Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

Уровень образования Специалитет

Период выполнения весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

<b>Дипломная работа</b>
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения дипломной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Технологический процесс	
	Выбор оборудования электропривода отдающего устройства	
	Расчет статических характеристик электропривода	
	Разработка и исследование системы электропривода с векторным управлением	
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
	Социальная ответственность	
	Оформление пояснительной записки	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедра электропривода и электрооборудования	Чернышев Александр Юрьевич	Кандидат технических наук, доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
кафедра электропривода и электрооборудования	Дементьев Юрий Николаевич	Кандидат технических наук, доцент		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 149 страниц, 67 рисунков, 40 источников, 26 таблиц, 2 приложения.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, преобразователь частоты, инвертор, модель, механическая характеристика, электромеханическая характеристика, система автоматического управления, оптимизация контура, двухмассовая система,

Объектом исследования является следящий электропривод отдающего устройства линии ЛКОР-125

Цель работы - выявление возможности эффективного применения частотно-регулируемого асинхронного электропривода для отдающих устройств

В процессе работы проводился синтез линейной и нелинейной САУ электроприводом с оптимизацией контуров тока, протокосцепления, скорости и положения.

В результате работы исследована нелинейная система автоматизированного управления следящего электропривода отдающего устройства линии производства кабеля ЛКОР-125.

В будущем планируется использовать полученные модели при разработке аналогичных отдающих устройств в кабельном производстве.

Дипломный проект выполнен в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 на бумаге формата А4 с использованием программ MathCAD 14, пакет MATLAB 7.1 Simulink 6.3., Microsoft Visio 2007.

## Содержание

	с.
Введение	12
1. ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ	15
1.1 Отдающее устройство УОУп-1600	18
1.2 Компенсатор рычажный	25
1.3 Устройства тяговые гусеничного типа	27
1.4 Устройство подогрева жилы CEIA Power Controller_V2	29
1.5 Экструдер (Червячная машина) МЧХ-125/10-Л-ЧБ	29
1.6 Бесконтактный измеритель диаметра и эксцентриситета X-RAY 6070.	29
1.7 Проходная туннельная печь ПЧГЗ -2000/15	31
1.8 Ванна охлаждения ВОСК-6	32
1.9 Устройство приёмное УПП-2200	33
1.10 Технологический процесс	35
1.11 Кинематическая и силовая схемы электропривода	36
2. ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ	37
2.1 Определение дополнительных параметров двигателя и параметров схемы замещения	38
2.2 Определение параметров схемы замещения асинхронного двигате- ля по каталожным данным	39
2.3 Переходные процессы пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть	46
2.4 Выбор преобразователя частоты	53
2.5 Расчёт момента инерции	60
3. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИЛОВОГО КАНАЛА ЭП. РАСЧЕТ ПА- РАМЕТРОВ	64
3.1 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода	66

3.2 Синтез и анализ линеаризованной САУ СЭП	67
3.3 Оптимизация контура тока	69
3.4 Оптимизация контура потокосцепления	71
3.5 Оптимизация контура скорости	73
3.6 Оптимизация контура положения	76
4. НЕЛИНЕЙНАЯ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	86
4.1 Структурная схема нелинейной САУ СЭП асинхронного электро- привода с векторным управлением	86
4.2 Исследование нелинейной САУ СЭП в заданных режимах работы	88
5. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХМАССОВОЙ СИСТЕМЫ САУ СЭП	94
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	98
7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	140
CONCLUSION	141
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	143
ПРИЛОЖЕНИЕ А	146
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	149

## ВВЕДЕНИЕ

Энергетическую основу производства в настоящее время как и раньше составляет электрический привод, качество и уровень которого определяет эффективность работы технологического оборудования.

В связи с необходимостью повышения энергоэффективности электрооборудования, повышения качества выпускаемой продукции, повышением производительности широкое распространение получили электроприводы с регулируемым управлением. Используются как привода переменного, так и постоянного тока. Оба вида привода имеют свои недостатки. Двигатели постоянного тока имеют широкий диапазон регулирования по скорости, но сложны и дороги в изготовлении, требуют постоянного обслуживания. Двигатели переменного тока просты, не имеют щеточных аппаратов, не нуждаются в частом обслуживании, но имеют более сложную управляющую электронику. Еще совсем недавно не представлялось возможным использование двигателей переменного тока там, где необходим широкий диапазон регулирования. Применялись редукторы либо вариаторы. С развитием силовой электроники стало возможным в широком диапазоне(1:1000) регулировать скорость электродвигателя сохраняя при этом нужный момент на валу. В итоге эксплуатация электроприводов с электродвигателями переменного тока обходится в несколько раз дешевле, чем с ДПТ.

**Цель работы:** выявление возможности эффективного применения частотно-регулируемого асинхронного электропривода для отдающих устройств.

*Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:*

- рассмотреть основные особенности и тенденции развития электроприводов отдающих устройств;
- разработать математическую модель асинхронного электропривода отдающего устройства;
- выявить с помощью математической модели связь параметров асинхронного двигателя (АД) и механизма отдающих устройств;
- исследовать на математической модели работу электропривода отдающего устройства на примере линии производства кабеля ЛКОР-125;
- провести анализ и оценить полученные результаты.

*В дипломной работе применены:*

- теоретические методы, которые основаны на методах математического и программного моделирования в среде Matlab;
- положения математической теории электрических машин;
- методы, используемые при описании динамических процессов электро-механического преобразования энергии.

*Практическая ценность работы:*

- получена имитационная модель для исследования отдающего устройства при различных моментах инерции и различных типов регуляторов.
- разработана компьютерная программа, позволяющая исследовать частотно-регулируемый асинхронный электропривод механизма отдающего устройства;

*Реализация результатов работы.*

Материалы выпускной квалификационной работы будут использованы:

1. в ЗАО «Сибкабель» при модернизации линии ЛКОР-125;

2. на кафедре «Электропривод и электрооборудование» Томского политехнического университета при разработке новых тем курсовых проектов дисциплины «Электропривод переменного тока».

*На защиту выносятся:*

1. Математическая модель асинхронного электропривода отдающего устройства, позволяющая исследовать следящий электропривод в различных режимах работы.

2. Имитационная модель для исследования асинхронного электропривода отдающего устройства при различных моментах инерции и различных типов регуляторов.

## 1. ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

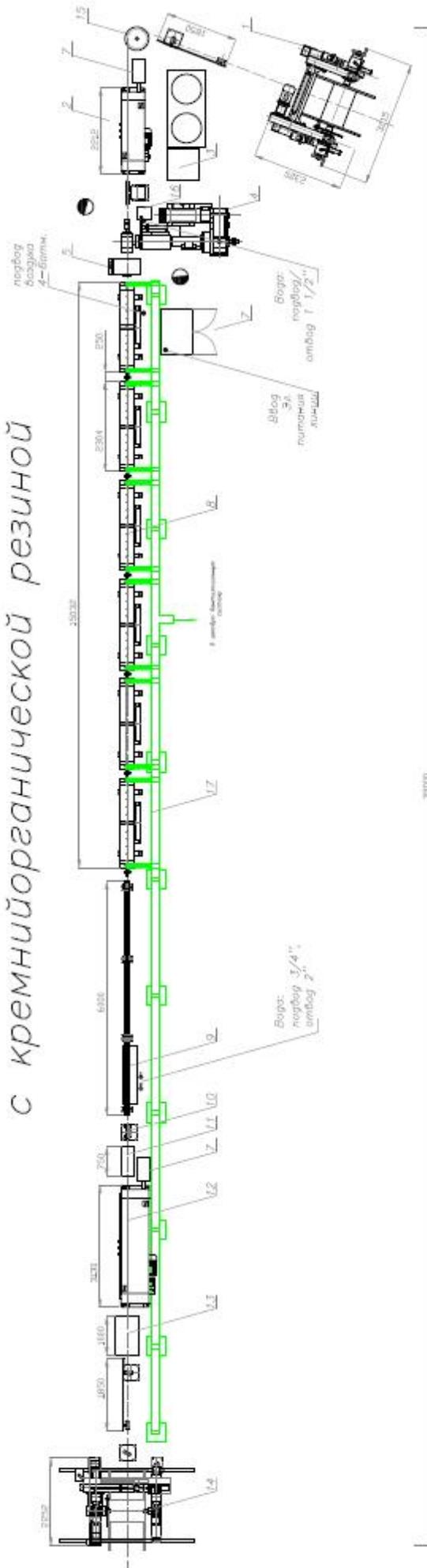
В данной выпускной квалификационной работе исследуется электропривод отдающего устройства линии производства кабеля ЛКОР-125. Экструзионная линия с диаметром шнека 125 мм предназначена для производства проводов и кабелей с кремнийорганической резиной сечением 16 - 300 мм<sup>2</sup>. В настоящее время линия используется для изготовления проводов и кабелей для подвижного состава марок: ППСТ<sub>НГ</sub>(В), ППСКТ<sub>НГ</sub>(А)-NF, КПСКТ<sub>НГ</sub>(В), КПСКТ<sub>НГ</sub>(А), ППСКТЭКО<sub>НГ</sub>(А) и др. сечением от 95 до 300 мм<sup>2</sup>.

Общий вид и состав линии приведен на рисунке 1.

Таблица 1.1. Технические характеристики экструзионной линии

1	Диаметр изолируемых жил и заготовок, мм	5,9-33,6
2	Материал изоляции	огнестойкая кремнийорганическая резина разного цвета
3	Толщина изоляции жилы (максимальная), мм	2,2
4	Толщина оболочки (максимальная), мм	2,5
5	Установленная мощность, кВт	300,0
6	Габаритные размеры линии: длина, мм ширина, мм не более высота, мм	39000 3500 2500
7	Линейная скорость, м/мин для изделий сечением токопроводящей жилы: до 16 мм <sup>2</sup> до 95 мм <sup>2</sup> до 300 мм <sup>2</sup>	до 40 до 20 до 5
8	Температура предварительного нагрева жилы, °С	до 150
9	Температура вулканизации, °С	до 600
10	Диаметр шнека червячной машины, мм	125
11	Отношение L/D шнека	10
12	Охлаждение шнека, цилиндра, зоны загрузки и головки червячной машины:	водяное
13	Загрузка червячной машины	с помощью питающего приводного охлаждаемого ролика лентами из кремнийорганической резины
14	Температура нагрева головки, °С	не более 45
15	Высота осевой технологической линии прохода жилы, мм	1000

## Линия по производству проводов и кабелей с кремнийорганической резиной



### Состав линии:

1. Приводное Отдающее Устройство на барабана 1600мм (УОУп-1600) с рычажным компенсатором;
2. Тяговое устройство гусеничного типа (С-1000);
3. Индукционный нагрев (РС 720/50);
4. Экструдер с диаметром шнека 125мм (L/D-10);
5. Измерение эксцентриситета и диаметра (X-RAY 6070);
7. Шафы управления;
8. Модули термообработки (ПЧГ-2000);
9. Ванна охлаждения;
10. Мерное устройство;
11. Высоковольтный аппарат сухого испытания (SPARK 2060BS);
12. Тяговое устройство гусеничного типа (С-1500);
13. Талькирующее устройство (ЕХ-01) (Опция, в комплект поставки не входит;
14. Приемное устройство на барабан диаметром 2000мм (УПП-2000) с рычажным компенсатором.
15. Комплект поворотных роликов;
16. Вакуумный насос;
17. Система вентиляции проходных вулканизационных печей;

## 1.1. Отдающее устройство УОУп-1600

Конструкция отдающего устройства показана на рисунке 1.3.

Таблица 1.2. Технические характеристики УОУп-1600

1.	Диаметр сматываемой жилы, мм:	5,9...33,6
2.	Линейная скорость смотки, м/мин	45 мах
3.	Натяжение провода при смотке, Н	20...200
4.	Размеры отдающих барабанов, мм:	
	- диаметр щеки	800; 1000; 1250; 1400; 1600
	- диаметр шейки	400; 500; 630; 710; 800
	- расстояние между щек	500; 630; 800; 900; 1000
	- диаметр осевого отверстия	80; 80; 80; 80; 80
5.	Масса полного барабана, кг	3000 мах
6.	Механизм подъема	электромеханический
7.	Мощность привода установленная, кВт:	
	- привода барабана	7,5
	- приводов механизмов подъема	2x1,1
8.	Ток питающей сети	
	- род тока	~ 3х фазный
	- напряжение, В	380
	- частота, Гц	50
9.	Габаритные размеры, мм:	
	- длина (без барабана)	2031 (мах)
	- ширина	3128 (мах)
	- высота	1245
10.	Масса (без барабана), кг	~ 1464

Базовым элементом конструкции отдающего устройства (на котором монтируются все остальные узлы, агрегаты и детали) является основа – сборочный узел, основными элементами которого являются:

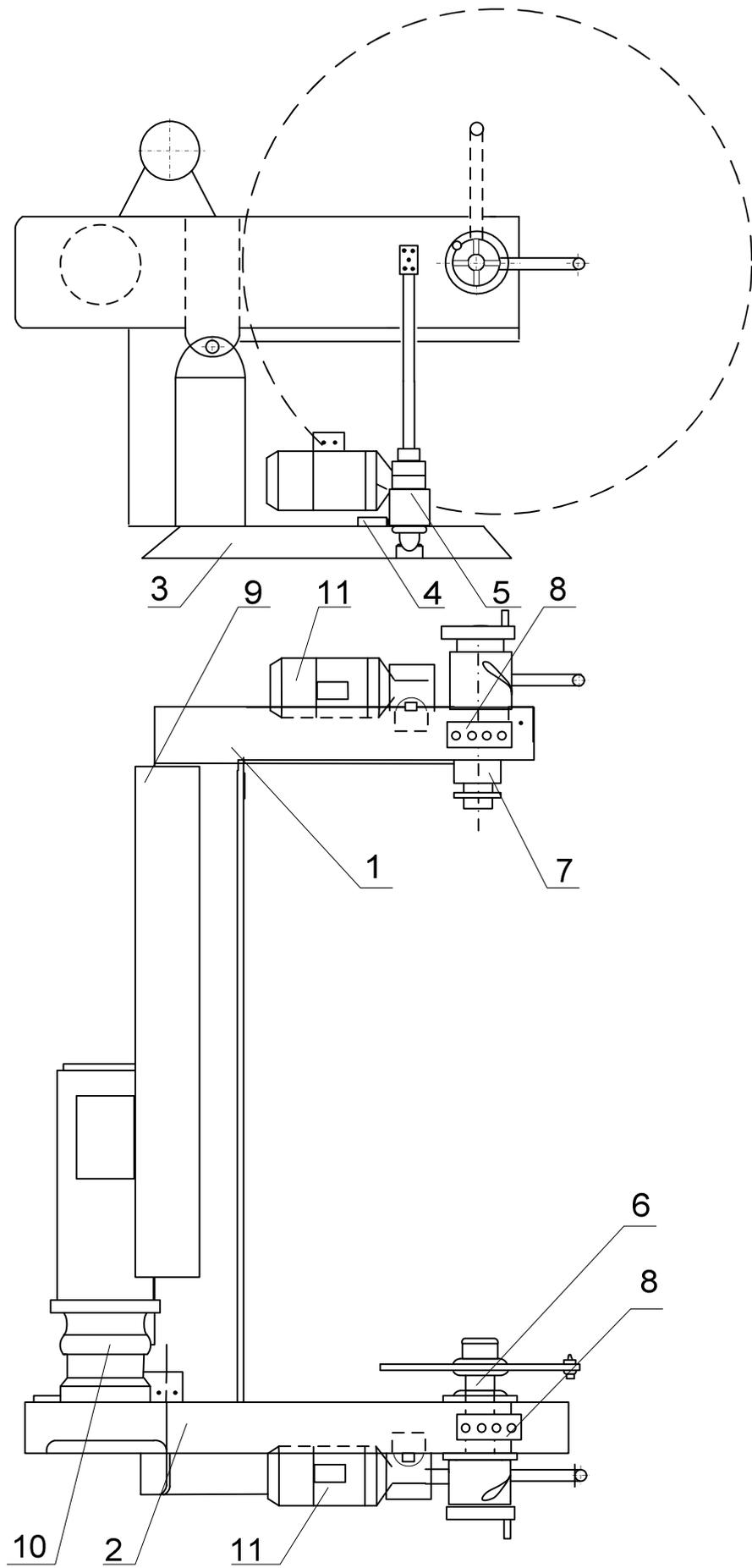
- лага;
- траверса;
- основание;
- механизмы подъема.



*Рисунок 1.2. Внешний вид УОУп-1600 с пультом управления*

На рисунке 1.3 обозначены:

1. лага;
2. траверса;
3. основание;
4. концевые выключатели;
5. механизм подъема;
6. пиноль приводная;
7. пиноль зажимная;
8. оперативный пульт подъема траверсы (лаги);
9. ролик;
10. приводной двигатель с редуктором;
11. двигатель подъема барабана.



### *Рисунок 1.3. Конструкция отдающего устройства*

#### Основные узлы отдающего устройства

*Основание 3* представляет собой сварную конструкцию из стальной профильной трубы (250x150x12 мм) с монтажными площадками для крепления шарниров траверсы и механизмов подъема. Также на основании имеются опорные площадки с отверстиями для крепления. Крепление осуществляется с помощью специальных фундаментных дюбелей.

*Траверса 2* представляет собой сборно-сварную Т-образную конструкцию, в основе которой лежит профильная стальная труба (250x150x12 мм), имеющая специальные расточки для монтажа приводной пиноли и привода. Траверса шарнирно установлена на основание.

*Лага 1* представляет собой сварную конструкцию, в основе которой лежит профильная стальная труба (250x150x12 мм), имеющая специальные расточки для монтажа зажимной пиноли и для шарнирного соединения ее с траверсой.

*Механизмы подъема 5* предназначены для синхронного перемещения траверсы и лаги относительно основания при подъеме или опускании барабана, и для незначительного перемещения их относительно друг друга при установке полного барабана. Механизм подъема представляет собой приводной винтовой домкрат, включающий асинхронный двигатель, червячный редуктор и винтовую пару. Один механизм подъема шарнирно соединен с основанием и траверсой, другой – с основанием и лагой.

*Концевые выключатели 4* предназначены для останова механизмов подъема при достижении траверсой (лагой) крайних верхнего или нижнего положений.

*Пиноль приводная 6* установлена в расточке траверсы, служит левой опорой для приемного барабана и передает вращение на барабан от привода. Пиноль приводная представляет собой вал с подвижным шпоночным соединением, позволяющим ему перемещаться вдоль оси на 165 мм (75мм+90мм).

На валу со стороны барабана смонтировано водило с пальцем и сменным центром. Противоположный конец вала через упорные подшипники соединен с подвижной гайкой, зафиксированной от углового разворота и сопряженной с ходовым винтом. Вращение от привода на вал передается посредством цепной передачи на звездочку-втулку, которая вращается в подшипниках, посаженных в крышках консоли траверсы.

Шпоночное соединение вала и звездочки-втулки позволяет осуществлять перемещение вала вдоль оси и вращение. Перемещение пиноли на 75 мм вдоль оси осуществляется специальной подпружиненной ручкой по винтовому пазу с фиксацией ее в крайних положениях благодаря специальным гнездам. Ручка привода осевого перемещения пиноли, для надежности работы с тяжелыми барабанами, имеет дополнительный фиксатор накидного типа (в нижнем положении). Дополнительное перемещение пиноли на 90 мм (для надежного зажима тяжелых барабанов) производится вращением штурвала, закрепленного на конце ходового винта.

*Пиноль зажимная 7* установлена в расточке лаги, служит правой опорой для приемного барабана и обеспечивает надежный зажим и фиксацию последнего. Пиноль зажимная представляет собой плунжер, на одном конце которого смонтирована полуось на подшипниках со сменным центром, а на другом - винт, гайка, крышка и штурвал. Гайка, заторможенная подпружиненной ручкой, находится внутри плунжера. Перемещение подпружиненной ручки по винтовому пазу с фиксацией ее в крайних положениях благодаря специальным гнездам, приводит к осевому перемещению плунжера на 75 мм. Ручка привода осевого перемещения пиноли, для надежности работы с тяжелыми барабанами, имеет дополнительный фиксатор накидного типа (в нижнем положении). Винт, вращаемый посредством штурвала, позволяет перемещать плунжер вдоль оси на 280 мм, тем самым компенсировать различную ширину барабана и обеспечивать надежный зажим барабана в пинолях даже во время вращения последнего (на ходу). Подпружиненная ручка позволяет быстро вывести центр пиноли из осевого отверстия барабана при разгрузке.

Привод предназначен для осуществления вращения отдающего барабана. Привод представляет собой агрегат, включающий в себя:

- *мотор-редуктор 10* с асинхронным электродвигателем;
- плиту подмоторную;
- звездочку цепной передачи.

Привод установлен консольно на заднем вылете траверсы. Вращение от привода на приводную пиноль передается цепной передачей (Цепь роликовая двухрядная 2ПР-25,4-11340), расположенной внутри траверсы. Натяжение цепи достигается перемещением привода по направляющей траверсы под действием винтового натяжителя.

*Ролик 9* установлен на поперечине траверсы на двух кронштейнах и предназначен для предотвращения возможного контакта движущейся жилы с неподвижными элементами конструкции отдающего устройства в процессе его работы и при проведении заправочных операций.

*Пульт управления* предназначен для управления отдающим устройством при установке на него (или съеме) отдающего барабана и при протяжке жилы через элементы устройств, входящих в состав технологической линии.

Пульт управления представляет собой устройство, связанное с отдающим устройством лишь электрическим кабелем, и состоит из вертикальной стойки, на которой установлена панель (в кожухе) с элементами управления.

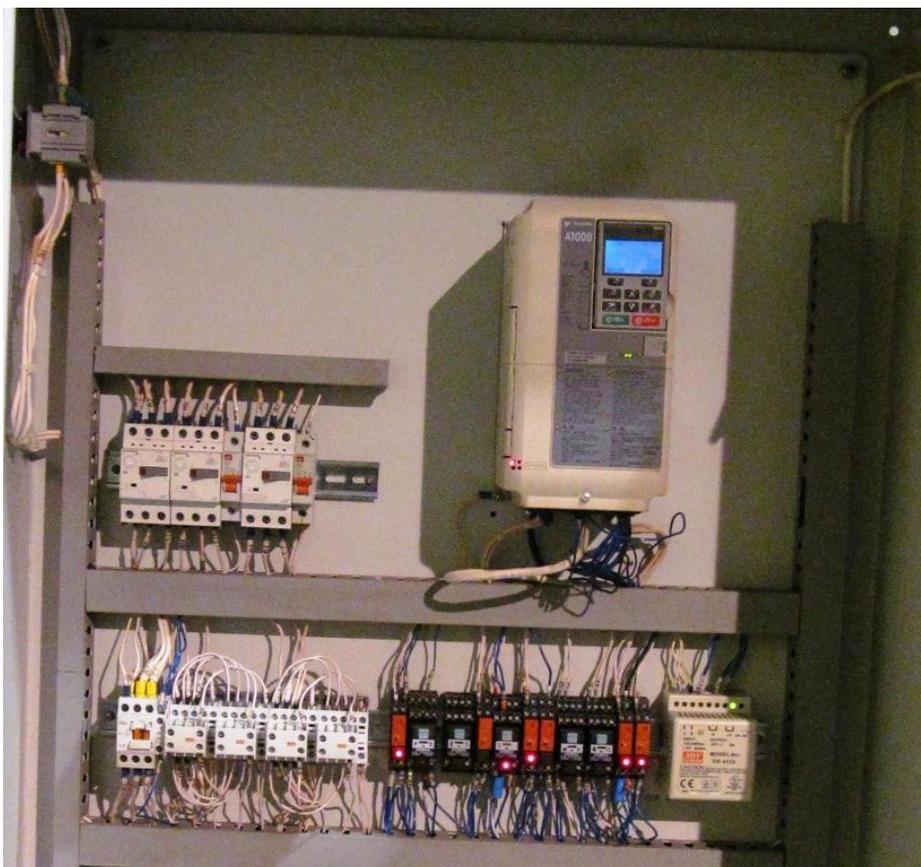
*Шкаф управления* предназначен для размещения в нем электрооборудования отдающего устройства и представляет собой устройство, связанное с приемным устройством электрическим кабелем.

Электрооборудование отдающего устройства.

Электрооборудование устройства рассчитано на работу от сети трехфазного переменного тока напряжением 380 В, 50 Гц.

Электрооборудование включает в себя следующие основные элементы:

- асинхронный двигатель привода барабана АИР132М6 (7,5 кВт; ~380В; 50 Гц; 1000 об/мин);



*Рисунок 1.4. Шкаф управления УОУп-1600*

- асинхронный двигатель механизма подъема АИР90 LB8 (1,1 кВт; ~380В; 50 Гц; 750 об/мин);
- вентилятор обдува двигателя привода барабана (220-240VAC~50/60Hz 0,2А)
- датчик индуктивный (датчик конечного положения) PR12-4DN;
- оперативный пульт управления механизмом подъема лаги и синхронного управления двумя механизмами подъема сразу (расположен на лаге над зажимной пинолью);
- оперативный пульт управления механизмом подъема траверсы (расположен на траверсе над приводной пинолью);
- пульт управления;
- шкаф управления.

## 1.2. Компенсатор рычажный

### 1.2.1. Назначение компенсатора.

Компенсатор предназначен для согласования отдающего или приемного устройства по линейной скорости с другими модулями экструзионной линии, обеспечивая постоянное заданное натяжение жилы (кабеля). Вес стрелы компенсатора регулируется передвижным блоком грузов и определяет величину натяжения провода (кабеля).

Габаритные размеры:

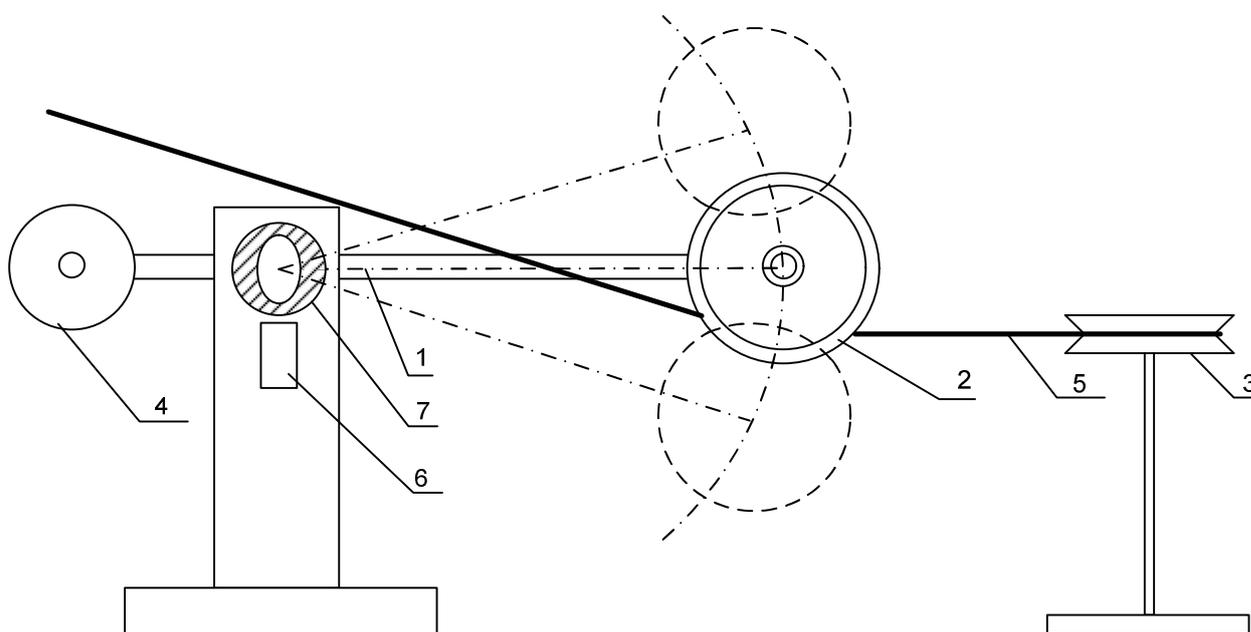
длина, мм	1600
ширина, мм	300
высота, мм	1200



*Рисунок 1.5. Внешний вид компенсатора*

Конструкция компенсатора показана на рисунке 1.6, где цифрами обозначено:

- 1- рычаг;
- 2- колесо компенсатора;
- 3- поворотное колесо;
- 4- груз;
- 5- заготовка;
- 6- индукционный датчик;
- 7- поворотный элемент датчика.



*Рисунок 1.6. Конструкция компенсатора*

### **1.2.2. Принцип работы рычажного компенсатора**

Поворотный элемент датчика соединен со штангой. Положение штанги зависит от натяжения (провисания) заготовки, движущейся от отдающего устройства. Индуктивный датчик положения с аналоговым выходом преобразует изменение расстояния между активной поверхностью датчика и металлическим объектом воздействия (поворотным металлическим элементом в форме эллипса) в изменение выходного сигнала. Сигнал датчика компенсатора складывается с сигналом задания ПЧ привода барабана отдающего устройства, компенсируя провисание заготовки.

Датчик ДПА-М18 имеет токовый выход, выходным сигналом которого является ток через нагрузку, подключаемую к датчику.

Таблица 1.3. Основные технические характеристики датчика ДПА-М18

Параметр	Значение
Рабочий диапазон температур	-25...+80°C
Диапазон номинальных напряжений питания	12-30В
Диапазон рабочих напряжений питания	10-30В
Диапазон изменения токового выхода	1,25-20 мА
Собственный ток потребления, не более	20 мА
Сопротивление нагрузки токового выхода, не более	500 Ом
Сопротивление нагрузки выхода по напряжению, не менее	-
Максимальная нелинейность в линейной зоне	5%
Индикация напряжения питания	есть
Диапазон изменения выходного напряжения	-
Стандартная длина кабеля подключения	2 м
Масса (с кабелем стандартной длины), не более	0,28 кг

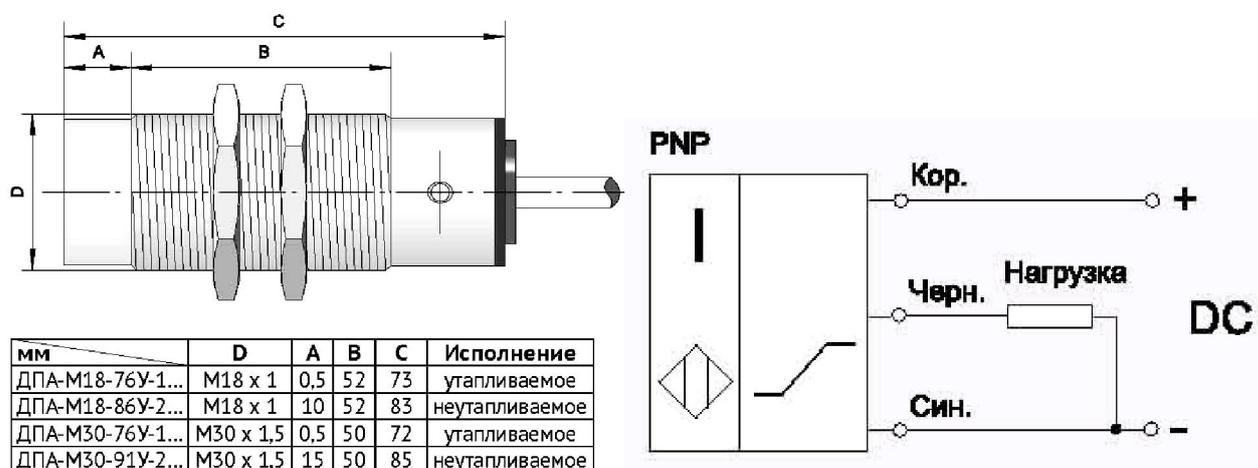


Рисунок 1.7. Внешний вид и схема включения ДПА-М18

### 1.3. Устройства тяговые гусеничного типа

Тяговые устройства С-1000 и С-1500 предназначены для транспортировки заготовки (жилы) вдоль технологических узлов.

- тяговое устройство типа С-1000 – подающее;
- тяговое устройство типа С-1500 – принимающее.

Таблица 1.4. Технические параметры тяговых устройств

технические параметры:	<b>C-1000</b>	<b>C-1500</b>
ширина ремня, мм	100	100
эффективная длина ремня, мм	1060	1500
суммарное давление при 6АТМ в пневмосистеме, кг	1500	2100
электропривод	серво	серво
количество пар башмаков	5	7
установленная мощность, кВт	16	26
габариты:		
длина, мм	2212	3150
ширина, мм	780	900
высота, мм	1800	1950



Рисунок 1.8. Внешний вид тягового устройства

#### 1.4. Устройство подогрева жилы

Индукционная установка подогрева жилы предназначена для бесконтактного безынерционного подогрева жилы высокой частотой перед головкой экструдера. Высокочастотная установка типа РС 720/50 ф. СЕІА

состоит из полупроводникового высокочастотного генератора, цилиндрического индуктора и системы охлаждения с замкнутым циклом оборотной воды.

#### Технические параметры:

установленная мощность, кВт	48
сечение медной заготовки, мм	16,0 ... 300,0
диапазон плавного регулирования мощности нагрева заготовки, %	10,0-100,0
рабочая частота, кГц	35-55
максимальная скорость жилы, м/мин	40
режим работы установки	непрерывный
возможность немедленного (аварийного) обесточивания индуктора	
плавное регулирование выходной мощности, %	10,0... 100,0
габаритные размеры генератора, мм	600x650x1350
вес генератора, кг	190
вес нагревательной головки с индуктором, кг	37

### 1.5. Экструдер (Червячная машина) МЧХ-125/10-Л-ЧБ

Червячная машина предназначена для переработки кремнийорганических смесей в составе экструзионной линии для производства проводов и кабелей с кремнийорганической изоляцией. Изготовитель: Завод полимерного машиностроения имени Красина (г.Кострома).

#### Основные технические данные экструдера:

Диаметр червяка, мм	125
Отношение рабочей длины к его диаметру L/D	10
Производительность, кг/ч	350
Частота вращения червяка, об/мин	5...75
Электропривод преобразователь для управления электродвигателями постоянного тока	
Установленная мощность, кВт	90

Комплектуется станцией теплоавтоматики, Т-образной головкой, вакуумным насосом, датчиком давления и температуры массы.

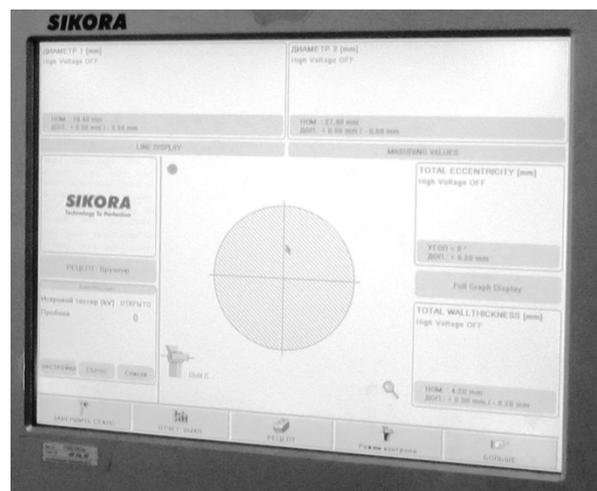


*Рисунок 1.9. Внешний вид МЧХ-125/10-Л-ЧБ*

### **1.6. Бесконтактный измеритель диаметра и эксцентриситета X-RAY6070**

X-RAY6070 предназначен для непрерывного измерения диаметра, толщины стенки и эксцентриситета с возможностью измерения диаметра продукции от 6 мм до 65 мм.

Принцип измерения: бесконтактное измерение по двум осям посредством рентгеновского излучения и линейных сенсоров. Система X-RAY6070 оснащена рентгеновскими лампами XXL с длительным сроком эксплуатации. Точность измерения 10 мкм. Система X-RAY6070 позволяет осуществлять управление экструдером с целью минимизации расхода материалов. Для этого она доукомплектована программным управляющим модулем SET POINT. Система работает на всех скоростях линии, калибровки не требуется.



*Рисунок 1.10. Внешний вид X-RAY6070 и пульта управления*

### **1.7. Проходная туннельная печь ПЧГЗ -2000/15**

ПЧГЗ-2000/15 с механизмом подъёма служат для тепловой обработки (вулканизации) кремнийорганической резины.

Механизм подъёма – пневматический, обеспечивает автоматический подъём камеры печи над изделием в случае остановки линии, что позволяет защитить изделие от перегрева, обеспечивает удобство заправки и обслуживания при профилактических работах и удалении отходов вулканизации.

Печь представляет собой двухметровый модуль с вентиляционными карманами для отсоса вредных выбросов. Камера печи имеет две зоны нагрева с независимым управлением, что позволяет устанавливать оптимальные значения температур в каждом модуле.



*Рисунок 1.11. Внешний вид проходных печей*

Основные технические данные:

Общее количество печных модулей в линии, шт.	6
Установленная мощность модуля печи, кВт	15,0
Максимальная температура в зоне печи, °С	600,0
Общая установленная мощность вулканизационной печи (суммарная мощность 6-ти печей), кВт	90,0
Общая длина печи, м	~12,0

Между печами используются стойки с опорными роликами.

### **1.8. Ванна охлаждения ВОСК-6**

Ванна охлаждения с проточной водой и воздушным обдувом предназначена для охлаждения горячей резины, нанесенной на токопроводящую жилу. Ванна охлаждения имеет одну секцию для охлаждения холодной проточной водой. Опорные стойки регулируются по высоте. Ванна изготовлена из некорродируемого материала (нержавеющая сталь). На входе и выходе ванна оснащена карманами для слива воды, на выходном конце охлаждающей ванны крепиться устройство обдува провода.

Комплект трубопроводов и фитингов должен быть изготовлен из некорродируемых материалов.

Основные технические данные:

высота ванны (регулируемая), мм	900...1100
объём воды в ванне, л	~1000
расход охлаждаемой воды, л/час	500



*Рисунок 1.12. Внешний вид ванны охлаждения*

### **1.9. Устройство приёмное УПП-2200**

Устройство приемное порталного типа, предназначено для приёма готового изделия на приёмный барабан. Приёмник перемещается поперечно направлению движения кабеля по рельсам, которые включены в объём поставки оборудования. Электропитание подается к приёмнику через гибкий кабель.

Принимаемый кабель центрируется стационарной направляющей стойкой, установленной перед приёмником. Натяжение кабеля поддерживается постоянным с помощью рычажного компенсатора.



Рисунок 1.13. Внешний вид УПП-2200

Привод барабана от асинхронного двигателя с частотным управлением. Подъем и спуск барабана осуществляется электромеханическим способом.

Таблица 1.5. Основные технические данные УПП-2200

максимальная величина натяжения, Н					
диаметр готового изделия, мм		13,51-38,6			
диапазон установившихся линейных скоростей, м/мин		1,0-50,0			
шаг раскладки, мм		10-50			
размеры барабана по DIN 46395:					
диаметр щеки, мм	800	1000	1400	1600	2000
диаметр животика, мм	400	500	710	800	1120
внутренняя ширина, мм	500	630	900	1000	1250
диаметр осевого отверстия, мм	80	80	80	80	100
максимальная масса барабана с проводом, кг		4000			
установленная мощность, кВт		15,0			
Габариты					
длина, мм		1800			
ширина, мм		3000			
высота, мм		3200			

## 1.10. Технологический процесс

Система управления линией выполнена на базе промышленного контроллера, соединенного со всеми приводами линии в единую цифровую промышленную сеть DeviceNet. Для оперативного управления и ввода параметров линии установлена сенсорная цветная панель.

В состав системы управления входит контроллер серии CJ1M (фирмы Omron, Япония) с модулями расширения:

процессор	CJ1M-CPU13
модуль питания ~220В	CJ1W-PA202
модуль дискретных входов (32 шт)	CJ1W-ID231
модуль дискретных выходов (32 транзисторных вых.)	CJ1W-OD231
модуль дискретных выходов (16 релейных выходов)	CJ1W-OD211
модуль температурный (6 входов)	CJ1W-TS562
модуль температурный (6 входов)	CJ1W-TS562
модуль температурный (6 входов)	CJ1W-TS562
мастер модуль шины DeviceNet	CJ1W-DRM21

После включения линии скорость достигает заданного значения за 1 минуту. Отдающее устройство отдает заготовку со скоростью, соответствующей рецепту, который запрограммирован в пульте управления линией. Оператору необходимо выбрать рецепт, соответствующий марке кабеля и сечению заготовки. Скорость линии измеряется ПЛК, который поддерживает данную скорость постоянной. От отдающей тяги заготовка движется к экструдеру, предварительно разогретая индуктором до нужной температуры (согласно рецепту). Далее происходит наложение изоляции (холодной кремнийорганической резины) на медную жилу при помощи экструдера. Диаметр кабеля можно регулировать, используя измеритель диаметра X-RAY 6070, путём измерения скорости вращения двигателя экструдера. После чего кабель подаётся в печи разогретые до температуры 400-500 °С, где происходит запекание (вулканизация) кремнийорганической резины. В ванне охлаждения кабель принимает температуру окружающей среды. Затем, при помощи прибора контроля электрической прочности

проверяются возможные трещины, пробои и другие соответствующие дефекты в оболочке. Через приемное тяговое устройство кабель поступает на порталное приемное устройство.

Режим работы электропривода отдатчика может быть совместным или раздельным. При совместном режиме работы, скоростью вращения двигателей всех устройств линии управляет промышленный контроллер, соединенный с приводами устройств промышленной сетью DeviceNet. Раздельный режим позволяет управлять устройствами независимо от задания контроллера.

### 1.11. Кинематическая и силовая схемы электропривода

Непосредственное представление о движущихся массах установки и механических связях между ними даёт кинематическая схема электропривода, представленная на рисунке 1.14, где цифрами обозначены:

- 1 – электродвигатель;
- 2 – редуктор;
- 3 – цепная передача;
- 4 – барабан.

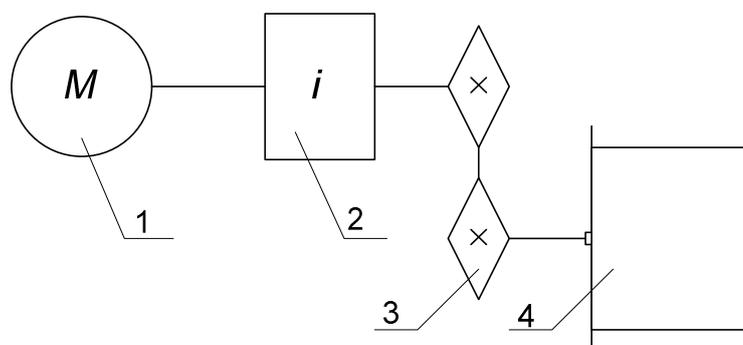


Рисунок 1.14. Кинематическая схема электропривода

## 2. ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ ПО МОЩНОСТИ

В работе предлагается замена устаревших электроприводов постоянного тока, отработавших свой ресурс, на электропривода переменного тока с асинхронными двигателями. Поскольку асинхронные двигатели охлаждаются значительно хуже двигателей постоянного тока, то при замене их мощность увеличивают на 15–25%.

$$\text{Тогда } P_{АД} = P_{ДПТ} (1,15 - 1,25) = 5,6 \cdot (1,15 - 1,25) = (6,44 - 7) \text{ кВт},$$

где  $P_{ДПТ}$  – мощность двигателей постоянного тока установленных на отдающих устройствах;

$P_{АД}$  – мощность асинхронных двигателей.

Выбираем асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором серии АИР. Паспортные данные двигателя АИР132М6 приведены в таблице 2.1.

*Таблица 2.1. Паспортные данные двигателя АИР132М6*

Заданные величины	Условное обозначение	Значение
Фазное напряжение обмотки статора	$U_{1Н}$	220В
Номинальное напряжение сети	$U_{фН}$	380В
Мощность двигателя	$P_{ДВ}$	7,5кВт
Коэффициент полезного действия в режиме номинальной мощности	$\eta_{н}$	0,855о.е.
Номинальная частота вращения	$n_{н}$	1000об/мин
Коэффициент мощности в режиме номинальной мощности	$\cos\varphi_{н}$	0,81о.е.
Номинальное скольжение	$S_{н}$	0,025о.е.
Кратность пускового тока	$k_i$	7о.е.
Кратность пускового момента	$k_{п}$	1о.е.
Кратность максимального момента	$k_{max}$	1,8о.е.
Кратность минимального момента	$k_{min}$	0,9о.е.
Коэффициент загрузки двигателя	$p_{ж}$	0,75о.е.
Число пар полюсов	$p$	3

## 2.1. Определение дополнительных параметров двигателя и параметров схемы замещения

Синхронная угловая скорость вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,7 \text{ рад/с.}$$

Номинальная частота вращения двигателя

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - s_H) \cdot n_0 = (1 - 0,025) \cdot 1000 = 975 \text{ об/мин,}$$

а номинальная угловая скорость

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - s_H) \cdot \omega_0 = (1 - 0,025) \cdot 104,7 = 102,082 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{7500}{102,082} = 73,74 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Для определения номинального фазного тока необходимо знать схему соединения обмоток статора. Обмотки асинхронного двигателя соединены в звезду, то

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

где  $U_{1\text{лн}}$  - номинальное линейное напряжение.

Тогда номинальный фазный ток

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{7,5 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,81 \cdot 0,885} = 16,408 \text{ А.}$$

Примечания:

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске

$$I_{1\text{макс}} = k_i \cdot I_{1\text{лн}} = 7 \cdot 16,408 = 114,856 \text{ А.}$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике

$$M_{\text{к}} = k_{\text{max}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 1,8 \cdot 73,74 = 132,246 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске

$$M_{\text{дв.пуск}} = k_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 0,9 \cdot 73,74 = 66,123 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

## 2.2. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным

Для расчетов статических и динамических характеристик асинхронного двигателя найдем параметры схемы замещения. Т – образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы приведена на рисунке 2.1.

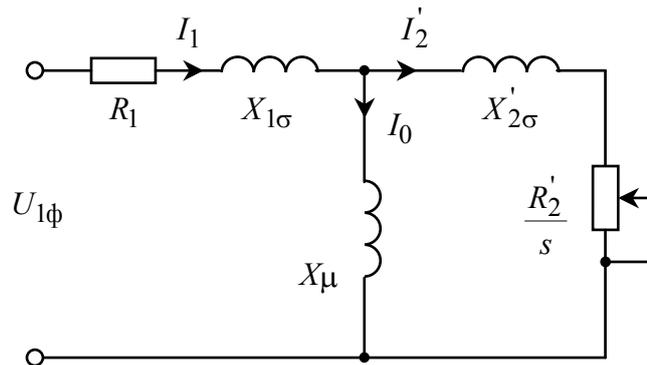


Рисунок 2.1. Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

Современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при загрузке на 10 – 15 % меньше номинальной. Коэффициент мощности при нагрузке равной  $0,75 \cdot P_H$  значительно отличается от мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие сильно зависит от мощности двигателя и для известных серий асинхронных двигателей с достаточной для практики точностью подчиняется зависимости, приведённой на рисунке 2.2.

Коэффициент мощности при частичной нагрузке

$$\cos \varphi_{p^*} = 0,963 \cdot \cos \varphi_H = 0,963 \cdot 0,81 = 0,78 \text{ о.е.};$$

Коэффициент загрузки двигателя принимаем  $p_* = 0,75$  из-за указанных выше особенностей проектирования асинхронных двигателей.

Тогда ток статора двигателя при частичной нагрузке равен

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_H} = \frac{0,75 \cdot 7 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,78 \cdot 0,855} = 12,788 \text{ А};$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя

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

$$= \sqrt{\frac{12,788^2 - \left[ \frac{0,75 \cdot 16,408 \cdot (1 - 0,025)}{1 - 0,75 \cdot 0,025} \right]^2}{1 - \left[ \frac{0,75 \cdot (1 - 0,025)}{1 - 0,75 \cdot 0,025} \right]^2}} = 5,611 \text{ А;}$$

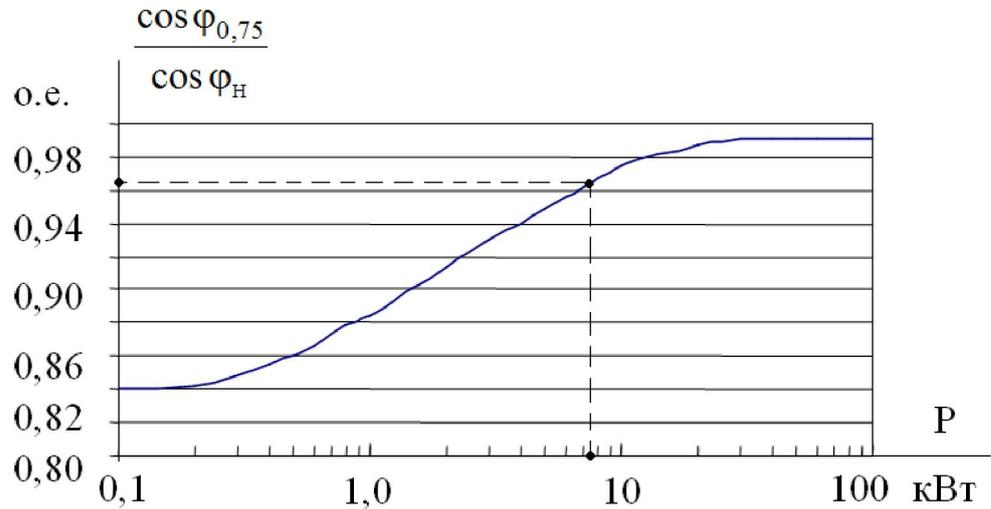


Рисунок 2.2. Зависимость  $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_H$  от мощности асинхронных двигателей

Из формулы Клосса следует соотношение для расчета критического скольжения

$$s_{кр} = s_H \cdot \frac{k_{max} + \sqrt{k_{max}^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{max} - 1)} =$$

$$= 0,025 \cdot \frac{1,8 + \sqrt{1,8^2 - [1 - 1 \cdot 0,025 \cdot 2 \cdot (1,8 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,025 \cdot 1 \cdot (1,8 - 1)} = 0,086 \text{ о.е.,}$$

где в первом приближении коэффициент  $\beta = 1$ .

Предварительно для расчёта активных и индуктивных сопротивлений (параметров схемы замещения) обмоток статора и ротора определяются следующие коэффициенты

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{5,611}{2 \cdot 7 \cdot 16,408} = 1,024;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,025)}{2 \cdot 1,024 \cdot 1,8 \cdot 7,5 \cdot 10^3} = 5,118;$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + 1/s_{кр}) \cdot C_1} = \frac{5,118}{\left(0,8 + \frac{1}{0,085}\right) \cdot 1,024} = 0,396 \text{ Ом};$$

Активное сопротивление обмотки статора определяется по следующему выражению

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,024 \cdot 0,396 \cdot 1 = 0,406 \text{ Ом};$$

Параметр  $\gamma$ , для определения сопротивления короткого замыкания

$$\gamma = \sqrt{(1/s_{кр}^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0,086^2) - 1^2} = 11,558;$$

$$X_k = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 11,558 \cdot 1,024 \cdot 0,396 = 4,695 \text{ Ом};$$

Тогда, индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, приближённо может быть рассчитано

$$X_2' = 0,58 \cdot X_k / C_1 = 0,58 \cdot 4,695 / 1,024 = 2,658 \text{ Ом};$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора

$$X_1 = 0,42 \cdot X_k = 0,42 \cdot 4,695 = 1,972 \text{ Ом};$$

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания определяется через значение ЭДС обмотки статора

$$E_1 = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi_{1H} - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sin \varphi_{1H} - X_1 \cdot I_{1H})^2} = \\ = \sqrt{(220 \cdot 0,81 - 0,406 \cdot 16,408)^2 + (220 \cdot 0,586 - 1,972 \cdot 16,408)^2} = 196,896 \text{ В.}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = \frac{196,896}{5,611} = 35,089 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоками рассеяния

$$L_{1\sigma} = \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{1,972}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 6,28 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоками рассеяния

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_2}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{2,658}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 8,465 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

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

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{35,089}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,112 \text{ Гн.}$$

Найденные параметры схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 7.  $X_{кн}, \text{Ом}$

Таблица 2.2. Параметры схемы замещения электродвигателя

$R_1, \text{Ом}$	$X_{1\delta}, \text{Ом}$	$L_{1\delta}, \text{Гн}$	$X_{\mu}, \text{Ом}$	$L_{\mu}, \text{Гн}$	$R'_2, \text{Ом}$	$X'_{2\delta}, \text{Ом}$	$L'_{2\delta}, \text{Гн}$	$X_{кн}, \text{Ом}$
0,406	1,972	$6,28 \cdot 10^{-3}$	5,089	0,112	0,396	2,658	$8,465 \cdot 10^{-3}$	4,695

Рассчитываем механическую характеристику асинхронного электродвигателя по формуле

$$M = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s \cdot [(R_1 + R'_2 \cdot s^{-1})^2 + (X_{1\sigma} - X'_{2\sigma})^2]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,396}{104,7 \cdot s \cdot [(0,406 + 0,386 \cdot s^{-1})^2 + (1,972 - 2,658)^2]};$$

Механическая характеристика асинхронного электродвигателя изображена на рисунке 2.3.

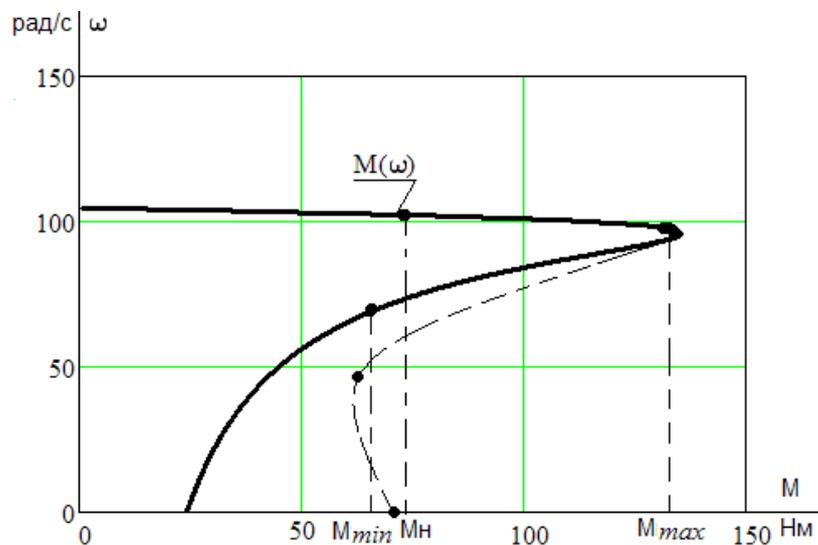


Рисунок 2.3. Механическая характеристика асинхронного электродвигателя

Определим дополнительные параметры двигателя.

Момент критический двигательного режима

$$M_{кр} = \frac{m \cdot U_{1ф}^2}{2 \cdot \omega_n \cdot C_1 \cdot \left[ R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2} \right]} =$$
$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 104,7 \cdot \left[ 0,406 + \sqrt{1,972^2 + 4,695^2} \right]} = 126,113 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Критическое скольжение

$$S_k = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}} = \pm \frac{0,396}{\sqrt{0,406^2 + 4,695^2}} = \pm 0,084 \text{ о.е.};$$

Номинальная скорость двигателя

$$\omega_n = \omega_n (1 - s_n) = 104,7(1 - 0,025) = 102,082 \text{ рад} / \text{с};$$

Номинальный момент двигателя

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{7500}{102,082} = 73,74 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Максимальный момент двигателя

$$M_{max} = k_{max} \cdot M_n = 1,8 \cdot 73,74 = 132,246 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Минимальный момент двигателя

$$M_{min} = k_{min} \cdot M_n = 0,9 \cdot 73,74 = 66,123 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Найденные координаты точек с номинальным, максимальным и минимальным моментом нанесены на рассчитанный график естественной механической характеристики асинхронного двигателя.

Анализ расчетов показывает, что контрольные точки, найденные в соответствии с каталожными данными двигателя, хорошо совпадают с рассчитанным графиком механической характеристики асинхронного двигателя, поэтому методику определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя по его каталожным данным можно считать приемлемой.

Определим зависимость тока ротора  $I_2'$ , приведенного к обмотке статора, от скольжения  $s$

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(0,406 + \frac{0,396}{s}\right)^2 + (1,972 + 2,658)^2}} \text{ A};$$

График электромеханической характеристики  $I_2' = f(s)$  приведена на рисунке 2.4.

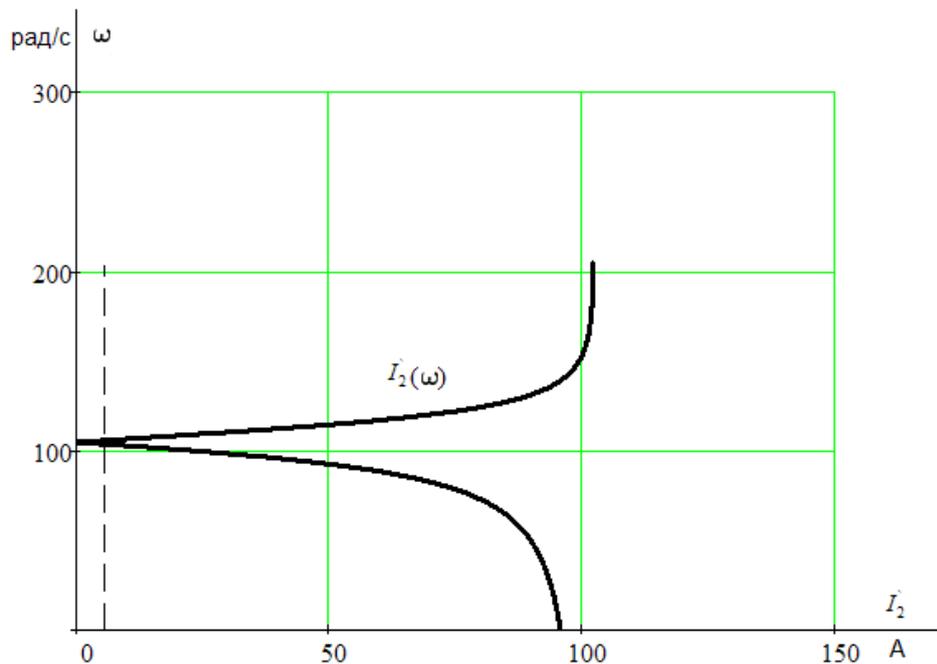


Рисунок 2.4. График электромеханической характеристики  $I_2' = f(s)$

Для построения электромеханической характеристики тока обмотки статора воспользуемся следующим выражением

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}} \\ = \sqrt{5,611^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot 5,611 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}},$$

$$\text{где } \sin \varphi_{2H} = \frac{x_k}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + x_k^2}} = \frac{4,695}{\sqrt{\left(0,406 + \frac{0,396}{s}\right)^2 + 4,695^2}}$$

Электромеханические характеристики двигателя приведены на рисунке 2.5.

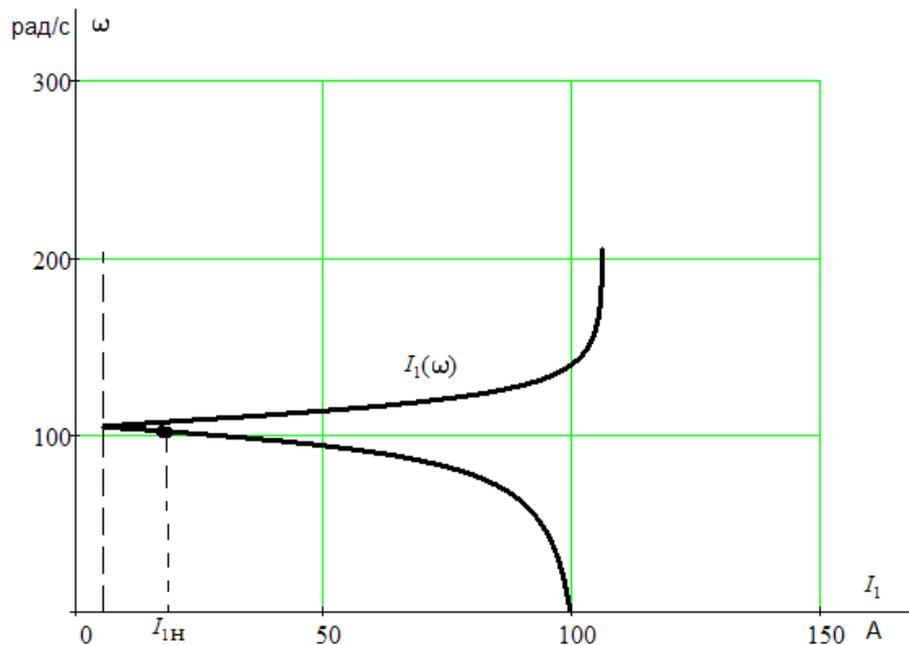


Рисунок 2.5. График естественной электромеханической характеристики  $I_1 = f(s)$  асинхронного двигателя

Определим номинальный ток статора асинхронного двигателя  $I_{1н}$  при номинальном скольжении  $s_n = 0,025$  в соответствии с электромеханической характеристикой

Номинальный ток ротора двигателя при номинальном скольжении

$$\begin{aligned}
 I_2(s) &= \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2}} = \\
 &= \frac{220}{\sqrt{\left(0,406 + \frac{0,396}{0,025}\right)^2 + (1,972 + 2,658)^2}} = 13,023 \text{ A};
 \end{aligned}$$

Номинальный ток статора двигателя

$$\begin{aligned}
 I_1(s) &= \sqrt{I_0^2 + I_2(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2(\omega) \cdot \sin \varphi_{2н}} = \\
 &= \sqrt{5,611^2 + 13,023^2 + 2 \cdot 5,611 \cdot 13,023 \cdot 0,278} = 15,528 \text{ A} .
 \end{aligned}$$

Значение номинального тока статора асинхронного двигателя, определенное по его электромеханической характеристике, практически совпадает со значением, рассчитанным по каталожным данным. Это подтверждает правильность методики определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя по его каталожным данным.

## 2.3 Переходные процессы пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть

### Короткозамкнутый асинхронный двигатель в неподвижной системе координат

Уравнение динамической механической характеристики короткозамкнутого двухфазного асинхронного двигателя, получающего питание от сети или индивидуального преобразователя, обладающего свойствами источника напряжения, можно получить из совместного решения следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{1a}}{dt} &= U_{1a} - \frac{R_1}{X_1 \cdot \sigma} \left( \psi_{1a} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{2a} \right); \\ \frac{d\psi_{1b}}{dt} &= U_{1b} - \frac{R_1}{X_1 \cdot \sigma} \left( \psi_{1b} - \frac{X_m}{X_2} \psi_{2b} \right); \\ \frac{d\psi_{2a}}{dt} &= -\frac{R'_2}{X'_2 \cdot \sigma} \left( \psi_{2a} - \frac{X_m}{X_1} \psi_{1a} \right) - \omega \cdot \psi_{2b}; \\ \frac{d\psi_{2b}}{dt} &= -\frac{R'_2}{X'_2 \cdot \sigma} \left( \psi_{2b} - \frac{X_m}{X_1} \psi_{1b} \right) + \omega \cdot \psi_{2a}; \\ M_d &= \frac{3 \cdot z_p \cdot X_m}{2 \cdot X_1} (\psi_{1b} \cdot i_{2a} - \psi_{1a} \cdot i_{2b}). \end{aligned}$$

В данной системе уравнений приняты следующие обозначения:

$\psi_{1a}$  - составляющая вектора потокосцепления обмотки статора, ориентированная вдоль оси  $a$  неподвижной системы координат;

$\psi_{1b}$  - составляющая вектора потокосцепления обмотки статора, ориентированная вдоль оси  $b$  неподвижной системы координат;

$i_{2a}$  - составляющая вектора тока обмотки ротора, ориентированная вдоль оси  $a$  неподвижной системы координат;

$i_{2b}$  - составляющая вектора тока обмотки ротора, ориентированная вдоль оси  $b$  неподвижной системы координат;

$U_{1a}$  - составляющая вектора напряжения обмотки статора, ориентированная вдоль оси а неподвижной системы координат;

$U_{1b}$  - составляющая вектора напряжения обмотки статора, ориентированная вдоль оси b неподвижной системы координат;

$R_1$  - активное сопротивление обмотки статора;

$R_2'$  - активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора;

$X_1 = X_{1\sigma} + X_\mu$  - эквивалентное индуктивное сопротивление обмотки статора, равное индуктивному сопротивлению рассеяния обмотки статора и индуктивному сопротивлению от главного поля;

$X_2' = X_{2\sigma}' + X_\mu$  - эквивалентное индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, равное индуктивному сопротивлению рассеяния обмотки ротора и индуктивному сопротивлению от главного поля;

$X_\mu$  - индуктивное сопротивление от главного поля (контура намагничивания), создаваемое суммарным действием токов статора;

$$\sigma = 1 - \frac{X_\mu^2}{X_1 \cdot X_2'} - \text{коэффициент рассеяния};$$

$z_p$  - число пар полюсов асинхронного двигателя;

$\omega$  - скорость вращения ротора.

Выражение для определения электромагнитного момента, используемое в вышеприведенной системе уравнений не единственное для асинхронного двигателя. Ниже приведены другие равнозначные варианты уравнений электромагнитного момента асинхронного двигателя в виде скалярных произведений векторов в их компактной и развернутой формах. Приведенные формулы позволяют в каждом конкретном случае выбирать наиболее благоприятный вариант вычисления момента.

$$M_{\text{д}} = \frac{3 \cdot z_p \cdot X_{\mu}}{2 \cdot X_1 \cdot X_2' \cdot \sigma} \operatorname{Im}(\overline{\psi_1} \cdot \overline{\psi_2^*}) = \frac{3 \cdot z_p \cdot X_{\mu}}{2 \cdot X_1 \cdot X_2' \cdot \sigma} (\psi_{1b} \cdot \psi_{2a} - \psi_{1a} \cdot \psi_{2b});$$

$$M_{\text{д}} = \frac{3 \cdot z_p}{2} \operatorname{Im}(\overline{\psi_1^*} \cdot \overline{I_1}) = \frac{3 \cdot z_p}{2} (\psi_{1a} \cdot i_{1b} - \psi_{1b} \cdot i_{1a});$$

$$M_{\text{д}} = \frac{3 \cdot z_p \cdot X_{\mu}}{2} \operatorname{Im}(\overline{I_2^*} \cdot \overline{I_1}) = \frac{3 \cdot z_p \cdot X_{\mu}}{2} (i_{2a} \cdot i_{1b} - i_{2b} \cdot i_{1a});$$

$$M_{\text{д}} = \frac{3 \cdot z_p \cdot X_{\mu}}{2 \cdot X_2'} \operatorname{Im}(\overline{\psi_2^*} \cdot \overline{I_1}) = \frac{3 \cdot z_p \cdot X_{\mu}}{2 \cdot X_2'} (\psi_{2a} \cdot i_{1b} - \psi_{2b} \cdot \psi_{1a});$$

$$M_{\text{д}} = \frac{3 \cdot z_p}{2} \operatorname{Im}(\overline{\psi_2} \cdot \overline{I_2^*}) = \frac{3 \cdot z_p}{2} (\psi_{2b} \cdot i_{2a} - \psi_{2a} \cdot i_{2b}),$$

где  $\overline{I_1}$  - вектор тока статора;  $\overline{I_2^*}$  - вектор тока, комплексно сопряженный с вектором тока ротора  $\overline{I_2}$ ;  $\overline{\psi_1}$  - вектор потокосцепления обмотки статора;  $\overline{\psi_1^*}$  - вектор потокосцепления, комплексно сопряженный с вектором потокосцепления обмотки статора;  $\overline{\psi_2}$  - вектор потокосцепления обмотки ротора;  $\overline{\psi_2^*}$  - вектор потокосцепления, комплексно сопряженный с вектором потокосцепления обмотки ротора;  $\phi_{2a}$  - составляющая вектора потокосцепления обмотки ротора, ориентированная вдоль оси  $a$  неподвижной системы координат;  $\psi_{2b}$  - составляющая вектора потокосцепления обмотки статора, ориентированная вдоль оси  $b$  неподвижной системы координат;  $i_{1a}$  - составляющая вектора тока обмотки статора, ориентированная вдоль оси  $a$  неподвижной системы координат;  $i_{2b}$  - составляющая вектора тока обмотки статора, ориентированная вдоль оси  $b$  неподвижной системы координат.

Структурная схема динамической модели короткозамкнутого асинхронного электродвигателя приведена на рисунке 20.

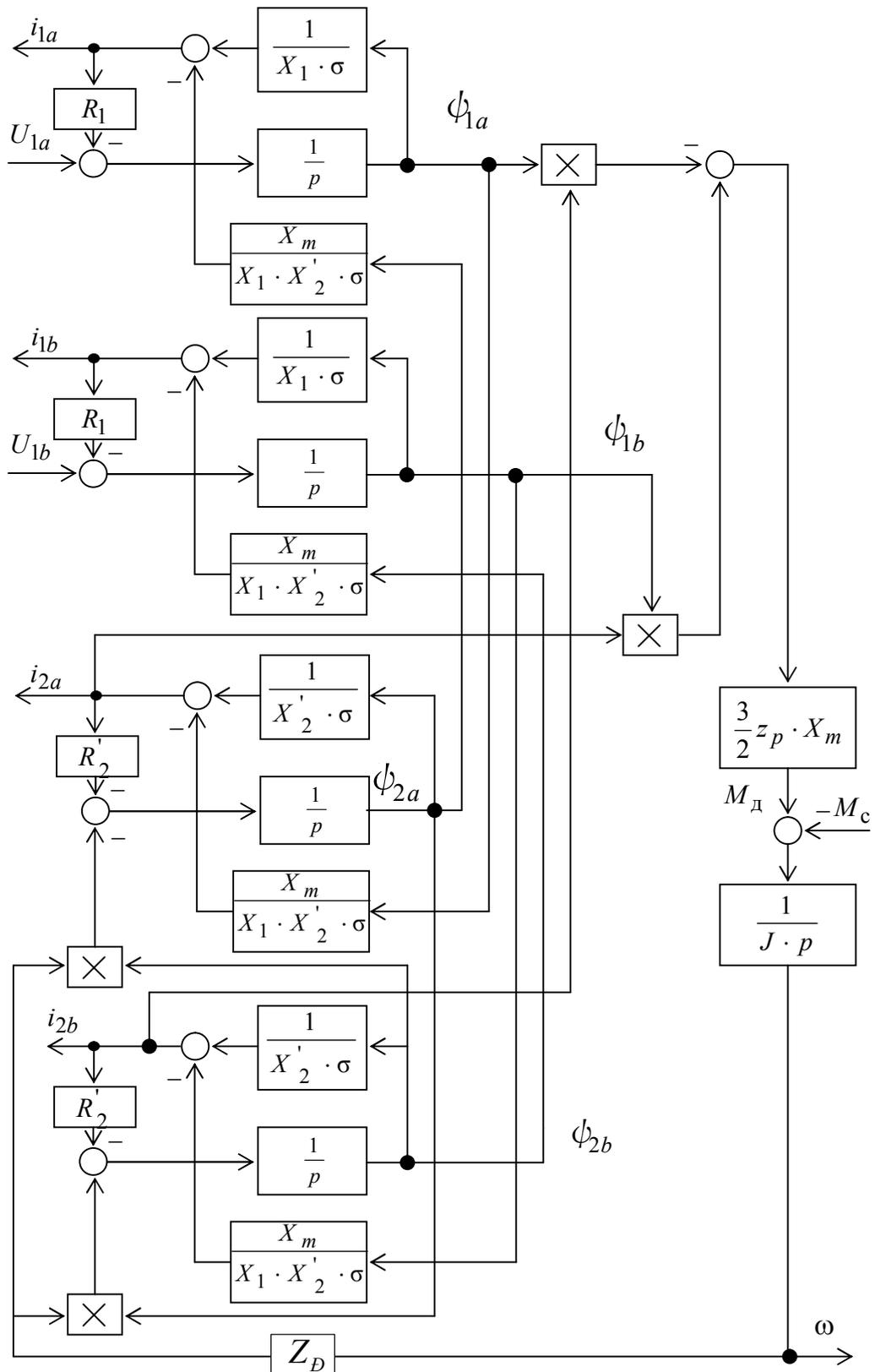


Рисунок 2.6. Структурная схема короткозамкнутого асинхронного двигателя в неподвижной системе координат

Динамическая модель асинхронного двигателя, соответствующая его структурной схеме, рисунок 2.6, в неподвижной системе координат приведена на рисунке 2.7. Результаты моделирования приведены на рисунках 2.8, 2.9, 2.10.

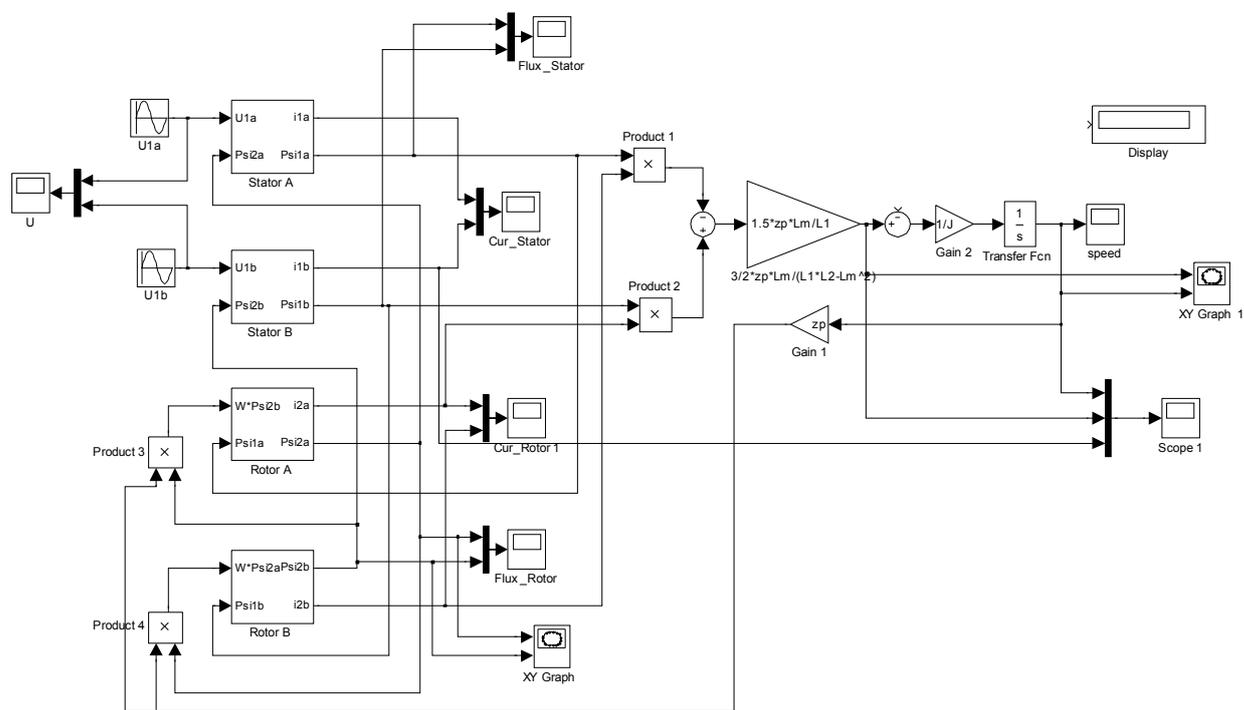


Рисунок 2.7. Схема имитационной модели короткозамкнутого асинхронного двигателя в неподвижной системе координат

Параметры звеньев :

- $R1=0.406;$
- $R2=0.396;$
- $Lm=35.089 / (2 \cdot 3.14 \cdot 50);$
- $p=6;$
- $J=0.09;$
- $L1=1.972 / (2 \cdot 3.14 \cdot 50) + Lm;$
- $L2=2.658 / (2 \cdot 3.14 \cdot 50) + Lm;$
- $zp=p/2;$

Развернутые схемы суперблоков представлены на рисунке 2.8.

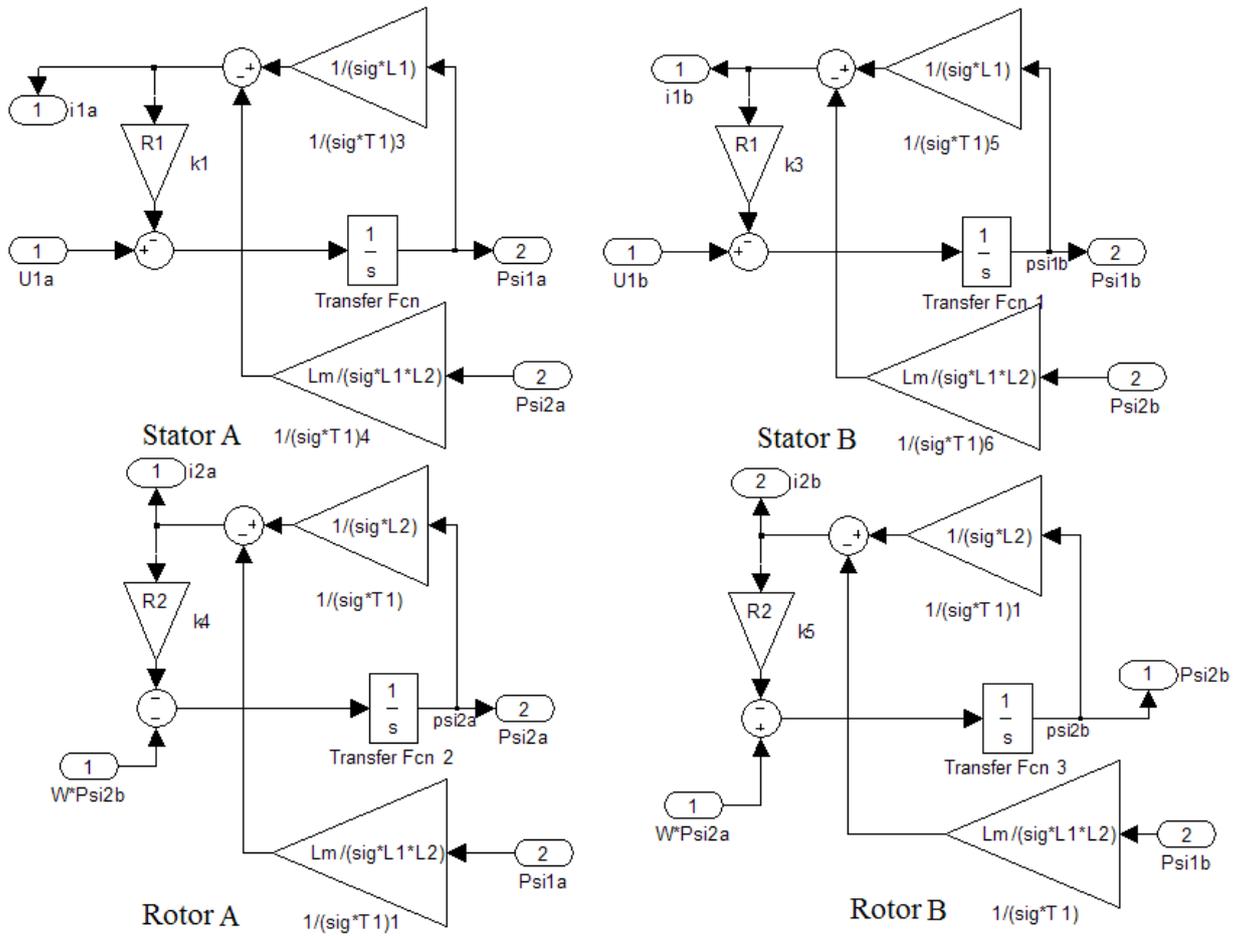


Рисунок 2.8 . Развернутые суперблоки

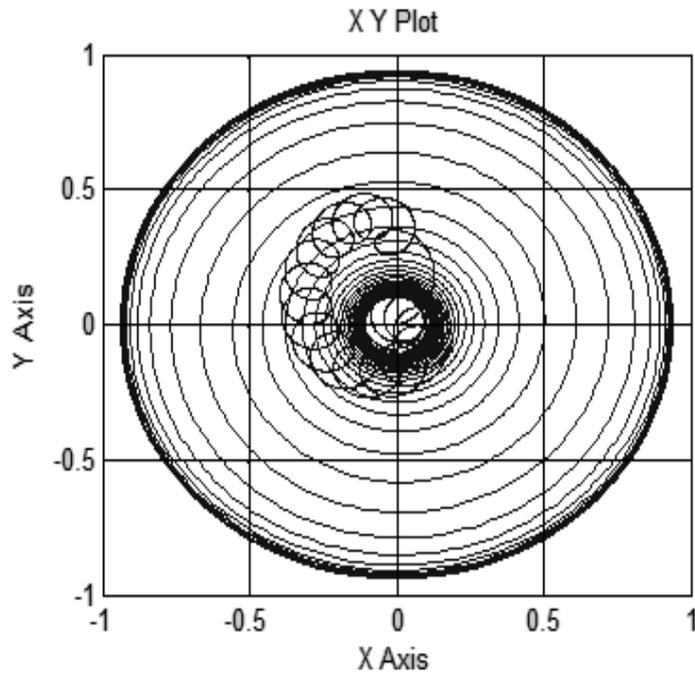
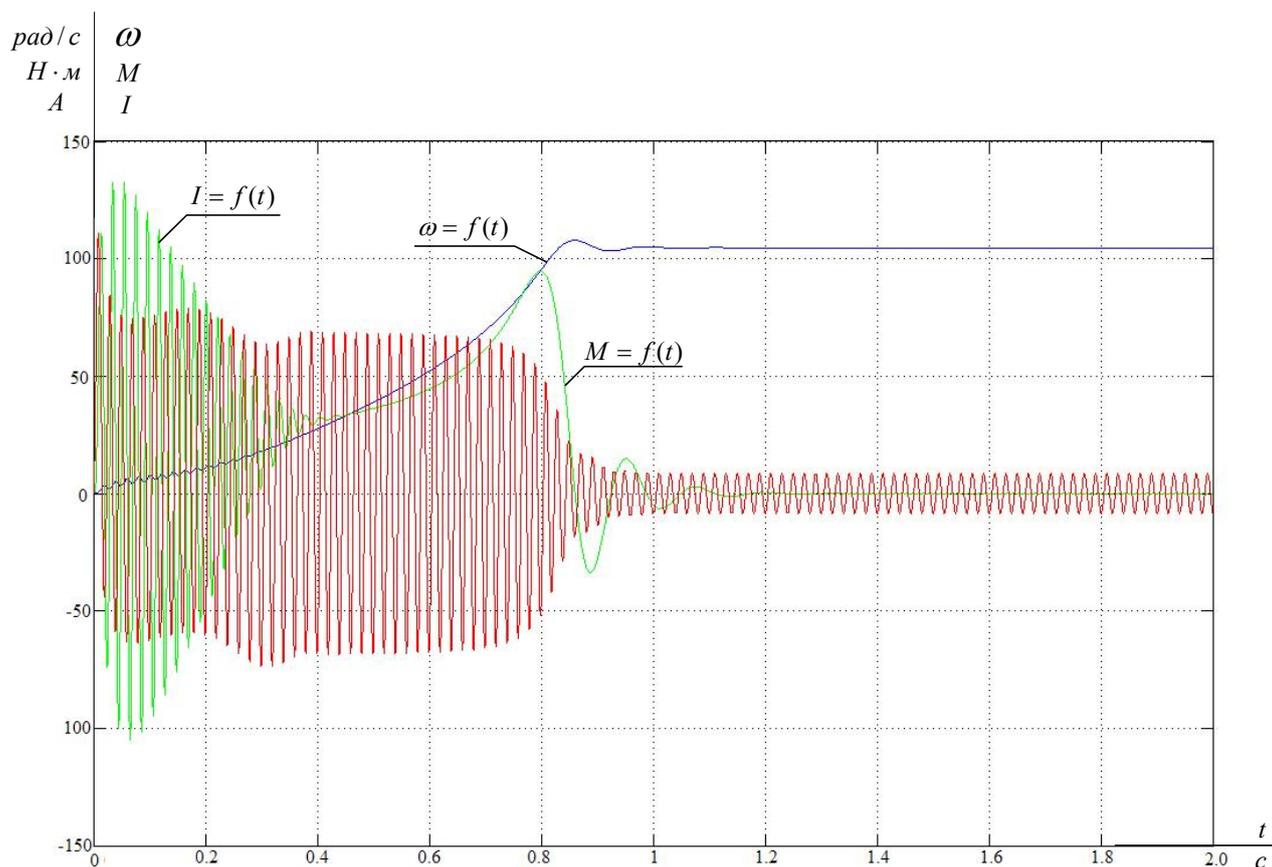


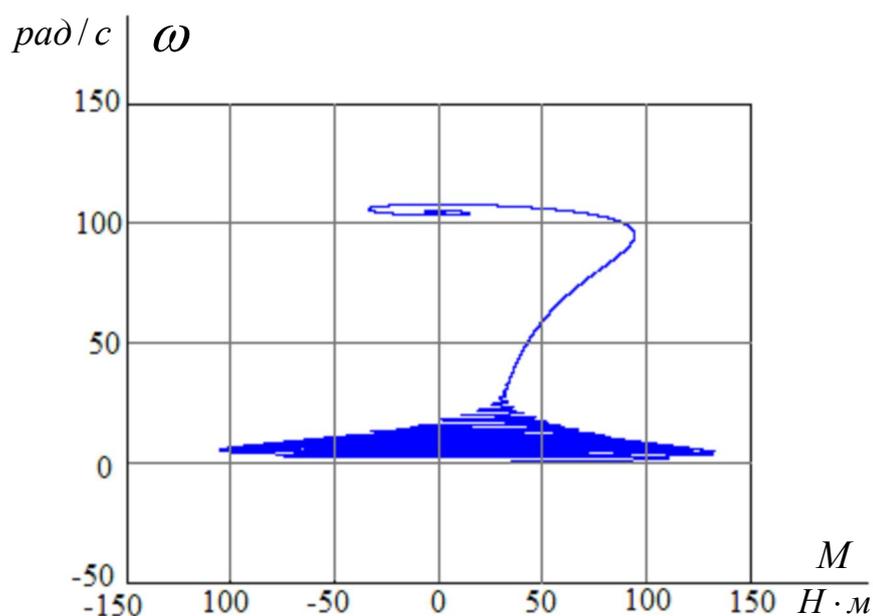
Рисунок 2.9 . Фазовый портрет потокосцепления ротора

Так как динамическую механическую характеристику асинхронного двигателя можно получить только по результатам расчетов переходных процессов, то вначале приведем графики переходных процессов момента и скорости рисунок 2.10 при пуске двигателя прямым включением в сеть.



*Рисунок 2.10. Переходный процесс момента, скорости и тока при пуске короткозамкнутого асинхронного двигателя АИР132М6 прямым включением в сеть при моделировании в неподвижной системе координат*

Графики  $\omega = f(t)$  и  $M = f(t)$  переходных процессов позволяют построить динамическую механическую характеристику (рисунок 2.11) асинхронного двигателя АИР132М6 при пуске прямым включением в сеть.



*Рисунок 2.11. Динамическая механическая характеристика короткозамкнутого асинхронного двигателя АИР132М6 при пуске прямым включением в сеть при моделировании во вращающейся системе координат*

Исследование асинхронного двигателя в динамике показали что асинхронный двигатель установившееся звено системы автоматического управления. Поэтому расчетное значение параметров схемы замещения можно считать приемлемым.

## 2.4 Выбор преобразователя частоты

1. Параметры питающей сети: 3-х фазная сеть 380/220 В, 50 Гц.
2. Выходные параметры преобразователя частоты:
  - 3 фазы;
  - максимальное выходное (линейное) напряжение 380 В.
3. Выбираем преобразователь по номинальному (длительно допустимому) току  $I_{ин}$  и максимальному (кратковременно допустимому) току  $I_{инmax} = I_{ин} \cdot k_{ин}$ , где  $k_{ин}$  – коэффициент допустимой перегрузки инвертора по току, по следующим условиям:
  - в однозонном электроприводе

$$I_{ин} \geq I_{1лн} \cdot \frac{M_{с max}}{M_H} \geq 16,408 \cdot 1 = 16,408 \text{ А};$$

$$I_{имax} \geq I_{1лн} \cdot \frac{M_{эпmax}}{M_H} \geq 16,408 \cdot \frac{132,246}{73,46} = 29,538 \text{ А}.$$

4. Преобразователь должен обеспечивать требуемый диапазон регулирования выходной частоты:

$$f_{и min} < f_{п min}; \quad f_{и max} > f_{п max}.$$

Параметры выбранного преобразователя частоты сведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Параметры преобразователя частоты

Заданные величины	Условное обозначение	Тип ПЧ CIMR-AC4A0031 Yaskawa A1000	Изображение
Параметры питающей сети	$U_{1л}, \text{ В}$	3×380	
	$f_c, \text{ Гц}$	50	
Выходное напряжение	$U_H, \text{ В}$	380	
Выходная частота	$f_H, \text{ Гц}$	(0-132)	
Выходной ток	$I_{VLT.н}, \text{ А}$	24	
	$I_{VLT.макс}, \text{ А}$	38,4	
Рекомендуемая мощность	$P_2, \text{ Вт}$	11	

Принимаем несущую частоту инвертора  $f_{шим} = 8 \text{ кГц}$ .

Преобразователь частоты реализован по стандартной схеме выпрямитель – инвертор с промежуточным звеном постоянного тока. В силовой схеме используется неуправляемый выпрямитель, а в тормозных режимах используется встроенный тормозной резистор небольшой мощности. У механизмов с активным характером нагрузки и большим моментом инерции предусмотрена возможность подключения дополнительного внешнего тормозного резистора. Предусмотрена также возможность установки сглаживающего дросселя в звене постоянного тока.

Мониторинг за состоянием системы осуществляется с помощью датчиков напряжения сети и в звене постоянного тока, а также с помощью датчиков тока в цепях статора АД. Вследствие малого диапазона регулирования скорость измеряется косвенно с помощью вычислительных средств микропроцессора.

Функции управления выполняет цифровой сигнальный процессор. Аппаратные возможности и оптимальная организация программного обеспечения позволяют использовать один процессор для управления ключами инвертора и организации структуры управления электроприводом.

ПЧ имеет стандартный набор защитных функций, которые позволяют сохранить работоспособность электропривода в аварийных ситуациях, а также предупреждения и исключения аварийных ситуаций.

В ПЧ применена самая распространенная для управления асинхронным двигателем схема преобразователя частоты с автономным инвертором напряжения и широтно импульсной модуляцией напряжения на выходе, неуправляемым выпрямителем на входе силовой части схемы и микропроцессорным управлением.

Основные элементы, входящие в функциональную схему:

UZ – неуправляемый выпрямитель;

C – фильтр;

RT – термистор, ограничивающий ток заряда конденсатора  $C_0$ ;

$R_0$  – разрядное сопротивление для конденсатора  $C_0$ ;

FU1, FU2, FU3 – предохранители;

R,C – снаббер: цепь защиты от перенапряжений на транзисторах IGBT;

RS – датчик тока для организации защиты (FA) от сквозных и недопустимых токов перегрузки через IGBT с обратным диодным мостом.

BQ – энкодер, датчик положения и скорости.

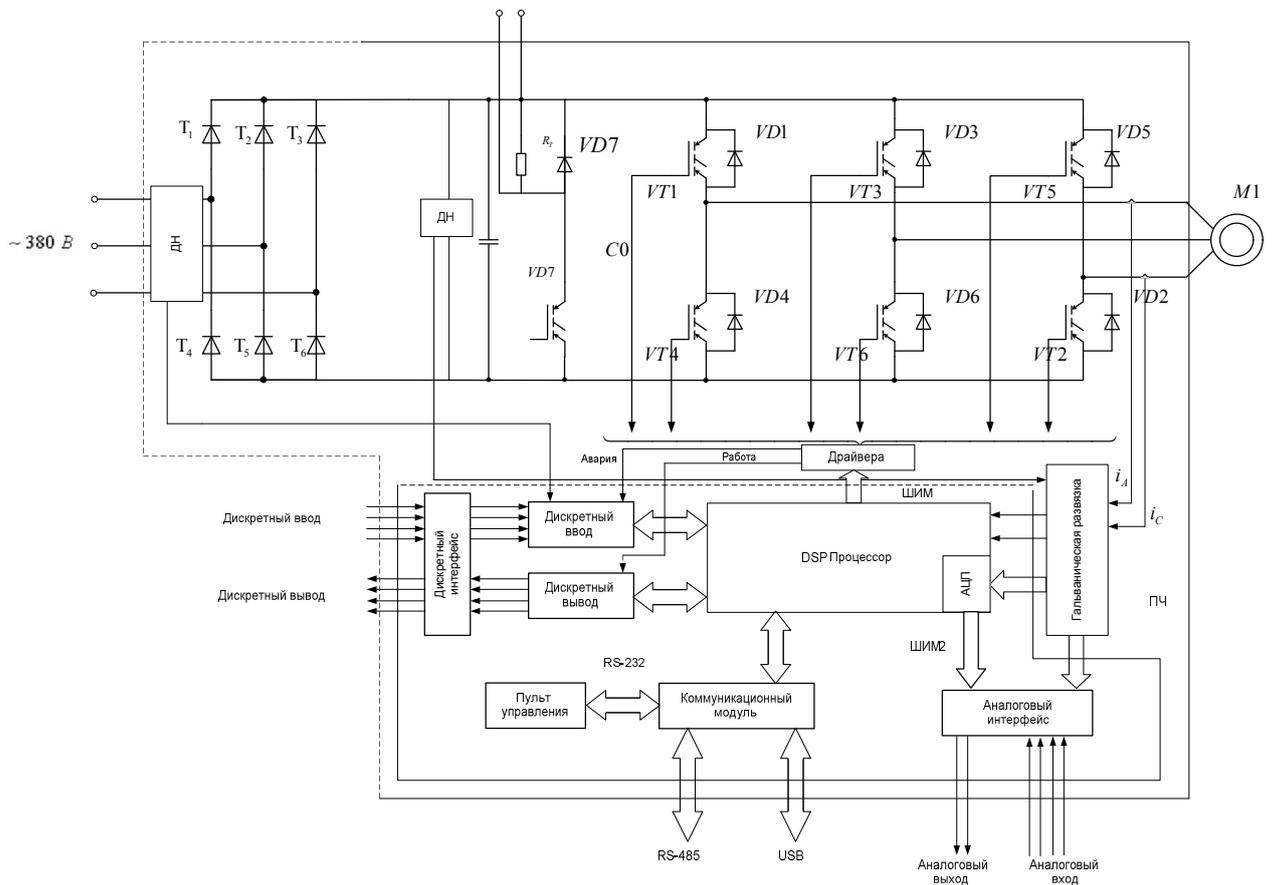


Рисунок 2.12. Функциональная схема ПЧ CIMR Yaskawa A1000

Функциональная схема преобразователя частоты состоит из двух основных блоков: неуправляемого выпрямителя  $UZ$  и управляемого инвертора с блоками управления. Напряжение сети  $U_1$  стандартной частоты  $f_1$  подаётся на вход неуправляемого выпрямителя, преобразующего переменное напряжение  $U_1$  в постоянное  $E_0$ .

Выпрямленное напряжение  $E_0$  подаётся на вход инвертора, который преобразует его в трёхфазное регулируемое напряжение  $U_{1\text{рег}}$  регулируемой частоты  $f_{1\text{рег}}$ , поступающее на двигатель  $M$ . Величина и частота выходного напряжения инвертора  $f_{1\text{рег}}$  регулируется блоком управления АД в функции сигнала управления.

Инвертор состоит из шести транзисторов, работающих в ключевом режиме с условием, если верхний транзистор открыт, то нижний закрыт, и одного тормозного транзистора. Для исключения токов ЭДС самоиндукции в

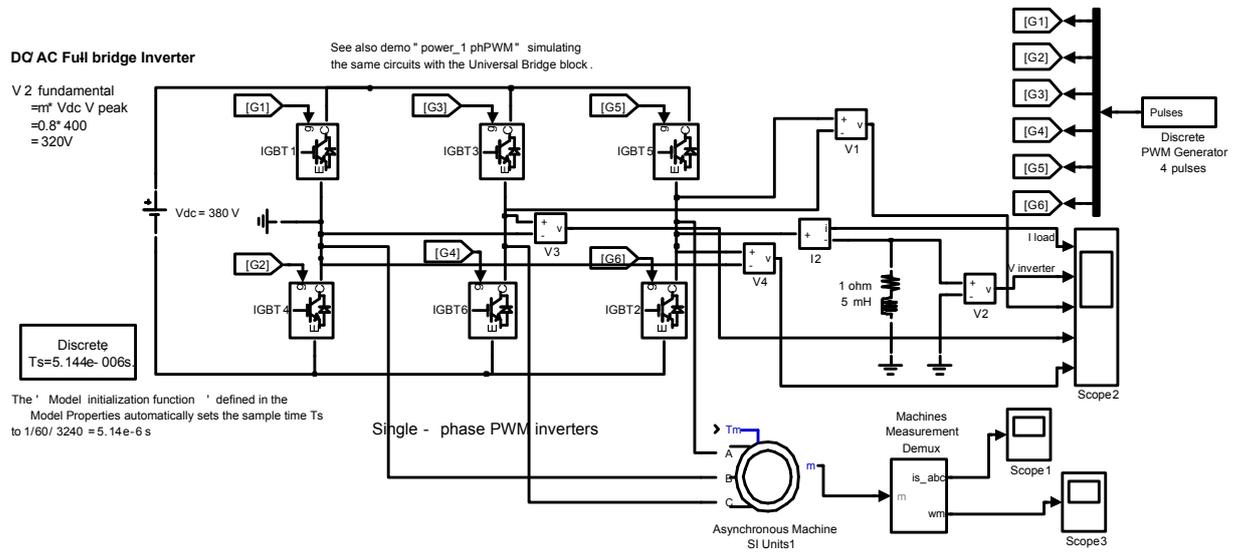
моменты коммутации и устранения обратных напряжений, параллельно IGBT транзисторам включаются быстродействующие диоды FWD.

Силовыми ключами управляет микроконтроллер AD на базе сигнального процессора TMS320F2812. Здесь используется широтно-импульсное регулирование, когда выходное напряжение формируется в виде импульсов переменной за период длительности, модулируемых по заданному закону, что позволяет снизить содержание высших гармоник. При нормальной работе инвертора происходит поочередное включение и выключение транзисторов VT1-VT6, а транзистор VT7 постоянно закрыт. Если же производим динамическое торможение, то все ключи закрываем, а на VT7 подаем управляющее напряжение, которое его открывает и через него на двигатель поступает постоянное напряжение.

Для нормальной работы инвертора необходимо постоянно отслеживать ток звена постоянного тока, с этой целью ставится датчик тока RS, сигнал от которого поступает на защиту FA. И в случае аварии нижние транзисторы открываются, и ток будет протекать по кратчайшему пути.

Исследования электропривода проводились на имитационной модели преобразователя частоты с ШИМ модуляцией переменного напряжения на обмотках статора асинхронного двигателя.

Имитационная модель ШИМ модулятора, используемого при исследовании приведена на рисунке 2.13, диаграммы напряжений поясняющие его работу, приведены на рисунке 2.14, переходный процесс на рисунке 2.15, 2.16.



*Рисунок 2.13. Имитационная модель с ШИМ-модуляцией*

*Рисунок 2.14. Диаграммы напряжений*

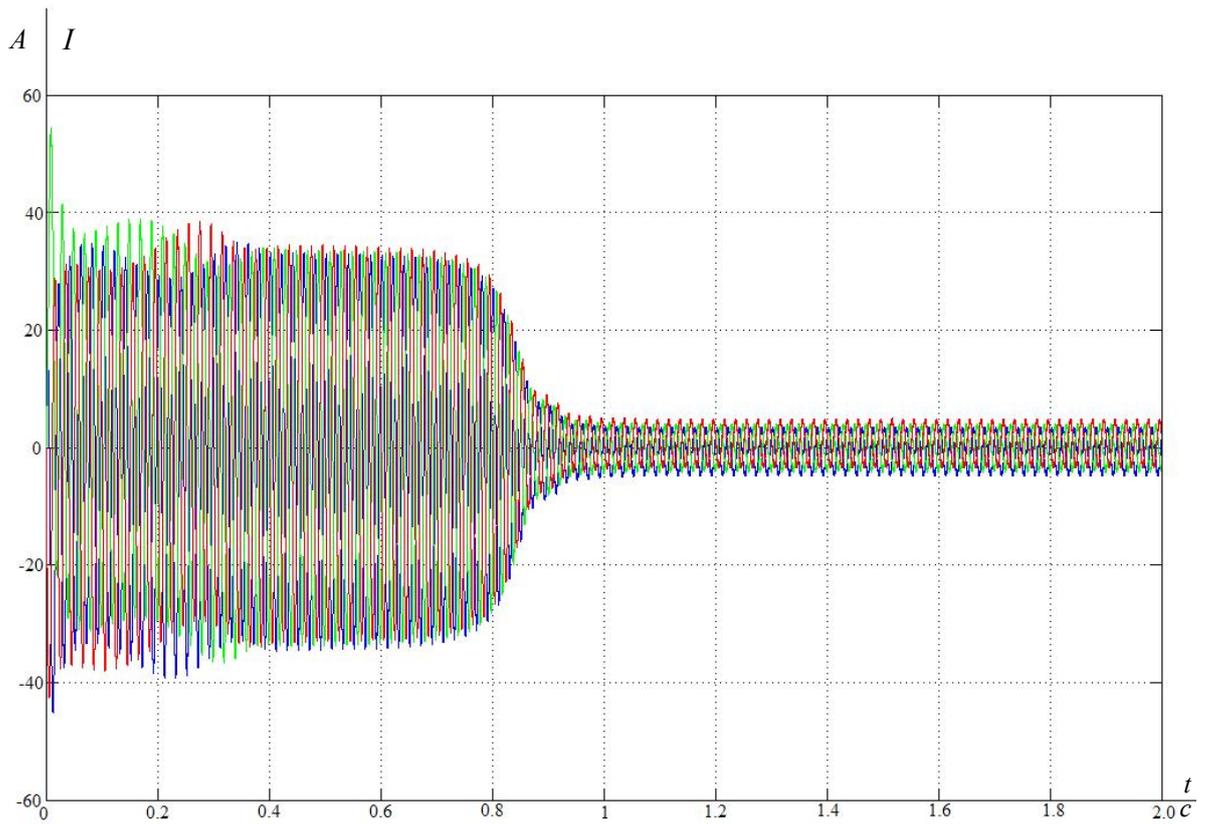


Рисунок 2.15. Переходные процессы токов

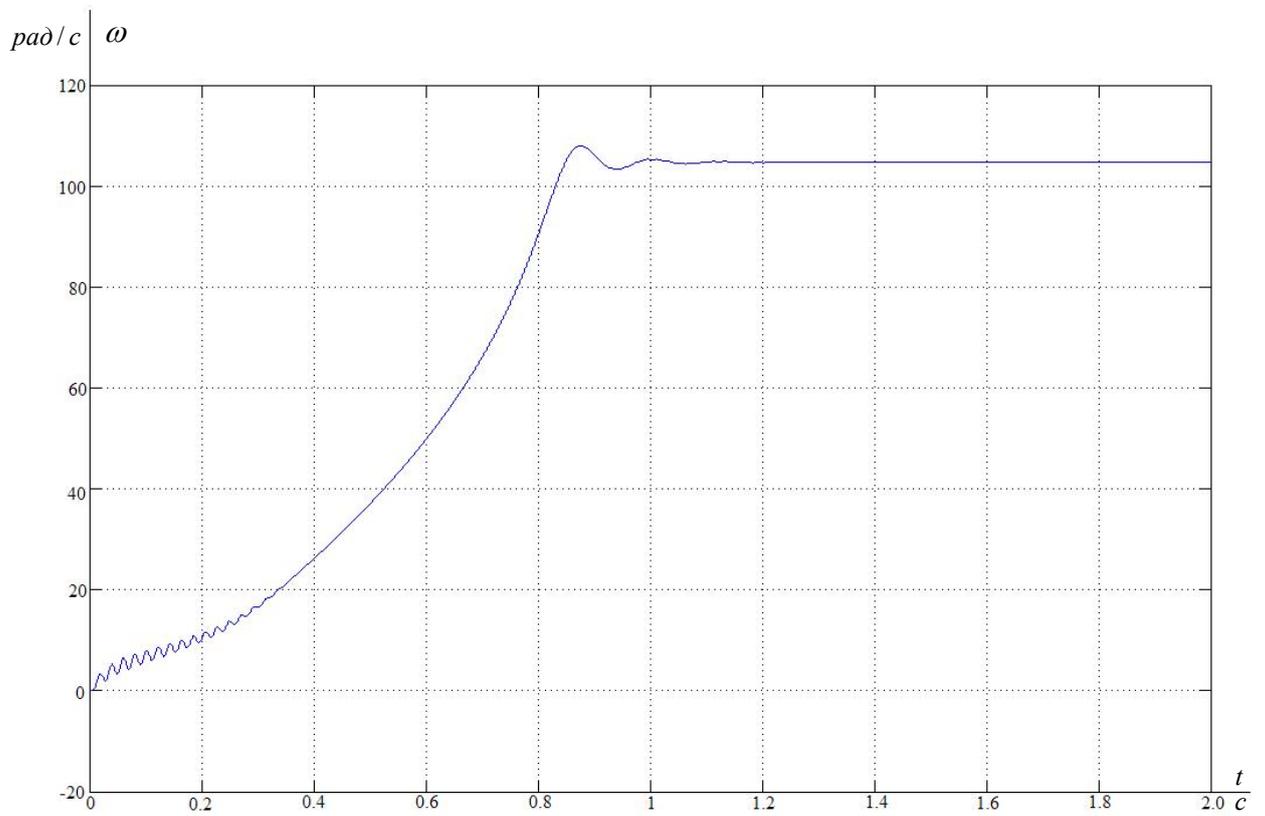


Рисунок 2.16. Переходный процесс скорости с ШИМ-модуляцией

Исследования процессов пуска системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель», проведенные на имитационных моделях показали, что они практически полностью совпадают (см. рисунок 2.10 и рисунок 2.16). Следовательно, если по двум моделям получены идентичные результаты, то далее исследования можно будет проводить на более простых моделях, так как в этом случае расчет переходных процессов значительно ускорится.

## 2.5. Расчёт момента инерции

Для расчета динамических режимов работы электропривода отдающих устройств необходимо найти момент инерции механизма. Для данного электропривода моментом инерции механизма является момент инерции барабана с пучком изолированных проводников. Рассчитаем момент инерции барабана, габаритные размеры которого представлены на рисунке 2.17.

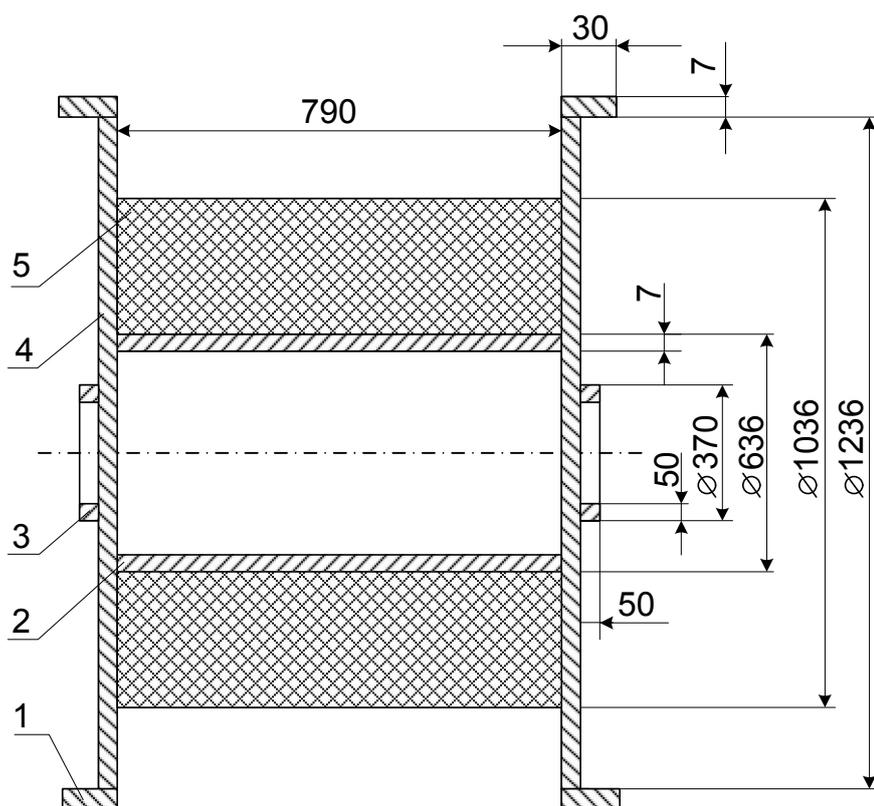


Рисунок 2.17. Составные части барабана

Для удобства расчёта разобьём барабан на составляющие элементы и определим момент инерции барабана, как сумму составляющих.

Для расчёта момента инерции первой составляющей определим площадь её поперечного сечения и объём. Площадь поперечного сечения обода барабана

$$S_1 = \pi(R_1^2 - r_1^2) = 3,14(0,625^2 - 0,618^2) = 0,027 \text{ м}^2,$$

где  $R_1$  – внешний радиус обода барабана,

$$R_1 = 1,236 + 7 \cdot 2 = 1,250 \div 2 = 0,625 \text{ м},$$

$r_1$  – внутренний радиус обода барабана,

$$r_1 = 1,236 \div 2 = 0,618 \text{ м}.$$

Объём обода барабана

$$V_1 = S_1 \cdot l_1 = 0,0273 \cdot 0,03 = 0,00082 \text{ м}^3.$$

где  $l_1$  – длина выступающей части барабана  $l_1 = 0,03 \text{ м}$ .

Определим массу составляющей 1 барабана

$$m_1 = V_1 \cdot \rho = 0,00082 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 6,4 \text{ кг},$$

где  $\rho$  – плотность,  $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Момент инерции первой составляющей

$$J_1 = m_1 \frac{R_1^2 + r_1^2}{2} = 6,4 \frac{0,625^2 + 0,618^2}{2} = 2,472 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Аналогичный расчёт производим для составляющих 2, 3, 4, 5.

Для расчёта момента инерции второй составляющей определим площадь её поперечного сечения и объём. Площадь поперечного сечения второй составляющей барабана

$$S_2 = \pi(R_2^2 - r_2^2) = 3,14(0,318^2 - 0,311^2) = 0,0138 \text{ м}^2;$$

где  $R_2$  – внешний радиус второй составляющей барабана,

$$R_2 = 0,636 \div 2 = 0,318 \text{ м},$$

$r_2$  – внутренний радиус второй составляющей барабана,

$$r_2 = 0,318 - 0,007 = 0,311 \text{ м}.$$

Объём второй составляющей барабана

$$V_2 = S_2 \cdot l_2 = 0,0138 \cdot 0,79 = 0,0109 \text{ м}^3;$$

где  $l_2$  – длина второй составляющей барабана  $l_2 = 0,79 \text{ м}$ .

Определим массу второй составляющей

$$m_2 = V_2 \cdot \rho = 0,0109 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 85,24 \text{ кг},$$

где  $\rho$  – плотность,  $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Момент инерции второй составляющей

$$J_2 = m_2 \frac{R_2^2 + r_2^2}{2} = 85,24 \frac{0,318^2 + 0,311^2}{2} = 8,432 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Для расчёта момента инерции третьей составляющей определим площадь её поперечного сечения и объём. Площадь поперечного сечения второй составляющей барабана

$$S_3 = \pi(R_3^2 - r_3^2) = 3,14(0,185^2 - 0,135^2) = 0,05024 \text{ м}^2;$$

где  $R_3$  – внешний радиус третьей составляющей барабана,

$$R_3 = 0,370 \div 2 = 0,185 \text{ м},$$

$r_3$  – внутренний радиус третьей составляющей барабана,

$$r_3 = 0,185 - 0,005 = 0,135 \text{ м}.$$

Объём третьей составляющей барабана

$$V_3 = S_3 \cdot l_3 = 0,05024 \cdot 0,05 = 0,002512 \text{ м}^3;$$

где  $l_3$  – длина второй составляющей барабана  $l_3 = 0,05 \text{ м}$ .

Определим массу третьей составляющей

$$m_3 = V_3 \cdot \rho = 0,002512 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 19,6 \text{ кг},$$

где  $\rho$  – плотность,  $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Момент инерции третьей составляющей

$$J_3 = m_3 \frac{R_3^2 + r_3^2}{2} = 19,6 \frac{0,185^2 + 0,135^2}{2} = 0,514 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Для расчёта момента инерции четвертой составляющей определим площадь её поперечного сечения и объём. Площадь поперечного сечения четвертой составляющей барабана

$$S_4 = \pi \cdot R_4 = 3,14 \cdot 0,618^2 = 1,199 \text{ м}^2;$$

где  $R_4$  – внешний радиус третьей составляющей барабана,

$$R_4 = 1,236 \div 2 = 0,618 \text{ м},$$

Объём четвертой составляющей барабана

$$V_4 = S_4 \cdot l_4 = 1,199 \cdot 0,007 = 0,0084 \text{ м}^3;$$

где  $l_4$  – длина второй составляющей барабана  $l_4 = 0,007 \text{ м}$ .

Определим массу четвертой составляющей

$$m_4 = V_4 \cdot \rho = 0,0084 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 65,47 \text{ кг},$$

где  $\rho$  – плотность,  $\rho = 7,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Момент инерции четвертой составляющей

$$J_4 = m_4 \frac{R_4^2}{2} = 65,47 \frac{0,618^2}{2} = 12,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции пустого барабана:

$$J_{\text{он}} = 2J_1 + J_2 + 2J_3 + 2J_4 = 2 \cdot 2,472 + 8,432 + 2 \cdot 0,514 + 2 \cdot 12,5 = 39,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Для расчёта момента инерции пятой составляющей определим площадь её поперечного сечения и объём. Площадь поперечного сечения пятой составляющей барабана

$$S_5 = \pi \cdot (R_5^2 - r_5^2) = 3,14 \cdot (0,518^2 - 0,318^2) = 0,525 \text{ м}^2;$$

где  $R_5$  – внешний радиус третьей составляющей барабана,

$$R_5 = 1,036 \div 2 = 0,518 \text{ м},$$

$r_5$  – внутренний радиус третьей составляющей барабана,

$$r_5 = 0,636 \div 2 = 0,318 \text{ м}.$$

Объём пятой составляющей барабана

$$V_5 = S_5 \cdot l_5 = 0,525 \cdot 0,79 = 0,415 \text{ м}^3;$$

где  $l_5$  – длина второй составляющей барабана  $l_5 = 0,79 \text{ м}$ .

Определим массу пятой составляющей

$$m_5 = 29,97 \cdot 15 = 449,55 \text{ кг},$$

где 29,97 кг/км – удельная масса кабеля, 15 км – длина кабеля.

Момент инерции пятой составляющей

$$J_5 = m_5 \frac{R_5^2 + r_5^2}{2} = 449,55 \frac{0,518^2 + 0,318^2}{2} = 83,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции заполненного барабана:

$$\begin{aligned} J_{\text{бэн}} &= 2J_1 + J_2 + 2J_3 + 2J_4 + J_5 = \\ &= 2 \cdot 2,472 + 8,432 + 2 \cdot 0,514 + 2 \cdot 12,5 + 83,04 = 122,44 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \end{aligned}$$

Эквивалентный момент инерции механической системы с заполненным барабаном:

$$J_{\text{эн}} = J_1 + J_2 = 1,1J_{\text{оэ}} + 1,1 \frac{J_{\text{он}}}{i_p^2} = 1,1 \cdot 0,09 + 1,1 \frac{122,44}{17^2} = 1,456 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Эквивалентный момент инерции механической системы с пустым барабаном:

$$J_{\text{эн}} = J_1 + J_2 = 1,1J_{\text{оэ}} + 1,1 \frac{J_{\text{он}}}{i_p^2} = 1,1 \cdot 0,09 + 1,1 \frac{39,4}{17^2} = 1,14 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

### 3. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ

В силовой канал электропривода входят:

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

При решении задач анализа и синтеза регулируемых асинхронных электроприводов обычно применяются модели электродвигателя, составленные на базе обобщенной электрической машины и выполненные в неподвижной или вращающейся двухфазной системе координат  $(x, y)$ . На рисунке 3.1 приведена структурная схема силового канала непрерывной линеаризованной системы преобразователь – асинхронный электродвигатель во вращающейся системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора. Входными величинами структурной схемы являются составляющие напряжения управления преобразователя  $U_{упX}$  и  $U_{упY}$ , а выходной величиной – угловая скорость двигателя  $\omega$ . Данная структурная схема характеризуется следующими промежуточными координатами:  $U_{1X}, U_{1Y}, I_{1X}, I_{1Y}, \psi_{2X}, \psi_{2Y}$  – составляющие напряжения, тока статора и потокосцепления ротора в ортогональной системе координат  $(x, y)$ ;  $M_{двэм}$  – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

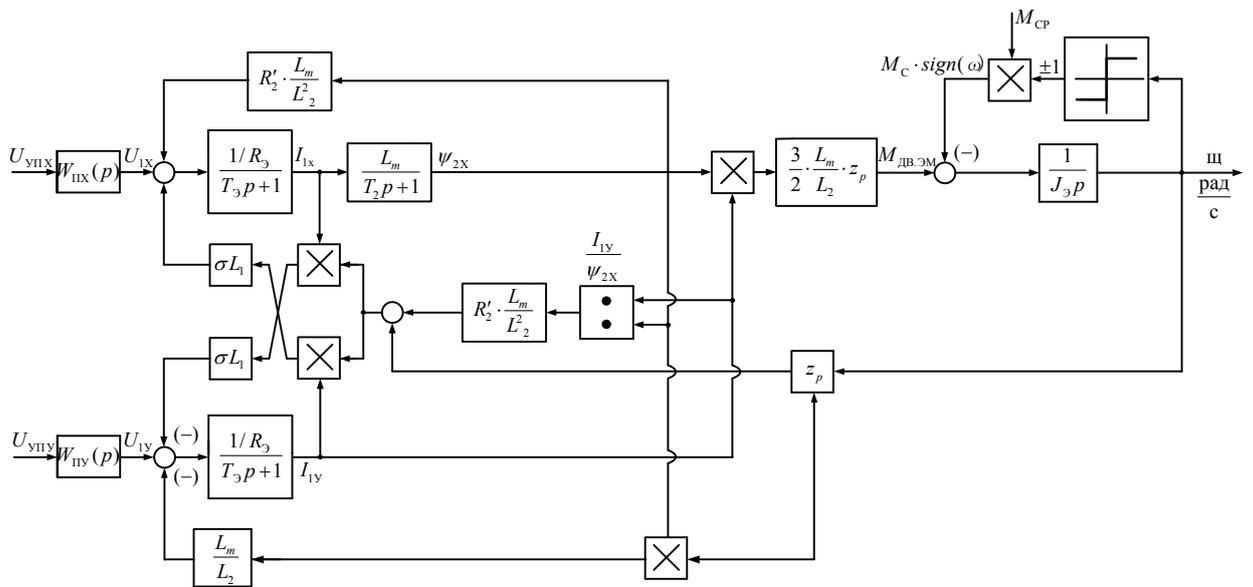


Рисунок 3.1. Структурная схема силового канала системы преобразователь – АД в неподвижной двухфазной системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

В структурной схеме присутствуют внутренние обратные связи, в том числе нелинейные перекрестные. Если они скомпенсированы или не учитываются, то структурная схема системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель во вращающейся двухфазной системе координат приводится к виду, показанному на рисунке 3.2.

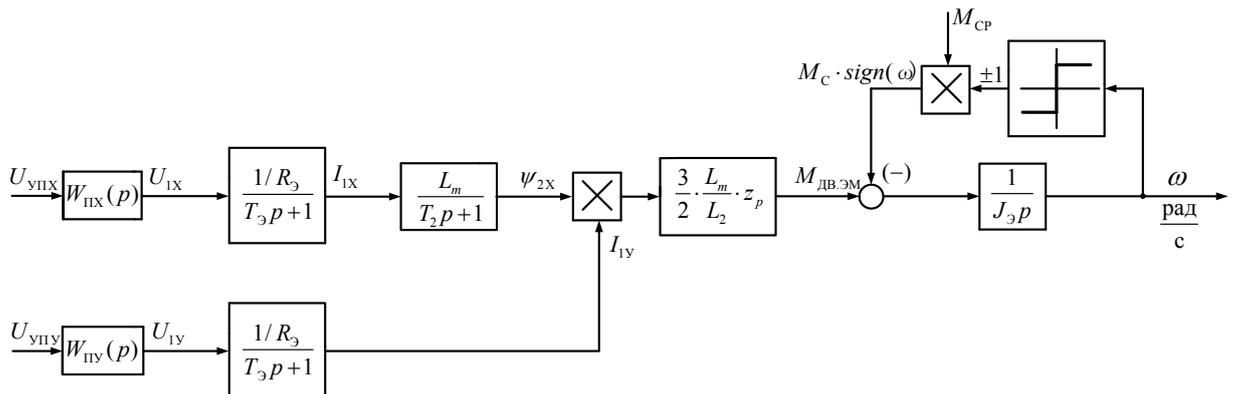


Рисунок 3.2. Структурная схема силового канала системы преобразователь – АД в неподвижной двухфазной системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, при компенсации внутренних обратных связей

### 3.1. Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода Расчет параметров преобразователя

Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя

$$k_{и} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\Phi}}{U_{уп\text{макс}}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,113,$$

где  $U_{уп\text{макс}} = 10$  В, – максимальное значение напряжения управления.

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$T_{и} = \frac{0,5}{f_{и}} = \frac{0,5}{8 \cdot 10^3} = 6,25 \cdot 10^{-5} \text{ с},$$

где  $f_{и}$  – несущая частота инвертора, Гц.

### Расчет параметров двигателя

Эквивалентная индуктивность обмоток:

- статора

$$L_1 = L_{1\delta} + L_{\mu} = 0,00628 + 0,112 \cong 0,1183 \text{ Гн};$$

- ротора

$$L_2' = L_{2\delta}' + L_{\mu} = 0,00846 + 0,112 \cong 0,12 \text{ Гн}.$$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,112^2}{0,117 \cdot 0,12} = 0,12.$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_{\mu}^2}{L_2^2} = 0,406 + 0,396 \cdot \frac{0,112^2}{0,12^2} = 0,748 \text{ Ом}.$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_{\Sigma} = \frac{\delta \cdot L_1}{R_{\Sigma}} = \frac{0,12 \cdot 0,117}{0,748} = 1,89 \cdot 10^{-2} \text{ с};$$



Для расчетов коэффициентов обратной связи принимаем  $U_{3\text{МАКС}} = 10 \text{ В}$ .

Коэффициент обратной связи по току

$$k_T = \frac{U_{3\text{ТМАКС}}}{I_{1\text{УМАКС}}} = \frac{10}{162,25} = 0,062 \text{ В/А}.$$

Период сглаживания результатов измерения тока

$$T_{\text{СТ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} \cdot n_T = \frac{1}{8 \cdot 10^3} \cdot 8 = 0,001 \text{ с},$$

где  $n_T = 8$  количество измерений.

Малая постоянная времени цепи обратной связи по току

$$T_{\mu T 0} = \frac{T_{\text{СТ}}}{3} = \frac{0,001}{3} = 0,000333 \text{ с}.$$

Имеем  $U_{3\psi\text{МАКС}} = 10 \text{ В}$ .

Коэффициент обратной связи по потокосцеплению ротора

$$k_\psi = \frac{U_{3\psi\text{МАКС}}}{\psi_{2\text{ХН}}} = \frac{10}{0,889} = 11,252 \text{ В/Вб}.$$

Период расчета потокосцепления: имеем  $n_\psi \geq 3$ ;

$$T_{\text{С}\psi} = \left(16 \cdot \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}}\right) \cdot n_\psi = \left(16 \cdot \frac{1}{8 \cdot 10^3}\right) \cdot 3 = 0,006 \text{ с};$$

Малая постоянная времени цепи обратной связи по потокосцеплению

$$T_{\mu\psi 0} = \frac{T_{\text{С}\psi}}{3} = \frac{0,006}{3} = 0,002 \text{ с}.$$

Имеем  $U_{3\text{СМАКС}} = 10 \text{ В}$ ;  $f_{\text{ШИМ}} = 8 \text{ кГц}$ .

Коэффициент обратной связи по скорости

$$k_C = \frac{U_{3\text{СМАКС}}}{\omega_{\text{ЭПМАКС}}} = \frac{10}{104,7} = 0,0955 \text{ В} \cdot \text{с/рад}.$$

Период расчета скорости:

имеем  $n_C \geq 3$ ;

$$T_{\text{СС}} = \left(16 \cdot \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}}\right) \cdot n_C = \left(16 \cdot \frac{1}{8 \cdot 10^3}\right) \cdot 3 = 0,006 \text{ с}.$$

Малая постоянная времени цепи обратной связи по скорости

$$T_{\mu C 0} = \frac{T_{\text{СС}}}{3} = \frac{0,006}{3} = 0,002 \text{ с}.$$

### 3.3. Оптимизация контура тока

Структурная схема контура тока с инерционной обратной связью и полной компенсацией внутренней отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя приведена на рисунке 3.5. Контуров токов  $I_{1x}$  и  $I_{1y}$  идентичные.

Контур регулирования тока имеет относительно большую инерционность в цепи обратной связи.

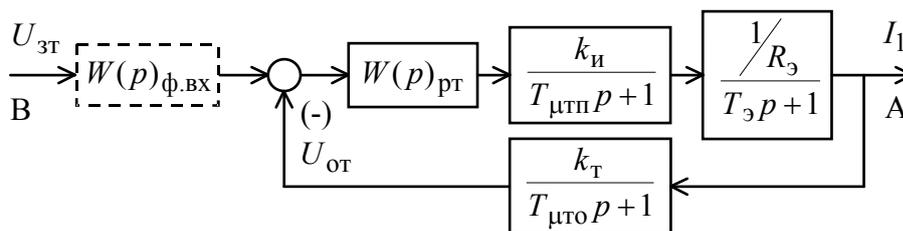


Рисунок 3.5– Структурная схема контура тока

На схеме рисунке 3.5 приняты следующие обозначения:

$U_{\text{зт}}$  – напряжение задания на ток, В;

$T_{\mu\tau\Pi}$  – малая постоянная времени в прямом канале. Допустимо принять

$$T_{\mu\tau\Pi} = T_{\text{и}} = 6,25 \cdot 10^{-5} \text{ с};$$

$T_{\mu\tau\text{о}}$  – малая постоянная времени в цепи обратной связи, с.

Постоянная времени регулятора тока

$$T_{\text{рТ}} = T_{\text{э}} = 0,019 \text{ с};$$

Передаточная функция ПИ-регулятора тока

$$W_{\text{рТ}}(p) = k_{\text{рТ}} \cdot \frac{T_{\text{рТ}} \cdot p + 1}{T_{\text{рТ}} \cdot p} = 9,317 \cdot \frac{0,019 \cdot p + 1}{0,019 \cdot p}.$$

Коэффициент усиления регулятора тока

$$k_{\text{рТ}} = \frac{T_{\text{э}} \cdot R_{\text{э}}}{k_{\text{и}} \cdot k_{\text{т}} \cdot a_{\text{т}} \cdot T_{\mu\tau\text{э}}} = \frac{0,019 \cdot 0,7483}{31,113 \cdot 0,062 \cdot 2 \cdot 0,396 \cdot 10^{-3}} = 9,317,$$

где  $U_{\text{зтМАКС}} = 10\text{В}$ ,

$a_{\text{т}} = 2$  – коэффициент оптимизации.

Контур тока имеет следующие передаточные функции:

- разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{Т раз}} = \frac{1}{a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{ТП}} \cdot T_{\mu\text{ТО}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}} \cdot p^3 + a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}} \cdot p} =$$

$$= \frac{1}{a_{\text{T}} \cdot 6,25 \cdot 10^{-5} \cdot 0,000333 \cdot 0,000396 \cdot p^3 + a_{\text{T}} \cdot 0,000396^2 \cdot p^2 + a_{\text{T}} \cdot 0,000396 \cdot p}$$

– замкнутого контура по управлению

$$W(p)_{\text{ЗАМ.Т}} = \frac{\frac{1}{k_{\text{T}}} \cdot (T_{\mu\text{ТО}} \cdot p + 1)}{a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{ТП}} \cdot T_{\mu\text{ТО}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}} \cdot p^3 + a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}} \cdot p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_{\text{T}}} \cdot (T_{\mu\text{ТО}} \cdot p + 1)}{a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}} \cdot p + 1} \approx \frac{\frac{1}{0,062} \cdot (0,333 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1)}{2 \cdot 0,000396^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,000396 \cdot p + 1};$$

где  $T_{\mu\text{ТЭ}} = T_{\mu\text{ТП}} + T_{\mu\text{ТО}} = 0,0000625 + 0,000333 = 0,000396$  с – эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура.

Настройка контура близка к настройке на модульный оптимум (МО) системы 2-го порядка. Контур является астатической системой 1-го порядка по управлению.

### 3.4. Оптимизация контура потокосцепления

Структурная схема контура потокосцепления с инерционной обратной связью и ПИ–регулятором приведена на рисунке 3.6.

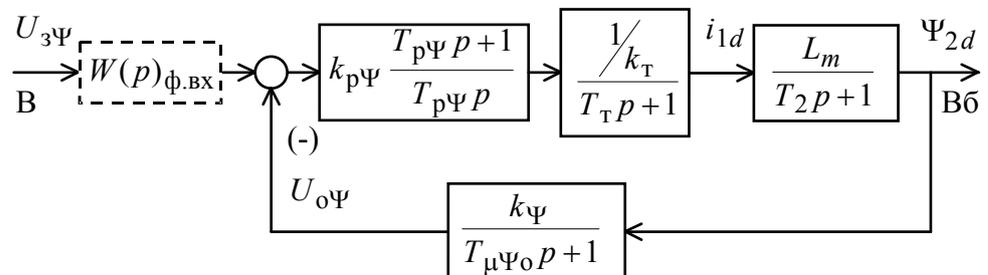


Рисунок 3.6. Структурная схема контура потокосцепления с ПИ-регулятором

Контур регулирования потокосцепления имеет относительно большую инерционность в цепи обратной связи.

При оптимизации контура потокосцепления внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{ЗАМ.Т}} \approx \frac{1}{T_T \cdot p + 1} \approx \frac{1}{0,792 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1} \approx \frac{16,129}{0,792 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1},$$

где  $T_T = a_T \cdot T_{\mu\Gamma\Theta} = a_T \cdot (T_{\mu\Gamma\Pi} + T_{\mu\Gamma\Theta}) = 2 \cdot (0,0625 \cdot 10^{-3} + 0,333 \cdot 10^{-3}) = 0,792 \cdot 10^{-3} \text{ с}$  – эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

Передаточная функция ПИ-регулятора потокосцепления

$$W(p)_{\text{P}\psi} = k_{\text{P}\psi} \cdot \frac{T_{\text{P}\psi} \cdot p + 1}{T_{\text{P}\psi} \cdot p} = 2,665 \cdot \frac{0,304 \cdot p + 1}{0,304 \cdot p}.$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора потокосцепления определяются по выражениям

$$k_{\text{P}\psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_\psi} \cdot \frac{1}{a_\psi \cdot (T_T + T_{\mu\psi\Theta})} = \frac{0,304 \cdot 0,062}{0,112 \cdot 11,252} \cdot \frac{1}{2 \cdot (0,000792 + 0,002)} = 2,665,$$

$a_\psi = 2$  – коэффициент оптимизации.

Контур потокосцепления с ПИ – регулятором настроенный таким образом имеет следующие передаточные функции:

- разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{РАЗ.}\psi} = \frac{1}{a_\psi \cdot T_T \cdot T_{\mu\psi\Theta} \cdot T_{\mu\psi\Theta} \cdot p^3 + a_\psi \cdot T_{\mu\psi\Theta}^2 \cdot p^2 + a_\psi \cdot T_{\mu\psi\Theta} \cdot p} = \frac{1}{2 \cdot 0,792 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 2,79 \cdot 10^{-3} \cdot p^3 + 2 \cdot (2,79 \cdot 10^{-3})^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 2,79 \cdot 10^{-3} \cdot p};$$

- замкнутого контура

$$W(p)_{\text{ЗАМ.}\psi} = \frac{\frac{1}{k_{\psi}} \cdot (T_{\mu\psi 0} \cdot p + 1)}{a_{\psi} \cdot T_{\Gamma} \cdot T_{\mu\psi 0} \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p^3 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi \Delta}^2 \cdot p^2 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_{\psi}} \cdot (T_{\mu\psi 0} \cdot p + 1)}{a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi \Delta}^2 \cdot p^2 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi \Delta} \cdot p + 1} \approx \frac{\frac{1}{11,252} \cdot (2 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1)}{2 \cdot (2,79 \cdot 10^{-3})^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 2,79 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1};$$

где  $T_{\mu\psi \Delta} = T_{\Gamma} + T_{\mu\psi 0} = 0,792 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} = 2,79 \cdot 10^{-3}$  с – эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура.

Настройка контура потокосцепления с ПИ-регулятором близка к настройке на МО системы 2-го порядка. Контур является астатической системой регулирования первого порядка по управлению и обеспечивает нулевую установившуюся ошибку по управлению  $\Delta\psi_{\text{уст}} = 0$ .

### 3.5. Оптимизация контура скорости

Контур регулирования скорости имеет относительно большую инерционность в цепи обратной связи.

При оптимизации контура скорости внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представлен усеченной передаточной функцией 1-го порядка.

Структурная схема контура скорости с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором приведена на рисунке 3.7.

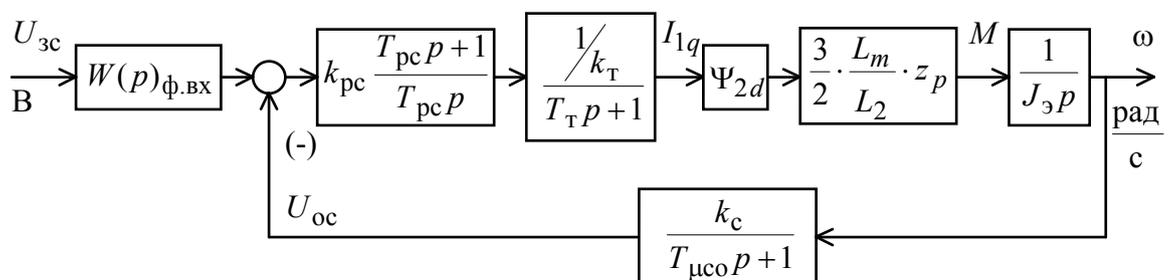


Рисунок 3.7. Структурная схема контура скорости с ПИ-регулятором

Передаточная функция ПИ-регулятора

$$W(p)_{\text{PC зап}} = k_{\text{PC зап}} \cdot \frac{T_{\text{PC}} \cdot p + 1}{T_{\text{PC}} \cdot p} = 17,562 \cdot \frac{0,011 \cdot p + 1}{0,011 \cdot p},$$

$$W(p)_{\text{PC пуск}} = k_{\text{PC пуск}} \cdot \frac{T_{\text{PC}} \cdot p + 1}{T_{\text{PC}} \cdot p} = 7,739 \cdot \frac{0,011 \cdot p + 1}{0,011 \cdot p}.$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости определяются по выражениям

$$k_{\text{PC зап}} = \frac{J_{\text{Эзап}} \cdot k_{\text{T}}}{\psi_{2X} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_{\text{P}} \cdot k_{\text{C}}} \cdot \frac{1}{a_{\text{C}} \cdot (T_{\text{T}} + T_{\mu\text{C0}})} = \frac{0,565 \cdot 0,062}{0,889 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,112}{0,12} \cdot 3 \cdot 0,0955} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{1}{2 \cdot (0,792 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3})} = 17,562,$$

$$k_{\text{PC пуск}} = \frac{J_{\text{Эпуск}} \cdot k_{\text{T}}}{\psi_{2X} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_{\text{P}} \cdot k_{\text{C}}} \cdot \frac{1}{a_{\text{C}} \cdot (T_{\text{T}} + T_{\mu\text{C0}})} = \frac{0,249 \cdot 0,062}{0,889 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,112}{0,12} \cdot 3 \cdot 0,0955} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{1}{2 \cdot (0,792 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3})} = 7,739,$$

где  $T_{\text{PC}} = b_{\text{C}} \cdot a_{\text{C}} \cdot (T_{\text{T}} + T_{\mu\text{C0}}) = 2 \cdot 2 \cdot (0,792 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3}) = 0,011 \text{ с}$  - эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура.

Оптимизированный контур скорости с ПИ-регулятором имеет следующие передаточные функции:

- разомкнутого контура

$$W(p)_{\text{РАЗ.С}} = \frac{a_{\text{C}} \cdot b_{\text{C}} \cdot T_{\mu\text{CЭ}} \cdot p + 1}{b_{\text{C}} \cdot a_{\text{C}}^2 \cdot T_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{C0}} \cdot T_{\mu\text{CЭ}}^2 \cdot p^4 + b_{\text{C}} \cdot a_{\text{C}}^2 \cdot T_{\mu\text{CЭ}}^3 \cdot p^3 + b_{\text{C}} \cdot a_{\text{C}}^2 \cdot T_{\mu\text{CЭ}}^2 \cdot p^2} =$$

$$= \frac{2 \cdot 2 \cdot 2,792 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1}{2 \cdot 2^2 \cdot 0,792 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot (2,792 \cdot 10^{-3})^2 \cdot p^4 + 2 \cdot 2^2 \cdot (2,792 \cdot 10^{-3})^3 \cdot p^3 +$$

$$\rightarrow \frac{1}{2 \cdot 2^2 \cdot (2,792 \cdot 10^{-3})^2 \cdot p^2};$$

- замкнутого контура по управлению

$$\begin{aligned}
W(p)_{\text{РАЗ.С}} &= \frac{1}{k_C} \cdot \frac{(a_C \cdot b_C \cdot T_{\mu\text{СЭ}} \cdot p + 1) \cdot (T_{\mu\text{С0}} \cdot p + 1)}{b_C \cdot a_C^2 \cdot T_T \cdot T_{\mu\text{С0}} \cdot T_{\mu\text{СЭ}}^2 \cdot p^4 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu\text{СЭ}}^3 \cdot p^3 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu\text{СЭ}}^2 \cdot p^2 +} \rightarrow \\
&\rightarrow \frac{1}{b_C \cdot a_C \cdot T_{\mu\text{СЭ}} \cdot p + 1} = \frac{1}{0,0955} \cdot \frac{(2 \cdot 2 \cdot 2,792 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1) \cdot (2 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1)}{2 \cdot 2^2 \cdot 0,792 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot (2,792 \cdot 10^{-3})^2 \cdot p^4} \rightarrow \\
&\rightarrow \frac{1}{+2 \cdot 2^2 \cdot (2,792 \cdot 10^{-3})^3 \cdot p^3 + 2 \cdot 2^2 \cdot (2,792 \cdot 10^{-3})^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 2 \cdot 2,792 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1}
\end{aligned}$$

где  $T_{\mu\text{СЭ}} = T_T + T_{\mu\text{С0}} = 0,792 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} = 2,792 \cdot 10^{-3}$  с - эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура.

Оптимизированный контур при обработке ступенчатых управляющих воздействий обеспечивает высокое быстродействие при перерегулировании в общем случае более 43%. Настройка контура без фильтров на входе близка к настройке на СО.

Для ограничения перерегулирования на уровне 8,1 % на входе контура скорости должны быть включены два одинаковых фильтра, соответственно с постоянными времени :

$$T_{\text{Ф.ВХ2}} = b_C \cdot a_C \cdot (T_T + T_{\mu\text{С0}}) = 2 \cdot 2 \cdot (0,792 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3}) = 0,013 \text{ с};$$

Передаточная функция замкнутого контура скорости по управлению с двумя фильтрами на входе имеет вид

– замкнутого контура

$$\begin{aligned}
W(p)_{\text{РАЗ.С}} &= \frac{1}{k_C} \cdot \frac{1}{b_C \cdot a_C^2 \cdot T_T \cdot T_{\mu\text{С0}} \cdot T_{\mu\text{СЭ}}^2 \cdot p^4 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu\text{СЭ}}^3 \cdot p^3 + b_C \cdot a_C^2 \cdot T_{\mu\text{СЭ}}^2 \cdot p^2 +} \rightarrow \\
&\rightarrow \frac{1}{+b_C \cdot a_C \cdot T_{\mu\text{СЭ}} \cdot p + 1} = \frac{1}{0,0955} \cdot \frac{1}{2 \cdot 2^2 \cdot 0,792 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot (2,792 \cdot 10^{-3})^2 \cdot p^4} \rightarrow \\
&\rightarrow \frac{1}{+2 \cdot 2^2 \cdot (2,792 \cdot 10^{-3})^3 \cdot p^3 + 2 \cdot 2^2 \cdot (2,792 \cdot 10^{-3})^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 2 \cdot 2,792 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1}
\end{aligned}$$

Настройка контура без фильтров на входе близка к настройке на СО, а с фильтрами на МО для системы 3-го порядка.

$$t_{\text{ПУ1}}^{(5)} = (7 \div 5,8) \cdot (T_T + T_{\mu\text{С0}}) = (7 \div 5,8) \cdot (0,000792 + 0,002) = 0,02 \div 0,016 \text{ с},$$

$$t_{\text{ПУ2}}^{(5)} = (12 \div 9,5) \cdot (T_T + T_{\mu\text{С0}}) = (12 \div 9,5) \cdot (0,000792 + 0,002) = 0,034 \div 0,027 \text{ с}.$$

### 3.6. Оптимизация контура положения

Следящий электропривод реализуется на базе регулируемого электропривода путем организации с использованием встроенного технологического регулятора привода или подключением технологического модуля дополнительного внешнего контура регулирования технологического параметра.

На рисунке 39 приведена структурная схема контура положения следящего электропривода. Технологической координатой является угол поворота выходного вала механизма. Требованиями к точности отработки заданных движений выходного вала механизма определена необходимость измерения угла поворота в угловых минутах. Для измерения угла поворота применяется импульсный датчик угловых перемещений.

Для измерения угла поворота может быть применен импульсный датчик угловых перемещений. Коэффициент передачи импульсного датчика положения, установленного на входном валу механизма, угол поворота которого измеряется в угловых минутах, определяется по выражению

$$k_{\text{дп}} = \frac{n_{\text{дп}}}{360 \cdot 60} = \frac{5000}{360 \cdot 60} = 0,2315 \frac{\text{дискрет}}{\text{угл.мин.}},$$

где  $n_{\text{дп}}$  – число периодов выходного сигнала датчика положения. Выбирается из ряда типовых значений.

Тогда коэффициент обратной связи контура по положению

$$k_{\text{п}} = k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{дп}} = \frac{4 \cdot 5000}{360 \cdot 60} = 0,926,$$

где  $k_{\text{оп}} = 4$  – коэффициент преобразования периода выходных сигналов датчика в код угла поворота, с учетверением.

Датчик угла поворота может быть установлен на выходном валу механизма или, что проще, непосредственно на валу электродвигателя.

Если для измерения положения (или другой технологической переменной координаты) исполнительного органа механизма, оснащенного следящим электроприводом, используется специализированный дискретный или анало-

говый датчик положения, то сигнал обратной связи может быть получен практически без запаздывания по времени. В этом случае цепь обратной связи по положению можно принять безынерционной, а малую постоянную времени в цепи обратной связи контура положения

$$T_{\mu\text{ПО}} = 0 .$$

Структурная схема контура положения приведена на рисунке 3.8.

При оптимизации контура положения внутренний оптимизированный замкнутый контур скорости с ПИ-регулятором скорости следует представить усеченной передаточной функцией 3-го порядка

$$W(p)_{\text{СЗАМ}} = \frac{\frac{1}{k_{\text{С}}}}{b_{\text{С}} a_{\text{С}}^2 T_{\mu\text{СЭ}}^3 p^3 + b_{\text{С}} a_{\text{С}}^2 T_{\mu\text{СЭ}}^2 p^2 + b_{\text{С}} a_{\text{С}} T_{\mu\text{СЭ}} p + 1} =$$

$$= \frac{1}{0,0955} \cdot \frac{1}{2 \cdot 2^2 \cdot (2,792 \cdot 10^{-3})^3 p^3 + 2 \cdot 2^2 \cdot (2,792 \cdot 10^{-3})^2 p^2 + 2 \cdot 2 \cdot 2,792 \cdot 10^{-3} p + 1} .$$

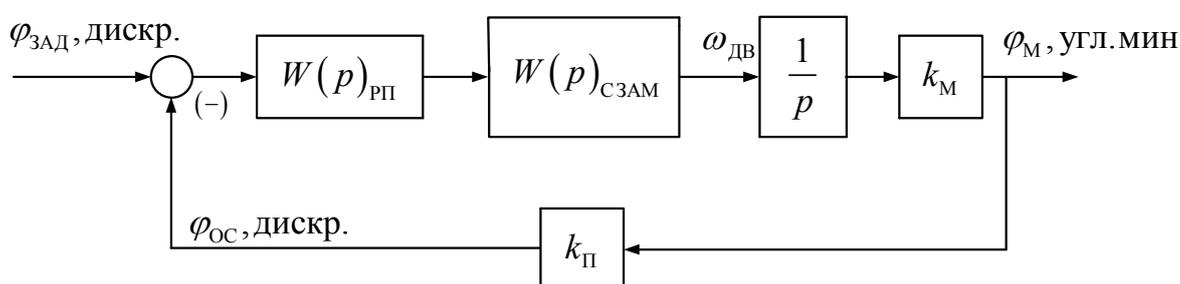


Рисунок 3.8. Структурная схема контура положения

Это означает, что на входе контура скорости с ПИ-регулятором должны быть установлены два сглаживающих фильтра с передаточными функциями и постоянными времени фильтров соответственно, равными

$$T_{\text{Ф.ВХ1}} = b_{\text{С}} \cdot a_{\text{С}} \cdot T_{\mu\text{СЭ}} = 2 \cdot 2 \cdot 2,792 \cdot 10^{-3} = 0,011168 \text{ с};$$

$$T_{\text{Ф.ВХ2}} = T_{\mu\text{СО}} = 2 \cdot 10^{-3} .$$

### Оптимизация контура положения с П-регулятором

Передаточная функция П-регулятора положения

$$W_{\text{П}}(p) = k_{\text{П}} = 0,00168.$$

Коэффициент усиления регулятора положения находится по выражению

$$k_{\text{рп}} = \frac{k_{\text{с}}}{k_{\text{м}} \cdot k_{\text{п}} \cdot a_{\text{п}} \cdot T_{\text{мпэ}}} = \frac{0,0955}{202,194 \cdot 0,926 \cdot 2 \cdot 0,011} = 0,0232,$$

где  $T_{\text{мпэ}} = b_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}} \cdot T_{\text{мсэ}} = b_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}} \cdot (T_{\text{т}} + T_{\text{мсо}}) = 2 \cdot 2 \cdot (0,792 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3}) = 0,011 \text{ с}$ ,

– эквивалентная малая постоянная времени контура положения при настройке контура скорости с ПИ-регулятором;

$a_{\text{п}}$  – коэффициент оптимизации контура положения.

Оптимизированный контур положения с П-регулятором положения и внутренним контуром скорости с ПИ-регулятором скорости имеет следующие передаточные функции:

– разомкнутого контура

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{ПРАЗ}} &= \frac{1}{a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^3 T_{\text{мсэ}}^4 p^4 + a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^3 T_{\text{мсэ}}^3 p^3 + a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^2 T_{\text{мсэ}}^2 p^2 +} \rightarrow \\ & \frac{1}{a_{\text{п}} b_{\text{с}} a_{\text{с}} T_{\text{мсэ}} p} = \frac{1}{2 \cdot 2^2 \cdot 2^3 \cdot (2,792 \cdot 10^{-3})^4 \cdot p^4 + 2 \cdot 2^2 \cdot 2^3 \cdot} \rightarrow \\ & \rightarrow \frac{1}{(2,792 \cdot 10^{-3})^3 p^3 + 2 \cdot 2^2 \cdot 2^2 \cdot (2,792 \cdot 10^{-3})^2 + 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2,792 \cdot 10^{-3} p} ; \end{aligned}$$

– замкнутого контура

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{ПЗАМ}} &= \frac{\frac{1}{k_{\text{п}}}}{a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^3 T_{\text{мсэ}}^4 p^4 + a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^3 T_{\text{мсэ}}^3 p^3 + a_{\text{п}} b_{\text{с}}^2 a_{\text{с}}^2 T_{\text{мсэ}}^2 p^2 + a_{\text{п}} b_{\text{с}} a_{\text{с}} T_{\text{мсэ}} p + 1} = \\ & = \frac{1}{0,926} \rightarrow \\ & \rightarrow \frac{1}{2 \cdot 2^2 \cdot 2^3 \cdot (2,792 \cdot 10^{-3})^4 \cdot p^4 + 2 \cdot 2^2 \cdot 2^3 \cdot (2,792 \cdot 10^{-3})^3 \cdot p^3 + 2 \cdot 2^2 \cdot 2^2 \cdot} \rightarrow \\ & \rightarrow \frac{1}{(2,792 \cdot 10^{-3})^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2,792 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1} ; \end{aligned}$$

Настройка контура положения при коэффициенте оптимизации  $a_{\text{п}} = 2$  точно соответствует настройке на МО системы 4-го порядка. Замкнутый контур положения представляет собой астатическую систему 1-го порядка по управлению. Показатели качества работы замкнутого контура положения по управлению определяются следующими значениями:

– статическая ошибка по управлению при постоянном значении задающего сигнала  $\varphi_{3AD} = \text{const}$

$$\Delta\varphi_{yCT} = 0;$$

– полоса пропускания контура по модулю и по фазе:

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{0,282}{T_{\mu CЭ}} = \frac{0,282}{0,002792} = 101 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$$\omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{0,182}{T_{\mu CЭ}} = \frac{0,182}{0,002792} = 65,19 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

– перегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5 % зону при обработке скачка задания:

$$\sigma = 6,24\%;$$

$$t_{PY1}^{(5)} = 13,2 \cdot T_{\mu CЭ} = 13,2 \cdot 0,002792 = 0,037 \text{ с};$$

$$t_{PY2}^{(5)} = 20,3 \cdot T_{\mu CЭ} = 20,3 \cdot 0,002792 = 0,057 \text{ с}.$$

Чтобы убедиться в правильности настройки контуров произведём моделирование линейной системы. Имитационная модель линейной САУ СЭП представлена на рисунке 3.9.

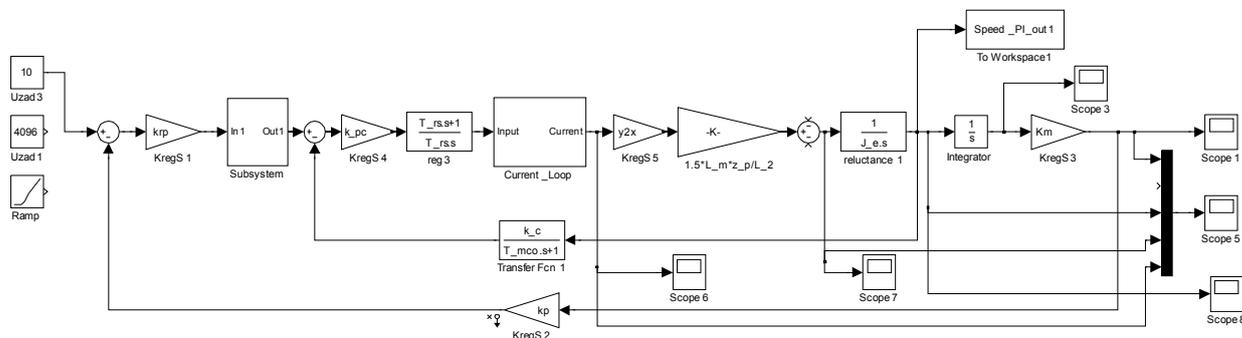


Рисунок 3.9. Имитационная модель линейной САУ СЭП

Развёрнутые схемы блоков представлены на рисунках 3.10, 3.11.

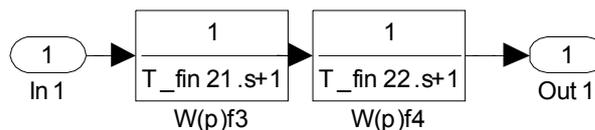


Рисунок 3.10. Развёрнутая схема блока Subsystem

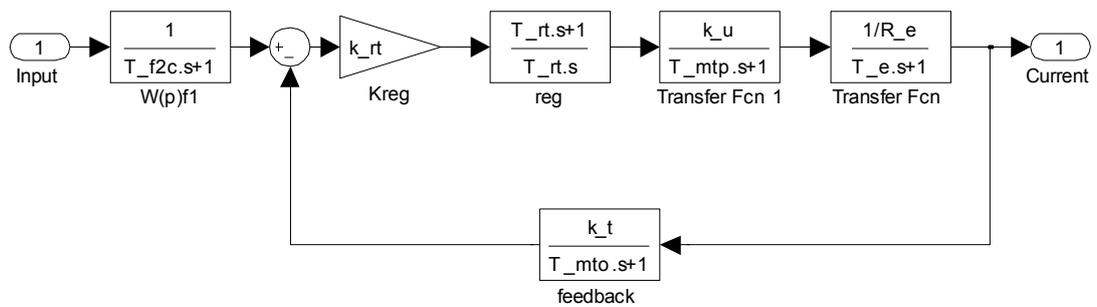


Рисунок 3.11. Развернутая схема блока *Current\_Loop*

Параметры блоков представлены в М-файле в приложении А.

Реальный электропривод приемного устройства работает с переменным моментом инерции отдающего барабана, так как по мере сматывания десяти-парного пучка с барабана его момент инерции уменьшается. Очевидно, что переходные процессы электропривода, предварительно настроенного на один из возможных моментов инерции (заполненного или пустого барабана) будут отличаться от оптимальных при работе с другим моментом инерции. Так как регуляторы преобразователя частоты CIMR-AC4A0031FAA Yaskawa A1000 могут быть настроены только на постоянные параметры, то необходимо выбрать режимы настройки регулятора скорости на пустой или полный отдающий барабан.

На рисунке 3.12 приведены графики переходных процессов основных координат линейной системы автоматического управления следящего электропривода с настройкой регулятора скорости на максимальный момент инерции электропривода. Переходные процессы рассчитаны с максимальным моментом инерции электропривода.

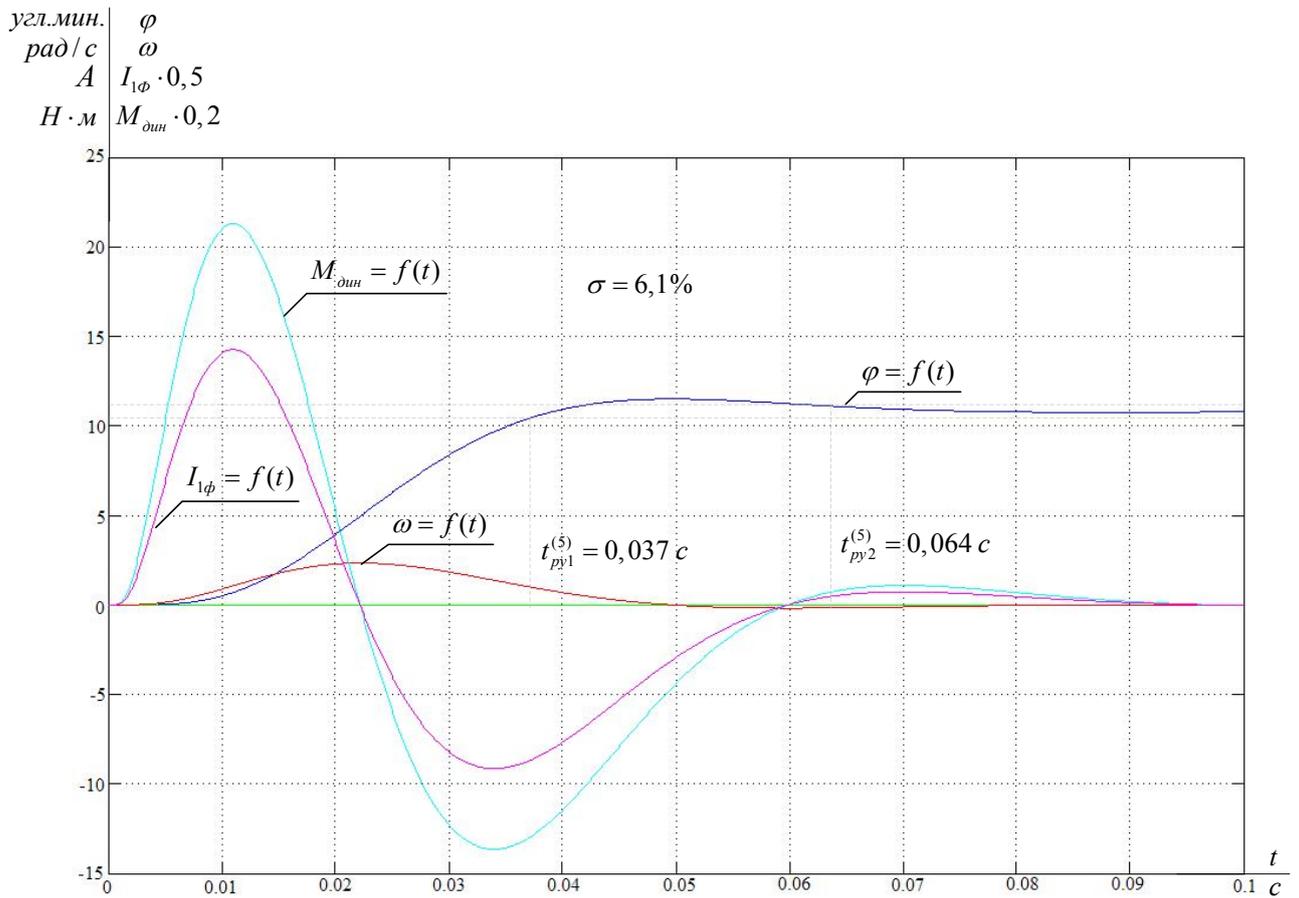


Рисунок 3.12. Графики переходных процессов основных координат линейной САУ СЭП,  $K_{PC} = 17,562$ ,  $J_s = 0,565 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$

Основные показатели качества переходных процессов электропривода с настройкой регулятора скорости на максимальный момент инерции и суммарным максимальным моментом инерции электропривода сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Показатели переходных процессов			
По управлению			
$t_{py1}^{(5)}, \text{ c}$	$t_{py2}^{(5)}, \text{ c}$	$\sigma, \%$	$\Delta\varphi_{уст}, \text{ угл.мин}$
Ожидаемые показатели			
0,037	0,057	6,4	0
Результаты моделирования			
0,037	0,064	6,1	0

На рисунке 3.13 приведены графики переходных процессов основных координат линейной системы автоматического управления следящего электропривода с настройкой регулятора скорости на максимальный момент инер-

ции электропривода. Переходные процессы рассчитаны с минимальным моментом инерции электропривода.

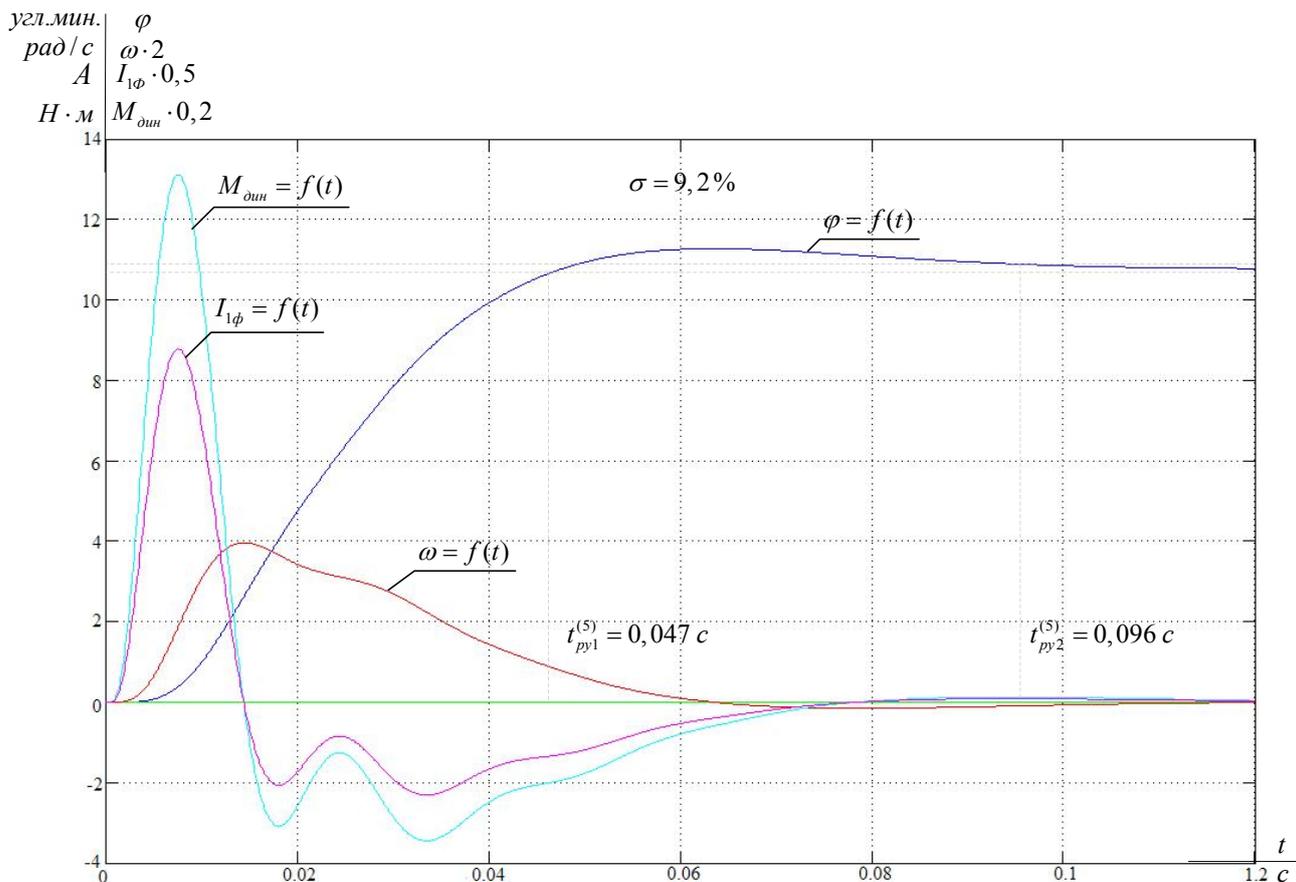


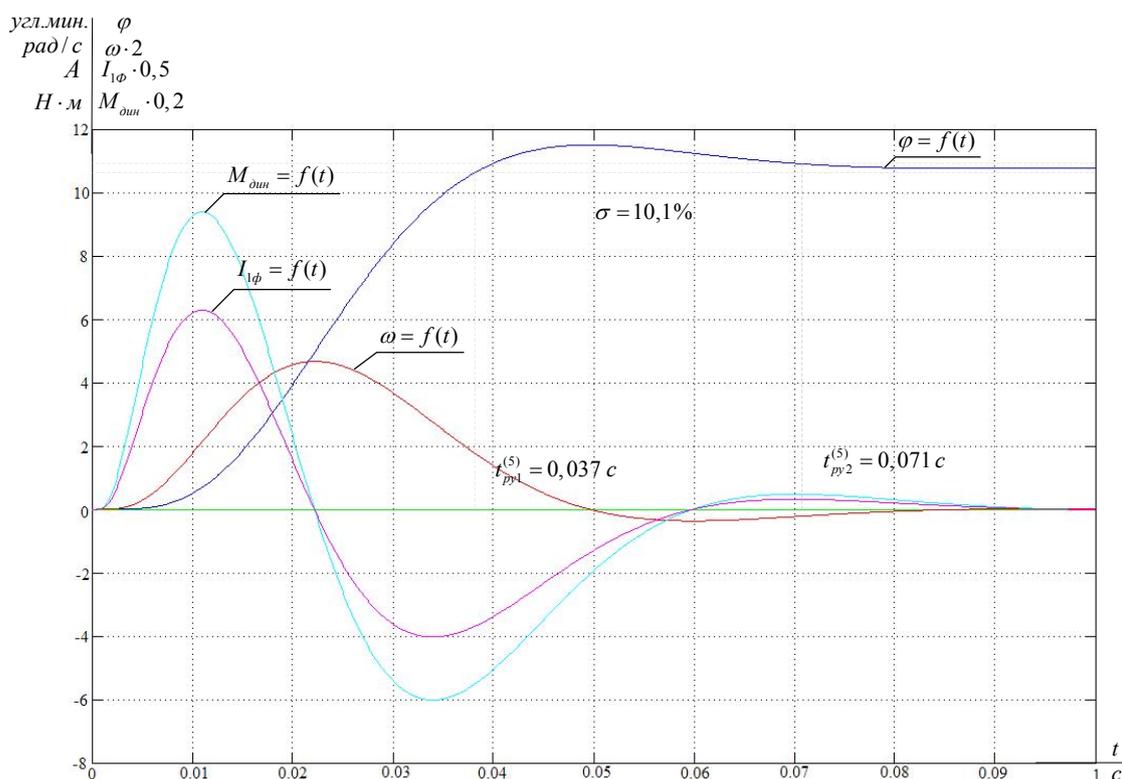
Рисунок 3.13. Графики переходных процессов основных координат линейной САУ СЭП,  $K_{PC} = 17,562$ ,  $J_s = 0,249 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

Основные показатели качества переходных процессов электропривода с настройкой регулятора скорости на максимальный момент инерции и суммарным максимальным моментом инерции сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Показатели переходных процессов			
По управлению			
$t_{п1}^{(5)}$ , с	$t_{п2}^{(5)}$ , с	$\sigma$ , %	$\Delta\varphi_{уст}$ , угл.мин
Ожидаемые показатели			
0,037	0,057	6,24	0
Результаты моделирования			
0,047	0,096	9,2	0

На рисунке 3.14 приведены графики переходных процессов основных координат линейной системы автоматического управления следящего электропривода с настройкой регулятора скорости на максимальный момент инерции электропривода. Переходные процессы рассчитаны с минимальным моментом инерции электропривода.



Рисунок

3.14. Графики переходных процессов основных координат линейной САУ СЭП,  $K_{PC} = 7,739, J_s = 0,249 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

Основные показатели качества переходных процессов электропривода с настройкой регулятора скорости на максимальный момент инерции и суммарным максимальным моментом инерции сведены в таблицу 3.3.

Таблица 3.3

Показатели переходных процессов			
По управлению			
$t_{py1}^{(5)}, \text{ c}$	$t_{py2}^{(5)}, \text{ c}$	$\sigma, \%$	$\Delta\varphi_{уст}, \text{ угл.мин}$
Ожидаемые показатели			
0,037	0,057	6,24	0
Результаты моделирования			
0,037	0,071	10,1	0

На рисунке 3.15 приведены графики переходных процессов основных координат линейной системы автоматического управления следящего электропривода с настройкой регулятора скорости на максимальный момент инерции электропривода. Переходные процессы рассчитаны с минимальным моментом инерции электропривода.

Основные показатели качества переходных процессов электропривода с настройкой регулятора скорости на максимальный момент инерции и суммарным максимальным моментом инерции сведены в таблицу 3.4.

Таблица 3.4

Показатели переходных процессов			
По управлению			
$t_{py1}^{(5)}$ , с	$t_{py2}^{(5)}$ , с	$\sigma$ , %	$\Delta\varphi_{уст}$ , угл.мин
Ожидаемые показатели			
0,037	0,057	6,24	0
Результаты моделирования			
0,039	0,202	28	0

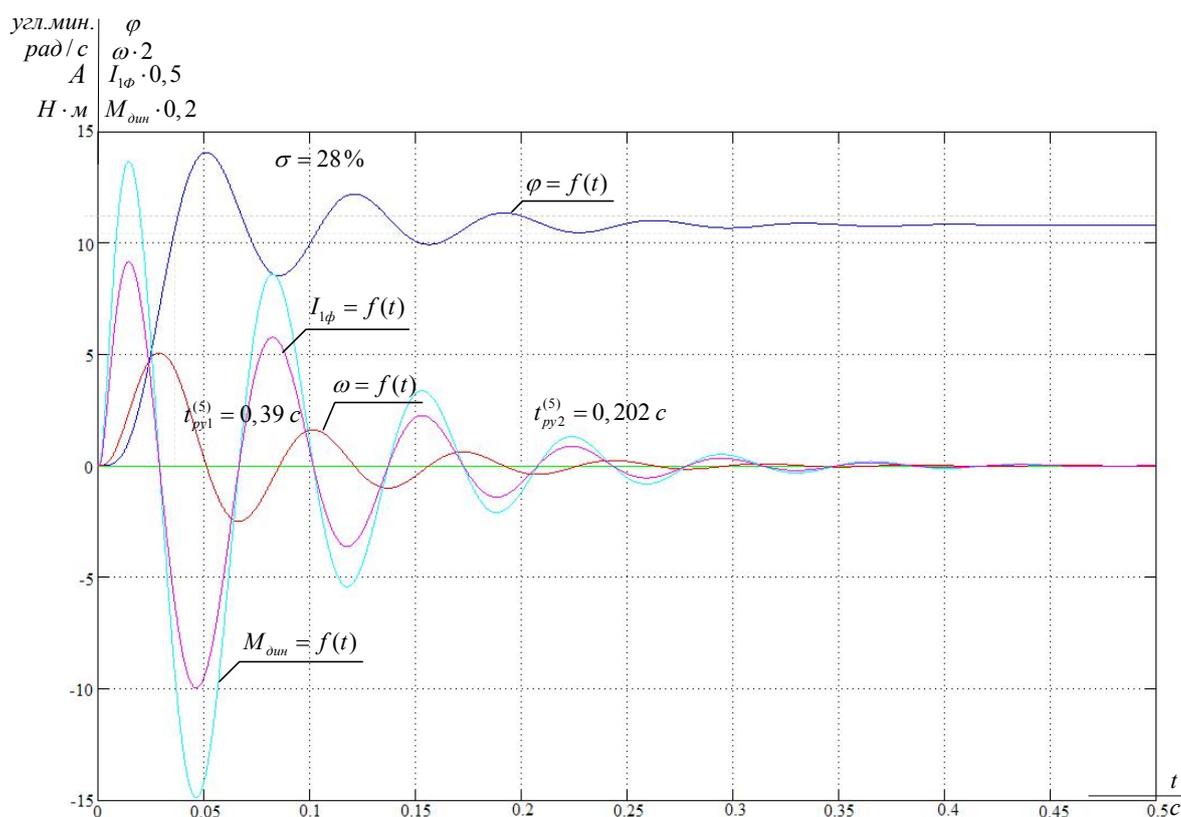


Рисунок 3.15. Графики переходных процессов основных координат линейной САУ СЭП,  $K_{PC} = 7,739$ ,  $J_s = 0,565 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Анализ графиков переходных процессов, приведенных на рисунках 3.12 –3.15 и их показателей качества, сведенных в таблицы 3.2-3.4, показывает, что наиболее целесообразно настраивать регулятор скорости на максимальный момент инерции электропривода, так как в этом случае удается получить приемлемые переходные процессы работы электропривода с полным и пустым барабанами отдающих устройств.

Логарифмические частотные характеристики замкнутого и разомкнутого контура положения для выбранной настройки представлены на рисунках 3.16-3.17.

Полоса пропускания контура по модулю и по фазе ожидаемые:

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{0,282}{T_{\mu\text{сЭ}}} = \frac{0,282}{0,002792} = 101 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$$\omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{0,182}{T_{\mu\text{сЭ}}} = \frac{0,182}{0,002792} = 65,19 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

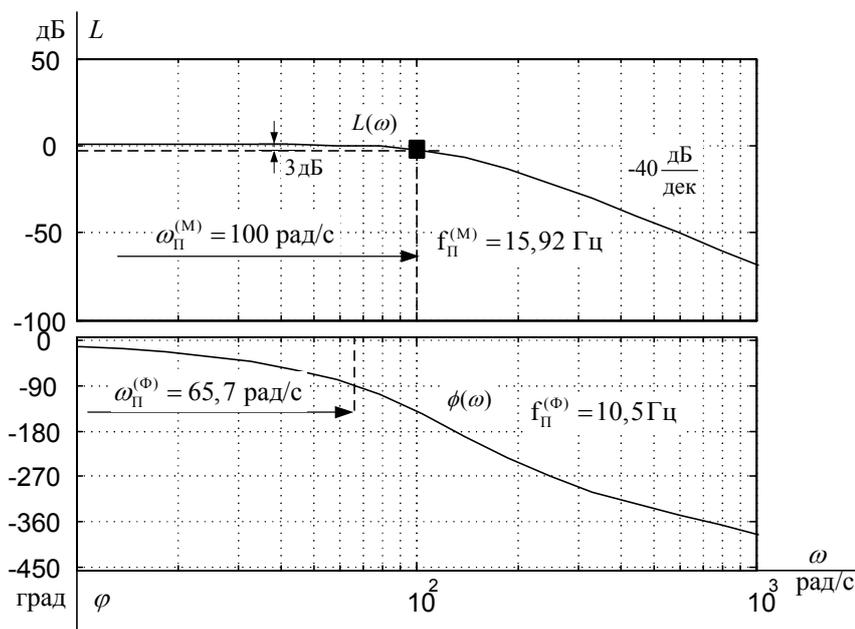


Рисунок 3.16. Логарифмические частотные характеристики замкнутого контура положения, настроенного на МО

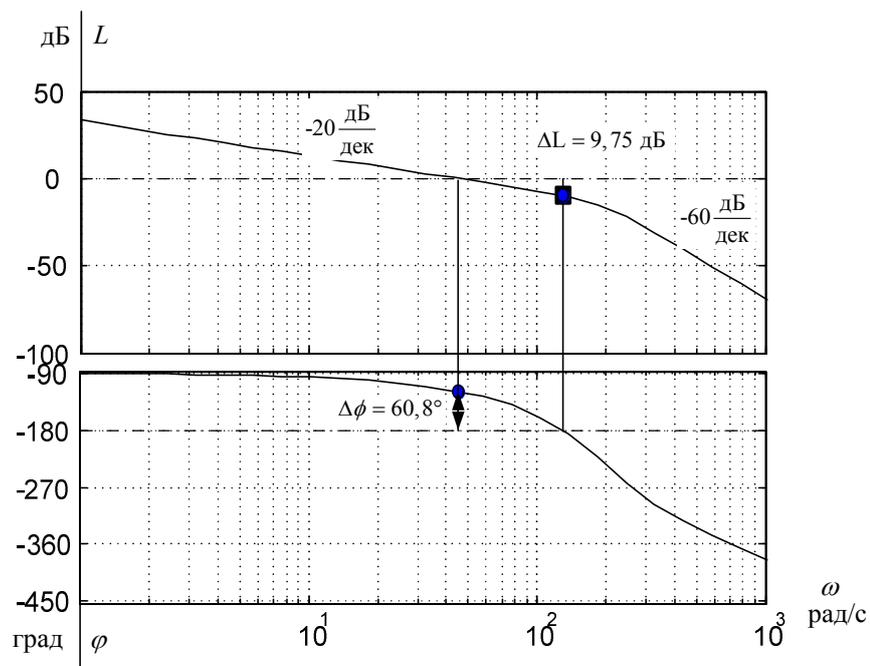


Рисунок 3.17. Логарифмические частотные характеристики разомкнутого контура положения, настроенного на МО

Полоса пропускания контура по модулю и по фазе по результатам моделирования:

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = 100 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$$\omega_{\Pi}^{(\Phi)} = 65,7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

## 4. НЕЛИНЕЙНАЯ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

### 4.1 Структурная схема нелинейной САУ РЭП асинхронного электропривода с векторным управлением

Структурная схема нелинейной САУ частотно-регулируемого электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 4.1. Структурная схема рисунка 4.1 составлена на основании структурной схемы линеаризованной САУ электропривода и учитывая следующие основные нелинейности элементов системы управления электропривода:

- насыщение регулятора тока, потокосцепления, скорости и положения.

$$U_{PTMAKC} = \pm 10B, \quad U_{P\psi MAKC} = \pm 10B, \quad U_{PCMAKC} = \pm 10B; \quad U_{PTMAKC} = \pm 10B$$

- ограничение выходного напряжения инвертора  $E_{и} = \sqrt{2} \cdot U_{иH}$ ;
- двухмассовая механическая система и реактивный характер нагрузки  $M_C(\omega) = M_C \cdot \text{sign } \omega$ .

Исследование на имитационной модели нелинейной САУ электропривода проводится с целью оценки влияния величины задания положения  $\varphi_{зад}$  и момента  $M_C$  на характер переходных процессов и динамические показатели качества работы электропривода с учетом ограничения выходных напряжений регуляторов и преобразователя частоты.

По результатам имитационных исследований могут быть внесены изменения в настройку контуров регулирования САУ электропривода, введены корректирующие цепи или выбраны компромиссные настройки с учетом изменяющихся параметров силовой части электропривода, например, момента инерции, потокосцепления и т. д.

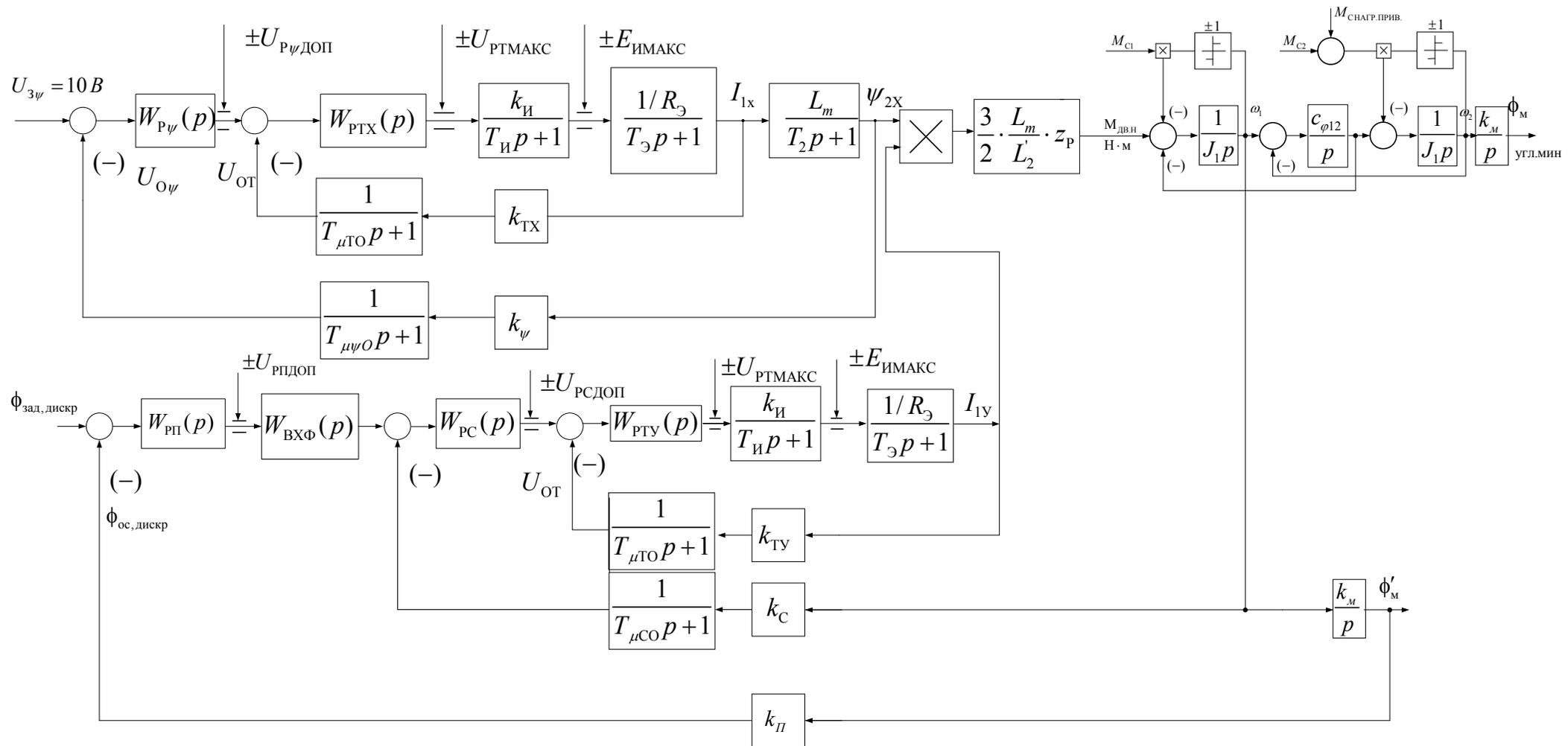


Рисунок 4.1. Структурная схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении

## 4.2. Исследование нелинейной САУ СЭП в заданных режимах работы

Проведём исследование нелинейной САУ СЭП с одномассовой механической системой П-регулятором положения при различных заданиях на перемещение. Имитационная модель представлена на рисунке 4.2. Результаты моделирования приведены на рисунках 4.3-4.8.

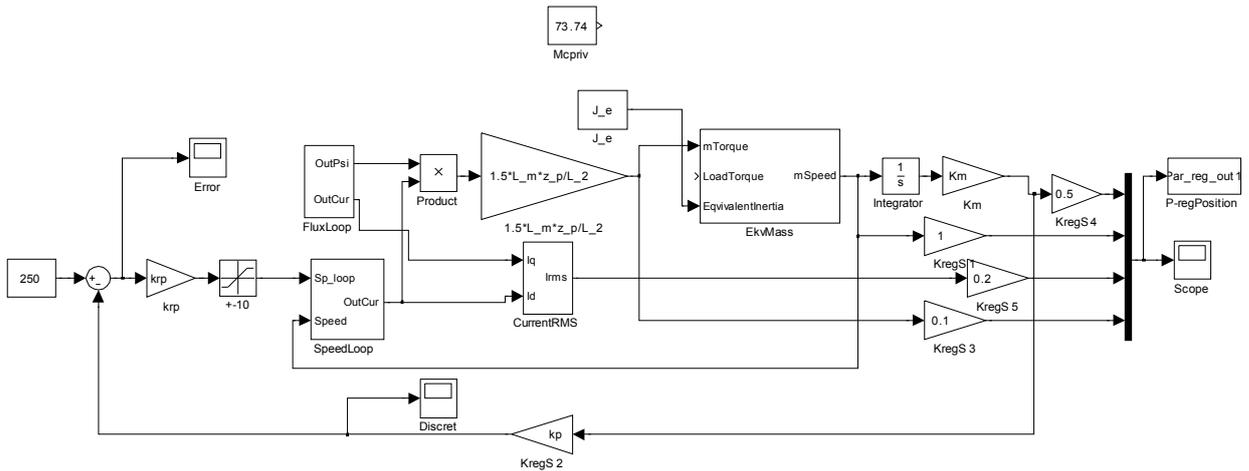


Рисунок 4.2. Имитационная модель нелинейной САУ СЭП

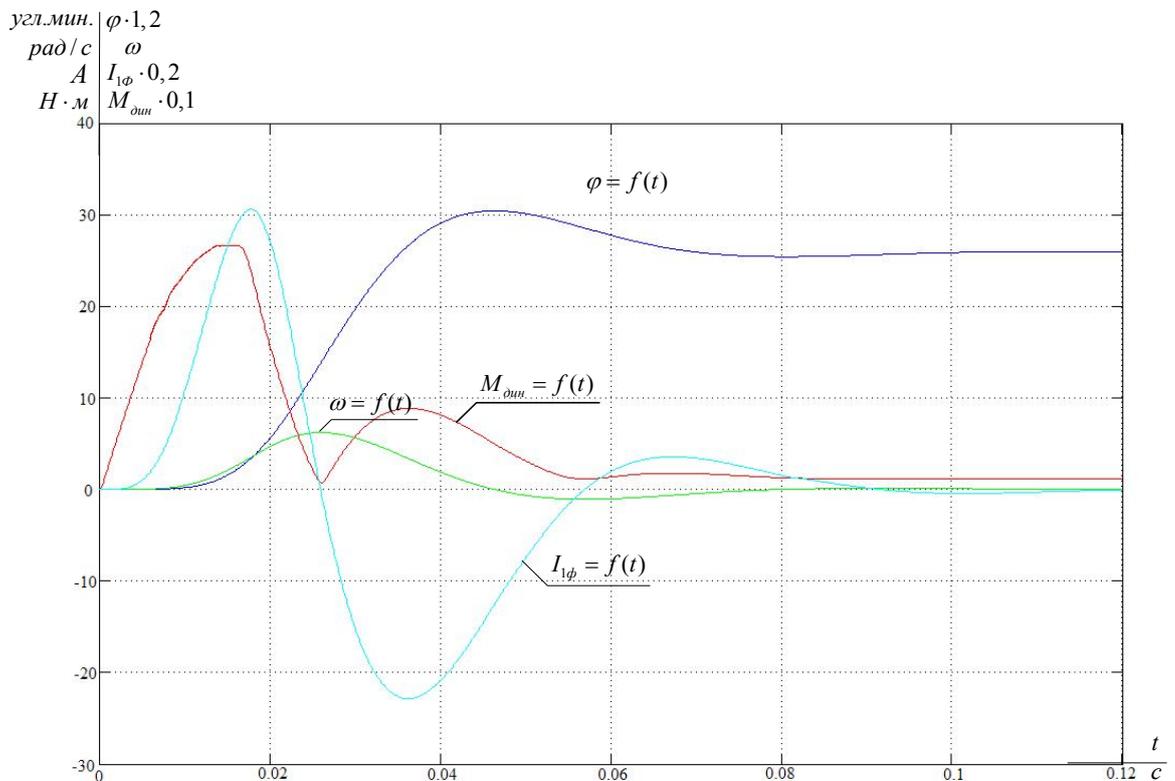


Рисунок 4.3. Переходные процессы САУ СЭП при отработке малых перемещений,  $\varphi_{\text{зад}} = 20$  дискрет.,  $J = 0,565 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$

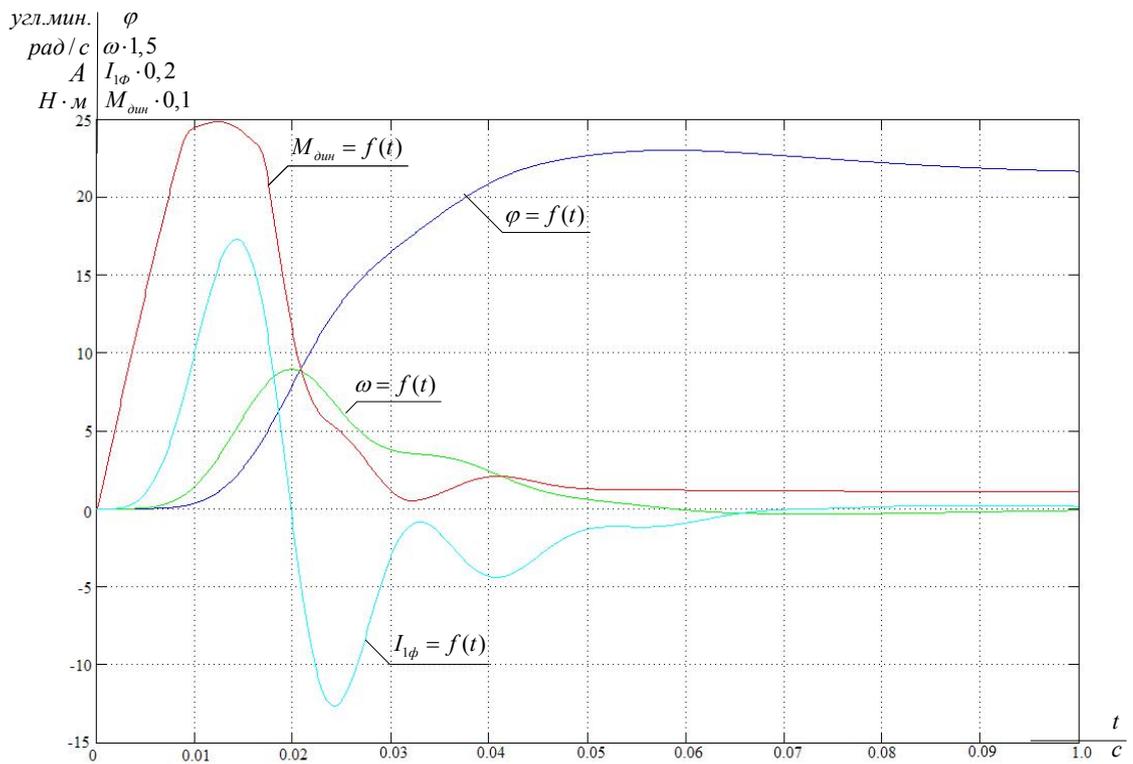


Рисунок 4.4. Переходные процессы САУ СЭП при отработке малых перемещений,  $\varphi_{зад} = 20$  дискрет,  $J = 0,249 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$

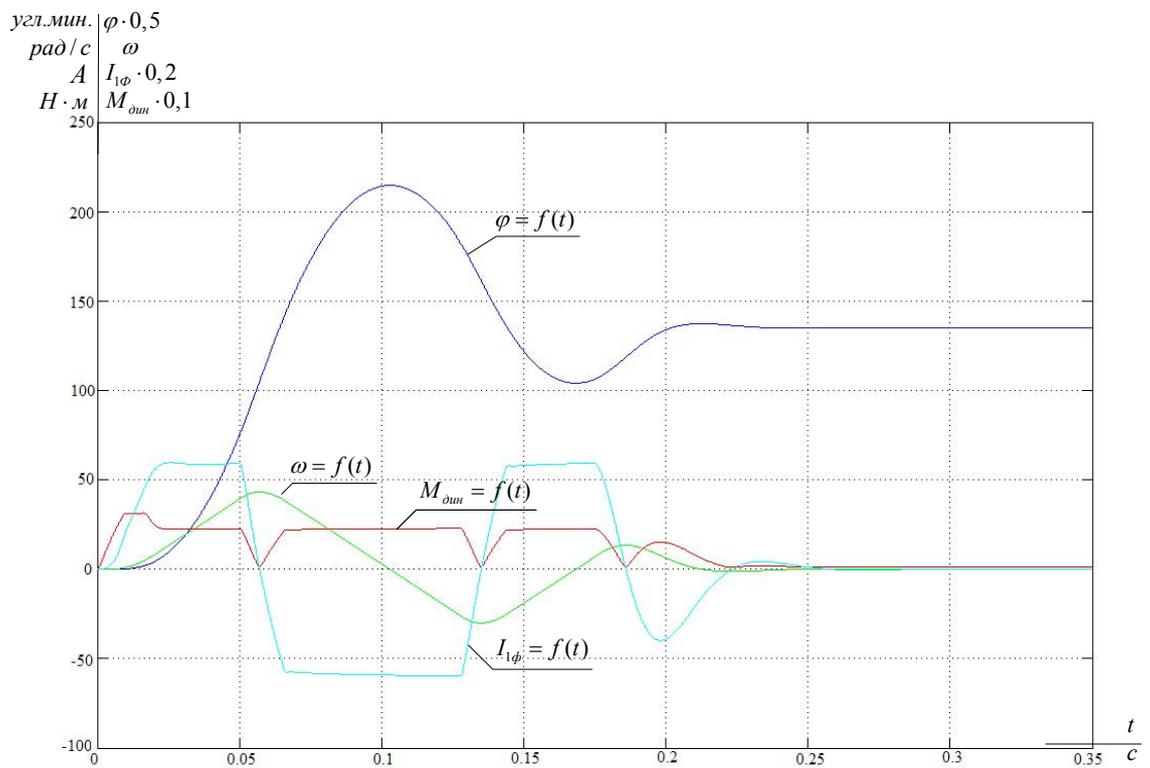


Рисунок 4.5. Переходные процессы САУ СЭП при отработке средних перемещений,  $\varphi_{зад} = 250$  дискрет,  $J = 0,565 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$

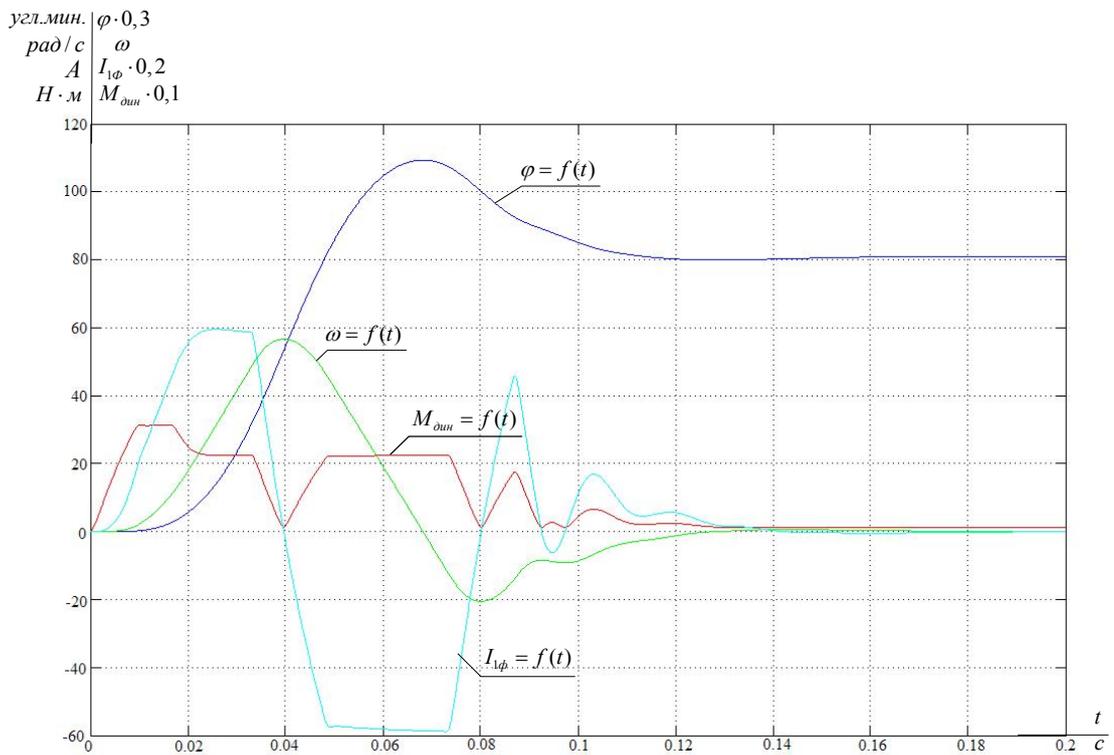


Рисунок 4.6. Переходные процессы САУ СЭП при отработке средних перемещений,  $\varphi_{зад} = 250$  дискрет,  $J = 0,249$  кг·м<sup>2</sup>

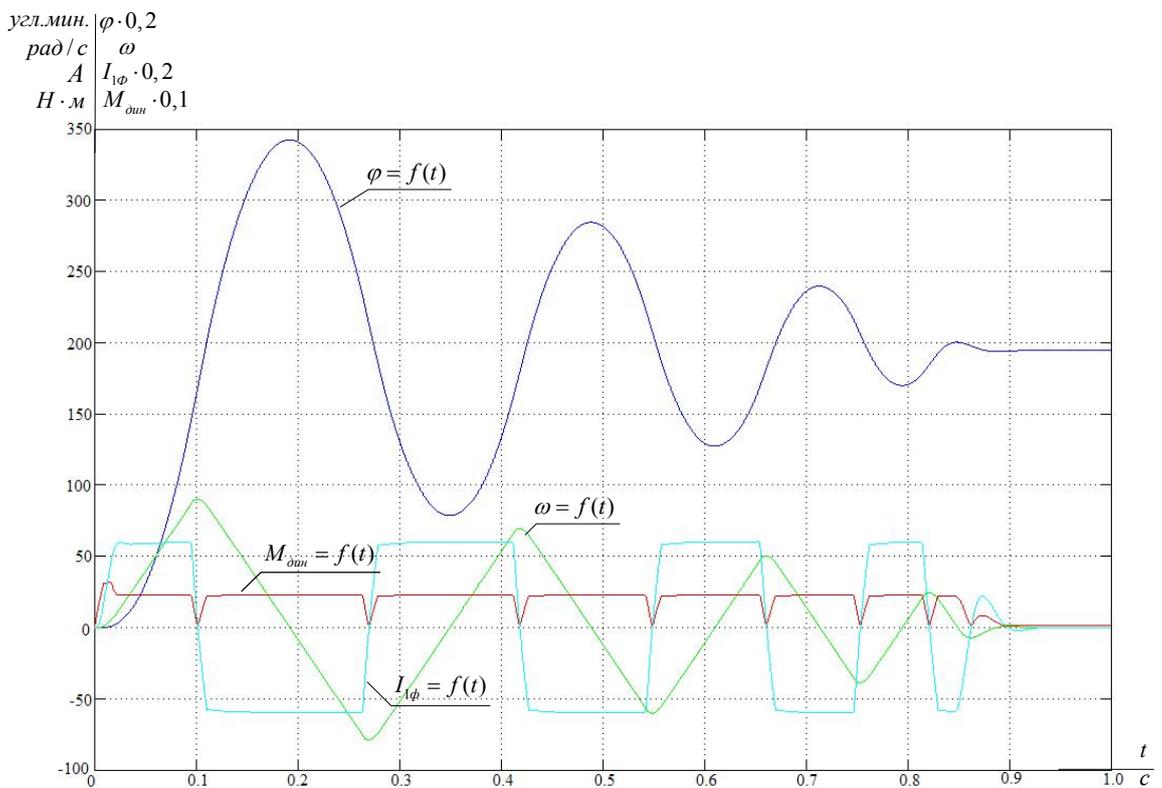


Рисунок 4.7. Переходные процессы САУ СЭП при отработке больших перемещений,  $\varphi_{зад} = 900$  дискрет,  $J = 0,565$  кг·м<sup>2</sup>

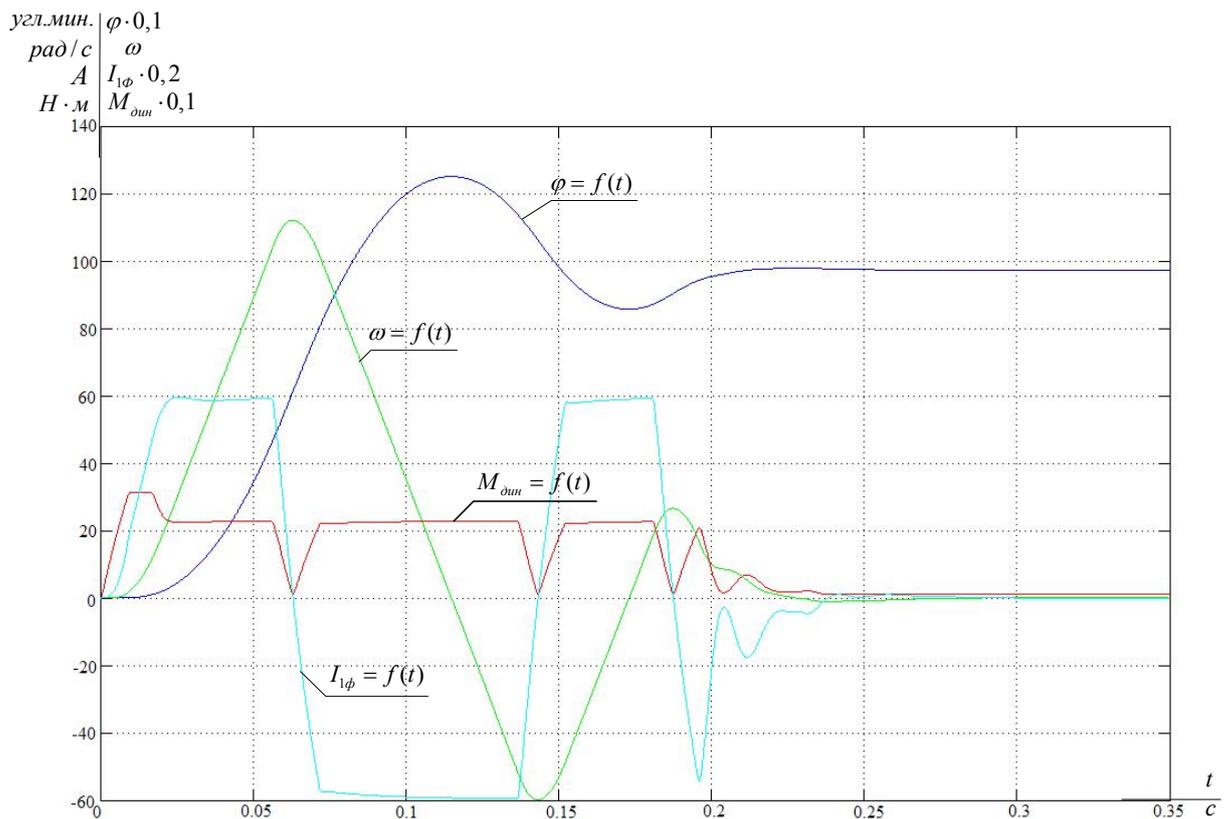


Рисунок 4.8. Переходные процессы САУ СЭП при отработке больших перемещений,  $\varphi_{зад} = 900$  дискрет,  $J = 0,249 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$

Как следует из приведенных рисунков – работа привода различна при отработке различных заданий. В позиционных электроприводах, обрабатывающих как малые, так и средние и большие перемещения, с целью оптимизации переходных процессов применяют регулятор положения с нелинейной характеристикой. В простейшей схеме второго порядка с ограничением момента (тока) двигателя это парабола.

Проведём исследование нелинейной САУ СЭП с одномассовой механической системой и параболическим регулятором положения при различных заданиях на перемещение. Имитационная модель представлена на рисунке 4.9.

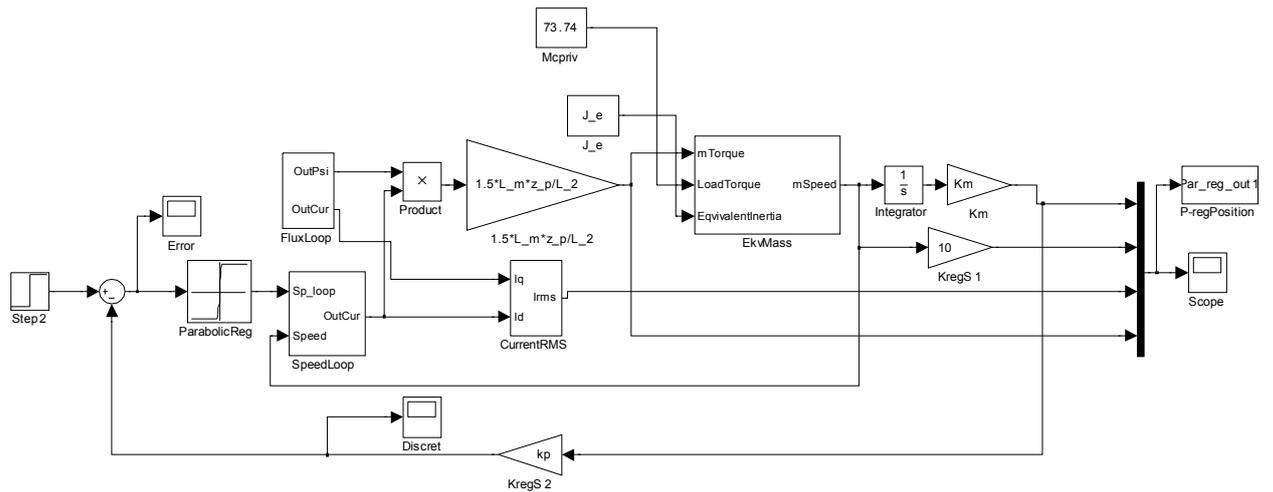


Рисунок 4.9 Имитационная модель нелинейной САУ СЭП с параболическим регулятором

М-файл и развернутые схемы суперблоков приведены в приложениях А и Б соответственно.

Графики переходных процессов основных координат нелинейной системы автоматического управления следящего электропривода с настройкой параболического регулятора положения, и ПИ регулятора скорости на максимальный момент инерции электропривода для различных задающих воздействий, приведены на рисунках 4.10 – 4.12.

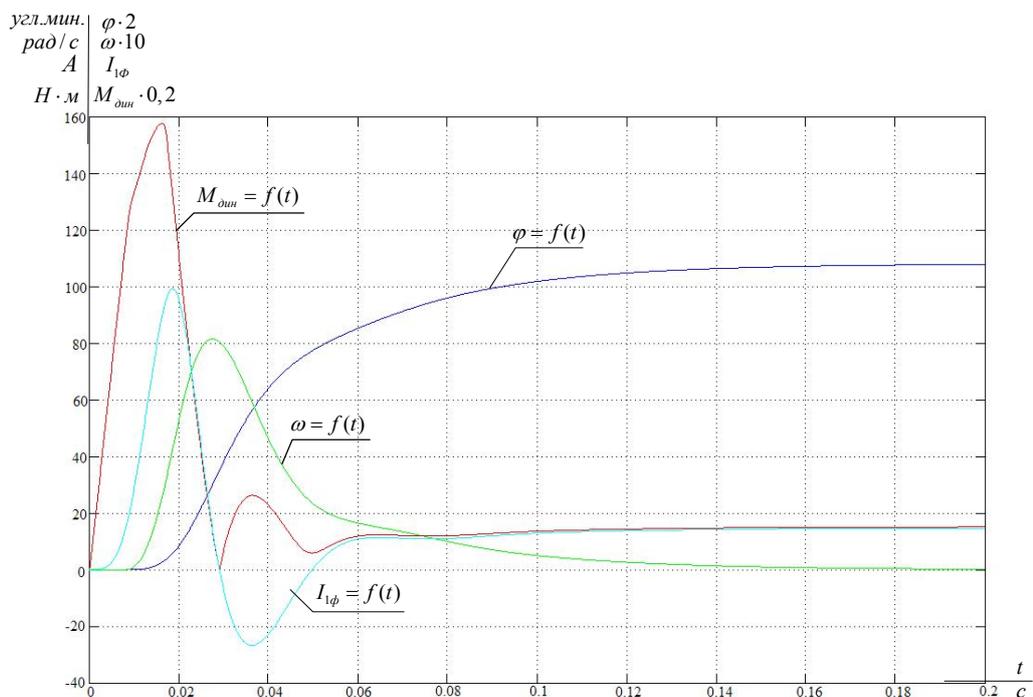


Рисунок 4.10. Переходные процессы одномассовой САУ СЭП,  $\varphi_{зад} = 50$  дискрет

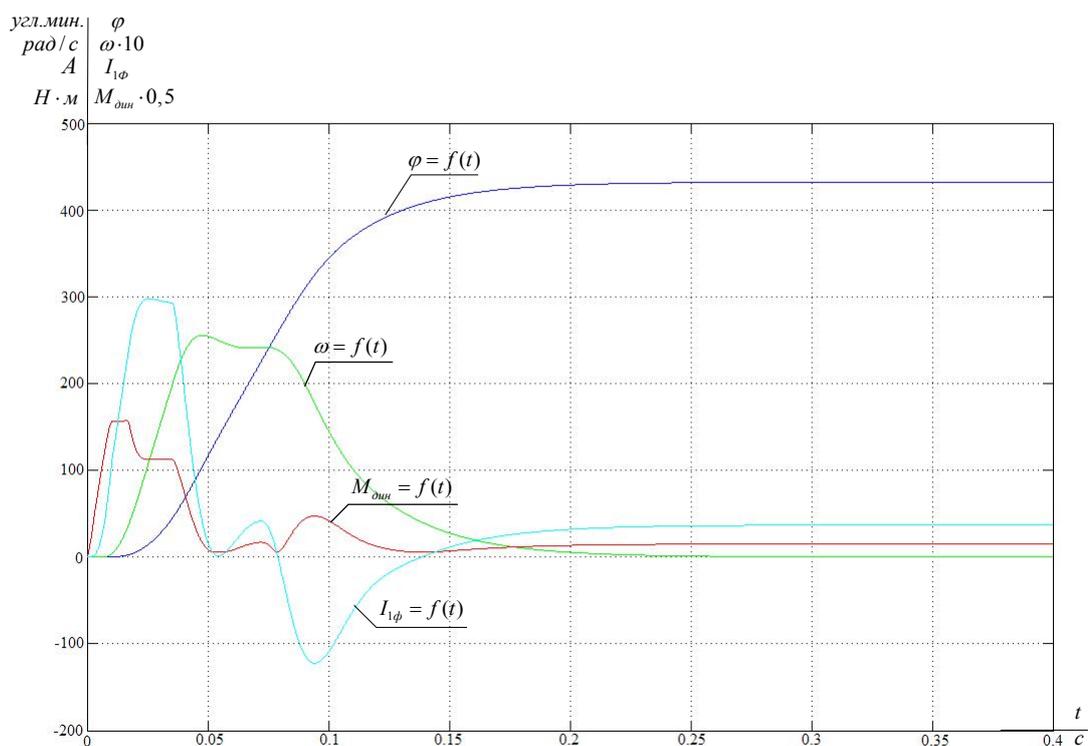


Рисунок 4.11. Переходные процессы одномассовой САУ СЭП,

$$\varphi_{\text{зад}} = 400 \text{ дискрет}$$

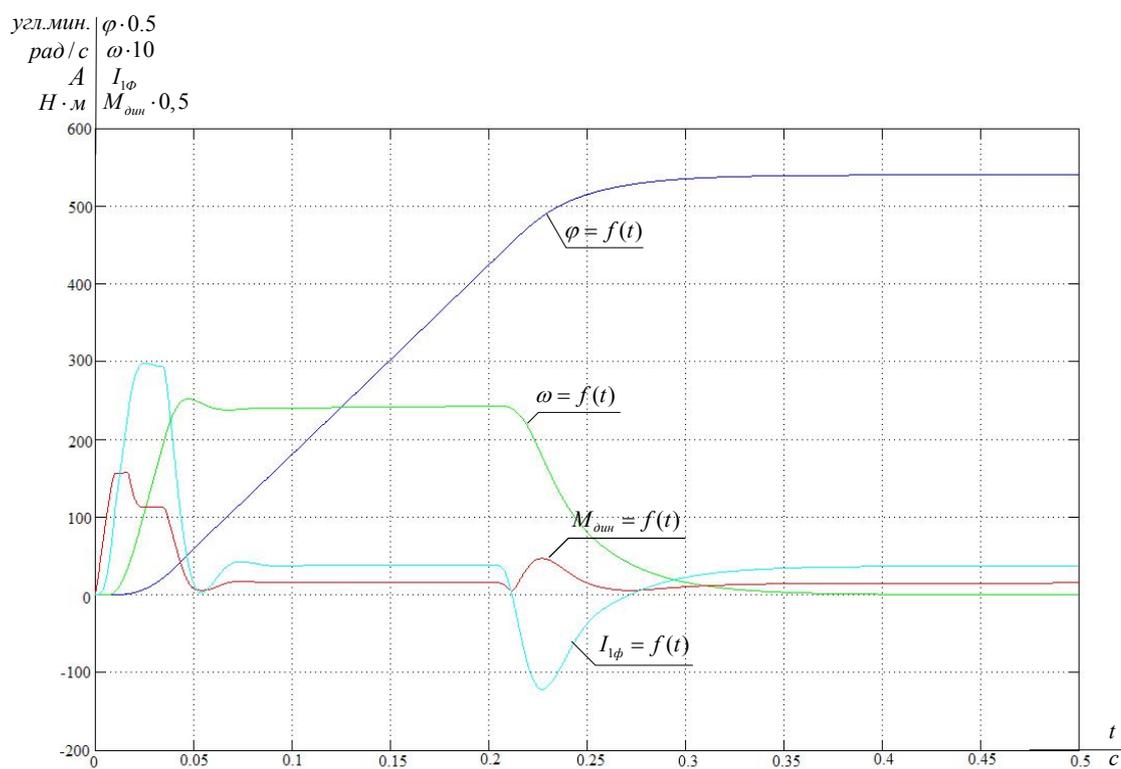


Рисунок 4.12 Переходные процессы одномассовой САУ СЭП,

$$\varphi_{\text{зад}} = 1000 \text{ дискрет}$$

При малых входных воздействиях следящий электропривод ведет себя как линейная система. Регуляторы тока, скорости и положения не входят в насыщение, не достигают предельных значений и регулируемые координаты: действительная составляющая тока статора  $I_{1\alpha}$ , момент двигателя и его скорость. При средних (рисунок 4.4) и больших входных воздействиях (рисунок 4.6) следящий электропривод ведет себя как нелинейная система. Регуляторы тока и скорости входят в насыщение, достигают предельных значений и регулируемые координаты: действительная составляющая тока статора  $I_{1\alpha}$ , момент двигателя и его скорость. Однако следящий электропривод с параболическим регулятором положения при любом входном реальном воздействии не позволяет компенсатору отклониться на недопустимо большие отклонения, приводящие к вытягиванию заготовки.

## 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХМАССОВОЙ СИСТЕМЫ САУ СЭП

Имитационная модель двухмассовой САУ СЭП представлена на рисунке 5.1.

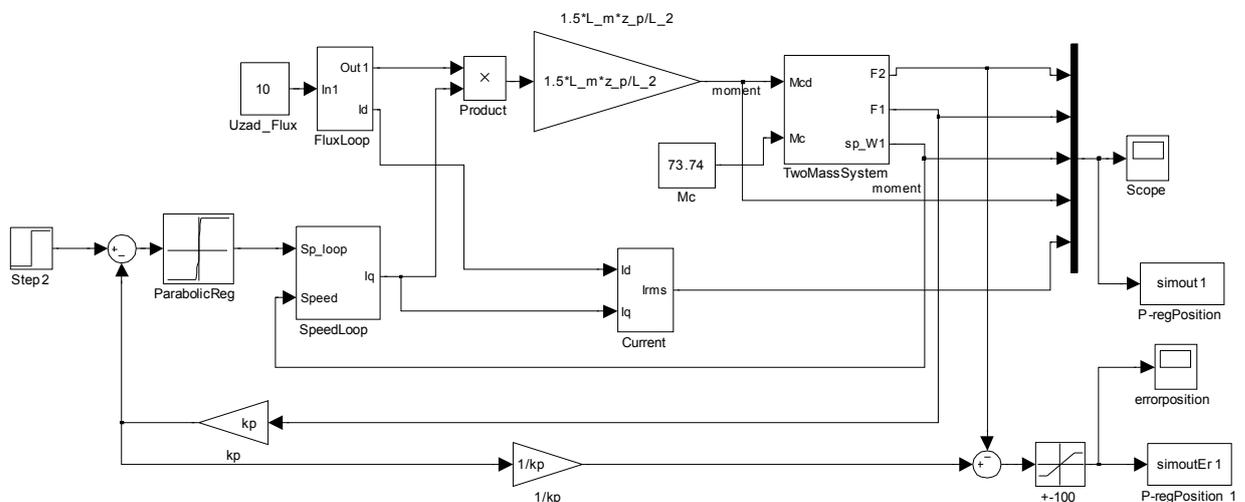


Рисунок 5.1. Имитационная модель двухмассовой САУ СЭП

Графики переходных процессов основных координат нелинейной двухмассовой системы автоматического управления следящего электропривода с настройкой параболического регулятора положения и ПИ регулятора скорости на максимальный момент инерции электропривода для различных задающих воздействий, приведены на рисунках 5.2 – 5.5.

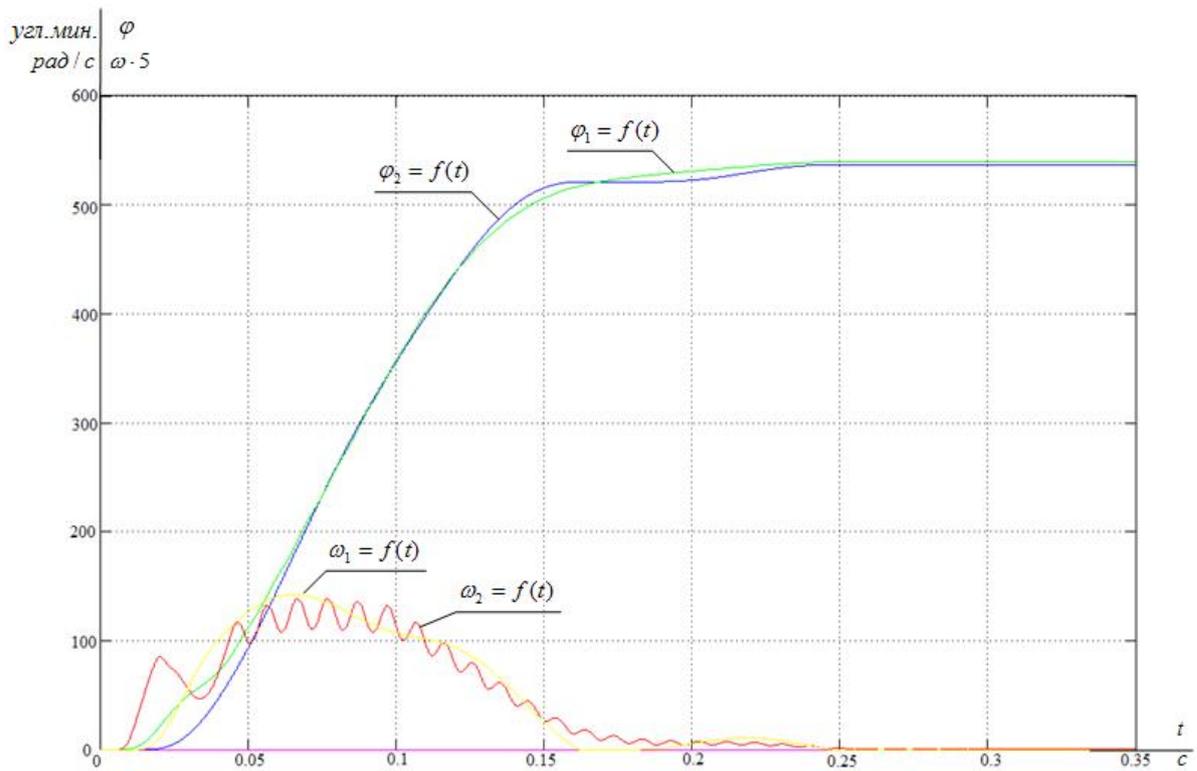


Рисунок 5.2. Переходные процессы двухмассовой САУ СЭП

$$\varphi_{зад} = 500 \text{ дискрет}, J = 0,565 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

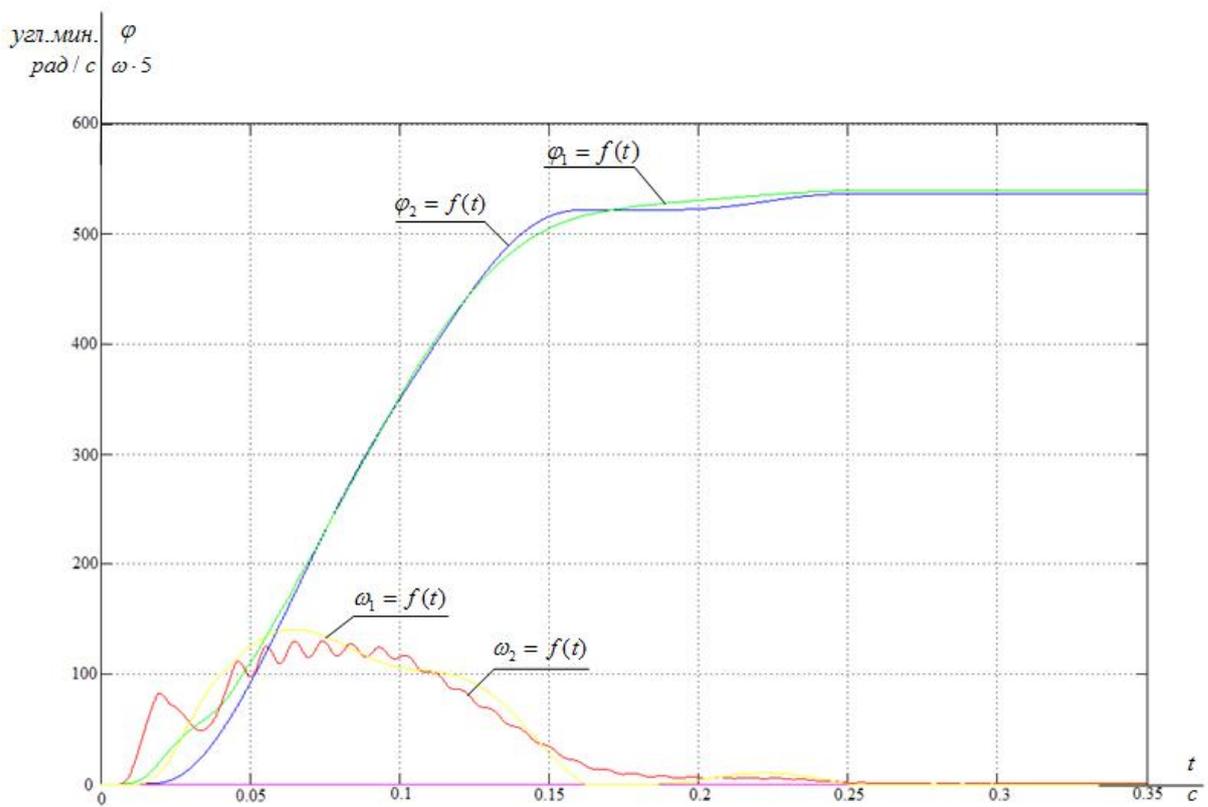


Рисунок 5.3. Переходные процессы двухмассовой САУ СЭП

$$\varphi_{зад} = 500 \text{ дискрет}, J = 0,249 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

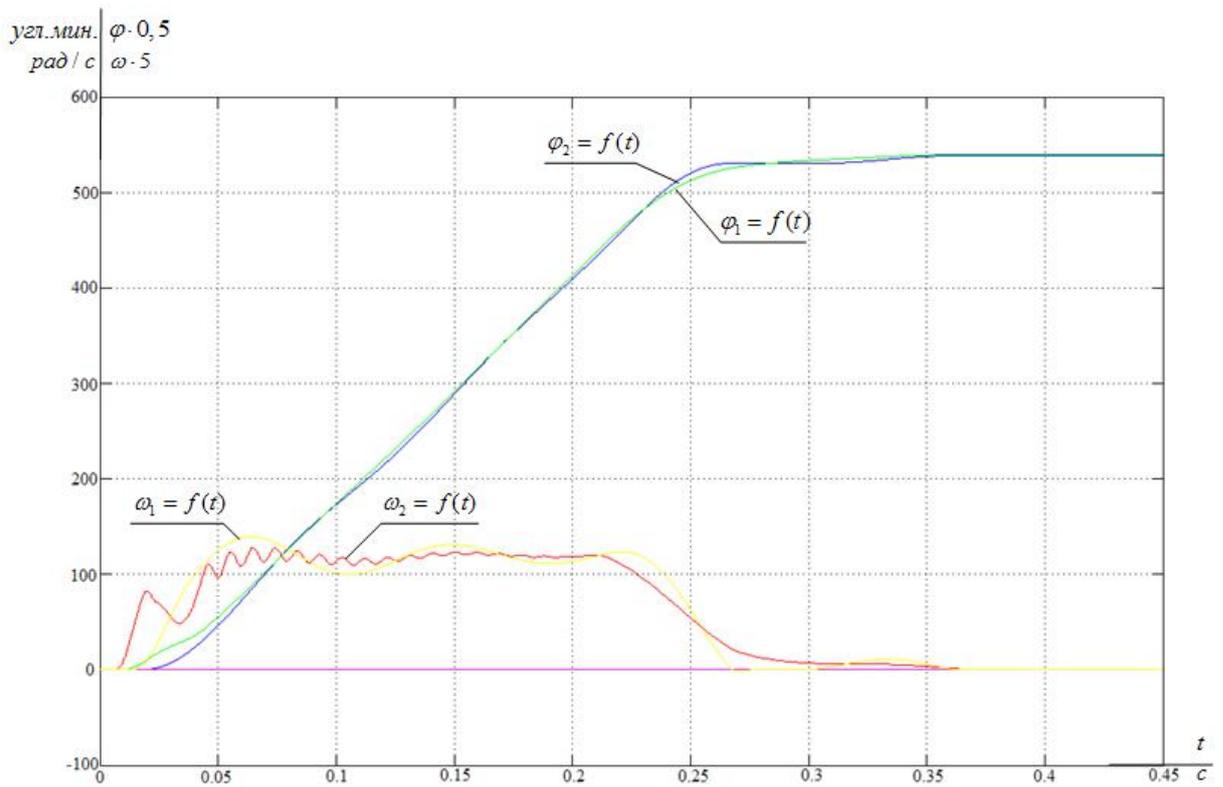


Рисунок 5.4. Переходные процессы двухмассовой САУ СЭП

$$\varphi_{зад} = 1000 \text{ дискрет}, J = 0,565 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$$

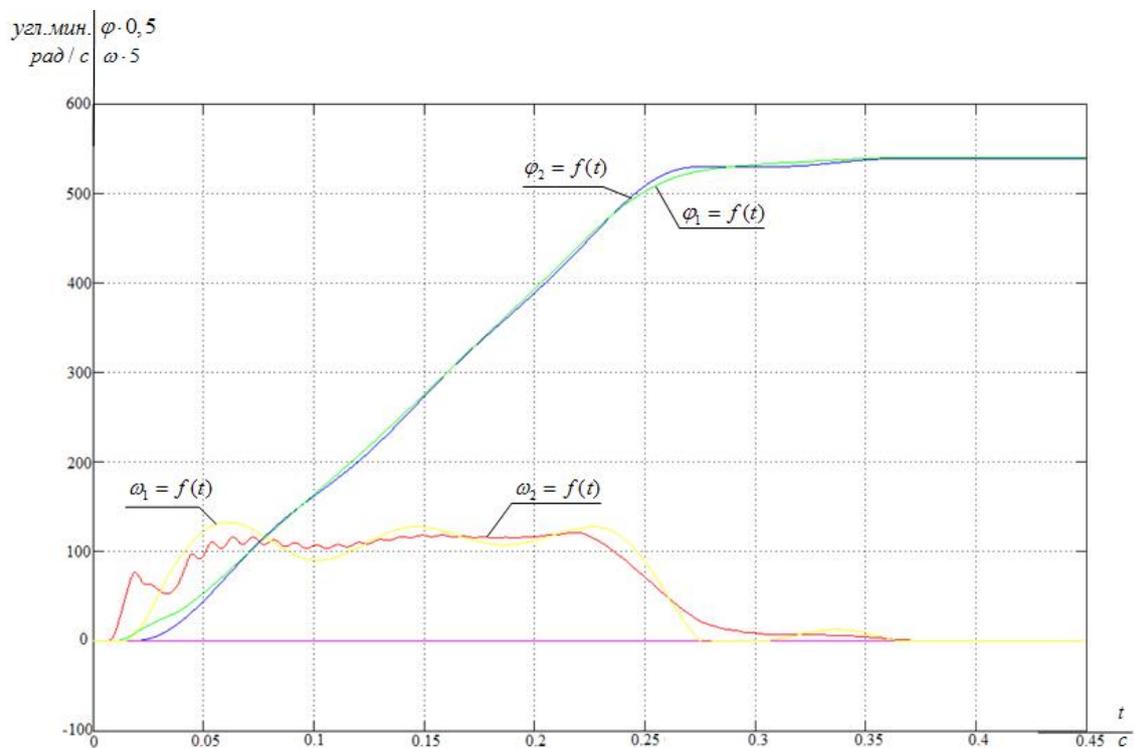


Рисунок 5.5. Переходные процессы двухмассовой САУ СЭП

$$\varphi_{зад} = 1000 \text{ дискрет}, J = 0,249 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$$

Анализ графиков переходных процессов показывает, что при средних (рисунки 53, 54) и больших входных воздействиях (рисунки 55, 56), с моментом инерции для полного и для пустого барабана, следящий электропривод ведет себя как нелинейная система. Однако нелинейная двухмассовая система автоматического управления следящего электропривода с параболическим регулятором положения при любом входном реальном воздействии не позволяет компенсатору отклониться на недопустимо большие отклонения, приводящие к вытягиванию заготовки.

## **6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

### **6.1. Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование**

Экструзионная линия с диаметром шнека 125 мм предназначена для производства проводов и кабелей с кремнийорганической резиной сечением 16 - 300 мм<sup>2</sup>. В производстве кабелей на этой линии используются современные изоляционные материалы, которые позволяют снизить расходы на энергоносители (тепло, электроэнергию).

Разработка и внедрение в отдающем устройстве частотного электропривода позволяет добиться улучшения качества продукции, снизить расход дорогостоящего импортного материала (кремнийорганической резины) и исключить брак из-за неравномерной намотки заготовки на барабан. Простота конструкции компенсатора позволяет снизить его стоимость. Частотный электропривод снижает расходы на электроэнергию и эксплуатационные расходы, позволяет повысить надежность линии ЛКОР-125.

#### **6.1.1 Потенциальные потребители результатов научно-технического проекта**

Заказчиком разработки проекта на внедрение частотно-регулируемого электропривода для линии ЛКОР-125 является ЗАО «Сибкабель» г. Томск.

Сегментировать рынок услуг по разработке и внедрению в производстве частотного электропривода можно по следующим критериям: изменение в конструкции существующих линий по производству кабельной продукции, длительность эксплуатации оборудования (рисунок 6.1).

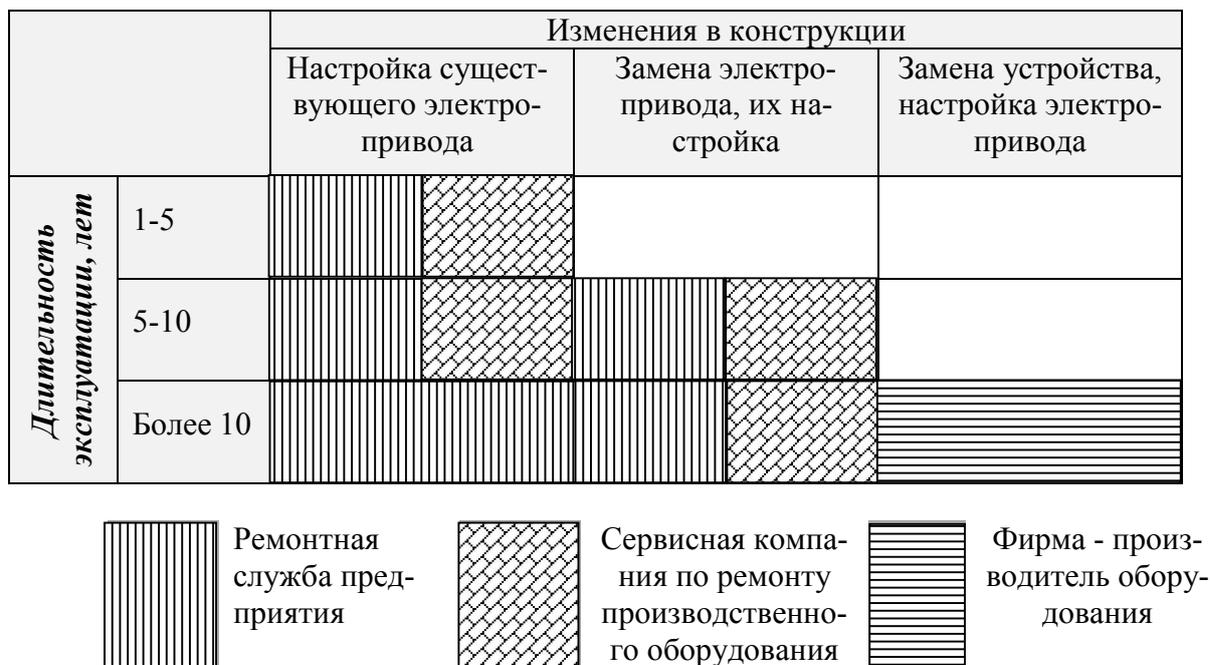


Рисунок 6.1. Карта сегментирования рынка услуг по разработке и внедрению в производстве частотного электропривода:

### 6.1.3 Анализ конкурентных технических решений

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 табл. 6.1. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок

При разработке электропривода в отдающем устройстве разработчик руководствовался следующими соображениями: стоимость двигателя постоянного тока больше чем асинхронного двигателя, затраты на его эксплуатацию больше (в сравнении с асинхронным двигателем). Выпуск двигателей постоянного тока сокращается, электропривод постоянного тока заменяется электроприводом переменного тока. Решено использовать электропривод переменного тока с частотным регулированием

Рассматривалось три варианта исполнения:

1. Преобразователь частоты (далее ПЧ) фирмы Omron A1000 модель 2A0040, двигатель 4A132M6 мощностью 7,5 кВт, 1000 об/мин, редуктор F41 3 H40 P90.
2. ПЧ фирмы Веспер модель E3-9100, двигатель 4A132M6 мощностью 7,5 кВт, 1000 об/мин, редуктор F41 3 H40 P90. Для связи с контроллером линии необходим дополнительный модуль связи Device-NET. На разработку устройства и его программирование заложим в стоимость оборудования ориентировочно 40 000 руб.
3. ПЧ фирмы АВВ модель ACS880-01-031A-2, двигатель фирмы АВВ модель M3BP 160 MLA мощностью 7,5 кВт, 1000 об/мин, редуктор АВВ 1SDA 073732R1. Не комплектуется модулем связи, необходимо приобрести устройство отдельно.

Таблица 6.1. Стоимость комплекта.

Наименование комплектующих	Вариант исполнения					
	1		2		3	
	марка	стоимость	марка	стоимость	марка	стоимость
ПЧ	Omron A1000	48550	Веспер E3-9100	42085	ABB ACS880	53590
Редуктор	F41 3 H40 P90	38320	F41 3 H40 P90	24895	ABB 1SDA 073732R1	38320
Двигатель	4A132M6	20860	4A132M6	20860	ABB M3BP 160 MLA	32150
Коммут. аппаратура	комплект	15180	комплект	15180	комплект	15180
Модуль связи	интегрирован	0	разрабатывается отдельно	40000	приобретается отдельно	12500
Сумма за комплект	122 910		143 020		151 740	

Производим выбор варианта (комплекта) с использованием метода экспертных оценок.

Для проведения оценки выбраны следующие показатели: *технические* – производительность, помехозащищенность, точность, плавность протекания процессов, степень стандартизации и унификации, удобство управления, шум

при работе и *экономические* – капитальные вложения, затраты на эксплуатацию, надежность.

По каждому критерию необходимо установить оценку степени обеспечения.(см. табл.6.3).

Таблица 6.2. Оценка обеспечения цели

Уровень цели	низкий	средний	высокий (выше средней)
Оценка обеспечения цели	1.0	0.5	0

Таблица 6.3. Сравнительная характеристика электроприводов

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			примечание
		1	2	3	
1	2	3	4	5	4
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1. Производительность	1	0	0	0	равная у всех комплектов
2. Помехозащищенность	0,5	0	0,5	0	
3. Точность	0,5	0	0	0	у 3-го комплекта точность выше, но у всех комплектов достаточная
4. Плавность протекания процессов	0,5	0	0	0	
5. Удобство встройки	0,2	0	0,5	0	дополнительные затраты на модуль связи
6. Степень стандартизации унификации	0,3	0	1	0,5	2-й комплект - модуль связи, 3-й двигатель больших размеров
7. Удобство управления	0,5	0	0,5	0	
8. Шум при работе	0,1	0,5	0,5	0	3-й комплект имеет лучшие показатели, т.к. ПЧ и АД одного производителя
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>					
9. Капитальные вложения	1	0	0,5	0,5	
10. Затраты на эксплуатацию	0,8	0	0	0	
11. Надежность	0,8	0	0,5	0	надежность 2-го комплекта ниже, т.к. модуль связи произведен штучно, а не серийно
<b>Итого</b>		<b>0,05</b>	<b>1,85</b>	<b>0,65</b>	

В результате сравнения и оценки критериев выбран первый вариант исполнения, т.к. у него оптимальные технические показатели при выгодной стоимости проекта. Далее расчеты производятся для комплекта оборудования с ПЧ фирмы Omron.

## 6.2 Планирование научно – исследовательских и опытно - конструкторских работ

Планирование необходимо для обеспечения оптимального ведения работ, уменьшение затрат, увеличение производительности труда.

### 6.2.1 Планирование научно – исследовательских работ

Этапы и содержание НИР сведены в таблицу 6.4.

Трудоемкость характеризуется количеством живого труда, затраченного на изготовление какой либо продукции. Все этапы работы и значения трудоемкости занесены в календарный план-график, таблица 6.5.

Таблица 6.4. 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.	Расчет момента инерции	Инженер
	3.3.	Выбор преобразователя частоты	Инженер
	3.4.	Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала. Оптимизация контуров	Инженер
	3.5.	Разработка электрической схемы привода.	Инженер
	3.6.	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 управлением	Инженер
	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. Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, инженер

Таблица 6.5. Календарный план-график НИР

Этап	Название	Исполнитель	t-емкость, дней		апрель															май																			
			рабочие	клендарные	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	1	■	■	■																																
		Инженер																																					
2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель																																					
		Инженер	3	5																																			
3	Расчет параметров, выбор двигателя и ПЧ	Руководитель	1	1																																			
		Инженер	11	15																																			
4	Моделирование работы привода	Руководитель	1	1																																			
		Инженер	6	11																																			
5	Обобщение и оценка результатов	Руководитель	3	3																																			
		Инженер	3	3																																			

## 6.2.2 Пуско-наладочные работы

Пуско-наладочные работы являются последним звеном производства линии, обеспечивающие ввод в эксплуатацию объект. Ниже рассмотрены основные этапы проведения ПНР на линии. Работы выполняются высококвалифицированными специалистами и рабочими по заранее разработанным и согласованным программам. Электротехнические ПНР, согласно [1], должны обеспечивать проверку и испытание электрооборудования в соответствии с действующими ПУЭ, технической документацией предприятия-изготовителя оборудования и другими нормативными документами, а также получение заданных проектом электромеханических параметров работы оборудования.

Результат проверок, снятие характеристик аппаратуры, испытания и других работ, входящих в комплекс наладки электроустановок, оформляются в виде протоколов установленной формы, которые прикладываются к акту сдачи объекта в эксплуатацию.

Проведению ПНР в короткие сроки и с высоким качеством в значительной степени способствуют подготовительные мероприятия:

- заблаговременное ознакомление с проектом электроустановки, выявление неточностей, пробелов и других дефектов проекта;
- выявление и подсчёт объёма ПНР, определение необходимого количества наладочного персонала;
- подготовка комплектов наладочной аппаратуры и инструмента;
- составление рабочего графика проведения ПНР и согласование его с монтажной организацией и заказчиком;
- внешний осмотр электрооборудования и установка количества электро-монтажных работ;
- определения технических характеристик электрооборудования;
- составление рабочей программы испытаний и наладки электрооборудования с учётом особенностей налаживаемого объекта.

Для того чтобы качественно и в короткие сроки произвести наладку электрооборудования и электрических схем, необходимо хорошее знание данного

оборудования, проектные схемы и расчёты электрических параметров. Поэтому наладочный персонал комплектуется из опытных и квалифицированных специалистов.

Цены на проведение ПНР определены, исходя из сложности серийно выпускаемых, освоенных промышленностью электрических устройств, в соответствии с требованиями 3 части СНиП "Организация, производство и приём работ" и технических условий на изготовление и поставку электротехнических устройств.

При составлении смет или расчёте на выполнение работ, когда договором предусматривается промежуточная оплата, следует руководствоваться структурой ПНР, приведённой в таблице 6.6.

*Таблица 6.6. Структура ПНР*

№	Состав работы	Стоимость ПНР (%) от общей сметной стоимости
1	Подготовительные работы	10
2	Наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний технологического оборудования	40
3	Наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования	30
4	Комплексное опробование	15
5	Оформление отчётной и приемно-сдаточной документации	5

Ценами учтены затраты на следующие работы:

1. Подготовительные работы - организаторскую и инженерную подготовку работ; изучение электротехнической части проекта и ознакомление с технической документацией; получение от заказчика согласованных установок устройств защиты и автоматики; подготовку парка приборов, а также программ наладки и комплекта протоколов.

2. Внешний осмотр электрооборудования на соответствие проекту; проверку и настройку отдельных элементов и функциональных групп; сборку испытательных схем; проверку параметров и снятие характеристик отдельных устройств; измерение сопротивления изоляции; проверку соединения обмоток; регулировку релейной аппаратуры.

3. Наладку электрооборудования под напряжением, включая силовые цепи; снятие и получение необходимых характеристик, сопоставление их с расчётными данными проекта; испытание и наладку оборудования вхолостую и под нагрузкой совместно с технологическим оборудованием.

4. Обеспечение взаимных связей устройств в составе электроустановки и механизмов в составе агрегата; согласование входных и выходных параметров и характеристик отдельных механизмов в составе агрегата; обеспечение на агрегатах электрических и электромеханических параметров и режимов, предусмотренных проектом.

Составление в одном экземпляре протоколов ПНР и испытаний; внесение в протокол схем, которые были изменены в процессе работы.

*Таблица 6.7. Этапы и содержание ПНР*

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1. Подготовительный этап	1.1.	Ознакомление с проектом, выявление неточностей. Составление рабочего графика проведения ПНР.	Руководитель, представитель заказчика, бригады наладчиков
	1.2.	Подготовка аппаратуры и инструмента;	Бригада наладчиков
	1.3.	Внешний осмотр электрооборудования и проверка готовности;	Бригада наладчиков
	1.4.	Определение соответствия техническим характеристикам;	Бригада наладчиков
	1.5.	Составление рабочей программы испытаний и наладки с учетом особенностей объекта.	Бригада наладчиков

*Таблица 6.7. Продолжение*

2. Проверочные работы:	2.1.	Проверка количества электромонтажных работ и их соответствие к рабочим чертежам проекта	Бригада наладчиков
	2.2.	Проверка установленной аппаратуры, градуировка и снятие в необходимых случаях характеристик	Бригада наладчиков
	2.3.	Проверка правильности выполнения схем	Бригада наладчиков
	2.4.	Проверка работы электрических систем, блокировок и автоматики.	Бригада наладчиков
3. Наладочные работы:	3.1.	Ввод параметров двигателя в преобразователь частоты, проверка работы системы;	Бригада наладчиков
	3.2.	Проверка работы и функционирования блоков сигнализации и защиты	Бригада наладчиков
	3.3.	Ввод параметров системы в преобразователь частоты	Бригада наладчиков
	3.4.	Проверка диапазона изменения напряжения преобразователя , настройка устройства задания скорости	Бригада наладчиков
	3.5.	Итоговая проверка защиты	Бригада наладчиков
	3.6.	Настройка и снятие необходимых характеристик элементов автоматического управления в соответствии с требованиями технологического процесса, испытание оборудования в холостую	Бригада наладчиков
4. Комплексное опробование	4.1.	Обеспечение взаимных связей устройств в составе электрической установки;	Бригада наладчиков
	4.2.	Согласование входных и выходных параметров на входе и выходе характеристик отдельных механизмов	Бригада наладчиков
	4.3.	Проверка режимов работы системы при управлении с пульта управления	Бригада наладчиков
1. Оформление документации	5.1.	Составление протоколов ПНР	Бригада наладчиков
	5.2.	Приемка линии. Внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта и изменений, внесенных во время ПНР	Руководитель , представитель заказчика, бригада наладчиков

### 6.2.3 Состав бригады для проведения ПНР

Число членов бригады и распределение объёмов ПНР между членами бригады зависит от профессиональной подготовки наладчиков и их практического опыта, а также диктуется рядом требований к ПНР:

1. Работы характеризуются узкой специализацией, сложностью.
2. По правилам и нормам эксплуатации и настройки электрооборудования напряжением до 1000 В запрещаются работы на оборудовании, находящемся под напряжением, менее чем двум членам бригады.

Распределение объёма работ между членами выполняет бригадир, как опытный специалист, знающий каждого члена бригады. Продолжительность выполнения любой операции на каждом этапе зависит от технической сложности. Состав бригады, выполняющей ПНР приведён в таблице 6.8.

*Таблица 6.8. Состав бригады, выполняющей ПНР*

	Состав бригады	Категория
1	Инженер-наладчик (бригадир)	I
2	Инженер-наладчик	II
3	Инженер-наладчик	III

С бригадой наладчиков, производящих ПНР, заключено трудовое соглашение, в котором оговорён срок поведения работ и сумма, на которые заключается соглашение. Срок проведения ПНР составляет 22 рабочих дня продолжительностью 8 часов.

Распределение объёма и времени выполнения ПНР по этапам отражено в таблице 6.9.

*Таблица 6.9. Распределение времени выполнения ПНР*

№	Члены бригады	Время выполнения работ по этапам, раб. дни				
		1	2	3	4	5
1	Инженер-наладчик (бригадир)	3	7	6	4	2
2	Инженер-наладчик	3	7	6	4	2
3	Инженер-наладчик	3	7	6	4	2

По таблице 6.9, согласно [2], строим календарный график, на июнь месяц 2016 года, проведения ПНР (таблица 6.10.).

Таблица 6.10. календарный план-график ПНР

Этап	Исполнит.	t-емкость, дни		Выполнение ПНР по дням																														
		Рабочие	Календ-е	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1 – ый	Инженер – наладчик I (бригадир)	3	3	█	█	█																												
	Инженер – наладчик II	3	3	█	█	█																												
	Инженер – наладчик III	3	3	█	█	█																												
2 – ой	Инженер – наладчик I (бригадир)	7	9				█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
	Инженер – наладчик II	7	9				█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
	Инженер – наладчик III	7	9				█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
3 – ий	Инженер – наладчик I (бригадир)	6	10													█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
	Инженер – наладчик II	6	10													█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
	Инженер – наладчик III	6	10													█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
4 – ый	Инженер – наладчик I (бригадир)	4	4																															
	Инженер – наладчик II	4	4																															
	Инженер – наладчик III	4	4																															
5 – ый	Инженер – наладчик I (бригадир)	2	2																															
	Инженер – наладчик II	2	2																															
	Инженер – наладчик III	2	2																															

## 6.3 Расчет бюджета проекта по внедрению частотного электропривода

### 6.3.1 Смета затрат на ПНР

Между ЗАО «Сибкабель» и пусконаладочной бригадой составляется договор на проведение ПНР с выплатой после завершения ПНР договорной цены, согласно ценнику на 1 апреля 2016 года в общем размере 69 351,82 рублей. В договоре оговорено, что инженер-наладчик бригадир (I категория) получает 40% (27740,73 руб.), инженер-наладчик (II категория) 32% (22192,58 руб.), инженер-наладчик (III категория) 28% (19418,51 руб.) от фонда оплаты труда.

Дополнительные затраты по заработной плате приведены в таблице 6.11.

Таблица 6.11. Дополнительные затраты по заработной плате

№	Наименование статей	Плановые (руб.)	Примечание
1	Стоимость работ	38679,21	
2	Районный коэффициент	11603,76	30% от п. 1
3	Коэффициент, действующий при проведении ПНР в зоне работы действующего оборудования	1160,38	10% от п. 1
4	Коэффициент, учитывающий работы на установке, находящейся под напряжением	11603,76	30% от п. 1
5	Основная заработная плата, включая доплаты	63047,11	п.1+п.2+п.3+п.4
6	Дополнительна заработная плата	6304,71	10%отп.5
7	Итого	69351,82	п.5+п.6

Затраты предприятия на проведение пуско-наладочных работ приведены в таблице 6.12.

Таблица 6.12. Общая стоимость затрат на проведение ПНР

№	Наименование статей	Плановые (руб.)	Примечание
1	Заработная плата	69351,82	
2	Отчисления в внебюджетные Фонды	25351,30	30% от п.1
3	Накладные расходы	15152,50	16% от п.1
4	Себестоимость работ	109855,62	п.1+ п.2+п.3
5	Прибыль	8788,45	8% от п.4
6	Цена ПНР	118644,07	п.4+п.5
7	НДС	21355,93	18% от п.6
8	Итого	140000,00	п.6 + п.7

Цены всех комплектующих представлены в таблице 6.1 на 1 июня 2016 года.

Таким образом, на проведение пуско-наладочных работ ЗАО «Сибкабель» затратило 140 000 рублей, на приобретение оборудования 122 910 рублей. Работы были проведены за 22 рабочих дня.

### **6.3.2 Расчет расходов при эксплуатации электропривода (стоимости силовой электроэнергии)**

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

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

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

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}} = \frac{5 \cdot 3725 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,7}{0,92 \cdot 0,9} = 5545,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где  $P_{\text{уст}}$  – мощность установленного оборудования, 5 кВт;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд времени работы оборудования, 3725 часов, автоматические линии в 2 смены;

$k_{\text{м}}$  – 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:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил.эн}} \cdot C_{\text{э}} = 5545,3 \cdot 3,52 = 19519 \text{ руб} / \text{год}$$

где  $C_{\text{э}}=3,52$  руб. – стоимость одного кВт-часа электроэнергии для промышленных предприятий.

### 6.3.3 Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 107730 \cdot \frac{9,6}{100} + 15180 \cdot \frac{3,5}{100} = 10873,38 \text{ руб}$$

где  $K$  – капитальные вложения в электрооборудование;

$H_A$  – проценты отчислений на амортизацию

- Электродвигатели – 9.6%
- Преобразователи, выключатели, трансформаторы и т.д. – 3.5%

### 6.3.4 Заработная плата обслуживающего персонала

Обслуживание частотного электропривода, двигателя и редуктора входит в обязанности оперативно-ремонтного персонала ремонтной службы предприятия.

При выполнении работы наладчик автоматических линий имеет повременную оплату труда. Оплата труда включает в себя основную и дополнительную заработную плату. К основной относится оплата, начисленная за проработанное время на предприятии и различные доплаты (сверхурочная работа, работа в выходные дни, региональные надбавки, премии, районный коэффициент).

Оклад наладчика автоматических линий по присвоенному 6 разряду: 9100 руб.

Дневная заработная плата:

$$Z_{\text{НАЛ}} = \frac{(1,3 \cdot Z_{\text{T}} + \text{Надб}) \cdot P_{\text{К}}}{F_{\text{Д}}},$$

где  $Z_{\text{T}}$  – оклад в месяц;

$\text{Надб} = 3000$ руб надбавка за сложность;

1,4 – доплата за должность;

$P_{\text{К}} = 1,3$  – коэффициент, учитывающий районное регулирование;

$F_{\text{Д}} = 22$  количество рабочих дней в месяц.

Рассчитаем основную зарплату:

$$Z_{\text{НАЛ}} = \frac{(1,4 \cdot 1,3 \cdot 9100 + 3000) \cdot 1,3}{22} = 876,32 \text{ руб/дн}$$

Основная заработная плата за период работы:

$$Z_{\text{ОСН}} = Z \cdot \tau_{\text{P}};$$

где  $\tau_{\text{P}}$  – период рабочего времени:

$\tau_{\text{P}} = 247$  – период рабочего времени – 1 год (в 2015 году 247 рабочих дней);

Рассчитаем основную заработную плату за год:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{НАЛ}} \cdot \tau_p = 876,32 \cdot 247 = 216\,450,60 \text{ (руб);}$$

Дополнительная заработная плата – это выплаты за неотработанное время (оплата отпусков и т. д.).

Дополнительная заработная плата рассчитывается:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot Z_{\text{осн}};$$

Рассчитаем дополнительную зарплату:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 216\,450,60 = 32\,467,59 \text{ (руб);}$$

Суммарная зарплата:

$$Z_{\Sigma} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 216\,450,60 + 32\,467,59 = 249\,918,18 \text{ (руб).}$$

Расчет затрат на оплату труда сведем в таблицу 6.13

Таблица 6.13. Затраты на оплату труда

	Исполнитель
Основная з/пл, руб.	216 450,60
Дополнительная з/пл, руб.	32 467,59
Итого	249 918,18

Отчисления на социальное страхование (ЕСН)

Страховые отчисления на сегодняшний день по существующему законодательству составляет 30 %:

$$\text{ЕСН} = 30\% \cdot Z_{\Sigma} = 0,30 \cdot 249\,918,18 = 74\,675,46 \text{ (руб);}$$

Обязанности по обслуживанию линии ЛКОР-125 занимают 10% рабочего времени наладчика. Зарплата обслуживающему персоналу в год составит:

$$Z_{\text{ПЕР}} = 249\,918,18 \cdot 0,1 = 24\,991,82 \text{ (руб/год).}$$

### 6.3.5 Общая сумма эксплуатационных расходов

Общая сумма эксплуатационных расходов складывается из затраты на силовую энергию  $C_{\Sigma}$ , годовых амортизационных отчислений  $A_{\text{год}}$  и зарплаты обслуживающего персонала  $Z_{\text{ПЕР}}$ .

$$P_{\Sigma} = C_{\Sigma} + A_{\text{зод}} + Z_{\text{ПЕР}} = 19\,519 + 10\,873,38 + 24\,991,82 = 55\,384,20 \text{ (руб/год)}$$

При расчетах общих затрат на эксплуатацию расходы на электроэнергию составили 19519 (руб/год), заработная плата обслуживающего персонала 24991 (руб/год), амортизационные отчисления 10873 (руб/год). Общая сумма эксплуатационных расходов составила 55384,20 (руб/год).

#### **6.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования**

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

##### **6.4.1. Интегральный финансовый показатель**

Определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{р.}i}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{\text{р.}i}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения включая ПНР (таблица 6.1);

$$\Phi_{\text{р.}1} = 122\,910 + 140\,000 = 262\,910 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{р.}2} = 143\,020 + 140\,000 = 283\,020 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{р.}3} = \Phi_{\text{max}} = 151\,740 + 140\,000 = 291\,740 \text{ руб}$$

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость всего проекта

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{\text{р.}1}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{262910}{291740} = 0,9$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{\text{р.}2}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{283020}{291740} = 0.97$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{\text{р.}3}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{291740}{291740} = 1$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах.

#### 6.4.2. Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определяется следующим образом:

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

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 6.14).

Таблица 6.14 Сравнительная оценка вариантов исполнения

Объект исследования Критерии	Весовой ко- эффициент параметра	Исп.1 (Omron)	Исп.2 (Веспер)	Исп.3 (ABB)
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	3	3
3. Помехоустойчивость	0,15	4	3	5
4. Энергосбережение	0,20	5	5	5
5. Надежность	0,25	5	4	5
6. Материалоемкость	0,15	5	5	3
ИТОГО	1	4,85	4,15	4,4

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,01 = 4,85;$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,1 = 4,15;$$

$$I_{p-исп3} = 5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,1 = 4,4.$$

### 6.4.3. Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

( $I_{испi}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}} = \frac{4,85}{0,9} = 5,39$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} = \frac{4,15}{0,97} = 4,28$$

$$I_{исп.3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{финр.3}} = \frac{4,4}{1} = 4,4$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл. 6.15) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.1}} = \frac{5,39}{5,39} = 1$$

$$\mathcal{E}_{cp2} = \frac{I_{исп.2}}{I_{исп.1}} = \frac{4,28}{5,39} = 0,79$$

$$\mathcal{E}_{cp3} = \frac{I_{исп.3}}{I_{исп.1}} = \frac{4,4}{5,39} = 0,82$$

Таблица 6.15. Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1 (Omron)	Исп.2 (Веспер)	Исп.3 (ABB)
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,9	0,97	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,85	4,15	4,4
3	Интегральный показатель эффективности	5,39	4,28	4,4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,79	0,82

Сравнение значений с позиции финансовой и ресурсной эффективности указывает на первый вариант исполнения с преобразователем частоты фирмы Omron, как наиболее эффективный, который и используется в реализации проекта.

**Заключение.**

В результате сравнения и оценки критериев комплектов электроприводов выбран преобразователь частоты фирмы Omron A1000 модель 2A0040, двигатель 4A132M6 мощностью 7,5 кВт, 1000 об/мин, редуктор F41 3 H40 P90. т.к. у данного комплекта оптимальные технические показатели при выгодной стоимости проекта. Были составлены графики проведения ПНР, определено количество работников, рассчитаны затраты. На проведение пусконаладочных работ ЗАО «Сибкабель» затратило 140 000 рублей, на приобретение оборудования 122 910 рублей. Работы были проведены за 22 рабочих дня бригадой из трех человек. На основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования, а также по итогам сравнения финансовой и ресурсной эффективности наиболее эффективным получается первый комплект электропривода.

## 7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Экструзионная линия с диаметром шнека 125 мм предназначена для производства проводов и кабелей с кремнийорганической резиной сечением 16 - 300 мм<sup>2</sup>. В производстве кабелей на этой линии используются современные изоляционные материалы, которые позволяют добиться уменьшения влияния вредных производственных факторов на работающих, снижению вредных воздействий на окружающую среду, а так же снизить расходы на энергоносители (тепло, электроэнергию, воздух). Линия оснащена устройствами с микропроцессорными системами управления, связанными друг с другом информационной сетью (шиной), в которых используются все необходимые защиты и блокировки, что позволяет исключить работу оборудования в аварийных и нештатных режимах.

Тем не менее существует ряд факторов, которые могут привести к опасности для здоровья во время проведения работ в производственных помещениях предприятия. Данные факторы могут привести к возникновению несчастных случаев, профессиональных заболеваний, а также пожаров и взрывов.

Выполнение правил и норм по охране труда обеспечивает необходимую безопасность обслуживающего персонала, пожаро- и взрывобезопасность электроустановок и тем самым обеспечивает комфортную среду на рабочих местах.

### 7.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.

Опасные и вредные производственные факторы регламентирует [21].

Главной задачей охраны труда является обеспечение безопасности и комфортабельности труда, для чего необходимо проанализировать все опасные и вредные факторы, возникающие в процессе данной работы и устранить их.

Необходимо рассмотреть все операции, производимые в экспериментальной части данной дипломной работы и применяемое оборудование для ее выполнения, после чего проанализировать все вредные и опасные факторы, возникающие при этом.

Для проведения экспериментов применялось следующее оборудование:

- лентообмотчики марки ОГЦУ-1;
- экструзионная линия марки ЛКОР-125.

Эксперименты проводились в цехе № 40 завода ЗАО «Сибкабель».

Основные опасные факторы:

- механические повреждения при заправки и настройки технологического режима лентообмотчиков, попадание руки и других частей тела в тяговое устройство, повреждение режущим инструментом;
- повреждение конечностей при транспортировке и установке(снятии) барабана с полуфабрикатом;
- повышенная температура в печах при термообработке (ожог возникает при соприкосновении незащищенной части тела с поверхностью экструзионной линии; максимальный нагрев печи –520 °С).
- поражение электрическим током.

### **7.1.1 Меры безопасности при работе на линии ЛКОР-125**

Основные факторы безопасности при работе на линии ЛКОР-125 определены в должностной инструкции опрессовщика ЗАО «Сибкабель» и определяются следующими моментами: [22]

- Все металлические части корпусов линии должны иметь защитное заземление согласно ПУЭ 1.7.126.
- Запрещается открыть ограждения во время работы.
- Запрещается производить ремонт, смазку и чистку во время работы.
- Запрещается начинать работу, не проверив предварительно крепление пальца.
- Категорически запрещается работать на неисправном оборудовании.
- Запрещается загромождать зону обслуживания.
- Зона обслуживания должна быть хорошо освещена. Переносные светильники должны быть подключены к источнику сверхнизкого напряжения (используется понижающий трансформатор 220/36 в).

- К работе на линии допускаются лица, прошедшие специальное обучение и получившие вводный инструктаж по технике безопасности с обязательным оформлением в журнале инструктажа.

Обязанность оператора перед началом работы:

- проверить исправность оборудования, наличие технологического инструмента;
- убрать из зоны обслуживания все, что мешает работе, освободить и не загромождать проходы;
- убедиться в исправности блокировочного устройства;
- при обнаружении неисправностей, заявить о них руководителю;
- проверить, нет ли внутри ограждений посторонних предметов, и убрать их, если они имеются;
- перед пуском обязательно закрыть все ограждения.

Обязанности оператора во время работы:

- быть внимательным, не заниматься посторонними делами, не отвлекать других;
- не оставлять работающее оборудование без присмотра и не допускать присутствие посторонних лиц в зоне обслуживания;
- производить заправку, смену бобин, переналадку и т. п. только после полной остановки оборудования.

Основные вредные факторы:

- испарение летучих продуктов при термообработке;
- отклонение параметров микроклимата (температура, скорость движения воздуха, тепловое излучение, влажность воздуха)
- освещенность
- шум
- вибрация

## **7.2 Техника безопасности**

### **7.2.1 Электробезопасность**

Вопросы электробезопасности регламентируются [23].

Из классификации помещений по характеру окружающей среды данное производственное помещение сухое. В данном помещении имеется железобетонный пол. В результате этого помещение по степени опасности поражения людей электрическим током относится к помещениям с повышенной опасностью.

Основные меры, обеспечивающие электробезопасность при прикосновении к конструктивным частям электрооборудования, заключаются в контроле сопротивления двойной изоляции, применении заземления и защитного отключения. [24]

Предусматривается защитное заземление корпусов всех электрических двигателей, светильников, экструдера, калибратора, тянущего устройства [36] с внутрицеховой шиной заземления. Площади сечений защитных проводников изготовленных из того же материала, что и фазные проводники приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1. Наименьшие сечения защитных проводников.

Сечение фазных проводников, мм <sup>2</sup>	Наименьшее сечение защитных проводников, мм
$S \leq 16$	$S$
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Защитное отключение установки используется при появлении напряжения на корпусе относительно земли. Вводной автоматический выключатель типа ВА88 обеспечивает работу линии ЛКОР-125 в нормальном режиме и отключения тока при коротких замыканиях, перегрузках, недопустимых снижениях напряжения в трехфазных электрических сетях переменного тока напряжением до 400 В частотой 50 Гц. Каждое устройство, входящее в состав линии, защищено автоматическим выключателем типа ВА-47-29 и предохранителями типа ПН-2 рассчитанные на номинальные токи.

Предусматривается двойная изоляция токоведущих частей электропривода. В соответствии с ПУЭ величина изолирующего сопротивления токоведущих частей должна быть не менее 5 МОм.

В данном помещении электропроводка проложена по металлическим лоткам и в трубах, в полу. (провод марки ВВГ, кабель или провод ПР и ПВ в тонкостенных стальных трубках). Открытая электропроводка к электроприемникам линии ЛКОР-125 (двигателям, установкам, датчикам и т.д.) выполнена в металлорукавах, что обеспечивает дополнительную защиту от внешних воздействий .

### **7.2.2 Механические травмы**

Во избежание механических травм и повреждений на предприятии проводятся мероприятия которые делятся на: [25]

1 Организационные (организация обучения и инструктажа лиц, обслуживающих оборудование, контроль за исправностью оборудования, оснастки, инструмента, ведение журнала о исправности оборудования).

2 Технические (безопасность эксплуатации электрооборудования). Обеспечиваются комплексом технических мер безопасности, применением электрозащитных средств и правильной организацией эксплуатации действующих электроустановок.

К самостоятельной работе на экструзионной линии и лентообмотчике допускаются лица, достигшие 18-летнего возраста, прошедшие медицинское обследование, вводный инструктаж по ТБ, противопожарной безопасности, инструктаж по охране труда на рабочем месте, стажировку на рабочем месте, проверку знаний безопасных приемов и способов работы. В период обучения (стажировки) работа должна выполняться под руководством опытного рабочего. Самостоятельная работа на оборудовании запрещена.

Опрессовщик в процессе работы обязан проходить:

- повторные инструктажи - не реже одного раза в квартал;
- проверку знаний инструкций по охране труда и действующей инструкции по оказанию первой помощи пострадавшим при несчастных случаях на производстве - один раз в год;
- медицинский осмотр один раз в два года.

Опрессовщик должен знать: устройство основных узлов червячных экструдеров, типы барабанов, марки изолирующих материалов, технологические инструкции по производству кабелей и проводов.

Опрессовщик должен быть обеспечен спецодеждой и другими средствами индивидуальной защиты (костюм х/б, берет, перчатки х/б, рукавицы комбинированные).

### **7.3 Производственная санитария.**

Вопросы производственной санитарии отражены в [26].

Производственная санитария в заводских помещениях охватывает широкий круг санитарно-гигиенических вопросов. Ее задачей является создание здоровых и удобных условий труда, улучшение здоровья и трудоспособности работающих, рост производительности труда.

Санитарно-гигиеническая обстановка, определяющая условия труда, характеризуется метеорологическими параметрами, действием вредных и ядовитых веществ, наличием шумов, вибраций, излучений и т.д.

#### **7.3.1 Шум и вибрация**

Вопросы шума и вибрации при работе оборудования отражены [26], [27]. В проектируемом помещении источником шума являются обмоточное устройство и экструдер с червячным прессом.

Предельно допустимый уровень воздействия шума на рабочих местах не превышает 80 дБА. Это определяется тем, что объём помещения достаточно большой по сравнению с количеством электродвигателей.

При проектировании электропривода учитывается, чтобы шум не превышал допустимых значений. Аэродинамический шум также не превышает допустимых значений.

Для защиты от шума используют специальные кожухи из тонких алюминиевых или пластмассовых листов, которые непосредственно устанавливаются на электродвигатели главного электропривода экструдера с червячным прессом, с внутренней стороны которых используются звукопоглощающие мате-

риалы.

Источниками вибрации в данной экструзионной линии являются следующие ее элементы: экструдер с червячным прессом, обмоточная машина. Это обуславливается наличием электродвигателей и редукторов. Для защиты от вибрации в данной установке используем массивный фундамент под оборудованием, который делают заглубленным и со всех сторон изолируют его войлоком или другим материалом [28].

Для устранения вибрации осуществляют следующие меры:

- в местах крепления электродвигателя и редуктора к каркасу устанавливают виброизолирующие материалы и прокладки (резина, пластик);
- увеличивают жёсткость конструкции каркаса тянущего устройства за счёт установления рёбер жесткости и сварных конструкций.

Для уменьшения вибрации кожухов, различных ограждений выполненных из стальных листов, на них нужно нанести слой резины, пластика, которые рассеивают энергию колебаний.

### **7.3.2. Микроклимат на рабочем месте**

Рабочее место по своему объему и площади должно быть таким, чтобы обеспечить условия для производительности труда и здоровья работающих труда [26]].

Согласно [29], требуется иметь на одного работающего объем помещения не менее 15 м<sup>3</sup> и площадь не менее 4,5 м<sup>2</sup>. Высота производственных помещений должна быть не менее 3,2 м.

Стены и потолки необходимо сооружать из малотеплопроводных материалов, не задерживающих осаждение пыли. Полы должны быть теплыми, эластичными, ровными и нескользкими.

Важную роль для здоровья человека играет состояние окружающей среды, метеорологические условия или микроклимат на производстве.

Микроклимат определяют следующие параметры:

- температура воздуха в помещении, °С;

- относительная влажность воздуха, %;
- подвижность воздуха, м/с;
- тепловое излучение, Вт/м.

Эти параметры отдельно и в комплексе влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Проанализируем состояние производственной санитарии в производственных помещениях ЗАО «Сибкабель», где проводились экспериментальные работы.

Температура воздуха является одним из ведущих факторов, определяющих метеорологические условия. Температура воздуха в помещении зависит, в основном от производственного процесса, при осуществлении которого, выделяется тепло. Необходимо обеспечивать оптимальный микроклимат для обеспечения теплового равновесия между организмом человека и окружающей среды.

Оптимальная температура воздуха в холодный период года составляет  $(21 \div 23)$  °С, в летний период  $(22-24)$  °С, что соответствует [40]. Для поддержания данной температуры воздуха в холодный период времени предусмотрены батареи центрального отопления. Влажность воздуха влияет на теплообмен в организме человека, затрудняя или облегчая теплообмен организма с окружающей средой. Оптимальная норма относительной влажности должна составлять  $(40 \div 60)$  %, что соответствует условиям метеорологического комфорта при покое или легкой физической работе [40].

Движение воздуха внутри помещения происходит при непрерывном движении (нагреве) воздушных масс в пространстве и действием вентиляции.

Вентиляция - это организованный и регулируемый воздухообмен, обеспечивающий удаление из помещения воздуха, загрязненного газами, парами, пылью, а также улучшающий метеорологические условия в помещении.

Во время технологического процесса от электронагревателей экструдера вы-

деляется значительное тепло, которое для поддержания оптимальной температуры в помещении целесообразно отводить с помощью вытяжной вентиляции.

По способу перемещения воздуха в данном помещении предусматривается естественная общеобменная и приточно-вытяжная механическая вентиляция.

По способу перемещения воздуха используется естественная канальная вентиляция, представляющая собой систему вытяжных шахт, в устье которых для усиления тяги предусматриваются дефлекторы.

Также применяют осевой механический вентилятор, который устанавливается снаружи здания в тех местах, где воздух наименее загрязнён. Он применяется для подогрева воздуха, который проходит через фильтры и калориферы.

В холодный период года приточную механическую вентиляцию применяют для подогрева воздуха в помещении. Удаляется воздух через щели окон и дверей. Данный тип вентиляции, т.е. естественная, используется в помещениях с малой концентрацией вредных веществ, при этом воздух в помещении нагнетается вентиляторами.

При работе на экструзионной линии ЛКОР-125 рабочие подвергаются тепловому излучению от проходной туннельной печи ПЧГ-2000. Нормы теплового излучения приведены в таблице 1. Поверхностное облучение на экструзионной линии ЛКОР-125 составляет 25-50 %. Величина теплового излучения от печей не превышает допустимой интенсивности теплового излучения 70Вт/м. Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников приведены в таблице 7.2.

[40]

*Таблица 7.2 Допустимые величины интенсивности теплового облучения*

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

### **7.3.3. Освещение на рабочем месте**

Правильно выполненная система освещения играет существенную роль в снижении производственного травматизма, уменьшая потенциальную опасность многих производственных факторов, создает нормальные условия работы и повышает общую работоспособность организма. Увеличение освещенности от 100 до 400 лк при напряженной зрительной работе обуславливает повышение производительности труда на 10÷20 %, уменьшение брака на 20 %, снижение количества несчастных случаев на 30 % [21].

Недостаточное освещение рабочего места и помещения является вредным фактором для здоровья человека, вызывающим ухудшение зрения.

На практике пользуются двумя видами освещения – естественным и искусственным, осуществляемым электрическими лампами.

Производственное освещение характеризуется количественными и качественными показателями. Качественными показателями, определяющими условия зрительной работы, являются фон, контраст объекта с фоном, видимость, цилиндрическая освещенность, показатель ослепленности, показатель дискомфорта и коэффициент пульсации освещенности [21].

На участке расположения экструзионной линии ЛКОР-125 с обмотчиками, ввиду недостаточного естественного освещения, используется искусственное освещение: люминесцентные лампы типа ЛДЦ-80, которые подвешены на высоте 4,5 м от пола.

#### **7.3.3.1. Расчет искусственного освещения**

В помещении в качестве источников искусственного освещения выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОД-2, с габаритными размерами 1531x266x198 мм. Светильники ОД-2 (открытые двухламповые) предназначены для помещений с хорошим отражением потолка и стен, допускаются при умеренной влажности и запыленности.

При равномерном размещении люминесцентных светильников последние располагаются обычно рядами – параллельно рядам оборудования.

Примем высоту рабочей поверхности над полом  $h_p = 0,85$  м; расстояние светильников от перекрытия  $h_c = 0,5$  м.

Высота подвеса  $h_n = H - h_c = 4,5 - 0,5 = 4$  м, где  $H$ -высота помещения.

Высота светильника над рабочей поверхностью  $h = h_n - h_p = 4 - 0,85 = 3,15$  м.

Расстояние между соседними светильниками или рядами  $L = \lambda \cdot h$ , где  $\lambda = 1,4$  исходя из выбранного типа светильника (открытые двухламповые ОД) [10].

$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 3,15 = \approx 4,41 \approx 4,5$  м.

Оптимальное расстояние  $L_1$  от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным  $L/3$ .

$L_1 = L/3 = 4,5/3 = 1,5$ .

Число светильников определяется на основании графо - аналитического расчета согласно рис. 7.1. Изобразим схематично в соответствии с исходными данными план помещения, указав на нём расположение светильников, и определим их число.

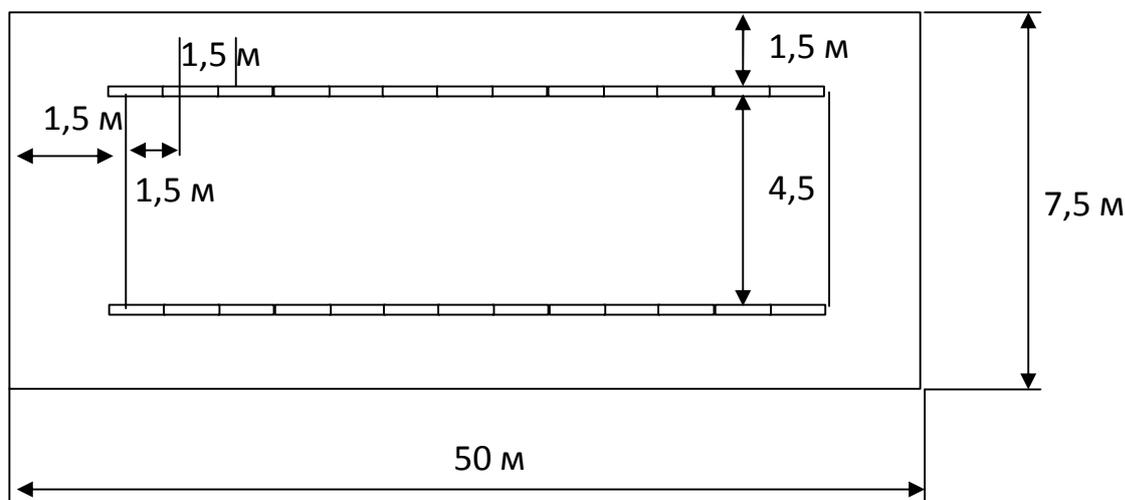


Рис. 7.1 – Схема расположения светильников.

В нашем случае, полагаем необходимым разместить 2 ряда светильников по 15 светильников в каждом, таким образом, общее количество светильников составит 30 штук.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока.

Световой поток определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K \cdot Z}{n \cdot \eta} \quad (7.1)$$

где  $E_n$  – нормируемая минимальная освещённость [30];

Операции, выполняемые на экструзионной линии ЛКОР-125 с обмотчиками, по разряду зрительной работы относятся к IV разряду работ средней точности, в котором наименьший размер объекта различения от 0,5 до 1 мм. Согласно [30], освещенность для общего освещения должна быть не менее 200 лк.

$S$  – площадь освещаемого помещения,  $m^2$ .

Помещение имеет размеры: длина  $A = 50m$ , ширина  $B = 7,5m$ , высота  $H = 4,5m$ . Площадь помещения:

$$S = A \cdot B \quad (7.2)$$

$$S = 50 \cdot 7,5 = 375m^2$$

$K_3 = 1,5$  – коэффициент запаса, берем исходя из того, что участок на котором находится экструзионная линия ЛКОР-125 с лентообмотчиками является помещением с малым выделением пыли [30].

$Z = 1,1$  – коэффициент неравномерности освещения для люминесцентных ламп [30].

$n = 30$  – число светильников на участке экструзионной линий ЛКОР-125 с лентообмотчиками, полученное графо – аналитическим расчётом;

$\eta$  - коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен  $\rho_c$  и потолка  $\rho_n$ .

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = S / h(A+B) = 375 / 3,15(50+7,5) \approx 2,07$$

Исходя из того, что в помещении свежепобеленные потолок и стены с окнами [10], принимаем  $\eta=60$ .

Рассчитаем световой поток одного светильника из группы 30 светильников по 7.1.

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 375 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 100}{30 \cdot 60} = 6875 \text{ лм}$$

Световой поток, приходящийся на одну лампу

$$\Phi/2 = 3437,5 \text{ лм}$$

Выбираем лампу, наиболее подходящую для текущего светового потока одной лампы [10]:

Таблица 7.3.

Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Напряжение на лампе, В	Ток лампы, А	Световой поток, лм
80	220	102	0,67	3800

Требуемый световой поток обеспечивает лампа ЛДЦ-80.

Общая электрическая мощность всей системы освещения  $P = 2 \cdot 80 \cdot 30 = 4800$  Вт.

Делаем проверку:

$$E_{\text{расч}} = \Phi \cdot n \cdot \eta / S \cdot K_z \cdot Z \cdot 100 = 3800 \cdot 2 \cdot 30 \cdot 60 / 375 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 100 = 221,09 \text{ лк.}$$

$$0,9 \cdot E_n < E_{\text{расч}} < 1,2 \cdot E_n;$$

$$180 < 221,09 < 240.$$

Проверка выполняется, т. к. необходимый поток светильника не выходит за пределы диапазона (-10 ÷ +20%).

#### 7.4 Пожарная безопасность

Вопросы пожарной безопасности регламентируют [11].

Пожарная безопасность означает состояние объекта или производственного процесса, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивается защита материальных ценностей. Пожарная безопасность осуществляется за счет систем предотвращения пожара, организационными и организационно-техническими мероприятиями.

Цех №40 ЗАО «Сибкабель» по степени пожарной опасности, согласно [11], можно отнести к категории В, т.к. в нем ведутся работы с применением твердых сгораемых материалов с температурой воспламенения свыше 120 °С. По огнестойкости, производственное помещение, можно отнести к помещениям I группы, т.е. стены кирпичные, а перегородки бетонные.

Для обнаружения начальной стадии пожара в производственных помещениях следует устанавливать систему электрической пожарной сигнализации (ЭПС) с ручным и автоматическим включением. Для ручного включения используются кнопочные извещатели типа ПКИО-9. Тип автоматического извещателя - комбинированные - КИ - I.

Используют дымовые автоматические пожарные извещатели, реагирующие на изменение оптической проницаемости воздуха.

В здании предусматриваются противопожарные двери, люки, тамбур-шлюзы, выполненные из негорючих материалов с минимальным пределом огнестойкости. Данное помещение имеет 3 эвакуационных выхода из цеха через коридор наружу непосредственно.

Двери на путях эвакуации должны открываться по направлению выхода из здания. Тамбуры должны быть длиной не менее 4м, оборудованные установками автоматического пожаротушения на участке длиной 4м с объёмным расходом воды 1 л/с на 1 м<sup>2</sup> пола тамбура.

Для данного здания следует предусмотреть выходы на кровлю лестничных клеток или по наружным пожарным лестницам. Пожарные лестницы следует предусматривать по периметру здания не реже чем через 200 метров.

Все производственные и подсобные помещения цеха обеспечены первичными средствами пожаротушения и пожарным инвентарем, находящимся на доступном месте.

В помещении, где проводилась работа причины пожара могут носить электрический и неэлектрический характер.

Причины электрического характера:

- а) короткое замыкание;
- б) перегрузки;
- в) электрические дуги, искры, возникающие в результате ошибочных операций с коммутационной аппаратурой;
- г) плохие контакты в местах соединения проводников.

Причины неэлектрического характера:

- а) неосторожное обращение с огнем;
- б) неисправность отопительных приборов или нарушение режима их работы;
- в) самовоспламенение некоторых материалов.

В данной работе источником пожара может стать шкаф ШС. Поэтому его не следует оставлять без присмотра. Пожарная безопасность в помещении достигается комплексом профилактических мероприятий. Включающих в себя организационные и технические.

Организационные мероприятия:

1. Проведение инструктажа.
2. Профилактический осмотр оборудования на предмет пожароопасности.
3. Соблюдение чистоты и порядка в помещении.
4. Вывешивание предупредительных плакатов, которые предостерегают о возможности возникновения пожара при несоблюдении правил санитарии.
5. Обучение сотрудников способам и приемам ликвидации пожара.

Технические мероприятия:

1. Защита установок от перегрузок и коротких замыканий.
2. Покрытие легковоспламеняющихся предметов огнеупорным покровом. По окончании работы в помещении сотрудник уходящий последним, обязан:

- а) выключить прибор из сети;
- б) выключить рубильник;
- в) выключить освещение.

К первичным средствам пожаротушения цеха ЗАО «Сибкабель» относятся:

- ручные углекислотные огнетушители ОУ-3-ВСЕ
- ручные воздушно-пенные огнетушители ОВП-8(3)-АВ;
- передвижные углекислотные огнетушители ОУ-7
- пожарные краны внутреннего водопровода;
- ящики с песком.

В производственных помещениях установлены пожарные краны диаметром 50 мм с пожарным стволом 50×16 мм и длиной рукава 20 м. Пожарные краны установлены из расчета орошения каждой точки помещения двумя струями, с расходом по 4,6 л/сек каждая. Радиус действия компактной струи 16 м.

Если же пожар возник, то проводят ряд мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, которые делятся на:

1. Мероприятия по устранению причин пожара.
2. Мероприятия по устранению очагов горения и предупреждения пожара.
3. Мероприятия по эвакуации людей и материальных ценностей
4. Мероприятия по быстрому тушению пожара.

В случае пожара для быстрой эвакуации людей необходимо соблюдать правила эвакуации.

Эвакуация должна осуществляться в следующем порядке:

1. Люди.
2. Легковоспламеняющиеся и взрывоопасные вещества.
3. Ценные бумаги и документы.
4. Ценное оборудование.
5. Прочие материалы.

## **7.5 Охрана окружающей среды**

Вопросы окружающей среды отражены [12].

Проблема защиты окружающей среды - одна из важнейших задач современности. Выбросы промышленных предприятий в атмосферу, водоемы и недра

на современном этапе развития достигли таких размеров, что в ряде районов земного шара, особенно в крупных промышленных центрах, уровни загрязнения существенно превышают допустимые санитарные нормы.

В данной дипломной работе единственным источником загрязнения атмосферы являются исследуемые полимерные материалы, которые помещаются в нагревательную печь.

## **7.6 Загрязнение атмосферы**

Атмосфера всегда содержит в своем составе определенное количество примесей, поступающих в нее от естественных и антропогенных источников. Уровень загрязнения атмосферы естественными источниками является фоновым и мало изменяется со временем. Более устойчивые зоны с повышенными концентрациями загрязнения возникают в местах активной жизнедеятельности человека. Антропогенные загрязнения отличаются многообразием видов и многочисленностью источников их выброса. Рост промышленности в нашем тысячелетии привел к качественно новому загрязнению атмосферы, в частности аэрозолями тяжелых и редких металлов, синтетическими соединениями, не существующими и не образующимися в природе, радиоактивными, канцерогенными, бактериологическими и другими веществами. Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять электрооборудование с малым энергопотреблением.

На участке цеха № 40 ЗАО «Сибкабель», где располагается экструзионная линия ЛКОР-125, в процессе производства образуются твёрдые отходы: лом меди, бытовые отходы, отходы содержащие сталь (изношенные и устаревшие части инструмента), обтирочные материалы. Для них предусмотрены места хранения. При удалении отходов с территории предприятия по [13] им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны. При работе на экструзионной линии ЛКОР-125 загрязнение окружающей

среды производится парами которые выделяются при переработке полимерных материалов при высоких температурах.

### **7.7. Основные мероприятия по защите окружающей среды**

Для снижения вреда, наносимого окружающей среде при производстве электроэнергии, необходимо искать принципиально новые виды производства электроэнергии. Безотходная технология является наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий. Это комплекс мероприятий в технологических процессах от обработки сырья до использования готовой продукции, в результате чего сокращается до минимума количество вредных выбросов и уменьшается воздействие отходов на окружающую среду до приемлемого уровня.

В этот комплекс мероприятий входят:

1. Создание и внедрение новых процессов получения продукции с образованием наименьшего количества отходов.
2. Разработка различных типов бессточных технологических систем и водоборотных циклов на базе способов очистки сточных вод.
3. Разработка систем переработки твёрдых отходов производства во вторичные материальные ресурсы.
4. Создание территориально-промышленных комплексов, имеющих замкнутую структуру материальных потоков сырья и отходов внутри комплекса.

До всестороннего внедрения безотходной технологии важными направлениями экологизации промышленного производства следует считать:

1. Совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов примесей и отходов в окружающую среду.
2. Замена токсичных отходов на нетоксичные отходы.
3. Замена не утилизируемых отходов на утилизируемые отходы.
4. Применение пассивных методов защиты окружающей среды: очистка сточных вод от примесей; очистка газовых выбросов от вредных примесей; рассеивание вредных выбросов в атмосфере; глушение шума на путях его

распространения; мероприятия по снижению уровней инфразвука, ультразвука и вибраций на путях их распространения; экранирование источников энергетического загрязнения окружающей среды, захоронение токсичных и радиоактивных отходов.

Защита окружающей среды - это комплексная проблема, требующая усилий ученых многих специальностей. Особое значение имеет количественная оценка последствий загрязнения окружающей среды и, в первую очередь, ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением атмосферы. Защита окружающей среды от загрязнения помимо экономической задачи - повышение общественной производительности труда - включает и социально-экономическую задачу-улучшение условий жизни человека, сохранение его здоровья.

## **7.8 Чрезвычайные ситуации**

К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, катастрофы, пожары, стихийные бедствия. Стихийные бедствия - явления природы, возникающие, как правило, внезапно. Они носят чрезвычайный характер и приводят к нарушению нормальной жизни, иногда гибели людей и уничтожению материальных ценностей. К стихийным бедствиям обычно относят:

- землетрясения,
- наводнения,
- селевые потоки,
- оползни,
- снежные заносы и др.

Ликвидация последствий стихийных бедствий организуется, как правило, под руководством специально создаваемых чрезвычайных комиссий. Для непосредственного осуществления мероприятий гражданской обороны (ГО) и проведения спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ на всех объектах формируются службы ГО. Они предназначены как для проведения спасательных работ в военное время, так и для ликвидации последствий стихийных бедствий и крупных аварий.

Сводные отряды (команды, группы) помимо спасения людей осуществляют неотложные аварийно-восстановительные работы: тушение пожаров, обеззараживание участков местности, транспорта, техники.

Важным условием быстрой ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций согласно [14] является соблюдение общественного порядка. Персонал, находящийся на территории предприятия должен проявлять высокую дисциплину, организованность, спокойствие, не поддаваться панике.

### **7.8.1 Устойчивость работы предприятия в чрезвычайных ситуациях**

Сущность устойчивости работы объектов народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях заключается в разработке и заблаговременном проведении комплекса организационных и инженерно-технических мероприятий, направленных на максимальное снижение возможных потерь и разрушений в чрезвычайных ситуациях.

Под устойчивостью работы объекта понимается способность объекта выпускать установленные виды продукции в объемах и номенклатуре, предусмотренных планами в условиях чрезвычайной ситуации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных в выпускной квалификационной работе теоретических исследований и компьютерного моделирования электропривода отдающего устройства линии производства кабеля кремнийорганической резины ЛКОР-125:

1. Рассмотрены основные особенности и тенденции развития электроприводов отдающих устройств, установлено, что наиболее приемлемым электроприводом для отдающих устройств производства кабеля связи является асинхронный электропривод с векторным управлением;

2. Произведен выбор асинхронного двигателя, расчет основных и дополнительных параметров, расчет параметров схемы замещения, построены переходные процессы пуска двигателя прямым включением в сеть. Установлено, что данную методику определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя по его каталожным данным можно считать приемлемой.

3. Выявлены с помощью математической модели связь параметров асинхронного двигателя и механизма отдающих устройств;

4. Произведен синтез параметров и анализ работы САУ СЭП, оптимизированы контуры тока, потокосцепления, скорости и положения, в результате исследований установлено, что регулятор положения должен быть параболическим;

5. Разработаны имитационные модели линеаризованной и нелинейной систем автоматизированного управления следящего электропривода отдающего устройства, на которых проведены исследования оптимальной настройки регулятора скорости. Показано, что наиболее целесообразно настраивать регулятор скорости на максимальный момент инерции электропривода, так как в этом случае удастся получить приемлемые переходные процессы работы электропривода с полным и пустым барабанами отдающих устройств;

6. Исследована нелинейная система автоматизированного управления следящего электропривода отдающего устройства линии производства кабеля. Установлено, что следящий электропривод с параболическим регулятором положения при любом входном реальном воздействии не позволяет ком-

пенсатору отклониться на недопустимо большие угловые перемещения, приводящие к вытягиванию заготовки.

## CONCLUSION

The results of the final qualifying in the theoretical studies and computer modeling of the electric pay-off line cable manufacture silicone rubber LKOR-125:

1. The main features and trends of development of electron-drive pay-off, it was found that the most suitable for electric devices favoring the production of cable connection is asynchronous electric drive with vector control;

2. Make the selection of the induction motor, the calculation of basic and additional parameters, calculation of equivalent circuit parameters, built transient engine start direct inclusion into the network. It was found that this method of determining the parameters of the equivalent circuit of the induction motor in its catalog data can be considered acceptable.

3. revealed using mathematical model of communication parameters of the induction motor and the pay-off mechanism;

4. Perform the synthesis parameters and analysis of ACS BOT-optical circuits in SCMs, flux, speed and position in the re-result study found that headlight must be parabolic;

5. A simulation model of the linearized and nonlinear systems of automated control servo actuator have the device, which investigated the optimal configuration of the speed controller. It is shown that the most appropriate speed controller to adjust the maximum moment of inertia of the drive, as in this case it is possible to obtain acceptable transients of the drive with full and empty drums have the device;

6. The nonlinear system of automated councils tracking electric drive the production line of the cable. It was found that the follow-up motors with a parabolic regulator in any position of the input real impact does not allow the compensator to deviate unacceptably large angular movements, resulting in stretching the work-piece.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 224 с.
2. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электропривод переменного тока: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 220 с.
3. Терехин В.Б. Моделирование систем электропривода в simulink (matlab 7.0.1), – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 320 с.
4. Пешков И.Б. Кабельная промышленность: ситуация и перспективы развития // Электротехника. 2000. № 1. С. 9-12.
5. Пешков И.Б. Мировая кабельная промышленность: переход в новый век // Кабели и провода. 2001. № 4. С. 3-6.
6. Справочник по электрическим машинам в 2т. Под общей редакцией И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т1. – М: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.: ил.
7. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с., ил.
8. Г.Б. Онищенко, М.И. Аксенов, В.П. Грехов, М.Н. Зарицкий, А.В. Куприков, А.И. Нитиевская. Под общей редакцией Г.Б. Онищенко. Автоматизированный электропривод промышленных установок. – М.: РАСХН – 2001. – 520 с.:ил.
9. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с.
10. Справочник по автоматизированному электроприводу /Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
11. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 1. – Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. – Оптимизация контура регулирования: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 144 с.
12. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 4. – тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002.– 152 с.
13. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных электроприводов постоянного тока: Учебное пособие по курсовому проектированию. – Томск: Изд. ТПИ, 1991. – 104 с.
14. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5. –Применение программы

DORRA-FUZZY в расчётах электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 156 с.

15. <http://www.driveka.ru/solutions/> - Статья замена ДПТ на АД.
16. В. М. Леонов, И. Б. Пешков, И. Б. Рязанов, С. Д. Холодный. Основы кабельной техники. Учебник. - Издательство: Академия, 2006. – 432с.
17. <http://www.elektroportal.ru/articles/art-1069-13.html> - центральный электротехнический портал.
18. Пак В. М. «Новые материалы и системы изоляции высоковольтных электрических машин»/ В. М. Пак, С. Г. Трубочев. – М.: Энергоатомиздат, 2007.-416с
19. Гамрат-Курек Л.И. Экономическое обоснование дипломных проектов. – М.: Высш. шк., 1985.-159с.
20. Великанов К.М., Власов В.Ф., Карандашова К.С. Экономика и организация производства в дипломных проектах. – Л.: Машиностроение, 1977.-208с.
21. ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
22. Паспорт лентообмотчик ОГЦУ-1.00.000.00. ПС
23. ГОСТ 12.1.009-76 Электробезопасность.
24. ГОСТ 12.1.019-79. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. - М.: Изд. стандартов, 1979 - 12 с.
25. ГОСТ 12.2.003-91 Оборудование производственное.
26. СП 2.2.2.1327-03 Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту
27. СНИП 23-03-2003 Защита от шума.
28. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий
29. С.В.Белов. Безопасность производственных процессов. Справочник. М. 1985. 449 с.
30. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г.М. Кнорринга. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
31. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
32. ГОСТ Р 8.589-2001 Контроль загрязнения окружающей природной среды.
33. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
34. ГОСТ Р 22.1.07-99 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

35. ГОСТ 17.0.0.02-79 Охрана природы. Метрологическое обеспечение контроля загрязненности атмосферы, поверхностных вод и почвы.
36. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). утверждены Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204.
37. СНИП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений М:Госстрой России, 1997,-с.12
38. К.Н.Ткачук, П.Я.Галушко, Р.В.Сабарно и др Безопасность труда в промышленности. - К.: Техшка, 19 82.-2 31 с., ил.
39. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. Безопасность жизнедеятельности.
40. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### М-файл

```
clear all
close all

T=1/1e-5; %Sampling time for simulation (second)
Tend=0.5; %Stop time

%Induction Motor ***
Rs=0.406;           %stator resistance (Ohm)
Rr=0.396;           %rotor resistance referred to stator (Ohm)
Ls_=6.28e-3;        %stator leakage inductance (henry)
Lr_=8.465e-3;        %rotor leakage inductance (henry)
Lm=0.112;           %main inductance (henry)
p=6;                %number of poles
J=0.09;             %moment of inertia of the rotor mass (kg.m^2)
Ls=Ls_+Lm;           %stator inductance (henry)
Lr=Lr_+Lm;           %rotor inductance (henry)
zp=p/2;             %number of pole pairs

Kr=Lm/Lr;
Re=Rs+Rr*Kr^2;      %R.э
Le=Ls-Lm^2/Lr;      %L.э
Ar=Rr/Lr;

%New designation страница 66,66
L1=Ls;
L2=Lr;
sig = 1 - Lm^2/(L1*L2); % сигма
R2=Rr;
Te=sig*L1/Re;       %T.э
T2=L2/R2;           %T.2 страница 66.

%Frecuency Converter
U=220;              %rms amplitude voltage (V)
Fref=50;            %frequency (hz)
Uamp=220*sqrt(2);  %amplitude voltage (V)
```

```

Wref=2*pi*Fref;      %frequency (rad/sec)

% Преобразователь
T_mtp=62.5e-6;      %Т.мтп малая некомпенсируемая постоянная времени преобразова-
теля
k_u=31.113;        %k.и
% Параметры двигателя
T_e=1.89e-2;       %Т.э
R_e=0.748;         %R.э
k_t=0.062;         %k.т
Оптимизация контура тока
T_mto=3.3333e-4;   %Т.мто
T_f2c=T_mto;       %Т.ф.вх2 Фильтр
% Регулятор тока
k_rt=9.317;        %k.рт
T_rt=T_e;          %Т.рт

%% Оптимизация контура потокосцепления
k_пу=2.665 ;       %k.р.пси
T_пу=0.304 ;       %Т.р.пси
T_t=7.917e-4 ;    %Т.т
L_m=0.112;         %L.m
T_2=0.304;        %Т.2
k_у=11.252 ;      %k.пси
T_муо=2e-3;       %Т.м.пси.о

% Оптимизация контура скорости с ПИ-регулятором
k_рс=17,562;       %k.р.с
у2х=0.889 ;       %пси2х
T_rs = 0.011 ;    %Т.рс
                ;%L.m
L_2=0.12 ;        %L2
z_p=3 ;           %zp
J_e=0.249 ;       %Jэ
k_c=0.0955 ;      %кс
T_mco=2e-3 ;      %Т.м.с.о
T_f2s=0.013 ;    %Т.ф.вх2
T_fin21=(T_mco+T_t)*4;
T_fin22=T_mco;

%Dвухмассовая механическая система. Параметры схемы

```

```

ired = 17;
Mс1 = 73.74; %момент сопротивления от сил трения на валу первой массы:
b = 0.119; %коэффициент переменных потерь механизма???
J1 = 0.099; %момент инерции первой массы:
J2 = 0.466; %Момент инерции второй массы:
Mс = 4.338; %момент нагрузки на валу второй массы
Mс2 = 0.501; %момент сопротивления от сил трения на валу второй массы
с12 = 3352; % приведённый коэффициент угловой жесткости:

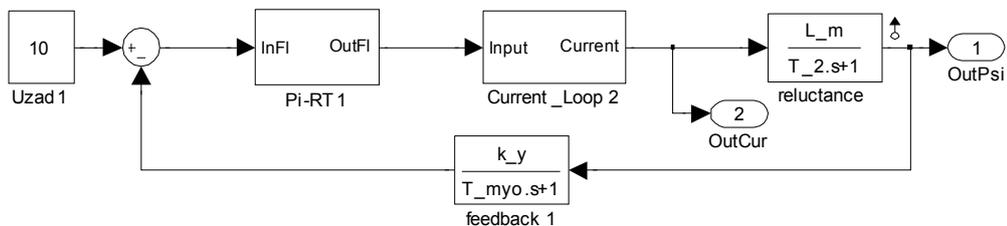
Km = 360*60/(2*3.142*ired); %коэффициент передачи механизма:
dMс = Mс1+Mс2;
%Контур положения
krp = (4*5000)/(360*60); %коэффициент обратной связи контура по положению.
krp = k_c/(Km*kr*2*T_rs); %коэффициент усиления котруа положени

%%% Расчёт параболического регулятора!:)
Aclr = (2*Mс+Mс2)/J_e;
Uz = [-10 -10 -8 -6 -4 -2 -krp*100 krp*100 2 4 6 8 10 10];
f_par = Km/(2*k_c^2*Aclr/2.5)*(Uz.^2);
N = numel(f_par);
% делаем отрицательными первые N/2 членов матрицы строки
for i=1:N/2
    f_par(i)=-f_par(i);
end

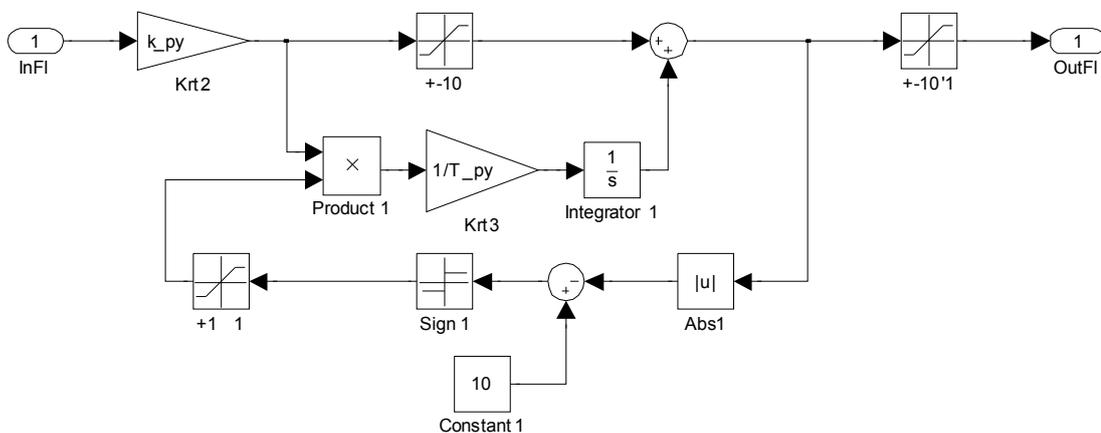
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

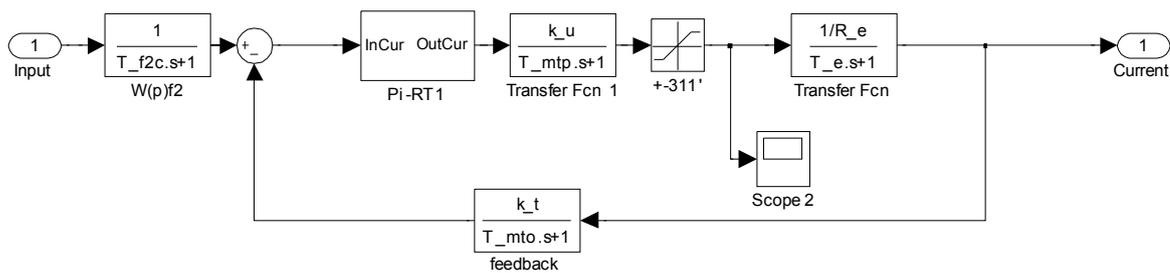
### Развёрнутые схемы суперблоков



*Рисунок Б.1. Развёрнутая схема суперблока FluxLoop*



*Рисунок Б.2. Развёрнутая схема суперблока Pi-RT1*



*Рисунок Б.3. Развёрнутая схема суперблока Current\_Loop2*

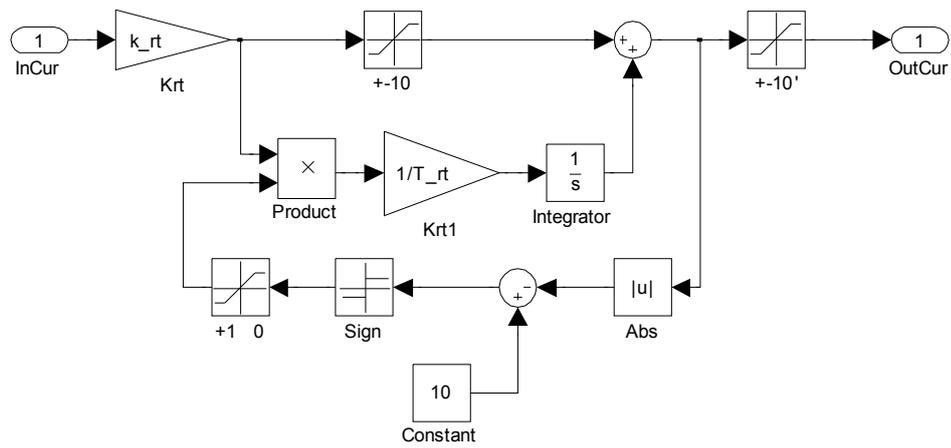


Рисунок Б.4. Развернутая схема суперблока Pi-RT1

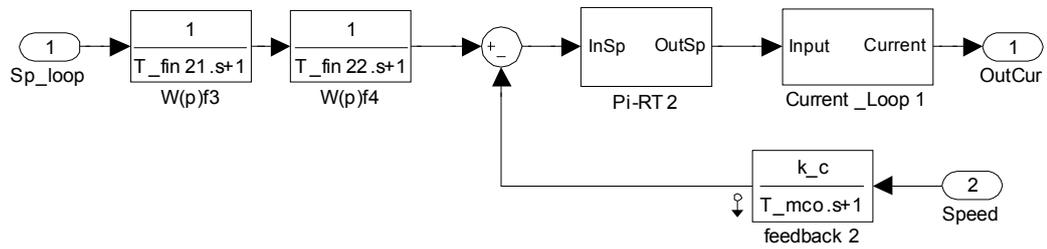


Рисунок Б.5. Развернутая схема суперблока SpeedLoop

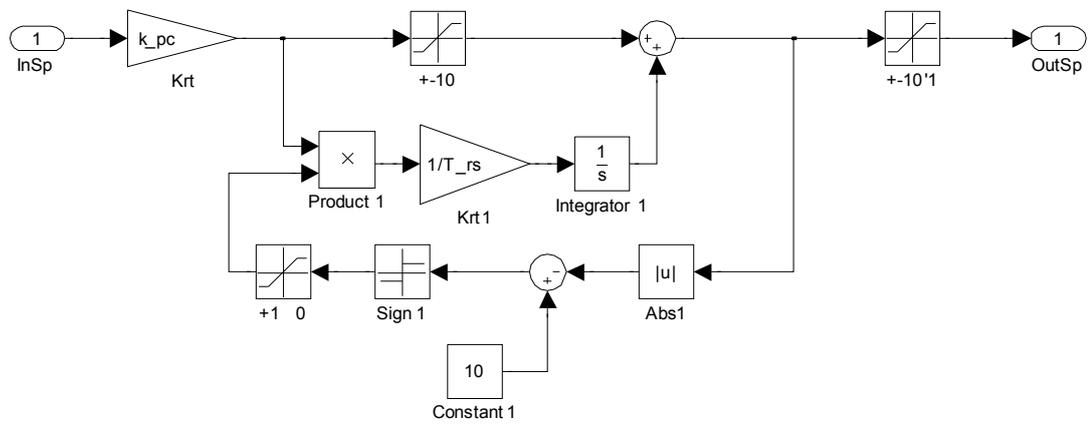


Рисунок Б.6. Развернутая схема суперблока Pi-RT2

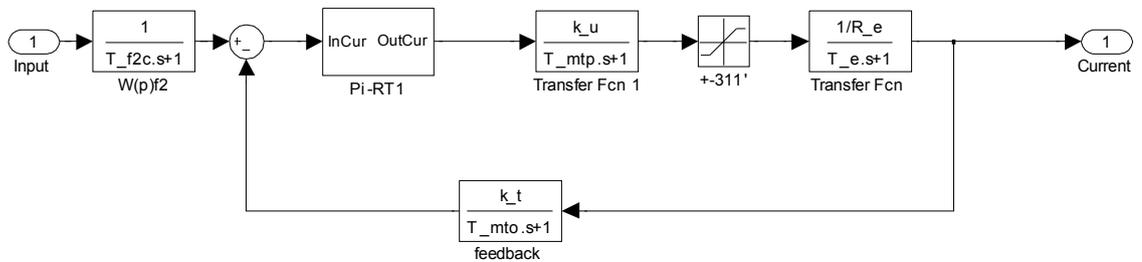


Рисунок Б.7. Развернутая схема суперблока Current\_Loop1

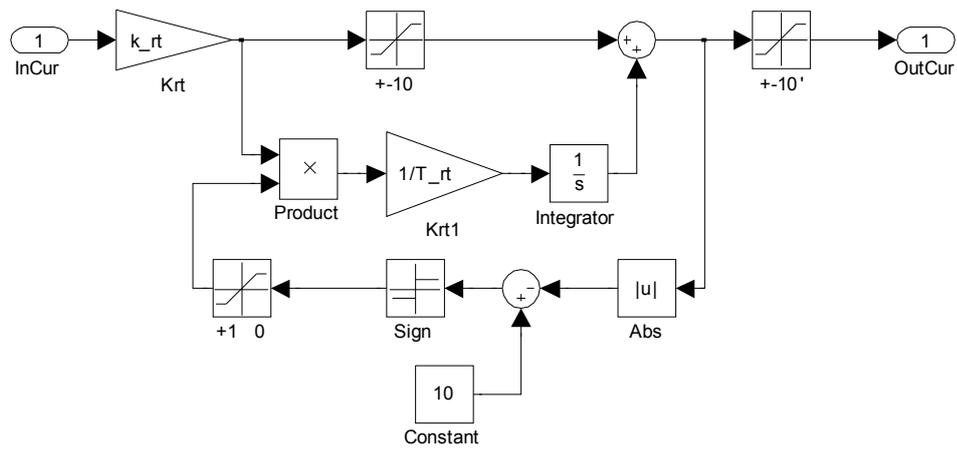


Рисунок Б.8. Развернутая схема суперблока Pi-RT1

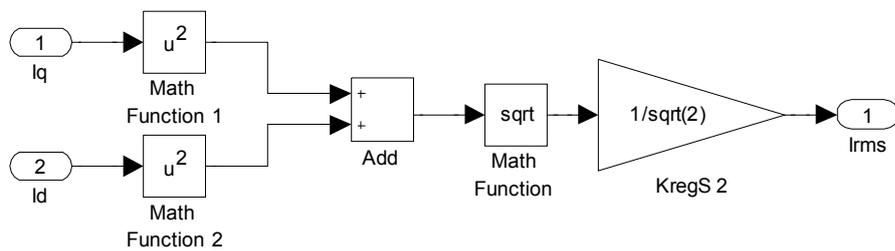


Рисунок Б.9. Развернутая схема суперблока CurrentRMS

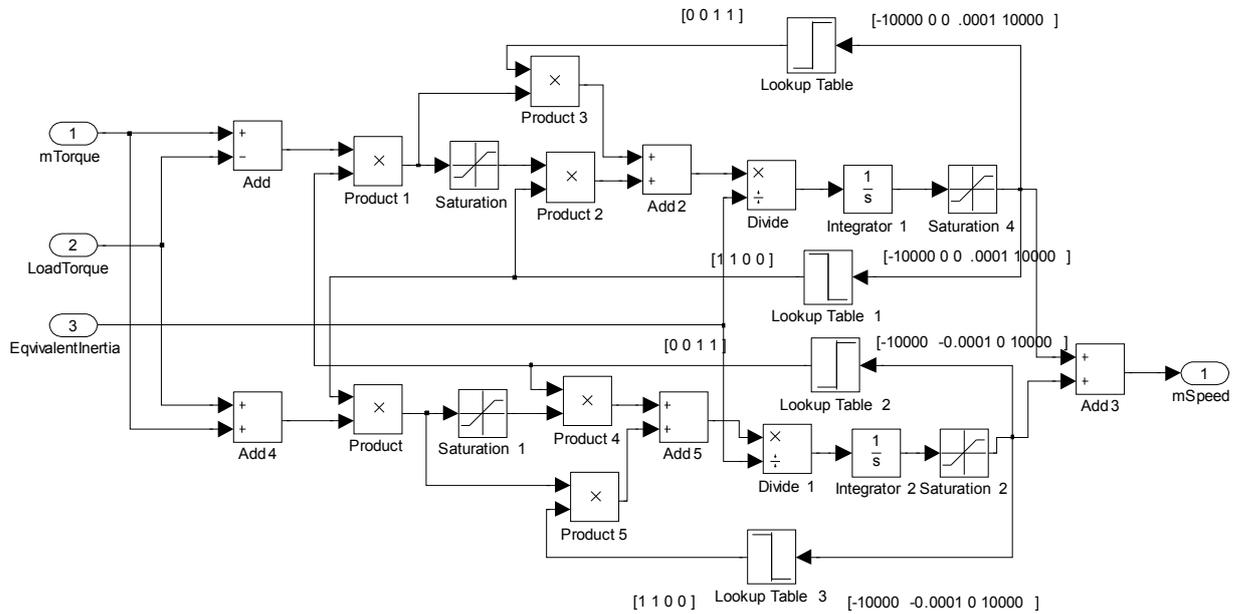


Рисунок Б.10. Развернутая схема суперблока EkvMass

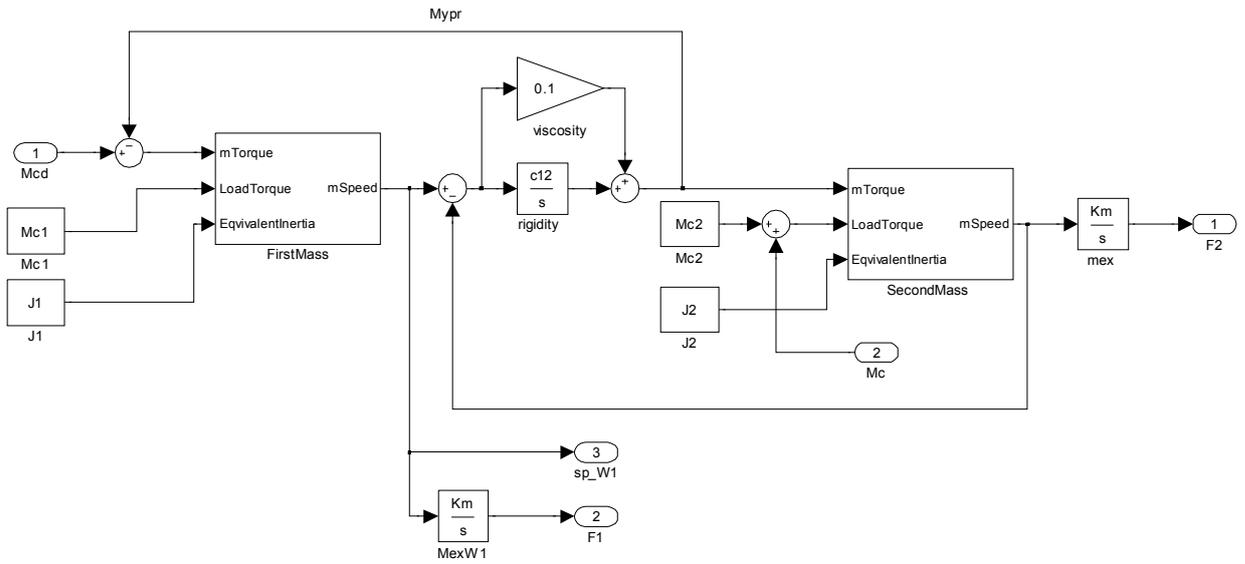


Рисунок Б.11. Развернутая схема блока TwoMassSystem

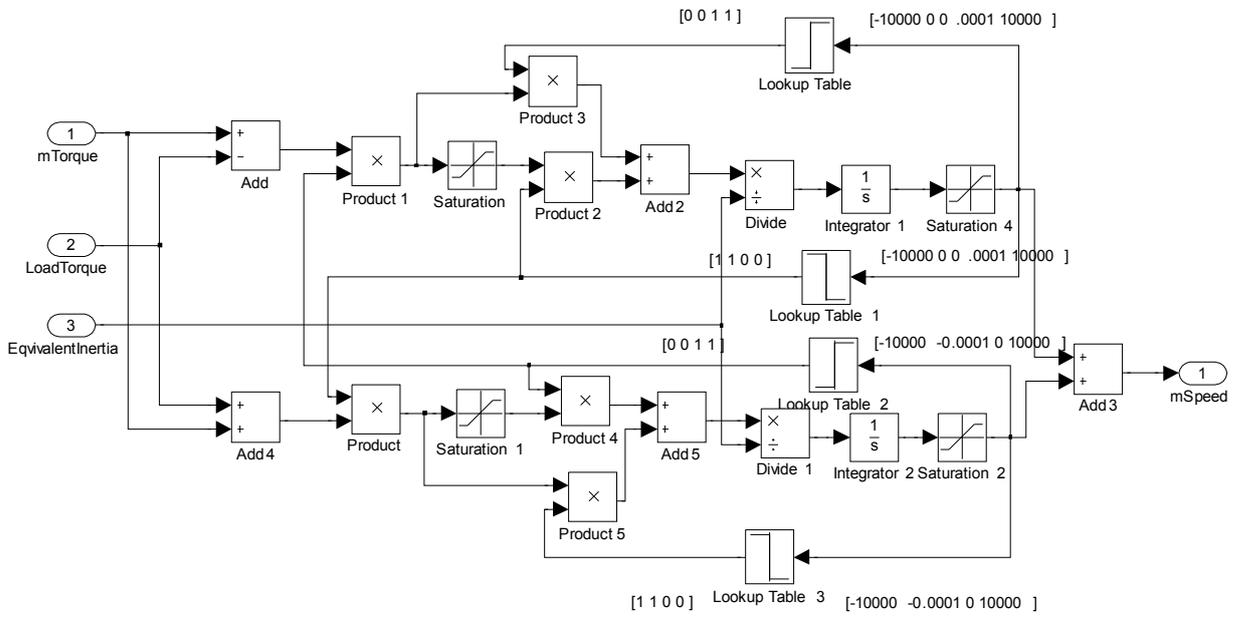


Рисунок Б.12. Развернутая схема блока SecondMass